

Фізіологія людини

Обмін речовин і енергозабезпечення м'язової діяльності

Видання 2-ге, доповнене і перероблене



2006

Рецензенти:

- . . . , доктор біологічних наук, професор, чл. кор. НААН
. . . , доктор медичних наук, професор
. . . , кандидат медичних наук, професор

14/18.2-80 17.01.2005 .

П-37 Фізіологія людини. Обмін речовин і енергозабезпечення м'язової діяльності: Навчальний посібник. — Київ: ВД «Професіонал», 2006 — 464 с.

ISBN 966-370-_____

Вперше в Україні для студентів вищих навчальних закладів створено посібник нового типу з фізіології людини, побудований за структурою модульного викладу. Кожний модуль посібника включає в себе логіку викладення і засвоєння матеріалу, основні терміни і поняття, знання і вміння, яких повинні набути студенти при вивченні матеріалу тем, визначено лабораторні роботи з методикою їх проведення. Завершуються заняття теми ситуаційними запитаннями і задачами та тестами змістовних модулів.

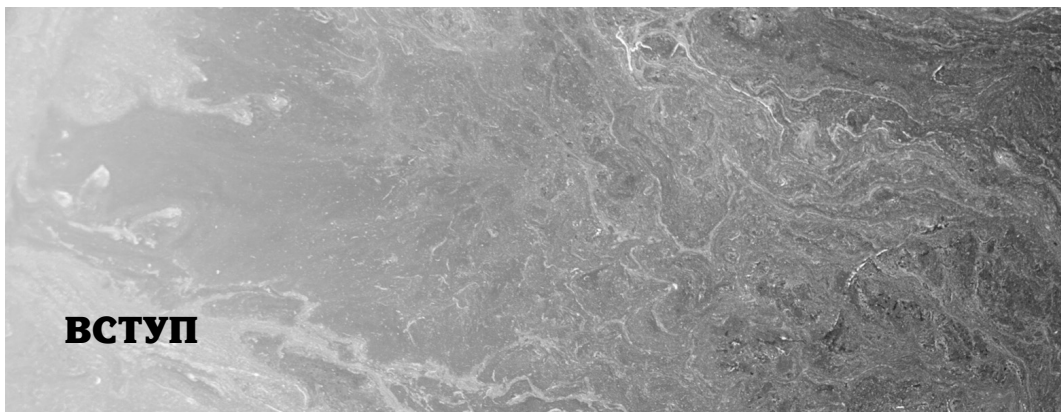
Посібник адресований студентам природничих факультетів та факультетів фізичної культури, аспірантам, викладачам ВНЗ. Він може стати у нагоді учням спецшкіл (коледжів, гімназій і ліцеїв) з поглибленим вивченням біології, методистам оздоровчих та реабілітаційних центрів.

612.766:796+371.73
28.903.7+74.200.84



ЗМІСТ

Вступ	4
Модуль 1. Фізіологія м'язів і м'язової діяльності	6
Тема 1. Морфофункціональні особливості м'язової тканини	6
Тема 2. Механізм і енергетика м'язового скорочення	27
Тема 3. Регуляція напруження м'язів	48
Тема 4. Втома м'язів та особливості перебігу відновних процесів в організмі людини після фізичних навантажень	71
Модуль 2. Обмін речовин та енергії	95
Тема 1. Фізіологія системи травлення	96
Тема 2. Обмін речовин і механізми енергозабезпечення м'язової діяльності	134
Тема 3. Фізіологія теплообміну	170
Тема 4. Видільна функція нирок та шкіри	202
Модуль 3. Фізіологія системи крові	227
Тема 1. Фізико-хімічні властивості крові	227
Тема 2. Функціональна характеристика формених елементів крові	241
Тема 3. Захисна функція крові та її антигенні властивості	261
Модуль 4. Фізіологія системи кровообігу	279
Тема 1. Фізіологічні властивості серцевого м'яза і показники роботи серця	279
Тема 2. Фізіологічні механізми регуляції Руху крові в кровоносних судинах. Лімфообіг	303
Тема 3. Функціональні ефекти адаптації системи кровообігу до фізичних навантажень та інших стресових подразників	337
Модуль 5. Фізіологія системи дихання	368
Тема 1. Зовнішнє дихання та методи його дослідження	368
Тема 2. Газообмін в легенях. споживання кисню організмом	394
Тема 3. Функціональні тести системи дихання і фізична працездатність	416
Тема 4. Регуляція дихання. Резерви функціональних можливостей системи дихання в умовах пониженого і підвищеного атмосферних тисків	440
Додатки	459



Вивчення морфофункціональних особливостей адаптації організму до постійно змінних та зростаючих щодо виразності несприятливих умов довкілля, вважається сьогодні однією з найважливіших проблем біології і медицини. Оскільки ефективність адаптивних процесів в організмі є першоосновою доброго здоров'я і високопродуктивної діяльності, то вирішення нез'ясованих питань цієї проблеми має важливе значення для профілактики і лікування захворювань, пошуку ефективних реабілітаційних заходів.

Визначальною функцією діяльності м'язів є функція активної адаптації організму до постійно змінних умов довкілля. Кінцевою метою цього активного пристосування є підтримання постійності внутрішнього середовища, розширення гомеостатичних меж окремих фізіологічних констант, забезпечення високопродуктивної діяльності.

Найефективнішим засобом адаптивної зміни власної природи людини є систематичні фізичні тренування. Знання закономірностей адаптації організму людини (спортсмена) до фізичних навантажень — об'єктивна передумова ефективного використання фізичних вправ в справі раціоналізації фізичного тренування, направленою на збереження і зміцнення здоров'я людей, підвищення їх працездатності, реалізації генетично запрограмованої програми довголіття.

Навчальний посібник «Фізіологія людини. Обмін речовин і енергозабезпечення м'язової діяльності» включає в себе п'ять модулів:

- фізіологія м'язів і м'язової діяльності;
- обмін речовин і енергії;
- фізіологія системи крові;
- фізіологія серцево-судинної системи;
- фізіологія системи дихання.

По кожній з тем визначено мету заняття, виділено запитання для самопідготовки, подано основні теоретичні положення з цих запитань, визначено лабораторні роботи з

методикою їх проведення; до кожного заняття додаються ситуаційні запитання, задачі, тести змістовних модулів. Завершуються книга списками рекомендованої літератури і відповідями на запитання комп'ютерного контролю знань. Переважна більшість практичних робіт посібника мають експериментальний характер (науково-дослідна робота студентів), що сприятиме формуванню у студентів навичок тестування рівня здоров'я і організації здорового способу життя школярів та дорослих.

" 1

\$ % •%
•% & ' %#()

1. * * " +,
• +

1.1. # + + " - "

1. F' y a h \ V Z y e v g y k d l v Z k i f ^ l j b f Z g] g h y f _ h k l X g a m l j • r g v k h] h _ ^ h \ . b s Z N • e h] _ g _ l b j d q a b b l h i ' d y a h \ h d e Z g b g n b • a • h e h] h r [p % j m g l m l Z l g g y e x ^ b g l j m o h \ Z d l b \ g . h k l m g d p • h g j Z e a v g h j] Z g • a e f x m b g b l • a • h e h] • q g h d Z a g b d b g ^ h j ' h y \
2. F h j n h n m g d p • h t g l z h e [v e g o \ h i ' k y l a h \ h d e Z g b g n l m g d p y e . • N • a • h e h] • q g h k h [e b \ h i ' k y l a h \ h d e Z g b g a b Z] Z e l v l g h [e b \ h i k l a h v b y a . • K Z j d h i e Z a f Z l b q g b f Z l j b d K l j m d l m i j Z n • [j . b . e e d b y a . • C Z j d h i e Z a f Z l j g l g b d e m f K Z j d h k . h f b
3. N • a • h e h] o Z j g Z d l _ j b k j h b d l Z \ b o b g b p y a . • D h f i h a b p y a • i _ j k i _ d l b \ b a \ b l d m j _ f b j o h \ a o • [g h k l h g y l l j m o h \ h n e b g b p h] g _ j \ h v h y a h \ h z h z j Z l N Z • a • h e h] o Z j g Z d l _ j b k l b e d l Z d b f o Z e b o \ b ^ d b o i h \ • e v g l b b = _ g _ l b d r g o _ h ^ \ _ g o y \ \ • ^ g h r j • g g b b i • V H
4. G _ j \ h v h y a h \ h \ b e g Z i f k h j n h n m g d p • h t g l z h e [v e g o \ h g k l j a h v h y a h \ b o k b g Z i k i j \ _ • i h k l k b g Z i l b g g b l d v h y a h \ h e h d

1.2. " " :

- s h f ' y a h \ V Z y e v g y k l z c _ n _ d l b \ g a z k h [h r ^ l j b f Z g] g h y f _ h k l X g a m l j • r g v k h] h _ ^ h \ h s Z Z g • a e f x m b g b
- s h j m o h Z d l b \ g • k h v h y a d h \ m x f h \ h a j h k l Z g h d k y] m m g d p • h g Z e v g j _ a _ j \ h j] Z g • a e f x m b g b

Проте, хоч фізіологічні резерви є основною складовою частиною функціональних резервів і сприяють досягненню високої працездатності, вони не гарантують її. Адже висока працездатність є результатом мобілізації усіх видів резервів.

Для об'єктивної оцінки міри резервів організму людини академік М. М. Амосов (1989) запропонував користуватись терміном «кількість здоров'я». Здоров'я — це сумарна величина резервів легень, серця, нирок, інших органів і організму в цілому, якими володіє дана людина. Про рівень резервів окремих органів і систем організму судять за показниками коефіцієнту резерву (КР). КР — відношення величини функції даної системи, визначеної в умовах максимальних навантажень до її величини в стані спокою (табл. 1.1).

Активізація тканин і органів даної функціональної системи при виконанні людиною напруженої фізичної роботи (як і при дії інших чинників довкілля) єдиноспрямована — посилення функції одних органів, як правило, проходить на фоні компенсаторного гальмування функцій інших (табл. 1.2).

Основною умовою збільшення обсягу фізіологічних резервів організму людини є фізичні тренування. Викликані ними функціональні зміни в організації посилюють компенсаторні механізми адаптації, формуючи якісно новий структурний слід в системі (Ф. З. Меєрсон, 1986, 1988). При цьому збільшується синтез нуклеїнових кислот і білків, які відповідають за специфічну адаптацію до дії даного подразника (тренувального навантаження). Як наслідок, мобілізуються структури, що раніше лімітували функцію даної клітини (тканини, органу), збільшуються резерви тих функціональних систем, які обумовлюють розвиток специфічної працездатності.

Таблиця 1.1

Величини фізіологічних резервів кардіореспіраторної системи

Функціональні показники	Стан спокою	При максимальному навантаженні	Коефіцієнт резерву
Частота серцевих скорочень, ск/хв	45–60	230	4
Систолічний обсяг кровообігу, л/хв	50–80	200	4
Хвилинний обсяг кровообігу, л/хв	4,0–6,0	40	8
Частота дихання, дих. цикл/хв	10–16	80	7
Дихальний обсяг, л/хв	400–800	3000	6
Хвилинний обсяг дихання, л/хв	6,0–8,0	200	30
Киснева ємність крові, об %	17–19	23	1
Споживання кисню, л/хв	0,25	6	25

Таблиця 1.2

Резерви перерозподілу кровообігу при максимальному фізичному навантаженні (М. М. Амосов, А. Я. Бендет, 1975)

	Спокій		Робота	
	л/хв	%	л/хв	%
Органи черевної порожнини	1,400	24	0,300	1
Нирки	1,100	19	0,250	1
Мозок	0,750	13	0,750	3
Коронарні судини	0,250	4	1,000	4
Скелетні м'язи	1,200	21	22,000	88
Шкіра	0,500	9	0,600	2
Інші органи	0,600	10	0,100	1
Разом	5,800	100	25,000	100

Мобілізація фізіологічних резервів відбувається завдяки активізації механізмів нервової і гуморальної регуляції. Механізмом термінової мобілізації резервів є емоції і вольові зусилля. Їх направленою вдосконалення можна досягти систематичним аутогенним тренуванням. Для швидкого збільшення обсягу фізіологічних резервів, що визначають ефективний розвиток рухових здібностей, використовують різноманітні фармакологічні засоби.

2. Морфофункціональні особливості м'язової тканини

Виконання будь-яких фізичних вправ вимагає руху тіла, який здійснюється скороченням скелетних м'язів. До складу скелетних м'язів входить м'язова, нервова і сполучна (зв'язки, сухожилля) тканини. Зверху м'яз покритий зовнішньою сполучнотканинною оболонкою — *епімізієм*. Він надає м'язу певної форми. Під епімізієм знаходяться пучки м'язових волокон, покриті іншою сполучнотканинною оболонкою — *перимізієм*. М'язові волокна — багатоядерні циліндричної форми видовжені поперечносмугасті клітини (рис. 1.1).

У людини кількість м'язових волокон в м'язі встановлюється через 4–5 місяців після народження і майже не змінюється з віком. Товщина окремих м'язових волокон — 10–100 мкм, довжина — від 1–2 до 10–12 см. При народженні

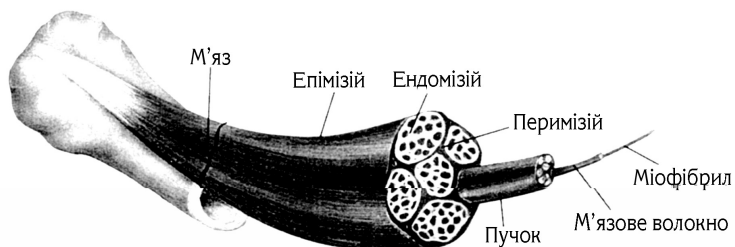


Рис. 1.1
Будова скелетного м'яза

дитини товщина м'язових волокон становить близько 1/5 товщини волокон дорослих людей. Діаметр м'язових волокон значно зростає під впливом систематичних тренувань.

Загальна маса м'язів в осіб середнього рівня фізичної натренованості близько 30–40 % ваги тіла (327 парних скелетних м'язів і 2 м'язи непарні, 49 м'язів внутрішніх органів і органів відчуття). М'язи містять 75–80 % води, 18 % білка, 0,2 % жиру, 0,7 % глікогену, 0,45 % креатинфосфату.

М'язове волокно покрите тонкою еластичною мембраною-*сарколемою* (від грецького слова «саркос» — м'ясо), яка з'єднується із сполучною тканиною м'яза. Сарколема відіграє важливу роль у виникненні і проведенні збудження. В середині м'язового волокна знаходиться *саркоплазма*. До її складу входить саркоплазматичний матрикс і ретикулум — сітка (рис. 1.2).

Саркоплазматичний матрикс — це рідина, в яку занурені скоротливі елементи м'язового волокна — міофібрили. Крім міофібрил до складу матрикса входять гранули глікогену, крапельки жиру, фосфатні речовини і інші малі молекули і іони, розчинні білки (16,5–21,0 %). Розрізняють *саркоплазматичні* (міоген, глобулін, білок-пігмент, міоглобін, міоальбумін, різні ферменти, нуклеопротейди ядер багаті ДНК) і *міофібрилярні* (міозин, актин, актоміозин, тропонін, тропоміозин, контрактин та ін.) білки. Тропонін і тропоміозин входять до складу актинових протофібрил. Тропонін-тропоміозинова система під час відсутності іонів Ca^{++} в стані спокою гальмує змикання поперечних містків з актиновими нитками і блокує АТФ-азну активність міозинових головок.

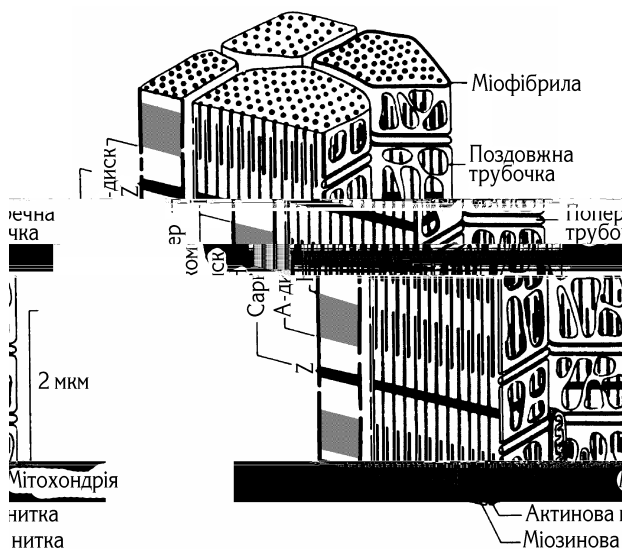


Рис. 1.2
Поперечні трубочки і саркоплазматичний ретикулум м'язового волокна

З білків саркоплазми особливу роль виконує *міоглобін*. З'єднуючись з киснем крові, цей білок забезпечує депонування 15 % кисню. Кисень, зв'язаний з міоглобіном, використовується лише в екстремальних ситуаціях, зокрема при виконанні напруженої м'язової роботи. Багато міоглобіну в м'язах дельфіна, тюленя (15–30 % від сухого залишку м'язової тканини), а також у людей, професія яких вимагає тривалої затримки дихання (збирачі перлин, спортсмени підводного плавання тощо).

При з'єднанні міофібрилярного білку міозину з актином утворюється скоротливий білок *актоміозин*. Міозин і актоміозин є ферментами АТФ. Ферментативна дія міозину на АТФ активується іонами Ca^{++} . В кожному

м'язовому волокну знаходиться до 1000 і більше міофібрил. Це спеціалізовані скоротливі структури діаметром 1–3 мкм. До складу міофібрил входять товсті міозинові і тонкі актинові філаменти (рис. 1.3).

Кожний міозиновий філамент утворений великою кількістю (близько 200) молекул міозину, які вбудовані бік в бік кінцями одна до одної. Кожна молекула міозину складається з двох сплетених білкових пучків (рис. 1.4 а, б). Один кінець кожного пучка утворює глобулярну (міозинову) головку. Висуваючись вперед, головка міозинового філаменту утворює поперечні містки, які взаємодіють в час м'язового скорочення з спеціальними активними ділянками на актинових філаментах.

Кожний актиновий філамент складається з трьох різних протеїнових молекул: актину, тропоміозина і тропоніна. Актин є основою філамента. Окремі глобулярні актинові молекули, з'єднуючись, утворюють нитки актинових молекул; білок тропоміозин має форму трубочки, яка звивається навколо актинових ниток. Більш складний білок тропонін через рівні проміжки прикріплений до ниток актину і до тропоміозину (рис. 1.4 в).

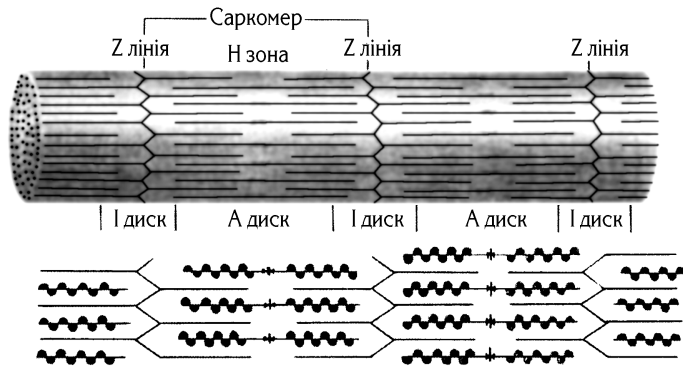


Рис. 1.3

Схема ділянки волокна скелетного м'язу (за Шлагієвою)

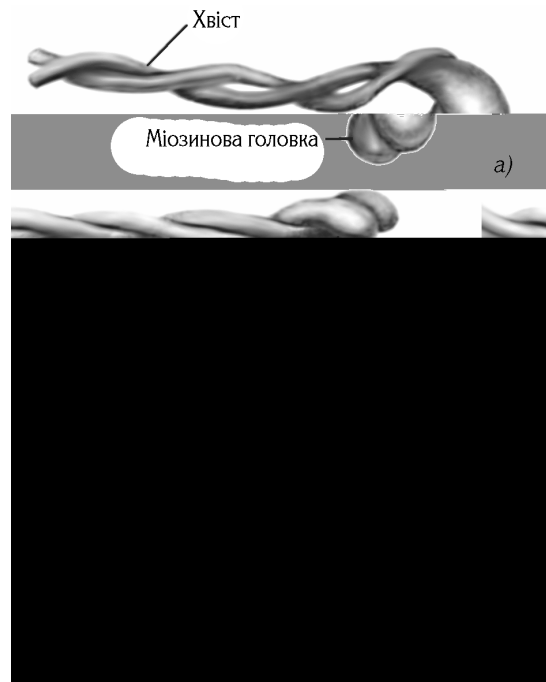


Рис. 1.4

Молекула міозину — а; міозиновий філамент — б; актиновий філамент, який складається з молекул актина, тропоміозина і тропоніна — в (за Д. Уілмором і Д. Костіллом, 1997)

Просторове розташування міофіламентів визначає посмугованість скелетних м'язів, яку добре видно під мікроскопом. Тонкі Z-мембрани (телофрагма-Т), до яких прикріплюються тонкі філаменти ділять міофібрили на саркомери. **Саркомер** — це основна структурно-функціональна скоротлива одиниця міофібрили. В саркомерах актинові філаменти розташовані між міозиновими, які мають довгі «хвости» і «головки». Головки міозинових молекул повернуті в косому напрямі до актинових ниток і мають назву поперечних містків.

Поперечна посмугованість міофібрил є наслідком чергування ділянок саркомера з сильним і слабким заломленням променів. В тій частині саркомера, де розміщені тільки тонкі нитки (диск-І), заломлення променів невелике. В місцях перекриття товстих і тонких ниток (диск-А) заломлення променів подвійне, а тому вони виглядають темними. Всередині диска-А тонких ниток немає — це Н-зона, вона світла. Посередині А-диска поперек проходить мембрана — ізофрагма (М), вона взаємозв'язана з телофрагмою (Z-лінією) і з сарколемою.

Міофібрили згруповані в пучки (колонки) по 4–10 штук в кожному. Колонки тісно зв'язані з транспортною системою м'язового волокна (саркоплазматичною сіткою), по якій циркулюють поживні речовини і розповсюджується електрична хвиля збудження.

Саркоплазматична сітка складається з поперечних (Т-трубочок) і поздовжніх трубочок, розташованих між міофібрилами паралельно до них. В розширених кінцях поздовжніх трубочок (міхурах) зосереджені іони Ca^{++} . Саме іонам кальцію належить ключова роль в механізмі м'язового скорочення. Важливими функціями саркоплазматичної сітки є передача потенціалу м'язового волокна з поверхні мембрани до цистерн та виділення продуктів обміну (молочної кислоти, вуглекислого газу тощо) з м'язової тканини в міжклітинні простори.

В м'язовій клітині по ходу міофібрил знаходяться **мітохондрії** (саркосоми). Їх кількість зумовлює функціональну активність м'язів. До складу мітохондрій входять білки, жири, вуглеводи, нуклеїнові кислоти, а також велика кількість ферментів, які беруть безпосередню участь у процесах ресинтезу АТФ. Найбільше мітохондрій в постійно працюючому серцевому м'язі.

Непосмугована м'язова тканина. Гладенькі м'язи утворюють стінки внутрішніх органів (органів травної системи, бронхів, кровоносних і лімфатичних судин, сечового міхура, матки тощо), шкіри і залоз. На відміну від посмугової м'язової тканини міофібрили гладеньких м'язів не мають посмугованості. До їх складу входить білок тонноміозин (різновидність актоміозину), а також леатонін, функцією якого є підтримання тривалого тонічного напруження. Цьому сприяє хаотичне розташування скоротливих білків у волокнах гладеньких м'язів. Довжина клітин гладеньких м'язів залежить від органу, до складу якого вони входять (20–500 мкм), діаметр — 5–20 мкм.

Гладенькі м'язи менш збудливі, ніж поперечносмугасті, вони мають більш тривалий рефрактерний період і невелику швидкість поширення нервового імпульсу

Таблиця 1.3

Порівняльна характеристика властивостей скелетного, серцевого і гладенького м'язів

Показники	Скелетний м'яз	М'яз серця	Гладенький м'яз
Хронаксія, мс	0,08–0,4	2–3	20–40
Тривалість рефрактерного періоду, с	0,005–0,01	0,3–0,4	десяті долі секунди
Швидкість проведення збудження, мс	6–11	1–4	0,5–1
Тривалість поодиноких скорочень, с	0,05–0,1	0,5–0,8	десятки секунд

(2–15 см/с). Збудження по непосмугованих м'язах може вільно передаватися з одного волокна на інше. Ці та інші морфофізіологічні особливості гладеньких м'язів зумовлюють ряд відмінних ознак їх функціонування (табл. 1.3).

Скорочення непосмугованих м'язів відбувається більш повільно і тривало (енергоекономне тонічне скорочення). Протягом всього життя людини в тонусі знаходяться м'язи стінок кровоносних і лімфатичних судин, тривалий період часу в тонусі перебувають гладенькі м'язи сфінктерів травного каналу, сечового і жовчного міхурів, матки та інших органів. Гладенькі м'язи здатні зберігати тривалий час зумовлену розтягненням довжину без зміни напруження (пластичність), що лежить в основі ефективного функціонування стінок порожнистих органів (матки, сечового та жовчного міхурів).

Для гладеньких м'язів характерна **автоматія**. Автоматія зумовлена нервовими елементами, розташованими в стінках відповідних органів (наприклад, мейснерового і аурбахового сплетінь у травному тракті), а також хімічними речовинами (ацетилхолін, адреналін, гістамін, серотонін тощо).

Ефект від одних і тих же хімічних подразників для різних непосмугованих м'язів різний. Так, для гладеньких м'язів шлунково-кишкового тракту ацетилхолін є збуджуючим, а адреналін — гальмівним. Щодо м'язів стінок деяких кровоносних судин адреналін, навпаки, викликає скорочення, а ацетилхолін — розслаблення. Гладенькі м'язи іннервуються симпатичними і парасимпатичними нервами, які також виявляють вплив на їхніх функціональний стан.

Функції м'язів: опорно-рухова, інтерорецептивна, депонуюча (глікоген, водносолеві розчини), теплотворна, насосна (нагнітально-присмоктувальна). Скелетні м'язи, як і серцевий м'яз, здатні виконувати роль потужної, постійно діючої присмоктувально-нагнітальної помпи крові та лімфи. Встановлено, що для виконання своєї нагнітальної функції по перекачуванню крові і лімфи серцевий м'яз мав би бути в 40 разів потужнішим, ніж є. Допмагають серцю рухати кров по судинах поперечносмугасті скелетні м'язи — «внутрішньом'язові серця» (М. І. Арінчин, Р. Д. Медвецька та ін. 1972; М. І. Арінчин, Р. Д. Медвецька 1984; 1987). Особливо виразний вплив м'язових скорочень на венозний кровообіг (рис. 1.5)



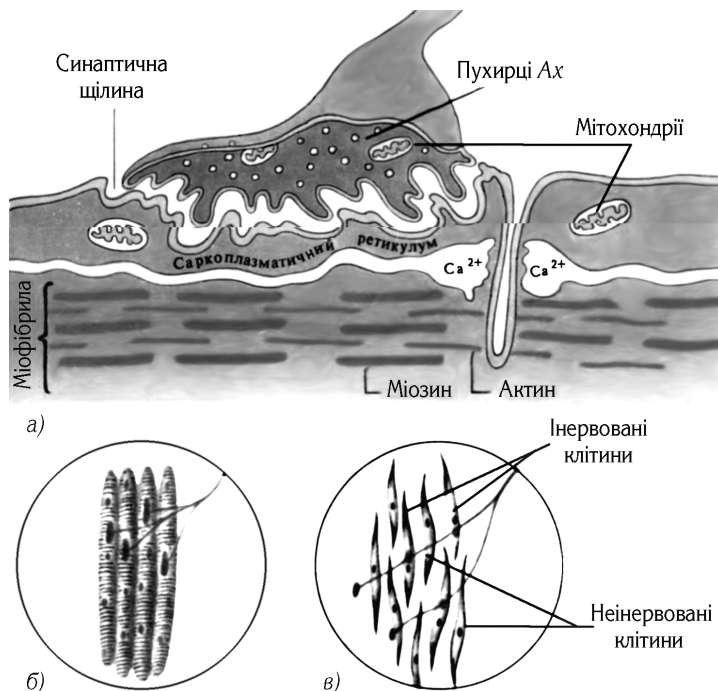


Рис. 1.7

Будова нервово-м'язового синапса: а — нервово-м'язовий синапс в розрізі; б — розподілення синапсів соматичного аксона в волокнах скелетного м'язу; в — розподілення синапсів соматичного аксона в клітинах гладеньких м'язів

часу дифузії Ах від пре-синаптичної мембрани до постсинаптичної, часу, необхідного для взаємодії Ах з рецепторами кінцевої пластинки. Запасів Ах в нервовому закінченні достатньо для проведення близько 10 000 мотонейронних імпульсів. При тривалій імпульсації мотонейрона вміст Ах в кінцевих розгалуженнях може суттєво зменшитися, що призводить до розвитку **пресинаптичного нерво-во-м'язового блоку**.

Комплекс «Ах-рецептор» швидко руйнується спеціальним ферментом — ацетилхолінестеразою (АхЕ) кінцевої пластинки. Це руйнування супроводжується відновленням вихідної проникності постсинаптичної мембрани, готовністю сприймати по-

вторне збудження. Але при тривалій високочастотній імпульсації мотонейрона в синаптичній щілині може накопичуватися надлишок Ах, який не встигає руйнуватися. При цьому здатність постсинаптичної мембрани до генерації потенціалу кінцевої пластинки знижується і розвивається частковий чи повний **постсинаптичний нервово-м'язовий блок**. Обидва типи нервово-м'язового блоку (пре- і постсинаптичний) можуть бути причиною зниження скоротливої здатності м'язів (периферична втома).

1.5. Практичні завдання

Матеріальне забезпечення заняття: таблиці, схеми, кодопозитиви з питань теми, ПК і мультимедійний проектор, медична вага, таблиці для визначення нормативної маси тіла, кистьовий динамометр, сфігмоманометр, фонендоскоп, секундомір, спірометр.

Робота 1

Визначення рівня здоров'я за показниками аеробної продуктивності

Завдання. Оволодіти методикою визначення рівня здоров'я людини за показниками маси тіла, тесту Купера, працездатності і захворюваності.

Методика. Дослідженнями вчених встановлена позитивна кореляція рівня здоров'я людини з показниками аеробної продуктивності (загальною витривалістю). Для визначення рівня здоров'я досліджувані (студенти групи) користуються такими критеріями (Я. С. Вайнбаум, 1986):

Критерії	Рівень вираженості	Бали
Маса тіла	• ідеальна (відхилення не більше 5 %);	0
	• перевищення на 5–25 %;	1
	• перевищення більше 25 %	2
Тест Купера	• відмінно, або добре, тренується систематично;	0
	• задовільно, тренується не систематично;	1
	• незадовільно, не тренується	2
Працездатність, захворюваність, загартованість	• активний, працездатний (професійно), немає порушень сну, рідко хворіє, стійкий до холоду;	0
	• працездатність задовільна, періодично хворіє, стійкість до холоду помірною;	1
	• працездатність погана, часто хворіє, до холоду не стійкий	2

Запропонована схема кількісної оцінки рівня здоров'я виділяє три рівні. При першому рівні здоров'я (не більше 1 балу) людина не потребує спеціальних рекомендацій. Їй належить продовжувати підтримувати своє здоров'я на тому ж рівні. При другому рівні здоров'я — (не більше 2–3 бали) необхідна консультація у спеціаліста. При 3 рівні (більш ніж 3 бали) доцільно провести поглиблене медичне обстеження і отримати відповідні рекомендації.

Робота 2

Визначення стану соматичного здоров'я школярів за основними показниками життєдіяльності організму

Завдання. Оволодіти методикою експрес-оцінки соматичного здоров'я школярів за методикою Г. Л. Опанасенко (1992).

Методика. Для експрес-оцінки соматичного здоров'я школярів визначають такі показники: життєва місткість легень (ЖМЛ, мл), маса тіла (кг), кистьова динамометрія

(КД, кг), ЧСС (ск/хв), систолічний артеріальний тиск (АТ сист., мм. рт. ст.), індекс маси тіла (ІМТ, кг/см), індекс Руффє. Індекс Руффє (ІР) розраховують за формулою:

$$IP = \frac{(ЧСС_{л} + ЧСС_{сид} + ЧСС_{ст}) - 200}{10},$$

де $ЧСС_{л}$ — частота пульсу лежачи, ск/хв; $ЧСС_{сид}$ — частота пульсу сидячи, ск/хв; $ЧСС_{ст}$ — частота пульсу стоячи, ск/хв

Індекс маси тіла — це відношення ваги (кг) до зросту (см).

Оцінку рівня соматичного здоров'я досліджуваних проводять за даними таблиці 1.5.

Таблиця 1.5

Експрес-оцінка соматичного здоров'я (за Б. Л. Опанасенко, 1992)

Показник	Низький	Нижче середнього	Середній	Вище середнього	Високий
$\frac{ЖМЛ, \text{мл}}{\text{маса тіла, кг}},$ балів	≤ 50 0	51–55 1	56–65 2	66–75 3	76 і > 4
$\frac{Динам, \text{кг}}{\text{маса тіла, кг}},$ балів	≤ 45 0	≤ 46–50 1	≤ 51–60 2	≤ 61–65 3	66 і > 4
$\frac{ЧСС \cdot АТ_{сист}, \text{кг}}{100},$ балів	> 96 0	86–95 1	76–85 2	71–75 3	70 і > 4
Індекс Руффє, балів	≥ 1–5 –6	10–14 –4	6–9 0	5–4 2	3 і > 4
Індекс маси тіла, кг/см, балів	0,18–0,21 –3	0,21–0,27 –2	0,27–0,30 –1	0,30–0,34 0	0,34–0,37 і > 13 і >
Сума балів	≤ 2	3–5	6–10	11–12	13 і >

1.6. Ситуаційні запитання і задачі

1. Розрахуйте коефіцієнт резерву (рівень здоров'я) юнака 17-річного віку за показником частоти серцевих скорочень (ЧСС). ЧСС у обстежуваного в стані спокою — 60 ск/хв; ЧСС при тестуванні максимально допустимого рівня фізичної активності (МДРФА) — 200 ск/хв
2. Обґрунтуйте значимість для практики фізичного виховання вікових особливостей становлення кількості м'язових волокон в скелетних м'язах.

- Для проведення збудження через нервово-м'язовий синанс необхідно 0,2–0,5 мс (через міжнейронний синанс — 1,5–2,0 мс). Назвіть складові компоненти часу синаптичної затримки.
- Співвідношення швидких і повільних м'язових волокон у різних людей різне. Вкажіть на значимість даного положення при вирішенні питань трудової і спортивної спеціалізації молоді.
- В м'язах юнака 80 % швидких (гліколічних) м'язових волокон. За рахунок яких рухових одиниць юнак розвиватиме витривалість в процесі систематичних тренувань?
- Наявність ряду морфофізіологічних особливостей гладеньких м'язів (менша збудливість, більш тривалий рефракторний період, мала швидкість поширення нервових імпульсів тощо), зумовлює ряд відмінних, в порівнянні з скелетними м'язами, ознак функціонування. Вкажіть на основні з них.
- Перерахуйте основні функції скелетних м'язів. Вкажіть на вікові особливості внутрішньоорганної нагнітальної функції скелетних м'язів.
- Кваліфікований працівник витрачає на виконання конкретної вправи (дозованого навантаження) менше енергії ніж початківець. Чому?
- Систематичне виконання фізичних навантажень оптимальної величини, за умови дотримання усіх педагогічних принципів фізичного тренування, позитивно впливає на здоров'я школярів і дорослих. Виходячи з позицій вчення про стрес, розкрийте суть і біологічне значення цього впливу.
- Найбільш характерним способом підтримання гомеостазу внутрішнього середовища для людини є спосіб активного пристосування-перетворення. Вкажіть на характерні для розвинутого суспільства недоліки цієї форми адаптації людини до постійно змінних умов довкілля.

1.7. Тести

Морфофункціональні особливості скелетних і гладеньких м'язів

- Товщина окремих поперечносмугастих м'язових волокон (мкм):
а) 1–10; б) 10–100; в) 100–200; г) 300–400.
- М'язові волокна мають довжину від декількох міліметрів до (см):
а) 2–5; б) 10–15; в) 20–25; г) 30–35.
- Кількісний склад м'язових волокон в окремих м'язах встановлюється у віці:
а) 4–5 міс.; б) 1–2 років; в) 3–5 років; г) 10–12 років.
- Загальна маса м'язів у осіб нормостенічного типу будови тіла близько (% від маси тіла):
а) 80; б) 60; в) 40; г) 20.
- М'язове волокно покрите тонкою еластичною мембраною, яка називається:
а) саркаплазмою; б) сарколемою;
в) матриксом; г) ретикулумом.

6. В середині м'язового волокна знаходиться:
а) саркоплазма; б) сарколема; в) кінцева пластинка.
7. Рідина саркоплазми, в яку занурені скоротливі елементи м'язового волокна, називається:
а) ретикулумом; б) матриксом;
в) сарколемою; г) саркоплазмою.
8. До складу саркоплазматичного матрикса м'язового волокна входять такі міофібрилярні білки:
а) міоген, міоглобін, міоальбумін;
б) міозин, актин, актоміозин, тропонін, тропоміозин;
в) альбумін, глобулін, фібриноген;
г) а + б.
9. Тропонін-тропоміозинова система попереджує взаємодію актину і міозину та блокує АТФ-азну активність міозинових головок при відсутності:
а) іонів калію; б) ацетилхоліна;
в) іонів кальцію; г) міоглобіну.
10. Червоний колір м'язів зумовлений присутністю в ньому білка:
а) міоальбуміну; б) актину і міозину;
в) тропоніну; г) міоглобіну.
11. М'язове волокно скелетного м'яза складається з спеціалізованих скоротливих органодів, які називаються:
а) протофібрилами; б) міофібрилами;
в) телофрагмами; г) саркомерах.
12. Основною структурно-функціональною одиницею міофібрили є:
а) сарколема; в) саркоплазма;
б) саркоплазматичний ретикулум; г) саркомер.
13. Функція саркоплазматичного ретикулума м'язового волокна:
а) виділення продуктів обміну з м'язової клітини в міжклітинні простори;
б) передача збудження з поверхні мембрани м'язового волокна до міофібрил;
в) а + б;
г) енергозабезпечення скорочення м'язового волокна.
14. Непосмугована м'язова тканина входить до складу:
а) стінок внутрішніх органів; б) шкіри, залоз, сечового міхура;
в) бронхів, кровоносних і лімфатичних судин;
г) а + б + в.
15. Відмінними ознаками функціонування непосмугованих м'язів (в порівнянні з посмугованими) є:
а) більш повільне і тривале скорочення; в) автоматія;
б) виразна пластичність; г) а + б + в.

Фізіологічна характеристика рухових одиниць м'язів

16. Головним структурно-функціональним елементом нервово-м'язового апарату є:
 - а) міофібрила; б) актин і міозин;
 - в) м'язове волокно; г) рухова одиниця.
17. Рухові одиниці (РО) відрізняються між собою:
 - а) розмірами тіла мотонейронів;
 - б) товщиною аксона мотонейрона;
 - в) числом м'язових волокон, які входять до складу РО;
 - г) а + б + в.
18. М'язові волокна, що входять до складу даної РО володіють:
 - а) одинаковими властивостями;
 - б) різними властивостями;
 - в) різними властивостями, за винятком сили, яка у окремих м'язових волокон даної РО однакова;
 - г) однаковими властивостями, за винятком сили, яка у окремих м'язових волокон даної РО різна.
19. Малі РО входять, як правило, до складу м'язів:
 - а) пальців кисті і очного яблука; б) дрібних м'язів лиць;
 - в) а + б; г) тулуба і кінцівок.
20. Малі РО забезпечують:
 - а) швидкі рухи; б) точні рухи;
 - в) повільні рухи; г) а + б.
21. Великі РО переважно входять до складу м'язів:
 - а) пальців кисті; б) очного яблука;
 - в) дрібних м'язів лиць; г) тулуба і кінцівок.
22. Повільні окислювальні волокна (тип I) в порівнянні з швидкими (типу II) мають:
 - а) більш багату капілярну сітку;
 - б) підвищений вміст міоглобіна і мітохондрій;
 - в) менше капілярів, міоглобіну і мітохондрій;
 - г) а + б.
23. Повільні м'язові волокна в порівнянні з швидкими:
 - а) більш витривалісні;
 - б) менш витривалісні;
 - в) пристосовані до потужних короткотривалих скорочень;
 - г) б + в.
24. Швидкі м'язові волокна в порівнянні з повільними:
 - а) більш витривалі;
 - б) менш витривалі;
 - в) пристосовані до потужних короткотривалих скорочень м'язів;
 - г) б + в.

25. Чим більша кількість швидких РО в м'язі, тим:
- а) вища швидкість його скорочення;
 - б) більша його максимальна сила;
 - в) більша його витривалість;
 - г) а + б.
26. Чим більша кількість в м'язі повільних РО, тим:
- а) вища швидкість його скорочення;
 - в) більша витривалість;
 - б) більша максимальна сила;
 - г) а + б.

М'язова діяльність як спосіб підтримання гомеостазу внутрішнього середовища

27. Енергетичне правило скелетних м'язів як основу функціональної індукції анаболізму (збудження синтезу і накопичення в організмі білків та інших речовин) встановив:
- а) О. Аршавський,;
 - б) П. Анохін;
 - в) М. Амосов;
 - г) О. Крестовніков.
28. Термін «рухова ейфорія» — комплекс приємних відчуттів, що виникає у людей, які систематично займаються фізичними вправами, запропонований:
- а) М. Амосовим;
 - б) О. Крестовніковим;
 - в) І. Муравовим;
 - г) М. Зімкіним.
29. І. Аршавський, М. Амосов та інші вчені вважають, що для забезпечення фізично повноцінного довголіття людині необхідно так організувати свою рухову активність, щоб досягти у дорослому віці економної роботи серця (скорочень за 1 хв) і легень (дыхальних циклів за 1 хв):
- | | |
|-------------|-------------|
| а) 90 і 20; | б) 80 і 16; |
| в) 70 і 13; | г) 50 і 10. |
30. Функції м'язів:
- а) опорно-рухова і інтерорецептивна;
 - б) депонуюча і теплотворна;
 - в) нагнітально-присмоктувальна (насосна) і корсетна;
 - г) а+б+в.
31. Функцію внутрішньом'язових периферійних сердець вперше встановив:
- | | |
|----------------|-------------------|
| а) М. Арінчин; | б) І. Муравов; |
| в) М. Амосов; | г) І. Аршавський. |

Рухова активність — основна умова збільшення обсягу функціональних резервів організму людини

32. Недостатня рухова активність людини називається:
а) гіпердинамією; б) акінезією;
в) гіподинамією; г) гіпертрофією.
33. Наслідком гіпокінезії є:
а) атрофія скелетних і серцевого м'язів з одночасним збільшенням маси тіла за рахунок жирової тканини;
б) підвищення холестерину і зменшення глюкози в крові;
в) тахікардія+а+б;
г) збільшення м'язової маси, зменшення холестерину і підвищення глюкози в крові.
34. Виділяють дві групи резервів організму:
а) психічні і спортивно-технічні; б) функціональні і морфологічні;
в) біологічні і соціальні; г) біохімічні і фізіологічні.
35. До складу функціональних резервів організму входять резерви:
а) біологічні і соціальні; б) біохімічні і фізіологічні;
в) психічні та спортивно-технічні; г) фізіологічні та психічні.
36. Фізіологічні резерви пов'язані з:
а) інтенсивністю і тривалістю роботи окремих клітин, органів і системи органів;
б) досконалістю механізмів нейро-гуморальної регуляції функцій;
в) а+б;
г) ефективністю енергозабезпечення і швидкістю відновлення енергоресурсів.
37. Сумарна величина резервів легень, серця, нирок, інших органів і організму в цілому, якими володіє даний організм позначається терміном:
а) кількість здоров'я; б) рівень здоров'я;
в) коефіцієнт резерву; г) а+б.
38. Резерви перерозподілу кровотоку в скелетних м'язах при максимальних навантаженнях (чисельник — показник кровотоку в спокої, знаменник — при роботі):
а) 5/85; б) 10/95;
в) 20/85; г) 40/60.
39. Резерви перерозподілу кровотоку в органах черевної порожнини при максимальній фізичній роботі (чисельник — показник кровотоку в спокої, знаменник — при роботі):
а) 25/1; б) 40/60;
в) 60/20; г) 80/10.
40. Відношення величини функції даної системи визначеної в умовах максимального навантаження до її величини в стані спокою, називається:
а) коефіцієнтом зношення; б) коефіцієнтом резерву;
в) життєвим показником; г) коефіцієнтом витривалості.

41. Максимально можливе збільшення ЧСС при виконанні максимально напружених фізичних навантажень (кількість разів):
а) 2; б) 4; в) 6; г) 8.
42. Коефіцієнт резерву за показником хвилинного обсягу кровообігу:
а) 2; б) 4; в) 8; г) 10.
43. Основною умовою збільшення обсягу фізіологічних резервів організму людини без втрат здоров'я є:
а) використання анаболіків; б) використання стимуляторів функції ЦНС;
в) а + б;
г) систематичні фізичні тренування.
44. Механізмом термінової мобілізації фізіологічних резервів є:
а) емоції; б) вольові зусилля; в) а+б.
45. Коефіцієнт резерву (рівень здоров'я) за показником частоти дихань:
а) 7; б) 10; в) 15; г) 20.
46. Коефіцієнт резерву за показником хвилинного обсягу дихання:
а) 10; б) 20; в) 30; г) 40.
47. Зміни, зумовлені систематичним виконанням порогових величин фізичних навантажень:
а) гіпертрофія м'язів;
б) трофотропна направленість обміну речовин;
в) економізація роботи серця;
г) зниження холестерину сироватки крові +а+б+в.
48. Зменшення вмісту білків гама-глобулінової природи в крові знерухомлених тварин свідчить про:
а) зростання імунної реактивності організму;
б) зниження імунної реактивності організму;
в) підвищення загальної реактивності організму;
г) підвищення фізіологічної резистентності організму.
49. Максимально можливе збільшення величин споживання кисню при виконанні максимально напружених фізичних навантажень (кількість разів):
а) 10; б) 15; в) 20; г) 25.

Оцінка теми 1 модуля 1 (49 запитань)

Оцінка модуля	Кількість вірних відповідей						
	49-44	43-40	39-37	36-34	33-29	28-17	16 і <
За шкалою університету	100-90	89-82	81-75	74-69	68-60	59-35	34-1
За національною шкалою	5	4	4-	3	3-	2	2-
За шкалою ECTS	A	B	C	D	E	FX	F

Тема 2. Механізм і енергетика м'язового скорочення

2.1. Логіка викладу і засвоєння матеріалу

1. Сучасні уявлення механізму м'язового скорочення. Послідовність механічно-хімічних процесів, які протікають в м'язах при їх скороченні. Схеми ковзання міофіламентів міофібрил. Роль тропонін-тропоміозинової системи в механізмі скорочення міофібрил.
2. Енергетика м'язового скорочення. АТФ — єдине пряме джерело енергії для м'язового скорочення. Ресинтез АТФ в м'язах. Поняття ємності і потужності енергетичних систем. Характеристика анаеробних енергосистем. Киснева енергетична система.
3. Робоча гіпертрофія м'язів. Різновидності робочої гіпертрофії м'язів. Морфофункціональні зміни в атрофованих м'язах.
4. Фізіологічна природа впливу рухової активності і гіподинамії на організм людини. Вісцеромоторні та моторно-вісцеральні рефлекси. Наслідки гіподинамії.

2.2. В результаті вивчення матеріалу теми Ви повинні знати:

- особливості механізму скорочення скелетних м'язів;
- роль тропонін-тропоміозинової системи в механізмі скорочення міофібрил;
- механізми енергозабезпечення м'язового скорочення;
- енергоємність і енергопотужність анаеробних і аеробної систем енергозабезпечення м'язової діяльності;
- особливості розвитку міофібрилярної і саркоплазматичної гіпертрофії м'язів;
- механізм позитивного впливу рухів (фізичних вправ) на організм людини;
- про наслідки гіподинамії;
- механізми впливу рухової активності на здоров'я і тривалість життя людини.

вміти:

- використовувати знання матеріалу теми в практиці фізичного тренування і трудової діяльності школярів і дорослих;
- дозувати фізичні навантаження з врахуванням шляхів енергозабезпечення м'язових скорочень;
- нормувати величину фізичних навантажень з врахуванням енерговитрат на рухову діяльність;
- підбирати фізичні вправи для направленої розвитку бажаного типу робочої гіпертрофії м'язів;
- попереджувати розвиток атрофії м'язів;
- визначати функціональні ефекти фізичного тренування.

2.3. Основні терміни, поняття і скорочення

аденозиндифосфорна кислота (АДФ); аденозинтрифосфорна кислота (АТФ); аеробна робота; анаеробна робота; андрогени; атрофія; гіпертрофія м'язів: міофібрилярна, саркоплазматична; глікоген; глікогеноліз; гліколіз; енергоємність ЕС; енергопотужність ЕС; енергосистема (ЕС): киснева, лактицидна, фосфатна; креатинфосфат (КФ); лактицид; максимальне споживання кисню (МСК); фізичні тренування (ФТ); функціональні ефекти (ФЕ); функціональні резерви (ФР).

2.4. Теоретичні відомості

1. Механізм м'язового скорочення

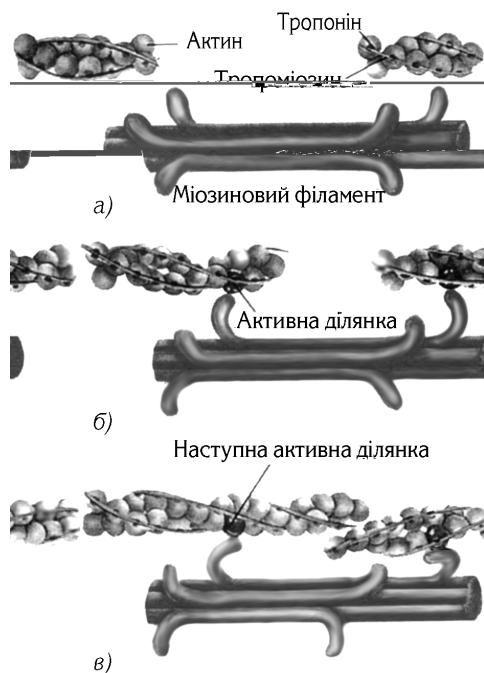


Рис. 1.8

Механізм ковзання актинових і міозинових філаментів (за Д. Уілмором і Д. Костіллом, 1997): м'язове волокно в стані розслаблення (а), в процесі скорочення (б) і повністю скорочене (в)

Утворений під впливом нервових імпульсів ПДМВ розповсюджується на поверхні мембрани (по сарколемі) і по мембранах поперечних трубочок входить всередину волокна до цистерн поздовжніх трубочок. Електрична хвиля збудження деполяризує мембрани цистерн і тим самим сприяє швидкому виходу іонів кальцію із цистерн у міжфібрилярний простір — до ниток актину та міозину. Цей вихід звільнених іонів кальцію знаменує собою початок скорочення м'яза, він розпочинається при деполяризації мембрани до 60 мВ і продовжується протягом всього часу деполяризації. Іони кальцію зв'язуються з тропоніном так, що молекула останнього деформується і штовхає тропоміозин у жолобок між двома ланцюгами актину в активне положення. В зв'язку з цим відкриваються раніше заблоковані тропоміозином ділянки актину для прикріплення поперечних містків міозину. Разом з тим іони кальцію активують АТФ-фазу міозинових головок, яка розщиплює АТФ з вивільненням енергії. Енергія АТФ забезпечує дію поперечних містків, які втягують тонкі актинові нитки в проміжки між товстими міозиновими нитками.

Під впливом енергії АТФ в присутності іонів кальцію міозинові містки ритмічно прикріплюються до актинових ділянок актину і відкріплюються від них і таким чином тягнуть актинову нитку до середини саркомера, нагадуючи при цьому групу людей, які тягнуть довгий канат, перехоплюючи його руками. Рухаючись з двох сторін саркомера назустріч одна до другої, актинові нитки забезпечують вкорочення саркомера (від 2 мкм до 1,25 мкм); вкорочуються, скорочуючись, міофібрили, м'язові волокна і м'яз в цілому (рис. 1.8)

При надмірному розтягуванні м'яза або при сильному і швидкому його скороченні число взаємодіючих з актиновими нитками поперечних містків зменшується, їх зчеплення послаблюється, напруження м'яза знижується. Найбільше напруження м'яз розвиває при середній довжині саркомерів (2,0–2,25 мкм), коли зчеплення між нитками актину і поперечними містками міозину оптимальне. При сильному скороченні, коли актинові нитки в саркомері перекриваються між собою і міозинові нитки впираються в Z-перегородку, напруження м'яза зменшується.

Іони кальцію затримуються біля міофіламентів (у міжфібрилярному просторі) всього декілька мілісекунд, а тоді внаслідок дії спеціальної кальцієвої помпи повертаються в цистерни. При цьому настає розслаблення м'язового

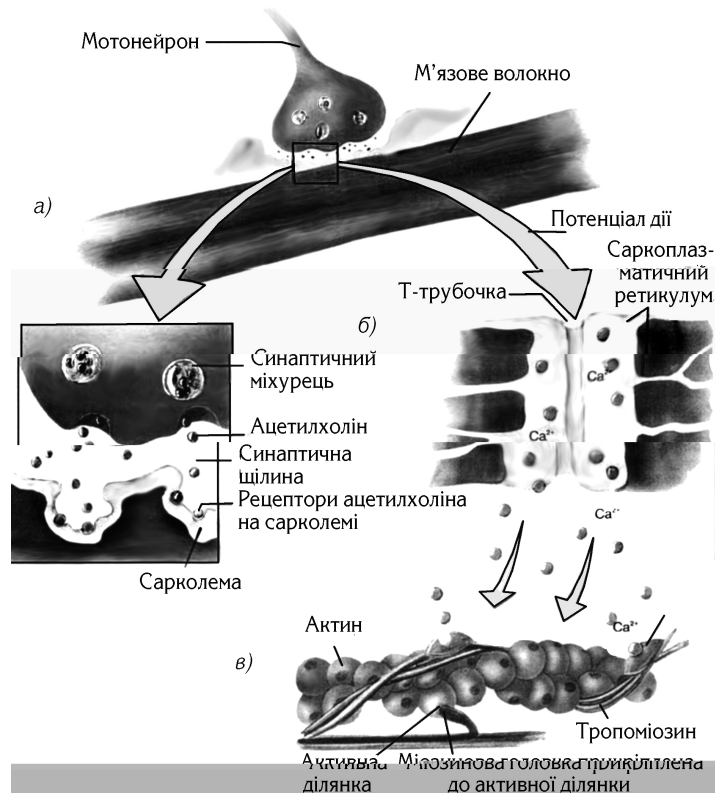


Рис. 1.9.

Послідовності дій, які зумовлюють м'язове скорочення (за Д. Уілмором і Д. Котіллом, 1997): а — мотонейрон виділяє ацетилхолін, який приєднується до рецепторів ацетилхоліна в сарколемі; на м'язовім волокні утворюється потенціал дії; б — потенціал дії «включає» виділення Ca²⁺ з саркоплазматичного ретикулума в саркоплазму; в — Ca²⁺ приєднується до тропоніна на активному філаменті і тропонін «відтягує» тропоміозин від активних ділянок, дозволяючи міозиновим головкам прикріпитись до активного філамента

волокна. Тропонін і тропоміозин повертаються до виконання своєї гальмівної функції. Загальна схема послідовності процесів, які забезпечують м'язове скорочення, представлена на рис. 1.9.

2. Енергетика м'язового скорочення

Робота міофібрил здійснюється за принципом хемодинамічної машини, в якій хімічна енергія прямо переходить в механічну, обминувши теплову. Звідси і високі величини коефіцієнта корисної дії роботи окремих м'язів (30–40 %).

Безпосереднім джерелом енергії для м'язового скорочення є аденозинтрифосфат (АТФ). Його розщеплення зв'язане з дією міозину як ферменту. При цьому утворюються аденозиндифосфат (АДФ), відщеплюється фосфатна група і виділяється близько 10 ккал енергії. Відновлення АТФ йде за рахунок креатинфосфату (КФ), вуглеводів, жирів і рідше білків. Енергія розпаду цих речовин забезпечує зв'язок АДФ і фосфату з утворенням АТФ (рис. 1.10). Робота при якій ресинтез АТФ здійснюється переважно аеробним шляхом, називається *аеробною*, якщо ж енергозабезпечення діяльності в основному йде без участі кисню, то така робота називається *анаеробною*.

Відновлення АТФ в працюючому м'язі здійснюється за допомогою трьох енергосистем: фосфатної, лактацидної, кисневої. Перші дві енергосистеми — фосфатна і

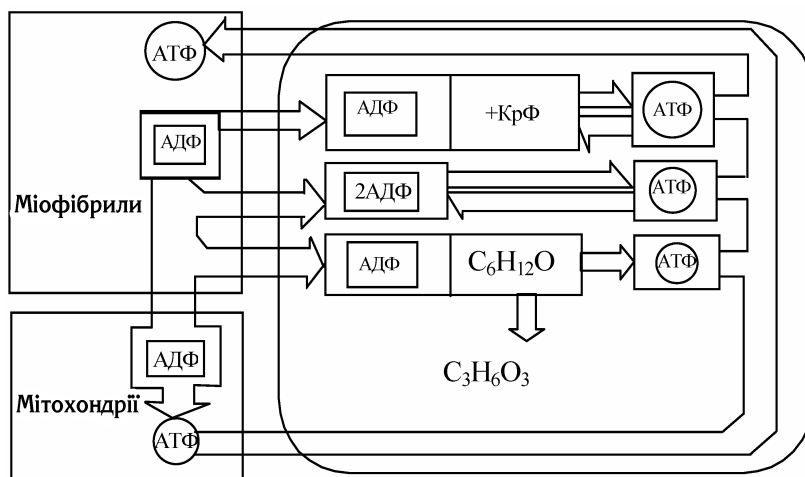


Рис. 1.10

Енергетичний обмін в м'язах (за А. Леві і Ф. Сікевичем, 1971): I — ресинтез АТФ за рахунок енергії КрФ; II — ресинтез АТФ з двох молекул АДФ; III — ресинтез АТФ за рахунок анаеробного розпаду вуглеводів

лактацидна — анаеробні, третя — аеробна. Відмінність однієї енергосистеми від іншої полягає у використанні для енергопродукції різних речовин (енергосубстратів) в їх енергоємності і енергопотужності.

Енергосмність системи — максимальна кількість енергії, яка може бути утворена за рахунок даної системи. **Енергопотужність** — найбільша кількість енергії, яка може бути утворена за рахунок даної енергосистеми в одиницю часу. Ємність енергосистеми визначає тривалість роботи, її загальний обсяг; потужність енергосистеми зумовлює граничну інтенсивність діяльності. Отже, участь кожної з енергосистем в енергозабезпеченні м'язової діяльності визначається її потужністю і тривалістю. Потужність фосфатної енергосистеми — 36 ккал/хв, лактацидної — 12 ккал/хв, кисневої (при окисленні глікогену і глюкози) — 8 ккал/хв, при окисленні жирів — 4 ккал/хв; ємність цих енергосистем відповідно рівна — 5, 12, 800 і 60 000 ккал енергії.

У людини вагою 70 кг м'язова маса складає близько 25–30 кг. У найбільш типових видах глобальної м'язової діяльності бере участь близько 2/3 всієї м'язової маси. Загальна маса м'язів, що скорочуються (активна м'язова маса), — 20 кг. Цю величину м'язової маси і беруть за основу при розрахунках ємностей і потужностей енергетичних систем. Найбільшою енергетичною ємністю з усіх м'язових джерел енергії володіють жири. Один моль жирів при окисленні дає 2400 ккал, 1 моль глюкози при анаеробному розщепленні — 50 ккал, при аеробному — близько 700 ккал, 1 моль АТФ забезпечує 10 ккал, 1 моль КФ — 10,5 ккал.

Фосфатна енергосистема. При дії цієї енергосистеми ресинтез АТФ здійснюється за рахунок креатинфосфату (АТФ і КФ належать до групи фосфагенів). При розпаді КФ утворюється креатин, нез'язаний фосфат і близько 10,5 ккал енергії (в розрахунку на 1 моль КФ), яка негайно використовується для ресинтезу АТФ. Таким чином, КФ — це перший енергетичний резерв м'яза, безпосереднє джерело енергії для відновлення АТФ.

Фосфатна енергосистема найбільш потужна — 36 ккал/хв, її енергія завжди використовується на початку м'язових скорочень і особливо при використанні короткочасних напружених навантажень — (швидкий біг, підняття вантажу, стрибки тощо). Ємність фосфатної системи невелика, приблизно 5 ккал. Саме цим і пояснюється невелика тривалість граничних навантажень. Так, енергозабезпечення швидкого бігу з енергозапитом 1 ккал/с за рахунок даної енергосистеми може тривати не більше 5 с. Таким чином, запаси КФ для ресинтезу АТФ обмежені, тому при більш тривалій роботі вслід за фосфатною енергосистемою включаються в дію інші енергосистеми — гліколітична і аеробна.

Лактацидна енергосистема. Вона забезпечує ресинтез АТФ і КФ шляхом анаеробного розщеплення глікогену (анаеробний глікогеноліз) і глюкози (гліколіз). Внаслідок цих реакцій утворюється значна кількість молочної кислоти — лактациду.

Глікогеноліз, що проходить в м'язах, має перевагу над гліколізом. При розщепленні однієї глюкозної одиниці, отриманої з м'язового глікогену, в процесі гліколізу утворюється 30 ккал енергії, а з молекули глюкози — 20 ккал. Лактацидна енергосистема має першо-

q_j]h`gZq_ggy_j]h aZ[_a in`p_bgggZd Z g | Z `l j g vZ e • k l x 20-30 k ^ h
1-3 o.\ < p _ c _ j • h \ d j h \ \ b d j Q a y } l v k ” •

. 5 1 5 1 (0 2 7 3 7 0 3 3 0 2 7 3 7 0 2 6 4 0 2 6 a 0 7 9 a 0 2 1 b 0 T T / T T 6 1

'5 1 Tf 0.2737 0 330264026a079a021b0TT /TT6 1

гаряча їжа, теплі напої, недостатня рухова активність, систематичні порушення режиму праці і відпочинку, наявність шкідливих звичок (тютюнопаління, вживання алкоголю, наркоманія, токсикоманія, переїдання, статеві надмірності) — усе це чинники, які призводять до зменшення обсягу функціональних резервів, зниження рівня здоров'я. Без систематичних занять фізичними вправами неможливо забезпечити зростання функціональних резервів здоров'я, неможливо адаптувати організм до постійно змінних умов існування і, нарешті, неможливо забезпечити філогенетично сформовану потребу людини в руховій активності. Окрім того, недостатність рухової активності, формуючи малий обсяг функціональних резервів, є однією з головних причин дезадаптації людини до зростаючих темпів зміни довкілля (забрудненість повітря, води, їжі), зростаючих нервово-емоційних перенапружень, пов'язаних з неможливістю позитивного вирішення елементарних соціальних завдань (житло, професія, працевлаштування тощо).

Розглядаючи проблему здоров'я людини з позицій ролі фізичних вправ в реалізації генетично запрограмованої тривалості життя індивіда, логічним є формулювання терміну «здоров'я» як психофізичного стану людини з великим обсягом функціональних резервів, як основи її повноцінного біосоціального існування, високої фізичної і інтелектуальної працездатності, високої імунної і фізіологічної реактивності стійкості щодо впливу чинників довкілля та відсутності патологічних відхилень в організмі.

Наслідки гіпокінезії (гіподинамії). Обмеження рухової активності (гіпокінезія) супроводжується рядом функціональних і морфологічних змін в організмі. Найбільш виражено ці зміни проявляються у космонавтів, підводників, у людей, які тривалий час хворіють та не встають з ліжка. В поєднанні з всезростаючим нервово-психічним напруженням гіпокінезія сприяє формуванню дистресових станів з різким зниженням імунної реактивності організму, створенням сприятливих умов для виникнення різноманітних захворювань (табл. 1.6).

Обов'язковим наслідком гіподинамії є атрофія скелетних і серцевого м'язів. Атрофія — часткова смерть живої протоплазми клітини в ще живому організмі, викликана бездіяльністю. При цьому зменшується маса м'язової тканини і знижується працездатність м'язів. Атрофія (дистрофія) міокарду серця призводить до зниження систологічного обсягу кровообігу, підвищення ЧСС, надмірного підвищення (зниження) тонуусу кровоносних судин.

Наслідком гіподинамії є порушення структури і функції м'язів, зв'язок, сухожилів, нервово-м'язових синапсів. За таких умов зменшується суглобна рухливість, погіршується координація рухів та прояв інших рухових здібностей, згасають сформовані рухові навички (рис. 1.11).

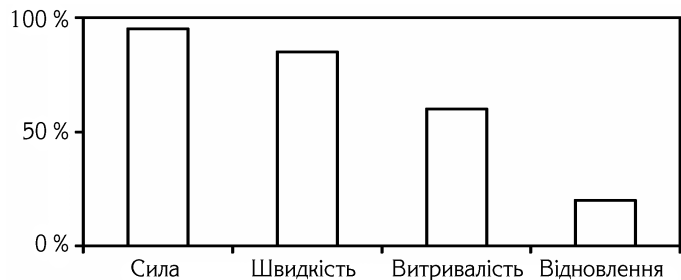
Негативний вплив гіподинамії на організм обумовлений перш за все зниженням функціональної активності ЦНС і залоз внутрішньої секреції. Основною причиною цього є різке і тривале зменшення надходження тонізуючих ЦНС аферентних імпульсів з пропріорецепторів м'язів, зв'язок і сухожилів (обмеженість прояву моторно-вісцеральних рефлексів).

Таблиця 1.6

*Вплив фізичного тренування і гіподинамії на організм людини
(С. Е. Strauzenberg, 1979)*

Фізіологічні системи, органи і показники життєдіяльності організму	Зміни, зумовлені тренуванням	Зміни, зумовлені гіподинамією
М'язи	Збільшення м'язової маси (гіпертрофія)	Зменшення м'язової маси (атрофія або інволюція)
Вегетативна нервова система	Відносна ваготонія, зняття напруження нервової системи, трофотропна направленість обміну речовин	Відносна симпатикотонія, енерготропна направленість обміну речовин
Серце і система кровообігу	Економізація роботи серця із збільшенням обсягу наповнення, зниження ЧСС і артеріального тиску	Економізація не розвивається, як наслідок, посилюється зношення серцево-судинної системи
Холестерин сироватки крові	Зниження	Підвищення
Глюкоза крові	Збільшення, включення в обмін. Поліпшення пристосувальних реакцій	Зменшення. Погіршення пристосувальних реакцій
Маса тіла	Зменшення за рахунок жирової тканини	Збільшення за рахунок жирової тканини (при відсутності обмежень надходження поживних речовин з їжею)

При тривалій бездіяльності м'язів відбувається надмірне накопичення в організмі недоокислених продуктів обміну, зокрема молочної кислоти та неорганічних фосфатів. Частина їх відкладається у вигляді солей в суглобах, камінців в нирках, жовчному міхурі тощо. Перевага процесів розпаду білків тканин над їх синтезом призводить до значних втрат організмом азоту, сірки і фосфору.



Примітка: за 100 % прийняті показники до гіподинамії (тривалість гіподинамії — 1 місяць)

Рис. 1.11

Зміна стійкості різних показників рухової діяльності людини під впливом гіподинамії (за А. Коробковим)

Фізично малоактивні люди часто хворіють такими серцево-судинними захворюваннями як інфаркт міокарду, гіпертонія, атеросклероз, ішемічна хвороба серця. Недостатня рухова активність людини є причиною зниження енергетичного обміну, що при надмірному харчуванні призводить до відкладання жиру про запас. Як наслідок, збільшується довжина судинного русла і опір руху крові, підвищується кров'яний тиск, збільшується навантаження на серце.

В умовах гіподинамії знижується функціональна активність легень. Зменшення легеневої вентиляції призводить до розвитку атрофії дихальних м'язів і недостатнього забезпечення тканин киснем (зниження енергоємності і енергопотужності аеробної системи енергозабезпечення м'язової діяльності).

Гіпокінезія негативно впливає на постійність внутрішнього середовища, на склад крові, лімфи і міжклітинної рідини. Кров експериментальних тварин, які тривалий час



Рис. 1.12

Гіпокінезія і її наслідки (за Е. Коваленком і М. Гуровським, 1980).

були знерухомилені, містила в собі зменшену кількість гемоглобіну, формених елементів крові і загального білку. Зменшений вміст білків гама-глобулінової фракції в сироватці крові знерухомилених тварин, в порівнянні з контрольними, свідчить про виражене зниження їх імунної реактивності (П. Д. Плахтій, 1990). Тривала бездіяльність є першопрічиною зменшення загальної кількості крові в організмі (рис. 1.12).

Внаслідок перебудови вегетативних функцій на більш низький рівень гомеостазу в умовах гіподинамії знижується витривалість та економічність діяльності рухового апарату і вегетативних систем енергозабезпечення, знижується обсяг функціональних резервів. За таких умов людина швидко втомлюється при виконанні будь-якої роботи.

2.5. Практичні завдання

Матеріальне забезпечення заняття: динамометри кистьові, схеми структури м'язового волокна, таблиці з порівняльною характеристикою ємностей і потужностей енергетичних систем, велоергометр, прилад для вимірювання артеріального тиску, секундомір, метровая лінійка з сантиметровими поділками; кодоскоп (діапроектор), кодопозитиви (діапозитиви) або ПК і мультимедійний проектор.

Робота 1

Аналіз взаємодії міозинових ниток саркомера на основі зміни напруження м'язів

Завдання. Виявити залежність сили м'язового скорочення від вихідної довжини м'язів; отриманими в досліді фактами підтвердити уявлення про механізм скорочення м'язів.

Методика. У досліджуваного визначають силу правої кисті. Для цього йому пропонують стиснути з граничним зусиллям динамометр при витягнутій і відведеній вбік руці. Вимір сили повторюють двічі і записують кращий результат. Тоді таким же способом визначають силу м'язів кисті цієї ж руки тільки в зміненому положенні — рука зігнута в ліктьовому суглобі і приведена до передньої поверхні грудної клітки. Пояснюють фізіологічну природу меншої величини сили кисті при вимірюванні в другому положенні. Для цього на основі знань структури м'язового волокна і механізму його скорочення в протокольному зошиті малюють схему розташування ниток актину і міозину за таких умов:

- нитки актину знаходяться в проміжках між нитками міозину в оптимальному положенні, тобто міозинові містки мають можливість при збудженні м'яза зчіплюватись з найбільш активними ділянками актинових ниток. М'яз має довжину спокою — розтягнутий настільки, що його довжина приблизно на 20 % більша рівноважної довжини — довжини, яку міг би мати м'яз в ізолюваному стані (стискання динамометра в положенні відведеної вбік руки);

- саркомери сильно вкорочені, нитки актину з обох сторін кожного саркометра виходять далеко в проміжки між нитками міозину, перекриваючись з останніми, а також між собою (положення руки зігнутої в ліктьовому суглобі);
- нитки актину виходять з проміжків ниток міозину при сильно розтягнутому м'язі. У висновках підкреслюють важливість врахування механізму м'язового скорочення при виконанні різноманітних фізичних вправ. Відмічають залежність сили напруження м'язів від їхньої вихідної довжини перед скороченням.

Робота 2

Визначення максимальної анаеробної потужності організму

Завдання. Оволодіти методиками проведення анаеробних тестів. Дослідити анаеробні можливості організму студентів групи, дати їм оцінку.

2.1. Тест Новакі (цит. за В. П. Карпманом, З. Б. Білоцерківським, І. Г. Гудковим 1988). Виконання тесту здійснюється з допомогою велоергометра. Визначають час, протягом якого обстежуваний спроможний виконувати навантаження певної величини. Таким чином досягається уніфікація потужності навантаження. Вихідне (початкове) навантаження — 1 Вт на 1 кг маси тіла. Через кожні дві хвилини навантаження збільшують на 1 Вт/кг — аж до відмови обстежуваного від подальшого виконання роботи. Цей період свідчить про те, що споживання кисню було близьке або рівне МСК. Оцінку результатів тесту Новакі проводять за даними табл. 1.7.

Таблиця 1.7

Шкала оцінки результатів тесту Новакі

Потужність навантаження, Вт/кг	Тривалість роботи на сходинці, хв	Рівень працездатності	
		Не спортсмени	Спортсмени
2	1	низький	
3	1	задовільний	
3	2	нормальний	
4	1		задовільний
4	2		добрий
5	1–2		високий
6	1		дуже високий

2.2. Тестування і оцінка максимальної анаеробної потужності. Оцінку анаеробної потужності обстежуваних проводять шляхом визначення потужності одноразового рухового акту — максимальної висоти стрибка з місця (К. Ю. Ажицький, 1990). Така «пікова» потужність в декілька разів перевищує величину максимальної потужності.

Це можна пояснити тим, що при поодинокому скороченні в якості джерела енергії використовується максимальна кількість енергії АТФ, депонованої в кожному м'язовому волокні, тоді як при виконанні максимально інтенсивної роботи, яка триває всього декілька секунд, рівень АТФ в кожний момент часу залежить від швидкості його ресинтезу.

На стіні приміщення фіксують метрову лінійку з сантиметровими позначками. Обстежуваний стає боком до стіни і, не відриваючи п'яток від опори, якнайвище торкається лінійки ближньою до стіни рукою. Після цього обстежуваний виконує вертикальний стрибок вгору поштовхом двох ніг, стараючись доторкнутись рукою лінійки якнайвище. Висоту стрибка визначають різницею між значенням першого і другого вимірювань. Оцінку «пікової» анаеробної потужності проводять за шкалою: 45 см і менше — низька; 46–48 — нижче середнього; 49–56 — середня; 57–60 — вище середнього; 61 см і більше — висока.

2.6. Ситуаційні запитання і задачі

1. Енергетичний запит юнака, що біжить стометрову дистанцію — 1 ккал/с, ємність його фосфатної енергосистеми — 0,5 М АТФ. Визначте максимально можливу тривалість роботи юнака за рахунок енергії фосфатної енергосистеми.
2. Визначте енерговитрати юнака, який протягом двох годин виконував велоергометричну роботу. Відомо, що енергозабезпечення роботи здійснювалось за рахунок АТФ (3М), Крф (5М), глюкози при анаеробнім розщепленні (4М), глюкози при аеробнім розщепленні (1М), жирів (0,1 М).
3. Дистанцію 1 км учень пройшов із швидкістю руху 6 км/год, інший учень цю ж дистанцію подолав, біжучи підтюпцем, з швидкістю 10 км/год. З врахуванням енергоекономічності бігу та ходьби дайте оцінку ефективності роботи виконаної першим і другим учнем.
4. Визначте величину енерговитрат юнака, який виконав 6-хвилинну роботу на велоергометрі. Споживання кисню (CPO_2) — 4,2 л/хв, дихальний коефіцієнт (ДК) — 0,9. Калоричний еквівалент кисню (KEO_2) при даному ДК — 4,92 ккал.
5. Працюючи на велоергометрі юнак витрачав протягом кожної хвилини 2 г вуглеводів і 0,2 г жирів. Тривалість роботи — 2 години. Яку кількість енергії витратив юнак на виконану роботу за даних умов?
6. Скільки днів необхідно бігати людині масою тіла 70 кг по 1 год в день, щоб позбутися зайвих 5 кг жирової маси. Відомо, що за 1 год повільного бігу на 1 кг маси тіла витрачається 6,7 ккал. Енергетична вартість 1 г жиру — 9,3 ккал.
7. Вкажіть, в якому віковому періоді найбільш інтенсивно розвиваються механізми аеробного, анаеробно-гліколітичного та кретинфосфатного енергозабезпечення м'язової діяльності.

8. Вікові особливості вдосконалення механізмів енергозабезпечення м'язової діяльності зумовлюють відповідні зміни розвитку окремих рухових здібностей. Вкажіть, які рухові здібності найбільш доцільно розвивати в період переважаючого природного розвитку даної системи енергозабезпечення діяльності?
9. При споживанні школярами, що тренуються, анаболіків (синтетичних аналогів чоловічих статевих гормонів) спостерігається прискорений розвиток міофібрилярної гіпертрофії м'язів. Разом з тим відомі небажані наслідки використання анаболіків в практиці фізичного виховання та у спорті. Вкажіть на них?
10. Поясніть, чому у учня, який систематично виконує відносно великий обсяг малоінтенсивних циклічних навантажень, майже не розвивається міофібрилярна гіпертрофія м'язів?

2.7. Тести

Нервово-м'язове сполучення

1. Скелетний м'яз має такі фізіологічні властивості:
 - а) автоматизм, збудливість, провідність, скоротливість;
 - б) збудливість і скоротливість;
 - в) збудливість і провідність;
 - г) провідність і скоротливість.
2. В механізмі м'язового скорочення кальцій відіграє роль активатора:
 - а) міоглобіну;
 - б) саркоплазматичного ретикулула;
 - в) актину;
 - г) міозину.
3. Скорочення м'язових волокон здійснюється за рахунок енергії, яка безпосередньо вивільняється при розщепленні:
 - а) глюкози і глікогену;
 - б) жирів;
 - в) АТФ;
 - г) креатинфосфату.
4. Міозинові головки (мостики):
 - а) активують розщеплення АТФ під час м'язового скорочення;
 - б) здатні з'єднуватись з нитками актину;
 - в) гальмують процес зчеплення міозинових і актинових ниток;
 - г) а + б.
5. Медіатор ацетилхолін нервово-м'язового синапса бере участь:
 - а) у вивільненні іонів з цистерн поздовжніх трубочок саркоплазматичного ретикулула;
 - б) в передачі збудження від аксона до сарколеми;
 - в) в передачі збудження від сарколеми до аксона;
 - г) а + б.

6. М'язовий потенціал дії, що виникає під впливом нервових імпульсів, викликає:
- а) деполяризацію пресинаптичної мембрани;
 - б) деполяризацію мембран цистерн і вихід з них іонів кальцію;
 - в) активацію тропоміозину;
 - г) активацію кальцієвої помпи.

Механізм м'язового скорочення

7. При м'язовому скороченні довжина світлих дисків:
- а) зменшується;
 - б) не змінюється;
 - в) збільшується;
 - г) а + б.
8. Безпосереднім джерелом енергії для ресинтезу АТФ є енергія:
- а) білків;
 - б) вуглеводів;
 - в) креатинфосфату;
 - г) жирів.

Енергетика м'язового скорочення

9. Ресинтез АТФ в аеробних умовах забезпечується:
- а) гліколітичними реакціями при розщепленні глюкози і глікогену до молочної кислоти;
 - б) енергією креатинфосфату;
 - в) енергією окислення білків;
 - г) енергією окислення вуглеводів і жирів.
10. Максимальна кількість енергії, яка може бути отримана за рахунок даної енергосистеми, називається:
- а) енергопотужністю;
 - б) енергоємністю;
 - в) енергобалансом.
11. Максимальна кількість енергії, яка може бути вивільнена за рахунок даної енергосистеми за одиницю часу називається:
- а) енергопотужністю;
 - б) енергоємністю;
 - в) енергобалансом.
12. При розщепленні 1 моля АТФ виділяється така кількість енергії (ккал):
- а) 10;
 - б) 20;
 - в) 10,5;
 - г) 20,5.
13. При розщепленні 1 моля креатинфосфату виділяється така кількість енергії (ккал):
- а) 10;
 - б) 20;
 - в) 10,5;
 - г) 20,5.
14. Ємність фосфатної енергосистеми, що оцінюється запасом АТФ в 20 кг м'язової маси, складає:
- а) 1 моль АТФ (10 ккал);
 - б) 0,5 моля АТФ (5 ккал);
 - в) 0,1 моля АТФ (1 ккал);
 - г) 0,05 моля АТФ (0,5 ккал).

15. Енергопотужність фосфатної енергосистеми (ккал):
а) 16; б) 26; в) 36; г) 46;
16. Потужність лактацидної енергосистеми (ккал/хв):
а) 6; б) 12; в) 18; г) 24.
17. Ємність лактацидної енергосистеми (ккал/хв):
а) 6; б) 12; в) 18; г) 24.
18. При повному аеробному розщепленні однієї молекули глюкози до води і вуглекислого газу утворюється така кількість молекул АТФ:
а) 18; б) 28; в) 38; г) 48.
19. При аеробному розщепленні однієї молекули глюкози до молочної кислоти утворюється така кількість молекул АТФ:
а) 2; б) 12; в) 28; г) 38.
20. Енергозабезпечення тривалих фізичних навантажень (споживання кисню до 50 % від МСК) проходить переважно за рахунок окислення:
а) вуглеводів; б) жирів; в) білків; г) вуглеводів і білків.
21. При інтенсивних навантаженнях (споживання кисню близьке до МСК) основна частина аеробної енергопродукції утворюється за рахунок окислення:
а) вуглеводів; б) жирів; в) білків; г) вуглеводів і білків.
22. Потужність кисневої енергосистеми при окисленні глюкози і глікогену (ккал/хв):
а) 2; б) 4; в) 8; г) 16.
23. Енергоємність кисневої енергосистеми при окисленні глюкози і глікогену (ккал):
а) 400; б) 800; в) 1000; г) 60000.
24. Енергоємність кисневої енергосистеми при окисленні жирів, (ккал):
а) 400; б) 800; в) 1000; г) 60000.
25. В нормі середній вміст жирів в організмі людини становить (в % від маси тіла):
а) 5–10; б) 10–20; в) 20–40; г) 40–50.
26. Потужність кисневої енергосистеми при окисленні жирів, (ккал/хв):
а) 2; б) 4; в) 8; г) 16.
27. Питома енергоємність жирів (ккал енергії, що міститься у ваговій одиниці енергосубстрату):
а) 4,1; б) 6,3; в) 9,3; г) 12.
28. Калорійний еквівалент кисню при окисленні вуглеводів:
а) 5,05; б) 4,7; в) 4,3; г) 4,1.
29. Калорійний еквівалент кисню при окисленні жирів:
а) 5,05; б) 4,7; в) 4,3; г) 4,1.

Робоча гіпертрофія м'язів

30. Саркоплазматична гіпертрофія м'язів розвивається переважно при систематичному виконанні:
- а) динамічних вправ з близькомаксимальними і максимальними навантаженнями;
 - б) великих навантажень ізометричного типу;
 - в) тривалих динамічних вправ невеликої потужності;
 - г) помірних ізометричних навантажень.
31. Міофібрилярна гіпертрофія розвивається переважно при:
- а) великих динамічних навантаженнях;
 - б) великих ізометричних навантаженнях;
 - в) помірних динамічних навантаженнях;
 - г) слабких ізометричних навантаженнях.
32. Серед гормонів, які позитивно впливають на розвиток робочої гіпертрофії м'язів першочергова роль належить:
- а) естрогенам;
 - б) глюкокортикоїдам;
 - в) андрогенам;
 - г) мінералокортикаїдам.

Фізіологічні основи адаптації організму людини до фізичних навантажень

33. Функціональні ефекти тренування визначаються:
- а) в стані спокою;
 - б) при виконанні дозових навантажень;
 - в) при виконанні навантажень максимальної потужності;
 - г) а + б + в.
34. Функціональні ефекти тренування:
- а) специфічні;
 - б) неспецифічні,
 - в) специфічні лише при тренуванні сили;
 - г) специфічні лише при тренуванні витривалості.
35. Специфічність функціональних ефектів тренування більш виражено проявляється щодо:
- а) осіб, що не займаються фізкультурою і спортом;
 - б) спортсменів масових розрядів;
 - в) спортсменів високої кваліфікації.
36. Враховуючи специфічність функціональних ефектів адаптації організму до фізичних навантажень, тренування спортсменів доцільно проводити:
- а) в умовах максимально наближених до змагань;
 - б) в умовах, суттєво відмінних від змагальних;
 - в) в постійно змінних умовах.

37. У спортсменів масових розрядів більшість позитивних тренувальних ефектів зникає вже через (місяців):
а) 1–2, б) 4–5, в) 6–8, г) 8–10.
38. Зворотність тренувальних ефектів обумовлює необхідність дотримання такого педагогічного принципу тренування:
а) доступності, б) систематичності,
в) активності, г) свідомості.
39. Величина навантажень як визначального фактору у формуванні функціональних ефектів тренування включає:
а) тривалість і інтенсивність навантажень,
б) частоту тренувань і інтенсивність навантажень,
в) тривалість навантажень і частоту тренувань,
г) частоту тренувань + а.
40. Для визначення величини тренувальних навантажень необхідно враховувати:
а) вік і стать людини,
б) максимально допустимий рівень фізичної активності,
в) ціль, якої хоче досягти особа тренуваннями,
г) а + б + в.

Оцінка теми 2 модуля 1 (40 запитань)

Оцінка модуля	Кількість вірних відповідей						
	40–34	33–31	30–28	27–25	24–22	21–15	14 і <
За шкалою університету	100–90	89–82	81–75	74–69	68–60	59–35	34–1
За національною шкалою	5	4	4–	3	3–	2	2–
За шкалою ECTS	A	B	C	D	E	FX	F

Тема 3. Регуляція напруження м'язів

3.1. Логіка викладу і засвоєння матеріалу

1. Форми, типи і режими м'язових скорочень. Характеристика основних форм м'язових скорочень. Поняття долаючих, підтримуючих і уступаючих зусиль.
2. Режими скорочень м'язових волокон. Характеристика режиму поодиноких скорочень. Суперпозиція. Тонічне напруження м'язів. Міотонетрія. Тетанічне напруження м'язів. Контрактура.
3. Фізіологічні механізми внутрішньом'язової і міжм'язової координації функцій опорно-рухового апарата. Регуляція числа активних рухових одиниць. Регуляція режиму роботи (активності) рухових одиниць в часі. Механізми міжм'язової координації. Характеристика електроміограми.

4. Робота м'язів і її механічна ефективність. Залежність коефіцієнта корисної дії від величини навантаження і швидкості скорочення м'язів. Фізіологічні особливості динамічної і статичної роботи м'язів. Натуження.

3.2. В результаті вивчення матеріалу теми Ви повинні знати:

- основні форми і типи м'язових скорочень, відмінні особливості долаючих, підтримуючих і уступаючих зусиль;
- характерні особливості різних режимів роботи скелетних м'язів;
- механізми внутрішньом'язової і міжм'язової координації функцій опорно-рухового апарату;
- залежність ефективності роботи від величини навантаження і швидкості скорочення м'язів;
- чинники, які можуть впливати на ефективність м'язової роботи;
- фізіологічні особливості динамічної і статичної роботи.

вміти:

- класифікувати фізичні вправи з врахуванням типів м'язових скорочень;
- характеризувати різні режими скорочень м'язів;
- використовувати метод міотометрії для оцінки напруженості м'язової роботи — ефективності використання відновних засобів;
- попереджувати виникнення контрактур;
- використовувати метод електроміографії для аналізу ефективності внутрішньом'язової і міжм'язової координації функцій опорно-рухового апарату;
- визначати роботу м'язів і її механічну ефективність;
- характеризувати динамічну і статичну роботу м'язів.

3.3. Основні терміни, поняття і скорочення

вароліїв міст; довгастий мозок; екстрапірамідна система; екстрапірамідний шлях; коефіцієнт корисної дії (ККД); контрактура; кортікобульбарний тракт; кортікостінальний тракт; м'язові веретена; м'язові волокна: екстрафузальні, інтрафузальні; міотометрія; мозочок; натуження; нова кора; пірамідний шлях; пропріорецептор; пучки Голя і Бурдах; режим скорочень м'язів; спинний мозок (СМ); спинномозковий тракт Флексіга і Говерса; стара кора; тетанус: гладенький, зубчастий; тип скорочення м'язів: ексцентричний, ізометричний, ізотонічний, концентраційний; тонічне напруження м'язів; тонус м'язів; форми скорочення м'язів: ауксотонічна, динамічна, статична; червона субстанція; червоне ядро; чотиригорбкове тіло.

3.4. Теоретичні відомості

1. Форми, типи м'язових скорочень

В залежності від характеру зміни довжини м'яза, що скорочується, розрізняють динамічну, статичну і ауксотонічну форми м'язового скорочення. *Динамічним* називається скорочення м'яза, яке викликає зміну його довжини. Таке скорочення лежить в основі динамічної роботи. Динамічні скорочення бувають двох типів: концентричні і ексцентричні. Коли зовнішнє навантаження менше, ніж напруження м'яза, що скорочується, м'яз, скорочуючись, вкорочується, викликаючи рух. *Це концентричний тип скорочення*. Скорочення м'яза при сталому напруженні називають *ізотонічним* (ізо — рівний, тонос — напруження). Якщо зовнішнє навантаження більше, ніж напруження м'яза в час скорочення, говорять про *ексцентричний або міометричний тип скорочення*. Такий м'яз розтягується в час скорочення. В природних умовах даний тип скорочення може спостерігатися при роботі м'язів в уступаючому режимі (опускання вантажу, робота м'язів-розгиначів в час скорочення м'язів-згиначів). Динамічні вправи, які лежать в основі динамічної роботи, мають фізичне вираження (кгм, Вт, Дж, ккал), для них може бути визначений коефіцієнт корисної дії.

Скорочення м'язів, при яких вони розвивають напруження, але не змінюють своєї довжини, називають *статичними*. Такі скорочення забезпечують підтримання тіла в просторі, вони направлені на протидію земному тяжінню і сприяють збереженню відповідної пози тіла. Підтримання людиною природної пози здійснюється енергоекономічними, маловтомлюваними тонічними напруженнями м'язів. Більшість же статичних вправ (положень, поз), які зустрічаються у житті людини, пов'язані з тетанічними напруженнями м'язів.

Статичній формі скорочень відповідає *ізометричний тип скорочень*, що проявляється в двох випадках: коли зовнішнє навантаження дорівнює напруженню, яке розвиває м'яз, і коли зовнішнє навантаження більше напруження м'яза, але відсутні умови для його розтягнення.

Прикладом концентричного та ізометричного скорочень м'язів може бути стискання м'язами кисті руки динамометра з рухливою стрілкою. В момент руху стрілки динамометра м'язи обстежуваного, стискаючи прилад, працюють в концентричному режимі. Як тільки стрілка динамометра зупиниться, що відповідає максимальній довільній силі обстежуваного, концентричний тип скорочення змінюється ізометричним, при якому м'язи напружені, але не вкорочуються.

Скорочення, при яких змінюється довжина і напруження м'язів, називають *ауксотонічним*. Така форма скорочень м'язів зустрічається найчастіше, адже в реальних умовах діяльності людини чисто ізометричні і чисто ізотонічні скорочення практично не зустрічаються. Узагальнена характеристика форм і типів м'язових скорочень подана в табл. 1.8.

Таблиця 1.8

Характеристика форм і типів м'язових скорочень

Форми скорочення м'язів	Тип скорочення	Зовнішнє навантаження	Зовнішня робота
Динамічна	концентричний (ізотонічний)	менше, ніж напруження м'язів	позитивна
	ексцентричний	більше, ніж напруження м'язів	негативна
Статична	ізометричний	дорівнює напруженню м'язів	рівна нулю

У відповідності з типом скорочення м'язів, які забезпечують виконання даної вправи, усі фізичні вправи поділяються на статичні та динамічні. Відповідно і будь-яка фізична робота в крайніх значеннях може бути динамічною і статичною. Частіше статична робота є тимчасовим елементом в одному з циклів динамічної роботи.

При динамічному скороченні виконується зовнішня робота: при концентричному скороченні — позитивна, при ексцентричному — негативна. Величина роботи в обох випадках визначається як добуток зовнішнього навантаження (ваги) на пройдену відстань. При ізометричному скороченні «відстань» дорівнює нулю, а, значить, м'яз виконує «нульову» роботу. Проте ізометричне скорочення пов'язане з значними витратами енергії і тому може бути дуже втомливим. В даному випадку роботу м'язів оцінюють за тривалістю часу підтримання ним даної величини напруження (імпульс сили у фізиці).

Співвідношення вираженості динамічних і статичних скорочень у виконанні даної вправи дозволяє умовно поділити їх на долаючі (підняття вантажу), підтримуючі (утримання вантажу) та уступаючі (опускання вантажу). Долаючі вправи характеризуються концентричним (ізотонічним) скороченням м'язів внаслідок їх вкорочення. Уступаючі скорочення — ексцентричні. В них зовнішня сила, яка діє на м'яз, більша за силу, яку розвиває працюючий м'яз. З долаючими та уступаючими вправами пов'язана уява про позитивну та негативну роботу.

Робота в спадаючому режимі здійснюється значно меншою мобілізацією гемодинаміки. При цьому необхідний рівень хвилинного обсягу кровообігу при роботі в даному режимі здійснюється не стільки за рахунок збільшення ЧСС і систолічного тиску, скільки через зниження діастолічного тиску за рахунок збільшення пульсового тиску (І. Б. Тьомкін, 1974).

При виконанні роботи в переборюючому (долаючому) режимі ступінь активізації пропріорецепції, внаслідок протилежно спрямованої дії сил гравітації, більш високий, ніж при роботі в спадаючому режимі. Як наслідок, і вираженість функцій систем киснезабезпечення при виконанні долаючих вправ більш висока. Робота в спадаючому режимі висуває менші вимоги до серцево-судинної системи, а пристосування до неї здійснюється більш раціональним шляхом.

2. Режими скорочення м'язових волокон. Міотонетрія

В залежності від частоти імпульсації мотонейрона м'язові волокна рухової одиниці (РО) можуть працювати в двох режимах — в режимі поодинокого скорочення і в режимі тетанічного скорочення (рис. 1.13).

Режим поодиноких скорочень виникає тоді, коли інтервал між суміжними імпульсами мотонейрона дорівнює або дещо більшій тривалості поодинокого скорочення інервованих ним м'язових волокон.

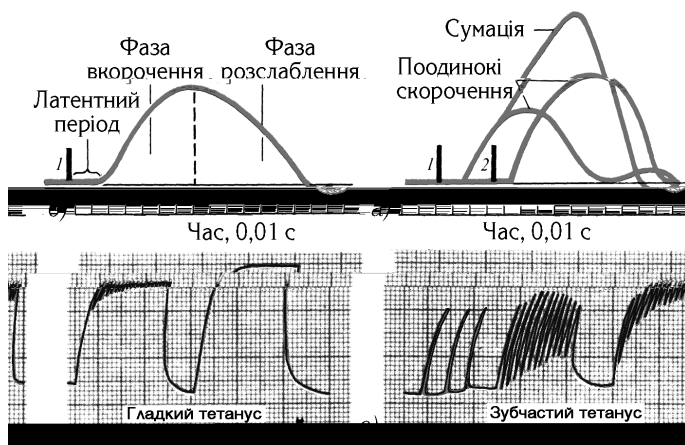


Рис. 1.13

Поодинокі скорочення (а), сумація (б), тетанус (в): 1 — момент першого подразнення, 2 — момент другого подразнення

Робота м'язових волокон в режимі поодиноких скорочень відбувається при відносно низькій частоті імпульсації мотонейронів, яка не однакова у різних рухових одиниць. Це зумовлено перш за все різною тривалістю поодинокого скорочення різних м'язових волокон (рис. 1.14). Так, для повільних РО, м'язові волокна яких мають тривалість поодиноких скорочень 100 мс (0,1 с), режим поодиноких скорочень спостерігається при частоті імпульсації мотонейрона, яка не перевищує 10 імп/с. Для швидких РО, м'язові волокна яких мають меншу тривалість поодинокого скорочення (наприклад, 20 мс), режим поодиноких скорочень спостерігається при частоті імпульсації мотонейрона — 50 імп/с.

В кривій поодинокого ізометричного скорочення м'яза виділяють три фази: латентний (прихований) період збудження, фаза підйому напруження і фаза розслаблення. При концентричному

Рис. 1.14

Криві поодинокого скорочення змішаного м'яза (а), м'яза з білих (б) і червоних (в) волокон: I — скорочення, II — струм дії

скороченні ці фази позначаються дещо інакше: латентний період збудження, фаза вкорочення, фаза видовження. Тривалість фази напруження (вкорочення) приблизно в двічі коротша, ніж фаза розслаблення (видовження).

Тривалість фази вкорочення окремих РО, а, отже, швидкість скорочення різних м'язів у різних тварин не однакова. Так, для м'язів крила колібрі вона складає 8 мс, для згиначів пальців кішки — 10 мс, для скелетних м'язів людини — 10–70 мс, для литкового м'яза черепахи — 300 мс. В середньому час поодиноких скорочень РО різних м'язів ссавців коливається від 10 до 20 мс, а сила поодиноких скорочень — від десятої долі грама до 100 г.

Працюючи в режимі поодиноких скорочень, м'язові волокна неспроможні розвинути велике напруження. Це пояснюється коротким періодом активного стану, внаслідок чого скоротливі елементи м'яза починають розслаблюватись, не досягнувши максимуму напруження.

Тонічне напруження м'язів. Здатність скелетної мускулатури тривало, стійко підтримувати скорочення (напруження) називається **тонусом, або тонічним напруженням**. Робота м'язів в умовах тонічного напруження пов'язана з меншими енерговитратами, ніж при звичайному гладенькому тетанусі. Цим пояснюється низька втомлюваність м'язів, які знаходяться в тонусі. Тонус скелетних м'язів підтримується завдяки надходженню до них з ЦНС відносно нечастих імпульсів (до 10 імпульсів за 1 с). Такі еферентні імпульси є проявом тонусу нервових центрів. Надходячи по мотонейронах до м'язових волокон, вони викликають слабкий **зубчастий тетанус**, який і проявляється у вигляді енергоекономних тонічних скорочень м'язів. В режимі поодинокого скорочення працюють повільні РО, які включаються в активний стан по черзі, тривалий час підтримуючи позу тіла та протидіючи силам земного тяжіння.

Тонус м'язів має рефлекторне походження. Його виникнення і підтримання зумовлене наявністю в м'язах тонічно напружених РО, які постійно контролюються нервовими центрами. В свою чергу, тонус нервових центрів підтримується по зворотних зв'язках аферентними імпульсами, що йдуть від пропріорецепторів. М'язовий тонус є основою підтримання необхідної пози тіла в умовах постійної дії сил земного тяжіння.

Дослідження м'язового тонусу є важливим елементом у вивченні стану опорно-рухомого апарату школярів, які займаються фізичною культурою та спортом. Особливо важливе значення має вивчення м'язового тонусу для нормування навантажень школярів.

Розкриття регуляції тонусу скелетних м'язів у людини в умовах дії земного тяжіння створює необхідні передумови для дослідження тонусу скелетних м'язів в умовах абсолютної і відносної невагомості. Адже майбутні польоти людей в космос вимагають знань того, як змінюватиметься координація рухів, в якій мірі та за яких умов вона зберігатиметься якнайдовше.

Міотонометрія. Вивчення тонусу м'язів ґрунтується на вимірюванні напруження м'язів в даний момент часу. Звідси, тонус м'язів — це їх реакція на механічні впливи

(дії) поздовжньої чи поперечної направленості. В залежності від цих впливів виділяють **динамічний тонус**, коли визначається опір м'язів, розтягнених в поздовжньому напрямку, і **пластичний**, коли визначається опір м'язу тиску, що діє в поперечному напрямку щодо певної точки м'язу.

Амплітуда тонусу (різниця між показниками тонуса м'язу при його довільному скороченні і розслабленні) завжди більш висока у осіб фізичної праці, ніж у ненаренованих осіб. Чим вища амплітуда тонусу, тим вища фізична підготовленість людини.

Існують вікові особливості тонусу скелетних м'язів. У хлопчиків 8–9-літнього віку він вищий, ніж у дівчаток. Суттєве збільшення тонусу скелетних м'язів відмічається у підлітків 12–15-літнього віку.

У ранньому віці скелетні м'язи знаходяться в стані постійного тонусу і рівень виходу актинових ниток за межі міозинових не суттєвий. В дошкільному віці, із зменшенням участі скелетних м'язів в теплоутворенні, вони набувають все більшої здатності до розслаблення. Як наслідок зростає рівень входження актинових ниток між міозинові, зростає показник амплітуди тонусу. Довільне розслаблення скелетних м'язів більш утруднене, ніж їх довільне напруження. Спроможність м'язів до розслаблення з віком зростає.

Вимірювання тонусу м'язів в умовах максимального напруження і при розслабленні (**міотонометрія**) дозволяє кількісно характеризувати їх скоротливу функцію і здатність до розслаблення (еластичність, твердість, пружність). Скорочення та розслаблення окремих груп м'язів обумовлені досконалістю центральнонервових механізмів координації (див. 3 «Фізіологічні механізми внутрішньом'язової і міжм'язової координації функцій»). МіотонOMETричні дослідження згаданих процесів є важливим об'єктивним методом оперативної оцінки рівня функціонального стану нервово-м'язового апарату і впливу на нього різних за характером навантажень.

МіотонOMETрію проводять з допомогою приладів Уфлянда, Жукова, Дубровського, Дерябіна, Козловського. Одиницею виміру тонусу м'язів є міотон (умовна одиниця шкали міотонOMETра). Міотони приладів різних конструкцій нерівноцінні, а тому для попередження помилок при порівняльній міотонOMETрії необхідно користуватися одним типом приладів.

Свідоме напруження чи розслаблення м'язів пов'язане з формуванням складних і тонких диференційовок. Тому у ненаренованих до фізичної роботи осіб спроможність гальмувати м'язовий тонус розвинута недостатньо. Це свідчить про низьку здатність м'язів до розслаблення. Свідоме бажання знизити м'язовий тонус малоефективне.

Тетанічне скорочення м'язів. При руховій діяльності звичайно до м'язових волокон надходить серія нервових імпульсів, які викликають тривале тетанічне скорочення м'язів — тетанус. Тетанічні скорочення властиві тільки скелетним м'язам. Гладенькі м'язи внутрішніх органів та поперечносмугастих м'язів серця, мають тривалий рефрактивний період. Тому тетанічні скорочення для них не властиві. Тетанічні скорочення, в порівнянні з поодинокими, більш тривалі та сильні.

Тетанус викликається сумациєю поодиноких м'язових скорочень, коли повторний нервовий імпульс надходить до м'яза раніше, ніж повністю завершиться його поодиноке скорочення (рис. 1.15).

За таких умов відбувається накладання однієї хвили поодиноких скорочень на другу (*явище суперпозиції*). Якщо ж кожний наступний імпульс надходить до м'яза в той момент, коли він починає розслаблюватись, то виникає *зубчастий неповний тетанус*; якщо ж повторний імпульс приходить в період його скорочення — виникає *суцільний (повний) або гладенький тетанус*. В умовах суцільного тетанусу м'яз розвиває більш сильне скорочення, ніж в умовах зубчастого тетанусу.

Частота імпульсів, яка необхідна для виникнення тетанусу, обернено пропорційна швидкості поодиноких скорочень. Для виникнення суцільного тетанусу в повільних РО достатня частота імпульсів 25 за 1 с, а для швидких РО — 50 імпульсів за 1 с і більше.

В цілісних м'язах, які складаються з багатьох сотень РО, тетанус є наслідком сумациї асинхронних позмінних скорочень різних РО. В режимі такого скорочення (при певній (оптимальній) частоті подразнення) досягається максимальне скорочення м'яза. Надмірне збільшення частоти імпульсів викликає зниження сили скорочення м'язів. Зниження сили скорочення м'язів при високій частоті подразнення (більше 120 імпульсів за 1 с) є наслідком стійкої деполяризації мембрани, що виникає при сумациї постсинаптичних потенціалів.

Контрактура. Поряд з тетанічним скороченням м'язів зустрічається ще одна різновидність тривалого скорочення м'язів — контрактура. Контрактура — це локальне, тривале і сильне скорочення м'язових волокон. Воно характеризується стійким напруженням (стягуванням) м'яза з сильно сповільненим розслабленням.

Контрактура буває природженою (природжене різке обмеження рухомості внаслідок недорозвинутості м'язів і суглобів) і набутою. Набуті контрактури виникають при порушеннях функцій нервової системи, а також в умовах дії надмірного за силою больового або температурного подразника. Професійні контрактури зумовлені тривалою інтенсивною активністю певних груп м'язів. Контрактура при стомленні характеризується збільшенням тривалості періоду скорочення та розслаблення м'язів. В даному випадку вона зумовлена змінами обміну речовин у м'язах.

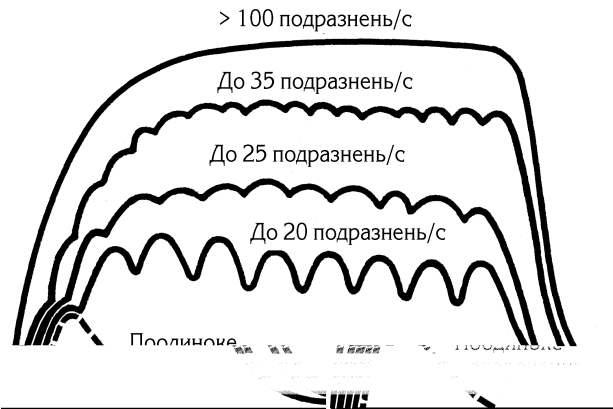


Рис. 1.15
Формування тетанусу в залежності від частоти подразнення

3. Фізіологічні механізми внутрішньом'язової і міжм'язової координації функцій опорно-рухового апарата. Електроміограма

Регуляція напруження м'язів здійснюється через механізми управління м'язовим апаратом — механізми внутрішньом'язової і міжм'язової координації. Внутрішньом'язова координація рівня напруження даного м'яза досягається:

- регуляцією числа активних РО даного м'яза;
- режимом активності РО (роботи більшості РО в тетанічному режимі);
- одночасною активністю більшості мотонейронів.

РО, яка в даний момент часу отримує від мотонейрона нервові імпульси і її волокна скорочуються, називається **активною РО**. Чим більше активних РО у даного м'яза, тим більше напруження він розвиває. Число активних РО визначається інтенсивністю збуджуючих еферентних впливів ЦНС, які в значній мірі регулюються вольовими зусиллями. Якщо для виконання даного рухового завдання м'яз повинен розвивати невелике напруження, то до його мотонейронів (малих мотонейронів з низьким порогом збудження) надходять відносно слабкі за силою збуджуючі нервові імпульси, які активують повільні РО.

Для розвитку м'язом великого напруження ЦНС активуються великі високопорогові мотонейрони, які включають в діяльність швидкі (великі) РО. Цей механізм включення (**рекрутування**) РО у відповідності з їх розмірами називається «**правилом розміру**» (Е. Хеннеман). У відповідності з цим правилом найменші (повільні) РО активні при будь-якому напруженні м'яза, а великі (швидкі) РО активні лише при сильному м'язовому напруженні. Тому ступінь використання, а отже і функціонального вдосконалення (тренування) великих (швидких) РО у звичайних умовах повсякденної діяльності завжди нижчий, ніж малих (повільних) РО.

Активність різних видів РО визначається потужністю і тривалістю виконуваної роботи. При виконанні тривалої м'язової роботи помірної потужності в першу чергу функціонують низькопорогові повільні РО. В міру їх стомлення в роботу включаються більш високопорогові РО.

Режим активності РО. Режим роботи РО визначається частотою імпульсації мотонейронів. Чим вища (в межах оптимуму частоти) частота імпульсації мотонейрона, тим більше напруження розвиває РО (перехід зубчастого тетанусу в гладенький). Частота імпульсації мотонейронів визначається збуджуючими впливами рухових центрів кори мозку і підкіркових моторних центрів. Функціональний стан нервових центрів, в свою чергу, залежить від вольових якостей даної людини та емоцій. Якщо частота імпульсації з боку ЦНС невелика, то працюють низькопорогові, малі (повільні) мотонейрони, які активують повільні РО. А оскільки частота імпульсації мотонейронів невелика, то РО працюють у режимі поодиноких скорочень або в режимі зубчастого тетанусу. Такий режим роботи РО забезпечує виконання м'язом тривалої, малоінтенсивної невтомливої роботи, направленої, наприклад, на збереження пози тіла. При більш високій

частоті імпульсації з боку ЦНС, раніше працюючі в режимі зубчастого тетанусу, низькопорогові РО починають працювати в режимі гладенького тетанусу. У цей період, спочатку в режимі поодиноких скорочень, а потім у тетанічному режимі, починають працювати і великі, високопорогові РО. Такий режим роботи м'язів пов'язаний з великими витратами енергії, він дуже втомливий, а тому короткотривалий.

Зв'язок активності РО у часі. Ступінь напруження м'яза визначається також тим, як пов'язані в часі імпульси, які надходять від різних мотонейронів до даного м'яза. В звичайних умовах більшість РО даного м'яза працює асинхронно-рівномірно, незалежно одна від одної, що зменшує амплітуду фізіологічного тремору і забезпечує необхідну плавність скорочення м'яза та велику точність утримання необхідної пози. Втома м'яза приводить до синхронного (одночасного) скорочення його РО. При цьому рух втрачає плавність, порушується точність, виникає втома — великі коливальні рухи з частотою близько шести коливань за 1 с.

При роботі РО у режимі гладенького тетанусу характер зв'язку в час імпульсної активності мотонейронів практично не впливає на величину максимального напруження. Але при короткочасних скороченнях або на початку будь-якого скорочення м'язів синхронізація імпульсної активності мотонейронів впливає на швидкість розвитку напруження («градієнт сили» або «вибухова сила»): чим більше співпадань у скоротливих циклах різних РО на початку скорочення м'яза, тим швидше зростає величина напруження.

Координація активності окремих м'язів здійснюється шляхом включення «потрібних» для успішного виконання даної вправи м'язів-синергістів і виключення «непотрібних» в даний момент м'язів-антогоністів. Завдяки високій досконалості механізмів міжм'язової координації істотно зменшується загальна напруженість м'язів, зростає їх максимальна довільна сила.

Електроміограма. У відповідності до частоти подразнень збуджене м'язове волокно відповідає повним ритмом електричних потенціалів. З допомогою електроміографа ці електропотенціали м'язових волокон реєструють у вигляді електроміограми (ЕМГ).

При слабкому скороченні м'яза, коли активні тільки деякі його РО, вдається зареєструвати електричну активність окремих РО. При збудженні багатьох м'язових волокон відбувається сумація їхніх струмів дії, яка має характер осциляції — потенціали дії активних РО нашаровуються один на одного (явище *інтерференції*). При цьому амплітуда коливань збільшується, а ЕМГ перетворюється у інтерференційну ЕМГ, в якій не вдається відокремити ПД окремих РО. Між сумарною електричною активністю і силою скорочення м'яза в межах від слабких до субмаксимальних фізичних навантажень існує пряма залежність.

Для кількісної оцінки електричної активності м'язів проводять інтегрування інтерференційної ЕМГ — визначення загальної площі кривої коливань електричної активності досліджуваного м'яза. В міру розвитку втоми амплітуда ЕМГ збільшується. Це пояснюється включенням в роботу високопорогових РО.

За ЕМГ оцінюють рівень вдосконалення рухової навички (правильність включення окремих м'язів), структуру рухової навички (черговість включення окремих м'язів) напруженість м'язів, вираження втоми тощо.

4. Робота м'язів і її механічна ефективність

Скорочуючись м'яз виконує зовнішню *механічну роботу* — добуток величини сили (наприклад, піднятого вантажу) на відстань переміщення. Одиниця виміру роботи — кілограмометр (кгм) або джоуль (Дж). Один Дж — це робота сили в 1 ньютон при переміщенні тіла на відстань 1 м.

Відношення величини роботи до часу її виконання називається *потужністю*. Потужність вимірюється в ватах (Вт), кгм/с або кгм/хв (1 Дж/с = 1 Вт; 1 кгм/с = 9,8 Вт; 1 Вт = 0,102 кгм/с або 6,12 кгм/хв).

Ефективність роботи м'язів (ефективність використання енергії) оцінюють шляхом визначення *коефіцієнта корисної дії* (ККД). ККД — це виражене у відсотках відношення корисної механічної енергії (КМЕ), затраченої на роботу, до загальних енерговитрат (ЗЕ) мінус витрати енергії у стані спокою за період виконання роботи (ВЕС).

$$ККД = \frac{КМЕ}{ЗЕ - ВЕС} 100.$$

Величина ККД при ходьбі — 20–25 %, бігу, їзді на велосипеді — 30–40 %, підніманні вантажу — 10–15 %, плаванні — 3–6 %. Низький ККД при плаванні пояснюється значними енерговитратами, пов'язаними з високою теплоємністю води.

Таким чином, тільки 30–40 % енергії скорочення м'язів витрачається на механічну роботу, а решта 60–70 % розсіюється у вигляді тепла (для порівняння: ККД паровоза — близько 6 %, тепловоза — 40 %, сучасного електровоза — 60 %, стрибаючого кенгуру — 76 %). Висока економічність руху кенгуру зумовлена здатністю її скелетних м'язів багаторазово використовувати вивільнену енергію, яка нагромаджується в «м'язах-пружинах». Явище повторного використання енергії (*рекуперація*) спостерігається і у спортсменів — стрибунів, лижників, гребців. Оскільки потенційна енергія м'язів може зберігатися дуже короткий час — (через 5–6 с вона майже повністю розсіюється), її використання можливе тільки при високому темпі рухів. Принцип рекуперації враховується при конструюванні спеціальних черевиків з пружинами для стрибання «по-кенгуриному».

Закон середніх навантажень і середніх швидкостей. Ефективність роботи м'язів залежить від величини навантаження і швидкості скорочення — він найбільший при навантаженнях, які складають половину від максимальної сили м'язів (*закон середніх навантажень*), і при швидкості скорочення — 35 % від максимальної (*закон середніх швидкостей*). При більш високих швидкостях значна частина енергії витрачається на подолання внутрішнього тертя (в'язкості): чим більша швидкість скорочення м'язів, тим більше внутрішнє тертя.

Закони середніх навантажень і середніх швидкостей необхідно враховувати на виробництві і в практиці фізичного виховання. У процесі фізичних тренувань одночасно із збільшенням функціональних можливостей рухового апарата збільшуються і абсолютні значення середніх навантажень і швидкостей. Тому величину середніх навантажень і швидкостей в кожному окремому випадку необхідно визначати експериментально, враховуючи вік, розвиток окремих груп м'язів та інші чинники. Прикладом практичного використання законів середніх швидкостей і середніх навантажень може бути їзда на велосипеді з переключенням передачі або зигзагоподібне піднімання туристів вгору тощо.

При вантажах більших від величини напруження, яку м'яз розвиває, зовнішня робота дорівнює нулю. Проте у цьому випадку м'яз знаходиться в стані напруження і витрачає енергію (статична робота), яка повністю перетворюється в тепло.

Знаючи рівень споживання кисню, механічну продуктивність роботи (ККД м'язової діяльності) розраховують за формулою:

$$ККД = 0,49 \cdot \frac{MP}{C_n O_2} \cdot 100,$$

де: MP — механічна (зовнішня) робота в кгм; $C_n O_2$ — обсяг використаного організмом при роботі кисню в мл; 0,49 — коефіцієнт еквівалентності між механічною роботою і обсягом використаного кисню.

Із зростанням фізичної підготовленості людини ефективність роботи м'язів зростає. Це досягається шляхом зменшення енерговитрат за рахунок покращення діяльності (економічності функціонування) дихальної і серцево-судинної систем, які забезпечують працюючі м'язи киснем та енергосубстратами, а також завдяки покращенню координації рухів (гальмування активності м'язових груп, які не беруть участі у виконанні даної роботи).

Динамічна і статична робота. М'язова робота, при якій відбувається переміщення вантажу і рух кісток в суглобах, називається **динамічною**. При виконанні такої роботи спостерігається вкорочення і розслаблення м'язів. Робота, при якій м'язові волокна розвивають напруження, але майже не вкорочуються, називається **статичною** (м'язи знаходяться в ізометричному напруженні).

Динамічна робота може продовжуватись тривалий час. Це пояснюється почерговим скороченням і розслабленням окремих м'язів. Динамічна робота м'язів лежить в основі ходьби, бігу, плавання, багаточисельних виробничих рухових актів тощо.

Статична робота швидко викликає стомлення і не може продовжуватись тривалий час. Це пояснюється розвитком у рухових центрах працюючих м'язів захисного гальмування, яке завжди виникає тим швидше, чим інтенсивніша пропріорецептивна імпульсація. В умовах інтенсивних статичних навантажень, внаслідок розвитку великого внутрішньом'язового тиску, порушується капілярний кровообіг м'язів, розвивається гіпоксемія, нагромаджується значна кількість продуктів обміну. Все це призводить до швидкого розвитку втоми і мимовільного припинення статичного зусилля.

Натуження. Статичні вправи силового характеру виконуються з затримкою дихання і натуженням. Натуження пов'язане з напруженням м'язів живота та діафрагми при підніманні вантажу або при подоланні зовнішнього опору (в єдиноборствах). При цьому різко підвищується внутрішньочеревний та грудний тиск, фіксується грудна клітка, знижується забезпечення організму киснем. Натуження завжди починається на вдиху, закінчується на видиху. Досить часто натуження поєднується з напруженням м'язів кінцівок.

Різде зменшення відтоку венозної крові до правого передсердя при натуженні призводить до застою крові у венозній частині великого кола кровообігу, при цьому зменшується і надходження крові до лівого передсердя. Як наслідок, зменшується величина систолічного обсягу крові та падає кров'яний тиск (у натренованих людей звуження периферичних судин може призвести до незначного підвищення кров'яного тиску). Після закінчення натуження, внаслідок збільшення притоку крові до серця, збільшується систолічний обсяг крові і підвищується кров'яний тиск.

При натуженні відзначають незначне зростання м'язової сили, що, ймовірно, є наслідком подразнення механо- та хеморецепторів, розташованих у легеневій та черевній порожнинах. Ці рецепторні впливи через ЦНС підвищують збудливість м'язів. Не виключено тут і формування домінанти, яка забезпечує посилення збудливості домінантних рухових центрів кори мозку за рахунок імпульсів, адресованих іншим нервовим центрам.

Вплив статичних навантажень на організм людини вивчено недостатньо, що значно ускладнює використання статичних вправ в оздоровчому тренуванні школярів і дорослих. Статичні навантаження повинні бути адекватними позам і статичним напруженням, які властиві дітям і підліткам в повсякденному житті і при заняттях фізкультурою та спортом.

Найбільш адекватними статичними навантаженнями є зусилля, направлені на утримання маси тіла в положенні лежачи на стегнах, лежачи на спині, верхній чи нижній половині свого тіла. При цьому спостерігається тривале (до відмови) напруження великих груп м'язів. Розвиваючи статичну витривалість, такі вправи сприяють удосконаленню вегетативного забезпечення м'язових напружень за рахунок оптимізації функцій серцево-судинної і дихальної систем — вдосконалення механізмів аеробного енергозабезпечення м'язової діяльності. Статичні навантаження (з вихідним положенням стоячи) не повинні виконуватись до відмови і перевищувати 70 % від максимального зусилля.

При тренуванні статичної витривалості доцільно поєднувати ізометричні скорочення м'язів (не тривалих і не максимальних за потужністю) з динамічними, з включенням вправ на розслаблення. Оптимальним навантаженням для розвитку статичної витривалості є статичні вправи тривалістю 80–85 % часу від максимально можливого утримання статичного напруження.

3.5. Практичні завдання

Матеріальне забезпечення заняття: таблиці, схеми, кодопозитиви з питань даної теми, кодоскоп або ПК і мультимедійний проектор, осцилограф, підсилювач змінного струму, нашкірні електроди, лейкопластир, кистьовий динамометр з рухливою стрілкою, міотонометр Козловського або ін.

Робота 1

Дослідження біоелектричної активності м'язів людини

Завдання. Оволодіти методикою реєстрації електричної активності м'язів.

Методика. Для виконання роботи готуємо прилади — підсилювач змінного струму (УБП 1-03 або аналогічні), осцилограф, включаємо їх в мережу. Нашкірні електроди заповнюють пастою і фіксують лейкопластирем на протертій спиртом шкірі над двоголовим м'язом на віддалі 2 см один від одного; підключають до підсилювача, з'єднаного з осцилографом.

Досліджуваному пропонують стиснути кистьовий динамометр з рухливою стрілкою, утримуючи якнайдовше зусилля рівне 50 % від максимального. Реєструють електроміограму на початку роботи і перед відмовою піддослідного продовжити роботу. Через 5 хв відпочинку дослід повторюють, даючи досліджуваному вказівку якнайдовше утримувати зусилля з максимальним напруженням.

Визначають частоту потенціалів дії і амплітуду найбільших хвиль, отриманих електроміограм. На основі аналізу отриманих даних роблять висновок про динаміку синхронізації роботи рухових одиниць при виконанні навантажень різної потужності. Про дисхронізацію свідчить виникнення великої кількості дрібних коливань за умови зниження кількості хвиль високої амплітуди. При середніх навантаженнях амплітуда потенціалів дії зростає, а частота зменшується. Це свідчить про наростання втоми. При максимальному статичному напруженні м'язів відмічається зміна високого рівня синхронізації на початку роботи, дисинхронізацією з розвитком втоми під кінець роботи. Амплітуда потенціалів дії при цьому зменшується.

Робота 2

Дослідження статичного напруження м'язів

Завдання. Оволодіти методиками дослідження тривалості статичного напруження скелетних м'язів. Оцінити статичну витривалість гімнастів та легкоатлетів.

Методика. Статичне напруження (статичну витривалість) великих груп м'язів гімнаста і легкоатлета (стаера) досліджують за показниками тривалості утримання тіла на гімнастичній лаві (М. В. Антропова, А. Г. Хрипкова, 1982) та за тривалістю втримання ніг під кутом 45°, лежачи на спині (К. Ю. Ажицький, С. В. Коротких, А. П. Єрьомін, 1990).

Таблиця 1.9

Статична витривалість гімнастів і легкоатлетів масових розрядів в умовах виконання статичних напружень

Досліджувані групи спортсменів	Тривалість утримання ніг, с	Тривалість утримання тулуба, с	Тривалість відновного періоду, с
Легкоатлети (n = 100)	96 ± 2,8	62,8 ± 2,6	176 ± 3,8
Гімнасти (n = 100)	107 ± 3,4	79,5 ± 2,6 P < 0,001	204 ± 3,0 P < 0,001

1. Спираючись стегнами на гімнастичну лаву, обстежуваний старається якнайдовше утримувати верхню частину тіла (за рахунок статичного напруження відповідних м'язів) паралельно поверхні підлоги в положенні обличчям вниз. Ноги фіксуються під рейкою гімнастичної стінки, руки — за голову.
2. Лежачи на спині (руки за головою), обстежуваний піднімає ноги до утворення кута 45°. Відмічають час, протягом якого обстежуваний утримує ноги, не змінюючи означеного кута. В час тестування статичної витривалості досліджуваних, візуально і пальпаторно визначають групи м'язів, які беруть безпосередню участь у виконанні вище зазначених вправ.

Отримані в досліді дані порівнюють з даними тривалості статичних напружень великих груп м'язів в положенні лежачи на стегнах з утриманням ваги тіла до відмови у підлітків (Л. Г. Петров, В. Г. Петров, 1984): у 10-річних підлітків — 89,33 ± 6,11 с, у 15-річних — 100,3 ± 8,95 с. У висновках до роботи вказують, які групи м'язів беруть участь у виконанні першої і другої вправ; відмічають відповідність отриманих показників статичної витривалості показникам табл. 1.9. (П. Д. Плахтій, 1998)

Робота 3

Визначення тонусу м'язів

Завдання. Оволодіти методикою визначення тонусу м'язів методом міотометрії. Проаналізувати експериментальні данні тонусу м'язів нижніх кінцівок підлітків 15–17 річного віку в стані спокою, після розминки та основної (ігрової) частини уроку фізкультури (П. Д. Плахтій, 1998; табл. 8 і 9).

Методика. Міотометр Ю. І. Козловського (1978) являє собою індикатор годинникового типу з щупом і обмежувальним кільцем, зафіксованим так, щоб щуп приладу виходив за межі обмежувача на 6 мм. Для визначення точки, на яку ставитиметься міотометр, обстежуваному пропонують максимально напружити досліджуваний м'яз. Найбільш виступаючу його частину помічають чорнильною крапкою. Визначають тонус м'яза в даній точці спочатку при її найповнішому розслабленні (ТР) — тонус розслаблення, тоді — при максимальному напруженні (ТН) — тонус напруження. Для цього, приставивши щуп до мітки на м'язі, злегка приспускають прилад (нитка

ледь-ледь прогинається). Оскільки вага приладу стала, то і тиск щупа міотонометра буде також величиною сталою.

Після визначення тону м'яза в розслабленому стані і при максимальному ізометричному напруженні, розраховують амплітуду тону (АТ) — різницю між ТН і ТР. Чим більша різниця показників міотонометра в розслабленому стані і при її максимальному напруженні (більша амплітуда твердості м'яза), тим кращий функціональний стан нервово-м'язової системи і, навпаки, зниження амплітуди твердості м'яза свідчить про погіршення його функціональних можливостей. При втомі (перевтомі) амплітуда тону зменшується.

Тонус окремих груп м'язів визначають в усіх студентів групи, які спеціалізуються з одного виду спорту, але мають різний рівень кваліфікації.

Таблиця 1.10

Тонус м'язів в стані спокою у підлітків 15–17-річного віку

Досліджувані групи м'язів	Вік учнів, років		
	15	16	17
Кравецький м'яз	98,3±5,2	73,6±6,6	62,6±7,2
Чотирьохголовний м'яз	75,6±4,8	66,8±7,9	60,0±11,6
Зовнішня головка інкроножного м'яза	74,2±4,9	72,0±14,2	54,0±14,2
Внутрішня головка інкроножного м'яза	71,4±6,6	63,3±18,0	58,8±18,6
Камбаловидний м'яз	102,2±5,4	76,4±10,1	58,6±20,4

Таблиця 1.11

Зміни тону м'язів нижніх кінцівок після розминки (чисельник) та ігрової частини уроку фізкультури (знаменник) у підлітків 15–17-річного віку

Досліджувані групи м'язів	Вік учнів, років		
	15	16	17
Кравецький м'яз	<u>70,5±6,6</u>	<u>68,9±6,0</u>	<u>72,6±11,6</u>
	38,7±3,6	64,2±6,7	79,2±8,9
Чотирьохголовний м'яз	<u>48,4±6,7</u>	<u>60,0±7,2</u>	<u>83,0±8,3</u>
	34,6±3,8	42,0±14,2	62,3±12,4
Зовнішня головка інкроножного м'яза	<u>40,9±4,2</u>	<u>49,7±7,4</u>	<u>58,6±16,0</u>
	33,6±5,0	43,9±5,9	55,4±8,7
Внутрішня головка інкроножного м'яза	<u>35,4±3,8</u>	<u>43,6±7,2</u>	<u>54,3±8,1</u>
	34,6±5,2	42,7±8,0	54,3±9,0
Камбаловидний м'яз	<u>51,9±7,6</u>	<u>63,5±8,0</u>	<u>57,7±6,6</u>
	43,1±4,4	54,2±7,9	60,0±10,2

У висновках до роботи вказують на практичне значення міотонометрії, зокрема, як засобу контролю за ефективністю реакції опорно-рухового апарату на фізичне навантаження. З даних табл. 1.10 і 1.11 (П. Д. Плахтій, 1998) видно, що з віком внаслідок вдосконалення механізмів центральнонервового управління м'язовим апаратом тонус м'язів знижується. Порівнюючи дані міотонометрії досліджуваних різної спортивної кваліфікації, роблять висновок про те, що систематичні заняття фізичними вправами сприяють зменшенню м'язового тонусу.

Робота 4

Порівняльна характеристика динамічної і статичної роботи

Завдання. Виявити направленість і вираженість змін функціонального стану кардіореспіраторної системи у людини за умови виконання динамічної і статичної роботи.

Методика. Із студентів групи підбирають двох піддослідних приблизно однакового рівня фізичної підготовленості. Інші студенти отримують завдання досліджувати динаміку одного з фізіологічних показників: ЧСС, артеріальний тиск, частоту і глибину дихання, хвилинний обсяг дихання за допомогою спірографа або спірометра. Додатково до згаданих показників розраховують систолічний і хвилинний обсяг кровообігу, коефіцієнт витривалості та споживання кисню (див. заняття 32 і 35).

Споживання кисню ($C_n O_2$) розраховують за формулою:

$$C_n O_2 = \frac{0,35 \cdot ХОД}{100},$$

де: 3,5 — кількість кисню (мл), що поглинається з 100 мл вдихуваного повітря в стані спокою; *ХОД* — хвилинний обсяг дихання, л/хв. При фізичній роботі величина споживання кисню складає 4,5 % від легеневої вентиляції.

Після проведення підготовчих робіт в обох обстежуваних визначають вказані фізіологічні показники в стані спокою, тоді вдруге — після фізичного навантаження.

В якості експериментального навантаження перший обстежуваний (після його приєднання через загубник до спірографа), виконує статичне напруження: утримання ніг під кутом 90° з вихідного положення сидячи на сидінні велоергометра.

Після закінчення вправи реєструється тривалість статичного напруження і повторюється визначення передбачених дослідом фізіологічних показників: одразу ж після роботи, на 3-й, 6-й і 10-й хвилині відновного періоду.

Другий обстежуваний виконує динамічну роботу (крутіння педалей велоергометра або біг на місці в максимальному темпі) протягом часу, який був витрачений першим досліджуваним на виконання статичної роботи. Як і в попередньому випадку досліджувани показники реєструють перед роботою, після навантаження і у відновному періоді.

Результати досліджень фізіологічних реакцій серцево-судинної і дихальної систем, при статичній та динамічній роботі, заносять до протокольної таблиці та аналізують.

Роблять висновки щодо виразності вегетативних зрушень та втомлюваності статичної і динамічної роботи. Для наочності фізіологічних зрушень динаміку змін досліджуваних показників ілюструють графічно (на осі абсцис відмічають час в секундах, а на осі ординат — динаміку зміни досліджуваних показників).

Протокольна таблиця характеристики динамічної і статичної роботи за показниками кардіореспіраторної системи

Фізіологічні показники	Стан спокою	Після статичної роботи				Після динамічної роботи			
		Перші 10 с	3-я хв	6-а хв	10-а хв	Перші 10 с	3-я хв	6-а хв	10-а хв
ЧСС, ск/хв									
АТ, мм рт. ст.									
Пульсовий тиск, мм рт.ст.									
СОК, мл									
ХОК, л/хв									
КВ, ум. од.									
Частота дихання, за 1 хв									
Глибина дихання, мл									
ХОД, л/хв									
$C_n O_2$, л/хв									

3.6. Ситуаційні запитання і задачі

1. При стисканні кистьового динамометра проявляються як концентричні (ізотонічні), так і ізометричні скорочення м'язів-згиначів пальців кисті. Вкажіть, якому періоду стискання динамометра при тестуванні максимальної довільної сили відповідатимуть згадані типи скорочень м'язів?
2. Виконання інтенсивних статичних вправ протипоказанні дітям середнього і особливо молодшого шкільного віку. Обґрунтуйте значимість цього положення для практики фізичного виховання.
3. Чим шкідливе надмірне розтягання м'язів? Чому при заняттях з дітьми належить уникати пасивних рухів, які сприяють перерозтягненню м'язів?
4. Важливим методом тестування функціонального стану м'язів є міотонометрія. Вкажіть на значення міотонометрії для практики фізичного виховання.
5. У двох учнів 8-го класу визначені показники максимальної довільної (МДС) і максимальної істинної сили (МІС) згиначів плеча. У першого досліджуваного ці показники відповідно становили 6 і 8 кг/см², у другого — 7 і 8 кг/см². У кого з обстежуваних юнаків більш досконале центральнервово управління м'язовим апаратом?

6. Поряд з тетанічним скороченням м'язів існує ще одна різновидність тривалого скорочення м'язів-контрактура. Дайте характеристику основним різновидностям контрактур.
7. Перед виконанням швидкісно-силових вправ (метання списа, штовхання ядра тощо) учня навчають дещо розтягувати м'язи (за межі довжини спокою), які беруть участь у виконанні вправи. Для чого це робиться?
8. Поясніть природу прямої залежності величини ізометричного напруження (статична робота на витривалість) від його тривалості. Яким повинно бути навантаження, щоб робота в ізометричному режимі могла продовжуватись якнайдовше?
9. Фізичним тренуванням можна поліпшити рівень ефективності (ККД) роботи. Що це значить з точки зору енергетики? Чому при виконанні професійної роботи не бажано, щоб величина навантаження перевищувала 50 % від МСК?
10. Хвилине споживання кисню учнем, який виконав велоергометричне навантаження величиною 2000 кгм/хв, — 4000 мл кисню. Яка ефективність виконаної роботи? Коефіцієнт еквівалентності між механічною роботою (МР) і обсягом використаного кисню ($C_{11}O_2$) — 0,49.
11. Визначте величину степ-ергометричної роботи і споживання кисню юнаком 17-літнього віку. Вага досліджуваного — 70 кг, висота двосходинкової драбини — 0,5 м, частота сходжень за 1 хв — 33.

3.7. Тести

Форми і типи м'язових скорочень

1. В залежності від характеру зміни довжини м'яза, що скорочується, розрізняють такі форми м'язового скорочення:
 - а) концентричну, ексцентричну і динамічну;
 - б) статичну, ізометричну і аксотонічну;
 - в) концентричну, ізометричну, ауксотонічну;
 - г) статичну, динамічну, ауксотонічну.
2. Розрізняють два типи динамічних скорочень:
 - а) ізометричний і ізотонічний;
 - б) ізометричний і ексцентричний;
 - в) концентричний і ексцентричний;
 - г) ізотонічний і концентричний.
3. Основним типом статичної форми скорочень м'язів є:
 - а) ізометричний;
 - б) ізотонічний;
 - в) концентричний;
 - г) ексцентричний.
4. Скорочення м'язів, при яких змінюється їх довжина і напруження, називаються:
 - а) динамічними;
 - б) статичними;
 - в) ауксотонічними;
 - г) переборюючими.

5. Співвідношення, вираженості динамічних і статичних скорочень у виконанні окремих вправ дозволяє умовно поділити їх на:
 - а) переборюючі, утримуючі, уступаючі;
 - б) динамічні, статичні, ауксотонічні;
 - в) переборюючі, статичні, динамічні;
 - г) аеробні, анаеробні, аеробно-анаеробні.
6. В основі більшості фізичних вправ лежить така форма м'язових скорочень:
 - а) динамічна;
 - б) статична;
 - в) ауксотонічна;
 - г) а + б.
7. З ростом спортивної майстерності затримка дихання і напруження, які виникають при виконанні статичних вправ силового характеру, стають:
 - а) більш вираженими;
 - б) менш вираженими;
 - в) змін не спостерігається.
8. Феномен статичних напружень характеризується більш вираженим посиленням вегетативних функцій:
 - а) в час статичної роботи;
 - б) в перші секунди після її закінчення;
 - в) на 3–5 хв після її закінченні;
 - г) на перших секундах статичної роботи.
9. Феномен статичних напружень частіше проявляється у:
 - а) дітей;
 - в) спортсменів;
 - б) ненапружених до статичної роботи осіб;
 - г) а + б.
10. Систематичні тренування з включенням статичних вправ прояв феномена статичних напружень:
 - а) посилюються;
 - б) згладжують;
 - в) приводять до його повного зникнення;
 - г) б + в.
11. Дихання і кровообіг при статичній роботі, в порівнянні з динамічною:
 - а) менш виражені;
 - б) більш виражені;
 - в) виражені однаково;
 - г) б + в.

Режими скорочень м'язових волокон

12. Розрізняють два режими скорочень м'язів:
 - а) поодиноких скорочень і зубчатого тетанусу;
 - б) зубчатого і гладенького тетанусу;
 - в) поодиноких і тетанічних скорочень;
 - г) ізометричних і ізотонічних скорочень.

13. На кривій поодинокого ізометричного скорочення виділяють дві фази:
а) підйому напруження і розслаблення;
б) вкорочення і видовження;
в) підйому напруження і видовження;
г) вкорочення і розслаблення.
14. Тривалість фази напруження (вкорочення) при поодинокому режимі скорочень м'язів, в порівнянні з фазою розслаблення (видовження) приблизно:
а) вдвічі коротша; б) вдвічі довша;
в) втричі коротша; г) втричі довша.
15. На кривій поодинокого ізотонічного скорочення виділяють дві фази:
а) підйому напруження і розслаблення;
б) вкорочення і видовження;
в) підйому напруження і видовження;
г) вкорочення і розслаблення.
16. Підтримання природної пози тіла людини здійснюється:
а) тонічним напруженням м'язів;
б) тетанічним напруженням м'язів;
в) напруженням м'язів в режимі зубчатого тетанусу;
г) а + в.
17. Тетанічні скорочення характерні:
а) гладеньким м'язам; б) м'язу серця;
в) скелетним м'язам; г) а + б.
18. Людина прикладає зусилля, щоб підняти тягар, який за своєю вагою набагато більший її максимальної сили. Основним типом скорочень м'язів за даних умов є:
а) концентричний; б) ексцентричний;
в) ізотонічний; г) ізометричний.
19. Суцільний (гладенький) тетанус виникає в умовах, коли повторні нервові імпульси надходять так часто, що співпадають з:
а) фазою скорочення м'яза;
б) розслаблення м'яза;
в) латентним періодом скорочення;
г) періодом після завершення повного циклу скорочення.
20. Неповний (зубчатий) тетанус виникає в умовах, коли повторні нервові імпульси надходять так часто, що співпадають з:
а) фазою вкорочення;
б) фазою здовження і розслаблення м'яза;
в) латентним періодом скорочення;
г) періодом після завершення повного циклу скорочення.

21. Тетанусом називається:
- а) аутокотонічне скорочення м'яза;
 - б) ексцентричне скорочення м'яза;
 - в) сильне і тривале скорочення м'яза при великій частоті подразнення;
 - г) тонічна скорочення м'яза статичної форми направлене на підтримання пози тіла.

Регуляція напруження м'язів. Електроміограма

22. Регуляція ступеня напруження даного м'яза здійснюється шляхом:
- а) регуляції числа активних РО даного м'яза;
 - б) режимом активності РО;
 - в) одночасної активності більшості м'язових волокон;
 - г) а + б + в.
23. В звичайних умовах повсякденної діяльності рівень використання великих (швидких) РО в порівнянні з малими (повільними) РО:
- а) вищий;
 - б) нижчий;
 - в) однаковий;
 - г) а + в.
24. Самі малі (повільні) РО активні при:
- а) будь-якому напруженні м'язів;
 - б) сильних напруженнях м'язів;
 - в) слабких напруженнях м'язів;
 - г) максимальних напруженнях м'язів.
25. Для розвитку м'язом великого напруження до його мотонейронів надходять більш інтенсивні збуджуючі впливи з ЦНС, що викликають активацію:
- а) високопорогових мотонейронів;
 - б) швидких рухових одиниць;
 - в) низькопорогових мотонейронів і повільних рухових одиниць;
 - г) а + б.
26. Великі (швидкі) РО активні при:
- а) будь-якому напруженні м'язів;
 - б) сильних напруженнях м'язів;
 - в) слабких напруженнях м'язів;
 - г) мінімальних м'язових напруженнях.
27. При тривалій м'язовій роботі, яка пов'язана з відносно помірним м'язовим скороченням, в першу чергу активуються:
- а) повільні РО;
 - б) швидкі РО (типу ІІБ);
 - в) швидкі маловтомливі РО (типу ІІА);
 - г) а + в.
28. В міру розвитку втоми у виконання напруженої динамічної роботи включаються:
- а) більш високопорогові великі РО;
 - б) менш високопорогові великі РО;
 - в) менш високопорогові малі РО;
 - г) б + в.

29. Для розвитку м'язом невеликого напруження, до його мотонейронів підходять відносно слабкі збуджуючі аферентні імпульси, що активують:
- а) високопорогові мотонейрони;
 - б) швидкі рухові одиниці;
 - в) низькопорогові мотонейрони і повільні РО;
 - г) а + б.

Робота м'язів та її механічна ефективність

30. Піднявши штангу вагою 50 кг на висоту 2 м, учень виконав роботу (кг/м):
- а) 500; б) 100; в) 200; г) 300.
31. Спортсмен підняв штангу вагою 70 кг на висоту 2 м за 1 секунду. Потужність виконаної роботи складатиме (кгм/с):
- а) 40; б) 80; в) 140; г) 240.
32. Виражене в процентах відношення корисної механічної енергії, затраченої на роботу, до загальних енергозатрат називається:
- а) коефіцієнтом корисної дії (ККД);
 - б) механічною продуктивністю роботи;
 - в) силовим дефіцитом;
 - г) а + б.
33. Величина ККД паровоза 6 %, тепловоза 40 %, електровоза 60 %, стрибаючого кенгуру — 75 %, людини (%):
- а) 5–10; б) 20–30; в) 40–50; г) 50–60.
34. ККД при плаванні (%):
- а) 3–6; б) 8–12; в) 15–20; г) 20–30.
35. ККД залежить від швидкості скорочення м'яза. Він найбільший при скороченні з швидкістю, що дорівнює (% від максимальної):
- а) 15; б) 35; в) 55; г) 65.
36. ККД залежить від величини навантаження. Він найбільший при навантаженнях, які складають таку частину від її максимальної сили:
- а) 1/2; б) 1/3; в) 1/4; г) 1/5.
37. Найбільш низький ККД у спортсменів, які спеціалізуються з:
- а) гімнастики; б) спортивних ігор;
 - в) велоспорту; г) плавання.
38. Для практичних розрахунків ККД необхідно знати:
- а) величину виконаної роботи в кГм;
 - б) обсяг використаного при роботі кисню в мл;
 - в) коефіцієнт еквівалентності між механічною роботою і обсягом спожитого кисню (0,49);
 - г) а + б + в.

39. Підвищення ККД при систематичних тренуваннях характеризується:
- специфічністю;
 - специфічність відсутня;
 - специфічність виникає лише у видах спорту, направлених на розвиток сили;
 - специфічність характерна лише для витривалісних видів спорту.
40. Аеробною називається робота, енергозабезпечення якої здійснюється в основному за рахунок такої енергосистеми:
- лактацидної;
 - окислювальної (окислення глікогену і глюкози);
 - окислювальної (окислення жирів);
 - б + в.
41. Анаеробною називається робота, енергозабезпечення якої здійснюється переважно за рахунок такої енергосистеми:
- фосфагенної;
 - лактацидної;
 - а + б;
 - окислювальної (окислення вуглеводів і жирів).

Оцінка теми 3 модуля 1 (41 запитання)

Оцінка модуля	Кількість вірних відповідей						
	41–37	36–34	33–31	30–28	27–25	24–14	13 і <
За шкалою університету	100–90	89–82	81–75	74–69	68–60	59–35	34–1
За національною шкалою	5	4	4 –	3	3 –	2	2 –
За шкалою ECTS	A	B	C	D	E	FX	F

Тема 4. Втома м'язів та особливості перебігу відновних процесів в організмі людини після фізичних навантажень

4.1. Логіка викладу і засвоєння матеріалу

- Зміни фізіологічних функцій при втомі. Суб'єктивні відчуття втоми. Об'єктивні ознаки втоми.
- Фізіологічні механізми виникнення втоми. Втома і розвиток фізичної натренованості. Перевтома.
- Особливості розвитку втоми при виконанні вправ різного характеру і інтенсивності. Фазовий характер розвитку втоми при виконанні динамічної роботи. Вплив втоми і охолодження на організм людини. Особливості прояву втоми у школярів.

4. Відновні процеси при м'язовій діяльності. Загальні закономірності відновлення функцій організму людини після роботи. Засоби прискорення перебігу відновних процесів в організмі людини після фізичних навантажень.

4.2. В результаті вивчення матеріалу теми Ви повинні знати:

- як змінюються фізіологічні функції окремих органів і систем організму при втомі;
- про суб'єктивні відчуття втоми і її об'єктивні ознаки;
- механізми, які лежать в основі розвитку втоми при виконанні роботи різного характеру і потужності;
- про взаємозв'язок втоми і розвиток фізичної натренованості людини;
- особливості розвитку втоми у дітей і підлітків.

вміти:

- оцінювати рівень втоми за суб'єктивними відчуттями і об'єктивними показниками (ознаками);
- попереджувати (сповільнювати) розвиток втоми при виконанні роботи різного характеру і потужності;
- використовувати втому для розвитку швидкісно-силових здібностей і анаеробної витривалості;
- попереджувати розвиток втоми у дітей і підлітків.

4.3. Основні терміни, поняття і скорочення

аутотренінг; відпочинок: активний, пасивний (сон); втома: компенсована, некомпенсована, непереборювальна, переборювальна; гідротерапія; гіпоксемія; гостра перевтома; електропунктура; іглерефлексотерапія; кисневий борг (КБ); лазня; масаж; суперкомпенсація; об'єктивні ознаки втоми; оксигенотерапія; перевтома: гостра, хронічна; психотерапія; суб'єктивні ознаки втоми.

4.4. Теоретичні відомості

1. Зміни фізіологічних функцій при втомі.

Суб'єктивні відчуття і об'єктивні ознаки втоми

При тривалій та інтенсивній фізичній діяльності виникає стан втоми, прямим наслідком якого є дискоординація функцій і тимчасове зниження працездатності. Втома, що не переходить певних меж, є фізіологічним, а не патологічним станом, і вона, звичайно, корисна для організму. Втома відображає перебудову регуляторних функцій

від оптимального режиму роботи до екстремального, який визначає мобілізацію наявних фізіологічних резервів організму для підтримання певного рівня працездатності.

Зовнішні об'єктивні ознаки втоми при фізичній роботі проявляються порушенням координації рухів, задишкою, надмірною пітливістю, почервонінням шкіри, зниженням продуктивності роботи тощо. Вираженість цих ознак втоми в значній мірі залежить від умов довкілля, індивідуальних особливостей людини, характеру вправ. Для контролю за станом здоров'я туристів Я. С. Вайнбаум (1991) пропонує використати такі об'єктивні і суб'єктивні ознаки втоми (табл. 1.12).

Таблиця 1.12

Об'єктивні і суб'єктивні ознаки втоми для контролю за станом здоров'я туристів

Ознака втоми	Невелика (фізіологічна) втома	Значна втома (гостра перевтома)	Виражена перевтома
Колір шкіри	Невелике почервоніння	Значне почервоніння	Різде почервоніння, поблідніння і синюшність
Пітливість	Невелика	Велика	Надмірна (особливо нижче пояса). Вихід солей на поверхню шкіри
Дихання (дихальних циклів за 1 хвилину)	На рівні до 20–26 дихань за 1 хв, при підніманні в гору до 36 дихань за 1 хв	38–46 дихань за 1 хв, поверхневе	Різде (більше 50–60 дихань за 1 хв), поверхневе, ротове, аритмічне
Рух	Бадьора хода	Невпевнена хода, легке похитування, відставання від групи	Різде похитування, поява некоординованих рухів. Відмова від подальшого руху
Загальний вигляд	Звичайний	Зниження інтересу до довкілля, втомлений вираз лица, порушення постави (сутулість, опущені плечі)	Знесилений вираз лица, апатія, різке порушення постави
Увага	Добре, безпомилкове виконання вказівок	Неточність у виконанні вказівок, помилки при зміні напрямку руху	Сповільнене, невірне виконання команд. Сприймаються лише гучні команди
Самопочуття	Ніяких скарг, крім почуття легкої втоми	Скарги на виражену втому, біль в ногах, серцебиття, задуха	Скарги на різку слабкість, сильне серцебиття, головний біль, нудота
ЧСС (ск/хв)	110–150	160–180	180–200 і більше

Стан втоми проявляється і *суб'єктивними відчуттями* болю, що локалізуються в області працюючих м'язів. Формування цих відчуттів зумовлено всезростаючою за силою і тривалістю аферентною імпульсацією, яка виникає внаслідок гіпоксії та збільшенням у м'язах і крові недоокислених продуктів обміну (іншими зрушеннями у м'язах), значних напружень діяльності вегетативних систем, які відповідають за енергозабезпечення працюючих органів, за підтримання постійності внутрішнього середовища (температури, осмотичного і онкотичного тисків тощо).

Суб'єктивні відчуття втоми не завжди співпадають з *об'єктивними змінами* фізіологічних функцій. Основною причиною цього є наявність або відсутність досвіду в аналізі м'язових відчуттів. Так, у кваліфікованих робітників, які добре вміють аналізувати м'язові відчуття, число співпадань суб'єктивного відчуття втоми з об'єктивними ознаками втоми значно вищі, ніж у початківців. Досить рідко співпадають суб'єктивні відчуття втоми з об'єктивними змінами функцій у дітей і підлітків. Тому вчителю необхідно уважно стежити за появою об'єктивних проявів втоми у школярів. Систематичний лікарський контроль стану їхнього здоров'я дозволить попередити розвиток хронічної перевтоми і перенатованості.

4.2. Фізіологічні механізми виникнення втоми. Втома і розвиток фізичної нагренованості

Відомо чимало причин (чинників), які зумовлюють виникнення втоми. Переважно, це гуморально-локалістичні чинники, кожний з яких підкреслює одну із сторін змін, що розвиваються при втомі.

Однією з причин втоми є виснаження енергозапасів. Виснаження внутрішньом'язових запасів фосфагенів (АТФ і КрФ) відіграє важливу роль у розвитку м'язової втоми при виконанні анаеробних вправ. Так, в кінці інтенсивних анаеробних навантажень вміст АТФ в м'язах знижується на 30–50 %, КрФ — на 80–90 % (Д. Карлсон та ін., 1971). Важливим чинником втоми при виконанні анаеробних вправ є виснаження запасів глікогену в м'язах та печінці і глюкози в крові, яка відіграє важливу роль в енергозабезпеченні нервових клітин.

Втома може бути спричинена надмірним нагромадженням в м'язах продуктів анаеробного обміну, зокрема молочної кислоти (лактациду). Високий вміст молочної кислоти у внутрішньому середовищі організму може призвести до зміни постійності складу крові і міжклітинної рідини (зрушення рН в кислу сторону), що, в свою чергу, погіршуючи умови для нормального функціонування нервової системи, знижує скоротливу здатність м'язів, порушує функціонування вегетативних органів. Надмірне нагромадження лактициду в працюючих м'язах є суттєвим чинником втоми при виконанні вправ тривалістю від 20–30 хв до 30–40 хв. У вправах, які не викликають вираженого нагромадження лактациду у м'язах, «засмічення» організму молочною кислотою не відіграє суттєвої ролі в розвитку втоми.

Прихильники гуморально-локалістичних теорій втоми не заперечують ролі ЦНС у виникненні втоми, проте відстоюють при цьому точку зору, згідно з якою втома перш за все виникає на периферії, а тоді вже і в нервовій системі.

Якщо повністю втомлений від довільної роботи м'яз подразнювати електричним струмом, то він знову скорочуватиметься. Це дає підставу зробити висновок про те, що причина втоми не в самому м'язі, а в порушенні регулюючої діяльності нервової системи, зокрема, в порушенні функції міоневральних синапсів (рис. 1.16).

Згідно з центрально-нервовою теорією втоми, розробленою І. М. Сеченовим, процеси, що зумовлюють втому, безпосередньо зв'язані з розвитком гальмування в рухових центрах кори великих півкуль. Розвиваючи вчення І. М. Сеченова про втому, І. П. Павлов показав, що втома відповідних рухових нервових центрів є проявом позамежного гальмування, яке виникає в інтенсивно працюючих нервових клітинах внаслідок інтенсивної пропріорецептивної імпульсації від працюючих м'язів.

Сучасні уявлення про втому базуються на положенні про багатосистемність змін функцій при роботі. Втома є наслідком змін не в якому-небудь одному органі або системі органів, а в багатьох із них. Іншими словами, ніяких спільних для усіх випадків механізмів втоми не існує. В залежності від конкретної ситуації головна роль в розвитку втоми може належати різним фізіологічним системам. Втома може бути зумовлена змінами функціонального стану регулюючих систем (нервової і гуморальної), систем вегетативного забезпечення діяльності, або ж змінами в самому руховому апараті (зміни скоротливої функції міофібрил, порушення електромеханічного зв'язку м'язових волокон, погіршення проведення імпульсів в нервово-м'язових синапсах тощо).

Подібно впливу втоми діє на організм охолодження. Шляхом активізації процесів теплопродукції холод забезпечує тренування механізмів терморегуляції, розширює межі температурного гомеостазу. Направлено змінюючи інтенсивність і тривалість впливів, які спричиняють м'язову і терморегуляційну втому, можна цілеспрямовано змінювати як фізичну працездатність, так і загартованість організму. Для досягнення ефективного оздоровчого ефекту дія холодого чинника за обсягом і інтенсивністю повинна бути достатньою (пороговою), але не надмірною (табл. 1.13).

Рис. 1.16.

Втома м'язів: А — крива поодинокого скорочення (а) і ергограма (б) невтомленого і втомленого м'яза; Б — локалізація втоми в нервово-м'язовім препараті: I — схема досліджу, II — крива втоми м'яза; а — втома при непрямому подразненні, б — скорочення м'яза при прямому подразненні (дослід показує локалізацію втоми в міоневральному синапсі)

1.13

(... , K. . . , 1985)

		< \$,
\$'		G
\$'		B ' , ' ,
G		(' ,
G		(' ,

<lhfZ•jha\bIhnd•abqgZ€j_gh\ZghAkjZqrg•abqgZ\ZgIZ`,_ygy
 ijZ\b,eiJhoh^bgZn hg•_ebdlhfB LZdj_gm\ZgZnyhgv•bjZ`_ghhfba-Z
 [_ai_qmZiZilZg_xi\hllZegrbbkcli hf]Zg%daZiFGZVHBA&pp'€&A Zevlg.bo
 gZ\ZgIZ;^ggv_kijbyle pabog_gmóh\gmlj•rgvkh]h_^h\bsiz byxqb
 fh[•e•a ZpZ€l b\gb o Zg•ahfj]Zg•,afIhf,ZI Zdbq bghklZ} bagZq Zevgbf
 qbggb d hf\bs_ggy]hmgdp•hg Ze v g b bhk IjZp_a^Zl ghkIhj_ggy
 lj_gm\ZgZvh gi•_j_[h jx\Zevlg hf kjb\h^b^hf hjn heh]•qgmgdp•h g Zev
 gb af•ghj]Zg•af dg Zke;^hah j hklZg g•heh];q g b p h]Zg•af dsh
 `lj_gm\ZgZg ZgIZ`_ijgg bgyxl vkh q Zldl hf, b j h a\b I g Zlj_gh\Zghkl
 kih\evgx}Zv kh\k i j f b i b g y}l.vky

lhjmr_gghykl•cgh h h lj•rgvkh]h_^h\by sZ b g b d i Z b \ b j Z`_g I b
 f; fh`_ghkbj bkb b k k l j_a c h] g_] Z i b \ g g Z k e ^ (Z f b _ e) v ; • h e h] • q g _
 agZq _ d g f d p v h f n o i Z ^ d l m e y] Z k \ h } q Z k g a h Z o n k j } Z g • a f m j r a Z k ,
 ch] g _ j \ h \ k k l _ f b ^ b k g Z ` _ g i n y c g m \ Z g y h k y] Z } \ d l e y q _ g g y f
 o Z g • a a Z o b k g d Z h v f m \ Z g g y

l_j_\lhf.Zj b •gl_gkb\rg•abqgZdZgIZ`_sgg d ^ih\^Zj•lgx
 gZlj_gh\Zgh]Zg•,afim g ^ h k I Z l g a f Z k h ^ i h q b g d m d j _ f b f b _
 gm\Zgg y hb e b \ b j h a \ b l h d j _ \ l h f b h a j • a g y] k k l j m o j h g • q i g m _ \ l h f m
 = h k l j Z _ j _ \ l h f Z k l i r h a \ b Z } l i y h y k g s t u v w x y z a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z

змiнами в периферичному нервово-м'язовому апаратi (погiршення засвоєння ритму доцентрових iмпульсiв, порушення дiяльностi нервово-м'язових синапсiв тощо).

Головною причиною втоми, що розвивається при виконаннi роботи тривалiстю вiд 3–5 хв до 30–40 хв (зона великої потужностi), є змiна постiйностi внутрiшнього середовища (зниження рН, недостатнє забезпечення м'язiв киснем протягом тривалого часу) з наступним розвитком захисного гальмування в ЦНС. Знижуючи лабiльностi нервових центрiв, тривала гiпоксемiя приводить до дискоординацiї вегетативних i рухових функцiй.

Втому при роботi тривалiстю бiльше 30–40 хв (зона помiрної потужностi) вчені пов'язують з монотонностю роботи, з погiршенням функцiї наднирникiв, iз значним зниженням рiвня глюкози в кровi, з великими витратами жирiв, недоокисленi продукти розпаду яких можуть викликати змiни гомеостазу внутрiшнього середовища. При виконаннi вправ помiрної потужностi значно зростає навантаження на систему транспорту кисню, необхідного для окислення глiкогену i глюкози. Таким чином, основними причинами втоми при виконаннi фiзичних вправ тривалiстю бiльше 30–40 хв є виснаження запасiв глiкогену, депонованого у працюючих м'язах i печiнцi, порушення терморегуляцiї (надмiрне пiдвищення температури тiла), а також перевитрати глюкози, зниження концентрацiї якої в кровi приводить до порушення функцiї ЦНС.

Компенсованiй i некомпенсованiй фазам втоми вiдповiдають двi фази втоми за Ю. І. Данько (1974) — *переборювальна, непереборювальна* (табл. 1.14). Пiдтримання постiйного рiвня працездатностi в першiй фазi втоми досягається всезростаючим збудженням вiдповiдних рухових центрiв кори мозку. Коефiцiєнт корисної дiї при цьому знижується. При подальшому продовженнi роботи настає друга фаза втоми з розвитком захисного гальмування i з зниженням працездатностi аж до припинення роботи. Для цiєї фази втоми характерна бiльш виражена дискоординацiя рухових i вегетативних функцiй органiзму, знижується ефективностi роботи, погiршується прояв рухових здiбностей (порушується точностi i координованiсть рухiв, падає швидкiсть рухових дiй).

Особливостi прояву втоми у школярiв. У дiтей у зв'язку з анатомо-фiзiологiчними особливостями органiзму втома розвивається швидше, нiж у дорослих. Причиною втоми

Таблиця 1.14

Характеристика фаз втоми при виконаннi динамiчної роботи

Фаза втоми	Руховий апарат	ЦНС	Вегетативнi системи
Фаза переборювальної втоми	Збереження ефективностi рухiв	Посилення домiнантного збудження (вольове зусилля, поява iндукцiйного гальмування)	Максимальне посилення функцiй i зниження ККД
Фаза непереборювальної втоми	Порушення бiомеханiки рухiв	Виражений розвиток захисного гальмування	Дискоординацiя функцiй i можливе iх послаблення

може бути порушення режиму дня, монотонність занять, часті і тривалі перенавантаження. Швидкий розвиток зовнішнього (охоронного) гальмування і послаблення внутрішнього гальмування приводять до зниження уваги, усидливості, порушень дисципліни. Враховуючи, що працездатність дітей знижується від першого до останнього уроку, а також до кінця робочого тижня, в режимі дня школяра необхідно передбачити відповідні заходи, направлені на підвищення працездатності нервових центрів кори мозку.

При систематичних перенавантаженнях дітей і підлітків втома легко переходить у перевтому. Для її попередження необхідно суворо регламентувати режим дня школяра, оптимально чергувати фізичну роботу з розумовою, виключити недосипання і монотонність роботи, збільшувати перебування дітей на свіжому повітрі, з метою прискорення перебігу відновних процесів, чергувати різноманітні види роботи.

Попереджують швидкий розвиток втоми у школярів позитивні емоції. Підвищуючи тонус симпатичної нервової системи і посилюючи синтез наднирниками катехоламінів (адреналіну і норадреналіну), вони (позитивні емоції) сприяють мобілізації енергоресурсів у працюючих органах, підвищують працездатність організму.

4.4. Відновні процеси при м'язовій діяльності

Прогресивне зростання фізичної підготовленості людини сьогодні не можливе без глибокого розуміння закономірностей перебігу відновних процесів після напруженої діяльності, без використання різноманітних засобів і прийомів, що прискорюють відновлення працездатності. Велике значення питанню відновлення працездатності приділяється і в системі соціальних, економічних та медичних заходів по зміцненню здоров'я і продовженню тривалості життя людини.

Відновні процеси — це сукупність зворотних змін у функціональних системах, які брали участь у виконанні даної роботи. У відновному періоді з організму виводяться продукти робочого метаболізму, відбувається відновлення енергосубстратів, пластичного матеріалу, окислювальних ферментів, гормонів, інших речовин. Проте відновлення — це не лише процес повернення організму до початкового рівня, це конструктивний період перебудови організму, переходу до нового стану, якісно відмінного від доробочого. Цей новий стан пов'язаний із зростанням функціональних можливостей організму, підвищенням його загальної і спеціальної працездатності (рис. 1.17).

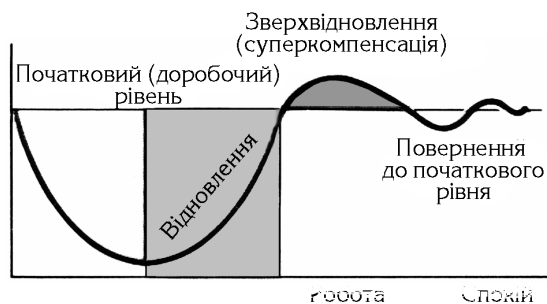


Рис. 1.17
Динаміка витрат і відновлення енергоресурсів

l j b \ b d h g Z g g z i j m
 ` _ g h € • a b q g h € h l b • ^
 [m \ Z } l v f k y j • e • a Z n p m g d
 p • h g Z e v Z d h € \ g h k r l k • o
 k b k l _ h j j] Z g • a f m k h [e b \ h
 l b o s h a Z [_ a i _ q m l e l o v
 l b g l b k g l Z k i j b y x \ l b
 \ _ ^ _ g g i x h ^ m d l h \ f • g m
 \ ^ h \ d • e B y h f m a g Z q g • c
 f • j • k i j b y p [m ^ ` _ g k o y f
 i Z l b q g l g € j \ h \ k € k l _ f b
 (j b k 1.18). R \ b ^ d • k l l y b
 \ Z e • k l v ^ g h \ e _ [g g y r h k
 l • n m g d p • h g Z i e h v d g Z a o g b
 d • l a g Z o h ^ y l v j k y f • c a - Z
 e _ ` g h k l v ^ i h l m ` g h j k h •
 [h l b q b f f _ g r Z j b \ Z e • k l v
 j h [h l b l b f d h j h l r b c _
 j • h ^ ^ g h \ e _ g g y i • k e y
 r \ b ^ d • k g h € h l b 0 - 20 k
 \ ^ g h \ e _ l g b y Z ^ _ d • e v d Z

] h ^ b g i • k e y h \] h l j b \ Z f e z j z n h g k v [d h] h q h l b j b h [b
 M \ • ^ g h \ g h i f r k e y j h [h] q i h f j m h ^ b ^ • e y x l v Z a B . F . D h p 1) r \ b ^ d h] h
 \ ^ g h \ e _ 2 g y h \ • e v g _ g r h h \ e _ 3 g y l _ j o \ ^ g h \ e _ 4 l g b y Z e h] h a g v h
] h \ ^ g h \ e _ g g j r Z • ^ j m] z Z a b ^ g h \ g h] h • h ^ z j Z d l _ j b a m • ^ g h y e _ g
 g y f i j Z p _ a ^ Z l g h k d • _ g g z e k e • v h d h g Z j h g y l b l j _ l • o Z a j Z p _ a ^ Z l g • k l v
 \ b s Z • ^ \ g y d b [m \ _ j _ ^ j _ g m \ Z g g r f l \ _ j l n Z a • ^ [m \ Z } l h k y j g _ g g y
 i j Z p _ a ^ Z l g h i k l g Z l d h \ h] h _ ^ j h [h] h • l g y
 < • ^ g h \ e _ r g r g d h • c j _ f b h j] Z g • k b k l _ ^ h j • \ g y s h f Z \ f • k p i _ j _ ^ h
 [h l h , x i j h o h ^ b] l y l _ j h o j h . g l g h r Z n Z a z Z a r Z b ^ d h] h ^ g h \ e _ g g y e v r h k
 l • \ b i Z ^ d l j b \ Z y k v h € h 8 o \ (\ p • o n Z a k i j Z p v h \ m g x l o j h] m f h j Z e o z g • a f b
 j _] m e y r p m € d p ^ c m] - Z 60 - 80 o \ • [• e v r (l j b \ Z e • ^ g h \ e) . g g y f [• e v g Z
 i j m ` _ g h [m e j z h [h] Z b f [• e v r n _ d l b \ g m x ^ j m] r z Z a z ^ g h \ e _ g g y e v r b
 j Z a g ^ j m d l m a j g • g k p • e h f j h a Z \ _ j r _ g j h y p _ k l v ^ g h \ e _ z g l y k m ^ b g b
 a Z y d b g _ [m h ^ g b i f h d Z a g b z h z y d g Z c [• e v r l x e v d • k l k e g Z i j m ` _ g h €
 • l j b \ Z e j h € h l b _ j r a z k a Z \ _ j r m } l v k g h \ e _ k g k y l _ ^ b o Z g l y ^ • • R b k l

Серед педагогічних засобів, які сприяють перебігу відновних процесів важлива роль належить **активному відпочинку**. І. М. Сеченов встановив, що відновлення працездатності втомлених роботою м'язів проходить швидше, якщо людина після роботи не відпочиває пасивно, а включає в діяльний стан м'язи, які не брали участі у попередній діяльності. Активний відпочинок — це можливість істотного підвищення ефективності відпочинку стомленого організму за рахунок фізичних вправ, які виконуються невтомленими м'язами. Встановлену особливість вчений пояснював тим, що загальмовані виконанням роботи рухові центри мозку здатні прискорено відновлюватись за рахунок неспецифічного впливу інших центрів (рис. 1.19).

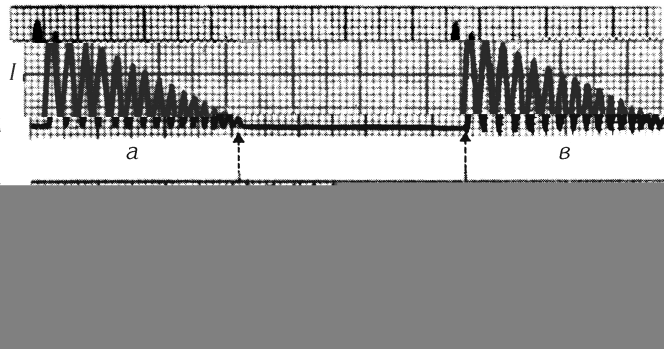


Рис. 1.19

Робота і втома («активний відпочинок» — за І. Сеченовим): I — ергограми м'язів лівої руки; II — ергограма м'язів правої руки; а — втома і зниження працездатності м'язів лівої руки; в — відновлення її працездатності після «активного відпочинку» — роботи правої руки (б)

Активний відпочинок як потужний оздоровчий чинник реалізує свою дію в двох взаємозв'язаних різних типах впливу: негайного і довготривалого (ефект кумуляції). Негайний ефект активного відпочинку забезпечує покращення функціонального стану організму безпосередньо в час використання активізуючого чинника і в найближчий період після нього. Кумуляційний ефект активного відпочинку характеризується розвитком стану адаптації до умов втомливої роботи (Є. Г. Булі, І. В. Муравов, 1994).

Позитивний вплив активного відпочинку на перебіг відновних процесів і наступну працездатність найбільш виразно проявляється при навантаженнях, що викликають середню втому, при підключенні до роботи в період відпочинку м'язів антагоністів, а також при зміні виду діяльності. Важливо враховувати, що чим виразніша втома після основної роботи, тим меншої інтенсивності повинно бути навантаження активного відпочинку і навпаки. Має значення і ступінь фізичної підготовленості людини: чим вона вища, тим ефективніший активний відпочинок. Дуже цінні в період активного відпочинку вправи на розслаблення м'язів, гігієнічне плавання, біг в легкому темпі. При активному відпочинку можливості відновлення працездатності можуть збільшуватись в порівнянні з пасивним відпочинком в 4–5 разів. В ряді випадків, зокрема, коли активуюча діяльність сприймається організмом як додаткове навантаження, активний відпочинок може привести до зниження працездатності.

Найбільший оздоровчий ефект від вправ активного відпочинку спостерігається тоді, коли ці вправи насичені руховими переключеннями (вправи із східних оздоровчих

систем — тайузіцюань, ушу, йоги). З метою підвищення ефективності активного відпочинку доцільно збільшувати різноманітність вправ і ускладнювати їх координаційну структуру, використовувати емоційно-насичену музику.

Ефективність активного відпочинку значно зростає в несприятливих (екстремальних) умовах діяльності і при підвищенні або пониженні температури навколишнього повітря, підвищенні або пониженні атмосферного тиску тощо. Позитивний ефект активного відпочинку характерний і щодо розумової діяльності.

До педагогічних засобів, які посилюють ефективність перебігу відновних процесів в час м'язової діяльності, належить розминка. Недооцінка її ролі може бути причиною різноманітних травм опорно-рухового апарату, сповільненого впрацювання і відносно запізненого встановлення стійкого стану працездатності. Розминка є складовою частиною підготовчої частини будь-якої роботи.

З медико-біологічних засобів активізації відновних процесів, які сприяють підвищенню фізичної працездатності людини, в практиці оздоровчого тренування знайшли застосування такі: раціональне харчування, фармакологічні препарати і вітаміни, спортивні напої, білкові препарати, аероіонізація, електростимуляція, електросон, фізіо- і гідротерапія, різні види масажу, бальнеотерапія, лазні, дія тиском, адаптогени і препарати, що активізують енергетичні процеси тощо.

Раціональне харчування — обов'язкова умова відновлення енергетичних ресурсів і забезпечення пластичної функції організму. Харчовий раціон людини повинен бути достатньо калорійним і мати всі необхідні організму мінеральні солі, органічні сполуки, вітаміни. У відповідності з біологічними особливостями людського організму рослинна їжа повинна складати не менше 60–70 % енерговартості всього харчового раціону (див. тема 1, модуль II).

Фармакологічні препарати і вітаміни. Різноманітні фармакологічні засоби, особливо рослинного походження, широко використовують для прискорення перебігу відновних процесів після напруженої діяльності, а також при гострих і хронічних формах перевтоми, хворобливих станах.

Недостача вітамінів в організмі приводить до зниження працездатності, швидкого настання втоми, розвитку хворобливих станів. Для їх попередження ефективним є застосування таких вітамінних комплексів і окремих вітамінів (В. І. Дубровський, 1991): аєровіт, глутамевіт, декомевіт, тетравіт, аскорутін, аскорбінова кислота, кальція пангамат (вітамін В15) та ін.

З метою стимуляції енергетичних і метаболічних процесів використовують такі препарати, як аспарком, аденозинтрифосфорна кислота (АТФ), аміналон, бенфотіамін, глютамінова кислота, калія оротат, кальція гліцерофосфат, кокарбоксілаза, панангін, чернілтон та ін.

Частим супутником великих фізичних навантажень переважно циклічного характеру є порушення внутрішньопечінкового кровообігу та киснева недостатність (печінковий

синдром). Працівникам (спортсменам) з печінковими болями назначають такі препарати, як зіксаріп, кукурудзяні рильця, корсіл, метіонін, есенціале, фестал, жовчогінні чаї.

Для лікування і профілактики захворювань, які виникають у осіб, що виконують великі фізичні навантаження, широко використовують лікарські рослини. Включаючись в метаболічний цикл хворих клітин, фіторечовини в ряді випадків виявляють більш ефективну оздоровчу дію, ніж фармакологічні препарати. Рослинні стимулятори фізичної працездатності нетоксичні, вони не нагромаджуються в організмі (відсутність кумулятивного ефекту) і не мають побічних дій. На відміну від синтетичних препаратів лікарські рослини містять в собі велику кількість органічних і неорганічних речовин з широким спектром дії. Біологічно активні речовини лікарських трав беруть участь в окисно-відновних реакціях, активують захисні сили організму, володіють антимікробними властивостями. В природі немає таких захворювань, проти яких в рослинному світі не знайшлося б необхідних ліків.

Рослинні адаптогенні препарати ще називають рослинними психоергізаторами. Вони підвищують опірність організму до дії різноманітних несприятливих (пошкоджуючих) чинників, зокрема, надмірних фізичних і психоемоційних навантажень. Механізм дії адаптогенів полягає в значному підвищенні енергетичних резервів організму. При цьому активізуються процеси анаболізму енергоресурсів, посилюється синтез білкових ферментів, суттєво підвищується енергозабезпечення працюючих органів і особливо нервової системи.

Рослинні адаптогени не слід приймати в умовах жаркого клімату, при порушенні серцевої діяльності, гіпертонії. Адаптогени можуть стимулювати статеве дозрівання, тому вони протипоказані дітям до 16 років.

Для підвищення працездатності при виконанні помірних тренувальних навантажень, особливо на початку весни, варто приймати плоди обліпихи, шипшини, чорної смородини, горобини та адаптогени (женьшень, резеду, заманиху, левзю та ін.). При виконанні інтенсивної роботи в екстремальних умовах доцільно приймати адаптогени, що стимулюють фізичну активність (лимонник китайський, стеркулія), активатори гормональної діяльності (солодка, бобові, злакові), донатори енергетичних груп (агрус, виноград, яблука), полівітамінні рослини, антигіпоксанти (мед, часник, цибуля), при надмірному збудженні, безсонні — заспокійливі рослинні препарати.

Оксигенотерапія. Інгаляційна оксигенотерапія успішно використовується для нормалізації функції опорно-рухового апарату, при тривалих перевтомах, травмах, інших порушеннях стану здоров'я. При цьому додаткове надходження кисню в організм здійснюється не лише через дихальні шляхи, а й локально — підшкірно і в порожнину суглоба. Активізуючи перебіг окислювальних процесів, така місцева оксигенотерапія посилює репаративну регенерацію пошкоджених тканин (в м'язах, шкірі, кістках, периферійних нервах), сприяє розсмоктуванню крововиливів, гематом, зменшує

коллагенізацію тканин, нормалізує обмін (М. О. Кадирик, 1981, З. С. Миронова та ін, 1982), попереджує розвиток склерозу синовіальної оболонки, дегенеративно-дистрофічних процесів в суглобній хрящовій тканині (В. І. Дубровський, 1991).

Гідротерапія. Дія гідропроцедур на організм пояснюється їх впливом на рецептори, розташовані в шкірі. Подразнення температурних і тактильних рецепторів шкіри позитивно впливає на відновлення оптимальних міжнейронних взаємозв'язків між окремими відділами мозку, активізує окисно-відновні реакції, поліпшує капілярний кровообіг в м'язах, підвищує спроможність м'язів до розслаблення. Ефект водних процедур значно зростає при перемінному використанні теплої і холодної води, а також при по черговій дії холодної води, гарячого повітря термокамери лазні. До водних процедур і температурних впливів організм майже не адаптується, тому ефект використання цих засобів відновлення зберігається тривалий час.

Ванни. Мета прийняття ванн може бути різна: гігієнічна, відновна, лікувальна. Гігієнічна ванна частіше є прісною, з температурою води 36–37 °С. Вона завжди використовується в час прийняття лазні і після тренувальних занять. Після гігієнічної ванни доцільним є дощовий душ з температурою води 33–35 °С.

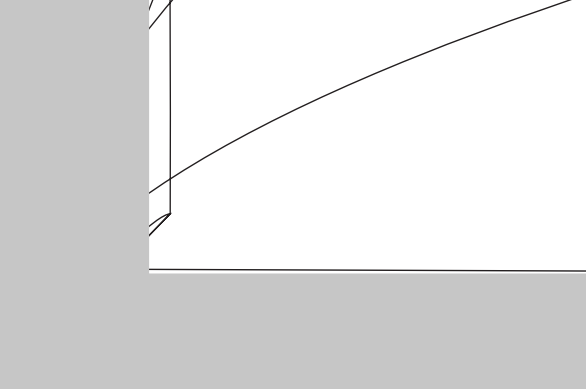
Виражений тренувальний ефект щодо серцево-судинної системи характерний **для контрастних ванн**. Спочатку приймають теплу ванну (7–5хв), а тоді холодну (1–2 хв). Бажано, щоб різниця температур гарячої і холодної води була не менше ніж 5–10 °С. Холодні ванни доцільно приймати в лазні після термокамери з метою загартування та профілактики простудних захворювань.

Для нормалізації функції опорно-рухового апарату, з метою профілактики переломи і травм використовують загальні сидячі або гіпертермічні ванни для ніг з температурою води 39–43 °С. Ефективність гіпертермічних ванн значно зростає при доданні у воду різних лікарських добавок (ароматичні ванни).

При міозітах, артрозах, остеохондрозі, ефективними є скипидарні ванни. Для зняття втоми після тренувань і швидкого засинання рекомендуються ванна з настоєм висівок із сухого сіна. Аналогічно готують ванни з інших лікарських рослин — м'яти, ромашки, хвої, квітів липи тощо.

При захворюваннях опорно-рухового апарату для нормалізації функції вегетативної нервової системи та відновлення працездатності після напруженої роботи, ефективними є газові (вуглекисла, сірко-воднева, киснева, азотна, жемчужна, родонова) і парові ванни (в закриту ванну або дерев'яну бочку по трубках підводять гарячий пар).

Останнім часом все частіше для зняття втоми і відновлення працездатності людини після напружених занять використовують метод флюїдо — або гідропунктури — стимуляція акупунктурних точок струменем води під тиском 1,86 атм. За своєю природою гідропунктура більш фізіологічна, ніж уколи голки при акупунктурі, її використовують з метою профілактики неврозів, лікуванні хронічних травм і захворювань опорно-рухового апарата.



Під час виконання роботи реєструються зовнішні прояви втоми: зниження продуктивності роботи (зменшення частоти педалювання), задишка, надмірна пітливість, почервоніння шкіряних покривів.

Досліджувані показники кардіореспіраторної системи реєструють в час роботи і на першій хвилині після її завершення. Отримані дані заносять до протокольної таблиці.

Робота 2

Дослідження процесів втоми при виконанні статичних навантажень

Завдання. Вивчити вираженість і направленість фізіологічних зрушень в організмі, викликаних виконанням статичної роботи. Вкажіть на причини більш швидкої втомлюваності статичної роботи.

Методика. Дослідження проводять на досліджуваному, який в першій роботі виконав менше навантаження. Про функціональний стан досліджуваного судять за тими ж показниками, що й в роботі № 1. Фізіологічні показники спокою у даного досліджуваного відомі, а тому їх визначають в час статичної роботи та після її завершення.

В якості статичного навантаження досліджуваному пропонують максимальне утримання гантелей (5–10 кг), або гирі (16–34 кг) на випрямлених вперед руках і напівзгнучому положенні ніг або утримання ніг в горизонтальному положенні (під кутом 90°) в упорі руками.

Отримані в досліді дані заносять до протокольної таблиці (така ж, як і для роботи № 1), аналізують їх і роблять висновки щодо особливостей прояву втоми при виконанні статичної роботи. Для порівняння використовують дані зміни показників кардіореспіраторної системи досліджуваного при виконанні динамічної роботи. Звертають увагу на більш швидку втомлюваність статичної роботи в порівнянні з динамічною, — на факт більш високого рівня легеневої вентиляції і споживання кисню на першій хвилині відновного періоду в порівнянні з робочим періодом (феномен статичних напружень).

Робота 3

Дослідження впливу величини і частоти м'язових напружень на час настання втоми

Завдання. Виявити залежність часу настання втоми від величини і частоти м'язових напружень.

Методика.

1. **Вплив величини зусилля на час настання втоми.** Досліджуваний зручно розташовується за столом, вказівний палець фіксує в кільці мотузки ергометра з вантажем 2 кг. Кімограф встановлюється так, щоб при підніманні вантажу, повзунок з пе-

ром малював ергограму на стрічці кімографа. З пуском метронома (30 ударів за 1 хв) досліджуваний виконує роботу — піднімає і опускає вантаж з частотою 30 рухових актів за 1 хв. Через 1 хв частоту ударів метронома збільшують в два рази — до 60 ударів за 1 хв. На ергограмі відмічають час початку роботи і слідкують за амплітудою скорочення м'язів, швидкістю розслаблення м'язів. З настанням втоми величини досліджуваних показників зменшуються. Повністю втомлений м'яз перестає скорочуватись.

Величину виконаної роботи — A (в джоулях) обчислюють за формулою:

$$A = P \cdot h,$$

де: h — сумарна величина віддалі, на яку був піднятий вантаж, см; P — маса вантажу, кг.

Порівнюють час настання втоми і характер ергограм, величину виконаної роботи (1 кгм=9,807 Дж.); відмічають після якого повторного зусилля спостерігається зниження працездатності.

2. Вплив частоти м'язових скорочень на величину роботи в час настання втоми. Досліджуваному пропонується 10 разів підряд максимально сильно стиснути кистьовий динамометр з інтервалом 60 с, після 5-хвилинного відпочинку роботу повторюють з інтервалом в 30 с. Втретє роботу повторюють через 5 хвилин з інтервалом в 5 с. Підраховують сумарну величину зусиль при кожному темпі виконання роботи. Малюють графік 10-ти повторних зусиль (горизонтальна лінія — число повторювань динамометричних зусиль, вертикальна лінія — величина зусиль, кг).

Результати роботи заносять до протокольної таблиці. У висновках пояснюють причину зниження працездатності після кожної нової серії спроб.

Інтервал повторень м'язових зусиль	Величина зусиль (№ спроби)										Величина виконаної роботи, Дж	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
60 с												
30 с												
5 с												

Робота 4

Дослідження особливостей відновлення ЧСС після виконання дозованих фізичних навантажень

Завдання. Дослідити направленість змін ЧСС після дозованого навантаження — 20 присідань за 30 с. Навчитись характеризувати усі можливі типи «кривих відновлення» ЧСС після дозованих навантажень.

Методика. У кожного другого студента групи визначають ЧСС (за 10 с) в стані спокою. Тоді обстежуваним пропонують виконати дозоване фізичне навантаження — 20 присідань за 30 с. Присідання виконують під метроном. Вдруге пульс вимірюють в

перші 10 секунд першої хвилини відновного періоду, тоді другої, третьої і наступних хвилин, аж до моменту повного відновлення ЧСС.

На основі отриманих даних малюють графік змін ЧСС, спричинених виконанням дозованого навантаження (на горизонтальній прямій відкладають час, на вертикальній — ЧСС). При аналізі отриманих даних враховують такі можливі варіанти типів «кривих відновлення»:

- 1) швидкий спад ЧСС до початкового рівня без суттєвих подальших відхилень;
- 2) наявність двогорбової кривої пульсу — після першого спаду спостерігається повторне прискорення пульсу;
- 3) багатогорбова крива — чергування фаз спаду пульсового ритму з його зростанням;
- 4) повільний спад ЧСС з повним відновленням або без відновлення в кінці досліджуваного періоду.

У висновках вказують, який з вище наведених типів відновлення пульсу після дозованого навантаження є найбільш раціональним, оцінюють «свій» тип «кривої відновлення» пульсу, пояснюють природу можливої «від'ємної фази» пульсу після інтенсивних фізичних навантажень.

Робота 5

Дослідження феномену «активного відпочинку» за І. М. Сеченовим

Завдання. Визначити залежність швидкості відновлень працездатності втомлених м'язів від навантаження в період відпочинку інших груп м'язів.

Методика. Вказівним пальцем правої руки досліджуваний виконує роботу на ергографі (частота рухів — 60 за 1 хв, вага — 1,5 кг). В час 5-хвилинного відпочинку правої руки досліджуваний піднімає і опускає гантеллю вагою 2–3 кг лівою рукою. Тоді вдруге записують ергограму правої руки. Через 5 хв звичайного відпочинку втретє виконують роботу правою рукою. Порівнюють час настання втоми після 5-хвилинного звичайного відпочинку та після 5-хвилинного активного відпочинку. У висновках вказують на механізм більш швидкого відновлення працездатності втомлених м'язів за умови роботи в час відпочинку інших (невтомлених) м'язів.

4.6. Ситуаційні запитання і задачі

1. Втома є природним збудником відновних процесів. Позбавлення людини від втоми призводить до неухильного зменшення обсягу функціональних резервів і рівня здоров'я. Розкрийте фізіологічну сутність позитивного впливу втоми на організм людини. За яких умов неприємні відчуття втоми можуть змінюватись приємними відчуттями «м'язової ейфорії»?



19. Фармакологічні препарати, вітаміни, спортивні напої, білкові препарати, кисневі коктейлі, аероіонізація, електростимуляція, фізіо-гідротерапія — усі ці засоби використовують для прискорення перебігу відновних процесів в організмі спортсменів після фізичної роботи. Узагальнено їх називають:
- а) медико-біологічними;
 - б) педагогічними;
 - в) психологічними.
20. Найбільшого значення серед лікарських рослин, які використовуються з метою прискорення перебігу відновних процесів в організмі спортсменів після м'язової діяльності, мають речовини вторинного синтезу:
- а) крохмаль, пектинові речовини, клітковина;
 - б) білки, жири;
 - в) алкалоїди, глюкозиди, фенольні сполуки, ефірні масла, органічні кислоти;
 - г) а + б.
21. До рослинних адаптогенів, які стимулюють перебіг відновних процесів, належать:
- а) стеркулія, женьшень, лимонник китайський;
 - б) бобові, пилок рослин;
 - в) аґрус, виноград, яблука;
 - г) мед, часник, цибуля.

Оцінка теми 4 модуля 1 (21 запитання)

Оцінка модуля	Кількість вірних відповідей						
	21-19	18-17	16	15-14	13	12-7	6 і <
За шкалою університету	100-90	89-82	81-75	74-69	68-60	59-35	34-1
За національною шкалою	5	4	4 -	3	3 -	2	2 -
За шкалою ECTS	A	B	C	D	E	FX	F

Модуль 2

ОБМІН РЕЧОВИН ТА ЕНЕРГІЇ

Перебіг усіх без винятку процесів життєдіяльності організму проходить в тісному і нерозривному взаємозв'язку з процесами обміну речовин та енергії. Тому вивчення енергетичного обміну є обов'язковою передумовою дослідження функціонального стану органів і систем організму — використання відповідних теоретичних положень в практичній діяльності людини. Так, визначення співвідношень між кількістю енергії, що надходить з їжею, і кількістю енергії, яка виділяється в довкілля (енергетичний баланс), дає необхідний матеріал для розрахунків харчових раціонів людини; показники енерговитрат трудівників різних професій та спортсменів широко використовується для оптимізації трудових процесів і фізичних тренувань; вивчення енерговитрат людей, які знаходяться в умовах постійно змінних зовнішніх температур, використовуються для розробки профілактичних заходів, спрямованих на підтримання температурного гомеостазу організму та його загартовування.

Процеси обміну речовин і енергії в організмі проходять в три етапи. Перший з них пов'язаний з травленням, в процесі якого високомолекулярні білки, жири й вуглеводи розщеплюються до більш простих сполук (амінокислот, жирних кислот, гліцерину, глюкози), здатних переходити через стінку шлунково-кишкового тракту в кров і лімфу.

Другий етап обміну речовин настає з моменту надходження кінцевих продуктів травлення у клітину. Частина продуктів обміну першого етапу використовується в якості будівельного матеріалу (пластична функція поживних речовин їжі), з іншої частини продуктів обміну, внаслідок складних біохімічних перетворень з допомогою окислювальних ферментів, вивільняється енергія. Фіксуючись в макроергічних зв'язках АТФ ця енергія забезпечує перебіг фізіологічних процесів і виконання зовнішньої роботи, а також відкладається про запас у вигляді жиру та глікогену.

Третій, кінцевий етап обміну речовин, полягає у виділенні з організму продуктів обміну через нирки, легені, потові залози і шлунково-кишковий тракт. Кінцевими продуктами обміну білків є вода, вуглекислий газ, аміак, сечовина, обмін вуглеводів і жирів завершується виділенням води і вуглекислого газу.

Тема 1. Фізіологія системи травлення

1.1. Логіка викладу і засвоєння матеріалу

1. Структурно-функціональна організація травної системи. Особливості будови стінок шлунково-кишкового тракту. Чинники фізичного, хімічного і біологічного впливу на їжу в травному тракті. Типи травлення.
2. Секреторна і моторна функція травного тракту. Характеристика травних ферментів. Моторика шлунку і перехід хімусу до кишок. Моторна функція кишок. Роль сфінктерів травної системи.
3. Травлення в ротовій порожнині. Слинні залози та їх ферменти. Регуляція слиновиділення.
4. Травлення в шлунку. Особливості будови шлунку. Залози слизової оболонки шлунку. Склад шлункового соку. Значення соляної кислоти в шлунковому травленні. Регуляція шлункової секреції.
5. Травлення в тонких і товстих кишках. Ферменти кишкового соку. Фази активності підшлункової залози. Роль печінки в травленні. Пристінкове травлення. Травлення в товстому кишечнику.
6. Всмоктування продуктів травлення. Чинники, що сприяють всмоктуванню кінцевих продуктів травлення в кров і лімфу. Роль діафрагми в процесах всмоктування. Всмоктування кінцевих продуктів травлення білків, жирів, вуглеводів; всмоктування вітамінів, води, мінеральних солей, мікроелементів.
7. Відчуття голоду, насичення й апетиту. Вплив м'язової роботи на роботу органів травлення.

1.2. В результаті вивчення матеріалу теми Ви повинні знати:

- особливості структурно-функціональної організації шлунково-кишкового тракту людини;
- секреторну і моторну функцію травного тракту;
- роль соляної кислоти і травних ферментів в перетравленні поживних речовин їжі;
- особливості пристінкового травлення і роль печінки в травленні;
- особливості перетравлення їжі в окремих відділах травної системи;
- кінцеві продукти перетравлення білків, жирів і вуглеводів та особливості їх всмоктування в окремих відділах травного тракту.

вміти:

- використовувати знання про особливості перетравлення їжі в шлунково-кишковому тракті для раціоналізації харчування;

- досліджувати (володіти навичками дослідження) ферментативну активність травних соків;
- використовувати знання матеріалу теми для попередження порушень процесів травлення в травному тракті людини.

1.3. Основні терміни, поняття і скорочення

амілаза; амінокислоти; апендикс; апетит; бруперяві КЗ; відхідниковий отвір; гастрин; гістамін; гліцерин; глотка; глюкоза; головні ШЗ; голод; дефекація; додаткові ШЗ; езофаготомія; ентерокиназа; желатиназа; жовч; жовчний міхур; жовчні кислоти; жування; кишечник; кишечні залози(КЗ); ковтання; колаген; лактаза; ліберкюнові КЗ; ліпаза; моторика кишечнику; моторика шлунку; мукополісахариди; насичення; нервово сплетіння; окладові ШЗ; панкреозимін; пепсин; пептиди; печінка; підшлункова залоза (ПЗ); пілоричний сфінктер; пристінкове травлення; прокарбоксіпертизин; проферменти; рибонуклеаза; ротова порожнина; сахароза; секретин; система травлення (СТ); слина; слинні залози; соляна кислота; стравохід; травлення; травні залози (ТЗ); трипепнаген; трипсин; «уявне годування»; фруктоза; фуронідаза; хіма трипепнаген; хімодин; хімотрипсиноген; холіцистокінін; шлунковий сік (ШС); шлункові залози (ШЗ); шлунково-кишковий тракт (ШКТ) шлунок.

1.4. Теоретичні відомості

1. Структурно-функціональна організація травної системи

Обов'язковою умовою нормальної життєдіяльності людини, основним пристосувальним ефектом (завданням) функціональності системи живлення є забезпечення організму необхідною кількістю поживних речовин. Зменшення поживних речовин в організмі є сигналом до пошуків і прийняття їжі (відчуття голоду). Поведінкові реакції організму, спрямовані на відновлення нормативного рівня поживних речовин, характеризуються комплексом взаємозв'язаних процесів (рис. 2.1):

- вплив харчового центру гіпоталамуса на кору мозку, що спонукає людину (тварину) до пошуків та прийняття їжі;
- надходження їжі в шлунково-кишковий тракт, розщеплення її до компонентів, які можуть всмоктуватись у кров і лімфу;
- надходження інформації у харчовий центр про задоволення потреби (відчуття ситості).

Система травлення включає в себе виконавчу і регуляторну частини. До виконавчої частини належить шлунково-кишковий тракт довжиною 5–6 м (зовнішнє середовище)

і травні залози. В глотці травний канал перехрещується з дихальним. Проходячи через діафрагму, стравохід розширюється, утворюючи шлунок. Шлунок переходить в тонкий (дванадцятипала, порожня, підклубова кишки) і товстий (сліпа кишка з апендиксом, ободочні і пряма кишки) кишечник. Завершується травна трубка відхідниковим отвором (мал.2.2).

Стінка шлунково-кишкового тракту встелена слизовою оболонкою, за нею йде підслизовий м'язовий шар, циркулярний і поздовжній м'язові шари. Зовнішній м'язовий шар з'єднаний сполучно-тканинною серозною оболонкою, яка утворює брижу. В ній знаходяться нерви, кровоносні і лімфатичні судини. Між зовнішнім і середнім м'язовими шарами знаходиться аурбахове нервово сплетіння, а між середнім і підслизовими шарами — майснерове сплетіння (рис. 2.3). Ці сплетіння регулюють моторну і секреторну функції травного тракту.

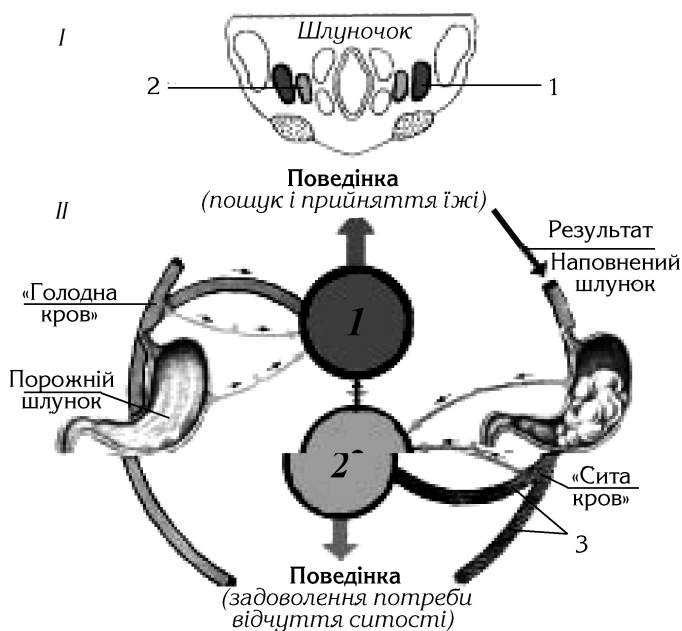


Рис. 2.1

Відчуття голоду (ситості) і поведінкові реакції людини (тварини): 1 — поперечний розріз гіпоталамуса (1 — центр голоду, 2 — центр ситості); II — схема механізму голоду і ситості (1 — центр голоду, 2 — центр ситості, 3 — кровоносні судини)

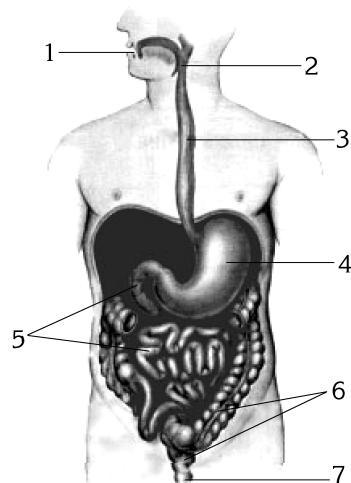


Рис. 2.2.

Загальна схема будови травного каналу: 1 — ротова порожнина; 2 — глотка; 3 — стравохід; 4 — шлунок; 5 — тонкий кишечник (дванадцятипала, порожня і підклубова кишки); 6 — товстий кишечник (товстий (сліпа кишка з апендиксом, ободочні і пряма кишки); 7 — відхідниковий отвір

До поживних речовин, які людина одержує з їжею, належать білки, жири і вуглеводи. Організму необхідні також мінеральні солі, мікроелементи, вітаміни, вода і рослинні ензими.

В травному тракті поживні речовини їжі піддаються фізичній, хімічній і біологічній дії. Фізичний вплив на їжу здійснюється з допомогою гладеньких м'язів стінок шлунково-кишкового тракту та зубів ротової порожнини. Внаслідок механічної обробки їжа подрібнюється, перемішується і розчиняється. Хімічна дія на їжу полягає в розщепленні складних високомолекулярних білків, жирів та вуглеводів з допомогою гідролітичних ферментів. Наслідком розщеплення поживних речовин їжі є утворення простих органічних сполук, які можуть всмоктуватись в кров і лімфу.

Біологічний вплив на їжу виявляють мікроорганізми травного тракту (симбіотне травлення). Синтезуючи вітаміни і деякі незамінні амінокислоти, мікроорганізми травного тракту відіграють важливу роль в забезпеченні повноцінного харчування людини. Сукупність процесів фізичної, хімічної і біологічної обробки харчових речовин називається *травленням*. Травлення є початковим етапом обміну речовин та енергії в організмі.

Травлення є початковим етапом обміну речовин та енергії в організмі.

Типи травлення. В процесі тривалого еволюційного розвитку системи травлення у тварин і людини сформувалось три різних типи травлення: внутрішньоклітинне, позаклітинне і мембранне (рис. 2.4).

Внутрішньоклітинне травлення характерне для найпростіших і деяких багатоклітинних тварин (губки, плоскі черви). Суть цього типу травлення полягає в поглинанні клітиною щільних (фагоцитоз) або рідких частинок (піноцитоз). Ферментний гідроліз харчових речовин здійснюється всередині клітини з допомогою ферментів, які виділяються лізосомами. У людини внутрішньоклітинне травлення забезпечує виконання неспецифічної захисної функції.

Тип *позаклітинного (дистанційного) травлення* характерний для високоорганізованих тварин і людини. Вироблені секреторними клітинами ферменти виділяються за межі клітин в спеціальні порожнини (порожнинне травлення), де і відбуваються процеси перетравлення поживних речовин. Дистанційне травлення може здійснюватись і

Рис. 2.3

Схема шарів стінки шлунково-кишкового тракту (за Ф. Вальбеком, 1986): 1 — серозна оболонка; 2 — поздовжній м'язовий шар; 3 — міжм'язове (ауерхарбове) сплетіння; 4 — циркулярний м'язовий шар; 5 — підслизисте (мейснерове) сплетіння; 6 — підслизистий м'язовий шар; 7 — слизова оболонка; 8 — брижейка (артерії, вени, нерви, лімфатичні судини)

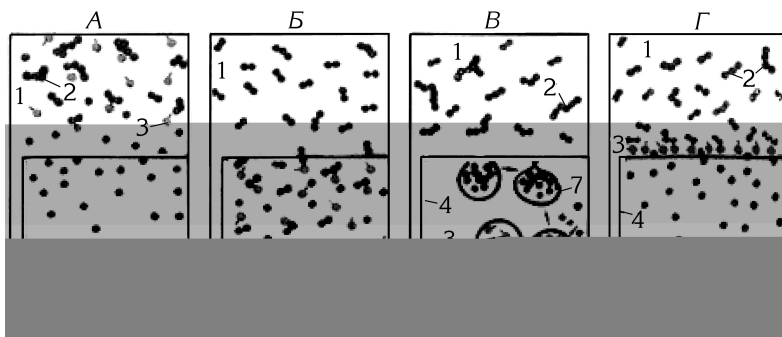


Рис. 2.4

Основні типи травлення: А — позаклітинне дистанційне травлення; Б — внутрішньоклітинне цитоплазматичне травлення; В — внутрішньоклітинне вакуолярне травлення зв'язане з ендоцитозом (фаго- або піноцитозом); Г — мембранне травлення; 1 — позаклітинне середовище; 2 — субстрати і продукти їх гідролізу; 3 — ферменти; 4 — позаклітинне середовище; 5 — мембрана; 6 — ядро; 7 — внутрішньоклітинна травна вакуоля; 8 — лізосома

за межами організму, якому належать секреторні клітини (наприклад, павуки вводять травні ферменти у вбиту ними здобич).

Мембранний (пристінковий) тип травлення (А. М. Уголев, 1958) здійснюється ферментами, локалізованими на мембрані клітин кишечника. Оскільки простір між мікроворсинками кишечних клітин менший від розмірів численних мікроорганізмів, які населяють кишечник, кінцеві продукти травлення стають недоступними для них.

2. Секреторна і моторна функція травного тракту

Секреторна функція шлунково-кишкового тракту здійснюється за допомогою *травних залоз* (). ТЗ є залозами зовнішньої секреції. Секреторні клітини (рис. 2.5) ТЗ виробляють травні соки, які містять в собі гідролітичні ферменти, соляну кислоту, бікарбонат, жовчні солі, мукоїдні речовини тощо. До ТЗ належать слинні залози порожнини рота, підшлункова залоза, дрібні залози шлунка і кишечника. Умовно до травних залоз відносять і печінку, яка виділяє продукти своєї життєдіяльності (жовч) в тонкий кишечник.

Ферменти травних соків є біокатализаторами білкової природи, вони прискорюють перетравлення поживних речовин. Більшість ферментів, що діють на білки, виділяється клітинами травних залоз у вигляді неактивних проферментів. Їх активізація здійснюється під дією специфічних фізико-хімічних активаторів. Так, профермент пепсиноген шлункового соку перетворюється в активну форму (пепсин) під впливом соляної кислоти.

Активність травних ферментів проявляється при певній реакції середовища (фермент пепсин активний в кислому середовищі і не діє в лужному, фермент слини амілаза,

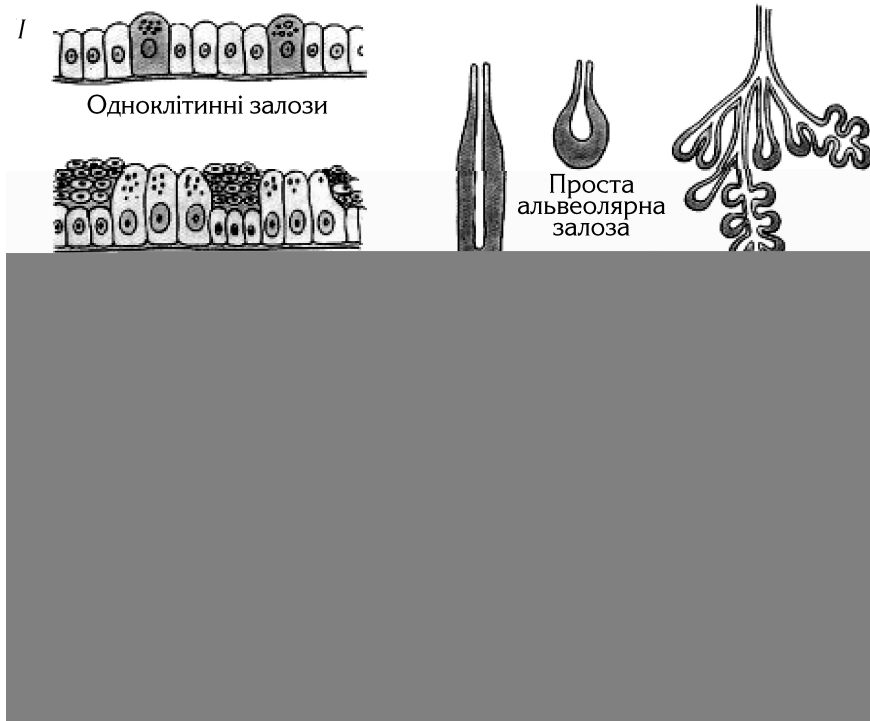


Рис. 2.5
Залози травного тракту I і характер їх діяльності II (за Б. Альошиним, 1974)

навпаки, діє в слаболужному середовищі і не активний в кислому) і температурі (36–40 °С). При температурі середовища вищій або нижчій від вказаної активність ферментів знижується. В середовищі, температура якого вища 60 °С, ферменти повністю втрачають свою активність.

Ферменти травних соків досить специфічні — кожний окремо взятий фермент виявляє каталітичну дію лише на конкретну речовину. Саме тому повне розщеплення харчових продуктів можливе лише при наявності певного набору ферментів, які включаються в дію на певних етапах гідролітичного розщеплення їжі. Недостатність в наборі хоч одного ферменту призводить до порушення всього процесу травлення.

В епітеліальному шарі слизової оболонки шлунково-кишкового тракту є ендокринні клітини (дифузна ендокринна система), які виробляють пептидні гормони — гастрин, секретин, холіцистокінін та ін. Виділення цих гормонів відбувається переважно під дією кінцевих продуктів травлення.

Травній системі притаманна також екскреторна, всмоктувальна і інкреторна функції. *Екскреторна функція* полягає у виведенні з організму деяких продуктів обміну

(жовчних пігментів) і солей важких металів. *Всмоктувальна функція* здійснюється слизовою оболонкою травного тракту. З порожнини шлунка та кишечника в кров та лімфу всмоктуються продукти розпаду білків, жирів та вуглеводів (амінокислоти, гліцерин і жирні кислоти, моноцукри), вода, солі, ліки тощо.

Інкреторна функція травного тракту полягає у виділенні специфічних гормонів, які впливають на функції органів травлення (гастрин, гістамін, секретин, панкреозимін тощо) і виявляють загальногормональні ефекти (возоактивний інтенстіальний поліпептид, нейроентеріни, аренерін тощо).

Моторна функція шлунково-кишкового тракту. Моторна функція травного тракту здійснюється м'язами шлунку і кишечника. Вона забезпечує жування, ковтання, перемішування їжі та її рух по травному тракту, виведення секретів печінки і підшлункової залози в тонкі кишки, а травних решток — назовні (табл. 2.1).

Жування — складний рефлексорний акт. Він полягає у координованій діяльності верхніх і нижніх зубів, язика і щік. Рухи нижньої щелепи здійснюються по вертикалі і горизонталі, внаслідок чого їжа декілька разів перекидається з допомогою язика і щік в простори між зубами, зволожується слиною і стає м'якою, зручною для ковтання (формування харчової грудочки). Жування сприяє відчуттю смакових якостей їжі, стимулює виділення травних соків.

Для підтримання належного тонузу зубної системи в харчовий раціон бажано включати якнайбільше сирової рослинної їжі. При її старанному пережовуванні засвоєння поживних речовин їжі зростає в 1,5–2 рази.

Ковтання. Рефлекс ковтання виникає тоді, коли харчова маса торкається кореня язика або задньої стінки глотки. Тут знаходиться рецептивне поле, яке зв'язане з розташованим у довгастому мозку центром ковтання та моторики стравоходу.

Від центру ковтання еферентні імпульси ідуть до м'язів порожнини рота, глотки, гортані і стравоходу, викликаючи їх координовані скорочення — піднімаючись, м'язи

Таблиця 2.1

Характеристика моторної функції шлунково-кишкового тракту

Тип рухової активності	Структура	Функція
Перистальтика (антиперистальтика)	Стравохід, шлунок, тонкий кишечник	Пропульсивна перистальтика — рух харчових мас; непропульсивна перистальтика — переміщення харчових мас
Ритмічна сегментація	Тонкий і товстий кишечник	Перемішування
Маятникоподібні рухи	Тонкий і товстий кишечник	Поздовжнє зміщення стінки кишечника відносно хімусу
Тонічне скорочення	Сфінктери травної системи	Затримка хімусу, функціональне розділення окремих відділів

м'якого піднебіння закривають носоглотку, надгортанник опускається і корінь язика проштовхує їжу в глотку, а далі в стравохід (рис. 2.6). Проходження харчової грудочки по стравоходу забезпечується перистальтичними скороченнями циркулярних гладеньких м'язів стравоходу.

Центр ковтання знаходиться в складних взаємовідносинах з іншими центрами довгастого мозку — центрами дихання і серцевої діяльності. В час ковтання дихання рефлекторно затримується, а ЧСС зростає.

В місці переходу стравоходу в шлунок знаходиться діафрагмальний сфінктер. Він завжди відкривається при механічному подразненні його харчовою грудочкою.

Моторика шлунку і перехід хімусу до кишок. Моторна функція шлунку полягає в перемішуванні їжі з шлунковим соком та її транспортуванні в 12-палу кишку. Об'ємна адаптація м'язів шлунку забезпечує можливість його розтягнення буз виникнення надлишкового тиску.

Рухова функція шлунку зумовлена наявністю в його стінці трьох шарів гладеньких м'язів — зовнішнього і внутрішнього поздовжніх та середнього циркулярного. Розрізняють дві основні форми скорочень шлунку — тонічні і перистальтичні. Завдяки перистальтичним скороченням забезпечується переміщення харчових мас з шлунковим соком (утворення хімусу). Цей процес дуже повільний (рН всередині харчової грудочки знижується до 5 лише через 1–2 години після його надходження в шлунок), що сприяє продовженню гідролітичної дії амілази і мальтози слини на вуглеводи. Перистальтичні скорочення м'язів шлунку проходять на фоні тонічних скорочень, які починаються з кардіальної частини і закінчуються в пілоричній.

Регуляція моторної функції шлунку здійснюється нервовим і гуморальним шляхом. При збудженні блукаючого нерва рухи шлунка посилюються, а при збудженні симпатичного — гальмуються. Гальмують рухи шлунка ентогастрин, адреналін, норадреналін, іони кальцію, посилюють — гастрин, гістамін, холін а також іони калію. Гладенькі м'язи шлунку володіють автоматією.

В регулюванні надходження хімусу в тонкий кишечник важлива роль належить пілоричному сфінктеру, який закриває вихідний отвір шлунку. Цей сфінктер завжди рефлекторно відкривається при подразненні хеморецепторів пілоруса кислим хімусом (рис. 2.7). Невелика частина хімусу (близько 10 мл) в цей період переходить в 12-палу кишку. Подразнення хеморецепторів слизової оболонки тонкої кишки викликає рефлекторне закриття пілоричного сфінктера. Лише після нейтралізації соляної кислоти процес з відкриттям пілоричного сфінктера повторюється.

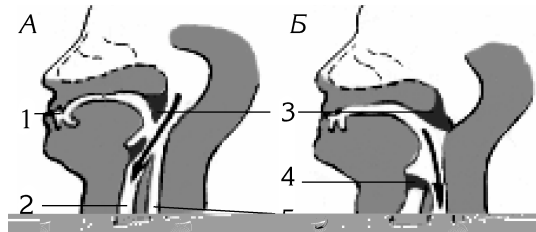


Рис. 2.6

Стан верхніх відділів травного тракту при ковтанні їжі (А — стан спокою, Б — акт ковтання): 1 — ротова порожнина; 2 — трахея; 3 — надгортанник; 4 — язичок; 5 — стравохід

Швидкість переходу хімусу в кишечник залежить від консистенції хімусу (в кишечник переходить хімус лише рідкої або напіврідкої консистенції), його осмотичного тиску (гіпертонічні розчини затримують евакуацію і залишають шлунок лише після розбавлення їх шлунковим соком до концентрації ізотонічного розчину), рівня наповнення 12-палої кишки (при її переповненні евакуація хімусу з шлунку затримується).

Одним з видів моторної функції шлунку є — руховий рефлекс захисного характеру. Цей рефлекс може виникати рефлексорно при дії подразників на чутливі закінчення нервів або автоматично, тобто через кров, впливаючи безпосередньо на блювотний центр (при отруєнні отрутами, введеними ззовні, або утвореними в організмі при наявності запального процесу). Блювання можна викликати, подразнюючи механорецептори кореня язика, носоглотки, слизової оболонки стравоходу і шлунку, органів сечостатевої, рухової та інших систем організму.

Моторна функція кишок. Скорочення м'язів стінок тонкого кишечника забезпечують перемішування хімусу з травним соком (маятникоподібні і ритмічно-сегментальні рухи), а також їх переміщення в низхідному (перистальтичні рухи) та висхідному (антиперистальтичні рухи) напрямках. Вказані види моторики кишечника можливі завдяки напрямленим скороченням гладеньких м'язів стінок тонких кишок.

Рис. 2.7

Перехід їжі (хімусу) з шлунка в дванадцятипалу кишку (за І. П. Павловим): 1 — скорочення пілоричного сфінктера; 2 — дія соляної кислоти на пілоричну частину шлунка; 3 — відкриття пілоричного сфінктера; 4 — дія соляної кислоти на пілоричний сфінктер з боку дванадцятипалої кишки; 5 — закриття пілоричного сфінктера

Маятникоподібні рухи виникають завдяки поперемінному скороченню кільцевих та поздовжніх м'язів. На кінцях короткого відрізка кишки, внаслідок скорочення колових м'язів, утворюються кільцеві звуження. На ділянці, обмеженій цими звуженнями, скорочуються поздовжні м'язи — ділянка кишки вкорочується і розширюється; при розслабленні поздовжніх м'язів кишки видовжується і звужується, харчові маси в ній переміщуються то в одному, то в іншому напрямку.

Ритмічна сегментація виникає внаслідок скорочення циркулярних м'язів на невеликих ділянках кишки (1–2 см), розташованих на віддалі 15–20 см одна від одної. Скороченням циркулярних м'язів формується велика кількість кільцевих звужень, які поділяють відрізок кишки на окремі сегменти. Згодом у розширеній частині кожного сегмента додатково виникають скорочення циркулярних м'язів і сегмент поділяється навпіл, половинки двох сусідніх сегментів формують нові сегменти (рис. 2.8).

Рис. 2.8

Моторика кишечнику: I — маятниковоподібні рухи (ритмічна сегментація); II — перистальтичні рухи

Перистальтичні рухи — це хвилеподібні рухи, які створюються послідовним скороченням кільцевих м'язів, м'язи нижче розташованої ділянки кишки в цей час розслаблені і хімус рухається в напрямку меншого тиску. Згодом скорочення кільцевих м'язів поширюється на наступну ділянку кишки, і хімус рухається лише в одному напрямку — до прямої кишки. Краніальне направлення кільцевих звужень формують антиперистальтичні рухи. В інших відділах шлунково-кишкового тракту антиперистальтика виникає лише при блювоті. При цьому завдяки потужним рефлекторним скороченням м'язів черевного пресу і діафрагми хімус з верхніх відділів кишечнику повертається в шлунок, а через стравохід і порожнину рота назовні.

Активність гладеньких м'язів шлунково-кишкового тракту реалізується з допомогою стравохідно-кишкових і шлунково-кишкових безумовних збудливих рефлексів, а також ентеро-гастральних і ректо-ентеральних гальмівних рефлексів. В стінках кишок знаходяться інтрамуральні нервові структури (міжм'язове сплетіння), які володіють автоматією.

Подразнення блукаючого нерва посилюють скорочення м'язів кишечнику, а збудження симпатичних нервів, знижуючи тонус гладеньких м'язів кишечнику, сприяють їх розслабленню.

Хімічними подразниками, які збуджують рухи кишечнику, є серотонін, продукти перетравлення білків — поліпептиди, екстрактивні речовини їжі, жовч, кислоти, луги, розчини солей.

Роль сфінктерів травної системи. Зворотному руху хімусу по травному тракту перешкоджають циркулярні скупчення гладеньких м'язів — *сфінктери*. Протягом всього

шлунково-кишкового тракту таких сфінктерних механізмів близько 35. Основними з них є верхній і нижній сфінктери стравоходу, пілоричний сфінктер шлунку, сфінктер загального жовчного протоку, внутрішній і зовнішній сфінктери прямої кишки та інші.

Синхронна робота усіх сфінктерів (їх закриття і відкриття) забезпечується рефлексогенними зонами — наявністю рецепторів, розташованих нижче і вище кожного сфінктера. Подразнення рефлексогенної зони нижче сфінктера спричиняє його рефлекторне закриття за участю місцевої інтрамуральної нервової системи. Розслаблення і розкриття сфінктера виникає при пригніченні інтрамуральної нервової системи та подразненні біологічно активними речовинами хеморецепторів, розташованих вище сфінктера. Для роботи сфінктерів характерна певна періодичність.

Виведення калових мас з нижніх відділів товстого кишечника назовні називається *дефекацією*. Дефекація — рефлекторний процес. Наповнення ампули прямої кишки каловими масами зумовлює подразнення барорецепторів, імпульси від яких надходять до центру дефекації, розташованого в поперековому і крижовому відділах спинного мозку. Звідси по еферентних шляхах імпульси ідуть до гладеньких м'язів товстого кишечника та сфінктерів прямої кишки. В час дефекації посилюється внутрішньочеревний тиск, який створюється скороченнями м'язів черевної стінки і діафрагми.

3. Травлення в ротовій порожнині

Перетравлення їжі розпочинається вже в ротовій порожнині. Тут протягом 15–20 с відбувається подрібнення їжі, зволоження її слиною, формування харчової грудочки. В порожнину рота впадають протоки трьох пар великих слинних залоз (привушних, підщелепних, під'язикових) і великої кількості дрібних залоз, розташованих на поверхні язика і в слизовій оболонці щік та піднебіння. Ці дрібні залози, а також під'язикові залози постійно виробляють рідку слину, привушні і підщелепні залози виділяють свої секрети лише при їх рефлекторному подразненні.

Слина — безбарвна, трохи мутнувата рідина. Її основним органічним компонентом є ферменти амілаза (розщеплює крохмаль і глікоген до дисахариду мальтози) і мальтаза (глюкозίδαза), яка розщеплює мальтозу і сахарозу до моносахариду глюкози.

В слині містяться також мукополісахариди і глікопротеїни (муцин, специфічні білки крові тощо), імуноглобуліни, незначна кількість білків плазми крові, іони натрію, калію, кальцію, хлору та інші. Високу бактерицидну властивість слини забезпечує фермент ліцозим. Своєрідний слизистий вигляд слини зумовлений присутністю в ній муцину. До щільного залишку слини (0,5–1,5 %) окрім муцину входять ферменти, глобулін, амінокислоти, креатинін, сечова кислота, сечовина та неорганічні солі.

Реакція слини (рН 5,8–7,8) залежить від інтенсивності її секреції: при великих об'ємах секреції вона слаболужна, при незначних — слабокисла. Слина завжди гіпотонічна. Це зумовлено процесами активної секреції і реабсорбції в протоках слинних залоз.

В залежності від характеру їжі протягом доби слинні залози виробляють 0,5–2,0 л слини. На суху їжу завжди виділяється більше слини, ніж на вологу. Адекватна реакція слинних залоз на певний тип їжі здійснюється за участю механізмів нейрогуморальної регуляції функцій.

Регуляція слиновиділення. Нервова регуляція слиновиділення здійснюється харчовим центром за допомогою умовних та безумовних рефлексів. Харчовий центр — сукупність нервових клітин на різних рівнях ЦНС — в довгастому мозку, гіпоталамусі, лімбічній системі, в корі головного мозку. Еферентні шляхи до травних органів утворені симпатичними і парасимпатичними нервовими волокнами. При подразненні симпатичного нерва, який відходить від верхнього шийного симпатичного вузла, виділяється невелика кількість густої, багаті муцином, органічними і мінеральними речовинами слини; при подразненні парасимпатичних нервів, які входять до складу язиковоглоткового нерва, виділяється велика кількість рідкої слини (рис. 2.9).

В умовах пасивного відпочинку слиновиділення незначне, воно безумовнорефлекторно посилюється внаслідок подразнення складовими компонентами їжі нюхових, смакових і тактильних рецепторів. Умовно-рефлекторне слиновиділення виникає у відповідь на зорові, слухові, нюхові та інші подразники, збудження яких раніше співпадало з прийняттям їжі. За таких умов формуються тимчасові зв'язки між центром умовного подразника (зоровим, нюховим тощо) і центром безумовнорефлекторного підкріплення, до якого надходять імпульси від смакових рецепторів порожнини рота. На центр слиновиділення впливають імпульси з шлунка і кишечника. Інколи посилене слиновиділення виникає при болях в кишках, харчових отруєннях тощо.



Рис. 2.9

Регуляція слиновиділення: 1 — ротова порожнина; 2 — язикові гілки трійчастого нерва та гортані і глотковій гілці блукаючого нерва; 3 — довгастий мозок; 4 — нервові волокна парасимпатичної нервової системи; 5 — ганглії і нервові волокна симпатичної нервової системи; 6 — білявушна слинна залоза; 7 — підщелепна і 8 — під'язикова слинні залози; 9 — спинний мозок

4. Травлення в шлунку

Шлунок являє собою розширену частину травного каналу (рис. 2.10). В ньому розрізняють передню і задню стінки. Увігнутий край називають малою кривизною, випуклий — великою кривизною. Середня ділянка шлунку називається тілом, передня (місце входу стравоходу в шлунок) — кардіальною, а задня (місце переходу шлунку в 12-палу кишку) — пілоричною ділянкою. Шлунок поєднує функції травного органу і харчового резервуару. Його місткість у дорослої людини — близько 3 л. У осіб, які споживають велику кількість їжі і рідини, місткість шлунку значно більша — 5–10 л.

В шлунку продовжується механічна обробка їжі і проходять ферментативні процеси розщеплення харчових продуктів під впливом ферментів, які виробляють залози шлунку. Подрібнена і хімічно оброблена харчова маса в суміші з шлунковим соком утворює рідкий або напіврідкий хімус.

У слизовій оболонці фундальної частини шлунку розташовані головні, додаткові та обкладові залози. Головні залози виробляють ферменти, обкладові — соляну кислоту, додаткові — мукополісахариди, бікарбонат, муцин. Постійне виділення муцину сприяє формуванню специфічної оболонки, яка щільно прилягає до слизової оболонки шлунку. Крім того, поверхневі шари муцинової оболонки можуть відділятися, захищаючи слизову оболонку шлунку від механічних і хімічних подразнень, зокрема від дії високоактивних білкових ферментів.

Серед залоз пілоруса обкладових залоз немає, а тому сік цієї частини шлунку має лужну реакцію. Натщесерце реакція шлункового соку нейтральна, або слаболужна; після прийняття їжі — сильно кисла (рН — 0,8–1,5). Загальний об'єм секретії шлункового соку протягом доби складає 2,0–3,0 л.

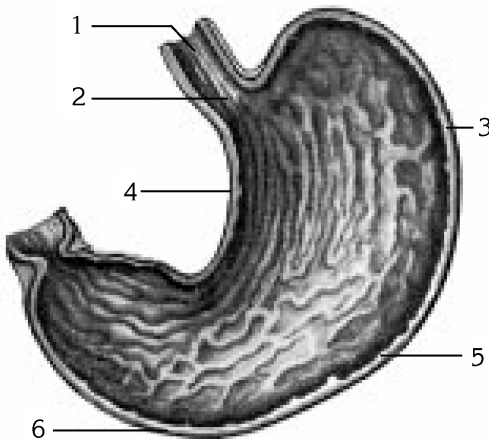


Рис. 2.10

Будова шлунка: 1 — стравохід; 2 — вхід у шлунок; 3 — дно шлунку; 4 — мала кривизна; 5 — велика кривизна; 6 — пілоричний відділ

Методи досліджень шлункової секреції. Для дослідження шлункового травлення використовують різноманітні хірургічні операції, виконані на тваринах. Для отримання шлункового соку частіше використовують *фістульний* метод. Для того, щоб слина не попадала в шлунок, практикують перерізку (*езофаготомія*) стравоходу на шії («уявне голодування» за І. П. Павловим). Вдосконалення методик отримання шлункового соку пов'язане з хірургічним утворенням маленького ізольованого шлуночка.

Для дослідження шлункового травлення у людей використовують методи

зондування, рентгенографії та ін. За допомогою мініатюрних радіопередавачів (радіопілюль) реєструють температуру, тиск та інші параметри діяльності шлунку. Електричну активність гладеньких м'язів шлунку записують з допомогою електрогастрографа.

Склад шлункового соку. Чистий шлунковий сік — це безколірна прозора рідина кислої реакції (рН — 0,8–1,5). Кислотність шлункового соку визначається вмістом в ньому соляної кислоти, концентрація якої при прийнятті їжі — 0,4–0,5 %. При відсутності процесу травлення соляна кислота не виділяється і рН шлункового соку нейтральна.

До складу шлункового соку входять ферменти — протеази, які перетравлюють білки (пепсин, желатиназа, хімосин) і ліпаза, гідролізуюча жири. Пепсин виділяється головними клітинами шлунку в неактивному стані — у вигляді пепсиногену. Активує його соляна кислота. Пепсин розщеплює білки до поліпептидів. Желатиназа (парапепсин) здійснює гідроліз желатину (білок сполучної тканини), а хімосин (ренін) — розщеплює казеїн молока в присутності кальцію до параказеїну і сироваткового білка. У дорослих людей хімосин не виділяється. Ліпаза розщеплює жири на гліцерин та жирні кислоти. Ліпаза шлункового соку у дорослих осіб малоактивна, вона діє лише на емульговані жири. У грудних дітей шлункова ліпаза розщеплює до 25 % жиру молока.

Важлива роль в шлунковому травленні належить соляній кислоті. Вона активує пепсиноген, забезпечує бактерицидну дію шлункового соку, викликає денатурацію і набухання білків, зокрема білків молока, сприяючи їх подальшому ферментативному розщепленню. Нарешті, соляна кислота активує гормон гастрин, який утворюється в слизовій оболонці ворота шлунку, стимулює шлункову секрецію і бере участь в процесах переміщення харчових мас з шлунку в кишечник. В захисті стінки шлунку від пошкоджуючої дії пепсину і соляної кислоти важлива роль належить слизовому бар'єру з великим вмістом муцину, який виробляється додатковими клітинами шлункових залоз. Обкладовими клітинами шлунку крім соляної кислоти виробляється внутрішній чинник шлункового травлення — глікопротеїд. При відсутності цього чинника порушується всмоктування вітаміну В і виникає *перніціозна анемія*.

Під впливом ферментів слини в шлунку продовжується розщеплення полісахаридів. Проте цей процес триває лише до тих пір, поки їжа, що надійшла в шлунок, не змішається з шлунковим соком, соляна кислота якого гальмує активність карбоангідраз слини.

Регуляція шлункової секреції. Діяльність шлунку залежить від складу і кількості прийнятої їжі. Стимулюючу дію на залози шлунку виявляють екстрактивні речовини м'яса, гальмівну — жир, концентровані розчини кухонної солі тощо. При споживанні хліба, як і м'яса, максимальна секреція шлункового соку настає через годину, при споживанні молока — через три години.

Направлена зміна секреторної діяльності шлункових залоз в залежності від характеру їжі досягається активізацією механізмів нервової та гуморальної регуляції. Весь період шлункового соковиділення умовно поділяють на три фази — рефлекторна (психічна), власне шлункова (нейрогуморальна або хімічна) і кишкова.

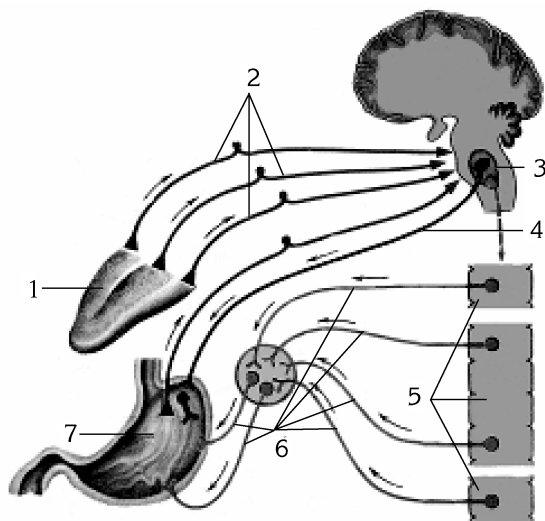


Рис. 2.11

Регуляція шлункового соковиділення: 1 — ротова порожнина; 2 — язикові гілки трійчастого нерва та гортані і глоткові гілки блукаючого нерва; 3 — спинний мозок; 4 — нервові волокна парасимпатичної нервової системи; 5 — спинний мозок (Тп — 4-12); 6 — пре- і постгангліонарні волокна симпатичної нервової системи; 7 — шлунок

ки виникнення апетиту визначається рядом умовних і безумовних подразників, то обстановка, в якій людина споживає їжу, і її смакові якості мають важливе значення для процесів травлення. При подразненні їжею смакових і нюхових рецепторів відбувається безумовнорефлекторне посилення секреції не лише слинних, а й шлункових травних залоз (рис. 2.11). Наявність фази шлункової секреції доведено дослідом «уявного годування».

Шлункова (нейрогуморальна) фаза секреції розпочинається після надходження їжі в шлунок і триває декілька годин. Ця фаза шлункової секреції обумовлена дією механічних і хімічних подразників. Вона регулюється блукаючим нервом, місцевими інтрамуральними рефlekсами, гістаміном і гастрином, виділення якого посилюється в присутності амінокислот, дипептидів, алкоголю, подразненні чутливих рецепторів стінок шлунку при його помірному розтягненні. Гастрин значно активніший гістаміну.

Кишкова фаза секреції шлункового соку обумовлена хімічним впливом на залози шлунку (через кров) продуктів гідролізу харчових речовин в тонкому кишечнику. Наявність кишкової фази секреції пояснює відносно велику тривалість активності шлункових залоз.

Секреторна функція шлункових залоз значною мірою залежить від емоційного стану людини. Надмірне збудження людини завжди посилює секреторну діяльність травних залоз, а страх і смуток її гальмують. Зниження кислотності і атрофія слизової оболонки за таких умов сприяють виникненню виразок шлунку.

В період *психічної фази* секреції сік виділяється при дії умовних подразників — умовні харчові рефlekси (вид, запах їжі, неспецифічні подразники, які раніше співпадали з прийняттям їжі, її запахом тощо). Шлунковий сік, який виділяється при баченні їжі і її відчутті І. П. Павлов назвав апетитним (запальним) соком. Виділення апетитного соку забезпечує підготовку травного тракту до прийняття їжі. А оскільки

Хімічними подразниками секреторних клітин шлунку є речовини, які утворюються при розщепленні білків, жирів і вуглеводів, екстрактивні речовини відварів м'яса і овочів, кінцеві продукти гідролізу білків тощо.

В регуляції шлункової секреції беруть участь такі біологічно активні речовини, як серотонін (посилює утворення муцину і ферментів шлунковими залозами), секретин (гальмує утворення соляної кислоти і секрецію пепсину), бомбезин (посилює секрецію соляної кислоти) та інші. В цілому регуляція діяльності шлункових залоз здійснюється одночасним впливом гормонів, медіаторів, активних метаболітів, електролітів і, звичайно, нервової системи.

5. Травлення в тонких і товстих кишках

В тонких кишках кислий хімус перемішується з лужним кишечним соком, який утворюється підшлунковою залозою, печінкою і кишечними залозами. Ферменти кишечного соку діють не лише в 12-палій кишці, а й в нижче розташованих відділах тонкого і товстого кишечника.

Травлення в 12-палій кишці. В 12-палій кишці харчові маси піддаються дії соку кишечних залоз — брунерових і ліберкюнових, соку підшлункової залози і жовчі. Сік брунерових залоз містить в собі багато слизу, білковий фермент, аналогічний пепсину. Ліберкюнові залози знаходяться на всьому протязі тонких кишок.

Підшлункова залоза є трубчато-альвеолярною залозою змішаної секреції. В ній виробляються гормони і травний підшлунковий сік, який надходить до порожнини 12-палої кишки. Підшлункова залоза складається з одинарних клітин, які виробляють ферменти і центроацитозні клітини протоків, в яких здійснюється секреція води, бікарбонатів і інших електролітів. Протягом доби підшлункова залоза виділяє до 3000 мл травного соку.

В час їди і надходження хімусу з шлунку в кишечник протягом 20–30 хв виділяється декілька мілілітрів соку підшлункової залози з високим вмістом ферментів. Після їди секреція підшлункового соку безперервна, її характер і тривалість залежить від кількості і якості їжі (рис. 2.12). В умовах відсутності травлення секреторна активність підшлункової залози знижується до нуля.

Сік підшлункової залози — це безбарвна прозора рідина лужної реакції (рН 7,8–8,4) з вмістом ферментів, які діють на білки (трипсин, хімотрипсин, карбоксипептидази А і В), жири (ліпаза) та вуглеводи (амілаза, мальтаза, фуронідаза, лактаза).



Рис. 2.12
Виділення соку підшлунковою залозою на різні харчові продукти

Білкові ферменти виробляються у вигляді неактивних попередників — трипсиногену, хімотрипсиногену, прокарбоксіпептидази А і В. Активізація трипсиногену забезпечується ферментом кишкового соку — ентерокиназою, хімотрипсиногену — трипсином. Ставши активним, трипсин в свою чергу активує хімотрипсиноген.

Трипсин діє на пептидні зв'язки, розщеплюючи білки до високомолекулярних поліпептидів, поліпептиди розщеплюються хімотрипсином до низькомолекулярних поліпептидів і частково амінокислот. Рибонуклеаза гідролізує нуклеїнові кислоти на нуклеотиди та фосфорну кислоту, ліпаза розщеплює жири на гліцерин та жирні кислоти. Її активатором є іони кальцію та жовчні кислоти. Гліколітичний фермент амілаза розщеплює крохмаль та глікоген на мальтозу, фермент мальтаза гідролізує мальтозу на дві молекули глюкози, фуронідаза розщеплює сахарозу на глюкозу та фруктозу, лактаза розщеплює молочний цукор лактозу до моноцукрів галактози і глюкози.

Кишковий сік, утворений ліберкуновими залозами, доповнює і завершує гідроліз харчових речовин, розпочатий в шлунку і 12-палій кишці. В ньому присутні переважно ферменти, що діють на проміжні продукти розщеплення білків і вуглеводів, які утворились в 12-палій кишці. Тут містяться протеолітичні ферменти (аміно-карбоксіполіпептидази, дипептидази, які розщеплюють полі- і дипептиди до амінокислот). На дисахариди діють ферменти мальтаза, інвертаза і лактаза. Є тут і фермент ентерокиназа, який діє на трипсиноген, перетворюючи його на трипсин.

Функціональна активність підшлункової залози регулюється блукаючим нервом, гормонами гастроентеропанкреатичної системи: секретином, серотоніном, гастриним. Секретин виділяється у вигляді неактивного просекретину, активується соляною кислотою. Стимуляція роботи підшлункової залози активованим секретином здійснюється через кров. Виділяють три фази панкреатичної секреції — мозкову, шлункову, кишкову.

Мозкова фаза активності підшлункової залози пов'язана з діяльністю вищих відділів ЦНС. Вона здійснюється під впливом умовних (вигляд, запах їжі, думка про їжу тощо) і безумовних (подразнення смакових рецепторів порожнини рота і глотки) подразників з участю харчових центрів різного рівня. Безумовнорефлекторне подразнення смакових рецепторів (уявне годування езофаготомованого собаки) спричиняє більш істотну секреторну активність залози, ніж умовнорефлекторне.

Посилення секреторної активності підшлункової залози в період *шлункової фази* зумовлено збудженням аферентних волокон блукаючого нерва, через який імпульси з шлунку доходять до ЦНС, а звідти по еферентних шляхах до підшлункової залози.

Кишкова фаза панкреатичної секреції проявляється з моменту надходження в кишечник соляної кислоти і продуктів часткового гідролізу харчових речовин. В цьому процесі особлива роль належить кишковим гормонам — секретину і холецистокініну — панкреозіміну. Передчасна активація протеаз підшлункової залози спричиняє самоперетравлення залози (панкреатит). Після її хірургічного видалення для забезпечення кишкового травлення необхідно постійно приймати підшлунковий сік.

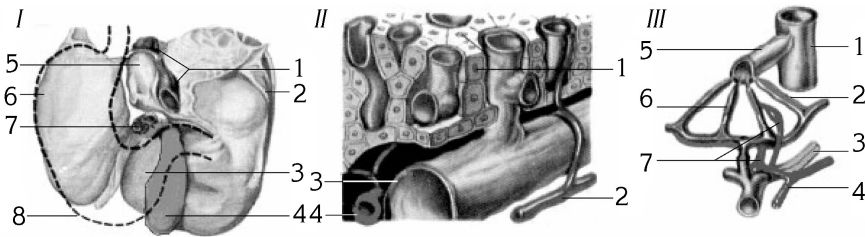


Рис. 2.13

Будова печінки (за Х. Еліасом, 1974): I — нижня поверхня (1 — нижня порожниста вена, 2 — права доля, 3 — квадратна доля, 4 — жовчний міхур, 5 — хвостова частина, 6 — ліва доля, 7 — воротна вена, ниркова артерія і жовчний проток, 8 — контури шлунка); II — печінкова тканина (1 — гепатоцити, 2 — печінкова артерія, 3 — воротна вена, 4 — синусоїд, 5 — центральна вена); III — судини дольки печінки (1 — міждолькова вена, 2 — синусоїд, 3 — воротна вена, 4 — печінкова артерія, 5 — центральна вена, 6 — купферівська залоза, 7 — артеріальні сфінктери)

Роль печінки в травленні. Функції печінки різноманітні. Вона бере безпосередню участь в обміні білків, жирів, вуглеводів, гормонів, вітамінів, відіграє важливу роль в процесах травлення, виконує захисну функцію. Продукт секреторної діяльності печінкових клітин (гепатоцитів) — жовч — активує ліпазу кишкового соку, емульгує жири, сприяючи їх розщепленню і всмоктуванню, посилює моторну функцію кишок, стимулює секрецію підшлункової залози. Жовч печінки сприяє всмоктуванню жирних кислот, каротину, вітамінів D, E, K, амінокислот, солей кальцію. Маючи бактерицидні властивості, жовч гальмує гнильні процеси в кишках. Загальна схема будови печінки подана на рис. 2.13.

Жовч виробляється гепатоцитами печінки безперервно. Ця ізотонічна золотистого кольору рідина має слаболужну реакцію. Її добова секреція становить 0,5–1,0 л. При відсутності травлення жовч нагромаджується в жовчному міхурі. Внаслідок обезводнення міхурова жовч стає більш густою і темнішою.

До складу жовчі входять органічні компоненти — солі жовчних кислот, білірубін, холестерин, жирні кислоти і лецитин. Ферментів у жовчі немає. Білірубін утворюється з гемоглобіну при руйнуванні еритроцитів (з 1 г гемоглобіну утворюється 40 мг білірубіну). Білірубін надає жовчі жовтого кольору, а білівердін (продукт окислення білірубіну) — зеленого. Натрієві солі жовчних кислот (холева, дезоксихолева), сполучені з гліколем (глікохолева) і тауроном (таурохолева), сприяють емульгуванню жирів, посилюють дію ліпази, беруть участь у всмоктуванні жирних кислот. Жовч стимулює діяльність кишкової мікрофлори, пригнічує життєдіяльність патогенних мікроорганізмів.

Регуляція жовчоутворення і жовчовиведення відбувається за участю нервових (за механізмом умовних і безумовних рефлексів) і гуморальних механізмів. Парасимпатичні

g_j\h\h e h d\gZd e b d Zixlkv b e _ g g y j _ l h j r h € d p • € • g d h d b o l, b k b f i - Z
l b q g • i j b] g • q _ g - g r y f h j Z e j v g z h e y l p • d j _ p h € a Z [_ a i _ q m] h i j f k y Z f b
r e m g d - h l h r d h \ h] z d (h z k l j, b l g _ d j _ l b g), • i j h ^ m d l Z f b _ l j Z \ e _ [g g y
d z _ d k l j Z d l b \ g b q h \ b g z e f, b y d \ k f h d l m x l a k e y m g d t h b r _ q g b d r h \
H k h [e b [z h] Z f l h \ q \ b ^ • e y } l i y b k i h ` b \ Z g g e g b b \ l d, • l h e h, d f Z y k Z b
j • \ @ h \ q h] • g z • k l b \ f z] k Z f Z h \ q
< b o • h \ q \ 12 - i Z e d h b r d i r h q b g Z } l y _ k j 5 - a 10 o \ i • k e k y i h ` b \ Z g g y a ^ • c
k g x } l v k z \ ^ y d l h h j ^ b g h \ z g b f h q _ g f y y a • k l • g d b \ q g h \ h o m j Z c h] h
k n • g d l _ j z p _ k h \ q h \ b \ _ ^ Z g d y \ m x l w k e y • p b k l h d • y d h m f \ h j x } l v k y
\ 12 - i Z e • d b r p i • ^ \ i e b \ h k h e y g h € q g d k e k e l b ^ • e _ g h y q k l b f m e x } l v k y
Z d l b \ g j z p x x q h ^ x Z n j Z] f (h j x b] e b [h d h f b o z) g g e d z h ^ h _ q • g e t b g r b o
q _ j _ \ g h j d Z g \ b d h g f z k Z ` g r m g d p e k f r e x ^ y f o \ h j b o h e _ p b k j \ z l l z f
d h \ b f \ d h] h b ^ Z e _ g h b \ q g b e o m j Z j l a Z c f Z l e k d m \ Z e m g a d m e v , l m j h x
\ d e x q Z x \ h g _ € e _ f _ g \ l b o Z e v j g f g z k l . b d b
D j • f k _ d j _ l h j g m € d p i • € • g d z d h g m } d k d j _ l h (j o h • e) g r m g d p • x
J Z a h a f h \ q x l d b r _ q g l b d h ^ y l v h y q g i •] f _ g (p • e • j m [• g • \ _ j ^ z g g h),
k h a z ` d b f o l Z e h s . h
H ^ g b a g Z c [• e i m r r b j _ g l a z o \ h j x \ Z h g \ q g b r e y o • \ h \ q g h \ h o m j Z
` h \ q g h d y z g z \ h j h . [z e b g b d g _ h g [g r y f h \ e a g _ g h k i • \ \ ^ g h r _ h g v g b d k
e h l e _ ' o] % € d \$ 6 € % Å & P % d & x O ' ` h P & @ & P & € & Q d G e ø e o

рових людей процеси бродіння і гниття взаємно врівноважені (кислі продукти бродіння гальмують активність гнилісних бактерій і навпаки).

Кишкові бактерії сприяють розщепленню жовчних пігментів. На стінках товстих кишок є також бактерії, які синтезують вітамін К та вітаміни групи В. Нормальна мікрофлора кишечника впливає на швидкість оновлення епітелію кишечника, бере участь у метаболізмі ліпідів, жовчних кислот, активізує механізми клітинного і гуморального імунітету. Проте під впливом різноманітних несприятливих чинників гармонія між окремими видами мікроорганізмів в травному тракті може порушуватись. Внаслідок зміненого характеру харчування, неконтрольного прийняття антибіотиків все частіше виникає харчовий дисбактеріоз. Сприяють оптимальним взаємовідношенням між мікробами (симбіотному травленню) різноманітне збалансоване за калорійністю і поживними речовинами харчування, включення в раціон великої кількості рослинних продуктів, недопущення запорів. Затримка харчових мас в кишечнику призводить до самоотруєння продуктами гниття білків і передчасного старіння (І. І. Мечников). Щоб обмежити розвиток мікробів, які спричиняють гниття в товстому кишечнику, дієтологи пропонують регулярно споживати молочнокислі продукти.

В ділянці дна сліпої кишки знаходиться черв'якоподібної форми відросток — апендикс (рис. 2.17). Лімфоїдні фолікули апендикса беруть участь в усіх захисних реакціях організму. Тут розмножується і постійно функціонує, виробляючи вітаміни групи В, кишкова паличка.

Внаслідок всмоктування і дії кишкової мікрофлори з решток харчових мас, травних соків і жовчі в товстому кишечнику (в прямій кишці) формується кал. Його колір обумовлений продуктами розпаду жовчних пігментів і бродіння, а запах сірководнем, органічними кислотами, продуктами гниття білків — індолом, скатолом. Протягом доби виділяється 100–200 г калу. В його складі 20–25 % сухих речовин, решта — вода. В сухому залишку — близько 20 % бак-

Рис. 2.17

Будова стінки апендикса: 1 — слизова оболонка; 2 — лімфоїдні фолікули; 3 — підслизова основа; 4 — м'язова оболонка; 5 — серозна оболонка

терій, 10–15 % неорганічних речовин (нерозчинених солей кальцію, заліза тощо), близько 5 % жиру, злущених епітеліальних клітин і слизу.

Випорожнення прямої кишки від екскрементів (дефекація) відбувається рефлекторно. Нервовий центр дефекації знаходиться в спинному мозку. Подразником, який включає даний рефлекс, є заповнення прямої кишки каловими масами. Довільний контроль з боку головного мозку над центром дефекації встановлюється на другому році життя дитини. Акт дефекації відбувається внаслідок мимовільного розслаблення зовнішнього анального сфінктера та скорочень м'язів живота і діафрагми, що зумовлює значне підвищення внутрішньочеревного тиску. Довільно напружуючи зовнішній анальний сфінктер, людина навчається стримувати рефлекс дефекації. В ряді випадків довільне пригнічення позивів до дефекації є причиною виникнення запорів.

6. Всмоктування продуктів травлення

Всмоктування — активний фізіологічний процес переходу води і розчинених у ній харчових речовин з зовнішнього середовища (з порожнини шлунково-кишкового тракту) через клітини слизової оболонки кишечника в кров і лімфу. Всмоктування відбувається на всьому протязі травного тракту, проте морфологічно і функціонально найбільш пристосовані для цього процесу епітелії шлунково-кишкового тракту і особливо тонких кишок (рис. 2.18). Довжина тонкого кишечника у середньої людини близько

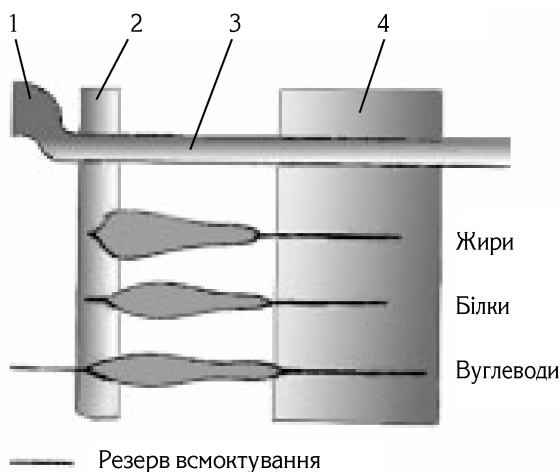


Рис. 2.18

Відносний об'єм всмоктування жирів, білків і вуглеводів в різних відділах тонкого кишечника людини: 1 — шлунок; 2 — дванадцятипала кишка; 3 — порожня кишка; 4 — підклубова кишка

3 м: 30 см — 12-пала, по 120–130 см мають порожня і підклубова кишки. Прісна вода найліпше всмоктується в прямій кишці.

Всмоктування в ротовій порожнині майже відсутнє. Це пояснюється невеликою тривалістю перебування в ній харчових речовин. Низька інтенсивність процесів всмоктування і в шлунку. Тут переважно всмоктуються вода, розчинені в ній мінеральні солі, розчини глюкози, алкоголь, в невеликій кількості амінокислоти.

Процесам всмоктування в кишечнику сприяють ритмічні скорочення ворсинок і посилене їх кровопостачання. У ворсинках розташована лімфатична судина з клапанами, які відкриваються лише в одному напрямку. Періодичні скорочення гладеньких

м'язів кишкових ворсинок (3–7 скорочень за 1 хв) обумовлюють механічне видавлювання лімфи з центральної лімфатичної судини у сплетіння лімфатичних судин кишок. Рухи ворсинок посилюють механічні подразники (хімус), продукти перетравлення білків (пептиди, амінокислоти), глюкоза, жовч, екстрактивні речовини їжі, гормон слизової оболонки кишок — віллікінін. Через епітеліальну поверхню кишки постійно відбувається перехід речовин з порожнини кишок в кров (власне всмоктування) і одночасно з крові в кишечник (секреція або екскреція).

Всмоктування кінцевих продуктів травлення та інших речовин здійснюється шляхом дифузії та осмосу за механізмом пасивного транспорту (за концентраційним градієнтом), тобто з більш концентрованих розчинів в менш концентровані, без затрат енергії АТФ. Процеси дифузії забезпечують всмоктування розчинних у воді речовин, а процеси осмосу — води. Транспорт речовин проти концентраційного градієнту здійснюється завдяки активній діяльності білковоліпідної мембрани і проходить з чималими затратами енергії. В транспортуванні речовин через клітинні мембрани беруть участь спеціальні переносники, які знаходяться на зовнішній поверхні клітинної оболонки. З'єднуючись з речовиною, яка переноситься (у вигляді нестійких комплексних сполук), переносник транспортує її до внутрішньої поверхні оболонки, а сам повертається на зовнішню мембрану.

Різновидністю активного транспорту речовин через слизову оболонку кишечника є фагоцитоз і піноцитоз (ендоцитоз). В результаті цих процесів відбувається всмоктування мікромолекул і їх агрегатів. Деякі речовини можуть транспортуватись по міжклітинних просторах (персорбція).

З слизової оболонки шлунку, тонкого і товстого відділів кишечника кров з поживними речовинами надходить у печінку, а звідти в загальний кровообіг; з порожнини рота і прямої кишки поживні речовини (відвари, настої, ліки тощо) всмоктуються прямо в кров системних судин.

Важлива роль в процесах всмоктування кінцевих продуктів травлення через стінки травного тракту належить ритмічній роботі діафрагми. Створюючи періодично підвищений і понижений внутрішньочеревний тиск, діафрагма стимулює роботу кишечника, посилює її перистальтику. Вчені вважають, що при малій екскурсії діафрагми порушується відтік з черевної порожнини багатой жирами лімфи. Частина жирів при цьому відкладається в жировій клітковині талії. Мала екскурсія діафрагми є однією з причин жовчокам'яного захворювання.

В товстому кишечнику переважно всмоктується вода, в незначній кількості глюкоза, амінокислоти. На цьому ґрунтується використання в медичній практиці клізм.

Всмоктування білків. У дорослої людини білки всмоктуються лише у вигляді амінокислот (незначна їх частина може всмоктуватись у вигляді поліпептидів). Втрата імунологічної специфічності білків їжі в процесі травлення є важливою неспецифічною функцією травного апарату. Лише в перші дні життя новонародженого для забезпечення

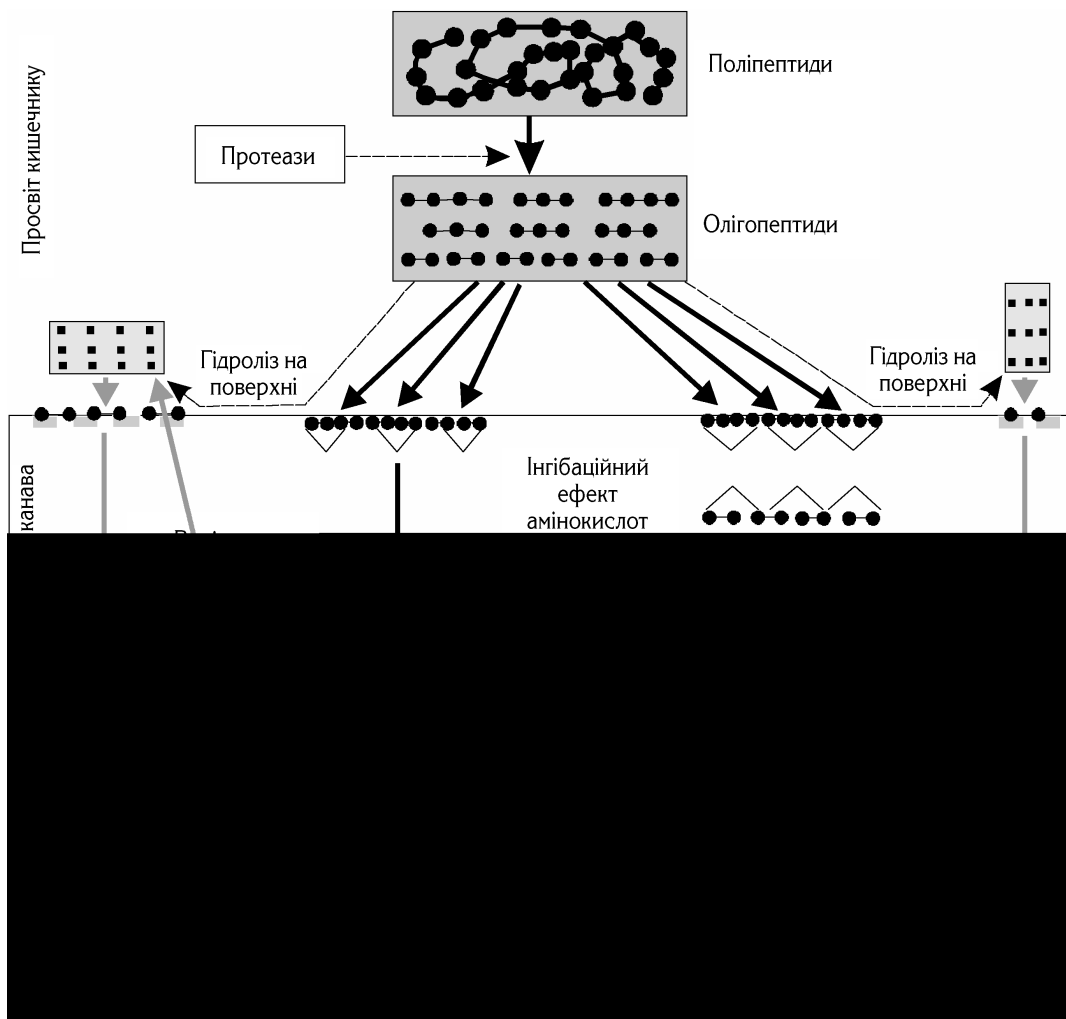


Рис. 2.19

Схема перетравлення та всмоктування білків

імунітету в його кров можуть проходити цільні білки (імуноглобуліни) молозива матері. При харчуванні білками тваринного походження перетравлюється і всмоктується 95–99 % прийнятого з їжею білка, при харчуванні рослинними білками — 75–80 %. Загальна схема перетравлення і всмоктування білків подана на рис. 2.19.

Всмоктування вуглеводів. Вуглеводи всмоктуються в кров у вигляді моноцукрів (переважно глюкози, а також фруктози і галактози) з допомогою механізмів активного і пасивного транспорту. Пасивний транспорт глюкози проходить значно повільніше, ніж активний. Особливістю активного транспорту глюкози є його залежність від

концентраційного градієнту натрію, який досягається роботою натрієвої помпи, що відкачує іони натрію з клітини.

Більш швидке надходження глюкози в кров здійснюється шляхом її фосфорилування (утворення комплексних сполук з фосфорною кислотою). Цей процес відбувається в слизовій оболонці кишечника. Він значно активізується при надходженні в кров гормону підшлункової залози — інсуліну.

На швидкість всмоктування вуглеводів впливають нервові і гуморальні чинники: парасимпатичні нервові імпульси посиляють всмоктування, симпатичні — гальмують. Всмоктування глюкози активується гормонами наднирників, гіпофізу, щитоподібної і підшлункової залоз, серотоніном, ацетилхоліном. Гальмують всмоктування глюкози гістамін і соматостатин.

Надходячи з крові до печінки, більша частина моноцукрів перетворюється в глікоген, інша, значно менша, розноситься по всьому організму і використовується як джерело енергії для підтримки життєдіяльності клітин організму.

Всмоктування жирів і вітамінів. Жири всмоктуються в кров і лімфу у вигляді гліцерину і жирних кислот. Гліцерин добре розчиняється у воді, а тому швидко всмоктується без участі додаткових чинників. Для всмоктування нерозчинних у воді жирних кислот необхідна присутність жовчних кислот (гліко- і таурохолевої). Частина жирів всмоктується в кров у вигляді нерозщепленого емульгованого жиру.

В ентероцитах оболонки кишок з продуктів розпаду жирів знову синтезуються тригліцерин, холестерин, фосфоліпіди. Частина несинтезованих жирів з'єднується з різними апопротейнами, утворюючи хіломікрони і ліпопротейни дуже низької щільності (ЛДНЦ). До складу хіломікронів входить близько 85–90 % тригліцеридів, 6–8 % фосфоліпідів, 2–4 % ефірів холестерину і 2 % білка. ЛДНЦ містять в собі значно менше тригліцеридів, але більше білка. Хіломікрони і ЛДНЦ спочатку надходять у лімфу, а вже звідти через грудний лімфатичний проток в кров (рис. 2.20). В кишках людини за добу може всмоктатися близько 150 г жиру. Засвоюваність ліпідів досить висока: для тригліцеридів — 95 %, для холестерину — 20–50 %.

Одночасно з всмоктуванням жирів всмоктуються жиророзчинні вітаміни А, D, Е, К. Водорозчинні вітаміни (вітаміни С, рибофлавін) всмоктуються шляхом дифузії. Для всмоктування цинкобаламіну (вітамінів В12) необхідна присутність внутрішнього чинника, який утворюється в стінках дна і тіла шлунку. Всмоктування вітаміну В12 відбувається переважно в підклубовій кишці. Вітамін А утворює ефіри з жирними кислотами і надходить у лімфу в складі хіломікронів.

Переважає більшість жирів, що всмоктуються в лімфу і кров, депонуються в підшкірній клітковині, звідси жири використовуються для енергетичних і пластичних цілей. Імпульси, що надходять до кишечника по симпатичним нервам гальмують всмоктування жирів, прасимпатичні імпульси, гормони кори наднирників, щитоподібної залози та гіпофіза посилюють всмоктування жирів.



l_j f h k l Z I _ f i _ j Z l m B B X K i j h [• j d i m ^ g h f _ j h f l » k l Z \ e y l k d e y g d e n v h
^ h . f Q _ j 1 @ o \ \ b c f Z x l m k i j h [• j d b j h [• j d 2 - 5 h o h e h ^ ` m i x ^ d j Z g h a f h
^ h x < f • k \ k • b j h [• j h i d h k e • ^ h \ h a ^ • e y g Z v \ q Z k l b m l z d • i j h g m f _ j h \ Z g •
i j h [• j d A h ^ g • } x Z k l b g i h k [• j h k d Z \ e y l v Z d p g Z d j h o f Z (e j h [Z E x] h) e y a
^ j m] h x g Z p m d (i j h [Z j h f f _) . Z

l j h [Z E x] h e g y Z d j h o f Z e h j • ^ b g b d Z • k l b l v k h [d j h o f Z e h ^ Z x l v
d • e v d j Z i _ e h ^ A Z [Z j \ e _ k d z h • h e _ l h \ h f ^ • [g j m Z d p g Z c h ^ Z } ^ _ d
k l j b g j h f • ` g b i c h ^ m p h a i Z d j h o f Z e k j b a f _ g r _ g g • k l m _ d k l j b g m a
q b g j h o h ^ b a f v • g d z h e v h a j m h e _ l h \ g z h _ j \ h g b c

K m l j v _ Z d p j f f _ j g Z j e x d h i e y] Z } h y \ k b g x \ Z l h j h l • g j m a q b g m
s h f • k l b l p m d h j j b \ a Z } f h N a O H i C u S O (^ h p b g h a q b g a \ ^ Z x l k 1 0 d j - Z
i _ e 1 0 % -] h N a O H • 5 d j Z i _ e % -] h j h a q b C u S O) . l j b g Z j j \ Z l g d h j h a q b g m
g v h f v h i Z ^ Z x r l f Z l h q d h k Z ^ m \ l h] Z j y q l h j h • g d m a m e v ^ Z k e • ^ ` i j g v
l h d h e x x l m Z [e b p •



5. Основними травними ферментами слини є:
а) пепсин і трипсин; б) амілаза і мальтаза;
в) ліпаза і нуклеаза; г) а + в.
6. До протеаз шлункового соку належать:
а) пепсин і хімосин; б) желатиноза;
в) амілаза і мальтаза; г) а + б.
7. Кислотність шлункового соку при перетравленні їжі (рН):
а) 1,5–2,0; б) 2–3,8;
в) 4–4,8; г) 5–7.
8. При споживанні м'ясної їжі виділення шлункового соку досягає свого максимального значення через (годин):
а) 1; б) 2;
в) 5; г) 7.
9. Реакція рН шлункового соку при відсутності їжі у шлунку:
а) лужна; б) нейтральна;
в) слабкисла; г) кисла.
10. Травні соки підшлункової залози і печінки виділяються в просвіт:
а) шлунку; б) дванадцятипалої кишки;
в) товстої кишки; г) а + в.
11. Кінцевими продуктами травлення білків, які всмоктуються в кров і лімфу, є:
а) амінокислоти; б) глюкоза;
в) жирні кислоти; г) гліцерин.
12. Кінцевими продуктами травлення жирів є:
а) амінокислоти; б) глюкоза;
в) гліцерин; г) жирні кислоти + в.
13. Інтенсивні фізичні навантажень після прийняття їжі на процеси травлення впливають:
а) позитивно; б) негативно;
в) позитивно лише під час виконання вправ.
14. В травному тракті поживні речовини їжі піддаються дії:
а) фізичній; б) хімічній;
в) біологічній; г) а + б + в.
15. Функції травної системи:
а) секреторна і моторна; б) екскреторна і всмоктувальна;
в) інкреторна + а + б; г) терморегуляторна.
16. Розрізняють такі основні форми скорочень шлунку та кишечника:
а) тонічні і перистальтичні;
б) маякоподібні і ритмічно-сегментальні рухи;
в) а + б.

17. Зворотному руху хімусу по травному тракті перешкоджають сфінктери. Протягом всього шлунково-кишкового тракту їх близько:
а) 5; б) 15; в) 20; г) 35.
18. Протягом доби підшлункова залоза виділяє таку кількість травного соку (мл):
а) 3000; б) 2000; в) 1000; г) 500.
19. Завдяки ворсинкам і мікрворсинкам всмоктувальна поверхня кишечнику досягає (м²):
а) 100–200; б) 400–500; в) 700–800; г) 900–1000.

Оцінка теми 1 модуля 2 (19 запитань)

Оцінка модуля	Кількість вірних відповідей						
	19–17	16	15–14	13	12–11	10–7	6 і <
За шкалою університету	100–90	89–82	81–75	74–69	68–60	59–35	34–1
За національною шкалою	5	4	4–	3	3–	2	2–
За шкалою ECTS	A	B	C	D	E	FX	F

Тема 2. Обмін речовин і механізми енергозабезпечення м'язової діяльності

2.1. Логіка викладу і засвоєння матеріалу

1. Інтегруючі системи метаболізму. Поняття асиміляції і дисиміляції, анаболізму і катаболізму.
2. Обмін білків. Склад, властивості і значення білків. Азотистий баланс, азотиста рівновага. Білковий мінімум. Біологічна цінність білків. Розпад білка в організмі. Коefіцієнт зношення. Потреби організму в білках. Регуляція обміну білків.
3. Обмін вуглеводів. Склад, властивості і значення вуглеводів в енергозабезпеченні м'язової діяльності. Резерви вуглеводів в організмі. Поняття гіпер- і гіпоглікемії, глюкозурії. Зміни вмісту глюкози в крові людини при виконанні тривалої інтенсивної роботи. Добова потреба організму у вуглеводах. Регуляція вуглеводного обміну.
4. Обмін ліпідів. Склад, властивості і функції ліпідів. Значення легень в обміні жирів. Роль ненасичених жирних кислот в обміні речовин. Можливості заміни в організмі вуглеводів жирами і жирів вуглеводами. Добова норма організму людини в жирах. Регуляція жирового обміну.
5. Обмін води і мінеральних солей. Фізіологічне значення обміну води і солей. Обмін води. Поняття вільної, гідраційної і структурної води. Водний баланс. Добова

потреба у воді. Обмін мінеральних речовин. Макро- і мікроелементи. Їх фізіологічна роль і добова норма. Регуляція водно-сольового обміну.

6. Вітаміни, їх роль в обміні речовин. Поняття гіпо- і гіпервітамінозу, авітамінозу. Водорозчинні вітаміни. Жиророзчинні вітаміни.
7. Обмін енергії. Методи дослідження обміну енергії. Калоричний еквівалент кисню. Рівні енергетичного обміну. Поняття основного і робочого обміну. Енерговартість різних видів діяльності.

2.2. В результаті вивчення матеріалу теми Ви повинні знати:

- сутність понять «метаболізм», «анаболізм», «катаболізм»;
- особливості обміну органічних речовин, їх біологічну роль і добову норму;
- фізіологічні механізми регуляції обміну білків, жирів, вуглеводів, вітамінів, води і мінеральних речовин;
- методи дослідження обміну енергії;
- рівні енергетичного обміну, нормативи енерговитрат для працівників різних професій.

вміти:

- розраховувати норму основного обміну за таблицями і формулами;
- визначати величину відхилення основного обміну від норми з врахуванням віку і статі досліджуваних;
- розраховувати баланс надходження та витрат поживних речовин і енергії;
- використовувати знання матеріалу теми для раціоналізації харчування, оптимізації періоду процесів обміну речовин та енергії.

2.3. Основні терміни, поняття і скорочення

азотистий баланс (АБ); амінокислоти; анаболізм; асиміляція; білки; білковий коефіцієнт (БК); білковий мінімум; біологічна цінність білків; вітаміни; водний баланс; вуглеводи; гіпоглікемія; гітерглікемія; глюкозурія; дисиміляція; -дихальний коефіцієнт (ДК); додаткові енерговитрати (робочий обмін); енергетичний баланс; жири (ліпіди); калориметрія; калоричний еквівалент кисню (КЕ О₂); катаболізм; коефіцієнт зношення (КЗ); крохмаль; макроелементи; мікроелементи; ненасичені жирні кислоти (НЖК); неоглікогенез; норма основного обміну (НОО); основний обмін; площа поверхні тіла (ППТ); повноцінність білків; специфічна динамічна дія (СДД) їжі.

2.4. Теоретичні відомості

1. Поняття асиміляції і дисиміляції, анаболізму і катаболізму

Клітини організму диференційовані для виконання специфічних біохімічних і фізіологічних функцій. Об'єднуючись вони утворюють тканини, які в свою чергу структурно організовані у вигляді органів. Ефективне розподілення функціональної активності такої структурної організації здійснюється за участю контролюючих систем, які узгоджують і координують роботу різних тканин і органів. Ця інтегруюча функція тісно пов'язана з діяльністю нервової, ендокринної і судинної систем. В нормі ці три системи взаємодіють безперебійно, доповнюючи одна одну.

Нервова система є центром переробки інформації і прийняття рішень. Сприймаючи імпульси від рецепторних систем, нервова система реагує на зміни умов довкілля (недостатність кисню, поживних речовин, води тощо), забезпечує відповідні пристосувальні реакції окремих органів і систем до цих змін. Біологічно активні речовини *ендокринної системи* виявляють вплив на процеси росту, розмноження і розвитку. Завдяки швидких адаптивних реакцій залози внутрішньої секреції забезпечують підтримання постійності внутрішнього середовища (рівня глюкози, жирів, мікро- і макроелементів тощо), синтез і розпад компонентів тканин в залежності від енергетичних потреб. *Судинна система* забезпечує 1) транспортування кисню, органічних поживних речовин і мінеральних компонентів до клітин, 2) перенесення будівельних матеріалів, енергосубстратів біологічно активних речовин від одних тканин (органів) до інших, 3) виведення з організму токсинів і кінцевих продуктів обміну.

Обмін речовин — це єдність двох взаємозв'язаних процесів — асиміляції і дисиміляції. **Асиміляція** (лат. *assimilatio* — уподобання) — переробка організмом поживних речовин їжі, у речовини самого організму. В процесі асиміляції відбувається утворення живої матерії, засвоєння клітинами речовин, що надходять в організм з довкілля, синтез більш складних хімічних сполук з простих. Кінцевим наслідком асиміляторних процесів є формування тканин і органів, ріст й розвиток організму, відновлення енергоресурсів, витрачених на процеси життєдіяльності.

Дисиміляція (лат. *dissimilis* — несхожий) — розпад органічних речовин (білків, жирів, вуглеводів, нуклеїнових кислот та ін.) в організмі на простіші речовини. Найпростішими кінцевими продуктами дисиміляції є вода, вуглекислий газ і аміак. В процесі дисиміляції вивільнюється енергія, яка перетворюється в тепло, в енергію фізіологічних процесів. За рахунок накопиченої в процесі дисиміляції в АТФ енергії здійснюються різноманітні функції організму, проходять процеси відновлення.

Обмін речовин включає в себе не лише процеси взаємодії із довкіллям, а й процеси взаємодії обміну речовин в самому організмі — *метаболізм*. Таке більш широке значення процесів асиміляції називають *анаболізмом*, а дисиміляції — *катаболізмом*. Асиміляція і дисиміляція тісно зв'язані між собою і взаємообумовлені, проте не завжди взаєморівноважені процеси. В молодому і зрілому віці спостерігається значна

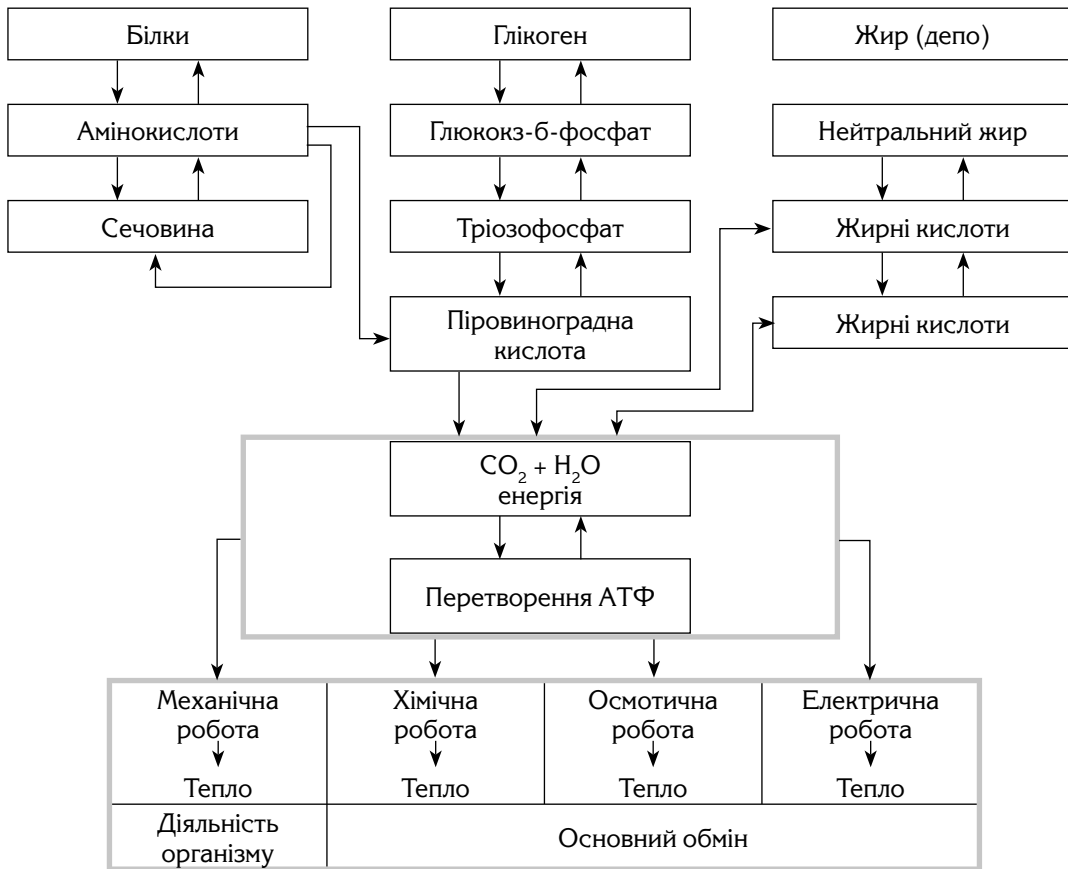


Рис. 2.22

Схема перетворень речовин і енергії в організмі

інтенсифікація обох процесів при відносній перевазі процесів асиміляції, в старості, навпаки, створюється деяка, поступово наростаюча з віком, перевага процесів дисиміляції. Значне посилення процесів розпаду при м'язовій роботі завжди супроводжується посиленням процесів синтезу у відновному періоді. Ця особливість обміну речовин лежить в основі росту фізичної працездатності людини.

В обміні речовин беруть участь білки, вуглеводи, жири, неорганічні речовини (солі), мікроелементи, ферменти, вода і вітаміни. Білки використовуються організмом переважно в якості пластичного матеріалу, вуглеводи і жири — як енергосубстрати, лише незначна частина їх включається в структурні елементи тканин.

Важлива роль в обміні речовин і енергії належить ферментам (біологічним катализаторам). Завдяки їм реалізується дія генів, спрямована на структурні зміни в руховому

апараті (розвиток натренованості), відбуваються процеси ефективного енергозабезпечення діяльності. Загальна схема перетворення речовин і енергії в організмі подана на рис. 2.22.

Для вивчення обміну речовин використовують різні методи. *Ангіостомічний метод* полягає в отриманні крові для аналізу з допомогою бужування великих кровоносних судин з порушенням їх цілісності. Для порівняльної оцінки бужують не лише судини, що відходять від досліджуваного органу, а й судини, що несуть кров до даного органу.

Балансовий метод дозволяє за балансом азоту (різниця азоту харчових продуктів і азоту сечі) досліджувати обмін білків. При вивченні обміну речовин на тваринах часто використовують *метод ізольованих органів*.

Ефективним методом вивчення процесів обміну в організмі людини є *метод мічених атомів*. Згідно з даним методом в речовину, обмін якої досліджується, вводять атоми радіоактивних ізотопів. Випромінювальна активність цих ізотопів в окремих органах і тканинах легко виявляється з допомогою спеціального обладнання.

2. Обмін білків

Склад, властивості і значення білків. Серед органічних сполук організму людини особлива роль належить білкам, які складають більше 15 % маси тіла. До складу білків входить вуглець, кисень, водень, фосфор, сірка і азот. Білки є основним пластичним матеріалом для побудови клітин організму. Пластична роль білків тісно пов'язана з їх функціональними властивостями. Так, у поперечносмугастому м'язі процес скорочення полягає в зміні конфігурації молекулярних ланцюгів білків актину і міозину.

Структурною одиницею будь-якої білкової молекули є амінокислоти. Їх відомо близько 20. З'єднуючись в певній послідовності, амінокислоти утворюють поліпептидні ланцюги, структура яких визначає відмінність одного білка від іншого. В залежності від просторової структури білкових молекул білки поділяють на фібрилярні, глобулярні і білки проміжного типу.

Характерною особливістю *фібрилярних білків* є їх схильність до формування поліпептидними ланцюгами довгих, паралельно розташованих волокон. Ці білки нерозчинні у воді і сольових розчинах. До них належать колагени, еластини та інші білки сполучної тканини. Поліпептидні ланцюги *глобулярних білків* мають згорнуту сферичну форму, більшість їх розчинні у водних і сольових розчинах (альбуміни, глобуліни тощо). До білків проміжної групи належать міозин і фібриноген. Для них характерна фібрилярна структура і в той же час вони розчинні у водно-сольових розчинах.

На відміну від вуглеводів і жирів до складу білків поряд з вуглецем, воднем і киснем входить азот, сірка, а іноді і фосфор. Так, найбільш поширені білки альбуміни і глобуліни крові містять у собі приблизно 54 % вуглецю, 7 % водню, 16 % азоту, 7 % сірки і 0,22 % кисню.

Синтез білків з амінокислот відбувається в рибосомах цитоплазми. Основним місцем синтезу білків крові і багатьох ферментів є печінка. Енергію для синтезу необхідних

сполук клітини одержують при розщепленні АТФ. Послідовність з'єднання окремих амінокислот при синтезі білків визначається специфічними рибонуклеїновими і дезоксирибонуклеїновими кислотами — генетичним апаратом клітинного ядра.

Біосинтез білків здійснюється за програмою, яка закодована в молекулах ДНК — в генах, розташованих у полінуклеотидних ланцюгах цих молекул. Кожний ген забезпечує синтез одного білка (а їх багато тисяч). В генах записана інформація про порядок надходження 20 типів амінокислот до рибосом, де синтезуються необхідні білки. Процес біосинтезу білка починається з транскрипції — перенесення генетичної інформації з ДНК на інформаційну РНК, яка через оболонку ядра переходить до рибосом. Переведення генетичної інформації, записаної в інформаційній РНК, в послідовність амінокислот білка, тобто реалізація генетичного коду, називається **трансляцією**. Амінокислоти, що знаходяться в цитоплазмі клітини, надходять до рибосом за допомогою транспортних РНК.

В кожній клітині організму знаходиться повний набір генів для синтезу всіх білків, але в певних клітинах синтезуються тільки специфічні білки, наприклад, в м'язах — м'язовий білок, в кістках — білок кісткової тканини. Синтез білка кісткової тканини заблокований у м'язах; в кістках не синтезується білок м'язової тканини. Блокування синтезу неспецифічного білка здійснюється за допомогою особливого регуляторного білка, який називається **репресором**.

В одній і тій же тканині синтез білків може тимчасово припинитися і відновлюватися. В необхідних випадках заборона синтезу білка знімається зовнішніми речовинами, які називаються **індукторами**. Репресор інактивується індуктором (наприклад, стероїдним гормоном) і синтез білка відновлюється або посилюється. В такій регуляції біосинтезу білка бере участь нейрогуморальна система. Стероїдні анаболіки, втручаючись у генетичний механізм клітинного ядра, стимулюють білковий біосинтез.

Білки виконують ряд життєво важливих функцій. Завдяки високій специфічності імуноглобулінів зберігається індивідуальність тканин, органів і організму в цілому, білки беруть безпосередню участь в передачі генетичної інформації, ними представлена більшість ферментів і гормонів. Фібріноген крові забезпечує її зсідання, гемоглобін — бере участь в транспорті кров'ю дихальних газів, білки м'язів забезпечують їх скоротливу функцію, бета- і гама-глобуліни крові використовуються для утворення антитіл (специфічний чинник імунітету).

При вичерпанні запасів вуглеводів та жирів в організмі функцію енергосубстратів беруть на себе білки. При розщепленні білка з безазотної частини його молекули утворюються вуглеводи, подальше перетворення яких забезпечує виділення енергії. Повне окислення білка (спалювання білка в колориметричних камерах) забезпечує виділення 5,3 ккал енергії. Оскільки окислення білків закінчується на проміжних продуктах (аміак, сечовина тощо), які ще містять у собі певну кількість енергії, то при окисленні 1 г білка в організмі вивільнюється всього 4,1 ккал енергії.

Азотний баланс. Величину білкового розпаду визначають за величиною виведеного з організму азоту. В білках міститься 16 % азоту. Для визначення кількості білка даного харчового раціону визначають вміст в ньому азоту і отриману величину множать на *білковий коефіцієнт* () — 6,25. БК показує, що 1 г азоту міститься у 6,25 г білка (100:16). Для визначення показника засвоєного азоту з його загального вмісту в прийнятій їжі віднімають азот, який пройшов через шлунково-кишковий тракт транзитом, тобто азот калу.

Про рівень розпаду білка в організмі судять за величиною азоту, виведеного через нирки (з потом його виводиться незначна частина). Відношення кількості азоту, що надійшов в організм, до кількості азоту, виведеного з сечею, називається *азотистим балансом* ().

АБ буває позитивний, якщо кількість азоту, що надійшла в організм з їжею, більша кількості виведеного азоту через нирки, або негативним, коли кількість виведеного з організму азоту більша, ніж його надходить з їжею. У випадку, коли кількість виведеного через нирки азоту дорівнює кількості азоту, який надійшов з їжею (без врахування азоту, що не засвоївся), говорять про азотисту рівновагу. Стан азотистої рівноваги характерний для дорослої здорової людини. Позитивний азотистий баланс характерний для дітей, які ростуть, а також для осіб, які тривалий час голодували або хворіли. Негативний азотистий баланс спостерігається в час голодування, при розпаді тканинних білків, викликаних дією великих доз іонізуючого опромінення, при важких хронічних хворобах.

Білки в організмі не можуть відкладатися про запас. Лише незначна кількість їх надовго затримується в печінці. Розпад білків в організмі залежить від величини їх надходження з харчовими продуктами. Чим більше білків в їжі, тим більша величина їх розпаду, і навпаки, — при зменшенні кількості отриманого з їжею білка зменшується і величина його розпаду. Таким чином, весь час підтримується азотна рівновага, проте кожен раз на новому рівні, який визначається кількістю білка у прийнятій їжі. При звичайному харчуванні азотна рівновага встановлюється за наявності у їжі 100–110 г білка. Найменшу кількість білка, який повинен бути в прийнятій людиною з їжею і при якій ще підтримується азотна рівновага, називають *білковим мінімумом*. Його величина — 60 г білка.

Роль печінки в азотному обміні. Печінка відіграє провідну роль в складних перетвореннях білків і амінокислот (рис. 2.23).

Перш ніж потрапити в загальний кровообіг продукти перетравлення їжі з кишечника надходять в печінку. Печінка органічно пов'язана з жовчовивідними шляхами, що дозволяє виводити шкідливі кінцеві продукти азотного обміну (зокрема жовчні пігменти, солі важких металів) безпосередньо в кишечник. Печінкові клітини містять в собі весь набір ферментів, які беруть участь в обміні амінокислот. Головна роль печінки в обміні вільних амінокислот пов'язана з процесами глюконеогенезу, утворенням замінимих амінокислот і основ нуклеїнових кислот з простих попередників, виведенням через жовч кінцевих продуктів метаболізму. В печінці синтезуються білки плазми крові та позаклітинні ферменти, які впливають на обмін речовин в цілому організмі. Деякі білки

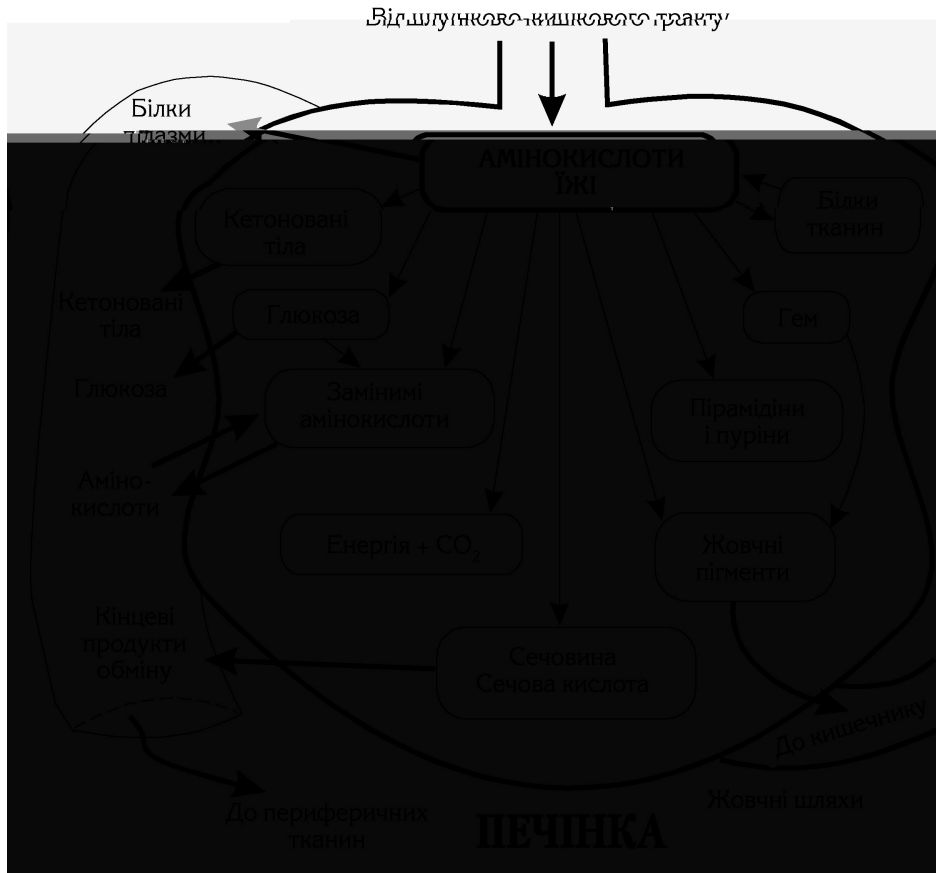


Рис. 2.23

Роль печінки в азотному обміні

печінки здатні швидко розпадатись, забезпечуючи лабільний резерв амінокислот в період голодування.

Біологічна цінність білків. Необхідною умовою нормального обміну білків і їх синтезу в організмі є надходження з їжею достатньої кількості різних амінокислот. Адже з усіх відомих амінокислот лише половина вважається замінними, інші незамінні. До *незамінних амінокислот* належать ті, які не утворюються в організмі. Це лейцин, ізолейцин, валін, метіонін, лізин, тирозин, фенілаланін, гістидин, аргінін, триптофан. Тривала відсутність цих амінокислот в харчовому раціоні приводить до різкого порушення синтезу білка. Як наслідок виникає негативний баланс азоту, припиняється ріст, знижується маса тіла.

Амінокислоти характеризуються специфічністю функцій. Так, нормальний ріст організму неможливий без триптофану, тирозину, аргініну; лізин необхідний як для росту, так і для збереження білкової рівноваги; гліцин використовується переважно для

•

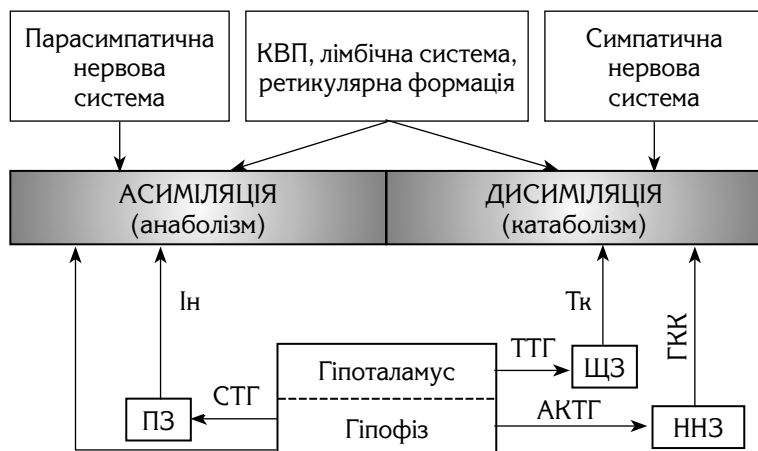


Рис. 2.25

Схема регуляції білкового обміну: КВП — кора великих півкуль; СТГ — соматотропний гормон; Ін — інсулін підшлункової залози (ПЗ); АКТГ — адренокартико-тропний гормон; ГКК — глюкокортикоїди наднирників (ННЗ); ТТГ — тиреотропний гормон гіпофіза; Тк — тироксін щитоподібної залози (ЩЗ)

виток харчової алергії (висипання на шкірі, запалення слизових оболонок тощо). Вміст білку в раціоні дітей повинно бути більшим, ніж у дорослих (2–3 г на 1 кг маси).

Регуляція обміну білків. Нервова регуляція обміну білків пов'язана з функцією кори великих півкуль, лімбічної системи і проміжного мозку. По симпатичних нервах еферентні імпульси ідуть до скелетних м'язів, надниркових, щитоподібних та інших залоз; по симпатичних та парасимпатичних нервах — до печінки, нирок, інших внутрішніх органів. Загальна схема нейрогуморальної регуляції обміну білків представлена на рис. 2.25.

3. Обмін вуглеводів

Вуглеводи — це органічні сполуки, до складу яких входить вуглець, водень і кисень. Загальна їх кількість 1 % маси тіла. Вуглеводи відіграють першочергову роль в енергозабезпеченні діяльності (при окисленні 1 г вуглеводів вивільнюється 4,1 ккал енергії), що обумовлено високою швидкістю їх надходження з депо до працюючих органів, а також високою енерговартістю кисню, який іде на окислення вуглеводів (калоричний еквівалент 1 л кисню при окисленні вуглеводів — 5,05 ккал, жирів — 4,7 ккал). Недостатня кількість вуглеводів може зумовити порушення обміну білків і жирів. Надмірне вживання вуглеводів, особливо рафінованих, призводить до збільшення маси тіла, сприяє розвитку карієсу зубів, посилює алергічні реакції.

гальної кількості білків повинні бути білки тваринного походження; в добовому раціоні дорослих тваринні білки повинні скласти 40 % від загальної кількості білків, для спортсменів — 50 %, для дітей — 60 %.

Білкова недостатність спричиняє затримку росту і розвитку школярів, зниження опірності організму проти інфекційних захворювань. Надмірне вживання їжі, багатой на білок, може спричинити перезбудження нервової системи, роз-

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

Фосфор є складовим компонентом кісткової, м'язової і нервових тканин, аденозотрифосфорна кислота (АТФ) і креатинфосфат — обов'язкові компоненти в механізмі м'язового скорочення. Багато фосфору в яйцях, рибі і м'ясі. Добова норма фосфору (вона повинна приблизно в два рази перевищувати кількість кальцію) для дорослих — 1,6 г, для дітей — 1,5–2,0 г, для спортсменів швидкісно-силових видів спорту — 2,5–3,5 г, для стаєрів і марафонців — 2,0–2,5 г.

Калій входить до складу внутрішньоклітинної рідини. Він відіграє важливу роль в процесах збудження (в діяльності натрій-калієвої помпи), в деполяризації і реполяризації м'язових волокон. При недостатності калію в організмі порушується ритм серцевих скорочень, в тканинах затримується значна кількість рідини. Багато калію виділяється з організму при посиленому потінні. Норма калію для дорослих — 2–3 г, для спортсменів — 4–6 г. Багаті калієм картопля, абрикоси, молочні продукти, яйця, овочі, фрукти. Добре засвоюється калій з овочевих і фруктових соків, компотів та овочевих супів, значно гірше — з мінеральної води і хімічних препаратів.

Залізо входить до складу гемоглобіну еритроцитів, міоглобіну м'язів, відіграє важливу роль в кровотворенні. Добова потреба в залізі для дорослих — 15–20 г, для спортсменів — 30–40 г. При недостатності заліза в харчовому раціоні розвивається анемія (малокров'я), знижується гемоглобін і киснева ємність крові. Для відновлення вмісту заліза в організмі необхідно споживати продукти, багаті цим мінералом — печінку, яйця, яблука, гречку, гречаний мед або ж приймати препарати заліза.

Потреба організму людини в мікроелементах не велика, проте вони відіграють важливу роль в його життєдіяльності. Так йод входить до складу щитоподібної залози, кобальт — складова частина вітаміну В12, мідь, цинк та ін. є необхідною складовою частиною ферментів-каталізаторів біохімічних процесів. Мікроелементів багато в овочах, яйцях риби, печінці, молоці, горіхах.

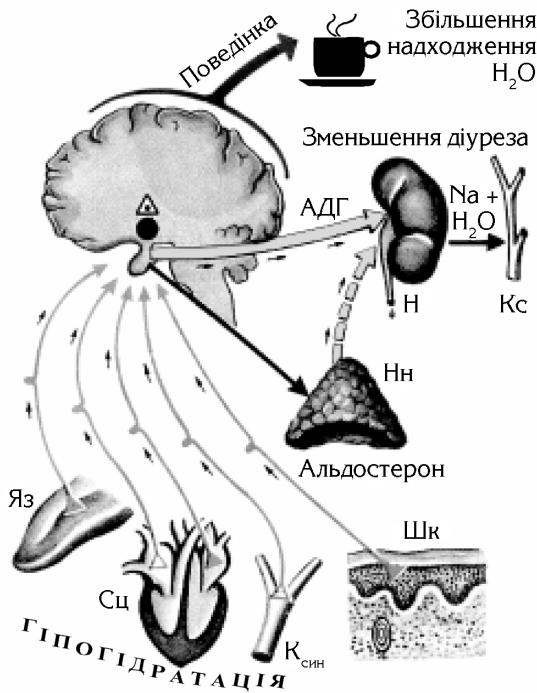


Рис. 2.33

Рефлекторна регуляція водно-сольового обміну при гіпогідратації: Шк — шкіра; Нн — наднирники; Н — нирка; Ксин — каротидний синус; Яз — язик (ротова порожнина); Сц — серце; Кс — кровоносні судини; АДГ — антидіуретичний гормон гіпофіза

Добова потреба людини в мінеральних речовинах залежить від її віку, функціонального стану (при вагітності потреба в мінеральних речовинах зростає) і режиму рухової активності. В середньому добова норма дорослої людини в натрію — 4–6 г, калію 2–4 г, фосфору — 1–2 г, сірці — 1 г, магнію — 0,5 г, заліза — 20 г, цинку — 15 г, міді — 3 г.

При звичайному змішаному харчуванні організм людини одержує достатню кількість мінеральних солей і лише звичка підсолювати їжу вимушує нас постійно додавати до харчових продуктів кухонну сіль. Збільшеною є норма споживання мінеральних речовин дітьми, організм яких потребує додаткову кількість багатьох макро- і мікроелементів для процесів росту і розвитку. Так, для повноцінного розвитку кісток і нервової тканини дітей в їх харчовий раціон слід вводити продукти, багаті кальцієм, фосфором, калієм, магнієм, натрієм (збільшення маси тіла на 1 кг пов'язане з затримкою в тілі 1 г натрію). Найкращим джерелом надходження згаданих та інших мінеральних речовин в оптимальному співвідношенні є молоко, яйця, м'ясо, овочі і фрукти. У спортсменів, які виконують інтенсивну фізичну роботу, значна кількість солей (особливо натрію, калію, фосфору) виходить з потом (до 2 г на літр поту). Саме тому у відновному періоді їм слід додатково споживати водні розчини солей або збагачені цими солями харчові продукти.

Регуляція водно-сольового обміну. Регуляція виділення води і солей з організму здійснюється шляхом нервових впливів на нирки і потові залози. При цьому потреба людини у воді проявляється почуттям спраги, а потреба у солях обумовлює формування почуття сольового апетиту. Нервовий центр, який регулює водно-сольовий обмін, розташований в проміжному мозку. Тут є спеціальні осморцептори, чутливі до зміни осмотичного тиску в крові і в тканинній рідині. Подразнення цих рецепторів зумовлює рух води і солей в організмі, всмоктування їх з травного тракту, перерозподіл між окремими тканинами та органами і виділення через нирки, потові залози, шлунково-кишковий тракт (рис. 2.33).

Важлива роль в регуляції водно-сольового обміну належить гормонам наднирників, паращитоподібної, щитоподібної і інших залоз внутрішньої секреції. Так,

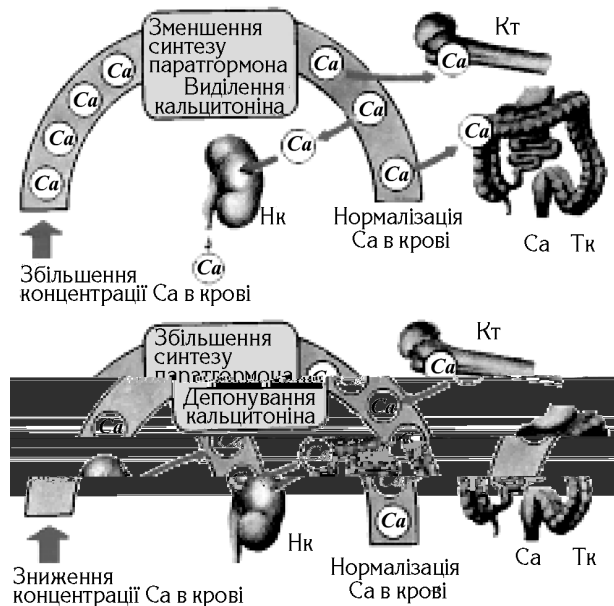


Рис. 2.34

Взаємодія гормонів, які регулюють баланс кальцію в організмі: Нк — нирка; Кт — кістки; Тк — травний канал

вазопресин задньої частки гіпофіза зменшує виділення води нирками, мінералокортикоїди кори наднирників забезпечують затримку натрію в організмі, гормон парашитоподібної залози паратгормон регулює обмін фосфору і кальцію (рис. 2.34).

6. Вітаміни, їх роль в обміні речовини та енергії

Вітамінами називають групу органічних речовин, які не використовуються організмом ні як пластичний, ні як енергетичний матеріал, проте необхідні йому в малих кількостях, оскільки беруть участь у регуляції багатьох фізіологічних функцій, специфічно впливають на розвиток і обмін речовин та енергії. Значна частина вітамінів входить до складу ферментів.

Всього на сьогоднішній день відомо близько 50 вітамінів. Людина має потребу в 16–18 вітамінах. Основним джерелом вітамінів є рослини. В них синтезується або самі вітаміни, або провітаміни, які в організмі людини здатні перетворюватись у вітаміни. Найбільше вітамінів міститься в свіжих фруктах, овочах, у м'ясі, молоці. Наявність вітамінів в харчових продуктах тваринного походження обумовлена тим, що вітаміни, які надходять в організм з рослинними продуктами, можуть нагромаджуватись про запас в печінці, серці, нирках та інших органах. Деякі вітаміни (вітамін К, B_6) синтезується мікроорганізмами кишечника і всмоктуються в кров, а тому навіть їх відсутність у харчовому раціоні не призводить до гіповітамінозних наслідків.

Відсутність в їжі того чи іншого вітаміну (авітаміноз) або неповна забезпеченість раціону окремими вітамінами (гіповітамінози) спричиняють до зниження розумової і фізичної працездатності. Авітамінози і гіповітамінози можуть виникати навіть при наявності вітамінів в їжі у тих випадках, коли порушено їх всмоктування з шлунково-кишкового тракту або ж коли потреба у вітамінах підвищена (при вагітності, інфекціях, прийнятті антибіотиків тощо).

Розрізняють водо- і жиророзчинні вітаміни. До водорозчинних належать вітаміни B_1 — тіамін, B_2 — рибофлавін, B_6 — піридоксин, B_{12} — ціанокобаламін, вітаміни РР, фолієва, пантотенова, панганова, аскорбінова кислоти та ін. До групи жиророзчинних належать вітаміни А, D, Е і К.

Водорозчинні вітаміни

Вітамін B_1 (тіамін, антиневротичний). Бере участь в обміні білків, жирів, вуглеводів, в процесах синтезу нуклеїнових кислот, в проведенні нервового збудження по збудливих клітинах, в діяльності ЦНС і його вищого відділу — кори великих півкуль. У формі тіамініпірофосфату (кокарбоксілази) вітамін B_1 виконує функцію коферменту в процесах декарбоксілювання кетокислот (піровиноградної та ін.). При B_1 -авітамінозі розвивається важке захворювання (бері-бері), характерними симптомами якого є ураження функції нервової системи і рухового апарату (некоординованість рухів, параліч), і порушення вуглеводного обміну (підвищення вмісту піровиноградної кислоти в крові).

Ознаками гіповітамінозу є швидка втомлюваність, дратівливість, втрата апетиту. Добова потреба дорослої людини у вітаміні B_1 — 2–3 мг (дітям — до 2 мг, спортсменам — до 5 мг). Оскільки даний вітамін в організмі не депонується, необхідно забезпечити його постійне надходження з їжею. Найбільш багаті вітаміном B_1 пивні дріжджі, неочищений рис або рисові висівки, чорний хліб, вівсяна крупа, печінка, яєчний жовток.

Вітамін B_2 (рибофлавін). Володіючи здатністю легко окислюватись і відновлюватись, рибофлавін бере участь у процесах клітинного дихання, в діяльності ЦНС, процесах обміну речовин і енергії, кровотворенні. При B_2 -авітамінозі порушується біологічне окислення, виникають ураження слизових оболонок, шкіри, рогівки ока. Добова потреба у вітаміні B_2 для дорослих до 3–4 мг, для дітей — до 2–3 мг. Велика кількість рибофлавіну в пивних дріжджах, помідорах, капусті, зерні злаків, печінці, рибних продуктах, яйцях.

Вітамін B_6 (піридоксин, антидерматичний). Бере активну участь в обміні білків. Входить до складу ферментів, які регулюють головним чином реакції синтезу та розщеплення амінокислот. При B_6 -авітамінозі виникають захворювання шкіри (дерматити), змінюється склад крові (анемія і лімфопенія), порушується діяльність вестибулярного апарату. Вітамін B_6 синтезується бактеріями кишечника, а тому за умов нормального функціонування травного тракту організм людини не потребує додаткового споживання продуктів з підвищеним вмістом цього вітаміну.

Вітамін B_{12} (ціанкобаламін, антианемічний). До його складу входить кобальт. Вітамін B_{12} бере участь в обміні нуклеїнових кислот, в процесах кровотворення. При B_{12} -авітамінозі порушується утворення еритроцитів і тромбоцитів (зляксісне недокрів'я — анемія). Добова норма 0,005 мг. Найбільш багаті цим вітаміном нирки, печінка, серце, м'ясо, риба, курячі яйця, молоко.

Вітамін РР (нікотинова кислота, антипеларгічний) — бере участь у клітинному диханні, в синтезі гормонів корою наднирників, знижує вміст холестерину в крові, викликає розширення судин і прискорення серцевих скорочень. Ознаками РР-гіповітамінозу є швидка втомлюваність, апатія, порушення пам'яті; при авітамінозі виникає захворювання — пелагра. Її симптоми: захворювання шкіри (дерматит), порушення травлення (діарея), психічні розлади (деменція). Нікотиновою кислотою багаті дріжджі, крупи зернових, молоко, печінка, м'ясо, гриби. Добова потреба — 15–30 мг.

Вітамін С (аскорбінова кислота) необхідний для синтезу білків (зокрема, синтезу колагену сполучної тканини), утворення органічної речовини кісток. Аскорбінова кислота сприяє процесам всмоктування кінцевих продуктів травлення, активізує перебіг окисно-відновних процесів, підвищує імунологічну реактивність організму. С-авітаміноз проявляється виникненням захворювання, відомого під назвою цинга (скорбут). Його ознаками є кровоточивість, розрихлення ясен, випадання зубів, крихкість кісток, зниження реактивності організму до інфекцій. С-гіповітаміноз проявляється в'ялістю, швидкою втомленістю, м'язовою слабкістю, головокружінням, кровоточивістю ясен. Досить часто гіповітаміноз виникає в кінці зими, коли кількість вітамінів в овочах і фруктах значно зменшується.

Добова потреба дорослої людини у вітаміні С до 100 мг, для дітей 50–75 мг, для вагітних жінок, людей важкої фізичної праці — до 200–300 мг. Багато вітаміну С в лимонах, апельсинах, чорній смородині, фруктах. З тваринних продуктів помітну кількість аскорбінової кислоти містять печінка, мозок, м'ясо, молоко.

Жиророзчинні вітаміни

Вітамін А (*ретинол або вітамін росту*) утворюється з пігменту каротину, який синтезується багатьма рослинами. Ретинол бере участь в окисно-відновних процесах, обміні холестерину, синтезі гормонів кори наднирників і статевих залоз. Першими ознаками А-гіповітамінозу є порушення сутінкового зору — «куряча сліпота». Її виникнення зумовлене зменшенням вмісту в світлочутливих рецепторах сітківки ока зорового пурпуру, до складу якого входять вітамін А, білок опсин. Вітамін А необхідний для підтримання нормального функціонування епітеліальної тканини.

При А-авітамінозі спостерігається ороговіння епітелію рогівки (сухість очей), бронхів, трахей, нирок, сечового міхура, що погіршує функціональний стан цих органів. Добова норма вітаміну А для дітей 1–2 мг, для дорослих до 5 мг. Серед тваринних продуктів вітаміну А найбільше у риб'ячому жирі, коров'ячому маслі, печінці, ікрі риб, яєчному жовтку, серед рослинних — в моркві, абрикосах, помідорах, шпинаті, чорній смородині, салаті, петрушці, червоному перці, зеленій цибулі, агрусі. В цих останніх продуктах знаходяться провітаміни (каротин), в організмі людини вони здатні перетворюватись на вітамін А.

Вітамін D (*антирахітичний*) бере активну участь у регуляції обміну солей кальцію і фосфору. Відомо багато вітамерів цього вітаміну. Найбільш важливі з них — вітаміни D₂ і D₃.

У шкірі людини, а також у риб'ячому жирі міститься вітамін D₃. Він утворюється з 7-дегідрохолестерину під впливом ультрафіолетового проміння і називається холекальциферолом. В грибах, а також у дріжджах міститься ергостерин, який при опроміненні ультрафіолетовим промінням перетворюється у вітамін D. Він називається ергокальциферолом.

При D-авітамінозі у дітей виникає рахіт (порушення процесів окостеніння, підвищена дратівливість, м'язова слабкість), у дорослих — остеомалія (розм'ягчення кісток внаслідок надмірного виведення кальцію з організму). Наслідком D-гіпервітамінозу є різке збільшення концентрації кальцієвих і фосфорних солей в крові, відкладання їх на стінках кровоносних судин у кістках.

Добова потреба у вітаміні D для дітей — 10–20 мкг, для дорослих — 30 мкг. Багато на вітамін D яєчні жовтки, вершкове масло, печінка і жирова тканина риб, головним чином тріски, опромінені ультрафіолетовими променями харчові продукти.

Вітамін Е (*токоферол*) необхідний перш за все для нормального перебігу процесів, які забезпечують функцію розмноження. При його відсутності в їжі порушуються

процеси сперматогенезу і вагітності, деградуються скелетні м'язи — міодистрофія (розпад міофібрил).

Токоферол бере участь в окислювально-відновних процесах, в обміні білків, процесах м'язового скорочення. Він міститься майже в усіх харчових продуктах, особливо багато його у салаті, зародках пшениці, рослинних оліях, тваринних продуктах — м'ясі, печінці, ікрі риб. Вітамін Е використовують не тільки в медичній практиці (для лікування неплодності, нервових, шкірних захворювань, гіпотрофії у дітей тощо), але й у промисловості для запобігання згіркнення рослинних олій (вітамін Е — антиокислювач).

Вітамін К (*протигеморагічний, філохінон*) необхідний для синтезу протромбіну печінкою. При К-гіповітамінозі зменшується вміст протромбіну в крові і як наслідок пригнічується процес зсідання крові, виникає кровоточивість (геморагія). Вітамін К міститься у різноманітних харчових продуктах особливо багато його у шпинаті, капусті, кропиві, у зелених помідорах, листі каштану. З тваринних продуктів на вітамін К багата свиняча печінка. Вітамін К синтезується бактеріями товстого кишечника, а тому К-авітаміноз виникає лише в умовах порушення всмоктування вітаміну в кров з кишечника при відсутності жовчних кислот (при закупорках жовчного протоку).

7. Обмін енергії

Обмін енергії є складовою частиною обміну речовин. Адже всі хімічні перетворення, які проходять в організмі, супроводжуються виділенням або поглинанням енергії. Співвідношення між кількістю енергії, яка надійшла в організм з їжею, і кількістю енергії, витраченої організмом, називається **енергетичним балансом**. При надмірному харчуванні відбувається нагромадження енергетичних запасів (збільшення маси тіла) — позитивний енергобаланс; в умовах недостатнього харчування спостерігається зменшення енергії в організмі (зменшення маси тіла) — негативний баланс.

Потреба людини в енергії є досить індивідуальною і залежить від багатьох чинників: конституції, ваги, зросту, віку, виду діяльності. При всіх інших умовах зниження калорійності харчового раціону необхідно проводити в основному за рахунок продуктів, багатих вуглеводами (солодощів, хліба, мучних і круп'яних страв, картоплі тощо). Не менш ефективним методом зниження надмірної маси тіла є збільшення енерговитрат шляхом виконання фізичних вправ. Згідно рекомендацій К. Купера, для того щоб схуднути на 1 кг за тиждень, вартість харчового раціону повинна бути щоденно на 1000 ккал меншою від енерговитрат.

В стані спокою та при виконанні легкої роботи енергозабезпечення на 50 % здійснюється за рахунок жирів, а решта — за рахунок вуглеводів. При виконанні важкої роботи переважаючим в енергозабезпеченні діяльності є використання вуглеводів. При виконанні максимально напруженої фізичної роботи майже вся енергія надходить від вуглеводів. Тривале виконання напруженої м'язової роботи, призводить до вичерпання вуглеводних запасів і настання втоми.

Органи і системи організму не можуть функціонувати повноцінно лише за рахунок енергії жирів. За таких умов в організмі нагромаджуються шкідливі речовини, зокрема ацетон, що призводить до зниження фізичної працездатності та отруєння організму продуктами жирового обміну. Повне згоряння жиру в умовах м'язової діяльності можливе лише при одночасному окисленні і жирів, і вуглеводів.

Теплова енергія вимірюється калоріями. Велика калорія (ккал) — це та кількість тепла, яка необхідна для нагрівання 1000 г води на 1 °С, мала калорія (кал) — кількість тепла, необхідна для нагрівання одного грама води на 1 °С.

Методи дослідження обміну енергії. Енергія, яка вивільнюється в процесі окислення енергосубстратів (вуглеводів, жирів), використовується організмом у вигляді хімічної, механічної, електричної, променевої і теплової. Частина вивільненої в організмі енергії використовується на процеси синтезу, 25–30 % переходить в механічну енергію, найбільша ж її кількість виділяється в довкілля у вигляді тепла. Оскільки кінцевим результатом усіх енергетичних перетворень є утворення тепла, для визначення загальних енерговитрат вимірюють кількість тепла, яке виділяється даним організмом в довкілля. Для цього використовують такі методи фізіологічної калориметрії.

. Простий, але не точний метод визначення балансу енергії. Його суть полягає у врахуванні калорійності їжі та систематичних спостереженнях за масою тіла. Стабільність маси свідчить про баланс між надходженням енергії в організм і її використанням.

. З допомогою калориметричної камери вимірюють кількість виділеного з організму тепла в довкілля. *Калориметр* — це закрита з теплонепроникними стінками камера, в якій по трубах циркулює вода. Кількість виділеного організмом, який знаходиться в камері, тепла визначають за величиною приросту температури води, що пройшла через камеру.

. Величину виділеного організмом тепла визначають шляхом аналізу динаміки дихального газообміну. Для розрахунку енерговитрат враховуються величини використаного кисню і виділеного вуглекислого газу.

Кількість тепла, яке виділяється при споживанні організмом 1 л кисню, називається *калоричним еквівалентом кисню* (). Для окислення 1 г вуглеводів, жирів або білків витрачається 0,83 л кисню і при цьому виділяється 4,1 ккал енергії (КЕК — 5,05 ккал), стільки ж енергії утворюється при окисленні в організмі 1 г білків, проте використання кисню у цьому випадку дещо більше (0,97 л), а КЕК менший (4, 46; табл. 2.2).

В умовах раціонального харчування окислюється не один окремо взятий енергосубстрат, а їх суміш. Тому КЕК в середньому становить 4,8 ккал (використання білків в якості енергосубстрату відбувається лише при вичерпанні запасів вуглеводів і жирів). Отже, знаючи величину кисню, яка споживалась організмом за даний проміжок часу, можна визначити кількість виділеної енергії. Проте для точності підрахунків слід знати, який енергосубстрат використовується для окислення — вуглевод, жир чи білок. З цією метою визначають *дихальний коефіцієнт* () — відношення об'єму виділеного

Таблиця 2.2
Калоричний еквівалент кисню при окисленні білків, жирів та вуглеводів

Енерго-субстрати	При окисленні 1 г енергосубстрату		КЕК, ккал
	вивільнюється енергія, ккал	споживається кисню, л	
білки	4,1	0,97	4,46
жири	9,3	2,03	4,74
вуглеводи	4,1	0,83	5,05

через легені вуглекислого газу до об'єму споживаного кисню. ДК залежить від співвідношення вуглецю, кисню, водню у молекулі окислювальної речовини. При окисленні вуглеводів ДК дорівнює 1, жирів — 0,7, білків — 0,8. Конкретному ДК відповідає певний показник КЕО₂ (чисельник — ДК, знаменник КЕО₂): 0,70/4,70; 0,75/4,74; 0,80/4,80; 0,90/4,92; 0,95/4,98; 1,00/5,05.

В період виконання напруженої фізичної роботи ДК зростає до 1, а після роботи може бути більшим одиниці. Це пояснюється інтенсивним використанням в якості енергосубстрату вуглеводів, а також витісненням молочною кислотою вуглекислоти із бікарбонатів.

Недоліком непрямой респіраторної калориметрії є необхідність використання для вдихуваного повітря утруднюючих дихання газових масок і мішків. Це робить даний метод малоприматним для дослідження.

Рівні енергетичного обміну. Величина енергообміну знаходиться в прямій залежності від активності людини. У зв'язку з цим виділяють два рівні енергетичного обміну — основний і робочий.

Основний обмін включає в себе величини енерговитрат, які йдуть на підтримання необхідного для життєдіяльності клітин рівня окислювальних процесів, діяльності постійно працюючих органів (дихальної мускулатури, серця, нирок, печінки, мозку), підтримання мінімального рівня м'язового тону, оптимальної температури тіла та інших проявів життєдіяльності організму. Найбільший внесок у величину основного обміну вносять скелетні м'язи (25%), печінка і органи травлення (20%). Найменші витрати енергії у людини в час сну — близько 0,9 ккал/хв.

Визначення основного обміну проводять: 1) в стані спокою — лежачи з розслабленими м'язами, 2) натщесерце, тобто через 12–16 год після прийняття їжі, 3) при температурі оточуючого середовища, яка б не викликала ні відчуття холоду, ні відчуття жару (комфортна температура) — 20–22°C, 4) через досить тривалий проміжок часу після значних фізичних, розумових і емоційних навантажень (в час повного відновлення і ліквідації наслідкових процесів в корі головного мозку від попередньої діяльності).

Основний обмін визначається в стані неспання. В час сну рівень окислювальних процесів, а значить, енерговитрат на 8–10% нижчий, ніж у людини, що не спить. Це пояснюється, перш за все, більш повним розслабленням м'язів у сні.

Таблиця 2.3

Залежність теплопродукції організму від маси і поверхні тіла

	Маса, кг	Добова теплопродукція, кДж	
		На 1 кг маси тіла	На 1 м ² поверхні тіла
Людина	64,3	145	4376
Миша	0,018	2747	4980
Курка	2,0	298	3977
Кріль	2,3	315	3851
Гусак	3,5	167	4061
Собака	15,2	216	4354
Свиня	128,0	80	4506
Бик	391,0	80	6580
Кінь	441,0	46	3882

При визначенні основного обміну з допомогою непрямой калориметрії використовується величина калоричного еквіваленту кисню — 4,825, яка відповідає дихальному коефіцієнту — 0,82 (окислення вуглеводів і жирів).

Величина основного обміну залежить від маси тіла і площі поверхні тіла (табл. 2.3). Тому її виражають у перерахунку на 1 кг маси тіла, або на 1 м² площі поверхні тіла. Приблизна величина основного обміну для дорослих осіб складає 1 ккал на 1 кг маси тіла за 1 годину. Інтенсивність обміну речовин обернено пропорційна масі і прямо пропорційна поверхні тіла тварин — закон поверхні тіла (М. Рубнер).

Витрати енергії пропорційні величинам поверхні тіла: чим більша площа поверхні тіла, тим більші витрати тепла. Рівень основного обміну у дітей вищий, ніж у дорослих. Це пояснюється більш високою інтенсивністю окислювальних процесів і більш високими затратами енергії на пластичні процеси розвитку організму. При старінні основний обмін знижується приблизно на 5 % протягом кожних 10 років життя, що зумовлено зниженням інтенсивності процесів відновного біосинтезу, на які витрачається багато енергії. У чоловіків рівень основного обміну на 5–10 % вищий, ніж у жінок.

Робочий обмін або додаткові енерговитрати. В стані фізіологічного спокою при відсутності м'язової діяльності рівень енерговитрат стає більшим, ніж в умовах основного обміну. Це зумовлено додатковими витратами енергії на підтримання постійної температури тіла при зміні температури довкілля, енерговитратами на роботу травного апарату, розумову діяльність. При низькій температурі довкілля окислювальні процеси м'язів у 3–4 рази перевищують рівень основного обміну. В положенні сидячи витрати енергії збільшуються на 10 %, а в положенні стоячи на 20–25 % в порівнянні з положенням лежачи.

Додаткові витрати енергії пов'язані також з перетравленням в травному тракті білків, жирів і вуглеводів. Споживання звичайної змішаної їжі посилює витрати енергії на 150–200 ккал. При споживанні білкової їжі енерговитрати збільшуються на 20–25 %; при харчуванні жирами і вуглеводами — на 5–15 %. Таке посилення енергообміну, зумовлене перетравленням даного виду харчових продуктів, називається *специфічною динамічною дією* () їжі. СДД їжі досягає свого максимуму через 3 години після приймання їжі.

2.6. Практичні завдання

Матеріальне забезпечення заняття: таблиці Гарріса і Бенедикта для визначення основного обміну, зростомір, вага, сфігмоманометр, фонендоскоп, секундомір, метатест 2, загубники, балон з киснем і редуктором, кушетка, спирт, вата, схеми, таблиці з теми «Обмін речовин і енергії»; кодоскоп (діапроектор), кодопозитиви (діапозитиви) або ПК і мультимедійний проектор.

Робота 1

Розрахунок норм основного обміну у людини

Завдання. Оволодіти методикою розрахунку норм основного обміну за таблицями і формулами. Розрахувати величину основного обміну на 1 м² поверхні тіла і на 1 кг маси тіла у дорослих та у дітей.

Методика. Вимірюють зріст обстежуваного і зважують його. Користуючись таблицями Гарріса і Бенедикта (табл. 2.4, 2.5), визначають *норму основного обміну* (). Таблиці для розрахунку НОО у чоловіків і жінок різні, що зумовлено більш високим рівнем основного обміну у чоловіків (приблизно на 15 %), в порівнянні з жінками. Таблиці для визначення НОО складаються з двох частин — у першій за вагою досліджуваного знаходять основну величину калорій; в другій частині таблиці на перехресті стрічки віку і зросту знаходять друге число калорій. Знайдені величини додають і отримують добову НОО.

Розраховують *показник НОО* за формулами Гарріса і Бенедикта:

$$\text{(для чоловіків)} = 66,47 + 13,7516 \cdot M + 5,0033 \cdot Zp - 6,7550 \cdot B,$$

$$\text{(для жінок)} = 65,0955 + 9,5634 \cdot M + 1,8496 \cdot Zp - 4,6756 \cdot B,$$

де: M — маса тіла, кг; Zp — зріст, см; B — вік, років.

Отримані величини основного обміну (за формулами) порівнюють з показниками НОО, розрахованими з використанням таблиць. Вказують на відповідність результатів отриманих різними способами.

Таблиця 2.4

Розрахунок норми основного обміну (НОО) за вагою

У чоловіків						У жінок					
Вага, кг	ккал	Вага, кг	ккал	Вага, кг	ккал	Вага, кг	ккал	Вага, кг	ккал	Вага, кг	ккал
47	713	63	933	79	1158	47	1105	63	1259	83	1449
48	727	64	947	80	1167	48	1114	64	1267	84	1458
49	740	65	960	81	1180	49	1124	65	1277	85	1468
50	754	66	974	82	1194	50	1133	66	1286	86	1478
51	768	67	988	83	1208	51	1143	67	1296	87	1487
52	782	68	1002	84	1222	52	1152	68	1305	88	1497
53	795	69	1015	85	1235	53	1162	69	1315	89	1506
54	809	70	1029	86	1249	54	1172	70	1325	90	1516
55	823	71	1043	87	1263	55	1181	71	1334	91	1525
56	827	72	1057	88	1277	56	1191	72	1344	92	1535
57	850	73	1070	89	1290	57	1200	73	1353	93	1544
58	864	74	1084	90	1304	58	1210	74	1365	94	1554
59	878	75	1098	91	1318	59	1219	79	1411		
60	892	76	1112	92	1332	60	1229	80	1420		
61	905	77	1125	93	1345	61	1238	81	1430		
62	919	78	1139	94	1359	62	1248	82	1439		

Таблиця 2.5

Розрахунок норми основного обміну за зростом і віком

У чоловіків								У жінок							
Зріст, см	Вік, років							Зріст, см	Вік, років						
	17	19	21	23	25	27	29		17	19	21	23	25	27	29
140	553	528	-	-	-	-	-	144	171	162	-	-	-	-	-
144	593	568	-	-	-	-	-	148	187	178	-	-	-	-	-
148	633	608	-	-	-	-	-	152	201	192	183	174	164	155	146
152	673	664	619	605	592	578	656	156	215	206	190	181	172	162	153
156	713	678	639	625	612	598	585	160	229	220	198	188	179	170	160
160	743	708	659	645	631	618	605	164	243	234	205	196	186	177	168
164	773	738	679	665	652	638	625	168	255	246	213	203	194	184	175
168	803	768	699	685	672	658	645	172	267	258	220	221	201	192	188
172	823	788	719	705	692	678	665	176	279	270	227	218	209	199	190
176	843	808	739	725	718	698	685	180	291	282	235	225	216	207	197
180	863	826	759	745	732	718	705	184	303	294	224	233	223	214	204
184	883	848	779	765	752	738	725	188	313	304	250	240	231	221	215

Закінчення табл. 2.5

У чоловіків								У жінок							
Зріст, см	Вік, років							Зріст, см	Вік, років						
	17	19	21	23	25	27	29		17	19	21	23	25	27	29
188	903	868	799	785	772	758	745								
192	923	888	819	805	792	778	765								
196	-	908	839	825	812	798	785								
200	-	-	859	845	832	818	805								

Таблиця 2.6

Довові величини основного обміну у дітей в залежності від маси тіла

Вік років	Маса тіла, кг	Площа поверхні, м ²
1	10	0,55
5	17	0,79
8	24	1,00
11	31	1,19
14	40	1,41

Оскільки енергія речовин в організмі людини перетворюється в кінцевому результаті в тепло і віддається в довкілля, переважно через поверхню шкіри, то важливо визначити величину основного обміну в розрахунку на 1 м² поверхні тіла. Площу поверхні тіла () у дорослої людини розраховують за формулою:

$$ППТ = 1 + \frac{MT + 3p - 160}{100},$$

де: *MT* — маса тіла, кг; *3p* — зріс, см.

Порівнюють величини основного обміну (в розрахунку на 1 м² поверхні тіла) у дорослих і у дітей. Для цього користуються даними табл. 2.6.

Результати досліджень заносять до протоколу. Використовуючи величини відносної інтенсивності основного обміну (в ккал на 1 кг маси тіла), вказують на вікові і статеві відмінності НОО.

2.6. Ситуаційні запитання і задачі

- Обмін речовин в організмі (метаболізм) — це єдність двох взаємозв'язаних процесів — асиміляції (анаболізму) і дисиміляції (катаболізму). Сутність асиміляції полягає у перебігу таких основних процесів:
 - надходження з зовнішнього середовища необхідних речовин;
 - перетворення речовин в сполуки, характерні даним тканинам;

в) синтез структурних одиниць клітин, ферментів, заміна відпрацьованих структур;
г) синтез більш складних сполук із простих;
д) відкладання запасів.

Вкажіть, в чім полягає сутність дисиміляції (відповідно до вищенаведених п'яти положень, які віддзеркалюють сутність асиміляції).

2. Вкажіть, за яких умов білки організму використовуються в якості енергосубстрату. Яка енергетична цінність білків при їх повному і неповному окисленні?
3. Вміст азоту в харчовому раціоні юнака 25 г. Яку кількість білку прийняв юнак з їжею? Білковий коефіцієнт — 6,25 г.
4. При наявності в їжі якої кількості білку (за умов звичайного харчування) в організмі встановлюється азотна рівновага? Що таке білковий мінімум?
5. Наведіть приклади стану азотної рівноваги, позитивного і негативного азотистого балансу.
6. Відмінність понять повноцінність і біологічна цінність білка. Яка середня біологічна цінність білків тваринного (м'яса, яєць, риби, молока) і рослинного (житнього хліба та кукурудзи, картоплі та дріжджів) походження.
7. Вкажіть, як впливає на розпад білка в організмі наявність в харчовому раціоні інших поживних речовин, голодування. Величина коефіцієнту зношення.
8. На відміну від білків вуглеводи в організмі можуть відкладатися про запас. В якому вигляді, де і в якій кількості депонуються вуглеводи в організмі людини?
9. Вкажіть, як змінюється рівень глюкози в крові спортсмена при виконанні напруженої і тривалої фізичної роботи (тривалі лижні гонки, марафонський біг тощо).
10. Однією з головних функцій ліпідів є енергетична. Проте як джерело енергії жир використовується не завжди. За яких умов спостерігається найбільш повне використання жирів в якості енергосубстрату?
11. При звичайній температурі і вологості повітря добовий баланс води дорослої людини становить приблизно 2,5 л. Вкажіть на шляхи (з врахуванням кількості) надходження і виведення води з організму.
12. Вкажіть на максимально можливу тривалість перебування людини без води. Наслідки надмірного споживання води.
13. Як довго без шкоди для організму можна пити солону воду?
14. Вкажіть, які фізіологічні механізми забезпечують підтримання постійності вмісту води в організмі.
15. Відсутність відчуття спраги не є точним відображенням того, що організму вода не потрібна. Люди компенсують лише близько 2/3 своєї потреби у воді. Дайте фізіологічне обґрунтування практичних рекомендацій дієтологів щодо вольового прийняття води.
16. Загальноприйнятою є така середньодобова норма харчування для дорослих осіб розумової праці: білків 105 г, жирів 100г, вуглеводів 400 г. Розрахуйте енергетичну



Тема 3. Фізіологія теплообміну

3.1. Логіка викладу і засвоєння матеріалу

1. Значення температурного чинника в житті людини. Використання показників теплообміну для оптимізації процесу фізичного тренування школярів і зміцнення їхнього здоров'я.
2. Температура тіла. Температура ядра і оболонки тіла. Поняття гіпо- і гіпертермії. Методи визначення середньої температури шкіри. Добові коливання температури тіла. Зміни вегетативних функцій організму при підвищенні температури тіла.
3. Фізіологічні механізми підтримання температурного гомеостазу. Хімічна терморегуляція (теплоутворення). Фізична терморегуляція (тепловіддача).
4. Фізіологічні механізми терморегуляції. Терморцепторна система. Гіпоталамічний центр терморегуляції. Гуморальна регуляція теплообміну.
5. Резерви підтримання термогомеостатичності організму при виконанні фізичної роботи. Фізіологічні механізми перерозподілу тепла в організмі при виконанні фізичної роботи.
6. Енергетична характеристика фізичних вправ. Поняття енергопотужності і енергоємності фізичних вправ. Енергооцінка фізичних вправ. Поняття відносної фізіологічної потужності.
7. Норми енерговитрат і руховий режим трудівників різних професій. Оптимальний обсяг щодобової м'язової роботи. Руховий режим трудівників різних професій. Ефективність енерговитрат.
8. Загартування людини. Роль температурного чинника в збереженні і зміцненні здоров'я людини, у підвищенні її загальної і спеціальної працездатності. Фізіологічне обґрунтування основних методів загартування.

3.2. В результаті вивчення матеріалу теми Ви повинні знати:

- роль температурного чинника в житті людини;
- фізіологічні механізми хімічної і фізичної терморегуляції;
- резерви підтримання термо-статичності в умовах жару і холоду;
- норми енерговитрат і рухового режиму для трудівників різних професій;
- фізіологічні механізми адаптації організму до холоду.

вміти:

- визначати холодостійкість організму людини, користуватися електротермометром;
- використовувати показники теплообміну (показники енерговитрат) для оптимізації процесу оздоровлення людини засобами фізичної культури;
- нормувати руховий режим працівників різних професій;

- використовувати температурний чинник як засіб загартування з метою збереження її загальної і спеціальної працездатності.

3.3. Основні терміни, поняття і скорочення

гіпертермія; гіпотермія; енергоємність роботи; енергопотужність роботи; ізо-термія; коефіцієнт корисної дії (ККД); пайкілометрія; перспірація: відчутна, не-відчутна; потовиділення; середня температура шкіри (СТШ); температура тіла; термогомеостатичність; терморегуляція: хімічна, фізична; терморецептори: центральні, периферичні; термостатичність; холодове тремтіння.

3.4. Теоретичні відомості

1. Значення температурного чинника в житті людини

Енергія не може бути створена з нічого і не може бути знищена, вона може перетворюватись з одного виду в інший. Споживаючи з довкілля енергію, живі організми перетворюють одну її різновидність в іншу, повертаючи в середовище назад еквівалентну кількість енергії у вигляді тепла. Тепло утворюється при перетворенні хімічної енергії в механічну, а також виникає внаслідок тертя. Частина механічної енергії також перетворюється в тепло.

Значні ерготермічні впливи на непідготовлений організм можуть викликати негативні наслідки — повільний приріст функціональних ефектів тренування, погіршення здоров'я. Збільшення або зменшення температури тіла за біологічні межі призводить до порушень нормального перебігу основних фізіологічних процесів в організмі та смерті.

Температурний чинник належить враховувати у практиці фізичного виховання для попередження негативних впливів його надмірних величин на організм, для оптимізації тренувального процесу і температурного контролю за станом фізичної підготовленості спортсменів. Температурний подразник широко використовується і як засіб підвищення природної опірності організму. Особливо це актуально в умовах суттєвого зниження енерговитрат на фізичну роботу, зростання емоційного напруження, забруднення води, повітря та продуктів харчування речовинами хімічного захисту рослин та відходами промислового виробництва.

Звичайно, що успішність використання температурного чинника для збереження здоров'я і підвищення працездатності людини залежать від рівня та якості наших знань про інтимні механізми теплообміну, про резерви підтримання температурного гомеостазу в постійно змінних умовах діяльності.

Ефективність уроку фізкультури, фізичного тренування значною мірою визначається напруженістю функціонування рухового апарату і систем енергозабезпечення. Кінцевим



Зміна температури тіла викликає суттєві зміни функціонального стану вегетативних органів. Так зростання температури тіла на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ викликає прискорення серцебиття на 8–10 ск/хв. Таким чином за величиною зростання ЧСС в стані спокою можна судити про зростання температури тіла. Підвищення температури тіла вище $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ є реакцією організму на інфекції (бактерії, грибки, віруси та їх токсини) або ж які-небудь інші шкідливі агенти (отрута, продукти білкового обміну, наявні запальні процеси тощо).

Існують добові і статеві особливості терморегуляційних реакцій. У чоловіків інтенсивніша діяльність серця і виділення поту, як у нейтральному ($25\text{ }^{\circ}\text{C}$), так і в теплом ($32\text{ }^{\circ}\text{C}$) та гарячому ($40\text{ }^{\circ}\text{C}$) середовищах. Метаболічні зміни в організмі чоловіків під впливом температурного чинника також більш виразні, ніж у жінок.

Приблизно у 10 % здорових осіб температура тіла може бути на $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ вищою або нижчою від норми. У більшості осіб температура в підмишкових западинах зліва і справа також різна — зліва на $0,1\text{--}0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ вища, ніж справа. Підвищення температури крові інфікованого організму (лихоманка) для багатьох збудників захворювань є чинником пригнічуючим їх розмноження. Лихоманка — це не пасивне перегрівання, а активна реакція організму, яка необхідна йому в боротьбі з хворобою.

Чинником, що активізує механізм лихоманки є пірогенні (жароутворюючі) речовини, які входять до складу різних бактерій, а також клітин тіла людини. При вивільненні з клітини пірогенні речовини діють на специфічні нервові закінчення тканин і органів. Як наслідок змінюється тону центрів терморегуляції. Спочатку різко пригнічується тепловіддача і зростає теплоутворення. Температура тіла зростає або повільно, або різко, що пояснюється неоднаковою кількістю нервових закінчень в окремих органах.

Після початкового підняття температури іде фаза її стабілізації. В цей період процеси теплоутворення і тепловіддачі врівноважуються, активізуються біохімічні, імунологічні і фізіологічні процеси, підвищується активність ферментів, які посилюють обмін речовин, активізуються лейкоцити.

Вченими встановлено, що штучне пригнічення лихоманки досить часто погіршує перебіг хвороби. В ряді випадків лікарі навіть штучно викликають стан лихоманки при лікуванні неспецифічного поліартриту, екземи, фурункульозу тощо. Звичайно, надмірне зростання температури може негативно впливати на перебіг захворювання. Межею, коли негативний вплив лихоманки починає перевищувати позитивний, вважається величина близько $38\text{ }^{\circ}\text{C}$. Цей показник досить індивідуальний і вирішувати питання приймати жаропонижаючі препарати, чи ні, повинен лише лікар.

Третя стадія переобігу лихоманки характеризується перевагою процесів тепловіддачі над теплопродукцією. Найчастіше вона проявляється рясним потовиділенням. Відсутність даної фази свідчить про глибокі порушення терморегуляції — можливість перегрівання і значних ускладнень щодо одужання.

3. Фізіологічні механізми підтримання температурного гомеостазу

Підтримання сталості температури тіла досягається шляхом постійно діючих процесів теплоутворення і тепловіддачі (рис. 2.37).

Теплоутворення (хімічна терморегуляція). Утворення тепла в організмі відбувається головним чином внаслідок хімічних реакцій метаболізму. Вважається, що в умовах спокою окислюється 2/3 жирів і 1/3 вуглеводів (дихальний коефіцієнт 0,8, калоричний еквівалент кисню — 4,8 ккал.). За таких умов величина теплопродукції чоловіка масою тіла 70 кг при споживанні кисню 0,3 л за 1 хв становитиме 1,44 ккал/хв або 86,4 ккал/год, або 2070 ккал за добу.

Питома теплоємність (кількість тепла, що необхідна для підвищення температури даної тканини тіла на 1 °С) різних тканин неоднакова. Її середня величина — 0,83 ккал/кг тканини або 58,1 ккал для чоловіка масою 70 кг (теплоємність води — 1 ккал на 1 кг води). Звідси температура тіла людини в стані спокою за рахунок теплоутворення мала б зростати через кожну годину на 1,24 °С (72 ккал : 58,1 ккал). Проте цього не спостерігається завдяки постійному тепловиділенню.

В стані спокою теплопродукція розподіляється всередині тіла так: м'язи — 20 %, печінка — 20 %, головний мозок — 18 %, серце — 11 %, нирки — 7 %, шкіра — 5 %, інші тканини разом — 19 %. При м'язовій роботі утворення тепла зростає паралельно із зростанням інтенсивності роботи. Механічна ефективність роботи при цьому коливається від нуля (при статичній роботі) до 30 % (при динамічних навантаженнях). Таким

чином близько 70 % тепла, що утворюється в працюючих м'язах перетворюється в тепло. При важкій роботі кількість тепла, що утворюється в м'язах, може досягти 95 % від усієї теплопродукції організму. Температура тіла при цьому може зрости до 42 °С.

Тепловіддача (фізична терморегуляція). Віддача тепла у довкілля здійснюється фізичними процесами: теплопроведенням, випромінюванням (радіацією) і випаровуванням. Для віддачі тепла теплопроведенням і радіацією необхідно, щоб температура поверхні тіла була більшою, ніж температура довкілля, а для потовиділення — більш низький тиск водяної пари на поверхні тіла, ніж в

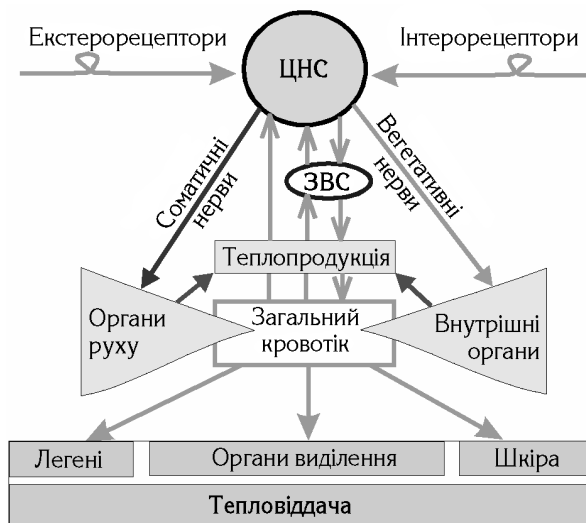


Рис. 2.37
Схема регуляції температури тіла
(ЗВС — залози внутрішньої секреції) (за
К. Кулланде, 1970)



gZ\dhebrgvhfmjG_agZqZlbgZeZb^•ey}lqkj_ea_]_g\vb^bom\Z
gbfih\•ljj_t_j_gbjd(lak_q)_xjZ\gblcZd(ladZe)hf

L_iehijh_^_aggykx}hvkyg_ieZ`^\hfZ[]dIZfbydagZoh^ylv
kyl[_aihkJ_^gdthfHzd\•kh[hx]haj•agylxlivehijh_^_dggymdp}•x
•dhg_dpD}hxg^m-dppyi_j_^ZlqZeZ•^•evgZ]j•lhl}leZhf_grgZ]j•
lboqZ\dhebrig_•df_l_aydbfb_e_h_aihkJ_•kgbchZ}lvkbydhg_dp_•€
j_^ZqZieZ]hoh^blmfh\,Zdchelb_ehmOZ}lvkbykllhZ[h_•l_h[^m\Z]eh
<•^ZlqZeZ_ehfeyohdhg^m•d•^•[en\Zlbf_elbkylhfmbiZ^,dchmelb_f
i_jZlmjhZ_jogreZ_evrZ^_fi_jZlmgjZ\dhebrgihh}hijy'dshl•efhZ}
h^gZdh\fm_jZlmgZ\dhebrig\•ljjyfh_l_iehh[fregyohdhg^mgp_•€
[m\Z]lvkry_dlb\gpkileh\•^•Zgohlf_iehijh_^_aggy`b^ehs••^
djblh€_jog`^_aZdjqlZklbgle(ZZoh\•Z^b,g]m]j•rghy_jog_y_]hg
lsh}hg[_jmlmqZkl_ieh\•^•Zq•

Dhg^m-dp-fyeh_n_dlbkighkd[ieh\•^•EZghykgx}lvkfyshrZj
ih\•ljjydbfc_aihkJ_•kgbchZ}lalkyehf\b^dgZ]j\Z}•vleyh^Zevrh
]hl_ieh\b^•ei_hggy[gl]aZf•g_gdrcbfrZjhfi h\•ljjy_j`odhg^m-dp_•€
dhg_dpQxbfr\b^rjmOZ}lvkyljZ[hkZki h]k f,]df[•evrZ^•ZlqZ
ieZdhg_dp_lqbggy_c]Zevrghb\Zch\d•€fy•fZevrZ^d•k]moinh
\•ljjyjb_lfi_jZlmjh\•ljjy°K aZZomghdehijh_^_aggykx}[ebav
d40%l_ieh\bljZl

AgZqighkbox}lvklyeh\•^•rZeyZhlfiehijh_^_mglyshamfh\e_gh
\bkhdh_xieh}fg•kthx,bydZ20jZaf\evrZ_ieh}fdhkl•ljjyKZflhfne x
^bgZ_fh`_lj_b\ZeLqZagZoh^brhbkeh^gh•

<bijhf•gx\ZgZy•Zp}h_jogyeZbijhf•gx}e_dljhfZ]g•ggj]•x
m\b]eyhhlhg]hahkx^`m_xr}bkh\d•e•e•b^d•kkl•leZhlhgZ^k-hj
[mxlvkya ghfZg•l]b}efvoh eh^g]bf_b^f_lZflb_iehh[hbgjh f•gx\Zggyf
fh`_a^•ckgx\ZgZk^•Ze•

<_ebqbgze h\bl}Bijhf•gx\Zggye`_lg]e br\•^•agblpfi_jZlmj
ih_jogreZgZ\dhebrig_•df_l_Zc\•^_ebqbgb_jogreZ_fi_jZlmjh
eh]hkl]moinh\•ljjyAgZqgmevd+kiveZ_eax^bgb`_h^_j`m\Z]Zomghd
khgyqglh]le h\h]hijhf•gx\ZggygZ]hjredZjZljbfm]evrZ^Zxqh]h
gZ•ekhggyqglv]hijhf•gx\Z(ggpa80%),g`[•eZ_aZ]hj(65Z).

<biZjh\m\Z]ghy\b^•e)_ggjhp_ik_j_l\hj_ggybgbhlm]Zahih^•[
gbklZ(ggZklbg]h)mL_iegZbiZjh\m\Zggylykyaikh_j_aglvh_jog•
l•eZhamfh\ech]hoh eh^`_GZ]biZjh\m\ZfeghlmbljZqZ}0,58y dZe
(2,35d>)_g_j]•€\bqZcm]b\Zjdhly}hf[h]ex^bgZljZqZ]biZjh\m\Zggy
[eba500ddZeieZljhi•d,Zol_fi_jZlmjhZ•ljjy\gZ[hbsZ_fi_jZlmjb
l•eZjhly}hf[h]aihlfhb^•ey}lv800ddZeie(Zeba5dethl)mj b.....

4. Фізіологічні механізми терморегуляції

Сталість температури тіла залежить від співвідношення процесів теплоутворення і тепловіддачі (рис. 2.39 і 2.40). Врівноваження цих процесів в організмі забезпечуються багаточисельними механізмами, які автоматично регулюють утворення тепла в організмі і його виділення в довкілля (температурний гомеостаз).

Людина свідомо підбирає (створює) для себе той мікроклімат, який їй найбільше підходить. Цим індивідуально регулюється діяльність терморегуляційних механізмів і виключається можливість патологічних реакцій переохолодження і перегрівання. Таким чином поведінкову терморегуляцію належить розглядати як систему, яка контролює необхідний температурний рівень організму.

Виходячи з особливостей підтримання температурного гомеостазу, К. П. Іванов (1982) виділяє три рівні теплового стану організму людини. *Перший рівень* (стан температурного комфорту) підтримується в межах термонейтральної зони або при незначних відхиленнях від неї. Цей рівень теплового стану організму характеризується точною і чутливою регуляцією температурного гомеостазу за рахунок судинних реакцій. *Другий рівень* — стан потужної терморегуляторної активності з підвищенням теплопродукції і інтенсивним тепловиділенням. Температура гіпоталамуса при цьому може відхилятися від норми на 1 °С. *Третій рівень* — максимальне напруження фізіологічних

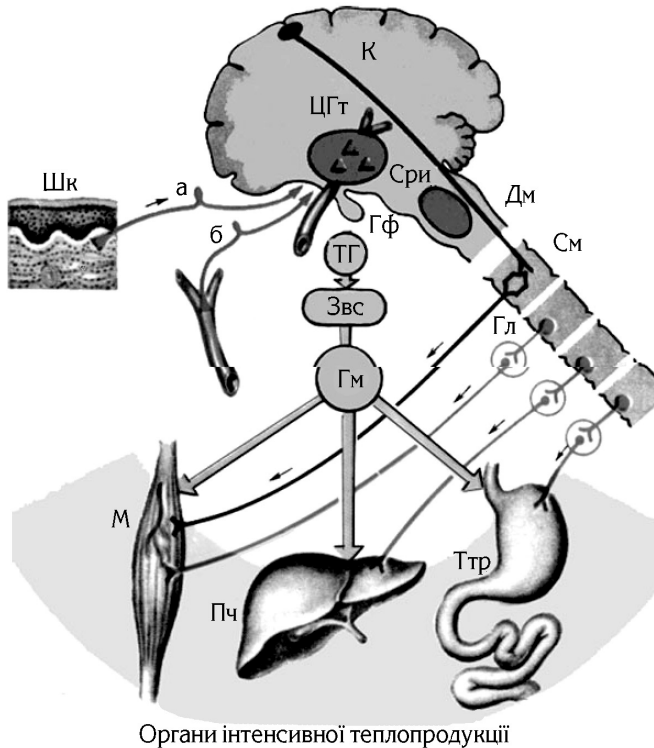


Рис. 2.39

Регуляція теплопродукції: а — нерви, які передають імпульси від рецепторів шкіри; б — нерви, які передають імпульси від рецепторів судин; К — моторний центр у корі; ЦГт — центр терморегуляції з терморецепторами в гіпоталамусі; Гм — гормони; Дм — довгастий мозок; Срц — судинно-руховий центр; Гф — гіпофіз; Звс — залози внутрішньої секреції; Шк — шкіра; М — м'язи; Пч — печінка; Ттр — травний тракт; Гл — симпатичні ганглії; См — спинний мозок

резервів організму в боротьбі з переохолодженням і перегріванням. Вирішальним чинником підтримання терморегуляторних функцій є температура ЦНС, при якій починають пригнічуватись функції вегетативних і терморегуляторних центрів.

В цілому система терморегуляції включає в себе три основних ланки: 1) терморецептори, які сприймають температуру тіла; 2) нервові центри, які аналізують і синтезують інформацію, що надходить від терморецепторів; 3) ефекторні шляхи, що координують діяльність механізмів теплоутворення і тепловіддачі.

Терморегуляторна система — це система складних взаємообумовлених зв'язків. Так, при піднятті температури ядра тіла за межі належної для даного моменту норми активізуються механізми тепловіддачі, при зниженні центральної температури, активізуються механізми збереження тепла.

В тілі людини є дві терморецепторні зони — гіпаталомічні центральні терморецептори і периферичні шкіряні терморецептори. Обидві рецепторні зони містять два типи рецепторів — *теплові*, чутливі до тепла і *холодові*, чутливі до холоду.

Центральні терморецептори — це група нейронів, розташованих в передній частині гіпоталамуса. Ці нейрони надзвичайно чутливі до найменших змін температури артеріальної крові, яка проходить через гіпоталамус.

Периферійні (шкіряні) терморецептори — вільні нервові закінчення, локалізовані по всій поверхні тіла. При цьому холодкових рецепторів в шкірі відносно більше, ніж теплових. Найбільш висока і стійка частота імпульсації

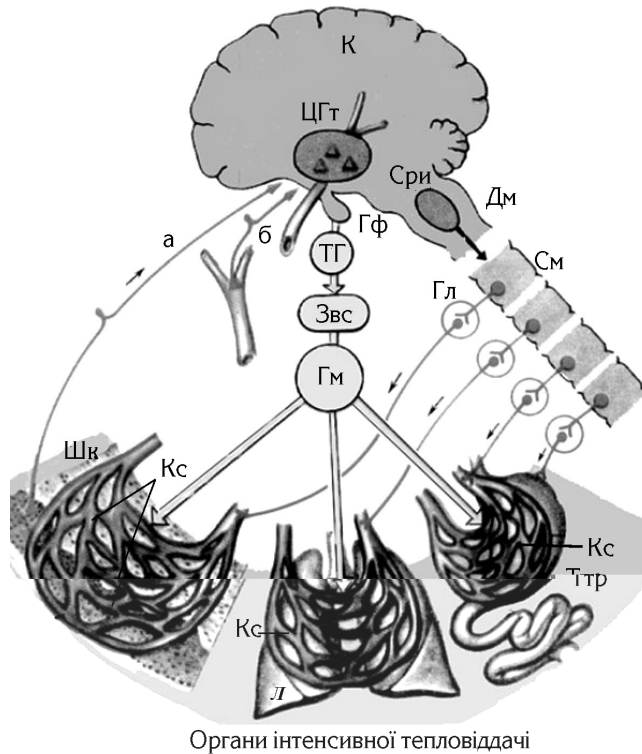


Рис. 2.40

Регуляція тепловіддачі: а — нерви, які передають імпульси від рецепторів шкіри; б — нерви, які передають імпульси від рецепторів судин; К — моторний центр у корі; ЦГт — центр терморегуляції з терморецепторами в гіпоталамусі; Гм — гормони; Дм — довгастий мозок; См — спинний мозок; Сри — судинно-руховий центр; Гф — гіпофіз; Звс — залози внутрішньої секреції; Шк — шкіра; Кс — кровоносні судини; Ттр — травний тракт; Гл — симпатичні ганглії

від теплових рецепторів досягається при температурах між 38 і 43 °С, від холодкових рецепторів — між 15 і 34 °С. При температурі вище 45 °С холодкові рецептори активізуються вдруге. Саме цим пояснюється парадоксальне відчуття холоду в перший момент контакту з гарячою водою.

Периферійні і центральні терморекцептори мають зв'язки як з терморегуляторним центром гіпоталамуса, так і з корою великих півкуль головного мозку. Цей зв'язок забезпечує усвідомлені відчуття тепла або холоду, що впливає на довільну поведінку людини (підбір одягу, регуляція температури приміщення, посилення рухової активності тощо). Регуляція температури тіла, пов'язана з рефлекторними впливами від рецепторів на гіпоталамус, є мимовільною.

В забезпеченні температурного гомеостазу організму людини основна роль належить гіпоталамусу. В його передній частці знаходяться центр регуляції тепловіддачі, а в задній — центр регуляції теплоутворення. Передня частка гіпоталамуса зв'язана з парасимпатичним відділом вегетативної нервової системи, а задня — з симпатичною вегетативною системою.

При підвищенні температури крові, яка протікає через чутливу до змін температури (преоптичну) зону гіпоталамуса, стимулюється передній гіпоталамічний центр регуляції тепловіддачі. Одночасно (за механізмом реципрокної іннервації) відбувається гальмування теплоутворення і посилення тепловіддачі — зниження інтенсивності обміну речовин і розширення шкіряних судин.

При зниженні температури тіла (крові) активізується задній гіпоталамічний центр теплопродукції і гальмується передній центр тепловіддачі. Обмін речовин підвищується, шкіряні судини звужуються, тепловіддача зменшується. При дії на організм холоду посилення теплопродукції здійснюється шляхом активізації таких фізіологічних механізмів:

- 1) *довільна м'язова діяльність*. Навіть якщо людина лежить нерухомо, але з напруженими м'язами, то процеси окислення (а значить і теплоутворення) зростають на 10–20 % в порівнянні з їх величинами при лежанні з повністю розслабленою мускулатурою. При ходьбі енерговитрати зростають на 60–80 %, при виконанні інтенсивної роботи — до 500 % від їх величини в стані спокою;
- 2) *холодове тремтіння*. Охолодження поверхні тіла, діючи на відповідні рецептори шкіри, рефлекторно збуджує мимовільні хаотичні скорочення м'язів (м'язове тремтіння). За цих умов енергообмін нерідко зростає в 2–3 рази;
- 3) *надходження в кров норадреналіна*. Норадреналін (гормон наднирників) забезпечує перерозподіл енергії, яка утворюється в м'язах, печінці і жирових депо. Температура крові печінкової вени більш висока, ніж в печінковій артерії, що вказує на інтенсивне теплоутворення в печінці. При охолодженні тіла теплопродукція в печінці зростає. Вихідний рівень активності гіпоталамуса залежить від безпосереднього впливу тепла на нього і від периферійних імпульсів. Аферентні сигнали від холодкових рецепторів забезпечують включення механізмів, які попереджають тепловіддачу і посилюють теплоутворення. При цьому температурні сигнали від терморекцепторів

шкіри включають гіпоталомічні реакції ще до початку значних змін внутрішньої температури, що попереджує можливі відхилення температури ядра від норми.

Існує також і кортикальна регуляція температурного гомеостазу. Вона здійснюється за участю нейронів кори мозку і спрямована на завчасну підготовку організму до наступних ерготермічних впливів. Серед умовних рефлексів особлива роль належить натуральним умовним терморефлексам. Натуральні умовні рефлекси виробляються протягом індивідуального життя внаслідок постійних сполучень, безумовнорефлекторних реакцій з подразниками довкілля. Робота і обстановка, що їй передують, є основним джерелом утворення багаточисленних натуральних умовних терморефлексів.

В регуляції температури тіла беруть участь залози внутрішньої секреції — щитоподібна, наднирники, підшлункова і інші. Їх гормони змінюють направленість окислювальних процесів в організмі людини при дії на нього холоду або жару. Загальна схема функціональної системи, яка підтримує температуру тіла, представлена на рис. 2.41.

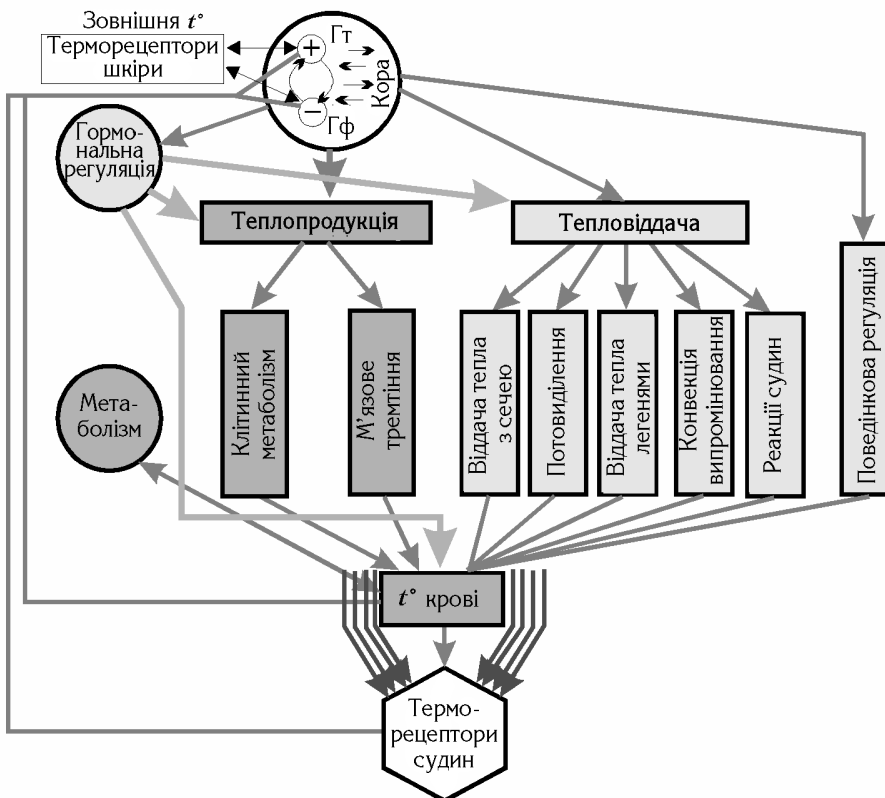


Рис. 2.41

Схема функціональної системи, яка підтримує температуру тіла (за К. Судаковим, 1976)

5. Резерви підтримання термостатичності організму при виконанні фізичних вправ

Нормативна температура тіла людини зумовлює нормальний перебіг ряду фізичних, фізико-хімічних і метаболічних реакцій, адже висока активність ферментів, що регулюють процеси обміну речовин, можлива в досить вузькому діапазоні температури (23–42 °С). Зростання температури тіла у вказаних межах активізує ферментативні процеси; зниження температури тіла, навпаки, послаблюючи активність ферментів, пригнічує активність метаболізму.

Збільшення утворення тепла при виконанні фізичних вправ відбувається переважно за рахунок активізації процесів окислювального метаболізму в м'язах, а також внаслідок виконання самої механічної роботи. Величина термопродукції в стані спокою у дорослої людини в середньому становить 70–80 ккал/год, при ходьбі вона зростає до 200–300 ккал/год, а при виконанні максимально напруженої роботи може досягти 900 ккал/год і більше.

Оптимальне підвищення температури тіла сприяє незначному збільшенню показників фізичної сили, витривалості, швидкості реакції і гнучкості. Тепло мобілізує механізм гіпоксичного захисту. Зростання температури за межі 38–39 °С, особливо на фоні дегідратації, приводить до погіршення прояву окремих рухових здібностей і загального зниження рівня фізичної працездатності (Х. Курбанов, 1982).

Активізація процесів терморегуляції пов'язана не лише з фізичними закономірностями, а зумовлюється специфічно індивідуальною організацією системної відповіді на навантаження (К. Н. Качановський, 1984), що необхідно враховувати при визначенні спортивної спеціалізації юнаків та дівчат, а також при підборі людей для роботи в умовах високих зовнішніх температур.

Основою адаптації людини до тривалої дії температурного чинника є перш за все зміни функціонального стану центрів теплообміну, які завершуються через півтора-два тижні. В процесі адаптації збільшується загальний об'єм циркулюючої крові, знижуються температура тіла і величина пульсу, посилюється потовиділення. Збільшення різниці температури ядра і оболонки приводить до зменшення кровотоку в шкірі. Дотримання строків адаптації, водного режиму і дозування температурних навантажень в залежності від періоду адаптації — необхідна передумова збереження і зростання високої працездатності в умовах високої температури навколишнього повітря.

Величина збільшення температури тіла при м'язовій діяльності залежить від потужності навантажень: при помірних навантаженнях температура тіла зростає на 0,3–0,5 °С, при інтенсивних — на 2–3 °С. У натренованих спортсменів при виконанні максимальних навантажень збільшення температури тіла може бути більшим, ніж у ненатренованих осіб.

Підвищення температури тіла людини при виконанні фізичної роботи є наслідком виробленої в процесі еволюції адаптивної діяльності центрального апарату терморегуляції.

Адже залежність інтенсивності перебігу обмінних процесів від температурного чинника є проявом загальнобіологічної закономірності, спрямованої, з одного боку, на підтримання температурного гомеостазу в організмі, а з другого — на забезпечення оптимальних умов діяльності. Одним із проявів цієї закономірності є факт тісного зв'язку високої температури тіла птахів (близько 41–42 °С) з великою активністю їх скелетних м'язів у польоті. П. М. Веселкін (1951, 1963) вважає, що створення нового рівня температурного гомеостазу при напруженій м'язовій діяльності (тимчасове наближення людини до життя «по-пташиному») є проявом тієї ж біологічної закономірності.

Процес робочої гіперемії досить складний, в ньому ще багато незрозумілого. Про це, зокрема, свідчить факт впливу багатьох чинників на формування передстартової гіперемії у натренованих спортсменів. З цієї точки зору робочу гіперемію можна розглядати як фізіологічний аналог температурної лихоманки, вивченої ще С. П. Боткіним в 1885 році. Виникнення лихоманки генетично запрограмовано еволюцією в центральному механізмі регулювання температурного гомеостазу (П. М. Веселкін, 1951, 1963; В. А. Шевелько, 1969) і в своїй основі є адаптивною реакцією на дію ерготермічних чинників холоду і тепла.

Важливу роль в підтриманні температурного гомеостазу організму, особливо в умовах підвищеної температури довкілля, належить системі кровообігу, яка забезпечує надходження необхідної кількості кисню та енергосубстратів до працюючих м'язів і посилене перенесення тепла до шкіри. Значне потовиділення призводить до переходу води з крові в міжклітинні простори. Як наслідок зменшується величина ХОК та об'єм циркулюючої крові. Резервами для збільшення кровообігу в шкірі і м'язах при фізичній роботі є компенсаторне зменшення кровопостачання непрацюючих органів (органів черевної порожнини, нирок тощо), діяльність яких є другорядною в даній функціональній системі.

В умовах температурного комфорту шкіряний кровообіг у дорослої людини в стані спокою становить 0,16 л/м², за 1 хв, в час роботи — до 1 л/м², а при надмірно високій температурі довкілля — 2,6 л/м² за 1 хв. Таким чином, в дуже жарких умовах до 20 % крові, яка виштовхується серцем в кровообіг, може спрямовуватися в судини шкіри для попередження перегрівання тіла. При виконанні такої ж роботи в комфортних умовах в судини шкіри направляється всього 5 % від величини систолічного об'єму кровообігу (Я. М. Коц, 1986).

Тривале перебування в умовах жаркого клімату (більше двох діб) зумовлює адаптацію до дії даного чинника. За таких умов фізична працездатність значно зростає. Це досягається перш за все шляхом адаптивного збільшення загального об'єму циркулюючої крові. Як наслідок збільшується надходження до серця венозної крові, зростає величина систолічного об'єму крові.

В час температурної акліматизації відбувається зниження температури тіла і ЧСС, посилюється потовиділення. Внаслідок збільшення різниці температур ядра тіла і оболонки потреба в посиленні шкіряного кровообігу знижується.

Для підтримання високого рівня спортивної працездатності в умовах високої температури довкілля при акліматизації до жару необхідно дотримуватись педагогічних принципів поступовості, індивідуалізації систематичності тощо.

6. Енергетична характеристика фізичних вправ

Виконання більшості фізичних вправ, які використовуються в спорті, пов'язані з великими витратами енергії (біг 100 м — близько 20 ккал, біг 42 км — 1950–2300 ккал, лижні гонки 50 км — 3600 ккал, плавання 100 м — 50 ккал, плавання 1500 м — 500 ккал тощо). Оскільки час виконання спортивних вправ обмежений секундами або хвилинами, то додаткові витрати енергії окремих спортсменів на змаганнях рідко перевищують 5000–6000 ккал. Добові витрати ж енергії спортсменами (наприклад, штангістів), тренування яких триває декілька годин, інколи сягають величини 8000 ккал і більше.

Для енергетичної характеристики фізичних вправ використовують поняття енергопотужності і енергоємності. Та кількість енергії, яка витрачається на протязі 1 хв на виконання даної вправи, називається *енергопотужністю вправи*. Її фізична одиниця вимірювання — *ватт, ккал/хв, кілоджоуль/хв*; фізіологічна — швидкість споживання кисню (мл O_2 за 1 хв) або в МЕТах (метаболічний еквівалент кисню). *МЕТ* — це кількість кисню, що споживається спортсменом за 1 хв в розрахунку на 1 кг маси тіла в умовах основного обміну. Один МЕТ дорівнює 3,5 мл O_2 кг/хв, або 245 мл O_2 за 1 хв для чоловіків середнього віку масою тіла 70 кг.

Валові енерговитрати (енергоємність) — це загальні витрати енергії на виконання всієї вправи (загальна енерговартість даної вправи). Вона може бути визначена як добуток середньої енергопотужності на час виконання вправи. При швидкості до 8 км/год загальна енерговартість подолання однієї і тієї ж дистанції при бігові приблизно на 145 % вища, ніж при ходьбі. Так, на кожен кілометр дистанції при ходьбі у чоловіків витрачається в середньому 0,7 ккал/кг маси тіла, а при бігові — 1,0 ккал/кг.

Енергооцінка фізичних вправ. Враховуючи енергопотужність фізичних вправ, Я. М. Коц (1986) поділяє їх на легкі, середні, важкі і дуже важкі (табл. 2.8)

Таблиця 2.8

Класифікація фізичних вправ за енерговитратами (чисельник — чоловіки, знаменник — жінки)

Вік, роки	Вправи, ккал/хв			
	легкі	середні	важкі	дуже важкі
20–29	4,2/3,2	(4,3–8,3)/(3,3–5,1)	(8,4–12,5)/(5,2–7,0)	12,5/7,0
30–39	3,9/2,9	(4,0–7,8)/(3,0–4,2)	(7,9–11,7)/(4,3–6,5)	11,7/6,5
40–49	3,7/2,7	(3,8–7,1)/(2,8–4,0)	(7,2–10,7)/(4,1–6,0)	10,7/6,0
50–59	3,2/2,2	(3,3–6,3)/(2,3–3,8)	(6,4–9,5)/(3,9–5,5)	9,5/5,5
60–69	2,5/1,9	(2,6–5,0)/(2,0–3,5)	(5,1–7,5)/(3,6–5,0)	7,5/5,0

Енергооцінка навантаженості (енергопотужності) фізичних вправ залежить від ряду чинників (характеру виконання роботи і зовнішніх умов, в яких вона виконується, маси тіла, статі, рівня натренованості), які належить врахувати при дозуванні тренувальних навантажень. Так, дуже важка глобальна робота для жінок старшого віку (витрат енергії більше 5 ккал/хв) є помірною для молодих чоловіків. Жінки цю роботу без зниження інтенсивності можуть підтримувати декілька хвилин, а чоловіки десятки хвилин.

Для функціональної оцінки спортивних вправ доцільно використовувати *показник відносної фізіологічної потужності* — рівень фізіологічних зрушень основних фізіологічних систем організму в даних умовах діяльності щодо максимальних його можливостей. Так якщо в одного спортсмена МСК — 6 л/хв, а в другого 5 л/хв, то при фізичному навантаженні з споживанням кисню 3 л/хв фізіологічне навантаження на кардіореспіраторну систему першого спортсмена буде меншим, ніж на цю ж систему у другого спортсмена. Отже, енергооцінка фізичних вправ буде значно повнішою і об'єктивнішою, якщо в ній буде враховано більше фізіологічних показників (табл. 2.9, для ненатренованих осіб).

Таблиця 2.9

Характеристика фізичної роботи за енергопотужністю та фізіологічними показниками (Я. М. Коц, 1986)

Трудність роботи і її максимальна тривалість	Потужність, ккал/хв	Фізіологічні показники					
		Споживання кисню, л/хв	ЧСС, ск/хв	ЛВ, л/хв	ДК	Лактат крові, мг%	Температура ядра, °С
Спокій	1,2	0,25	70	8	0,83	10–20	37,0
Спокійна робота з невизначено довгою тривалістю	3,5	0,75	100	20	0,85	10–20	37,0
Помірна робота (звичайна діяльність тривалістю до 8 год на день)	7,5	1,50	120	35	0,85	20	37,5
Середня робота (тривалістю 1 год на добу протягом декількох тижнів)	10,0	2,00	140	50	0,90	20–30	38,0
Важка робота (заняття фізкультурою 1–2 год на добу тричі на тиждень)	12,5	2,50	160	60	0,95	40	38,5
Дуже важка робота максимальної інтенсивності (1–2 годинні тренування на добу)	15,0	3,00	180	80	1,00	50–60	39,0
Виснажуюча робота (змагальні вправи тривалістю декілька годин)	15,1 і >	3,10 і >	181 і >	81 і >	1,10 і >	61 і >	39,5 і >

Таблиця 2.10

Групи професії за добовими витратами енергії

Групи професії	Споживання кисню, л/хв	Витрати енергії, ккал/хв	Добові витрати енергії, ккал
Розумова праця	0,2–0,4	1,0–2,5	3000–3200
Механізована або легка немеханізована праця	0,3–0,5	1,5–2,5	3200–3500
Часткова механізована фізична праця помірної трудності	0,5–1,5	2,5–7,5	3500–4500
Важка немеханізована праця	1–3	5–15	4500–5000

Енергетична вартість різних видів діяльності. Основну величину додаткових витрат енергії звичайно складають витрати на виконання професійної роботи. Величина цих витрат перш за все визначається характером роботи, її трудністю, особливостями психічної напруженості. За величиною добових енерговитрат з врахуванням професійної зайнятості все доросле населення країни поділяють на чотири групи (табл. 2.10).

Середні добові величини енергопотреб дорослих чоловіків в залежності від їх рухової активності такі (Р. Хедман, 1980): 1) повний спокій — 1500 ккал; 2) сидяча робота — 2000–2500 ккал; 3) легка фізична робота — 2500–3000 ккал; 4) важка фізична робота — 3000–4000 ккал; 5) дуже важка фізична робота — 4000–6000 ккал. Для жінок вказані значення приблизно на 20 % менші.

Добові енерговитрати наближено можна розрахувати за методом Купера: для осіб рухливого способу життя належить масу тіла (в кг) помножити на коефіцієнт 33, при фізичній роботі — коефіцієнт 45, при недостатній руховій активності (працівники розумової праці) — 26.

В спорті енерговитрати залежать від спеціалізації. Виділяють три групи видів спорту (Л. С. Вайнбаум, 1986):

1. *Переважно аеробного типу* — біг на довгі дистанції, лижі, орієнтування, велоспорт, плавання, ходьба. Тренування вимагають тривалої роботи і великих енерговитрат (6000–7000 ккал за добу).
2. *Аеробно-анаеробна група* — біг на середні дистанції, спортивні ігри, гребля, однокорства. На тренуваннях виконується як тривала, так і відносно короткочасна робота (повторний метод), витрати енергії за добу — 5000–6000 ккал.
3. *Анаеробна група* — стрибки, спринтерський біг. Тренування з короткочасними інтенсивними м'язовими зусиллями; енерговитрати — 4500–5000 ккал.

7. Норми енерговитрат і руховий режим трудівників різних професій

Щоб забезпечити добре здоров'я, високу працездатність, середня людина повинна витратити на м'язову діяльність протягом доби 1200–2000 ккал. Сюди входять

виробничі, побутові та спеціально підібрані фізичні вправи. Виділити із загального об'єму енерговитрат ту частину, яка повинна приходиться на фізичні тренування, досить важко. Проте такі узагальнені дані є і їх належить використовувати в практиці фізичного виховання. Вважається, що доросла людина на оздоровчі фізичні вправи повинна витратити 1000–2000 ккал енергії протягом тижня, або 150–300 ккал на добу. Менші витрати енергії спричиняють розвиток детренованості із зниження життєдіяльності організму, більше 500 тис. ккал на добу без шкоди для здоров'я можуть витрачати лише фізично підготовлені люди молодого і середнього віку. При добових енерговитратах 10000 ккал людина не спроможна засвоїти необхідну для компенсації витраченої енергії їжу і протягом доби витрачає до 300–700 г маси тіла (М. Ф. Гриненко, Т. Я. Ефімова, 1985). Звичайно, що спортсмени високої кваліфікації інколи виконують і більші навантаження, але вони, як правило, пов'язані з використанням різноманітних засобів, які прискорюють відновні процеси. Люди, які регулярно займаються в групах здоров'я і витрачають на тренування в середньому 300 ккал енергії на добу, за загальним станом здоров'я та показниками фізіологічних резервів на 10–15 років молодші від тих, хто нехтує фізичною активністю.

При дозуванні фізичних навантажень належить враховувати професію людини, яка вирішила займатись оздоровчим тренуванням. Для осіб, віднесених за видом праці до 1–2 груп, необхідні м'язові навантаження з витратами не менше 2000 ккал протягом тижня. Тренувальні програми для таких осіб мають включати вправи, що сприяють зміцненню недостатньо розвинутих м'язових груп (м'язів спини, ніг, живота). З цією метою протягом робочого дня пропонується виконання виробничої гімнастики і фізкультпауз, а після роботи та у вихідні дні пішохідні прогулянки, їзда на велосипеді, лижах, танці тощо. Для попередження виникнення ожиріння, обмінного поліартриту, деформуючого спондиліозу в заняття належить побільше вводити вправ для суглобів і тих ділянок тіла, де відбувається найбільше відкладення жиру (живіт, груди, стегна, сідниці).

В руховий режим працівників 1–2 груп професій необхідно включати ритмічну гімнастику тривалістю до 30 хв з енерговитратами до 200 ккал, оздоровчу гімнастику, заняття циклічними вправами або іграми.

Для представників 3–4 професійних груп добові енерговитрати на спеціальні фізичні вправи мають бути меншими 100–150 ккал (у вихідні дні 300–500 ккал). Одноманітність робочих операцій і мала рухова активність після трудового дня негативно впливає на всебічний розвиток фізичних здібностей, а тому в робочу програму тренувань необхідно включати побільше вправ для профілактики порушень постави, варикозних розширень вен, плоскостопості. Помірний руховий режим для працівників професій 3–4 груп: ранкова гімнастика до 20 хв, заняття в групах здоров'я або самостійні заняття гімнастикою, циклічні вправи, ігри (двічі в тиждень до 30–60 хв), спеціальні вправи 2–3 рази на добу по 5–7 хв, активні форми відпочинку.

Ефективність енерговитрат. Механічна робота спортсменом виконується з коефіцієнтом корисної дії () близько 25 %. Це означає, що від загальних енерговитрат на механічну роботу витрачено всього 25 % енергії, решта енергії виділена в довкілля у вигляді тепла.

В межах вказаного (середнього) ККД кожна механічна робота може використовуватись з більшою або меншою економічністю. Чим більша економічність рухів, тим витрати механічної енергії на виконану роботу раціональніші. Економність визначається відносною величиною енергії від загальної суми енерговитрат, які ідуть на механічну роботу. В спорті основою економності є раціональна техніка. Економізація енерговитрат при виконанні окремих спортивних вправ враховується при відборі і контролі за спортсменами. З цією метою в циклічних видах спорту співставляють показник $\Phi\Pi_{170}$ при степ-тесті із швидкістю руху в даному виді спорту при пульсі 170 ск/хв. Тоді за формулою визначають коефіцієнт ефективності енерговитрат (Я. С. Вайнбаум, 1986):

$$K = \frac{\Phi\Pi_{170}}{W_{170}},$$

де: K — коефіцієнт ефективності енерговитрат; $\Phi\Pi_{170}$ — потужність роботи при пульсі 170, кгм/хв; W_{170} — швидкість руху при пульсі 170 ск/хв.

8. Загартування людини

Вдосконалення механізмів терморегуляції є основою успішного загартування організму, збільшення об'єму його функціональних резервів, а значить зміцнення здоров'я населення країни в цілому. Відома роль температурного чинника в справі підвищення загальної працездатності організму людини.

Сьогодні загальновідомо — стійкість до холоду — результат систематичного загартування. Підтвердженням цьому є наслідки кораблекрушень, які мали місце в холодних водах морів і океанів. Незагартовані пасажери навіть при наявності підручних засобів гинули від переохолодження в льодяній воді вже через декілька хвилин. Загартовані до холоду люди за таких же умов залишалися живими протягом багатьох годин. Відомі випадки, коли люди з температурою тіла 28–32 °С були спроможні ходити, розмовляти. Зареєстровано збереження свідомості і мови у охолоджених людей при температурі тіла 24–26 °С.

Високою термостійкістю володіють аборигени центральної частини Австралії і Південної Америки, а також бушмени пустелі Калахарі (Південна Африка). Аборигени Австралії спокійно сплять напівголими на землі біля багаття при температурі 0–5 °С. За цих умов температура ядра тіла у туземців залишається без змін (близько 37 °С), а температура оболонки (шкіри) знижена до + 15 °С, кінцівок — до + 10 °С. У звичайних людей таке зниження температури кінцівок зумовлює відчуття нестерпного болю.

Тривале підтримання життєдіяльності при значному зниженні температури тіла ґрунтується на здатності організму реагувати на охолодження без м'язового тремтіння.

Адже включення цього механізму, спрямованого за будь-яку ціну зберегти нормативну температуру тіла в умовах холоду, призводить до надмірних перевитрат енергії.

Холодова стійкість істотно зростає при вимушеному голодуванні (М. Агаджанян, А. Катков, 1981). Організм європейців реагує на охолодження збільшеним теплоутворенням шляхом підвищення обміну речовин (підвищеного споживання кисню). Такий шлях адаптації до холоду можливий лише при короткотривалих охолодженнях і нормальному харчуванні. Австралійські аборигени вимушено знаходяться в умовах холоду, без одєжі, постійно недоїдаючи. За таких умов ефективним методом адаптації до холоду є зменшення тепловіддачі організмом шляхом звуження периферійних судин і відповідно зниження температури тіла. З часом внаслідок звуження кровоносних судин шкіри виробилась підвищена стійкість тканин поверхні тіла до кисневого голодування. Підтвердженням цього є факт підвищення стійкості до холоду після багатоденного голодування.

Загартування виявляє на організм як специфічну, так і неспецифічну дію. Прикладом *специфічного загартування* може бути підвищення стійкості до пониження температур шляхом систематичних охолоджень. *Неспецифічне загартування* обумовлює підвищення загальної стійкості організму. Воно проявляється в підвищенні фізичної і розумової працездатності, стійкості до найрізноманітніших впливів, зниження захворюваності тощо.

В процесі загартування організму удосконалюються механізми нервової і гуморальної регуляції функцій, змінюються активність клітинних ферментів, хімічний склад і фізико-хімічні властивості клітин. Проте охолодження окремих ділянок неадаптованого до холоду тіла на фоні загального температурного комфорту може бути причиною виникнення патологічного процесу. При цьому слабкі охолодження частіше спричиняють простудні захворювання, ніж значні. Це пояснюється тим, що при слабких холодних впливах рецептори встигають адаптуватися до них і не реагують на перепади температури. Як наслідок, порушується функція центрів терморегуляції, і знижується імунологічна реактивність організму.

Належить пам'ятати, що тривалий вплив постійної комфортної температури повністю детренує фізіологічні механізми терморегуляції, зводячи на ніщо ефект від будь-яких короткотривалих за часом загартувальних процедур.

Простим щодо використання і в той же час високоефективним методом загартування в домашніх умовах є створення пульсуючого мікроклімату в приміщенні (Ю. М. Чусов, 1986). Суть методу полягає в постійній зміні температури повітря в приміщенні (від 16 до 22 °С і більше). Потреба постійно реагувати на часту зміну температури зумовлює постійне вдосконалення фізіологічних механізмів терморегуляції. Тому попереджуючи розвиток гальмування пульсуючий мікроклімат сприяє підвищенню розумової працездатності учнів.

На перших порах використання пульсуючого мікроклімату для загартування амплітуда коливань температури не повинна перевищувати 3–5 °С. Через 10–15 днів її збільшують

до 6–8 °С, а через 2–3 тижні до 9–10 °С. Найбільш доступним методом створення пульсуючого мікроклімату взимку є провітрювання приміщення через кожні 2–3 години. Для отримання загартовального ефекту практикують перехід з прохолодного приміщення в тепле (з приміщення на вулицю і навпаки), використання більш або менш теплої одягу тощо.

Високоєфективним є метод контрастного загартування: чергування термокамери лазні або сауни з купанням в холодній воді (моржування). У осіб, які займаються моржуванням, істотно зростає споживання кисню та знижується температура тіла (до 34 °С). Після купання включаються механізми м'язового тремтіння, знижується частота серцевих скорочень і частота дихань. Попередження обмороження за таких умов досягається за рахунок значного зростання теплоутворення і тепловиділення. Тонізуючи нервову систему, моржування знайшло успішне застосування в медичній практиці для лікування неврастенії, гіпертонічних та інших захворювань.

Важлива роль в загартуванні належить самонавіюванню. Ефективність холодового загартування значно зростає при його поєднанні з дозованим голодуванням і самонавіюванням нечутливості до холоду та фізичним тренуванням (Т. О. Лоза, С. В. Білоусова, 1995).

За допомогою самонавіювання жителі гірських районів Непалу, Тибету, Гімалаїв можуть підвищувати свій енергообмін на 35–50 % шляхом «нескоротливого» термогенезу (без м'язового тремтіння). Це дозволяє їм без їжі, босоніж тривалий час (1–4 доби) знаходитись при температурі повітря мінус 12–15 °С.

Ефективним методом холодового загартування є місцеве загартування ніг, яке широко пропагував німецький вчений С. Кнейп. Саме йому належать такі крилаті фрази як: «Найліпше взуття — це відсутність взуття», «Кожний крок босоніж додаткова хвилинка життя» тощо. Ходьба босоніж по так званій контрастній доріжці широко практикується сьогодні в багатьох оздоровчих закладах Європи і світу. Переохолодження ніг незагартованою людиною завжди завершується простудними захворюваннями.

Вирішивши займатись загартуванням водою, водолікуванням, належить враховувати такі поради С. Кнейпа (1898):

- чим помірніше і обережніше водолікування, тим надійніший результат;
- чим холодніша вода, тим ефективніший результат;
- дія холодної води має бути максимально короткою, одягання і роздягання повинно бути максимально швидким, всіляку другорядну роботу належить виконувати, коли все тіло достатньо захищене від холоду;
- після холодного купання не потрібно витирати тіло насухо. На мокре тіло швидко одягають сухий одяг. Не витираючись, ми сприяємо ефективному, рівномірному швидкому встановленню природного тепла;
- після купання необхідно рухатись до того часу, поки тіло не висохне і не досягне нормальної температури (спочатку швидка ходьба, потім повільна);
- ефективним методом загартування є ходьба босоніж по мокрій траві, по мокрих каміннях, снігу (не бажано ходити по снігу, коли тіло замерзає, потрібно спочатку зігрітись);

- добрий загартовально-оздоровчий ефект дає ходьба по воді. Така процедура нормалізує функцію нирок, полегшує дихання, сприяє шлунково-кишковому травленню, ліквідує головні болі і тяжкість в голові. Тривалість процедури — спочатку 1 хв, тоді 5–6 хв. Чим холодніша вода, тим краще. Після процедури ходити до зігрівання;
- найбільш простим і доступним є загартування рук і ніг. Для цього їх занурюють у холодну воду, не більше ніж на 1 хв;
- для посилення кровотоку в зоні ступнів і нормалізації росту нігтів доцільно систематично обливати водою коліна.

Для оцінки витривалості ніг до холоду майбутнім полярникам, космонавтам пропонується якнайдовше утримувати ноги в льодяній воді. Досліджуваний вважається досить вольовим і витривалим до холоду, якщо спроможний утримати обидві ступені ніг у воді з льодом протягом 7 хв.

Виникнення простудних захворювань при переохолодженні ніг пояснюється прямим рефлекторним зв'язком між станом верхніх дихальних шляхів і рівнем охолодження ступнів ніг. Великих успіхів у загартуванні ніг і організму в цілому людина досягає, користуючись системою загартування, дозованого голодування і самонавіювання за системою П. К. Іванова. В лютий мороз він годинами прогулювався по снігу в одних лише шортах, не відчуваючи дискомфорту.

Наслідком систематичного загартування є зменшення об'єму терморегуляторних реакцій на одну і ту ж холодну дію. Якщо на початку загартування охолодження ніг водою температурою 16–18 °С викликало зниження температури шкіри ніг на 6–8 °С, кисті на 0,1–0,4 °С, слизової оболонки порожнини носа на 0,1–1,8 °С, то після систематичного використання загартовувальних процедур (у воді з температурою 13–18 °С по 2 хв щодобово протягом 60 днів) таке охолодження ніг водою зумовило менші зміни температури досліджуваних ділянок тіла — температура шкіри ніг знижувалася на 5–8,5 °С, а температура шкіри рук і слизової оболонки порожнини носа залишалась без змін.

Ефективність загартування значною мірою залежить від швидкості дії холодового подразника (Ю. Н. Чусова, 1975). Чим нижча температура води, тим вища швидкість тепловіддачі. У воді з температурою 4 °С вона майже у 23 рази більша, ніж у воді з температурою 26 °С. Збільшення швидкості тепловіддачі зумовлює в свою чергу більш високий рівень напруження функціональних систем терморегуляції. Охолодження в холодній воді при однаковій величині холодового навантаження (холодове навантаження 25 ккал/м² у воді з температурою 4 °С досягалось за 25 с, а у воді з температурою 26 °С — за 570 с) викликає більші функціональні зрушення в організмі, ніж при охолодженні в теплій воді.

Таким чином, використання подразника слабкої і помірної інтенсивності буде викликати явище «привикання», що проявляється в «погашенні» реакцій на дану холодову дію. Використання подразника великої інтенсивності виключає можливість адаптації, а забезпечує значне зростання загартовувального ефекту. Холодові впливи з температурою повітря в межах від +8 до 0 °С вважають слабкими. При таких температурах в міжсезоння частіше,

ніж взимку, виникає переохолодження організму. Отже, для отримання загартовувального ефекту термічний подразник повинен забезпечити достатнє збудження терморецепторів. З цією метою широко використовують контрастні температури — холодні і гарячі ванни або душі, високу температуру термокамер лазень і холодну воду басейну тощо.

В механізмах загартування організму і фізичного тренування є чимало спільних закономірностей. Більш фізично натреновані особи завжди більш швидше й ефективніше адаптуються до несприятливих умов зовнішнього середовища, що, звичайно, є проявом неспецифічного загартування. Взаємно підвищуючи ефект загартування і фізичні тренування сприяють підвищенню стійкості до гіпоксії, проникаючої радіації, впливу отрут і токсинів (К. М. Смирнов, 1959).

Існує ряд особливостей розвитку адаптаційних реакцій при поєднанні загартовувальних процедур з фізичними вправами. Зміни температури ядра тіла при м'язовій роботі діють подібно термічним впливам із зовні (Р. П. Оляньська, 1951). Оскільки охолодження завжди компенсується збільшеною теплопродукцією, то зігрівання організму виконанням фізичної роботи нерідко дає більший загартовувальний ефект, ніж охолодження.

В процесі виконання фізичного навантаження теплопродукція збільшується, надалі при стабілізації інтенсивності діяльності стабілізується і теплоутворення; після роботи — зменшується. Ці зміни теплоутворення при м'язовій діяльності сприяють збільшенню контрастності загартування до холодного подразника. При вираженій втомі (перенапруження) внаслідок порушення терморегуляції спостерігається зниження температури тіла за межі норми. Загартовувальний ефект фізичних вправ, які виконуються на фоні вираженої втоми, знижений. Можливо саме тому перенатреновані спортсмени часто хворіють простудними захворюваннями.

3.5. Практичні завдання

Матеріальне забезпечення заняття: кодоскоп (діапроектор), кодопозитиви (діапозитиви) або ПК і мультимедійний проєктор, схеми, таблиці з фізіології теплообміну. Електротермометр, секундомір, холодна вода (14–17 °С), спирт, вата, кусочки льоду.

Робота 1

Особливості перерозподілу тепла на різних ділянках тіла людини в умовах виконання локальних і регіональних фізичних навантажень

Завдання. Користуючись електротермометром, дослідити особливості перерозподілу температури тіла у досліджуваних студентів та студенток при виконанні ними локальної і регіональної роботи.

Методика. Для оперативної оцінки інтенсивності теплоутворення, направленості перерозподілу температури в організмі людини при виконанні фізичних навантажень, нами пропонується визначення *середньої (закритої) температури шкіри* ().

Температуру шкіри різних ділянок тіла у двох студентів вимірюють електротермометром. При реєстрації температури необхідно уважно стежити за тим, щоб електрод термометра знаходився в «закритім», поряд розташованими складками шкіри положенні.

Вимірювання температури проводять в таких ділянках тіла: 1) за мочкою вуха, 2) під пахвою, 3) в зоні ліктьового згину, 4) між вказівним і великим пальцями правої руки, 5) в зоні паху, 6) в зоні підколінного згину, 7) між пальцями правої ноги.

СЗТШ — це середня арифметична температура семи обстежуваних ділянок тіла. Для визначення спрямованості перерозподілу тепла в тілі розраховують три *температурних коефіцієнта* (): TK_1 — відношення міжпальцевої температури рук до міжпальцевої температури ніг, TK_2 — відношення ліктьової температури до показника колінної температури, TK_3 — відношення показника підмишкової температури до пахової.

В стані спокою показники температури вказівних ділянок шкіри учнів старших класів були такими: заушна — $34,6 \pm 0,13$ °С, підмишкова — $36,4 \pm 0,11$ °С, ліктьова — $34,7 \pm 0,10$ °С, міжпальцева рук — $34,1 \pm 0,11$ °С, пахова — $35,6 \pm 0,15$ °С, підколінна — $34,7 \pm 0,12$ °С, міжпальцева ніг — $32,3 \pm 0,10$ °С, *СЗТШ* — $34,6 \pm 0,05$ °С; TK_1 — $1,06 \pm 0,06$ °С, TK_2 — $1,00 \pm 0,07$ °С, TK_3 — $1603 \pm 0,08$ °С (П. Д. Плахтій, 1987).

Після визначення передбачених методикою показників температури тіла на різних ділянках тіла, розраховавши показники *СЗТШ*, TK_1 , TK_2 і TK_3 , першому досліджуваному пропонують виконати локальне фізичне навантаження — піднімання правою рукою гирі вагою 16 кг максимально можливу кількість разів, другому — регіональну роботу (присідання). Зразу ж після роботи досліджувані показники перерозподілу температури в симетричних ділянках правої і лівої частин тіла вимірюють вдруге. Отримані дані заносять до протокольної таблиці.

Протокольна таблиця перерозподілу тепла на різних ділянках тіла людини в умовах виконання локальної і регіональної фізичної роботи

Досліджувані ділянки тіла	Стан спокою	Після регіонального навантаження	Після локального навантаження	
			Права частина тіла	Ліва частина тіла
1. За мочкою вуха				
2. Під пахвою				
3. Ліктьовий згин				
4. Між пальцями рук				
5. Пах				
6. Підколінний згин				
7. Між пальцями ніг				
8. <i>СЗТШ</i>				
9. TK_1				
10. TK_2				
11. TK_3				

l j b Z g Z e r l a b f Z g b Z g t a d _ j l Z x r h \ Z g n Z Z d b n c Z d \ b d h g Z g l k y l _ ` m \ Z g b f n • a b q g h Z h Z g l Z ` i j g Z g h x m d h a x m f h \ e x k l h l g j h k l Z k g a y L R g _ e b r _ i j Z \ h Z e • \ h e y g l d b Z _ j _ j h a i h ^ • i e Z b p v h f m ^ [m \ Z } l v k y \ Z ` g h k b f _ l j b q g b j f r b i Z f f b y a . • k • g r b o • e y g d Z e o Z ^ \ b s _ g l g y i _ j Z l m g j k m l l } \ _ l h y k g x x h v a • h e h] f q g Z g a a Z a Z g k b [e b \ h k l j c j h a i h ^ • e e n Z h j] Z g ; a d Z a m g Z h ` e b \ Z j • Z g i j Z d l b q g h b d h j b k l Z h g g b f Z g b Z g . b o

0 2

5

A Z \ ^ Z . g h y h e h ^ f l b l h ^ b d h k a g Z q _ g e y b q b g h [h \ b o g _ j] h \ b l j Z l k i h j l k f _ g h f

F _ l h ^ b . d Z e y \ b a g Z q _ g h d h \ b o g _ j] h \ b l d Z l g b o c k l m ^ _ g l j m i b j h \ h ^ b l o j h g h f _ l j k Z \ h y e y e v g h j k l l y] h f f b g m e y h e b > e y b a g Z q _ g e y b q b g b _ g _ j] h \ b (\ Z l d Z e Z d j f Z k b e Z Z o) d h j b k l m x \ Z k y b l Z [. 2 . 1 1 , • g r h x h \ ^ g b d h e h k _ j Z l m j h k g h ` b \ r b l j b f Z g m e b q b g m j] h \ b l j Z Z k h e Z { k l _ ` m \ Z g g Z h Z h [h l (d • ^ i h q b) g d h j b f m x a Z] Z e v _ g e r b q b g m j] h \ b l j Z l

2.11

!

(. \$. # , 1986)

0 \$\$	H > - \$	B > !	0 - * 1 ! 1 - >	! - * 1 -
D > : ' ?	7.00...7.15 15	0,0648	0,0648	15M0,972
"	7.15...7.30 15	0,0329	0,0329	15M0,493
B	7.30...7.40 10	0,0329	0,0329	10M0,329
	7.40...8.00 20	0,0236	0,0236	20M0,472
B #'	8.00...8.30 30	0,0267	0,0267	30M0,801

4. Підвищення температури тіла в пахових впадинах вище 37 °С вказує на стан:
а) гіпотермії; б) гіпертермії; в) ізотермії.
5. Середня температура шкіри людини в звичайних умовах в стані спокою знаходиться в межах (°С):
а) 32–36; б) 33–35; в) 35–36; г) 36–37.
6. Несумісною з життям є зміна температури тіла за межами (°С):
а) нижче 25, вище 43; б) нижче 30 і вище 42;
в) нижче 35 і вище 40.
7. У дітей температура тіла вища, ніж у дорослих, на (°С):
а) 0,3–0,4; б) 0,5–0,6; в) 0,7; г) 0,8.
8. Відсоток осіб, у яких температура тіл може бути на 0,5 °С вищою або нижчою від норми:
а) 40; б) 30; в) 20; г) 10.
9. Вироблення теплоти м'язами в стані спокою приблизно становить (в % від загальної теплопродукції):
а) 10; б) 20; в) 30; г) 40.
10. Віддача тепла організмом в довкілля здійснюється за рахунок таких фізичних процесів:
а) теплопроведення; б) радіації і випаровування;
в) теплопроведення і радіації; г) а + б.
11. Найбільш ефективним механізмом тепловиділення при м'язовій роботі в умовах підвищеної температури повітря є:
а) теплопроведення; б) конвекція;
в) потовиділення; г) радіація.
12. Витрати енергії на випаровування 1 мл поту (ккал.):
а) 0,38; б) 0,58; в) 0,78; г) 1,0.
13. Віддача тепла у зовнішнє середовище теплопроведенням здійснюється:
а) кондукцією; б) конвекцією; в) радіацією; г) а + б.
14. Чи відбуватиметься охолодження тіла людини шляхом потовиділення, якщо виділений на поверхню шкіри піт не випаровується, а лише стікає з неї:
а) так;
б) так, лише за умови, коли тиск водяної пари на поверхні тіла нижчий від їх тиску в довкіллі;
в) ні.
15. Система терморегуляції включає в себе:
а) терморцептори; б) нервові центри;
в) ефекторні шляхи; г) а + б + в.
16. Нервовий центр терморегуляції знаходиться в:
а) спинному мозку; б) проміжному мозку;
в) гіпоталамусі; г) мозжечку.

17. Величина термопродукції в стані спокою у дорослої людини в середньому становить (ккал/год):
а) 70–80; б) 90–100; в) 110–170; г) 130–150.
18. Діапазон температур, при яких зберігається висока активність ферментів, що регулюють обмін речовин (°C):
а) 13–20; б) 23–42; в) 43–48; г) 50–55.
19. Дорослій людині на спеціальні фізичні вправи належить витратити таку кількість енергії (ккал на тиждень):
а) 500; б) 800; в) 1000–2000; г) 3000–5000.

Оцінка теми 3 модуля 2 (19 запитань)

Оцінка модуля	Кількість вірних відповідей						
	19–17	16	15–14	13	12–11	10–7	6 і <
За шкалою університету	100–90	89–82	81–75	74–69	68–60	59–35	34–1
За національною шкалою	5	4	4–	3	3–	2	2–
За шкалою ECTS	A	B	C	D	E	FX	F

Тема 4. Видільна функція нирок та шкіри

4.1. Логіка викладу і засвоєння матеріалу

1. Значення і принципи діяльності екскреторної системи. Функції системи виділення.
2. Будова і функція нирок. Особливості кровообігу нирок.
3. Механізм утворення сечі. Клубочкова ультрафільтрація плазми крові. Реабсорбційна фаза сечоутворення. Механізм роботи зворотно-протитечної системи. Склад сечі.
4. Регуляція процесів сечоутворення і сечовиведення.
5. Видільна функція шкіри. Механізм потовиділення. Термічне і психічне потовиділення.
6. Водно-сольовий баланс і питтєвий режим спортсменів у час тренувань і змагань.
7. Дегідратація організму в умовах фізичних та теплових навантажень. Методи посилення дегідратаційного ефекту.

4.2. В результаті вивчення матеріалу теми Ви повинні знати:

- особливості структурно-функціональної організації екскреторної системи;
- фізіологічні механізми сечоутворення і сечовиділення;

- особливості психічного і термічного потовиділення;
- механізми підтримання водно-сольового балансу фізичних і теплових навантажень.

вміти:

- тестувати функціональний стан системи виділення за показниками хімічного складу сечі;
- визначати тип шкіри і використовувати ці знання для оптимізації її функцій;
- посилювати дегідратаційний ефект шляхом направлено дозування фізичних і теплових навантажень;
- організувати водно-сольовий режим людини в умовах вираженої дегідратації;
- використовувати знання матеріалу теми для попередження порушень температурно-го гомеостазу організму в умовах трудової (спортивної) діяльності.

4.3. Основні терміни, поняття і скорочення

альдостерон; антидіуретичний гормон (АДГ); анурія; дегідратація; діурез; епідерміс; ефективний фільтраційний тиск (ЕФТ); залози шкіри: еккрінові, апокрінові; клубочкова ультрафільтрація; креатинін; нефрон; нирки; потовиділення: психічне, термічне; реабсорбція; ренін; сеча; сечова кислота; сечовина; фільтрація; шкіра

4.4. Теоретичні відомості**1. Значення і принципи діяльності екскреторної системи**

Усі клітини організму постійно виділяють в оточуюче їх середовище продукти своєї життєдіяльності. Виведення кінцевих продуктів обміну з організму є обов'язковою умовою життя. При порушенні процесів виділення змінюється гомеостаз внутрішнього середовища, організм самоутворюється і гине.

У багатоклітинних організмів розрізняють видільну функцію окремих клітин і організму в цілому. Клітини виділяють продукти кінцевого і проміжного обміну в міжтканинну рідину, а спеціалізовані видільні системи, виводячи продукти обміну з організму в довкілля, утримують продукти проміжного обміну.

Крім власне кінцевих продуктів обміну (вуглекислий газ, вода, аміак, сечовина, сечова кислота та ін.), органами виділення виводяться з організму речовини, які утворюються при розпаді клітки, що відмирають, випадкові або постійні домішки до їжі, усі інші речовини, які не мають фізіологічного значення для організму. Важливими функціями системи виділення є також підтримання концентрації іонів (натрію, калію, кальцію, водню, хлору тощо), об'єму тканин тіла і осмотичного тиску крові.

Функцію виділення в організмі людини виконують нирки, легені, травний канал, шкіра, слинні, молочні і сальні залози (рис. 2.42). Через легені і шкіру з організму

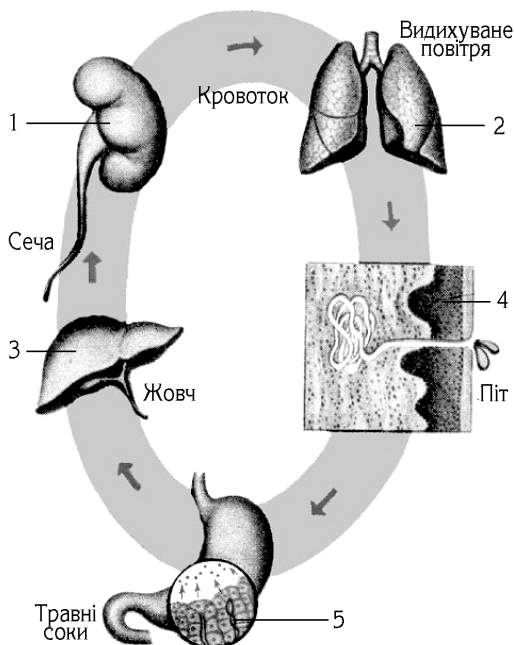


Рис. 2.42

Органи, які беруть участь в очищенні крові від продуктів метаболізму: 1 — нирки; 2 — легені; 3 — печінка; 4 — шкіра; 5 — травний тракт

рений великою кількістю мікроскопічної величини нефронів. Загальна схема будови нирки подана на рис. 2.43.

Нефрон — це основна структурна і функціональна одиниця нирки. Їх кількість — 1–3 млн. Між нефронами знаходиться сполучна тканина. Нефрон починається капсулою Шумлянського-Боумена. Це порожнисте кулькоподібне утворення, вистlane одношаровим плоским епітелієм. В середині капсули розміщені два клубочки капілярів, які називаються *мальпігієвими* (рис. 2.44 Б). Кожний клубочок складається із великої кількості капілярних петель, утворених артеріолою. В порожнині капсули вона одразу ж розпадається на капілярні петлі, згодом усі вони

му виділяється вуглекислий газ і вода. Кількість води, яка виділяється легеньми і шкірою, приблизно однакова (разом близько 1000 мл. за добу), через легені виводяться 99 % вуглекислого газу, через травний канал — солі важких металів, кальцію, холестерин, жовчні пігменти, вода тощо.

2. Будова і функція нирки

Нирки (їх дві) розміщені в поперековому відділі на задній стінці черевної порожнини. Кожна нирка складається з двох шарів: коркового і мозкового. Корковий (зовнішній) шар нирки утво-

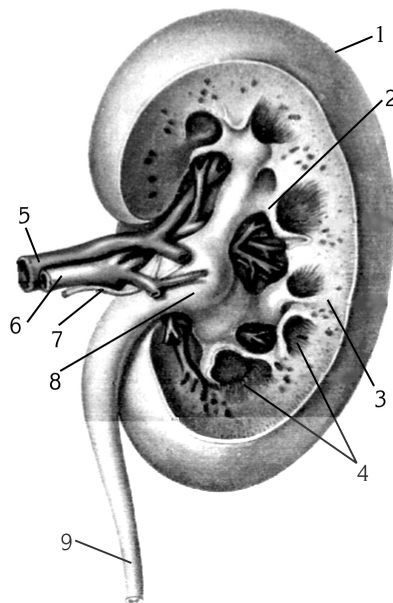


Рис. 2.43

Загальна схема будови нирки людини: 1 — капсула; 2 — чашечка; 3 — коркова речовина; 4 — мозкова речовина; 5 — вени; 6 — артерія; 7 — нервовe сплетіння; 8 — лoханка; 9 — сечовивідний канал

Рис. 2.44

Будова і кровозабезпечення нефрону (А — нефрон; Б — мальпігієвий клубочок): 1 — дистальний звивистий каналець; 2 — клубочок; 3 — капсула; 4 — проксимальний звитий каналець; 5 — петля Генле; 6 — збиральна трубочка; 7 — принося артерія; 8 — вивідна артерія; 9 — капсула; 10 — порожнина капсули; 11 — капіляри

зливаються у венозну артеріолу, яка знову утворює капілярну сітку навколо каналців. Важливо відмітити, що кровonosна судина, по якій кров надходить до капсули, ширша, ніж та, по якій кров витікає з капсули. Цим створюється підвищений гідростатичний тиск, необхідний для фільтрації крові. При масі нирок 0,43 % від маси тіла, через них проходить до 25 % усієї крові, яка циркулює в системі кровообігу.

Від порожнини капсули нефрону відходить сечовий каналець, який спочатку має звиту форму — звивистий каналець 1-го порядку. Доходячи до межі між корковим і мозковим шаром нирки, каналець звужується і випрямляється. В мозковому шарі він утворює *петлю Генле* і повертається в корковий шар нирки. Таким чином, петля Генле складається з проксимальної і дистальної частин. В корковому шарі нирки, або на межі коркового і мозкового шарів, прямий каналець знов набуває звивисту форму, утворюючи звивистий каналець 2-го порядку. Останній впадає у вивідну протоку — збиральну трубочку (рис. 2.44, А). Значна кількість таких збиральних трубочок, зливаючись, утворюють загальні вивідні протоки. Пройшовши через коркову і мозкову речовину, вивідні протоки ідуть до вершин сосочків, які виступають в порожнину ниркової миски. Ниркові миски відкриваються в сечовивід, по якому сеча надходить в сечовий міхур.



Клубочкова ультрафільтрація плазми крові з капілярів клубочка в порожнину капсули є результатом взаємодії: 1) тиску крові капіляра клубочка нирки (P_k), 2) онкотичного тиску колоїдів крові (P_o), 3) гідростатичного тиску рідини в просвіті капсули клубочка (P_{rk}). Ефективний фільтраційний тиск () визначається за формулою:

$$= P_k - (P_o - P_{rk}).$$

При $P_k = 70$ мм рт. ст., $P_o = 30$ мм рт. ст., $P_{rk} = 20$ мм рт. ст. становитиме 20 мм рт. ст. З формули випливає, що усі ті чинники, які підвищують кров'яний тиск — посилюють фільтрацію, а які збільшують онкотичний тиск — сповільнюють її.

За добу через нирки протікає до 200 л крові, з якої утворюються 180 л первинної сечі. Первинна сеча відрізняється від плазми крові відсутністю білків. Це обумовлено сітчастою структурою основної перетинки капсули, яка складається з тонких колагенових волокон, розташованих на відстані 3,5–7 нм одна від одної (молекулярне сито). Оскільки діаметр молекул білків більший, ніж розміри щілин молекулярного «сита», вони не проходять в первинну сечу. Усі інші речовини плазми крові, з меншим діаметром молекул (молекулярною масою 5500 і менше) вільно проходять в первинну сечу.

Друга фаза сечоутворення — *реабсорбційна*. Це фаза зворотного всмоктування. Зворотне всмоктування з первинної сечі води та інших необхідних організму речовин, відбувається в звивистих каналцях та в петлі Генле. Стінки звивистих каналців представлені епітелієм, який різний в різних її відділах. У звивистих каналцях першого порядку епітеліальні клітини мають циліндричну форму, в зоні низхідної частини петлі Генле вони ущільнюються, у висхідній частини петлі, як і в звивистих каналцях другого порядку, епітелій стає кубічним.

Внутрішня поверхня циліндричних клітин, утворена мікроворсинками. Це збільшує загальну поверхню каналців до 50 м². Така велика сумарна поверхня каналців забезпечує великий об'єм реабсорбції. Мікроворсинки знаходяться також в зоні петлі Генле.

Зворотне всмоктування речовин з первинної сечі залежить від їх концентрації в крові. Так, якщо концентрація глюкози в плазмі крові не перевищує 150–180 мг%, то вона повністю реабсорбується, якщо ж вміст глюкози в плазмі вище вказаних величин, то вона реабсорбується не повністю і частина її надходить в сечу (глюкозурія). Таким чином виділення окремих речовин через нирку визначається їх концентрацією в крові. Та концентрація даної речовини в крові, при якій вона не може бути повністю реабсорбована в каналцях і надходить в кінцеву сечу, називається *порогом виведення*.

Всі речовини, що всмоктуються в кров з первинної сечі, називаються *пороговими*. До них належать: глюкоза, амінокислоти, а також значна частина іонів та інших речовин. Речовини, які не піддаються зворотному всмоктуванню і повністю виводяться з

кінцевою сечею, називаються *непороговими*. До них відносяться кінцеві продукти білкового обміну речовин: аміак, сечовина, креатинін, сульфати тощо.

Існують певні особливості зворотного всмоктування окремих речовин з первинної сечі. Так всмоктування натрію, глюкози, амінокислот та деяких інших речовин проходить за участю активних процесів транспорту. В реабсорбції іонів натрію через епітелій каналців важлива роль належить ферменту дегідрогеназі янтарної кислоти.

На процеси активного утворення кінцевої сечі витрачається значна частина енергії. Маючи невелику масу (122 частина від маси тіла), нирки споживають 11 частину кисню (від його споживання організмом в цілому). В дуже великих кількостях в каналцях під дією законів дифузії і осмосу проходить всмоктування води. Всмоктування глюкози, натрію, кальцію і калію, та інших речовин з первинної сечі в тканинну рідину нирок і в кров підвищує осмотичний тиск тканинної рідини і знижує осмотичний тиск каналцевої сечі. Вона стає гіпертонічною щодо тканинної рідини. Внаслідок різниці осмотичних тисків вода переходить з первинної сечі в тканинну рідину і в кров. Цей пасивний процес проходить паралельно активному транспорту органічних і неорганічних сполук. Перехід води вирівнює осмотичний тиск сечі в звивистих каналцях першого порядку до рівня осмотичного тиску тканинної рідини і крові, тобто сеча в цих каналцях стає ізотонічною щодо крові.

В петлі Генле ізотонічність сечі порушується внаслідок функціонування особливого механізму — зворотно-протитечної системи. Суть роботи даної системи полягає в тому, що два коліна петлі Генле (несхідне і висхідне), тісно торкаючись одне одного, функціонують взаємозв'язано як єдиний механізм.

Епітелій проксимального відділу петлі Генле пропускає воду, але не пропускає іони натрію, а епітелій дистального відділу петлі володіє здатністю активно пропускати іони натрію і в той же час не пропускає води з просвіту каналців в тканинну рідину.

При проходженні сечі через низхідні петлі нефрона, внаслідок переходу води в тканинну рідину, сеча поступово згущається. Перехід води — пасивний процес, обумовлений тим, що епітелій розміщеного поруч висхідного (дистального) відділу петлі Генле активно реабсорбує іони натрію, перетягує туди молекули води, що перейшли в тканинну рідину, але не з дистального, а з проксимального каналців. Це призводить до значного згущення сечі, і в зоні вершини петлі вона стає найбільш концентрованою. Подальше всмоктування іонів натрію, калію, води та інших речовин проходить в звивистих каналцях 2-го порядку, а також продовжується в збиральних трубочках. Концентрування гіпотонічної сечі, яка надходить у збиральні трубочки, обумовлено в основному всмоктуванням води.

Шкідливі речовини, які слабко фільтруються або зовсім не переходять в первинну сечу (деякі колоїди, органічні кислоти, сполуки знешкоджених токсинів), або ж виводяться з організму шляхом секреції, якою володіють клітини ниркових каналців.

Склад сечі. Сеча — це прозора рідина світло-жовтого кольору з вмістом 95 % води та 5 % твердих речовин. Головними складовими компонентами твердого залишку сечі є сечовина (2 %), аміак (0,4 %), сечова кислота (0,05 %), креатинін (0,1 %), який утворюється з фосфокреатеніну, що розпадається в м'язах в час скорочення (табл. 2.13).

Таблиця 2.13

Склад сечі людини (в розрахунку на 1200–1500 мл)

Неорганічні речовини		Органічні речовини	
Cl ⁻	5–11	Сечовина	20–35
SO ₄ ²⁻	1,8–3,6	Сечова кислота	0,3–1,2
PO ₄ ³⁻	2–6,7	Пуринові основи	0,015–0,045
Na ⁺	3,0–5,2	Креатинін	1,5–2,4
K ⁺	2,0–3,5	Гіппурова кислота	0,1–2,0
Ca ²⁺	0,2–0,3	Індикан	0,001–0,038
Mg ²⁺	0,06–0,2	Стеркобіліноген	0,020–0,035
NH ₄ ⁺	0,6–1,3	Урохром	0,2–0,9
		Ацетон + ацетооцтова кислота	0,009
		Білок	0,003–0,09

Окрім згаданих вище азотистих продуктів в сечі також знаходяться деякі продукти гниття білків (індол, скатол, фенол), які утворюються в кишечнику під дією бактерій. Знешкоджуючись в печінці, ці речовини виділяються з сечею у вигляді ендоксил-сірчаної, скатоксил-сірчаної, оксифенол-оцтової і оксифенол-пропіонової кислот.

В сечі наявні сірчано-фосфорно кислі солі (хлористий натрій, хлористий калій тощо). Питома вага сечі — 1,010–1,020, реакція (рН) — слабокисла, нейтральна або лужна. Вона залежить від виду їжі, яку приймає людина. При харчуванні переважно білковою їжею сеча слабокисла, або нейтральна, при вегетаріанській дієті — слаболужна.

Загальна кількість сечі, яка виділяється людиною з сечового міхура за добу, коливається в широких межах і складає в середньому 1,5 л. При значному потовиділенні (в умовах високої температури навколишнього повітря) сечоутворення гальмується. Зменшується сечоутворення і в час сну, особливо, коли сон глибокий. Нічна сеча темніша за кольором і концентрацією, ніж денна.

Білок не проходить через стінки капілярів, а тому в нормальній сечі він відсутній. Поява білка в сечі (альбумінурія) вказує на захворювання нирок. На короткий час білок може з'явитися в сечі здорової людини при виконанні напруженої фізичної роботи. Це особливо характерно для спортсменів-стайерів. Така поява білка в сечі — результат тимчасової зміни проникності судинної системи нирок. З часом нормальна робота нирок відновлюється і білок у сечі таких осіб зникає. При крововиливах в зоні нирок чи сечовивідних органів в сечі з'являється кров — гематирія.

Жовтий колір сечі зумовлений пігментами, які утворюються з білірубіна жовчі в кишечнику, де він перетворюється в уробілін і урохром. Частково всмоктуючись з кишечнику в кров, ці пігменти згодом виділяються нирками. Поряд з цим нирки і самі здатні окислювати продукти розпаду гемоглобіну, перетворюючи їх в пігменти сечі.

4. Регуляція процесів сечоутворення і сечовиділення

Регуляція функції нирок здійснюється нейрогуморальним шляхом. При подразненні симпатичних нервів, які іннервують нирки, спостерігається звуження ниркових судин. Зміна діурезу при цьому залежить від того, де пройшло це звуження. Якщо воно наступило в артеріолах, по яких кров надходить до клубочків нефрону, то внаслідок зменшення фільтраційного тиску тут зменшується і фільтрація первинної сечі. Якщо ж звужені артеріоли, по яким кров виходить з клубочків, то внаслідок підвищення тиску в клубочках сечоутворення посилюється. Ренін нирок і альдостерон наднирників приймають активну участь в підтриманні артеріального тиску.

В процесах регуляції діяльності нирок важлива роль належить гормонам гіпофіза і наднирників. Такий зокрема механізм больової анурії — припинення сечоутворення при механічних подразненнях больових рецепторів шкіри. За цих умов центри гіпоталамуса посилюють секрецію антидіуретичного гормону гіпофізом, що призводить до звуження ниркових судин і зменшення діурезу. В регуляції діурезу важлива роль належить гормонам гіпофіза і наднирників (рис. 2.46).

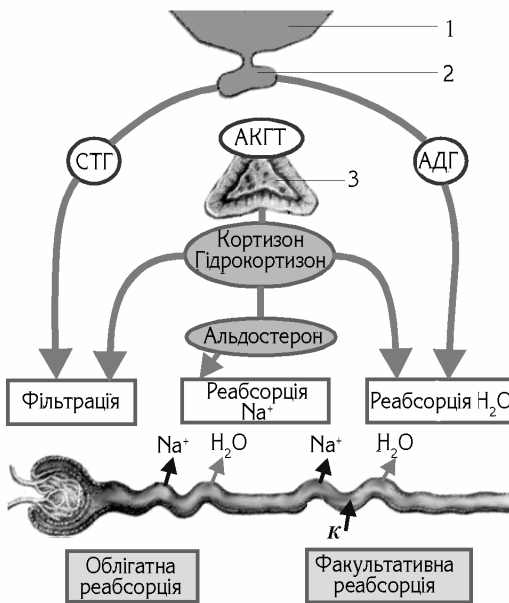


Рис. 2.46

Роль гормонів гіпофіза і наднирників в регуляції діурезу: 1 — гіпоталамус; 2 — гіпофіз; 3 — наднирники; АКТГ — аденокортикотропний гормон; СТГ — соматотропний гормон; АДГ — антидіуретичний гормон

Рефлекторні зміни сечовиділення проходять і при подразненні деяких внутрішніх органів. Так закупорка сечовивідного каналу нирковими камінцями викликає припинення сечовиведення не тільки в тій нирці, від якої відходить цей сечовід, але й в другій нирці.

Безумовно-рефлекторний підкорковий механізм регуляції сечоутворення підпорядкований вищому кортикальному управлінню, яке здійснюється умовнорефлекторним шляхом. При цьому від кори великих півкуль відходять імпульси до гіпоталамуса і гіпофізу, викликаючи направлену зміну виділення антидіуретичного гормону. Важлива роль в регуляції і діяльності нирок належить вазопресину і антидіуретичному гормонів задньої частки гіпофізу.

Виділення вазопресину в кров проходить під впливом імпульсів від осморорецепторів. Ці рецептори знаходяться в усіх органах і тканинах і реагують на зміну концентрації солей в крові при

тривалому ненадходженні води в організм. За таких умов посилюється секреція вазопресину, який сприяє зворотній дифузії води із каналців нирок в капіляри. Як наслідок, утворення сечі зменшується або навіть зовсім припиняється. При підвищеному вмісті води в кровеносному руслі вазопресин не виділяється, сечоутворення посилюється і надлишок води виводиться із організму. Аналогічно дії даного гормону діє і антидіуретичний гормон.

Активізує сечоутворення гормон наднирників адреналін. Це досягається шляхом звуження вивідної артеріоли судинного клубочка і збільшення в ньому тиску. Проте при великих концентраціях, звужуючи приносні судини і знижуючи тиск в капілярах судинного клубочка, адреналін гальмує сечоутворення. Таке пониження сечоутворення, викликане збільшеним виділенням адреналіну в кров, спостерігається у спортсменів перед початком змагань. Активізує сечоутворення гормон тироксин щитоподібної залози, сечовина, кофеїн та інші сечогінні речовини.

Сечовиведення. Утворена в нирках вторинна (кінцева) сеча з ниркових мисочок по сечоводу надходить в сечовий міхур. Це порожнистий орган, стінка якого складається з трьох оболонок: слизової, м'язової та серозної. М'язова оболонка міхура має трьохшарову структуру — зовнішній і внутрішній шари повздовжні, середній — коловий, в ділянці шийки міхура він утворює внутрішній стискач (сфінктер) міхура. Крім внутрішнього є ще зовнішній довільний сфінктер сечовивідного каналу.

Вільний від сечі сечовий міхур знаходиться в скороченому вигляді. В міру його наповнення сечею він розтягується, проте тиск в ньому при цьому зростає не суттєво. Випорожнення сечового міхура відбувається рефлексорно. При наповненні міхура (250–300 мл), коли тиск в ньому досягає 12–15 мм рт. ст., виникає відчуття потреби сечовиведення. Мимовільний центр сечовиведення знаходиться в попереково-крижовому відділі спинного мозку. Сюди надходять еферентні імпульси від рецепторів міхура, а звідси по парасимпатичним нервам ідуть

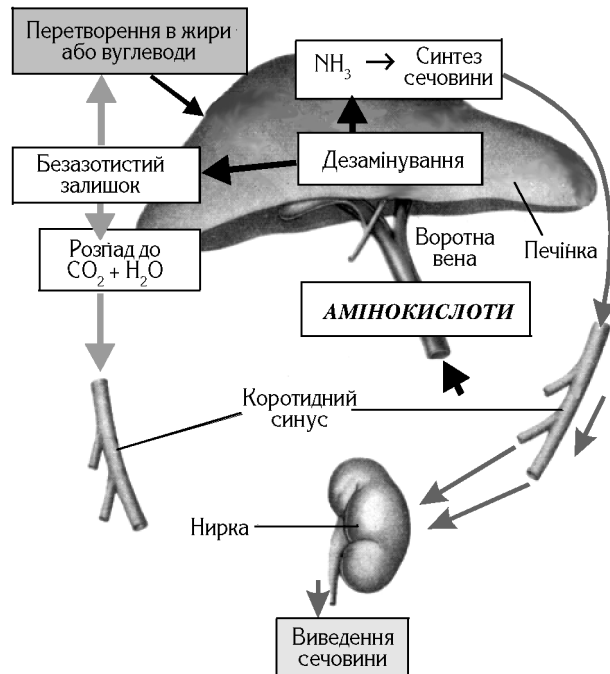


Рис. 2.47
Синтез і виділення сечовини

еферентні імпульси до м'язів міхура. При скороченні м'язів міхура його сфінктери рефлекторно розслаблюються і сеча виходить по сечовивідному каналі назовні.

В акті сечовиведення важливу роль відіграють і м'язи живота. У новонароджених дітей довільна затримка сечовиведення відсутня. Вона починає з'являтися лише в кінці першого року життя і закріплюється в двохрічному віці, коли умовно-рефлекторна затримка сечовиведення автоматизується. Вищі коркові центри, що регулюють сечовиведення, знаходяться в лобних долях кори великих півкуль головного мозку. Корковий контроль щодо видільної функції нирок проявляється в затримці, підсиленні або навіть довільному викликанні сечовиведення. Синтез і виділення сечовини тісно пов'язані з функцією печінки (рис. 2.47).

5. Видільна функція шкіри

Шкіра — це покривний орган. Її будова і функції зумовлені безпосереднім впливом на неї чинників довкілля. Шкіра складається з епідермісу (зовнішнього шару), власне шкіри (внутрішнього сполучно-тканинного шару) і підшкірної клітковини. *Епідерміс* лежить на основній перетинці. Він представлений плоским багат шаровим епітелієм товщиною 0,03–1,5 мм. За епідермісом розташований основний ростовий шар клітин, серед яких є чимало пігментних клітин (епітеліоцитів). Пігмент меланін епітеліоцитів зумовлює колір шкіри, захищає її від ультрафіолетового проміння. Рогові лусочки поверхневого рогового шару постійно злущуються і замінюються новими, які надходять з нижче розташованих шарів епідермісу. Повна заміна клітин епідермісу шкіри триває 10–30 днів.

В сітчастому сполучно-тканинному шарі *власне шкіри* залягають корені волосся, потові і сальні залози, кровеносні судини; товщина власне шкіри — 1–2,5 мм; загальна площа поверхні шкіри — 1,5–2 м², маса — 5 % маси тіла.

Основними функціями шкіри є захисна, терморегуляційна, рецепторна, видільна і дихальна. Разом з тим шкіра функціонує як депо крові, води і мінеральних речовин; шкіра бере участь в імунних реакціях та обміні речовин.

З потом в довкілля виводиться сечовина, аміак, гіппурова кислота, фосфати, ацетон, амінокислоти, жовчні кислоти тощо (рис. 2.48). Щодоби через шкіру з потом виділяється близько 500 мл води, а з нею 2 г хлористого натрію і 1 г азоту. В умовах інтенсивного потовиділення через шкіру організм втрачає до 10 г азоту і 40 г NaCl. З 1–2 % сухого залишку поту 0,5–1 % припадає на неорганічні сполуки, 0,3 % на органічні. Реакція поту, як і шкірного сала, кисла (рН = 5–6,5). Щодо крові піт є гіпотонічним розчином, а тому при значному потовиділенні втрачає більше води, ніж солей. Виконання спортсменом тривалих фізичних навантажень в умовах високої температури повітря може призвести до виражених порушень водно-сольового обміну і терморегуляції з небажаними наслідками (виникнення судом, втрата свідомості тощо).

Видільна функція потових залоз суттєво доповнює видільну функцію нирок. Компенсаційна діяльність потових залоз проходить не тільки у випадку недостатності



При виконанні фізичної роботи на фоні дегідратації відзначені зрушення гомеостазу внутрішнього середовища значно посилюються, що необхідно брати до уваги при дозуванні фізичних навантажень після форсованого зменшення маси тіла. В умовах гіпергідратації, прискорюючи початок потовиділення, м'язова робота сприяє більш ранній стабілізації теплового балансу організму (Cruesa Byszard та ін., 1978).

Активізація обміну речовин при форсованій дегідратації організму є основною причиною порушення гомеостазу внутрішнього середовища та зниження фізичної працездатності спортсменів. У спортсменів після форсованого зменшення маси тіла збільшується тривалість відновлення фізіологічних функцій. Цю обставину необхідно враховувати в спортивній практиці при плануванні тренувальних навантажень: вони (навантаження) повинні бути тим менші, чим більший рівень дегідратації (К. П. Левченко, 1978).

В першій фазі термічної дегідратації об'єм крові із-за компенсаторного перерозподілу вологи довго не змінюється або навіть збільшується за рахунок переходу води з тканин в кров'яне русло (М. Karesoga, 1975). Втрата води плазмою крові за таких умов здійснюється шляхом швидкої мобілізації депонованої води. Для корекції викликаних гіпертрофією зрушень обмінних процесів після лазні необхідно дотримуватись вільного питтєвого режиму. При обмеженому споживанні води відновлення біохімічного гомеостазу значно затримується. Зниження інтенсивності потовиділення в мірі розвитку дегідратації пов'язане з гальмуванням центральнонервових механізмів терморегуляції (I. Sugenoу та ін., 1986).

Висока напруженість функціонування органів і систем організму осіб з надмірною вагою в умовах термокамери лазні, тривале відновлення функцій після даної процедури вказують на необхідність обережного користування цим засобом зниження маси тіла. Фізіологічний механізм позбавлення зайвої маси тіла з допомогою лазні полягає у активізації окислювальних процесів, значному посиленні потовиділення (S. Deane, D. Y. Yreen, S. Melnich, 1977). Висока ефективність дегідратуючої терапії для повних людей зумовлена її специфічною дією на водноелектролітний обмін. Відзначаючи відносний характер гідратації при ожирінні, Е. А. Шуригін та ін. (1980) пропонують дієти з фізіологічним вмістом солі та вологи.

Обмеження щодо прийняття води в умовах значної дегідратації організму (після сауни, інтенсивних фізичних навантажень) можуть викликати затримку шлаків в організмі і сприяти утворенню каміння в нирках (D. Craddock, 1978), посиленню процесів звертання крові (тромбоутворення). Навпаки, довготривалі і інтенсивні теплові навантаження з наступним повним (часто надмірним) відновленням витрат води, зумовлюючи посилене виведення солей з організму, можуть викликати порушення діяльності нервової системи, дратівливість, інколи судороги ікроножних м'язів і навіть приступи «тропічного психозу». За таких умов зменшується сечоутворення і сечовиведення, збільшується питома вага сечі (Е. Ф. Адольф, 1952; D. Minard та ін., 1966).

За даним В. Г. Оліференко, І. М. Касянова (1985), використання температур з перепадом в 25°C (при зменшенні маси тіла на 300-500 г) сприяє відновленню фізіологічного розподілу води в організмі в бік підвищення вмісту внутрішньоклітинної води. При цьому рівень гормонів альдостерону і реніну в крові обстежуваних знижується. Ця м'яка дегідратуюча дія переносилась легко і супроводжувалась поліпшенням ліпідного обміну та підвищенням скоротливої функції міокарду.

При зниження маси тіла самбістів на 5 % (шляхом обмежень у споживанні води і їжі після сауни) спостерігалось істотне зниження активності церулоплазміна, зменшення концентрації міді і марганцю у формених елементах крові, рівня ліцозиму і комплекменту при одночасному підвищенні бактерицидності сироватки крові (В. В. Насолодін та ін., 1988). На підставі отриманих даних вчені зробили висновок про те, що форсування спортивної форми при використанні в тренувальному процесі великих об'ємів навантажень з одночасним зниженням маси тіла може призвести до залізодефіцитної анемії.

Таким чином, оскільки форсована дегідратація призводить до порушень обміну речовин, необхідно практикувати поступову і м'яку дегідратаційну терапію, при якій зміни обмінних процесів менш виразні. Використання сауни необхідно регламентувати, не допускаючи надмірних втрат води, особливо особам, які користуються саунотерапією вперше.

З метою посилення дегідратаційного ефекту, що сприяє позбавленню зайвої маси тіла, після термокамери сауни не слід охолоджуватись в басейні або під холодним душем. Холодові процедури рефлекторно гальмуватимуть потовиділення. Для посилення потовиділення після термокамери бажано облитись теплою (гарячою), а не холодною водою, тепло вкритись і 20–30 хвилин пасивно відпочити. Перед наступним відвідуванням термокамери приймають теплий душ і витираються насухо. Для більш глибокого прогрівання доцільно користуватися березовим або дубовим вінником.

При згонці ваги після термокамери лазні не варто виходити в прохолодне приміщення, плавати у басейні з холодною водою. Адже усе це чинники, які призводять до звуження периферійних капілярів і гальмують потовиділення.

Для вгамування спраги після термонавантажень не слід приймати багато рідини. Після 3–4-го відвідування термокамери доцільно випити небагато гарячого, ледь солодкого чаю з лимоном, журавлиним соком тощо. Корисно додавати в чай м'яту, звіробій, листя смородини, лимоннику китайського, плоди шипшини. Замість чаю можна випити мінеральну воду, хлібний квас, розведений водою овочевий або фруктовий соки тощо. Протипоказаним є споживання після лазні пива та інших спиртних напоїв. Збільшуючи навантаження на серце і нирки, порушуючи діяльність нервової та інших систем організму, алкогольні напої нанівець зводять оздоровчу дію чинників лазні.

Враховуючи інерцію процесів теплорегуляції, відвідування термокамери лазні повинно бути більш частим та менш тривалим. Це дозволить без особливих вольових

напружень досягти естетично-оздоровчого ефекту. Втрати води при такому режимі використання термокамери не менші, а в ряді випадків навіть більші, ніж при тривалих перебуваннях в парній.

Для активізації процесів потовиділення перед відвідуванням термокамери лазні сухе тіло натирають дрібною сіллю, медом, спиртом (пивом або горілкою). Натирання тіла спиртом слід проводити безпосередньо в термокамері лазні. Високоєфективним щодо дегідратації організму за таких умов є перші 5–10 хв після термокамери. В цей період тепловиділення значно активізується і часто буває навіть інтенсивнішим, ніж в термокамері. Піт з шкіри збирають за допомогою спеціального скребка, поролону або простої мильниці. Відпочивати після термокамери доцільно лежачи, загорнувшись в махрове простирадло або одягнувши теплий халат.

Незначне зниження маси тіла з допомогою чинників лазні проходить для спортсменів без негативних наслідків. До більш великих втрат маси тіла необхідно підходити обережно і ретельно готуватись. Інтервали часу між двома серіями процедур, спрямованих на зниження маси тіла, повинні становити не менше двох місяців. Зігнання маси тіла потрібно розпочинати не пізніше, ніж за 2–3 тижні до початку змагань. Небажаним є зігнання маси тіла юними спортсменами (А. Галицький, 1988), адже у цьому віці жировий прошарок невеликий і зниження маси тіла може іти за рахунок м'язової тканини, що, звичайно, призведе до зниження силових здібностей спортсмена.

Включаючи сауну в арсенал оздоровчо-тренувальних заходів, обов'язково належить визначити конкретну мету, з якою планується їх використання. Якщо сауна призначається спортсмену для ліквідації втоми, то безпосередньо після навантаження необхідно відновити втрати води, прийняти легку їжу і пасивно відпочити. В залежності від самопочуття тривалість часу з моменту закінчення тренування до прийняття сауни може становити від однієї-двох годин до однієї доби. Бажано приймати сауну за 2–3 години після обідньої пори, якщо ж сауна приймається до обіду, то після неї необхідно 2–3 години пасивно відпочити.

Не слід зловживати перебуванням у сауні. Значні витрати води і мінеральних солей, при певних умовах, можуть негативно вплинути на організм спортсмена, на підтримання досягнутої спортивної форми.

Безпосередньо після фізичних навантажень (в період фази швидкого відновлення) режим знаходження в сауні повинен бути помірним. Не годиться відвідувати сауну після надмірно високих навантажень, також після тривалих тренувань середньої і навіть малої інтенсивності або із значним потовиділенням. Після таких тренувань необхідно компенсувати втрати води та солей і відвідувати сауну не раніше, ніж через 1–2 год після тренування. Боксерам і одноборцям доцільно відвідувати сауну не раніше, ніж через 24 години після змагань. Це зумовлено можливістю крововиливів (зокрема в мозок), спричинених виконанням тренувальних або змагальних навантажень. Такі суб'єктивно не відчутні крововиливи можуть призвести до погіршення здоров'я і навіть смерті (особливо у спортсменів із струсом мозку).

Сухоповітряні лазні, поєднанні з ароматотерапією, широко використовуються в спортивній практиці для лікування простудних захворювань. З цією метою стіни термокамери лазні поливають настоєм евкаліпта, шалфея, подорожника, ромашки, хвої ялини або піхти. Повітря лазні, насичене летючими ефірними маслами ароматичних трав, сприяє прискоренню перебігу відновних процесів в організмі після напружених тренувань (змагань), підвищує реактивність імунної системи, оптимізує функцію нервової та інших систем організму.

4.5. Практичні завдання

Матеріальне забезпечення заняття: скляні циліндри ємністю 200 мл, урometri, індикаторний папір для визначення кислотності сечі або рН-метр, сеча людини, діапроектор (кодоскоп), діапозитиви (кодопозитиви) або ПК і мультимедійний проєктор, схеми, таблиці з теми «Фізіологія виділення».

Робота 1

Розгляд нирки свавця

Завдання. На прикладі нирки свавця (свині) дати студентам уявлення про будову і функції нирки людини. Сформувані знання про значення процесів виділення продуктів обміну з організму в довкілля.

Методика. З нирки свині (з сечоводом, артерією та веною) видаляють жирову тканину. Користуючись таблицями та схемами, студенти знайомляться з зовнішньою будовою нирки, її розміщенням в організмі людини, звертають увагу на форму нирки, її колір, на сечовід, розміри (діаметр) ниркової артерії і вени (ниркова артерія відходить від черевної аорти, а ниркова вена впадає в нижню порожнисту вену). Тоді нирку розрізають вздовж так, щоб сечовід і судини залишились з одного боку. Звертають увагу на темніший зовнішній (корковий) шар з червоними клубочками та мозковий шар пірамідок із сосочками. За допомогою лупи розглядають в пірамідах сечові каналці, які тягнуться від зовнішнього шару до сосочків. Вводять через сечовід зонд, знаходять ниркову миску з нирковими чашечками і збірними трубочками.

У висновках до роботи вказують на взаємозв'язок будови і функції нирок, на значення видільної функції нирок, шкіри та легень для організму на можливі наслідки порушення функцій видільних органів.

Робота 2

Дослідження фізико-хімічних властивостей сечі

Завдання. Ознайомитись з методами визначення хімічного складу та реакції сечі.

Методика. Для визначення густини сечі, її наливають у циліндр до мітки 100 мл. Після цього у циліндр опускають урومتر так, щоб та частина його, що знаходиться

вище рівня сечі, не намокла. Проти нижнього меніска рівня сечі у циліндрі фіксують на шкалі урометра показник густини сечі. Отриманий показник густини сечі порівнюють з нормативним і роблять відповідні висновки.

Найпростішим методом визначення реакції сечі є індикаторний метод. Смужку універсального індикаторного папірця на половину занурюють у досліджувану сечу. При зміні кольору паперу його порівнюють з кольоровою шкалою, визначаючи таким чином величину рН. В нормі сеча травоядних тварин лужна, у всеїдних та хижаків слабокисла або кисла, у людини — слабокисла (у вегетаріанців — нейтральна).

Хлориди сечі визначають розчином азотнокислого срібла, його додавання до сечі призводить до утворення осаду хлористого срібла. При змішуванні сечі з NaOH утворюється осад фосфатів.

Сульфати виявляють додаванням до підкисленої соляною кислотою сечі розчину хлориду барію. При цьому утворюється сірчанокислий барій (білий осад). До його складу входять сульфати, карбонати та фосфати. Фосфати і карбонати осаду можна розчинити соляною кислотою, в залишку залишаються лише сульфати кальцію. Для виявлення сечовини до згущеної випарюванням сечі додають міцну HNO_3 . При цьому спостерігається випадання кристалів ромбічної форми. Їх добре видно під мікроскопом.

У висновках до роботи вказують на нормативні величини добової кількості утвореної (виділеної сечі), її питому вагу, рН і величину сухого залишку; звертають увагу на нормативні величини хімічного складу сечі (виділяється за добу в грамах): 1) органічні речовини; 2) сечовина; 3) сечова кислота; 4) креатинін; 5) гіппурова кислота; 6) індиан; 7) урохром; 8) уробіліноген; 9) пурини; 10) ацетон + ацетооцтова кислота; 11) білок; 12) Cl; 17) SO_4 ; 13) PO_4 ; 14) Na; 15) K; 16) Ca; 17) Mg; 18) NH_4 .

Робота 3

Морфофункціональні особливості шкіри. Визначення типу шкіри

Завдання. Сформувати у студентів знання про функції шкіри у зв'язку з її структурою. Оволодіти методикою визначення типу шкіри.

Методика. Студенти уважно розглядають (спочатку без лупи, а тоді з допомогою лупи) шкіру тильного боку руки, долоні. Переконаються в тому, що шкіра гладенька, пружна, еластична. Рожевий колір шкіри зумовлений розгалуженням в ній численних дрібних кровоносних судин і капілярів, поряд з якими виділяються венозні (голубі) судини. Товщина шкіри на різних ділянках тіла різна, що зумовлено різною величиною жирових клітин в шкірі. Над гіпертрофованими м'язами шкіра завжди тонша, ніж під слабо розвиненими м'язами. На долоні студенти розглядають подушечки пальців, захищені рожевими нігтьовими пластинками, на згинах долоні — різні лінії та складки.

Після ознайомлення з властивостями шкіри за схемами і таблицями, вивчають її мікроструктуру, особливості надшкір'я, власне шкіри і підшкірної клітковини.

Визначення типу шкіри. Завчасно заготовлені серветки ретельно притискають до лоба, скронь, носа, щік та інших ділянок тіла. Отриманий відбиток розглядають під лупою і визначають тип шкіри. Шкіра може бути сухою, нормальною, жирною. Навіть у однієї і тієї ж людини на різних ділянках обличчя шкіра може бути віднесена до різних типів. Суха шкіра — лушиться, оскільки сальні залози виділяють недостатню кількість шкірного жиру. Жирна шкіра має великі пори та виділяє надмірну кількість шкірного жиру.

У висновках до роботи відмічають основні функції шкіри відповідно до визначеного типу шкіри, вказують на гігієнічні заходи для створення оптимальних умов функціонування сальних залоз.

4.6. Ситуаційні запитання і задачі

1. Тиск крові в капілярах клубочка нирки (P_k) — 70 мм рт. ст., онкотичний тиск колідів крові (P_o) — 30 мм рт. ст., гідростатичний тиск рідини в просвіті капсули клубочка ($P_{гк}$) — 20 мм рт. ст. Визначте ефективний фільтраційний тиск (ЕФТ).
2. Відомо, що за 1 хв через нирки здорової людини проходить 1 л крові, добовий діурез при дотриманні звичайного водно-сольового режиму — 1,5 л. Яка кількість первинної сечі утворюється протягом доби? Скільки реабсорбується води?
3. Існують вікові особливості частоти сечовиділення. Так, частота сечовиділень новонародженої дитини близько 20 разів на добу. Який фізіологічний механізм лежить в основі вказаної особливості сечоутворення і сечовиділення?
4. В регуляції видільної функції нирок важливу роль відіграє антидіуретичний та адренкортикотропний гормони. Де синтезуються ці гормони і як вони впливають на сечоутворенням?
5. На шкіру, як на загальний покрив тіла людини, безпосередньо впливають різноманітні подразники з довкілля, зокрема температурні. Вкажіть, як змінюватиметься функціональний стан шкіри в умовах дії теплового подразника термокамери сауни?
6. Додатковим джерелом води для людини, яка виконує інтенсивну фізичну роботу в жарких умовах, є так звана ендогенна вода. Розрахуйте величину утвореної в організмі учня ендогенної води, якщо на виконану роботу було витрачено 100 г м'язового і 50 г печінкового глікогену. Відомо, що при розпаді 1 г глікогену виділяється 2,7 г води.
7. У хворого видалили одну нирку. Вкажіть на особливості компенсаторної гіпертрофії клубочків і каналців здорової нирки за даних умов.
8. Питома вага сечі дорослої людини — 1,010–1,020, у новонародженої дитини — 1,004–1,008. Дайте функціональну оцінку більш низької питомої ваги сечі новонародженої дитини.
9. В медичній практиці в якості сечогінних засобів широко використовують препарати кори наднирників. Про який з кортикоїдів йдеться? Механізм його дії?

10. Який факт вказує на те, що діяльність нирок у плода розпочинається з 5-го місяця внутрішньоутробного життя. Який процес (секреторний чи фільтраційно-реабсорбційний) в механізмі сечоутворення проявляється першим?
11. Поясніть, чому сало, яке виробляється шкірними залозами, час від часу належить видаляти? Яку шкіру, жирну чи суху, належить частіше мити з милом і чому?

4.7. Тести

1. Функцію виділення в організмі людини виконують:
а) нирки та легені; б) травний канал та шкіра;
в) слинні, молочні і травні залози; г) а + б + в.
2. Клітини організму виділяють продукти проміжного і кінцевого обміну в:
а) доквілля; б) кров; в) лімфу; г) міжтканинну рідину.
3. Через легені і шкіру протягом доби в доквілля виділяється така кількість води (мл):
а) 1000; б) 1500; в) 2000; г) 2500.
4. Основною структурною і функціональною одиницею нирки є:
а) нейрон; б) міофібрила; в) нефрон; г) рухова одиниця.
5. Видільна функція нирок полягає у:
а) підтриманні концентрації солей та інших кристалоїдів в організмі;
б) регулюванні кислотно-лужної рівноваги крові;
в) підтриманні необхідного осмотичного тиску крові;
г) видалення з організму кінцевих продуктів обміну + а + б + в.
6. Тиск крові в капілярах клубочка нирки (мм рт. ст.):
а) 70; б) 50; в) 20; г) 10.
7. За добу через нирки протікає крові (л):
а) 100; б) 200; в) 300; г) 400.
8. Кількість кінцевої сечі, яка утворюється за добу з 180 л первинної сечі, становить (л):
а) 1,5; б) 2,5; в) 3,5; г) 4,5.
9. Клітини біляклубочкового (юктагломерулярного) комплексу виділяють біологічно активну речовину:
а) гепарін; б) ренін; в) серотонін; г) адреналін.
10. В регуляції рівня артеріального тиску в капілярах капсули Шумлянського-Боумена активну участь бере гормон:
а) адреналін; б) інсулін; в) ренін; г) тіроксин.
11. Зворотне всмоктування з первинної сечі води, інших необхідних організму речовин відбувається в:
а) звивистих каналцях; б) петлі Генле;
в) а + б; г) збіральних трубочках.

12. Повна реабсорбція (зворотнє всмоктування) глюкози з первинної сечі відбувається за умови, якщо її концентрація в плазмі крові не перевищує величини (мг%):
а) 150–180; б) 200–280; в) 300–380; г) 400–480.
13. Надходження глюкози в кінцеву сечу (неповна реабсорбція глюкози із первинної сечі) спостерігається при такій її концентрації в плазмі крові:
а) менше 50; б) 50–100; в) 100–150; г) більше 150.
14. Головними складовими компонентами твердого залишку сечі є:
а) сечовина і аміак; б) сечова кислота і креатинін;
в) а + б; г) глюкоза.
15. При харчуванні переважно білковою їжею рН сечі:
а) слаболужна; б) слабокисла; в) нейтральна.
16. При харчуванні переважно рослинною (вуглеводною) їжею рН сечі:
а) слаболужна; б) слабокисла; в) нейтральна.
17. Загальна кількість сечі, яка виділяється людиною з сечового міхура, за добу в середньому складає (л):
а) 1,5; б) 2,0; в) 2,5; г) 3,0.
18. При значному потовиділенні (в умовах високої температури повітря) сечоутворення:
а) посилюється; б) гальмується;
в) посилюється за умови низької вологості повітря.
19. Наявність білка в сечі позначається терміном:
а) гематурія; б) альбумінурія; в) глюкозурія; г) анурез.
20. Жовтий колір сечі зумовлений наявністю в ній:
а) глюкози; б) альбумінів і глобулінів крові;
в) уробіліну і урохрому; г) фібрिनотичного крові.
21. При звуженні артерій, по яких кров надходить до клубочків нефрону, фільтрація первинної сечі:
а) зменшується; б) посилюється; в) не змінюється.
22. За умови звуження артерій, по яких кров виходить з клубочків нефрону, фільтрація первинної сечі:
а) зменшується; б) посилюється; в) не змінюється.
23. При больових подразненнях сечоутворення:
а) зменшується; б) посилюється; в) не змінюється.
24. В регуляції діяльності нирок важлива роль належить гормонам:
а) тіроксину і адреналіну; б) вазопресину і антидіуретичному гормону;
в) а + б; г) паратгормону, тестостерону.
25. Загальна площа шкіри середньої людини складає (м²):
а) 1,5–2; б) 2,5–3; в) 3,5–4; г) 4,5–5.
26. Маса шкіри щодо маси тіла становить (%):
а) 2; б) 3; в) 4; г) 5.

27. Не підошві товщина епідермісу становить (мм):
а) до 1; б) 1–2; в) 2–3; г) 3–4.
28. Повна заміна клітин в епідеміальних клітин шкіри людини відбувається за таку кількість днів:
а) 20; б) 40; в) 60; г) 80.
29. Функціями шкіри є:
а) захисна і рецепторна; б) видільна і терморегуляційна;
в) дихальна; г) а + б + в.
30. Реакція шкіри (рН):
а) 5,0–6,5; б) 7,0; в) 7,5–8,5; г) 9,0.
31. Максимальні втрати NaCl протягом доби можуть становити (г):
а) 10; б) 20; в) 30; г) 40.
32. Кількість крові, яка може депонуватись в судинах шкіри, становить (% від загальної кількості крові):
а) 10; б) 20; в) 30; г) 40.
33. Колір шкіри людини зумовлений наявністю в ньому:
а) пігменту меланіну; б) пігментних клітин (епітеліоцитів);
в) а + б.
34. В звичайних умовах через шкіру з потом виділяється води (мл):
а) 500; б) 1000; в) 2000; г) 3000.
35. При інтенсивних і тривалих навантаженнях (змаганнях марафонців) втрати води з потом можуть досягти (л):
а) 2–3; б) 6–8; в) 15; г) 20.
36. Добові витрати хлориду натрію через шкіру у спортсменів можуть становити (г):
а) 40; б) 80; в) 120; г) 130.

Оцінка теми 4 модуля 2 (36 запитань)

Оцінка модуля	Кількість вірних відповідей						
	36–32	32–31	29–27	26–25	24–22	21–13	12 і <
За шкалою університету	100–90	89–82	81–75	74–69	68–60	59–35	34–1
За національною шкалою	5	4	4–	3	3–	2	2–
За шкалою ECTS	A	B	C	D	E	FX	F

Модуль 3

ФІЗІОЛОГІЯ СИСТЕМИ КРОВІ

Існування будь-якого живого організму неможливе без сприятливого довкілля. Разом з тим живий організм має і своє внутрішнє середовище, яке істотно відрізняється від зовнішнього. При зміні зовнішніх умов внутрішнє середовище залишається відносно постійним. Збереження цієї постійності — основна умова життєдіяльності організму.

Для організму людини внутрішнім середовищем є кров, лімфа, тканинна і спинномозкова рідина. Від них до клітини організму надходять поживні речовини, кисень, гормони та інші речовини і одночасно у внутрішнє середовище клітини виділяють продукти своєї життєдіяльності.

Відносна динамічна постійність складу і фізико-хімічних властивостей внутрішнього середовища, а також постійність основних фізіологічних функцій організму називається *гомеостазом* (К. Бернар, 1878; І. Кеннон, 1929).

Підтримання постійності внутрішнього середовища (осмотичного і онкотичного тисків, концентрації іонів, температури тіла тощо), забезпечується регулярною діяльністю нервової і гуморальної систем, а також механізмами саморегуляції обміну речовин, діяльністю систем кровообігу, дихання і виділення.

В підтриманні постійності внутрішнього середовища важлива роль належить імунній системі організму. До її складу входять селезінка, тимус, кістковий мозок, лімфатичні вузли, а також спеціальні клітини, розташовані по всьому організму.

Тема 1. Фізико-хімічні властивості крові

1.1. Логіка викладу і засвоєння матеріалу

1. Поняття про внутрішнє середовище організму і його постійність. Основні гомеостатичні константи. Функції крові.
2. Об'єми крові: загальний, депонований, циркулюючий. Значення депонування крові. Склад крові. Гематокрит. Робоча гемоконцентрація.

3. Плазма крові, функції її складових компонентів. Білки крові. Значення онкотичного тиску крові.
4. Осмотичні властивості крові. Фізіологічні розчини. Зміни функціонального стану еритроцитів в гіпо- і гіпертонічних розчинах. Осмотична резистентність еритроцитів. Види гемолізу.
5. Швидкість осідання еритроцитів (ШОЕ). Значення даного показника для клінічної і спортивної практики.
6. Кислотно-лужний гомеостаз. Міогенний ацидоз, його вираженість у осіб різного рівня фізичної підготовленості. Буферні системи крові.

1.2. В результаті вивчення матеріалу теми Ви повинні знати:

- склад крові і фізико-хімічні властивості основних її компонентів;
- основні гомеостатичні константи крові;
- значення депонування крові;
- функції білків і формених елементів крові;
- вплив гіпер- і гіпотонічних розчинів на еритроцити крові;
- механізми підтримання кислотно-лужного гомеостазу.

вміти:

- визначати в'язкість і осмотичну резистентність еритроцитів;
- пояснити явища плазмолізу, гемолізу еритроцитів;
- визначати вміст білку і фібриногену в крові, швидкість осідання еритроцитів;
- використовувати знання фізико-хімічних властивостей крові в медичній практиці, практиці оздоровчого і спортивного тренування дітей та дорослих.

1.3. Основні терміни, поняття і скорочення

гомеостатичні константи крові; гематокрит; білки крові: альбуміни, глобуліни, фібриноген; тиск крові: осмотичний, онкотичний; розчини: гіпертонічний, гіпотонічний, фізіологічний, гемоліз, плазмоліз, швидкість осідання еритроцитів (ШОЕ), кислотність крові (pH), лужний резерв крові (ЛРК), осмотична резистентність еритроцитів (ОРЕ)

1.4. Теоретичні відомості

Функції крові. Основними функціями крові є транспортна і захисна. З *транспортною функцією крові* зв'язані такі її функції як:

- 1) *дихальна* — перенесення кисню від альвеол легень до тканин, а вуглекислого газу від тканин до легень;

- 2) *харчова* — транспорт поживних речовин від органів травлення до тканин організму;
- 3) *екскреторна* — транспорт продуктів обміну (аміаку, сечовини та ін.), надлишків солей і води до органів виділення (нирок, легень, кишечника);
- 4) *регуляторна* — транспорт гормонів і інших біологічно активних речовин, з допомогою яких забезпечується гуморальна регуляція функції;
- 5) *терморегуляторна* — розподіл тепла, що утворюється в процесі метаболізму і його виділення в довкілля через поверхню шкіри, легені, дихальні шляхи;
- 6) *гомеостатична* — завдяки руху крові досягається динамічна постійність внутрішнього середовища і стабільність основних фізіологічних функцій.

Захисна функція крові полягає в фагоцитарній активності лейкоцитів і синтезі специфічних імунних антитіл лімфоцитами.

В забезпеченні транспортної функції крові важливу роль відіграють її реологічні властивості — *текучість* (здатність до руху). Текучість значною мірою залежить від *в'язкості крові*. Зниження в'язкості крові — необхідне передумова ефективного киснезабезпечення клітин; вона завжди спостерігається у спортсменів, які розвивають на тренуваннях загальну витривалість.

Гематокріт. Кров — непрозора червона рідина. Вона складається з плазми і формених елементів — еритроцитів, лейкоцитів, тромбоцитів. Загальна кількість крові в організмі дорослої людини близько 4,5–6 л, тобто близько 6–8 % від загальної маси тіла (рис. 3.1). Значна кількість крові (45 %) депонується у венозних капілярах селезінки, легень, печінки, шкіри (рис. 3.2). Депонована кров містить більшу кількість еритроцитів, ніж циркулююча. При фізичних навантаженнях депонована кров переходить в кровообіг, сприяючи тим самим зростанню кисневої ємкості крові.

Співвідношення між об'ємом формених елементів і об'ємом плазми оцінюється спеціальним показником — гематокрітом.

Гематокріт — це виражене у відсотках відношення об'єму формених елементів до загального об'єму крові. У чоловіків середня величина гематокріта — 45 %, у жінок — 40 %. Це означає, що у чоловіків формені елементи складають 45 %, а плазма 55 % загального об'єму крові, у жінок — відповідно 40 і 60 %. Статеві особливості гематокріта зумовлені тим, що у чоловіків кількість еритроцитів в крові більше, ніж у жінок.

В час фізичної роботи частина плазми крові через стінки капілярів переходить із судинного русла в міжклітинну рідину працюючих м'язів. За таких умов об'єм циркулюючої

Рис. 3.1
Склад крові людини



Рис. 3.2
Розподілення крові в системі кровообігу

крові зменшується (*гіповолемія*). Оскільки формені елементи залишаються у кровососному руслі, гематокрит підвищується. Це явище називають *робочою гемоконцентрацією*.

Плазма крові, функції основних її складових частин. Плазма крові — напівпрозора рідина жовтуватого кольору з питомою вагою 1025. Вона містить 90 % води і 10 % твердих речовин, переважно білків (7–8 г%). Більше половини білків плазми приходить ся на альбуміни (4,5–5 г%). Це резервний білок крові, він виконує пластичну функцію. Зв'язуючи різні речовини, в тому числі і продукти обміну, альбуміни забезпечують їх транспорт до місць використання і виділення. Друга група білків плазми — глобуліни (2,5 г%). З гама- і бета-глобулінів у відповідь на проникнення в організм чужорідних білків-антигенів синтезуються антитіла. Фібриноген, протромбін і антигемофільний глобулін — глобуліни плазми, що беруть участь у зсіданні крові; гаптоглобіни зв'язують і транспортують гемоглобін; трансферин забезпечує транспорт заліза кров'ю; ліпо- і глікопротеїди (комплексні сполуки білків плазми крові з жирами і вуглеводами) забезпечують відповідно транспорт жирів і вуглеводів кров'ю. Білки плазми крові обумовлюють створення онкотичного тиску, який відіграє важливу роль в регулюванні обміну води між кров'ю капілярів і тканинами, забезпечують підтримання сталості активної реакції крові, оптимального рівня кров'яного тиску.

Основним місцем утворення білків плазми крові є печінка. Вона синтезує альбуміни і фібриноген. Інші білки утворюються не лише в печінці, а й в кістковому мозку, селезінці, лімфатичних вузлах.

В плазмі знаходиться 20–40 мг% небілкових азотовмісних сполук — продукти білкового обміну (амінокислоти, сечовина, сечова кислота, креатин тощо), близько 1 г% мінеральних речовин (переважно катіонів натрію, калію, кальцію, аніонів хлору, бікарбонату та ін.), які беруть участь у забезпеченні відносної сталості осмотичного тиску і активної реакції крові, 100–120 мг% глюкози, близько 0,1–1 % жирів і жироподібних речовин, 200–250 мг% холестерину, 10–30 мг% молочної кислоти, ряд катіонів (табл. 3.1). Є тут також значна кількість ферментів, що беруть участь в окисно-відновних процесах (оксидази, пероксидази), в процесах зсідання крові (протромбін), розчинення згустку крові (фібринолізін), розщеплення вуглеводів і жирів.

Таблиця 3.1

Основні константи крові людини

Кількість крові	7 % маси тіла
Вода	90–91 %
Щільність	1,056–1,060 г/см ³
В'язкість	4–5 ум. од. (щодо води)
pH	7,35–7,45
Загальний білок (альбуміни, глобуліни, фібриноген)	65–85 г/л
Катіони: Na ⁺	1,8–2,2 г/л
K ⁺	1,5–2,2 г/л
Ca ²⁺	0,04–0,08 г/л
Осмотичний тиск	7,6–8,1 атм. (768,2–818,7 кПа)
Онкотичний тиск	25–30 мм рт. ст. (3,325–3,99 кПа)
Показник депресії	–0,56 °С

При виділенні із плазми фібриногену вона перетворюється в сироватку. Цільна кров без фібриногену називається *дефібринованою*. До її складу входять формені елементи і сироватка.

Онкотичний тиск плазми крові. Концентрація електролітів в плазмі крові і тканинній рідині в умовах спокою однакова. Це обумовлено легкістю проходження їх через капілярний епітелій. Оскільки капілярна стінка майже непроникна для великих білкових молекул, колоїдно-осмотичний тиск плазми крові більший, ніж тканинної рідини на величину, що визначається різницею в концентрації білків в плазмі крові і тканинній рідині. Та частина колоїдно-осмотичного тиску плазми крові, що визначається вмістом в ній білка, називається *онкотичним тиском*. Його величина близько 25 мм рт. ст.

Неоднакова концентрація білків в плазмі крові і тканинній рідині створює ту різницю колоїдно-осмотичного тиску, яка визначає дифузію молекул води з міжклітинною рідини в капілярне русло. Саме тому вміст білків у крові значною мірою визначає загальний об'єм плазми крові.

Осмотичні властивості крові. Важливою гомеостатичною константою організму є сталість осмотичного тиску крові. Якщо два розчини різної концентрації розділити напівпроникною мембраною, яка здатна пропускати тільки розчинник, то він буде проникати з менш концентрованої розчину в більш концентровану. Сила, яка обумовлює проникнення води через напівпроникну мембрану, називається *осмотичним тиском*. Осмотичний тиск крові, лімфи і міжтканинної рідини забезпечує регуляцію обміну води між кров'ю і тканинами. Осмотичний тиск крові людини — 7,6–8,1 атм. Близько 60 % його

припадає на долю хлориду натрію. Величина осмотичного тиску цитоплазми еритроцитів і інших клітин тіла така ж, як і оточуючих їх рідин. В підтриманні сталості осмотичного тиску крові першочергове значення належить видільній функції нирок і потових залоз.

Штучні розчини, що мають однаковий з кров'ю осмотичний тиск, тобто містять в собі рівну їй концентрацію солей, називають *ізотонічними*, *ізоосмотичними*, або *фізіологічними*. Ізотонічним розчином щодо крові людини є 0,9 % розчин хлориду натрію. Розчин, який має більший осмотичний тиск, ніж кров, називають *гіпертонічним*. Розчин, концентрація солей в якому менша, ніж в крові, називається *гіпотонічним*.

При внесенні еритроцитів в гіпертонічний розчин відбувається їх зморщування і зменшення об'єму (*плазмоліз*), а внесення еритроцитів в гіпотонічний розчин приводить до їх набухання і руйнування з виходом гемоглобіну в розчин (*гемоліз*). Такий гемоліз в гіпотонічних розчинах називається *осмотичним*. Гемоліз еритроцитів, спричинений дією ефіру, хлороформу, алкоголю і інших хімічних сполук, називається *хімічним гемолізом*. Гемоліз еритроцитів, зумовлений дією отруту (гемолізинів) змії, скорпіонів, бджіл, називається *біологічним гемолізом*. Існують ще такі види гемолізу, як *термічний* (дія підвищених і понижених температур), *фізичний* (дія променевої енергії, ультразвуку, електричної енергії), *фізіологічний*, як наслідок старіння еритроцитів.

Швидкість осідання еритроцитів (ШОЕ). При стоянні крові в пробірці з антикоагулянтном спостерігається осідання формених елементів крові. При цьому кров ділиться на два шари — прозорий (верхній) і непрозорий темночервоний (нижній). ШОЕ суттєво коливається в залежності від стану організму, що широко використовується в діагностичній практиці. В нормі ШОЕ у жінок 2–15 мм/год, у чоловіків — 1–10 мм/год, у новонароджених — від 0,5 до 2 мм/год, у грудних дітей — 4–8 мм/год, у дітей до 3 років — 2–7 мм/год. Основними чинниками, що виявляють вплив на швидкість осідання формених елементів крові, є дія двох протилежно направлених сил — сили земного тяжіння і сили електростатичного відштовхування. Величина ШОЕ значною мірою визначається інтенсивністю процесу утворення «монетних стовпчиків». Величина електричного заряду окремих еритроцитів, а отже і швидкість їх осідання, зумовлена адсорбцією на їх поверхні білків плазми крові. Величина ШОЕ зростає при збільшенні в крові кількості альбумінів, фібриногену, гама-глобулінів, еритроцитів. Значно прискорюється осідання при інфекційних захворюваннях і запальних процесах, при вагітності (до 50 мм/год), що має важливе діагностичне значення. При виконанні інтенсивної і тривалої м'язовій роботі показник ШОЕ зростає.

Кислотно-лужний гомеостаз. Як і всі водні розчини, кров містить в собі водневий (H⁺) і гідроксильні (OH⁻) іони. Співвідношення концентрацій цих іонів визначає активну реакцію крові (рН). Постійність рН крові має важливе значення для перебігу ферментативних реакцій і є однією з її постійних констант.

В нормі кров має слаболужну реакцію, при цьому артеріальна кров менш кисла (рН — 7,4), ніж венозна (рН — 7,35). Активна реакція крові є гомеостатичною константою внутрішнього середовища організму. В процесі життєдіяльності організму в кров постій-

но надходять речовини, які можуть істотно змінювати її реакцію. Це молочна і піровиноградна кислота (продукт анаеробного гліколізу в клітинах), фосфорна і сірчана кислоти (продукти окислення білків), жирні кислоти (з жирових депо), вуглекислота тощо. Значне нагромадження кислих продуктів обміну (особливо молочної кислоти) спостерігається в умовах виконання напруженої анаеробної роботи. При інтенсивних навантаженнях концентрація молочної кислоти в крові спортсмена зростає до 350 мг%, кислотність крові за таких умов нерідко знижується до 6,9. У фізично натренованих осіб в порівнянні з ненатренованими при виконанні стандартної роботи циклічного характеру зрушення кислотно-лужної рівноваги в крові завжди виражені меншою мірою; при виконанні максимально напруженої і тривалої роботи — більш виражені. При тривалій роботі зниження рН крові (метаболічний ацидоз) у спортсменів розвивається значно пізніше, що є наслідком більшої буферної ємності їхньої крові.

Буферні системи крові. Підтримання активної реакції крові на відносно постійному рівні досягається завдяки дії буферних систем крові, а також діяльністю легень (виділення вуглекислоти), нирок і шлунково-кишкового тракту, через які з організму виносяться надлишки кислот і лугів.

Буферні властивості притаманні розчинам, що містять в собі слабку кислоту і її сіль, утворену сильною основою. Додана до такого розчину сильна кислота витісняє слабку кислоту із її сполук з основами. В результаті утворюється слабка кислота і сіль і сіль сильної кислоти. При додаванні до буферного розчину лугу утворюється сіль слабкої кислоти і вода. Внаслідок цього і в першому, і в другому випадках зрушення активної реакції в кислу або в лужну сторону зменшується.

В крові функціонує чотири основні буферні системи: бікарбоната (H_2CO_3 — NaHCO_3), фосфатна (NaH_2PO_4 — Na_2HPO_4), гемоглобінова і буферна система білків плазми крові. Найбільш важливим із буферних систем є бікарбонатна і гемоглобінова. Здатність буферних систем нейтралізувати кислі продукти метаболізму зумовлена *лужним резервом крові* (). У натренованих спортсменів ЛРК значно більший, ніж у неспортсменів. ЛРК значно зростає у спортсменів, що спеціалізуються з витривалісних видів спорту.

1.5. Практичні завдання

Матеріальне забезпечення заняття: стерильні скарифікатори, шприци одноразового використання на 3–5 мл, ін'єкційні голки одноразового використання, вата, йод, спирт, ефір, ксилол, дистильована вода, віскозиметр, тредбан для тренування лабораторних тварин, штативи для пробірок, пробірки, піпетки, розчин (0,9; 7,5; 10 %) хлорид натрію, центрифуга, годинникове скло, прилад Панченкова з капілярами, пастеровські піпетки, рефрактометр, мікроскоп, кров людини або будь-якої лабораторної тварини, схеми, таблиці, слайди (кодопозитиви) з теми «Фізико-хімічні властивості крові», діапроєктор (кодоскоп).

Робота 1

Ознайомлення з методиками взяття крові

Завдання. Оволодіти методиками отримання крові у людини з пальця і у кролика з вуха.

Методика. В лабораторній практиці частіше використовують кров з пальця руки, а у дітей раннього віку — з мочки вуха. Для отримання крові кисть лівої руки досліджуваного кладуть на стіл долонею догори. Місце проколу протирають спочатку спиртом, а тоді ефіром. Пальцями лівої руки фіксують кінцеву фалангу четвертого пальця досліджуваного, правою рукою беруть стерильний скарифікатор і швидким рухом роблять прокол м'якоті на глибину 2–3 мм. Прокол краще робити збоку, де більш густа капілярна сітка. Кров із ранки повинна витікати вільно, оскільки при сильному стисканні до крові буде приміщуватись міжклітинна рідина. Першу краплю крові знімають ватою, другу — використовують для дослідження. Після взяття крові до місця проколу прикладають вату, змочену йодоалкоголем.

При отриманні крові із вуха кролика користуються шприцями на 3–5 мл і тонкими голками. Кролика фіксують у спеціальних ящиках-фіксаторах або за допомогою помічника, який утримує кролика за шкіру спини, злегка притискаючи його до стола. Перед взяттям крові, з метою покращення кровообігу, вуха кролика піддають легкому масажу або протирають ксилолом. Для попередження зсідання крові шприц промивають лимоннокислим натрієм. З вени вуха кролика можна отримати до 10 мл крові.

У висновках до роботи вказують на послідовність робіт при отриманні крові, підкреслюють важливість дотримання правил асептики.

Робота 2

Визначення в'язкості крові

Завдання. Навчитися визначати в'язкість крові за допомогою віскозиметра. Дослідити особливості змін в'язкості крові людини у зв'язку з виконанням напруженої фізичної роботи.

Методика. Суть методу визначення в'язкості крові полягає у порівнянні швидкості руху крові і дистильованої води по капілярних трубках віскозиметра. Віскозиметр складається з двох скляних капілярів, які градуйовані від 0 до 10. З допомогою скляного трійника капіляри з'єднані резиновою трубкою. В правий капіляр насмоктують дистильованої води до мітки «0», закривають кран; в лівий капіляр набирають кров. Обережно відкриваючи кран, приводять в рух обидві рідини: коли кров досягне мітки «1», закривають кран і спостерігають, на якій мітці зупинився стовпчик води. Це і буде показник в'язкості крові, виражений в умовних одиницях. Фізіологічна норма даного показника для крові людини — 4,0–5,0 ум. од.

В'язкість крові досліджуваного студента визначають два рази — спочатку в стані спокою, тоді — після інтенсивного фізичного навантаження тривалістю 2–3 хв (біг, степ- або велоергометр).

Результати досліджень заносять в протокол, аналізують і роблять висновки про вплив фізичних навантажень на показник в'язкості крові. Пояснюють фізіологічну природу змін в'язкості крові, спричинених виконанням фізичної роботи.

Робота 3

Визначення осмотичної резистентності еритроцитів

Завдання. Визначити осмотичну резистентність еритроцитів (ОРЕ) у людини. Дослідити спрямованість і виразність змін ОРЕ у зв'язку з виконанням фізичної роботи.

Методика: У 8 пробірок, розміщених в штативі, з допомогою піпетки вносять відповідну кількість (згідно протокольної таблиці) крапель 1 % розчину хлориду натрію і дистильованої води.

Протокольна таблиця визначення ОРЕ

Номер пробірки	1	2	3	4	5	6	7	8
Кількість крапель 1%-го розчину хлориду натрію	24	22	20	18	16	14	12	10
Кількість крапель дистильованої води	16	18	20	22	24	26	28	30
Отримана концентрація	0,6	0,55	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3	0,25
Забарвлення розчину								
Наявність осаду								
Межа ОРЕ								

До отриманих розчинів хлориду натрію додають (у кожен пробірку) по одній краплі крові досліджуваного. Перемішують зміст пробірок. Через 1 годину читають результат (для прискорення досліду через 20–30 хв пробірки центрифугують). В пробірках з гемолізованими еритроцитами розчин матиме червоне забарвлення. При відсутності гемолізу розчин залишиться прозорим, а еритроцити осядуть на дно пробірки.

Спочатку визначають ОРЕ в стані спокою, тоді — після фізичного навантаження — трьоххвилинної роботи на велоергометрі або степергометрі.

У висновках до роботи вказують на відповідність отриманих результатів нормативним, пояснюють фізіологічну природу змін ОРЕ у зв'язку з виконанням напруженої фізичної роботи.

Робота 4

Визначення швидкості осідання еритроцитів, загального білку і фібриногену в крові людини

Завдання. Оволодіти методикою визначення швидкості осідання еритроцитів (ШОЕ), загального фібриногену в крові людини. Дослідити направленість змін даних показників у зв'язку з виконанням фізичного навантаження.

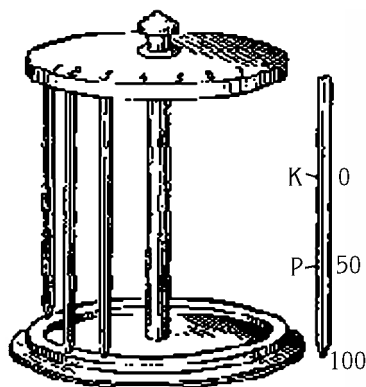


Рис. 3.3
Прилад Панченкова для визначення швидкості осідання еритроцитів (ШОЕ)

Методика. ШОЕ визначається методом Панченкова. Прилад Панченкова складається з штатива, в якому встановлено у вертикальному положенні спеціальні капіляри діаметром 1 мм. Капіляри мають поділки від 0 до 100, а також мітки «К» (кров) на рівні нуля і «Р» (реактив) на рівні 50 мм (рис. 3.3).

В капіляр набирають розчин лимоникислої натрію до мітки «Р» і випускають на годинникове скло. Сюди ж дворазово видують кров, набрану з проколу пальця досліджуваного до рівня мітки «К». Акуратно перемішують кров з цитратом натрію, знову набирають її (вже цитратну кров) в капіляр до мітки «0». З цього ж проколу набирають 0,2–0,3 мл крові в спеціальні малі пробірки для отримання сироватки.

Через 1 годину після того, як капіляр поставили в штатив, відмічають показник ШОЕ і фіксують штатив в нахиленому на 60–70° положенні. Такий нахил капіляра значно прискорює осідання формених елементів. Через 1–2 години за допомогою пастеровських піпеток відсмоктують невелику кількість плазми і, користуючись рефрактометром, за показником рефракції визначають рівень загального білка. Аналогічно визначають концентрацію загального білка в сироватці. Для більш повного відділення сироватки від тромбу пробірки з кров'ю, що звернулася, центрифугують при 3000 об/хв протягом 3–5 хв. Різниця концентрації загального білка плазми і сироватки крові відповідає концентрації фібриногену плазми крові.

Вдруге досліджувані показники крові визначають після виконання досліджуванним інтенсивного фізичного навантаження. Отримані в досліді дані протоколюють, аналізують і роблять висновки про особливості змін загального білка, фібриногену і показника ШОЕ у зв'язку з виконанням фізичного навантаження. Пояснюють фізіологічну природу отриманих змін, вказують на значення досліджених показників в діагностиці функціонального стану спортсменів.

Робота 5

Спостереження за зміною форми еритроцитів в гіпо- та гіпертонічному розчинах хлориду натрію

Завдання. Дослідити вплив гіпо- та гіпертонічних розчинів на форму еритроцитів людини.

Методика. На предметне скло нанести краплю гіпотонічного і гіпертонічного розчинів хлориду натрію. До обох крапель додати незначну кількість відмитих у

фізіологічному розчині еритроцитів крові людини. Тоді краплі накрити покривним склом і під великим збільшенням мікроскопа спостерігати за зміною форм еритроцитів. Результати занести до протоколу. Зробити висновки про вплив гіпо- та гіпертонічних розчинів на форму еритроцитів та їх функціональний стан.

1.6. Ситуаційні запитання і задачі

1. Загальна кількість крові в організмі юнака становить 7 % від маси тіла. У фізіологічних умовах спокою тільки частина крові циркулює в кровоносних судинах, інша її половина знаходиться в депо. Скільки літрів крові циркулює в кровоносних судинах юнака вагою 70 кг в стані спокою і при виконанні інтенсивного фізичного навантаження?
2. У 17-річного юнака гематокрит складає 45 %, у дівчини такого ж віку — 40 %. Яке співвідношення плазми і формених елементів їх крові?
3. Плазма крові містить в собі 91 % води і близько 9 % сухого залишку. Які речовини входять до складу сухого залишку плазми? В чому відмінність плазми крові від сироватки крові?
4. Поснідавши, юний спортсмен поспішив в гематологічну лабораторію. Результати аналізів мали деякі відхилення від норми, зокрема спостерігалось збільшення лейкоцитів і показника ШОЕ. Спортсмен не скаржився на погіршення самопочуття. Що могло бути причиною вказаних відхилень? Вкажіть, яких умов належить дотримуватися при здаванні крові для гематологічних досліджень?
5. Активна реакція крові юного спортсмена в стані спокою 7,4, а після фізичного навантаження — 6,9. Яка фізіологічна природа даних змін? Якої інтенсивності була фізична робота для даного спортсмена?
6. При повному голодуванні, а також при тривалому недоїданні, особливо білковому, у людей виникають набряки. Чому? Які складові компоненти плазми крові відіграють визначальну роль в створенні її осмотичного і онкотичного тисків?
7. Показник активної реакції (рН) артеріальної крові 7,4, венозної — 7,35, міжклітинної рідини — 7,2. Чим пояснюються такі відмінності?
8. Відомо, що ізотонічним (фізіологічним) розчином для еритроцитів людини може бути 0,9 % розчин хлориду натрію. Що станеться з еритроцитами людини, якщо їх помістити в 0,1 % і 10 % розчин хлориду натрію?
9. Споживання морської води за умови відсутності питної (прісної) води посилює відчуття спраги, спричиняє погіршення самопочуття, слабкість, втрату свідомості. Поясніть причину такого стану людини за даних умов.
10. Вкажіть, чому людям, які втратили значну кількість крові, не варто зловживати великою кількістю кислої їжі.

1.7. Тести

1. До складу внутрішнього середовища організму входить:
а) кров і лімфа; б) міжклітинна і спинномозкова рідина;
в) а + б; г) травні соки і продукти залоз внутрішньої секреції.
2. Кількість крові у людини в середньому складає (в % від загальної маси тіла):
а) 4; б) 7; в) 9; г) 10.
3. Регуляторна функція крові полягає в:
а) підтриманні постійної температури тіла;
б) транспорті біологічно активних речовин і тепла;
в) транспорті кисню і вуглекислого газу;
г) а + б + в.
4. Сироватка крові відрізняється від плазми крові відсутністю в ній:
а) розчинного фібриногену; б) натрієвих і калієвих солей;
в) формених елементів; г) б + в.
5. В кровноносних судинах селезінки, печінки, легень і шкіри депонується така кількість крові (в % від загальної кількості крові):
а) 10–20; б) 20–30; в) 40–50; г) 60–70.
6. Депонована кров відрізняється від циркулюючої:
а) більшою кількістю еритроцитів і гемоглобіну;
б) більшістю в'язкостю, питомою вагою + а;
в) меншим вмістом еритроцитів і гемоглобіну;
г) меншою в'язкістю та питомою вагою + в.
7. Об'ємні співвідношення між форменими елементами і плазмою крові характеризуються показником, що називається:
а) гемолізом; б) гематокритом; в) гемостазом; г) гемопоезом.
8. В нормі показник гематокриту в середньому складає величину (%):
а) 45; б) 35; в) 25; г) 15.
9. В плазмі крові людини міститься води (%):
а) 60; б) 70; в) 80; г) 90.
10. Середній вміст мінеральних солей в плазмі крові (%):
а) 1; б) 2; в) 3; г) 4.
11. Загальна кількість білків в плазмі крові (г%):
а) 2–3; б) 4–6; в) 7–9; г) 10–12.
12. Із всіх білків плазми крові більше половини складають:
а) глобуліни; б) альбуміни; в) фібриноген; г) ліпопротеїди.
13. Біологічне значення фібриногену полягає перш за все в:
а) виконанні пластичної функції; б) перенесенні кисню і вуглекислого газу;
в) забезпеченні зсідання крові; г) виконанні енергетичної функції.
14. Онкотичний тиск крові людини становить (мм рт. ст.):
а) 25; б) 45; в) 55; г) 65.

15. Кількість глюкози в крові людини в нормі становить (мг%):
а) 70; б) 80–100; в) 150–200; г) 300.
16. Білки плазми крові утворюються в:
а) печінці і лімфатичних вузлах; б) селезінці і кістковому мозку;
в) легенях і нирках; г) а + б.
17. Осмотичним тиском називається сила, що забезпечує перехід через напівпроникну мембрану:
а) білків; б) води; в) солей.
18. Близько 60 % осмотичного тиску крові людини приходить на долю:
а) хлориду натрію; б) хлориду калію;
в) гемоглобіну; г) вуглекислоти.
19. Фізіологічний розчин хлориду натрію для теплокровних і людини (%):
а) 0,3; б) 0,5; в) 0,9; г) 1,5.
20. Гіпотонічними щодо крові називаються розчини, осмотичний тиск яких:
а) більший, ніж крові; б) менший, ніж крові;
в) однаковий з кров'ю.
21. Гіпертонічними щодо крові називаються розчини, осмотичний тиск яких:
а) більший, ніж крові; б) менший, ніж крові;
в) однаковий з кров'ю.
22. В гіпертонічних розчинах еритроцити:
а) набухають; б) зморщуються;
в) не змінюються; г) а + в.
23. В гіпотонічних розчинах еритроцити:
а) набухають; б) зморщуються; в) не змінюються.
24. Максимальна осмотична резистентність еритроцитів — це концентрація розчину хлориду натрію, при якій:
а) відбувається повний гемоліз еритроцитів;
б) починається гемоліз еритроцитів;
в) починається плазмоліз еритроцитів.
25. В нормі максимальна резистентність еритроцитів людини проявляється при концентрації розчину хлориду натрію (%):
а) 0,10–0,24; б) 0,28–0,32; в) 0,35–0,45.
26. Активна реакція крові підтримується на відносно стабільному рівні завдяки:
а) буферним системам плазми крові і еритроцитів;
б) діяльності легень і травної системи;
в) діяльності органів виділення;
г) а + б + в.
27. Гомеостатичні границі рН крові людини:
а) 5–9; б) 6,9–7,9; в) 6,5–8,5; г) 3–10.

28. Активна реакція крові:
а) 6,0–6,5; б) 7,35–7,40; в) 7,50–7,60.
29. Ацидозом називається зрушення активної реакції крові:
а) в кислий бік; б) до нейтральної реакції;
в) в лужний бік.
30. Компенсаторним ацидозом називається:
а) зміщення реакції крові в кислу сторону;
б) зміщення реакції крові в лужну сторону;
в) зменшення лужного резерву крові без зміни реакції;
г) зміна реакції крові до нейтральної.
31. Для визначення ШОЕ кров розбавляють:
а) хлоридом натрію; б) цитратом натрію;
в) оцтовою кислотою; г) соляною кислотою.
32. Показник фізіологічної норми ШОЕ у чоловіків (мм/год):
а) 1–5; б) 1–10; в) 11–15; г) 16–20.
33. Показник фізіологічної норми ШОЕ у жінок (мм/год):
а) 3–6; б) 2–15; в) 16–20; г) 20–25.
34. ШОЕ прискорюється при:
а) запальному процесі; б) вагітності;
в) збільшенні в крові формених елементів; г) а + б + в.
35. У фізично натренованих спортсменів в порівнянні з неспортсменами зрушення кислотно-лужної рівноваги після виконання дозованого навантаження завжди виражені:
а) більше; б) менше; в) відмінностей немає.
36. При інтенсивних фізичних навантаженнях вміст молочної кислоти в крові спортсмена досягає (мг%):
а) 50; б) 150; в) 350 г) 550.
37. Виразне зниження кількості глюкози в крові людини після тривалого фізичного навантаження (до 40-50 мг%) називається:
а) гіпоглікемією; б) глюкозурією; в) гіперглікемією; г) анурією.
38. Значне підвищення в'язкості крові під впливом тривалого м'язового навантаження пояснюється:
а) переходом води із крові в міжклітинну рідину;
б) надходженням в кров води і солей із тканин;
в) збільшенням кількості формених елементів в крові;
г) а + в.
39. Збільшення в'язкості крові, спричинене м'язовою діяльністю:
а) впливає на гемодинаміку, збільшуючи навантаження на серце;
б) впливає на гемодинаміку, полегшуючи роботу серця;
в) не впливає на гемодинаміку.

Оцінка теми 1 модуля 3 (39 запитань)

Оцінка модуля	Кількість вірних відповідей						
	39–35	34–32	33 –29	28–27	26–23	22–14	13 і <
За шкалою університету	100–90	89–82	81–75	74–69	68–60	59–35	34–1
За національною шкалою	5	4	4–	3	3–	2	2–
За шкалою ECTS	A	B	C	D	E	FX	F

Тема 2. Функціональна характеристика формених елементів крові

2.1. Логіка викладу і засвоєння матеріалу

1. Функціональна характеристика еритроцитів. Особливості будови, кількість, функції, тривалість функціонування, місце утворення і руйнування. Еритроцитоз і еритропенія. Зміна кількості еритроцитів в крові людини при виконанні фізичної роботи.
2. Структурні і функціональні особливості гемоглобіну еритроцитів і міоглобіну м'язів. Різновидності сполук гемоглобіну. Природа червоного кольору крові. Крива дисоціації оксигемоглобіну. Киснева ємність крові. Зміни гемоглобіну при фізичних навантаженнях. Міоглобін, його структурні особливості і функції.
3. Функціональна характеристика лейкоцитів. Особливості будови, кількість, функції, тривалість функціонування. Міогенний лейкоцитоз, його фази.
4. Тромбоцити, особливості будови, кількість та функції. Зміни вмісту тромбоцитів в крові при фізичних навантаженнях.
5. Регуляція системи крові. Перерозподіл крові між органами. Кровотворення, кроворуйнування.

2.2. В результаті вивчення матеріалу теми Ви повинні знати:

- особливості функціонування формених елементів крові;
- структурно-функціональні особливості еритроцитів і гемоглобіну;
- природу червоного кольору крові;
- різновиди сполук гемоглобіну;
- особливості перерозподілу крові між органами в умовах слабкої і напруженої діяльності;
- ознаки анемії і отруєння чадним газом;
- механізми регуляції складу і фізико-хімічних властивостей крові.

вміти:

- визначати кількості формених елементів в крові людини;
- розраховувати кисневу ємність крові;
- попереджувати отруєння чадним газом;
- визначати вміст гемоглобіну в крові людини;
- використовувати показник кисневої ємності крові при оцінці резервів аеробного забезпечення м'язової діяльності;
- використовувати знання матеріалу теми для тестування функціонального стану системи крові, для раціоналізації заходів спрямованих на збереження і зміцнення здоров'я людини.

2.3. Основні терміни, поняття і скорочення

формені елементи крові: еритроцити, лейкоцити, тромбоцити; еритроцитоз; еритропенія; гемоглобін; оксигемоглобін; карбгемоглобін; карбоксигемоглобін; максимальна киснева ємність (МКЄ); гіпоксемія; гіпоксія; нейтрофіли; еозинофіли; лімфоцити; моноцити; лейкоцитарна формула; лейкоцитоз; лейкопенія; Т-лімфоцити; В-лімфоцити; тромбоцити; тромболозія; гемонез; еритроноез; лейконоез; тромбоноез; еритропоетин; камера Горяєва; кров'яний допінг; лейкоцити: зернисті, незернисті; киснева ємність крові; чадний газ; кольоровий показник.

2.4. Теоретичні відомості

1. Функціональна характеристика еритроцитів

Основну масу формених елементів крові складають *еритроцити*. Це високоспеціалізовані без'ядерні клітини, головна функція яких — транспорт кисню і вуглекислого газу. Окрім того, еритроцити здатні адсорбувати і транспортувати гормони, токсичні продукти обміну білків. Відома роль еритроцитів у ферментативних процесах розщеплення білків, жирів та вуглеводів.

Еритроцити людини мають форму двобічно ввігнутих дисків діаметром 7–8 мкм і товщиною 1–2 мкм. Така форма еритроцитів збільшує площу їх поверхні в порівнянні з круглою в 1,63 рази. Сумарна поверхня усіх еритроцитів крові близько 3800 м², що в 1500 разів перевищує площу поверхні тіла.

В структурі еритроцита розрізняють строму (остов) клітини і оболонку, яка складається з чотирьох шарів (два шари білку і два фосфоліпідів).

Оболонка еритроцитів володіє вибірковою проникністю для колоїдів, іонів і аніонів. Через неї легко проходять аніони Cl⁻, HCO₃⁻, іони H⁺ і OH⁺ і не проходять колоїди, іони K⁺ і Na⁺.

Завдяки великій еластичності еритроцит здатний легко змінювати свою форму, що дозволяє йому без перешкод проходити через капіляри, діаметр яких значно менший ніж власний діаметр.

В нормі в 1 мм^3 крові у чоловіків міститься 5 млн, у жінок — 4,5 млн еритроцитів; 95 % сухого залишку еритроцитів приходить на гемоглобін, решта 5 % — на інші білки, ліпіди, глюкозу, мінеральні солі тощо. У новонароджених (в перші три дні життя, а також у дорослих при переміщенні у високогірні райони, при фізичних навантаженнях, природжених та набутих пороках серця, опіках, сильно виражених проносах, блювоті) спостерігається *еритроцитоз* — збільшення кількості еритроцитів в крові. При недостатчі в організмі заліза, вітаміну B12, кровотечах, гемолізі, жировому переродженні печінки кількість еритроцитів в крові зменшується (*еритропенія*).

Суттєво змінюється кількість еритроцитів при фізичних навантаженнях. Ці зміни визначаються перш за все потужністю і тривалістю роботи. При короткотривалих навантаженнях максимальної потужності рівень концентрації еритроцитів в крові зростає. Це зумовлено переходом в кровообіг більш концентрованої депонованої крові. При виконанні тривалих багатогодинних навантажень (марафонський біг, велогонки тощо), зношуючись, еритроцити руйнуються, переважає інтенсивність їх утворення клітинами ретикуло-ендотеліальної системи. За таких умов рівень еритроцитів в крові знижується.

2. Структурні і функціональні особливості гемоглобіну еритроцитів і міоглобіну м'язів

Основним компонентом еритроцитів є гемоглобін. Він складає 95 % усієї сухої речовини еритроцитів. *Гемоглобін* — це складна білкова сполука з групи хромопротеїдів. В його складі одна молекула білка глобіна з'єднана з чотирма молекулами простетичної залізовмісної групи гема. Вся кров людини містить близько 2,5 г заліза. Відбиваючи промені червоного кольору і поглинаючи промені блакитно-зеленої зони сонячного спектру, гемоглобін обумовлює червоний колір крові. В деяких морських черв'яків замість гемоглобіну в крові хлорокруорін з закисним залізом в генах, така кров має зелене забарвлення. Скорпіони, павуки, спрути мають голубий колір крові. Функцію гемоглобіну в них виконує гемоціанін, що містить в собі мідь.

Відновлений гемоглобін легко з'єднується з газами повітря (киснем, вуглекислим і чадним газом), з сильними окислювачами, утворюючи більш чи менш стійкі сполуки. До складу гема відновленого гемоглобіну входить двохвалентне закисне залізо (воно легко розчиняється у воді і нерозчинне в спирті). Розчин вишнево-червоного кольору характерний для венозної крові.

Оксигемоглобін — нестійка, легко дисоціююча сполука гемоглобіну з киснем. В цій реакції залізо залишається двохвалентним. Така властивість заліза зумовлена тим, що його атом має велику кількість вільних електронів, здатних утворювати комплексні сполуки, які беруть участь в окисно-відновних реакціях. Оксигемоглобін має світло-

червоний колір, він легко розчиняється в воді. Чим повніше насичений гемоглобін еритроцитів киснем, тим світліше забарвлення крові. Та найбільша кількість кисню, яка може бути зв'язана гемоглобіном 100 мл крові, називається *максимальною кисневою ємністю крові*. Оскільки 1 г гемоглобіну може приєднати 1,34 мл кисню, то киснева ємність крові з вмістом 15 г% гемоглобіну, складатиме 20,1 об% ($15 \text{ г} \cdot 1,34 \text{ мл} = 20,1 \text{ об\%}$ емних процентів). В 100 мл крові дорослої людини знаходиться 12–16 г%, або 70–95 відносних процентів (за 100 % беруть вміст гемоглобіну, що дорівнює 16,7 г у 100 мл крові).

Насиченість гемоглобіну киснем знаходиться у прямій залежності від парціальної напруги кисню в крові (крива дисоціації оксигемоглобіну): із зменшенням парціальної напруги кисню в крові відбувається звільнення гемоглобіну від кисню і збільшення процентного вмісту відновленого гемоглобіну. Крива дисоціації гемоглобіну має S-подібну форму. Плоска, верхня частина її «працює» в альвеолярних капілярах (зв'язок кисню з гемоглобіном), крута — в тканинних капілярах (звільнення гемоглобіну від кисню і перехід його з крові в тканини). Нестачу кисню в крові називають *гіпоксемією*, а в тканинах — *гіпоксією*.

Ефективність зв'язування гемоглобіном кисню залежить від рН середовища і концентрації вуглекислого газу (ефект Бора), що помітно проявляється в переході кисню з крові в м'язи при фізичних навантаженнях. Дія вуглекислого газу на розпад оксигемоглобіну відбувається за рахунок збільшення кислотності і за рахунок утворення карбамінових сполук з гемоглобіном. Суттєво зростає розпад оксигемоглобіну у зв'язку з підвищенням температури тіла.

Збільшення температури на 2 °С підвищує дифузію кисню на 2 %. У зв'язку з цим ті клітини, метаболізм яких вищий, одержують більше кисню, а споживання кисню клітинами холодних кінцівок менше, ніж клітинами працюючих органів.

При сполученні гемоглобіну з вуглекислим газом утворюється *карбгемоглобін*, а з чадним газом — *корбоксигемоглобін*. Наявність в навколишньому повітрі 0,1 % чадного газу веде до

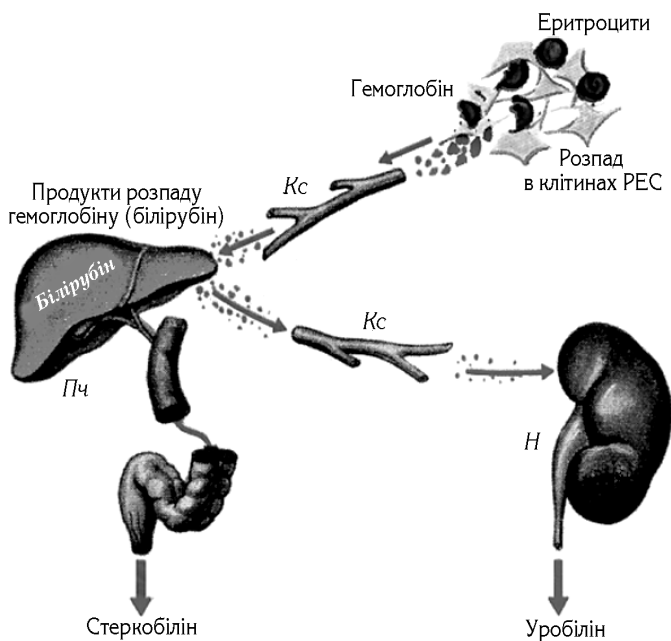


Рис. 3.4

Розпад гемоглобіну (схема): Кс — кровеносні судини; Пч — печінка; Н — нирка

зв'язування 80 % гемоглобіну, що небезпечно для життя. У випадках отруєння чадним газом необхідно забезпечити потерпілому штучне дихання газовою сумішшю з вмістом 95 % кисню та 5 % вуглекислого газу, а також переливання сумісної крові.

При дії на кров сильних окислювачів (бертолетова сіль, марганцевокислий калій та ін.) утворюється стійка сполука — *метгемоглобін*. До його складу входить окисне трьохвалентне залізо. При утворенні в організмі значної кількості метгемоглобіну забезпечення тканин киснем порушується, настає смерть від нестачі кисню.

Гемоглобін ембріона і новонародженої дитини називається *фетальним гемоглобіном*. Він швидше і повніше з'єднується з киснем. В крові новонароджених кількість гемоглобіну більша, ніж у дорослих (17–24 г%), до віку одного року його вміст в крові знижується (до 11–12 г%) з поступовим збільшенням в онтогенезі до норми дорослих (12–14 г%).

В організмі постійно відбувається синтез і розпад гемоглобіну. Розпад еритроцитів в печінці супроводжується відщепленням заліза гема. Частина його після окислення перетворюється в білірубін і збирається в жовчному міхурі. Друга частина заліза в складі білків ферритина і сидерофіліна йде в кістковий мозок для синтезу нових молекул гемоглобіну і в тканини для дихальних ферментів. Невелика частина заліза депонується в печінці (рис. 3.4 і 3.5).

Концентрація гемоглобіну в крові спортсмена, при інших рівних умовах, є непрямым показником аеробних можливостей організму. Існує тісний зв'язок між загальним вмістом гемоглобіну в циркулюючій крові і максимальним споживанням кисню. Ця закономірність характерна як для спортсменів, так і для осіб, що не займаються спортом. Проте у спортсменів

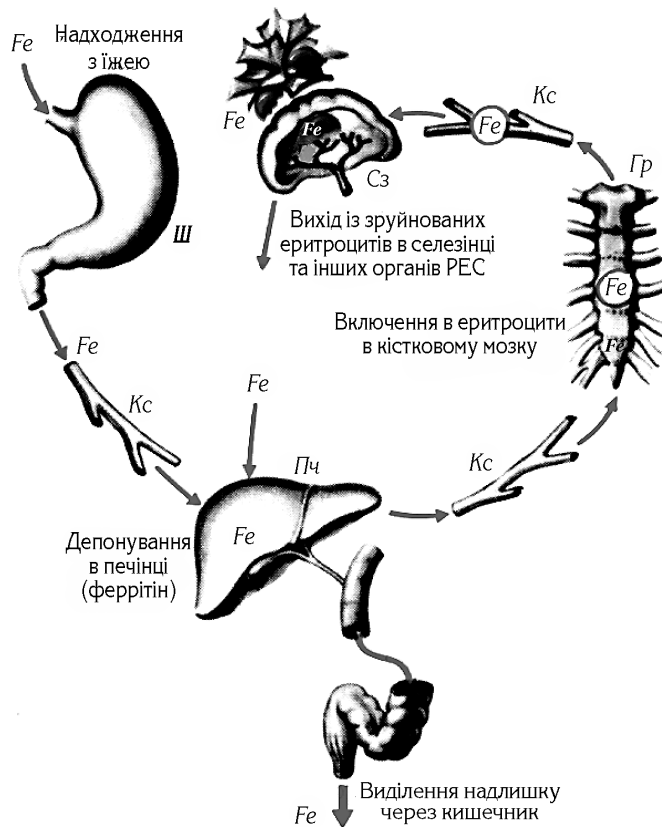


Рис. 3.5
Обмін заліза, що входить до складу гемоглобіну:
Кс — кровonosні судини; Пч — печінка; Ш — шлунок; Сз — селезінка; Гр — грудина

забезпечення організму киснем досягається не стільки за рахунок зростання концентрації гемоглобіну в крові (що пов'язано із збільшенням концентрації еритроцитів і в'язкості), скільки за рахунок збільшення його загального вмісту і загального об'єму крові (Я. М. Коц, 1980). Це значною мірою сприяє збільшенню хвилинного об'єму крові без суттєвого зростання її в'язкості.

Міоглобін м'язів. В серцевому і скелетних м'язах знаходиться м'язовий гемоглобін — міоглобін. Його простетична група — гем ідентична такій же групі молекул гемоглобіну, а білок глобін має меншу молекулярну масу, ніж глобін гемоглобіну. Міоглобін визначає червоний колір м'язів. Зв'язуючи близько 14 % загальної кількості кисню, він відіграє важливу роль в забезпеченні м'язових клітин киснем, а також при напруженні, коли в силу великого внутрішньом'язового тиску перетискаються капіляри і порушується кровообіг.

3. Функціональна характеристика лейкоцитів

Лейкоцити — це безколірні ядерні клітини розміром 8–20 мкм (рис. 3.6). В 1 мм³ крові людини їх міститься від 4 до 10 тисяч. Більше 50 % лейкоцитів знаходиться за межами кровоносних судин. Кількість лейкоцитів в крові зростає при прийнятті їжі, особливо з великим вмістом білків (*травний лейкоцитоз*), при фізичних навантаженнях (*міогенний лейкоцитоз*), вагітності, прийнятті гарячих і холодних ванн, а також при хронічних та інфекційних захворюваннях, лейкозах — злоякісній проліферації лейкоцитів, нездатних виконувати захисну функцію.

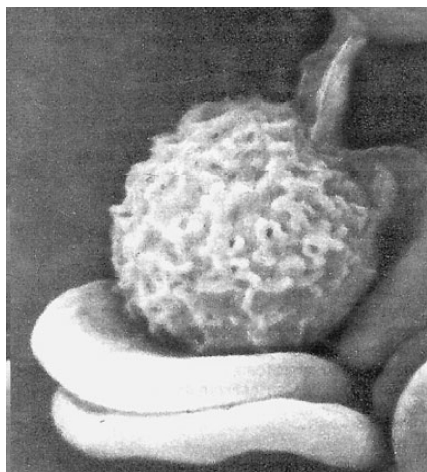


Рис. 3.6
Лейкоцит і два еритроцити в полі зору скануючого мікроскопа

Основною функцією лейкоцитів є фагоцитоз (рис. 3.7) і синтез антитіл. Крім того лейкоцити стимулюють регенеративні процеси в організмі, прискорюючи тим самим загоєння ран, беруть участь в процесах руйнування відмираючих клітин, токсинів білкового походження, мутантних клітин.

Розрізняють зернисті (гранулоцити) і незернисті (агранулоцити) лейкоцити. До гранулоцитів відносяться нейтрофіли, еозинофіли і базофіли. Вони складаються близько 60 % всіх лейкоцитів крові.

Нейтрофіли. Серед гранулоцитів вони найчисельніші (65–75 %). В залежності від фази зрілості розрізняють юні, палочкоядерні і сегментоядерні нейтрофіли. Юні нейтрофіли в крові здорових людей практично не зустрічаються, кількість палочкоядерних нейтрофілів в нормі 3–6 %, сегментоядерних — 51–67 %. В кровоносних судинах нейтрофіли довго не затримуються (6–8 год)



5. Регуляція системи крові

Ефективне виконання функцій, які притаманні крові, здійснюється внаслідок взаємодії таких процесів: кровотворення, кроворуйнування, перерозподіл крові між органами.

Процес утворення і розвитку клітин крові називають **кровотворенням** (*гемопоезом*). Виділяють *еритропоез* (утворення еритроцитів), *лейкопоез* і *тромбопоез* (утворення відповідно лейкоцитів і тромбоцитів). Функціональна система підтримання кількості формених елементів крові подана на рис. 3.9.

Місцем кровотворення є кістковий мозок. Тут є спеціальні ділянки, де знаходяться мультипотентні стовбурні кровотворні клітини. Популяція цих клітин невелика, але вони здатні до самовідтворення. Якщо одна клітина виходить на диференціювання, то сусідня клітина негайно ділиться, заповнюючи заповнений попередньою клітиною простір. Таким чином з однієї клітини-попередниці може утворитись близько 500 зрілих клітин. Завдяки такому механізму утворюються готові до роботи клітини всіх типів, за винятком лімфоцитів. Кінцеве дозрівання лімфоцитів відбувається лише після зустрічі з антигеном у лімфоїдних органах. Дозрівання і динаміка клітин кожного типу має свої особливості.

Попередники Т-лімфоцитів (тимусзалежних лейкоцитів) диференціюються в тимусі, попередники В-лімфоцитів, проходячи ряд додаткових фаз диференціювання, перетворюються в зрілі В-лімфоцити в самому кістковому мозку. Диференційовані Т- і В-лімфоцити мігрують у лімфовузлі і селезінку. При надходженні в організм хвороботворного антигена Т-і В-лімфоцити починають активно ділитись і диференціюватись у кінцеві клітини. З В-лімфоцитів утворюються плазматичні клітини, здатні синтезувати антитіла, з Т-лімфоцитів утворюються Т-кіллери. Згадані ефекторні клітини функціонують в організмі до тих пір, поки не знищать антигена (близько двох діб). Разом з тим, після контакту організму з антигеном в лімфовузлах і селезінці з Т-і В-лімфоцитів утворюються ефекторні клітини, які живуть багато років. Ці клітини володіють імунологічною пам'яттю. Розходячись по усіх лімфоїдних органах, вони

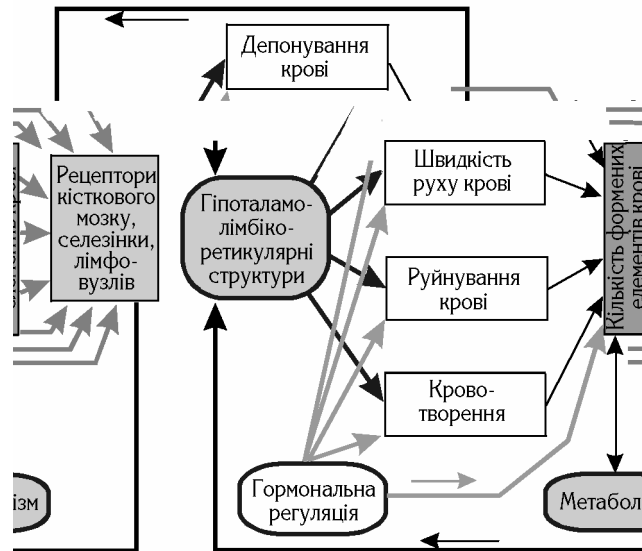


Рис. 3.9

Функціональна система підтримання кількості формених елементів крові (за К. Судаковим, 1976)

забезпечують більш інтенсивну і швидку специфічну імунну реакцію на вже знайомий антиген, якщо він знову проникає в організм.

При старінні еритроцити руйнуються (фагоцитуються) ретикулярними клітинами, гістіоцитами, мікрофагами і полінуклеарними лейкоцитами. Еритрофагоцитоз відбувається в кістковому мозку, селезінці, печінці і безпосередньо в кров'яні руслі.

Середня тривалість функціонування еритроцитів дорослої людини становить 110–120 днів (щодоби руйнується 0,8–0,9 % еритроцитів), — новонароджених — 60–80 днів. Протягом доби у дітей руйнується близько 1,4 % усіх еритроцитів. Продукти розпаду старих еритроцитів стимулюють утворення нових.

В регуляції системи крові важлива роль належить ЦНС. Так, імпульси симпатичної нервової системи посилюють вихід крові з кро-

Рис. 3.10

Внутрішній і зовнішній чинники Касла в механізмі регуляції еритропоеза: Пч — печінка; Кс — кровоносні судини; Ш — шлунок; Гр — грудина

в'яних депо, активізують гемопоез, імпульси парасимпатичної автономної нервової системи гальмують ці процеси.

Потужним стимулятором еритропоезу є зниження парціального тиску кисню (гіпоксія). При цьому нирки виділяють в кров нирковий чинник еритропоезу — *еритропоетин*. Лейкопоез стимулюється лейкопоетинами — продуктами розпаду лейкоцитів, тканин, мікробів, токсинів, чужорідних білків). Ефективність утворення еритроцитів значно посилюється при достатньому забезпеченні організму залізом і вітамінами В2, В6, В12, аскорбіновою і фолієвою кислотами. Загальна схема одного з механізмів регуляції еритропоезу представлена на рис. 3.10.

Функціональна система регуляції міри недостатку кисню в організмі включає в себе систему кровообігу (хвилинний об'єм кровообігу), систему регуляції артеріально-венозної різниці газів крові і систему еритрин, яка функціонує шляхом зміни рівня еритропоезу, що відповідає принципам теорії функціональних систем П. К. Анохіна (1970).

2.5. Практичні завдання

Матеріальне забезпечення заняття: мікроскоп, рахувальна камера М. К. Горяєва, змішувачі для еритроцитів і лейкоцитів, 3 %-ий розчин хлориду натрію, 0,1-нормальний розчин соляної кислоти, стерильні скарифікатори, йод, спирт, ефір, вата. Схеми, таблиці, кодопозитиви (діапозитиви) з теми «Формені елементи крові», кодоскоп (діапроектор) або ПК і мулітмедійний проектор.

Робота 1

Підрахунок кількості еритроцитів

Завдання. Оволодіти методикою підрахунку кількості еритроцитів в крові людини, з використанням рахувальної камери М. К. Горяєва. Дослідити направленість змін кількості еритроцитів крові у зв'язку з фізичним навантаженням.

Методика. Для підрахунку формених елементів крові використовують змішувачі і підрахункові камери. Еритроцитарний змішувач являє собою капіляр з ампулоподібним розширенням, в якому знаходиться червона скляна бусинка для змішування крові з антикоагулянтном. На капілярі нанесені мітки 0,5 і 1, а над ампулою — 101. Для того, щоб набрати в змішувач кров і хлористий натрій, на його короткий кінець одягають резинову трубку з грушею.

Підрахункова камера являє собою товсте скло, в його середній частині є чотири поперечних жолобки, а між ними знаходяться три площадки. Середня площадка нижче бокових на 0,1 мм, вона поділена навпіл поздовжнім жолобком, з обох сторін якого нанесена сітка Горяєва (325 великих квадратів, 25 із них розділені поперечними і поздовжніми лініями на 16 маленьких). На підрахункову камеру накладають шліфоване скло і великими пальцями щільно притирають його до камери. Притирання вважається завершеним, коли з'являться ньютоніві кільця.

Після проколу пальця стерильним скарифікатором першу краплю крові знімають ватою, а з другої краплі набирають кров в капіляр змішувача до мітки 0,5. Потім занурюють кінчик змішувача в 3 % розчин хлориду натрію і набирають його до мітки 101, розбавивши кров, таким чином, в 200 разів. Невелику краплю розбавленої (після ретельного перемішування) крові наносять на край середньої пластинки підрахункової камери: в силу капілярності рідина заповнить камеру.

Підрахунок кількості еритроцитів проводять під малим збільшенням мікроскопа в п'яти великих квадратах (80 маленьких), розміщених по діагоналі. Щоб запобігти подвійному врахуванню клітин, що лежать на межі квадратів, рухають еритроцити, розміщені в середині квадрата, на лівій і верхній його межах. Еритроцити, які знаходяться на правій і нижній межах квадрата, не враховуються.

Розрахунок загальної кількості еритроцитів в 1 мм^3 крові проводять за формулою:

$$ЗКЕ = \frac{E \cdot 400 \cdot 200}{80},$$

де: $ЗКЕ$ — загальна кількість еритроцитів, $\text{млн}/\text{мм}^3$; E — число еритроцитів в п'яти великих (80 малих) квадратах; 200 — ступінь розбавлення крові; 400 — чинник перерахування еритроцитів в 1 мм^3 крові.

Спочатку визначити вміст еритроцитів в крові досліджуваного в стані відносного спокою, тоді — після виконання інтенсивної фізичної роботи циклічного характеру (біг на місці, або робота на велоергометрі в максимальному темпі протягом 20 с). Отримані дані заносять в протокольну таблицю і аналізують.

Робота 2

Визначення кількості гемоглобіну

Завдання. Оволодіти методикою визначення гемоглобіну в крові. Навчитись розраховувати величину кольорового показника і вміст гемоглобіну в кожному еритроциті. Дослідити направленість змін концентрації гемоглобіну і кисневої ємності крові людини в умовах виконання фізичної роботи.

Методика

1.

При взаємодії заліза із синеродистим калієм гемоглобін окислюється в метгемоглобін. Останній утворює з ацетонціангідрином гемоглобінціанід, інтенсивність забарвлення якого пропорційна кількості гемоглобіну. В пробірку наливають 5 мл трансформуючого розчину і додають 0,02 мл крові (розведення крові в 281 раз). Через 10 хв проводять вимірювання на ФЕК і 500–600 нм в кислоті з товщиною шару 10 мл проти холостої пробки трансформуючого розчину. Стандартний розчин вимірюють за тих же умов, що і дослідний (має бути 150 г/л). Вміст гемоглобіну визначають за формулою:

$$Hb = \frac{Ed}{Ect} C \cdot k \cdot 0,01,$$

де: Hb — вміст гемоглобіну в досліджуваній крові, г/л; Ed — екстинція досліджуваного зразка; Ect — екстинція стандартного розчину; C — концентрація гемоглобінціаніду; k — коефіцієнт розбавлення крові; 0,01 — коефіцієнт перерахунку мг% в г/л.

2.

Прилад складається із штатива і розміщених в ньому трьох пробірок. Задня стінка закрита матовим склом. Дві крайні пробірки гемометра запаяні, в них знаходиться стандартний розчин (16,8 %) солянокислого гематину; середня пробірка призначена для дослідження крові, вона градуйована в г%. До приладу додається піпетка для води, капіляр з міткою 0,02 мл і скляна паличка (рис. 3.11).

В градуйовану пробірку гемометра Салі піпеткою наливають 0,1-нормальний розчин соляної кислоти до нижньої мітки шкали пробірки. З проколу пальця в капілярну піпетку беруть 0,02 мл крові і, оберши його кінчик ватою, видувають кров на дно пробірки так, щоб верхній шар розчину соляної кислоти залишився прозорим. Не виймаючи капіляра з пробірки, декілька разів промивають його розчином соляної кислоти, що знаходиться в пробірці над кров'ю. Вміст пробірки перемішують скляною паличкою і ставлять в штатив гемометра. Через 5 хвилин в пробірку додають по краплях дистильовану воду до тих пір, поки колір розчину в градуйованій пробірці не буде однаковий з кольором стандартного розчину бокових пробірок. Додаючи воду, розчин старанно перемішують скляною паличкою. Цифра на шкалі пробірки на рівні меніска отриманого розчину покаже вміст гемоглобіну в г% (грам-процентах).

Для визначення кольорового показника (КП), вмісту гемоглобіну в одному еритроциті (ВГЕр) користуються формулами:

$$КП = \frac{3 \cdot Hb}{10 \cdot Er}; \quad ВГЕр = \frac{10 \cdot Hb}{Er},$$

де: *Hb* — кількість гемоглобіну (г%), *Er* — кількість еритроцитів (млн/мм³).

Величина КП залежить від об'єму еритроцитів і насиченості їх гемоглобіном. В нормі КП коливається від 0,9 до 1,1. Вагова кількість гемоглобіну в кожному еритроциті виражається в мікро-мікрограмах (мк/мкг). В нормі величина ВГЕр становить 27–33 мк/мкг.

Знаючи вміст гемоглобіну в крові, розраховують показник *максимальної кисневої ємності (МКЕ)* — кількість кисню (в мл), яка може бути зв'язана гемоглобіном 100 мл крові (1 г гемоглобіну здатний приєднати 1,34 мл кисню). Фізіологічна норма МКЕ крові людини — 16–20 об% (об'ємних процентів).

Дану роботу виконують паралельно з попередньою роботою. Це дає змогу з одного проколу пальця отримати кров як для визначення в ній еритроцитів, так і для визначення гемоглобіну та лейкоцитів. Однаковою в цих роботах є величина фізичного навантаження, після якого досліджувані показники визначаються вдруге.

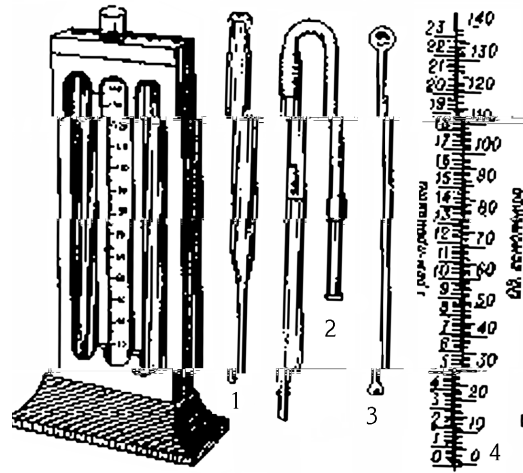


Рис. 3.11

Гемометр Салі: 1 — піпетка для відмірювання крові; 2 — піпетка для набирання дистильованої води, яку наливають у градуйовану пробірку гемометра; 3 — скляна паличка для розмішування крові; 4 — шкала, градуйована в грам-процентах

Робота 3

Підрахунок кількості лейкоцитів

Завдання. Оволодіти методикою визначення кількості лейкоцитів в крові людини. Дослідити особливості зміни кількості лейкоцитів при фізичних навантаженнях.

Методика. Для підрахунку лейкоцитів використовують лейкоцитарний змішувач. Він має білу скляну бусинку і значно менший, ніж для підрахунку еритроцитів. Після проколу пальця в лейкоцитарний капіляр насмоктують кров до мітки 0,5, тоді (до мітки 11) — 5 %-ий розчин оцтової кислоти, підфарбований метиленовою синькою. Цим досягається розведення крові в 20 разів. Розбавлення крові розчином оцтової кислоти забезпечує руйнування клітинних мембран всіх формених елементів, залишаються лише забарвлені метиленовою синькою ядра лейкоцитів. Їх і підраховують в полі зору мікроскопа при малому збільшенні. Камеру Горяєва для підрахунку лейкоцитів готують так само, як і для еритроцитів, лише підрахунок ведуть в усіх 25 великих незаштрихованих квадратах (400 маленьких). Отриману в процесі підрахунків величину кількості лейкоцитів множать на 200 (при розбавленні в 10 разів — на 100), що і становитиме шукану їх величину в 1 мм³ крові.

У загальних висновках вказують на відповідність отриманих показників нормативним величинам. Звертають увагу на направленість і величину змін кількості еритроцитів, лейкоцитів і гемоглобіну в крові досліджуваних осіб у зв'язку з виконанням фізичних навантажень, пояснюють фізіологічну природу цих змін. Вказують на значимість отриманих показників крові для оцінки рівня резервів аеробного енергозабезпечення м'язової роботи. При аналізі експериментальних даних враховують стать і вік досліджуваних осіб.

2.6. Ситуаційні запитання і задачі

1. При підрахунку в 80 малих квадратах сітки Горяєва знайдено 500 еритроцитів. Кров розведена в 200 разів. Вміст гемоглобіну в досліджуваній крові — 15 г%. Розрахуйте вміст еритроцитів в даній крові і величину кольорового показника.
2. Визначте загальну кисневу ємність крові (КЕК) і коефіцієнт використання кисню (КВО₂) у юнака масою тіла 70 кг, якщо відомо, що вміст гемоглобіну в його крові 13,4 г%, вміст кисню в артеріальній крові 20 об%, у венозній — 10 об%.
3. В стані спокою в крові юнака міститься 14 г% гемоглобіну, при виконанні напруженої роботи (біг 100 м) — 16 г%. Розрахуйте кисневу ємність крові учня за даних умов. Вкажіть на фізіологічний механізм збільшення кисневої ємності крові при виконанні фізичної роботи.
4. В природі є тварини з зеленим (деякі морські черв'яки) і з голубим (скорпіони, павуки, спрути) кольором крові. Обґрунтуйте пояснення кольору крові даних тварин. Чому кров людини червона?

5. Киснева ємність крові юнака в стані спокою — 19 об%. Після виконання інтенсивного фізичного навантаження (біг 100 м) вміст гемоглобіну в крові юнака становить 16г%. Яка спрямованість зміни кисневої ємності крові учня у зв'язку з виконанням фізичної роботи?
6. Юний спортсмен скаржиться на задишку, головокружіння, шум у вухах, перед очима часто «бігають мушки». Дані аналізу крові були такими: вміст еритроцитів — 3,5 млн/мм³, концентрація гемоглобіну — 10 г%. Виходячи з цих даних, вкажіть на ймовірну причину погіршеного самопочуття учня.
7. В клінічній практиці користуються показником відносного вмісту гемоглобіну в крові: процент гемоглобіну даної крові щодо вищої межі норми — 16,8 г%, яка береться за 100 %. Розрахуйте величину відносного вмісту гемоглобіну в крові, якщо абсолютна величина цього показника, визначена методом Салі, становить 14 г%.
8. При наявності запального процесу в циркулюючій крові різко зростає рівень лейкоцитів, особливо нейтрофілів. Вкажіть на фізіологічний механізм цього явища.
9. Відомі випадки, коли спортсменам перед відповідальними змаганнями вводили в організм еритроцити, насичені киснем. Еритроцити виділяли завчасно з крові даного спортсмена і зберігали в консервованому вигляді. Що дає спортсмену таке збагачення крові еритроцитами? Які можливі негативні наслідки цього прийому?
10. При передчасному закритті димоходу у приміщеннях з пічним опаленням відомо чимало випадків отруєння мешканців будинку чадним газом. Вкажіть на фізіологічний механізм такого отруєння.
11. Знаходячись в стані «спортивної» форми, спортсмен скаржиться на погіршення самопочуття, підвищену втомлюваність, нестабільність настрою, порушення сну і апетиту, головні болі, неприємні відчуття в зоні серця. Усе це явні ознаки перенапруженості. Гематологічні дослідження були такими: вміст еритроцитів — 4 млн мм³, кольоровий показник — 0,75, вміст гемоглобіну — 10 г%. Чи підтверджують наведені показники крові поставлений діагноз?

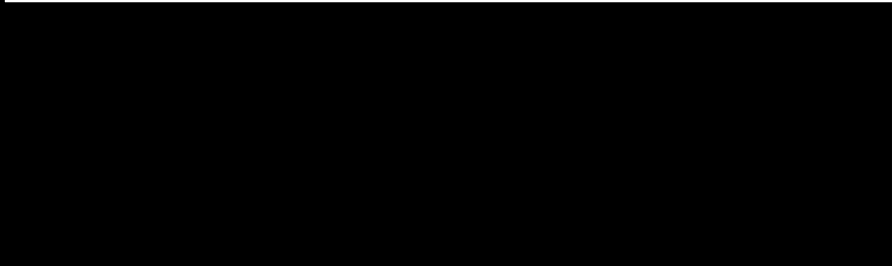
2.7. Тести

1. *Кількість еритроцитів в крові людини (млн в 1 мм³):*
а) 4,0; б) 4,5–5; в) 6,0–7,0; г) 8,0–9,0.
2. *Еритроцити людини мають форму:*
а) *круглу;* б) *овальну;* в) *серповидну;* г) *двобічнозвігнуту.*
3. *Оболонка еритроцитів характеризується вибірковою проникністю щодо окремих речовин, вона:*
а) *пропускає аніони і не пропускає катіони і гемоглобін;*
б) *пропускає катіони і гемоглобін і не пропускає аніони;*
в) *пропускає аніони, гемоглобін і катіони.*

4. Основна кількість твердого залишку еритроцитів приходить на:
а) мінеральні солі; б) жири; в) вуглеводи; г) гемоглобін.
5. Збільшення в крові кількості еритроцитів називається:
а) еритроцитозом; б) фагоцитозом; в) анемією; г) еритропенією.
6. Еритроцити людини функціонують приблизно:
а) 1 рік; б) 4 місяці; в) 30–40 днів; г) до 20 днів.
7. Еритроцити руйнуються переважно в:
а) нирках; б) легенях і печінці;
в) печінці і селезінці; г) нирках і легенях.
8. Гемолізом називається:
а) руйнування формених елементів крові;
б) руйнування еритроцитів з виходом гемоглобіну в плазму;
в) руйнування лейкоцитів;
г) руйнування тромбоцитів з виходом в плазму тромбoplastину.
9. Червоний колір крові обумовлений наявністю в еритроцитах:
а) гемоглобіну, до складу якого входить окисне залізо;
б) гемоглобіну, до складу якого входить мідь;
в) міоглобіну, до складу якого входить окисне залізо.
10. В нормі кількість гемоглобіну в крові людини складає (г%):
а) 10–12; б) 12–15; в) 15–17; г) 18–20.
11. Гемоглобін, що приєднав кисень, називається:
а) оксигемоглобіном; б) карбгемоглобіном;
в) карбоксигемоглобіном; г) фетгемоглобіном.
12. Киснева ємність крові — це:
а) максимальна кількість кисню, яка може бути зв'язана гемоглобіном 100 мл крові;
б) найменша кількість кисню, яка може бути зв'язана 100 мл крові;
в) та кількість кисню, що може бути фізично розчинена в 100 мл крові.
13. При вмісті в крові 15 г% гемоглобіну киснева ємність крові складатиме приблизно (об%):
а) 10; б) 20; в) 30; г) 50.
14. Сполука гемоглобіну з вуглекислим газом називається:
а) оксигемоглобіном; б) карбгемоглобіном;
в) карбоксигемоглобіном; г) метгемоглобіном.
15. Сполука гемоглобіну з чадним газом називається:
а) карбгемоглобіном; б) карбоксигемоглобіном;
в) метгемоглобіном; г) оксигемоглобіном.
16. Наявність в атмосферному повітрі 0,1 % чадного газу спричиняє зв'язування в крові такої кількості гемоглобіну (в %):
а) 10; б) 50; в) 80; г) 100.

17. У випадку отруєння чадним газом необхідно:
- а) переливання крові;
 - б) штучне дихання газовою сумішшю з 95 % вмістом кисню і 5 % вуглекислого газу;
 - в) а + б;
 - г) штучне дихання чистим киснем.
18. При дії на кров сильних окислювачів гемоглобін утворює з ними стійку сполуку, яка називається:
- а) оксигемоглобін;
 - б) метгемоглобін;
 - в) карбгемоглобін;
 - г) карбоксигемоглобін.
19. Гемоглобін крові плода відрізняється від гемоглобіну дорослої людини:
- а) меншою здатністю приєднувати кисень;
 - б) більш виразною здатністю приєднувати кисень;
 - в) гемоглобін плода і новонародженого не здатний зв'язувати кисень.
20. Функції міоглобіну:
- а) транспорт кисню із крові в м'язи;
 - б) транспорт вуглекислого газу з м'язів;
 - в) зв'язування кисню і його використання для окислення енергосубстратів в екстремальних умовах;
 - г) зв'язування молочної кислоти.
21. Міоглобін м'язів здатний зв'язувати приблизно таку кількість кисню (в % від загальної кількості кисню, що може знаходитись в організмі):
- а) 15;
 - б) 20;
 - в) 35;
 - г) 45.
22. В 1 мм³ крові міститься лейкоцитів (тис.):
- а) 2–3;
 - б) 3–4;
 - в) 6–8;
 - г) 9–10.
23. Функції лейкоцитів в організмі:
- а) фагоцитоз і продукція антитіл;
 - б) руйнування токсинів білкового походження і участь в регенеративних процесах тканин;
 - в) а + б;
 - г) участь у зсіданні крові і транспортуванні кисню.
24. Збільшення кількості лейкоцитів в крові називається:
- а) лейкопенією;
 - б) лейкоцитозом;
 - в) анемією;
 - г) гіперемією.
25. Тривалість функціонування лейкоцитів:
- а) до 30 днів;
 - б) від 1 до 3 місяців;
 - в) до 1 року і більше;
 - г) 10 років.
26. Утворення лейкоцитів крові відбувається в:
- а) червоному кістковому мозку;
 - б) лімфовузлах і селезінці;
 - в) нирках і легенях;
 - г) а + б.

27. Лейкоцитарною формулою — це співвідношення (%):
а) формених елементів в крові; б) різних форм лейкоцитів;
в) зернистих лейкоцитів; г) незернистих лейкоцитів.
28. У лейкоцитарній формулі крові людини більшість складають:
а) ейзинофіли; б) нейтрофіли; в) лімфоцити; г) моноцити.
29. До зернистих лейкоцитів (гранулоцитів) належать:
а) базофіли і нейтрофіли; б) ейзинофіли і моноцити;
в) базофіли і лімфоцити; г) базофіли, еозинофіли, нейтрофіли.
30. До незернистих лейкоцитів (агранулоцитів) належать:
а) еозинофіли; б) базофіли;
в) всі види нейтрофілів; г) лімфоцити і моноцити.
31. Перша фаза міогенного лейкоцитозу характеризується збільшенням в крові:
а) нейтрофілів; б) лімфоцитів;
в) моноцитів; г) еозинофілів, базофілів.
32. Для другої фази міогенного лейкоцитозу характерним є збільшення:
а) нейтрофілів; б) лімфоцитів;
в) моноцитів; г) еозинофілів і базофілів.
33. Кількість тромбоцитів в крові людини (тис./мм³):
а) 10–100; б) 200–400; в) 600–700; г) 800–900.
34. Основною функцією тромбоцитів є:
а) фагоцитоз;
б) прискорення регенеративних процесів при руйнуванні судин;
в) зсідання крові;
г) утворення антитіл.
35. Основною функцією серотоніну, що виділяється при руйнуванні тромбоцитів, є:
а) руйнування (лізис) тромба; б) утворення нерозчинного фібрину;
в) звуження кровеносних судин; г) ретракція згустку.
36. Утворення формених елементів крові кровотворними органами називається:
а) еритропоезом; б) лейкопоезом;
в) тромбопоезом; г) гемопоезом.
37. Сильним стимулятором еритропоезу є зниження парціального тиску кисню в крові. При цьому спостерігається значне збільшення в крові особливої речовини, яка називається:
а) ацетилхоліном; б) адреналіном;
в) гістаміном; г) еритропоетіном.
38. Систематичні фізичні тренування сприяють:
а) підвищенню кисневої ємності крові (КЕК);
б) зниженню КЕК;



- чинники, які прискорюють і сповільнюють зсідання крові;
- особливості успадкування груп крові і резус-чинника;
- важливість донорства для реабілітації хворих.

вміти:

- визначати тривалість зсідання крові, групи крові і резус-чинник;
- попереджувати розвиток гемолітичної жовтухи у резусних дітей;
- використовувати знання матеріалу теми для надання першої медичної допомоги (зупинка кровотеч), попередження інфікування ран, підвищення імунної реактивності організму, попередження резус-конфліктів.

3.3. Основні терміни, поняття і скорочення

імунітет; імунний процес; імунна систем; мікроциркулярний гемостаз; гемокоагуляція; тромбопластин; протромбін; тромбін; фібриноген; фібрін; тромб; анти-тромбін; фібринолізин; групи крові; аглютиніни; аглютиногени; система резус; донорство; донор; реціпієнт.

3.4. Теоретичні відомості

1. Специфічні і неспецифічні механізми захисту організму від збудників інфекційних захворювань

Виникнення інфекційних захворювань тісно пов'язано з сприйнятливістю організму до нього. Сприйнятливість до захворювань — це здатність реагувати на надходження в організм збудників інфекцій виникненням хвороби. Несприйнятливість організму до збудників інфекційних захворювань забезпечується чинниками специфічної несприйнятливості (імунітет) і неспецифічної фізіологічної резистентності.

Інфекційні або заразні хвороби небезпечні для життя людини, особливо дітей та підлітків. Передаючись від хворої до здорової людини, інфекційні хвороби швидко поширюються, спричинюючи епідемії. Для інфекційних захворювань характерні такі особливості: 1) наявність специфічного збудника; 2) заразність; 3) наявність імунітету; 4) циклічність перебігу. Причинами виникнення та механізмами поширення інфекційних хвороб, а також методами профілактики і боротьби з ними займається наука епідеміологія. Особливістю епідеміологічної ситуації на сучасному етапі є виникнення нових заразних хвороб, небезпечних для життя дорослих і дітей (СНІД), епідемії грипу.

Захист організму від впливу живих тіл та речовин, які несуть на собі генетично сторонню інформацію, називається *імунітетом*. Основою *специфічного*, тобто протиінфекційного, імунітету є несприйнятливість до даного виду мікробів та продуктів їхньої життєдіяльності. Імунітет можливий завдяки наявності імунної системи (лімфатичні вузли,

селезінка, кістковий мозок, виличкова залоза — лімфоїдні органи), яка захищає організм не лише від збудників інфекційних хвороб, а й від злоякісних клітин. Вона також бере участь у відторгненні пересаджених органів, тканин, клітин, стежить за нормальним розвитком плода і захищає новонародженого, утилізує відмерлі тканинні структури.

До *неспецифічних чинників* фізіологічної резистентності як таких, що перешкоджають проникненню мікробів в організм та діють бактерицидно, належать:

- 1) здорова неушкоджена чиста шкіра як бар'єр для мікробів;
- 2) бактерицидні кислоти сальних та потових залоз шкіри;
- 3) лізоцим сліз, слини, крові, міжклітинної рідини, клітин тощо;
- 4) бактерицидні речовини дихальних шляхів, травного каналу, сечовивідних шляхів;
- 5) біологічно активні речовини травних соків, жовчі, крові, лімфи тощо;
- 6) видільна функція нирок, кишок, печінки, лімфовузлів.

На імунітет виявляють вплив ряд чинників: екологія (радіація), психогенні чинники, хвороби, соціальні умови, шкідливі звички, умови праці, харчування, санітарна культура, щеплення, режим праці та відпочинку тощо.

В середньому на 10000 новонароджених хлопчиків один народжується з важким пороком розвитку — організм дитини не спроможний виробляти захисні тіла (антитіла), тобто не може захищати себе від патогенних мікробів. Щоб жити, така дитина повинна знаходитись в стерильному приміщенні, їсти стерильну їжу, дихати безмікробним повітрям.

Імунний процес — це утворення в організмі специфічних антитіл у відповідь на проникнення в нього мікроорганізмів і взагалі будь-яких живих тіл та речовин з генетично відмінною інформацією (їх називають антигенами). Антитіла здатні нейтралізувати токсини (антитоксини), розчиняти мікроби (бактеріолізини) або еритроцити (гемолізини), викликати осадження білкових решток, що утворилися внаслідок руйнування мікробів (преципітини), склеювати мікроби (аглютиніни) тощо.

Для синтезу захисних імуноглобулінів (антитіл) у відповідь на проникнення в організм хвороботворних речовин витрачається чимало часу. Він необхідний для того, щоб «налагодити» синтез специфічних антитіл (ДНК — РНК — імуноглобулін). Вважається, що механізм дії антитіл пов'язаний з наявністю на їх поверхні ділянок, конфігурація яких відповідає стереохімічній структурі антигену (як ключ відповідає замку). При контакті антигену з антитілом утворюється комплекс антиген — антитіло. При цьому антиген втрачає свої хвороботворні властивості.

Розрізняють імунітет вроджений і набутий. *Вроджений імунітет* видовий, він передається спадково у зв'язку з біологічними властивостями організму. Наприклад, домашні тварини не хворіють венеричними хворобами людини, а людина не хворіє чумою великої рогатої худоби.

Набутий імунітет виробляється у тварин і людини після перенесення ними якої-небудь хвороби (природно набутий імунітет, або ж після щеплення вакцинами до складу яких входять мертві або ослаблені збудники даного захворювання (штучно набутий іму-

нітет). Ще виділяють активний і пасивний імунітет. *Активний імунітет* утворюється при безпосередньому перенесенні організмом даної хвороби; *пасивний* — при введенні в організм готових антитіл (сироватки крові, отриманої з організму, який перехворів на дану хворобу). Активний імунітет довготривалий, пасивний — триває всього декілька тижнів.

Окрім поняття імунологічної реактивності організму (фагоцитарна активність лейкоцитів і утворення антитіл) виділяють поняття загальної (неспецифічної) стійкості організму. Неспецифічний імунітет забезпечується нервовою і гормональною системами і включає в себе не лише стійкість організму до інфекційних захворювань, а й до інших стресових впливів (функціональний імунітет). Загальна схема

Рис. 3.12

Нейрогуморальна регуляція діяльності імунної системи організму

нейрогуморальної регуляції діяльності імунної системи організму подана на рис. 3.12.

Важливим чинником підвищення імунологічної реактивності організму є висока (оптимальна за величиною) рухова активність людини. У спортсменів підвищена фагоцитарна активність лейкоцитів, більш висока лізоцимна активність, в умовах фізичних навантажень більш виражене збільшення в сироватці крові глобулінових білків, з яких синтезуються антитіла. Збільшення синтезу специфічних антитіл, викликаних фізичним тренуванням в умовах експериментальної імунізації білковим антигеном (П. Д. Плахтій, 1990), є свідченням його неспецифічного впливу на імунобіологічну реактивність організму, передумовою профілактики захворювань.

2. Фізіологічні механізми зсідання крові

Сукупність фізіологічних процесів, пов'язаних з зсіданням крові і направлених на припинення кровотечі, яка виникла внаслідок порушення цілісності кровоносних судин, називається *гемостазом*. Розрізняють два механізми припинення кровотечі: мікроциркуляторний гемостаз і гемокоагуляція.

Мікроциркулярний (судинно-тромбоцитарний) гемостаз забезпечує припинення кровотечі з малих кровоносних судин. Він досягається завдяки судинним спазмам, адгезивності, агрегації тромбоцитів з утворенням і затвердінням тромбоцитарного згустку. Спазм малих кровоносних судин при больових реакціях обумовлений підвищенням тону симпатичної нервової системи, а також збільшенням в крові серотоніну, адреналіну і норадреналіну, які звільняються з пошкоджених клітин. Усе це сприяє утворенню тромбоцитарного згустку. Під дією білка тромбоцитів — тромбостеніну згусток твердіє, закриває рану і припиняє кровотечу.

Гемокоагуляція (власне зсідання крові) — процес переходу крові з рідкого стану в студенистий згусток, який припиняє кровотечу у випадку пошкодження більш великих кровоносних судин.

Для пояснення механізму зсідання крові було запропоновано ряд теорій. Найбільш загально визнаною з них вважається ферментативна теорія зсідання крові О. О. Шмідта. В цьому процесі беруть участь різні речовини, що містяться у плазмі крові (чинники плазми), а також речовини, що сюди надходять при пораненні із зруйнованих клітин і тромбоцитів. В цілому, процес зсідання крові умовно проходить в три фази.

В *першій фазі* зсідання крові, внаслідок руйнування тромбоцитів при їх контакті з неадекватною поверхнею рани, виділяється попередник тромбопластину, який, взаємодіючи з чинниками плазми крові, перетворюється в активний тромбопластин.

В *другій фазі* зсідання крові протромбін плазми, взаємодіючи з тромбопластином, перетворюється в тромбін. Для нормального перебігу цієї реакції необхідні іони кальцію і ряд чинників плазми, що виконують роль прискорювачів. Для синтезу протромбіну печінкою необхідна наявність вітаміну К.

В *третьій фазі* зсідання крові під впливом тромбіну розчинний в плазмі фібриноген перетворюється в нерозчинний фібрин. В густих сплетіннях тонких фібринових ниток фіксуються формені елементи крові — утворюється згусток (тромб). За короткий час згусток стягується і ущільнюється (ретракція згустку). Цей процес забезпечується ретрактозином, який звільняється при руйнуванні тромбоцитів. Виконавши свою функцію (припинивши кровотечу), згусток розчиняється з допомогою ферменту плазми — фібринолізину.

Тромби бувають простими і змішаними. *Прості тромби* утворюються в дрібних артеріях і капілярах. Вони складаються з фібрину і тромбоцитів, або з фібрину і еритроцитів (рис. 3.13). До *змішаних тромбів* входять усі формені елементи крові і фібрин. Тромбоутворення відіграє важливу роль в розвитку інфаркту міокарда, мозкових інсультів, тромбозів вен ніг, впливає на виникнення і перебіг ревматизму, хвороб нирок, легенів тощо.

Зсідання крові гальмується при пониженні температури, в пробірках, стінки яких покриті парафіном або воском, що згладжує нерівності поверхні. Зв'язуючи іони кальцію, попереджають зсідання крові щавлево- і лимоннокислі солі. До антикоагулянтів, які повністю попереджають зсідання крові, належить гепарин (виділений з легеневої тканини, печінки і базофілів крові), гірудін з слинних залоз п'явок.

Таблиця 3.4
Наслідування груп крові

Групи крові (фенотип)	Аглютиногени в еритроцитах	Аглютиніни плазми крові	Генотип
I (O)	O	?	OO
II (A)	A	?	AA або AO
III (B)	B	?	BB або BO
IV (AB)	AB	-	AB

Якщо O ген сперматозоїда сполучається з O геном яйцеклітини, то наслідуються тільки перша група крові (O) з генотипом OO. Якщо A ген чоловіка сполучається з A або з O геном жінки, то наслідуються друга (A) група з генотипом AA або AO. Аналогічні комбінації утворюються в тих випадках, де бере участь у наслідуванні ген B (діти будуть мати генотип BB або BO).

У батьків, які мають другу і третю групи крові, діти можуть мати будь-яку з чотирьох груп крові, оскільки комбінації:

$A + B = AB$ (четверта група), $A + O = AO$ (друга група),

$O + B = OB$ (третья група), $O + O = OO$ (перша група).

У батьків, які мають першу групу крові, діти будуть мати тільки першу групу. Якщо батько (чи мати) має першу групу, а мати (чи батько) має четверту, то у них не може народитися дитина з першою групою крові. У них діти будуть мати або другу, або третю групу крові. У шлюбі осіб з четвертою групою крові можуть народитися діти з генотипами груп крові AA, BB, AB, тобто можуть мати другу, третю або четверту групу крові. Першої групи не може бути.

В судово-медичній практиці прийнято вважати, що чоловік з другою групою AB не може бути батьком дитини з групою O, хоч при використанні лише одного цього критерію ймовірність похибки складає 10 %. Чим більше враховується групових чинників, тим з більшою вірогідністю може бути виключено батьківство (Р. Шмідт, Г. Тевс, 1986). Схематично можливі такі варіанти успадкування груп крові (табл. 3.5).

Від групи крові в якійсь мірі залежить стан здоров'я і характер людини. Так, люди з першою групою крові рідше хворіють і довше живуть, ніж люди з другою групою крові. Існує певна залежність між груповою приналежністю і темпераментом людини, її психічним станом, розумовою і фізичною працездатністю.

У різних народностей процентне співвідношення людей з різними групами крові різне. Більше 40 % людей, які проживають в Центральній Європі, мають першу групу крові, приблизно 40 % — другу, 10 % — третю і 6 % — четверту групу крові. Серед українців, росіян і білорусів першу групу крові мають 33 %, другу — 36 %, третю — 23 %, четверту — 8 % людей. Близько 90 % жителів Північної Америки мають I групу крові, 20 % населення Центральної Азії мають II групу крові.

Таблиця 3.5

Можливі варіанти успадкування груп крові дітьми від батьків

Генотип батька	Генотип матері					
	I	II		III		IV
	OO	AA	AO	BB	BO	AB
I OO	OO-I	AO-II	AO-II OO-I	BO-III	BO-III OO-I	AO-II BO-III
II AA	AO-II	AA-II	AA-II AO-II	AB-IV	AB-IV AO-II	AA-II AB-IV
AO	AO-II OO-I	AA-II AO-II	AA-II AO-II OO-I	AB-IV BO-III	AB-IV AO-II BO-III OO-I	AA-II AB-IV AO-II BO-III
III BB	BO-III	AB-IV	AB-IV BO-III	BB-III	BB-III BO-III	AB-IV BB-III
BO	BO-III OO-I	AB-IV AO-II	AB-IV AO-II BO-III OO-I	BB-III BO-III	BB-III BO-III OO-I	AB-IV BO-III AO-II BB-III
IV AB	AO-II BO-III	AA-II AB-IV	AA-II AB-IV AO-II BO-III	AB-IV BB-III	AB-IV BB-III AO-II BO-III	AA-II BB-III AB-IV

Однією з найскладніших систем груп крові людини є *система резус*. Вона включає в себе більше 20 ізоантигенів і наявна в еритроцитах 85 % людей (резус-позитивні люди), 15 % людей її не мають (резус-негативні люди).

На відміну від системи АВО, антитіла якої в крові людини з'являються вже після перших місяців її життя, резусні аглютиніни з'являються тільки при повторному переливанні резус-несумісної крові.

Резус позитивний ген (Rh+) є домінантним, а тому не дає проявлятися резус негативному гену (Rh-), який є рецесивним. Таким чином при резус-негативній крові генотип може бути лише (Rh-Rh-). У осіб з резус-позитивною кров'ю може бути два сполучення генів — або обидва резус позитивні (Rh+Rh+), отримані від обох батьків, або ж позитивний і негативний (Rh+Rh-). Проте негативний ген (Rh-), як рецесивний завжди пригнічується домінантним позитивним (Rh+), і не проявляє себе, хоч і існує. За умови, коли батьки мають резус-негативну кров, то у дитини може бути лише Rh- кров, оскільки ні в батька, ні у матері немає жодного Rh+ гена.

У людей з резус-позитивною кров'ю може існувати резус-негативний рецесивний ген, який в присутності резус-позитивного себе не проявляє. Якщо ж кожний з батьків передасть дитині по одному «резус-негативному» гену, то кров у дитини буде резус-негативна. Проте згідно з законами генетики, ймовірність такого варіанта дуже невелика.

Резусну несумісність слід враховувати при вагітності, коли резус-позитивний плід розвивається в організмі резус-негативної матері. При порушенні цілісності генітальних бар'єрів еритроцити плода попадають в організм резус-негативної матері, де викликають утворення резусних антитіл. Імунізація проходить повільно, а тому перша дитина може народитися здоровою. При повторній вагітності концентрація (титр) антитіл може досягти високого рівня. Резус-негативні аглютиніни (неповні антитіла), на відміну від альфа- і бета-аглютинінів, дуже малі і здатні проходити через плацентарний бар'єр, призводячи до руйнування еритроцитів плода або ж дитина народжується хворою на гемолітичну жовтуху. Лише повним замінним переливанням крові можна врятувати таку дитину від смерті.

Для попередження резус-конфлікту жінка, яка має резус-негативну кров, за умови, що кров чоловіка резус-позитивна, повинна зберегти стільки вагітностей підряд, скільки заплановано мати дітей. Штучне припинення вагітності збільшує ймовірність виникнення резус-конфлікту при наступній вагітності.

Донорство. Донор — це людина, яка добровільно дає свою кров для приготування лікарських препаратів (альбумін, фібриноген, глобуліни направленої дії тощо).

Близько 50 % заготовленої крові необхідно хірургічним і акушерсько-гінекологічним клінікам і відділенням лікарень. Використання донорської крові дозволяє значно продовжити життя важко хворим з апластичними анеміями (з неякісним малокров'ям). Часто використовують гемотрансфузії при лікуванні виразок шлунка і кишок. Для забезпечення річної потреби лікарень необхідно мати близько 0,8 л донорської крові на 1 лікарняне ліжко.

Отримання крові у донорів і її консервування проводять на станціях переливання крові. На основі попереднього медичного обстеження спеціалісти визначають придатність донорської крові для переливання (зокрема, відсутність заразних захворювань); роблять заключення про дозу крові, яку можна взяти з даної людини. У донорів, які вперше здають кров, дозволяється взяти не більше 200–250 мл крові, у тих, хто здає кров вдруге (і більше разів) — до 450 мл. Такі крововтрати відновлюються організмом протягом місяця і не відбиваються на здоров'ї донора.

Донорам в нашій країні надаються певні пільги — додатковий день відпустки за кожну дачу крові, спеціальне харчування (обід) в день взяття крові і грошова компенсація. Активні донори нагороджуються нагрудним знаком «Почесний донор», іншими орденами і медалями.

4. Вікові особливості складу і властивостей крові

Однією з найважливіших особливостей системи кровотворення у дітей раннього віку є функціонування майже всього кісткового мозку. Починаючи з 4-го року життя відбувається поступове переродження кісткового мозку в жировий. Повністю цей процес завершується у віці 14–15 років. В періоді статевого дозрівання кровотворення відбувається лише в червоному кістковому мозку губчастої речовини тіл хребців, ребер і грудини.

Таблиця 3.6

Вікові особливості основних показників крові (за Ю. А.Єрмолаєвим, 1985)

Гетитологічні показники	Вік і стать				
	Новонароджені	Грудні діти	Діти віком більше 1 року	Чоловіки	Жінки
Гемоглобін, г%	17–24,7	11,0–11,9	12,6–15,6	13,5–16,0	12,5–14
Еритроцити, млн	4,5–7,5	3,5–4,6	4,3–5,0	5,0	4,0
ШОЕ, мм/год	2–3	3–5	4–10	3–9	7–12
Лейкоцити, тис.	10–30	10–11	6–8	6–8	6–8
Тромбоцити, тис.	200–250	200–300	200–300	200–300	200–300

Кількісні і якісні вікові відмінності крові яскраво виражені лише в перші роки постнатального розвитку; у дітей віком старших року величини більшості гематологічних показників такі ж, як і у дорослих осіб (табл. 3.6, рис. 3.14).

Найпізніше в підлітковому періоді встановлюється кінцева (характерна для дорослих) величина співвідношення лейкоцитів. До 5–6-річного віку в крові дітей міститься менше нейтрофілів, ніж у дорослих.

В плазмі крові дітей менший вміст білків, ніж у дорослих. Десь з другого місяця життя кількість білків плазми крові починає неухильно зростати, досягаючи нормативних величин дорослих в 3–4-річному віці.

Існують певні відмінності співвідношення окремих білкових фракцій у дітей і підлітків в порівнянні з дорослими. Так, у новонароджених спостерігається більш високий рівень гама-глобулінів і альбумінів. Рівня дорослих гама-глобуліни досягають у 2–3-річному віці.

Рис. 3.14

Вікові зміни вмісту нейтрофілів (1) і лімфоцитів (2) у дітей від народження до 5 років (за А. Туру, 1957): а, б — перше і друге «перехрещення» лімфоцитів і нейтрофілів

3.5. Практичні завдання

Матеріальне забезпечення заняття: предметне скло з лункою або годинникове скло, парафін, водяний термостат, скляна паличка з витягнутим кінцем, годинник, вазелінове масло, капіляр від гемометра Салі, фарфорова чашка, лимоннокислий натрій, кісточки для отримання фібрину, лід, стандартні сироватки О(I), А(II), В(III) груп крові,

пластинка для визначення груп крові, фізіологічний розчин хлористого натрію, скляні палички, антирезусна стандартна сироватка, кров людини і будь-якої лабораторної тварини, стерильні скарифікатори одноразового використання, йод, спирт, ефір, вата; схеми, таблиці, кодопозитиви з теми «Захисна функція крові, та її антигенні властивості», кодоскоп (діапроектор) або ПК і мультимедійний проєктор.

Робота 1

Визначення тривалості зсідання крові

Завдання. Навчитись визначати тривалість зсідання крові за методом Бюркера. Дослідити можливість зсідання дефібринованої і декальцинованої крові.

Методика. Тривалість зсідання крові за методом Бюркера визначається реєстрацією швидкості утворення фібринових ниток. Для цього краплю крові з пальця наносять на годинникове скло або предметне скло з лункою, яке кладуть на долоню (для підтримання температури тіла). Через кожні 30 с скляною паличкою з витягнутим кінцем пробують «піднімати» досліджувану краплю крові. Поява першої ниточки фібрину на кінці палички свідчатиме про початок зсідання крові. Час від моменту взяття крові з пальця до появи ниток фібрину і становитиме шукану тривалість зсідання крові. Норма зсідання крові визначена з допомогою даного методу — 2–5 хв.

Робота 2

Визначення груп крові

Завдання. Оволодіти методикою визначення груп крові. Ознайомитись з умовами, яких належать дотримуватись для отримання достовірного результату.

Методика. Пластинку для визначення груп крові кладуть на білий аркуш паперу і наносять на нього, не змішуючи, по краплі стандартних сироваток I, II, III груп крові, які містять в собі відповідно $\alpha\beta$, β і α -аглютиніни. З проколу пальця стерильною скляною паличкою переносять невелику кількість крові в краплю сироватки I групи, другою чистою паличкою таку ж кількість крові переносять в сироватку II групи і, нарешті, третьою паличкою переносять кров в сироватку III групи. Кожен раз кров старанно змішують з краплею сироватки. Періодично похитуючи пластинку, спостерігають за реакцією аглютинації. Через 5 хвилин читають результат. При відсутності аглютинації крапля залишається рівномірно забарвленою, при наявності аглютинації в краплі з'являються дрібні крупинки червоного кольору, що поступово збільшуються на світліючому фоні.

Для попередження «холодової аглютинації» до краплі сироватки з кров'ю вносять краплю фізіологічного розчину кімнатної температури. При визначенні груп крові слід уникати помилок, які можуть виникати у випадку проведення дослідження при високій температурі навколишнього повітря, а також при надлишку крові: коли взято велику кількість крові і малу сироватки.



Модуль 4

ФІЗІОЛОГІЯ СИСТЕМИ КРОВООБІГУ

Важливою умовою підтримання постійності внутрішнього середовища є забезпечення руху крові по кровеносних судинах великого і малого кіл кровообігу. Завдяки руху крові стає можливою реалізація усіх тих функцій, які притаманні крові. Окрім серця і кровеносних судин до системи кровообігу входять і лімфатичні судини. Система кровообігу разом з системою крові утворюють транспортну систему організму.

Дослідження функціонального стану транспортної системи організму широко використовується в медичній практиці для діагностування захворювань людини, в спортивній практиці для тестування функціональної підготовленості спортсменів та цілеспрямованого регулювання тренувальних навантажень.

Тема 1. Фізіологічні властивості серцевого м'яза і показники роботи серця

1.1. Логіка викладу і засвоєння матеріалу

1. Анатомо-фізіологічна характеристика серця. Оболонки і порожнини серця, роль клапанного апарату серця.
2. Серцевий цикл. Характеристика фаз серцевого циклу.
3. Фізіологічні властивості серцевого м'яза. Зміни збудливості в процесі діяльності серця. Характеристика екстрасистоли і компенсаторної паузи. Фізіологічна суть синусової аритмії спортсменів. Збудливість, скоротливість, автоматія і провідність серця. Провідна система серця.
4. Прямі і непрямі показники роботи серця. Частота серцевих скорочень, систолічний, залишковий і хвилинний об'єми крові. Серцевий індекс. Використання непрямих показників роботи серця в практиці фізичного виховання і спорту.

5. Зовнішні прояви серцевих скорочень. Верхівковий поштовх. Характеристика тонів серця. Фонокардіографія. Артеріальний пульс. Серцевий ритм. Венозний та об'ємний пульс.
6. Біоелектрична активність серця. Аналіз електрокардіограми (ЕКГ). Особливості ЕКГ спортсменів. Використання основних теоретичних положень з питань зовнішніх проявів серцевої діяльності в практиці фізичного виховання та спорту.

1.2. В результаті вивчення матеріалу теми Ви повинні знати:

- морфофункціональні особливості серця, фази серцевого циклу;
- фізіологічні властивості серцевого м'язу, його біоелектричну активність;
- нормативні величини показників роботи серця;
- характерні особливості зовнішніх проявів серцевої діяльності;
- зміни непрямих показників роботи серця в умовах стресу і виконання напруженої фізичної роботи.

вміти:

- тестувати частоту серцевих скорочень, ритмічність роботи серця;
- визначати направленість і вираженість змін частоти і сили серцевих скорочень при затримці дихання і натуженні;
- вислуховувати тони серця і їх характеризувати;
- оцінювати функціональний стан серцевого м'язу за тестом з дозованим навантаженням;
- вміти реєструвати біоелектричну активність серця і характеризувати електрокардіограму;
- використовувати знання матеріалу теми в практиці фізичного виховання дітей та підлітків для збереження та зміцнення їх здоров'я.

1.3. Основні терміни, поняття і скорочення

серце; ендокард; міокард; епікард; клапани серця: півмісяцевий; атріо-вентрикулярний; фази серцевого циклу: систола, діастола; частота серцевих скорочень (ЧСС); властивості міокарда: автоматія, збудливість, провідність; передсерця серця; шлуночки серця; систолічний обсяг крові (СОК); хвилинний обсяг кровообігу (ХОК); верхівковий поштовх; тони серця: систолічний; діастолічний; пульс: артеріальний, венозний, об'ємний; електрокардіограма (ЕКГ); серцевий індекс (СІ); коефіцієнт витривалості (КВ); закон серця (закон Старлінга); закон «все або нічого».

1.4. Теоретичні відомості

1. Анатомо-фізіологічна характеристика серця

Серце — порожнистий конусоподібний м'язовий орган, розташований в грудній клітці між другим і п'ятим міжреберними проміжками. Його стінки мають трьохшарову структуру. *Внутрішній шар* — **ендокард** — вистилає порожнину серця зсередини, а його вирости утворюють клапани серця. *Середній шар* — **міокард** — представлений особливою м'язовою тканиною. За своїми структурними і функціональними особливостями вона займає проміжне місце між поперечносмугастими (скелетними) і гладенькими м'язами. До складу м'язової тканини міокарда входить два типи волокон — волокна робочого міокарда передсердь і шлуночків, які виконують насосну функцію, і волокна провідної системи серця, яка забезпечує генерацію збудження і його проведення до клітин робочого міокарда. В міокарді розрізняють два відділи: менш виражену мускулатуру передсердь і потужну мускулатуру шлуночків. Товщина правого шлуночка — 5–8 мм, лівого — 15–20 мм, передсердь — 2–3 мм.

Зовнішня оболонка серця (епікард) покриває його поверхню і найближчі до нього відрізки аорти, легеневої артерії і порожнистих вен. Епікард разом з зовнішнім листком серозної оболонки утворює білясерцеву сумку (перикард), заповнену серозною рідиною. Вона зменшує тертя між листками перикарда при серцевих скороченнях і оберігає серце від надмірного розтягання кров'ю при діастолі.

Поздовжньою перегородкою серце людини розділене на дві нез'єднані між собою половини — праву і ліву. У правій частині серця тече венозна кров, у лівій — артеріальна; у верхній частині серця знаходиться ліве і праве передсердя, в нижній частині — правий і лівий шлуночки. Таким чином, серце людини має чотири камери: два передсердя, два шлуночки. Кожне передсердя з'єднується з відповідним шлуночком з допомогою передсердно-шлуночкового отвору, який закривається стулковими *атріо-вентрикулярними* (лат. *atrium* — передсердя, *ventriculus* — шлуночок) клапанами. Клапан між правим передсердям і правим шлуночком має три стулки — трьохстулковий, між лівим передсердям і лівим шлуночком дві стулки — двостулковий або мітральний. За допомогою сухожильних ниток краї стулок клапанів з'єднанні з сосочковими м'язами стінок шлуночків, що попереджує вивертання їх в бік передсердь (і попереджує зворотній рух крові до передсердь) в період систоли шлуночків. Біля отвору легеневої артерії і отвору аорти є клапани у вигляді трьох кишень, вони відкриваються в напрямку руху крові в цих судинах — це півмісяцеві клапани (рис. 4.1).

Розміри серця обумовлені об'ємом його порожнин і товщиною стінок. Ці величини, в свою чергу, залежать від розмірів тіла, віку, статі і рухової активності людини. У здорових дорослих чоловіків довжина серця близько 14 см, поперечник — 12 см, об'єм порожнин шлуночків — 250–350 мл, вага — близько 300 г. Вважається, що розміри серця відповідають в середньому розмірам складеної в кулак кисті руки даної людини. Загальний об'єм серця у чоловіків — 700–900 см³, у жінок — 500–600 см³,

у спортсменів він на 100–300 см³ більший, ніж у неспортсменів.

У серці в два рази більше капілярів, ніж в скелетних м'язах. Збагачену киснем кров серце одержує з двох коронарних артерій, що беруть початок в основі аорти. В коронарні артерії в період діастоли серця надходить близько 200–250 мл крові за 1 хвилину. При інтенсивній роботі кровопостачання серця збільшується до 1 л/хв. З серця венозна кров збирається у в'язцеву пазуху, а звідти в праве передсердя; лише незначна кількість малих вен самостійно впадає в праве передсердя або шлуночки.

2. Серцевий цикл

Робота серця характеризується безперервною ритмічною зміною скорочень (*систола*) і розслаблень (*діастола*). Передсердя виконують роль резервуара, який в період систоли шлуночків депонує кров, що надходить з вен; шлуночки виконують насосно-розподільну функцію, вони перекачують кров з венозної системи в артеріальну.

Виділяють дві фази серцевого циклу. *Перша* — скорочення шлуночків (кров під великим тиском ви-

Рис. 4.1

Будова серця (поперечний розріз): 1 — ліве передсердя; 2 — гілки лівої легеневої вени; 3 — паріетальний листок епікарда; 4 — оболонка епікарда; 5 — мітральний клапан; 6 — вісцеральний листок епікарда; 7 — міокард; 8 — ендокард; 9 — лівий шлуночок; 10 — верхівка; 11 — міжшлуночкова перетинка; 12 — правий шлуночок; 13 — трьохстулковий клапан; 14 — праве передсердя

штовхується з лівого шлуночка в аорту, а з правого — в легеневу артерію), друга — діастола шлуночків. В цей час розслаблені і передсердя, і шлуночки (табл. 4.1).

При систолі передсердь (тиск в них зростає до 5–8 мм рт. ст.) шлуночки розслаблені і венозна кров з правого передсердя переходить у правий шлуночок, а артеріальна кров з лівого передсердя — у лівий шлуночок. Скорочення шлуночків більш складніше. Спочатку скорочуються найбільш збудливі м'язові волокна, дещо пізніше — менш збудливі. Виштовхування крові із шлуночків у кровообіг відбувається лише тоді,

Таблиця 4.1

Фази серцевого циклу

Систола шлуночків — 0,33 с	Фаза напруження — 0,08 с	Фаза асинхронного скорочення — 0,05 с
	Фаза вигнання — 0,25 с	Фаза ізометричного скорочення — 0,03 с
		Фаза швидкого вигнання — 0,12 с
		Фаза повільного вигнання — 0,13 с
Діастола шлуночків — 0,47 с	Протодіастолічний період — 0,04 с	
	Фаза ізометричного розслаблення — 0,08 с	
	Фаза наповнення шлуночків — 0,25 с	Фаза швидкого наповнення — 0,09 с
		Фаза повільного наповнення — 0,16 с
Фаза наповнення шлуночків, обумовлена систолою передсердя — 0,1 с		

коли тиск в правому шлуночку досягає 5–15 мм рт. ст., а в лівому — 65–75 мм рт. ст. При цьому тиск в шлуночках продовжує збільшуватись: в правому шлуночку — до 30 мм рт. ст., в лівому — до 120 мм рт. ст. (рис. 4.2 і рис. 4.3). Скоротившись, шлуночки розслаблюються і, коли тиск в них стає нижчим, ніж в аорті і легеневій артерії, відбувається закриття півмісяцевих клапанів. При зниженні тиску в шлуночках до нуля відкриваються атріо-вентрикулярні клапани, і кров з передсердь переходить в шлуночки.

Заповненню передсердь кров'ю сприяє:

1) залишкова сила, яка була надана крові попереднім скороченням серця; 2) аспірація — присмоктувальна дія грудної клітки, особливо в період вдиху; 3) зміщення атріо-вентрикулярної перетинки в напрямку до верхівки серця в період виштовхування крові з шлуночків в аорту і легеневу артерію.

Використання методу *полікардіографії* (одноразова реєстрація електричних, звукових і механічних проявів роботи серця) дозволила більш детально вивчити фазовий характер серцевої діяльності. Полікардіографією в систолі шлуночків реєструють фазу асинхронного скорочення (скорочення частини міокардіальних волокон і відсутність зміни тиску), фазу ізометричного скорочення (швидке зростання тиску без зміни об'єму шлуночків), фазу вигнання

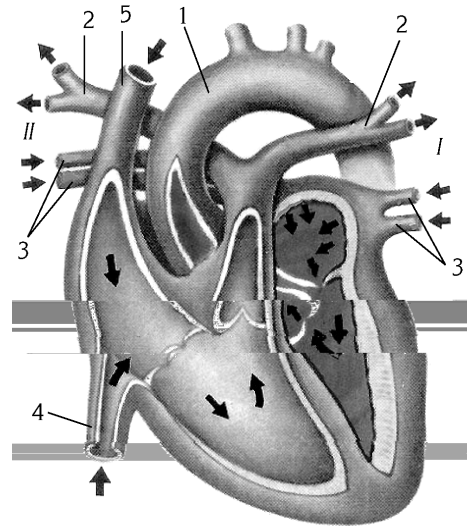


Рис. 4.2

Рух крові через серце: I — до лівої легені; II — до правої легені (стрілками показано напрямок руху крові); 1 — аорта; 2 — легеневі артерії; 3 — легеневі вени; 4 — нижня порожниста вена; 5 — верхня порожниста вена

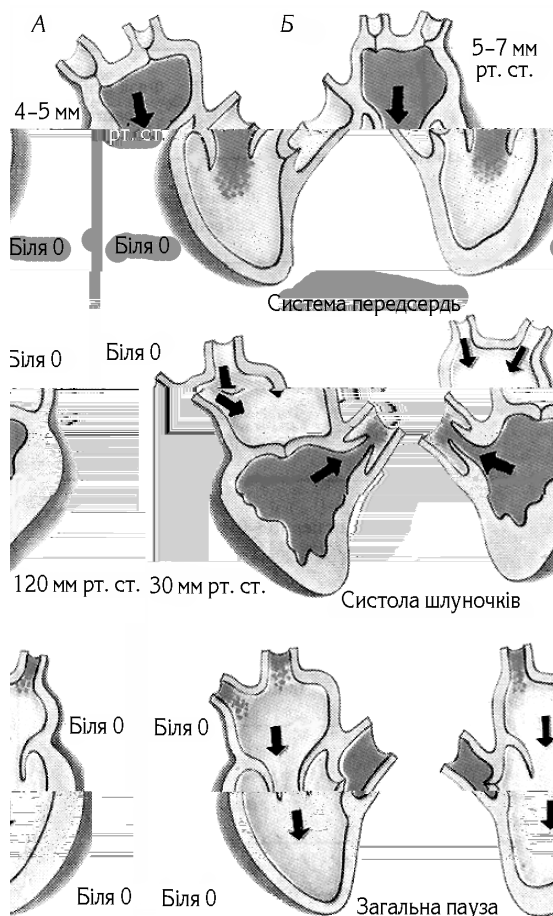


Рис. 4.3
Тиск крові в порожнинах серця в різні фази серцевого циклу: А — права половина серця; Б — ліва половина (верхні цифри — тиск в передсерцях, нижні — в шлуночках)

(виштовхування крові через відкриті півмісяцеві клапани в аорту і легеневу артерію), протодіастолічний період (розслаблення шлуночків при відкритих півмісяцевих клапанах), фазу ізометричного розслаблення (діастола шлуночків при закритих півмісяцевих і атріо-вентрикулярних клапанах) і фазу наповнення шлуночків (атріо-вентрикулярні клапани відкриваються і кров заповнює шлуночки серця).

Тривалість серцевого циклу залежить від частоти серцевих скорочень (). При ЧСС — 75 ск/хв серцевий цикл триває 0,8 с (систола передсердь 0,1 с, діастола — 0,7 с, систола шлуночків — 0,3 с, діастола шлуночків — 0,5 с, загальна діастола серця — 0,4 с).

3. Фізіологічні властивості серцевого м'яза

Для серцевого м'яза характерні такі властивості, як збудливість, скоротливість, провідність і автоматія.

Збудливість — це здатність серцевого м'яза збуджуватись при дії на нього подразника. При цьому потенціал спокою міокардіальних волокон (80–90 мВ) переходить в потенціал дії (100–120 мВ), який здатний поширюватись по серцю. Збудження охоплюються всі без винятку волокна передсердь і шлуночків, що обумовлено їх об'єднанням

в так званий функціональний синцитій. Саме тому сила серцевих скорочень не залежить від сили подразнення: серце відповідає на подразнення або збудження усіх його волокон, або ж (якщо подразник допороговий) не реагує на нього взагалі (закон Боудича — «все або нічого»). Слід зауважити, що даний закон діє лише при певних умовах, — «все» змінюється в залежності від зміни рівня обміну речовин, температури, ступеня розтягнення м'язових волокон серця, їх втоми і інших чинників.

Тривалість потенціалу дії серцевого м'яза змінюється в залежності від ЧСС: вона вкорочується при зростанні ЧСС і стає більш тривалою при сповільненні серцевого ритму. Це явище лежить в основі здатності серцевого м'яза засвоювати (відтворювати) різний ритм збуджень, що генерується в синоатріальному вузлі.

В процесі збудження міокарда його збудливість змінюється пофазно. В період збудження серцевий м'яз не відповідає на нові подразнення. Це фаза *абсолютної рефрактерності*. Вона триває стільки часу, скільки триває систола серцевого м'яза на поодинокі подразнення. При більшій частоті подразнень серцевий м'яз відповідає не на кожне з них, а лише на те, що прийде по закінченню фази рефрактерності. Таке позачергове скорочення називають *екстрасистолю*. Після екстрасистоли реєструється більш тривалий період відпочинку (компенсаторна пауза), обумовлений тим, що наступний імпульс попадає на фазу абсолютної рефрактерності міокарда. Виникнення екстрасистоли можливе внаслідок поступового відновлення збудливості міокарда після закінчення фази абсолютної рефрактерності — у фазу *відносної рефрактерності*. В цей період серцевий м'яз може відповісти збудженням і позачерговим скороченням лише на дію сильного подразника. Після фази відносної рефрактерності збудливість серця відновлюється до початкового рівня.

Завдяки тривалій рефрактерності серце не може працювати в тетанічному режимі і відповідає на подразнення лише ритмічним скороченням. Таким чином, тривалий рефрактерний період попереджує надто швидкі повторні збудження серця, забезпечуючи тим самим ефективне виконання ним нагнітальної функції.

Скоротливість — здатність збудженого серцевого м'яза скорочуватись. При цьому збільшується напруженість м'язових волокон і відбувається їх скорочення. Механізм скорочення міокардіальних волокон такий же, як і скелетних м'язів. Скорочення міофібрил серця запускається потенціалом дії, який через систему саркоплазматичного ретикулуму забезпечує проникнення кальцію в клітину з наступною взаємодією білків актину і міозину. Експериментальне видалення кальцію з м'язового волокна приводить до порушення взаємозв'язку між збудженням і скороченням: потенціал дії залишається майже незмінним, але скорочення не відбувається.

Сила скорочення м'язових волокон серця залежить від величини їх розтягнення перед початком скорочення. Ця залежність покладена в основу сформульованого Старлінгом *«закона серця»*: сила скорочення серця, а отже, величина систолічного об'єму крові тим більша, чим більше початкове розтягнення м'язових волокон кров'ю, що надходить до серця з великого і малого кіл кровообігу. Розтягнення міокардіальних волокон відбувається і при утрудненні відтоку крові від нього внаслідок зростання артеріального тиску. Ступінь розтягнення серця визначається товщиною його стінок, функціональним станом міокарда і розмірами перикарда. В звичайних умовах (при відсутності додаткового розтягнення м'язових волокон серця) зростання сили скорочень серця обумовлено трофічним (посилюючим обмін речовин в міокарді) впливом вегетативної нервової системи.

При цьому утворення необхідної для роботи серця енергії, що акумулюється в макроенергетичних сполуках АТФ і креатинфосфату, проходить переважно за рахунок аеробних процесів (40 % загального об'єму міокардіальних волокон становлять мітохондрії). В стані спокою для окислення використовується глюкоза, жирні кислоти і молочна кислота в співвідношенні (в %) 31 : 34 : 28. При цьому лівий шлуночок споживає за 1 хв близько 10 мл кисню на 100 г маси міокарда; при інтенсивній роботі споживання кисню зростає до 80–100 мл. Основна частина його використовується для окислення молочної кислоти, що сприяє підтриманню гомеостазу внутрішнього середовища.

Автоматія — це здатність серця до ритмічного скорочення при відсутності впливу на нього подразників з довкілля. Періодична самогенерація мембранного потенціалу дії обумовлена періодичністю зміни проникності мембрани для іонів натрію і калію під впливом зміни інтенсивності обміну речовин в серці. Так, ізольоване серце жаби може багато годин скорочуватись, знаходячись в фізіологічному розчині. Для підтримання роботи ізольованого серця людини необхідно пропускати через нього підігрітий до 38 °С фізіологічний розчин, збагачений поживними речовинами і киснем (або дефібриновану кров).

Провідність — здатність серцевого м'яза поширювати збудження від однієї його зони до іншої. Провідність, як і автоматія, можливі при наявності цілісної провідної системи серця.

Клітини провідної системи серця досить спеціалізовані, на відміну від м'язових волокон серця і скелетних м'язів, вони не мають поперекової смугастості, більші за розміром, мають менше міофібрил, мітохондрій, рибосом, більше саркоплазми і нервових волокон. До провідної системи серця входить синусо-атріальний вузол, розміщений в зоні впадання порожнистих вен у праве передсердя, передсердно-шлуночковий (атріо-вентрикулярний) вузол, розташований на перегородці між передсердями і шлуночками, пучок Гіса, який ділиться на дві ніжки, що спускаються до верхівки серця, розгалужуючись у вигляді волокон Пуркінє (рис. 4.4).

В здоровому серці ритмічна генерація імпульсів виникає в синусо-атріальному вузлі. Тому його називають *водієм ритму першого порядку*. Автоматією володіють і інші частини провідної системи серця. Проте в напрямку до верхівки серця ця їх здатність знижується — закон знижувального градієнта автоматії. Оскільки в атріо-вентрикулярному

Рис. 4.4

Провідна система серця людини (стрілками показано напрямки розповсюдження збудження): 1 — синусний вузол; 2 — ніжки пучка Гіса; 3 — атріо-вентрикулярний вузол; 4 — пучок Гіса

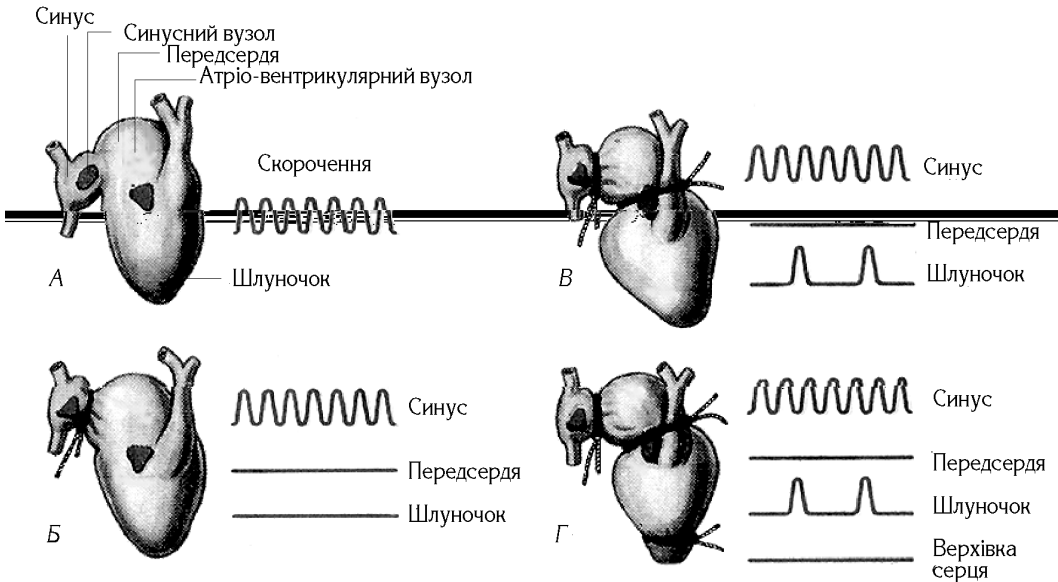


Рис. 4.5

Виявлення рівня автоматії різних відділів серця (за Станіусом): А — відділи серця жаби; Б — накладення I лігатури; В — накладення II лігатури; Г — накладення III лігатури

взулі швидкість проведення збудження сильно сповільнюється, передсердя встигають закінчити скорочення раніш, ніж розпочнеться систола шлуночків. Таким чином, неоднакова швидкість проходження збудження по провідній системі серця обумовлює послідовність скорочень його передсердь і шлуночків.

Для вивчення провідної системи серця користуються методом перев'язок різних його відділів (досліди англійського вченого Станіуса). Якщо серце жаби перев'язати ниткою так, щоб розділити синусо-атріальний і атріо-вентрикулярні вузли, то нижня частина його, де знаходиться атріо-вентрикулярний вузол, буде працювати в ритмі значно нижчому від ритму, який генерує синусо-атріальний вузол. Цей ритм буде генеруватися атріо-вентрикулярним вузлом — *водієм ритму другого порядку* (рис. 4.5).

4. Прямі і непрямі показники роботи серця

Для характеристики функції серця як помпи, що нагнітає кров в артерії, користуються рядом показників. Умовно їх можна розділити на прямі і непрямі.

Прямі показники роботи серця. Прямим показником роботи серця є його зовнішня, або механічна робота. Зовнішня робота лівого шлуночка визначається добутком середнього тиску крові (P) в шлуночку на систолічний об'єм (Q). Чим більша швидкість

руху крові (V), тим більша кінетична енергія її руху ($mV^2/2$). Виходячи з цього, більш повна формула механічної роботи серця (W) матиме вигляд:

$$W = P \cdot Q + \frac{mV^2}{2},$$

де: Q — систолічний об'єм крові (мл); P — середній тиск крові в аорті (мм рт. ст.); m — маса крові (г); V — швидкість руху крові (м/с).

В стані спокою середній показник роботи серця людини становить 12 кгм/хв, а при виконанні інтенсивної фізичної роботи — 60–70 кгм/хв. Зростання частоти серцевих скорочень призводить до збільшення числа періодів ізометричної наруги, які не включаються в показник зовнішньої роботи, хоч і пов'язані з додатковим споживанням кисню. Звідси при даному артеріальному тиску ефективність роботи серця при інших рівних умовах буде тим більша, чим менша частота серцевих скорочень.

Непрямі показники роботи серця. Непрямими показниками роботи серця є показники частоти серцевих скорочень, систолічного об'єму крові, хвилинного об'єму кровообігу. Ці показники функціонального стану серця широко використовуються в спортивній практиці для непрямого визначення інтенсивності виконаної роботи (рівня енерговитрат), загальної реакції організму на дану роботу, рівня загальної і спеціальної підготовленості спортсменів.

Частота серцевих скорочень (ЧСС). При відсутності порушень структури кровоносних судин артеріальний пульс відтворює величину показника ЧСС. При деяких захворюваннях серця і кровоносних судин артеріальний пульс не відповідає ЧСС. Наприклад, значно збільшена швидкість поширення пульсової хвилі у гіпертоніків. В цих випадках для визначення показника ЧСС підраховується число серцевих поштовхів. Більш точно ЧСС визначається шляхом реєстрації електрокардіограми.

ЧСС змінюється під впливом дії найрізноманітніших чинників — емоцій, фізичних і хімічних подразників доквілля, м'язової і розумової праці. Висока інформативність і значна простота визначення ЧСС обумовили широке використання цього показника в спортивній практиці для визначення рівня адаптації системи кровообігу до умов м'язової діяльності.

Величина ЧСС в стані спокою залежить від віку, статі, розмірів тіла, рівня рухової активності людини. У дорослих людей ЧСС в середньому становить 65–75 скорочень за хвилину (ск/хв). ЧСС менше 60 ск/хв називається *брадикардією*, а більше 90 — *тахікардією*. У жінок ЧСС дещо більша ніж у чоловіків. Зростає ЧСС при збільшенні температури оточуючого повітря, при тривалій дії на організм сильних звукових подразників, при емоціях (страх, гнів, радість та ін.). Підвищення температури тіла на 1 °С веде до збільшення ЧСС на 4–10 ск/хв. ЧСС залежить від положення тіла: у положенні сидячи вона на 10 %, а в положенні стоячи — на 20 % більша, ніж у положенні лежачи.

Існують добові коливання ЧСС: найменша частота пульсу о 5–6 годині ранку, а найбільша — в післяобідню пору. Рефлекторне сповільнення серцевих скорочень спостерігається

при натисканні на очні яблука (рефлекс Даніні-Ашнера), повна зупинка серця — при подразненні (удар) епігастріальної ділянки (рис. 4.6). Проте найбільш суттєво змінюється ЧСС у зв'язку з виконанням інтенсивної фізичної роботи.

Систолічний об'єм крові (СОК). Об'єм крові, який знаходиться у шлуночку в кінці діастоли, дорівнює діастолічній ємкості шлуночка. Він включає в себе три фракції. Перша з них відповідає систолічному об'єму крові — це кількість крові, яка виштовхується лівим шлуночком в аорту за одне скорочення. Середня величина СОК в стані спокою — 60–80 мл. Кров, що залишається в шлуночку після його скорочення, складає *залишковий об'єм* (разом із резервним об'ємом ці дві фракції становлять так звану *резидуальну ємність* шлуночка). Резервний об'єм крові забезпечує збільшення систолічного об'єму при виконанні фізичної роботи, залишковий — залишається в шлуночку навіть при максимальних скороченнях серця. Резидуальна ємність шлуночка становить близько 60 % від його діастолічної ємкості. Кров резидуальної ємкості шлуночків бере безпосередньо участь у терміновій адаптації до виконуваного навантаження і обумовлює можливість максимального зростання хвилинного об'єму кровообігу за рахунок систолічного об'єму крові.

Хвилинний об'єм кровообігу (ХОК) — кількість крові, що виштовхується правим або лівим шлуночком в систему кровообігу за 1 хв. Він визначається як добуток ЧСС і СОК. В стані спокою величина ХОК складає 3–5 л/хв.

Показники систолічного і хвилинного об'ємів крові досить індивідуальні і в умовах спокою залежать від багатьох чинників, зокрема антропометричних характеристик тіла людини. Для врахування впливу цього чинника на основні показники гемодинаміки розраховують так званий *серцевий індекс* — відношення ХОК до площі поверхні тіла.

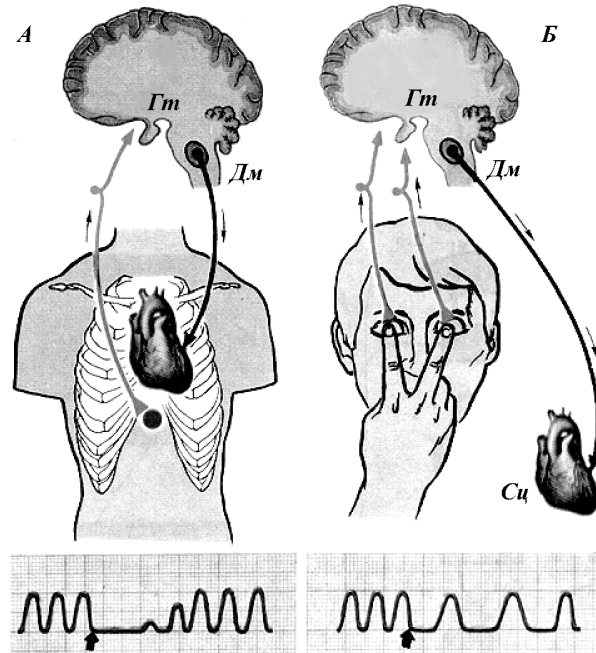


Рис. 4.6

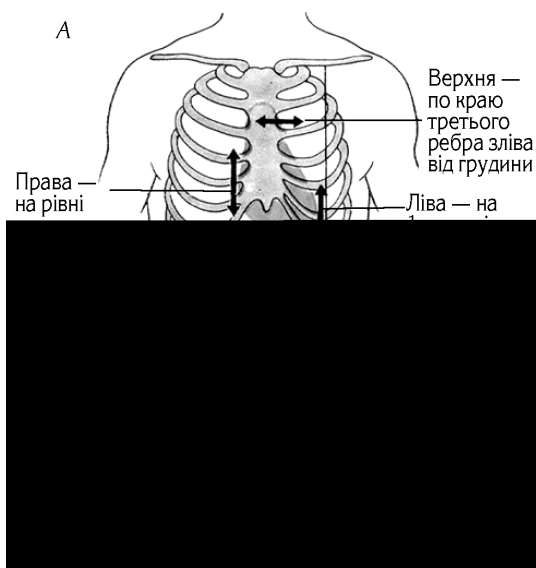
Рефлекси з інтерорецепторів на серце та їх графічне відображення: А — рефлекс Гольца; Б — рефлекс Даніні-Ашнера (подразнення — тиск на очні яблука, реакція — рефлекторне сповільнення серцевих скорочень); Гт — гіпоталамус; ДМ — довгастий мозок; Сц — серце

Використовуючи серцевий індекс для характеристики кровообігу, Н. Н. Савицький (1974) виділив три типи кровообігу: гіпо-, еу- і гіперкінетичний. При еукінетичному типі кровообігу серцевий індекс становить 2,75–3,5 л/хв на 1 м² площі поверхні тіла, при гіперкінетичному — більше 3,5, а при гіпокінетичному — нижче 2,75 (А. Г. Дембо та ін., 1986). Особи з гіперкінетичним типом кровообігу володіють більш високою активністю симпатно-адреналової системи (В. І. Маколкін та ін., 1976, Т. А. Сорокіна, 1972), високою економічністю роботи серця і більш високою працездатністю (А. А. Дезинський та ін., 1984).

5. Зовнішні прояви серцевих скорочень

Про функціональний стан серця людини судять, вивчаючи зовнішні прояви його роботи: верхівковий поштовх, тони серця, артеріальний, венозний і об'ємний пульс, біоелектрична активність. Показники зовнішніх проявів серцевої діяльності легко реєструються з допомогою відповідного обладнання з поверхні тіла людини без порушення цілісності його органів і тканин.

Верхівковий поштовх. В момент скорочення серця в п'ятому міжребер'ї на 1–1,5 см до середини від лівої соскової або середньо — ключичної лінії легко можна пропальпувати (відчути пальцями рук) або навіть і побачити верхівковий поштовх. Його виникнення обумовлене ритмічною (згідно з фазами серцевого циклу) зміною форми, об'єму і просторового розміщення серця в цілому і переміщенням верхівки серця зокрема (рис. 4.7). Крива лінія запису верхівкового поштовху з допомогою кардіографа називається *кардіограмою*.



Вона характеризує співвідношення у часі періодів скорочення і розслаблення лівого шлуночка.

Тони серця. Звукові явища, що виникають при роботі серця, називають тонами серця. При вислуховуванні (аускультатції) серця за допомогою фонендоскопа розрізняють два тони: *перший* — систолічний — низький, протяжний і глухий, *другий* — діастолічний — більш високий, короткий, дзвінкий. Перший тон виникає внаслідок коливань атріо-вентрикулярних клапанів і прикріплених до них сухожильних ниток в період систоли шлуночків, другий тон обумовлений закриттям півмісяцевих клапанів.

Рис. 4.7
Межі серця (А); проекція серця на передню поверхню тіла при положенні стоячи і при фізичному навантаженні (Б)

Крім вислуховування, звукові явища реєструють з допомогою фонокардіографа. Це дає можливість досліджувати звуки серця в діапазоні частот, недоступних слуховому сприйняттю. Фонокардіографічні дослідження показують наявність ще двох тонів серця — третього і четвертого. *Третій тон* обумовлений коливаннями стінок серця в період наповнення кров'ю шлуночків, *четвертий* — передує першому тону і зв'язаний з скороченням передсердь (рис. 4.8).

Артеріальний пульс — чергуючі коливання артеріальної стінки, обумовлені систолічним зростанням тиску в артерії. Пульсацію легко можна пропальпувати на тих артеріях, які лежать на кістці (променева артерія, поверхнева скронева, тильна артерія стопи та ін.). Лікарі частіше досліджують пульс на променевої артерії, притискаючи її до променевої кістки, що знаходиться під нею.

Пульсова хвиля виникає в аорті в момент виштовхування крові зі шлуночків, коли тиск в аорті різко зростає, а її стінка внаслідок цього розтягується. Швидкість поширення пульсової хвилі знаходиться в прямій залежності від напруги стінки артерії і її товщини і в зворотній залежності від діаметра артерії. В артеріях м'язового типу вона більша, ніж в артеріях еластичного типу. Швидкість поширення пульсової хвилі (5–8 м/с) не залежить від швидкості руху крові (0,3–0,5 м/с). З віком, внаслідок зниження еластичності судин, швидкість поширення пульсової хвилі зростає.

Пульс характеризується *частотою* — кількістю ударів пульсу за хвилину (вона рівна ЧСС), *швидкістю* — тривалістю пульсової хвилі, *величиною* — висота амплітуди коливань стінки судини, *напругою* — сила, з якою необхідно стиснути артерію до зникнення пульсу, *ритмом* — тривалістю інтервалів часу між пульсовими хвилями. Пульс вважається *ритмічним*, якщо кількість скорочень серця за 10 с протягом 1 хв не відрізняється більш, ніж на одне скорочення від кожного попереднього вимірювання. Якщо ж коливання частоти пульсу за вказаний проміжок часу більші, то такий пульс називають *аритмічним*.

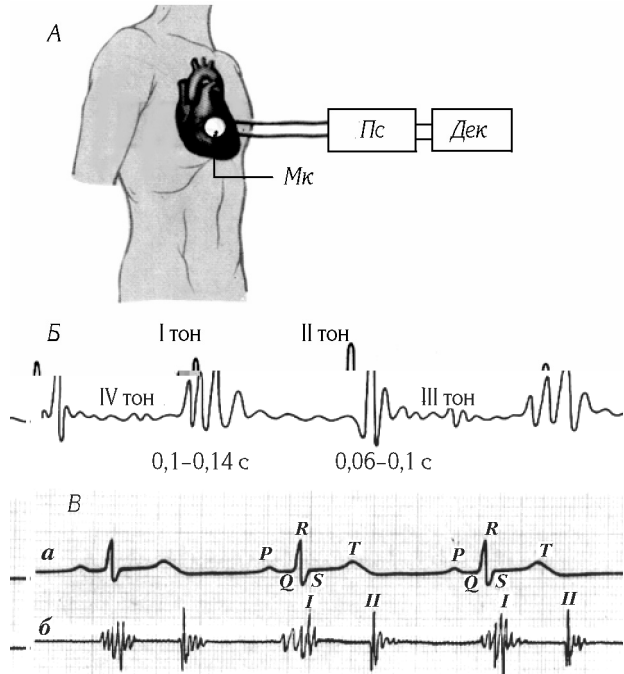


Рис. 4.8

Фонокардіографія (ФКГ): А — блок-схема відведень ФКГ; Б — ФКГ (схема); В — одночасна реєстрація ЕКГ (а) і ФКГ (б). Мк — мікрофон, Дек — двохканальний електрокардіограф, Пс — підсилювач

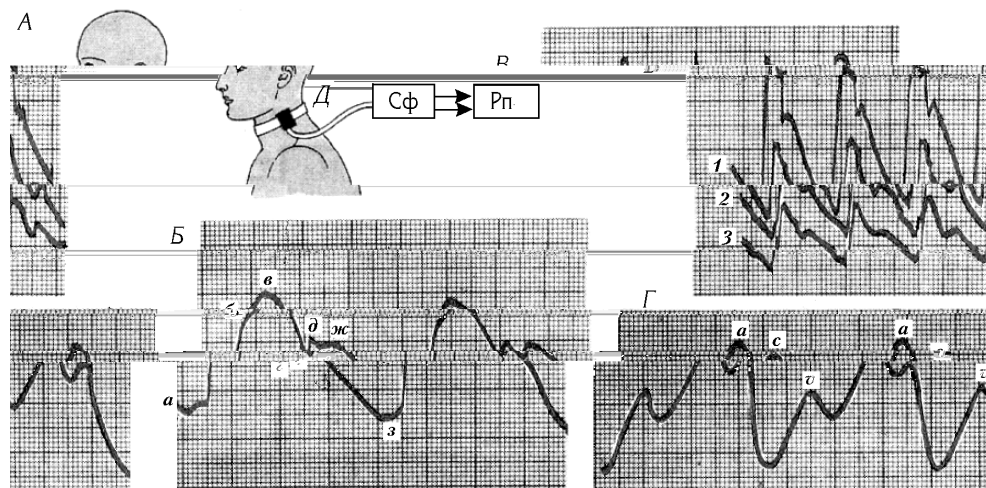


Рис. 4.9

Ппульсографія: А — схема реєстрації пульсу на сонній артерії (Д — онкометричний датчик, Сф — сфігмограф, Рп — реєструючий пристрій); Б — артеріальний пульс (сфігмограма) сонної артерії: авв (анакрота) — підвищення тиску під час систоли, вг — зниження тиску в кінці систоли, д — закриття півмісяцевих клапанів, ежз (катакрота) — зниження тиску під час діастоли; В — сфігмограми сонної (1), променевої (2), пальцевої (3) артерій, які записані синхронно; Г — флебограма (а — систола передсердь, с — систола шлуночків, в — закінчення діастоли передсердь)

Для детального аналізу окремої пульсової хвилі проводять її графічну реєстрацію на папері за допомогою сфігмографа. На пульсовій кривій (сфігмограмі) аорти і великих артерій розрізняють анакротичний підйом (систолічне зростання тиску в судинах), катакротичний спуск (зниження тиску в судинах по закінченню систоли шлуночків), повторний або дикротичний підйом, обумовлений зворотним рухом крові до шлуночків після закриття півмісячних клапанів (рис. 4.9, А, Б, В).

Венозний пульс. Пульс виникає також і в великих венах, що впадають в серце. Його походження тут обумовлено періодичним закриттям і відкриттям передсердних м'язових клапанів. Графічна реєстрація коливань яремної вени (флебограма) є важливим показником діяльності правого передсердя (рис. 4.9, Г).

Об'ємний пульс. Незначні коливання об'єму органу в звичайних умовах обумовлені збільшенням течії крові в ньому в період систоли і зменшенням — в період діастоли. Графічна реєстрація коливань об'єму органу (наприклад, руки) проводиться з допомогою спеціального приладу — плетизмографа. Аналіз плетизмограм показав, що коливання об'єму органів зв'язані не лише з роботою серця, а і з дихальними рухами грудної клітки.

Ці коливання значно збільшуються при емоціях, змінах тону судин і температури тіла, виконанні м'язової роботи.

6. Біоелектрична активність серця

Біопотенціали серця, що виникають в сино-атріальному вузлі, поширюються на сусідні тканини і досягають поверхні тіла. Звідси ці біоструми серця можна реєструвати з допомогою електрокардіографа, приєднавши до різних ділянок тіла людини спеціальні електроди. Реєстрація *електрокардіограми* () проводиться в трьох стандартних відведеннях від кінцівок (*перше відведення* — права рука, ліва рука, *друге* — права рука, ліва

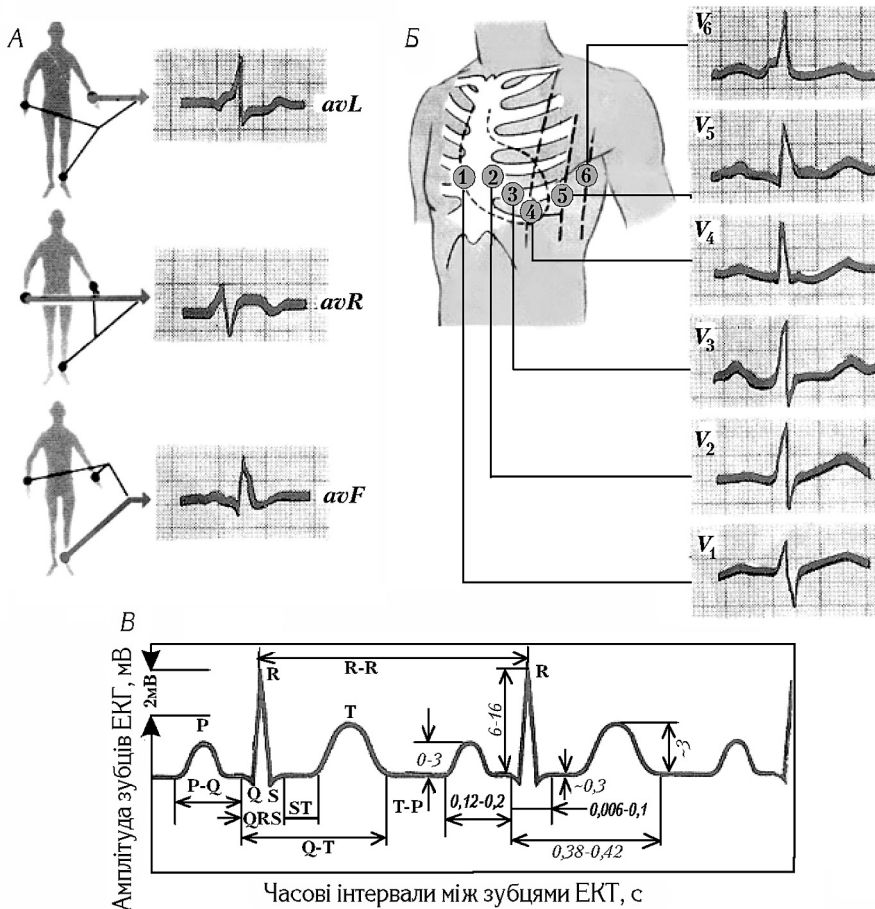


Рис. 4.10

Електрокардіографія (уніполярні відведення): А — відведення від кінцівок; Б — грудні відведення; В — ЕКГ (схема)

нога, *третє* — ліва рука, ліва нога), трьох підсилених однополюсних відведень з кінцівок на вдиху і семи однополюсних грудних відведень (рис. 4.10). Звичайно, в залежності від точок відведення біопотенціалів серця вольтаж її зубців ЕКГ буде різним. Це обумовлено несиметричністю положення серця в грудній клітці і своєрідністю форми тіла людини.

Для реєстрації ЕКГ на віддалі (у спортсмена в період тренувань, у космонавтів в час космічного польоту) використовують телеелектрокардіограф. Прикріплені до тіла досліджуваного електроди від електрокардіографа з'єднуються з радіопередавачем, який передає сигнали в навколишній простір. Ці сигнали приймаються радіоприймачем, передаються на підсилювач і записуються у вигляді телеелектрокардіограми.

При аналізі ЕКГ визначають висоту зубців у мілівольтах, тривалість інтервалів між ними в долях секунди, напрямок і форму зубців. Висота зубців характеризує збудливість міокарда, тривалість зубців і інтервалів між ними — швидкість проведення імпульсів у серці. В кожному серцевому циклі розрізняють п'ять зубців (*P*, *Q*, *R*, *S*, *T*) і чотири інтервали (*P-Q*, *S-T*, *T-P*, *Q-T*). Зубець *P* характеризує виникнення і поширення збудження в передсердях, зубець *Q* — збудження міжшлуночкової перегородки і внутрішніх шарів міокарда шлуночків. Зубець *R* відповідає періоду збудження обох шлуночків, зубець *S* — завершенню поширення збудження в шлуночках. Зубець *T* обумовлює початок відновних процесів в міокарді після збудження (фаза реполяризації в шлуночках). Комплекс зубців *QRS* відображає швидкість поширення збудження по міокарду шлуночків. Передсердношлуночковий інтервал *P-Q* вказує на швидкість поширення збудження від синоатріального вузла до шлуночків і являє собою період проходження імпульсу через атріо-вентрикулярний вузол; інтервал *S-T* є свідченням швидкості поширення збудження по верхівці міокарда шлуночків; інтервал *T-P* відповідає загальній паузі (відсутність різниці потенціалів у серці). Інтервал *Q-T* відображає весь період збудження шлуночків.

За показниками ЕКГ оцінюють автоматію, збудливість і провідність серцевого м'яза. Електрокардіографія широко використовується в спортивній фізіології для детального аналізу серцевого ритму, для діагностики порушень роботи серця і оцінки його функціонального стану.

Виконання фізичних навантажень призводить до вкорочення серцевого циклу і змін ЕКГ. Зубець *P* при цьому збільшується, а вольтаж зубців *QRS* дещо знижується, часто спостерігається зменшення інтервалів *P-Q* і *S-T* нижче ізолінії. Ці зміни ЕКГ при виконанні фізичної роботи обумовлені посиленням впливу на серце симпатичних нервів, які активізують енергетичні процеси в міокарді.

Для оцінки ефективності адаптації серцево-судинної системи до фізичних навантажень у спортсменів фізіологи часто використовують метод варіаційної пульсографії, розроблений В. В. Парінім і Р. М. Баєвським. Суть методу полягає в розрахунку повторюваності всіх інтервалів *R-R* 100 циклів ЕКГ і складанні варіаційних кривих. Чим швидше варіаційна крива повертається до вихідної форми, тим вищі адаптаційні можливості системи кровообігу досліджуваного.

1.5. Практичні завдання

Матеріальне забезпечення заняття: стетофонендоскоп, таблиці, на яких показані точки анатомічної і акустичної проекції клапанів серця на передню стінку грудної клітки, електрокардіограф, кушетка, 5 % розчин хлориду натрію, марлеві серветки, секундомір, кодоскоп (діапроектор), кодопозитиви (діапозитиви) або ПК і мультимедійний проєктор.

Робота 1

Визначення частоти пульсу і тривалості серцевого циклу

Завдання. Засвоїти навик пальпаторного підрахунку пульсу. Оволодіти методикою визначення тривалості серцевого циклу. Дослідити направленість змін тривалості серцевого циклу у зв'язку з виконанням фізичного навантаження.

Методика.

1. Студенти групи діляться на бригади по двоє і підраховують один у одного частоту пульсу. Пульс можна виявити лише на тих артеріях, які розташовані поверхнево і лежать над твердими тканинами — кістками, до яких їх можна притиснути. Цим вимогам відповідає променева артерія (у нижній частині передпліччя), скронева артерія, тильна артерія стопи і деякі інші. Пульс слід знаходити другим, третім і четвертим пальцями, прикладаючи їх разом на променеву артерію лівої руки і несильно притискуючи до нижче розташованої променевої кістки. Пульс рахують за 10 секунд з наступним перерахунком за 1 хв (отриману частоту пульсу за 10 с множать на 6). Для визначення тривалості серцевого циклу необхідно 60 с (кількість секунд в хвилині) поділити на ЧСС за 1 хв.

Після того як виміряно пульс в стані спокою, досліджуваному пропонують виконати дозоване фізичне навантаження під ритм метронома (20 глибоких присідань за 30 с). Протягом перших 10 с після навантаження пульс вимірюють вдруге. Визначають процент приросту ЧСС у зв'язку з виконанням фізичного навантаження. Для цього складають пропорцію: ЧСС в стані спокою приймають за 100 %, а різницю у величині ЧСС безпосередньо після навантаження і ЧСС в стані спокою — за x .

При дослідженні пульсу звертають увагу на його ритмічність (однаковість показників пульсу, виміряного по 10-секундних інтервалах протягом однієї хвилини). Пульс вважається ритмічним, якщо відхилення його величини, визначене за 10-секундними інтервалами протягом 1 хв, не перевищує одного удару за 10 с.

2. Пульсотахометр складається з фотоелектричного датчика, на якому є освітлювальна лампочка і фотоелемент. У проміжок між лампочкою і фотоелементом вміщується палець досліджуваного. Пальцевий датчик має знаходитись на першій фаланзі пальця так, щоб ніготь був звернений до лампочки.

Визначення частоти пульсу проводять в стані спокою і після 20 присідань за 30 с. Порівнюють отримані показники пульсу, визначені пальпаторним методом і за допомогою пульсотахометра.

Протокольна таблиця змін тривалості серцевого циклу у зв'язку з виконанням фізичного навантаження

Досліджувані показники	Спокій	Після дозованого фізичного навантаження
1. Частота серцевих скорочень (ЧСС), ск/хв 2. Тривалість серцевого циклу, с 3. Рівень приросту ЧСС, % 4. Ритмічність пульсу (аритмічність)		

Отримані результати заносять в протокольну таблицю, аналізують і роблять висновки про відповідність досліджуваних показників фізіологічним нормам, про рівень фізичної підготовленості досліджуваних. Для більш об'єктивної оцінки функціонального стану серцево-судинної системи досліджуваного, його загального фізичного стану, звичайно, слід використати інші непрямі показники роботи серця — систолічний і хвилинний об'єми крові, коефіцієнт витривалості, серцевий індекс та ін.

Робота 2

Дослідження змін ЧСС в умовах затримки дихання і натуження

Завдання. Вивчати направленість і вираженість змін частоти і сили серцевих скорочень при затримці дихання на видиху з одночасним натуженням.

Методика. Досліджуваного підключають до електрокардіографа. Спочатку записують ЕКГ в стані спокою, тоді, вдруге, в час натуження на видиху. Для цього досліджуваному пропонують на повнім видиху максимально напружити грудні м'язи і м'язи живота. До і в час натуження з допомогою фонендоскопа прослуховують серцеві тони, пальпаторно визначають частоту, напругу (сила, з якою необхідно стиснути артерію до зникнення пульсу) і ритмічність пульсу — тривалість інтервалів часу між пульсовими хвилями.

В умовах натуження внаслідок значного зростання внутрішньогрудного тиску, серцеві тони майже не прослуховуються, пульс не фіксується. Проте електрокардіографія вказує на те, що серце працює, але настільки слабо, що визначити його роботу на слух і пальпаторно майже неможливо.

Робота 3

Вислуховування тонів серця

Завдання. Оволодіти методикою вислуховування (аускультатції) тонів серця людини.

Методика. Користуючись таблицею або малюнком (рис. 4.6), вивчають розміщення і акустичні проекції клапанів серця на грудну клітку. Місцем найкращого вислуховування двостулкового клапана є зона серцевого удару (п'яте міжребер'я зліва, на 1 см до

середини від середньоключичної лінії), трьохстулкового — нижній кінець грудини в зоні прикріплення шавлевидного відростку, клапанів аорти — другий правий міжреберний проміжок біля краю грудини, клапанів легеневої артерії — другий лівий міжреберний проміжок на 1 см зліва від краю грудини.

При характеристиці тонів серця звертають увагу на їх висоту і тривалість, а також на тривалість проміжку часу між систолічним і діастолічним тонами.

Робота 4

Електрокардіографія

Завдання. Познайомитись з технікою реєстрації біоелектричної активності серця; оволодіти методикою аналізу електрокардіограми (ЕКГ). Дослідити особливості зміни ЕКГ при виконанні фізичного навантаження.

Методика. Студенти знайомляться з будовою електрокардіографа, з правилами закріплення електродів на руках і ногах. З групи студентів виділяють досліджуваного, якому пропонують п'ять хвилин відпочити, лежачи на кушетці. Електроди накладають на нижні третини передпліч і гомілок (електрод на правій нозі служить для заземлення тіла).

Записують ЕКГ в першому (права рука — ліва рука), другому (права рука — ліва нога) і третьому (ліва рука — ліва нога) відведеннях. Вдруге ЕКГ фіксують після виконання досліджуваним фізичної роботи (20 присідань за 30 с).

ЕКГ вирізати, вклеїти в зошит і розшифрувати: визначити ЧСС, серцевий ритм, тривалість серцевого циклу, тривалість інтервалів, величину і форму зубців, систолічний показник (*СП*) за формулою:

$$СП = Q - \frac{E}{R} - R \cdot 100 \%$$

Для визначення ЧСС необхідно 60 с поділити на тривалість серцевого циклу. Для визначення серцевого ритму необхідно підрахувати тривалість десяти інтервалів *R–R*. Якщо вона в кожному з десяти вимірів однакова, то робота серця вважається ритмічною. Якщо віддаль вказаних інтервалів в різних циклах різна — робота серця аритмічна.

Середні показники зубців і інтервалів ЕКГ: висота зубця *P* — 0,05–0,3 мВ, вольтаж зубця *R* (оцінюється як сума зубців *R* в трьох стандартних відведеннях): до 1,5 мВ — малий вольтаж, 1,6–2,5 мВ — середній, 2,6–3,0 мВ — вище середнього, 3,1–3,5 мВ — великий, 3,6 мВ і більше — дуже великий. Висота зубця *T* — 0,25–0,5 мВ. Тривалість інтервалів при ЧСС 75 ск/хв: *PQ* — 0,16 с, *QRS* — 0,07 с, *ST* — 0,35 с, *R–R* — 0,8 с, Норма СП — 40 %.

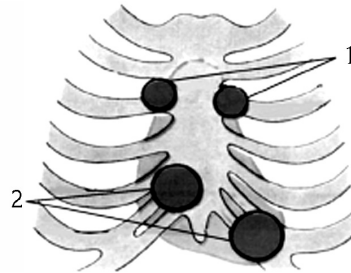


Рис. 4.11

Проекція точок прослуховування тонів серця: 1 — область прослуховування I тону; 2 — область прослуховування II тону

Протокольна таблиця змін ЕКГ обстежуваного у зв'язку з виконанням фізичного навантаження

Показники ЕКГ	Спокій			Після навантаження		
	Відведення			Відведення		
	I	II	III	I	II	III
Напруга/висота (мВ): P R T						
Тривалість інтервалів, с: P-Q Q-T R-R						

Отримані величини вольтажу зубців і тривалості інтервалів ЕКГ досліджуваного в спокої і після фізичного навантаження заносять до протокольної таблиці, аналізують і роблять висновки щодо відповідності отриманих результатів показникам норми.

Робота 5

Варіаційна пульсографія (ВПГ)

Завдання. Дослідити рівень пристосованості серцево-судинної системи до фізичних навантажень.

Методика. Робота 6 виконується паралельно з роботою 5. Для побудови варіаційних кривих необхідно мати запис 100 циклів ЕКГ досліджуваного у стані спокою і після фізичного навантаження. ВПГ полягає у вирахованні рядів розподілу значень пульсових інтервалів $R-R$ з побудовою варіаційних кривих.

Отримавши результати вимірювань інтервалів $R-R$ у 100 циклах ЕКГ, розраховують середню величину інтервалів $R-R$ (M), моду (M^0 — інтервал, що повторюється найчастіше), σ — сигмальне відхилення від середньої величини, різницю між максимальним і мінімальним показниками. На основі розрахунку повторюваності всіх інтервалів $R-R$ 100 циклів ЕКГ в стані спокою і після фізичного навантаження складають варіаційні криві. Отримані дані заносять до протокольної таблиці, аналізують і роблять відповідні висновки.

Протокольна таблиця ВПГ обстежуваного в стані спокою і після виконання дозованого навантаження

Стан досліджуваного	Досліджувані показники			
	M	M^0		$M_{\max} - M_{\min}$
1. Спокій				
2. Після 20 присідань за 30 с				

При аналізі отриманих в досліді варіаційних кривих пам'ятають, що чим ближче друге значення M^0 до першого, тим ефективніше проходять відновні процеси — краща пристосованість системи кровообігу до фізичних навантажень (Р. М. Беевський, 1978).

В стані спокою варіаційна крива має сплющений вигляд. Це свідчить про перевагу тонусу центрів парасимпатичної регуляції роботи серця. Навпаки, при виконанні фізичної роботи, внаслідок посилення тонусу центрів симпатичної регуляції серцевої діяльності, варіаційна крива зміщується вліво і може мати декілька вершин. Швидко повернення варіаційної кривої до вихідної форми свідчить про великі адаптаційні можливості серцево-судинної системи.

1.6. Ситуаційні запитання і задачі

1. Для відновлення роботи серця, яке в силу тих чи інших причин зупинилось, використовують ряд методів. Назвіть основні з них.
2. Визначте величину серцевого індексу (СІ) у юнака в стані спокою. ЧСС досліджуваного 60 ск/хв, систолічний об'єм крові (СОК) — 70 мл, площа поверхні тіла — 1,7 м². Який тип кровообігу характерний для даного юнака?
3. До керівника (інструктора) туристської групи, що знаходилась на відпочинку, звернувся один з туристів із скаргою на погане самопочуття. Вимірювання пульсу показало тахікардію — 86 ск/хв. За даними хворого його звичайний пульс 70 ск/хв. Як в даній ситуації, не маючи термометра, можна визначити температуру хворого?
4. В час систоли передсердь тиск крові в них стає значно вищим, ніж в порожнистих і легеневих венах. Чому ж тоді кров надходить лише в шлуночки і не повертається у вени?
5. У досліджуваного школяра виміряли частоту пульсу за десятисекундними інтервалами протягом 1 хв. Результати досліджень були такими: 8, 10, 10, 10, 9, 9. Яку характеристику можна дати такому пульсу?
6. Визначте величину хвилинного об'єму крові (ХОК) юнака, якщо відомо, що споживання кисню (СПО₂) в стані спокою — 300 мл/хв, вміст кисню в артеріальній крові — 20 об%, у венозній — 12 об%.
7. У досліджуваного 10-класника ЧСС в стані спокою — 65 ск/хв, артеріальний тиск — 120/80 мм рт. ст. Визначте коефіцієнт витривалості (КВ) і дайте оцінку економичності функціонування системи кровообігу досліджуваного учня.
8. На серце жаби послідовно накладено три лігатури (перев'язки Станіуса): 1) на межі пазухи синуса та передсердя; 2) між передсердям і шлуночком по передсердно-шлуночкової борозні; 3) на нижню третину серця. Як зміниться робота серця за таких умов?
9. Споживання кисню учнем в стані спокою — 300 мл/хв. Проходячи через легеневі капіляри, кожні 100 мл венозної крові збагачуються киснем на 5 мл. Частота

серцевих скорочень досліджуваного — 70 ск/хв. Визначте величину систолічного об'єму крові у даного учня.

10. Вкажіть, як позначиться на роботі серцевого м'яза нагромадження жиру в організмі, зокрема на серці?
11. Заповніть таблицю.

Фази серцевого циклу при ЧСС — 75 ск/хв

Відділи серця	Скорочення передсердь		Скорочення шлуночків		Загальна діастола серця	
	що відбу- вається	трива- лість, с	що відбу- вається	трива- лість, с	що відбу- вається	трива- лість, с
Передсердя Шлуночки Стулкові клапани Півмісяцеві клапани						

12. Після 20 присідань за 30 с тривалість серцевого циклу у досліджуваного зменшилась у два рази (до 0,4 с). На скільки відсотків збільшилась ЧСС у досліджуваного у зв'язку з виконанням фізичного навантаження?
13. За певну одиницю часу правий і лівий шлуночки серця людини виштовхують в кровообіг однакову кількість крові. Чому ж тоді товщина міокарда лівого шлуночка значно більша (15–20 мм) від товщини міокарда правого шлуночка (5–8 мм)?
14. Сила скорочень м'язових волокон серця залежить від величини їх початкового розтягання («закон серця»). В чому сутність цього закону? Які чинники обмежують дію «закону серця»?
15. В період збудження серцевий м'яз не відповідає на нові подразнення. Чому? Чи відповідатиме міокард на додаткове подразнення, якщо воно надходитиме до серця на початку його розслаблення?
16. Визначте загальну тривалість діастоли (відпочинку) серця у двох досліджуваних учнів за 1 рік життя. ЧСС у першого досліджуваного — 60 ск/хв, у другого — 75 ск/хв.

1.7. Тести

1. Вчення про внутрішньом'язові периферичні серця розробив:
 - а) П. К. Анохін;
 - б) М. М. Амосов;
 - в) І. А. Аршавський;
 - г) М. І. Арінчин.
2. Стінки серця мають трьохшарову структуру. Внутрішній шар називається:
 - а) міокард;
 - б) ендокард;
 - в) епікард;
 - г) перикард.
3. Зовнішня оболонка серця називається:
 - а) міокард;
 - б) ендокард;
 - в) епікард;
 - г) перикард.



капілярних стінок в усіх м'язах складає 60 м². На кожний см³ швидкого м'яза припадає в середньому 350 капілярів, повільного — 1000. Проте в стані спокою функціонує всього близько 30–50 % капілярів.

2. Основні принципи гемодинаміки

Рух крові по кровоносних судинах здійснюється за законами руху рідини в системі сполучених трубок (закони гідродинаміки). Відповідно до цих законів основними чинниками, що забезпечують рух крові по судинах, є різниця тисків крові в артеріальному і венозному відділах кожного кола кровообігу ($P_1 - P_2$) і опір рухової крові (R), величина якого залежить від в'язкості та тертя частинок крові об стінки судин. Відношення різниці тисків до опору визначає об'єм крові, який протікає по судинах за одиницю часу — *об'ємна швидкість руху крові* (Q):

$$Q = \frac{P_1 - P_2}{R}.$$

Розрізняють загальну об'ємну швидкість течії крові (кількість крові, яка протікає за 1 хв через всю кровоносну систему) і місцеву об'ємну швидкість течії крові (кількість крові, що протікає за 1 хв через будь-який орган). Загальна об'ємна швидкість течії крові відповідає *хвилинному об'єму крові* (ХОК), її одиниця виміру — л/хв. Більше половини ХОК направляється до органів з високою метаболічною активністю (головний мозок, скелетні м'язи) або специфічною функцією (печінка, нирки). Перерозподіл течії крові досягається зміною діаметра артеріол. Знаючи об'ємну швидкість течії крові, легко розрахувати *лінійну швидкість руху частинок крові* (V , мм/с):

$$V = \frac{Q}{\pi \cdot r^2}.$$

Лінійна швидкість руху крові в центральній частині судини більша, ніж біля її стінок, що пояснюється додатковим тертям частинок крові об стінки кровоносних судин.

Загальна площа поперечного діаметра судинної системи від аорти до капілярів збільшується, а від капілярів до великих вен, навпаки, зменшується. Діаметр порожнистих вен у 1,5 рази більший за діаметр аорти (С. І. Гальперін, 1977). Лінійна швидкість течії крові більша в судинах, загальний діаметр яких менший, і навпаки. Сума радіусів капілярів у 60–80 разів більша радіуса аорти. В цьому розумінні аорта — саме вузьке місце кровоносної системи, площа її поперечного перерізу у дорослої людини — 8 см². Середня величина лінійної швидкості течії крові в аорті становить 200–300 мм/с, в артеріях — 150–200 мм/с, артеріолах — 10–20 мм/с, в капілярах і венулах — 0,5 мм/с. В середніх і порожнистих венах швидкість течії крові зростає до 50–100 мм/с.

Тривалість часу, яка необхідна для проходження частинкою крові великого і малого кіл кровообігу (час кругообігу крові) складає приблизно 27 серцевих скорочень (20–23 с при ЧСС 70–80 ск/хв). При м'язовій роботі час кругообігу крові нерідко знижується до 8 с. Циклічний характер роботи серця обумовлює постійну зміну швидкості течії крові:

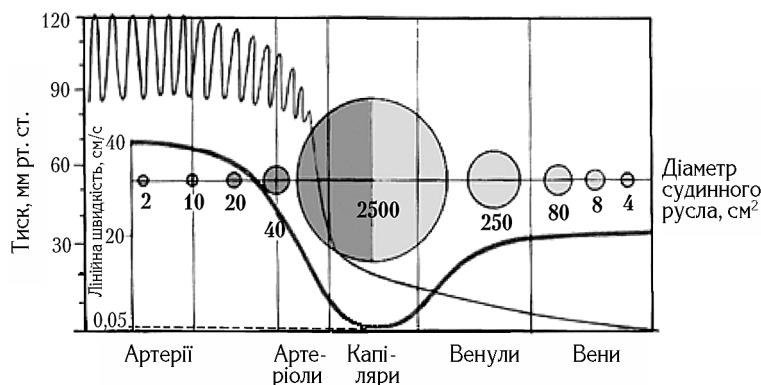


Рис. 4.13

Показники гемодинаміки в різних відділах судинного русла

енергією серцевого м'яза, нагромадженою в стінках розтягнутих великих кровоносних судин в період систоли. В період діастоли еластична стінка артерії пасивно спадає, а нагромаджена в ній енергія серця рухає кров.

3. Тиск крові у судинах

Тиск крові у судинах (P) залежить від об'єму крові, яка надходить до них (Q) і від опору стінок судин (R) рухові крові: $P = QR$. Тиск крові в усій системі кровообігу позитивний. Це обумовлено тим, що в кровоносному руслі знаходиться крові більше, ніж її можуть вмістити нерозтягнуті судини. Тому судини завжди дещо розтягнуті, і завдяки еластичності і тонуусу м'язових волокон стінки судин створюють відповідний тиск на кров.

Величина опору течії крові залежить від довжини судин (чим судини довгіше, тим більша площа їх поверхні, а значить, більше тертя між кров'ю і стінками судин), їх діаметра (зменшення діаметра судин в два рази збільшує опір течії крові в 16 разів) і в'язкості крові (чим вона більша, тим більше її тертя об стінки судин і відповідно більший опір). В'язкість крові визначається концентрацією в ній формених елементів, білків і залежить від температури тіла — з її зростанням в'язкість знижується.

Тиск крові на стінки кровоносних судин протягом серцевого циклу змінюється. Він найбільший в період систоли (максимальний, або систолічний тиск) і найменший в період діастоли (мінімальний, або діастолічний тиск). Показник різниці між систолічним і діастолічним тиском (амплітуда коливань тиску) називається *пульсовим тиском* (ПТ). Чим далі від серця, тим ПТ менший. В артеріолах і капілярах коливання тиску в період систоли і діастоли виражені слабо. Пульсовий тиск залежить від систолічного об'єму крові (чим менша величина систолічного об'єму крові, тим менше підвищується ПТ в

артеріях) і еластичності артеріальних судин (чим більша еластичність артерій, тим більше крові вона може вмістити без суттєвого підвищення артеріального тиску).

В стані спокою у здорових дорослих осіб систолічний тиск в плечовій артерії становить 100–140 мм рт. ст., діастолічний — 60–80 мм рт. ст. Такий тиск називають *нормотонічним*; систолічний тиск більший 140 мм рт. ст. називають *гіпертонічним*, нижчий 100 мм рт. ст. — *гіпотонічним*. Середній тиск (середня величина систолічного і діастолічного тисків протягом одного серцевого циклу) в нормі становить 80–90 мм рт. ст. Приблизно показник середнього тиску дорівнює сумі діастолічного і 1/3 пульсового тисків.

В міру віддалення від лівого шлуночка тиск крові в судинах знижується: у великих і середніх артеріях — на 10 %, в артеріолах і капілярах — на 85 %. В аорті систолічний кров'яний тиск становить 110–130 мм рт. ст., у великих артеріях (діаметром 0,1–0,2 мм) — 100–120 мм рт. ст., в малих артеріях — 70–90, капілярах — 10–30, у великих венах — 10–15 мм рт. ст., у порожнистих венах — близько нуля (рис. 4.14).

Показник кров'яного тиску неоднаковий у людей різного віку і статі. Він залежить також від умов, в яких знаходиться досліджуваний на час вимірювання тиску. У людей похилого віку у зв'язку із зниженням еластичності стінок артеріальних судин, кров'яний тиск більш високий, ніж у молодих осіб (у новонароджених систолічний тиск — 40 мм рт. ст., у дітей місячного віку — 80, а у 10–15 річному віці — 105–110 мм рт. ст.). У жінок кров'яний тиск дещо нижчий, ніж у чоловіків.

Суттєво зростає кров'яний тиск при фізичних навантаженнях і емоційних станах (страх, біль, радість, гнів тощо), які завжди супроводжуються збудженням симпатичної нервової системи та підвищенням енерговитрат. Після іонізуючого опромінення внаслідок розширення капілярів (навіть при зростанні ЧСС) кров'яний тиск знижується. Існують певні коливання кров'яного тиску протягом доби: найменші його величини можна зареєструвати в нічний період (від 2 до 4 годин ночі), найбільші після обіду (від 16 до 18 годин).

Встановлено ряд особливостей адаптивних реакцій системи кровообігу у спортсменів за показниками артеріального тиску (АТ) в стані спокою і в умовах виконання дозованих навантажень (П. Д. Плахтій, О. П. Бодян, 1997). Частота гіпотонії у спортсменів була більшою (27 %), ніж у неспортсменів (14 %). Серед спортсменів число осіб з гіпотонією було значно меншим, ніж серед спортсменок. Відмічена тенденція характерна як для спортсменів, так і для нена тренованих осіб. Встановлена певна залежність між рівнем АТ і фізичною працездатністю спортсменів. Високим показникам тесту ФП170 відповідали більш високі величини пульсового тиску. Отже, величина пульсового тиску може служити непрямим показником фізичної підготовленості спортсменів. Винятком з цієї закономірності були спортсмени, які спеціалізуються з гімнастики і важкої атлетики (табл. 4.2). Зміни АТ, викликані виконанням дозованих навантажень, у спортсменів менш виразні, ніж у нена тренованих осіб. З ростом спортивної майстерності підвищення АТ, викликане виконанням стандартного навантаження, стає не суттєвим, що свідчить

Таблиця 4.2

Артеріальний тиск і фізична працездатність спортсменів різної спеціалізації і кваліфікації ($x \pm m$)

№ пп	Групи досліджуваних	АТ, мм рт. ст.			ФП _{170'} кгм/хв
		P_{max}	P_{min}	ПТ	
1.	Гімнастика, важка атлетика				
1.1.	Масові розряди ($n = 24$)	$114 \pm 1,8$	$68 \pm 1,8$	46	$1055 \pm 14,2$
1.2.	Спортсмени високої кваліфікації ($n = 11$)	$115 \pm 2,6$	$64 \pm 1,4$ $P < 0,05$	57	$1020 \pm 40,5$ $P > 0,05$
2.	Спортивні ігри				
2.1.	Масові розряди ($n = 20$)	$114 \pm 1,8$	$67 \pm 1,7$	47	$1026 \pm 26,8$
2.2.	Спортсмени високої кваліфікації ($n = 14$)	$115 \pm 3,1$	$64 \pm 3,1$ $P > 0,05$	51	$1316 \pm 32,6$ $P < 0,01$
3.	Одноборство				
3.1.	Масові розряди ($n = 15$)	$114 \pm 3,0$	$66 \pm 2,0$	48	$1313 \pm 16,4$
3.2.	Спортсмени високої кваліфікації ($n = 30$)	$116 \pm 2,7$	$64 \pm 1,4$	52	$1416 \pm 11,5$
4.	Гребля, велоспорт, лижний спорт, легка атлетика				
4.1.	Масові розряди ($n = 16$)	$114 \pm 3,4$	$64 \pm 3,3$	50	$1426 \pm 30,4$
4.2.	Спортсмени високої кваліфікації ($n = 25$)	$117 \pm 1,8$ $P < 0,05$	$63 \pm 2,7$	54	$1540 \pm 17,4$ $P < 0,01$

про більш раціональний перерозподіл кровообігу, про економічність функціонування серцево-судинної системи.

Таким чином, за направленістю змін АТ у в стані спокою і після виконання дозованих навантажень можна судити про рівень резервів серцево-судинної системи та фізичну підготовленість спортсменів.

Величина кров'яного тиску залежить від положення тіла. В умовах гравітації кров створює гідростатичний тиск величиною, що визначається висотою стовпа рідини. При вертикальному положенні тіла гідростатичний тиск крові в венах і артеріях стопи значно більший, ніж при горизонтальному положенні. Посилюючи фільтрацію плазми крові з капілярів кінцівок в міжклітинні простори, гідростатичний тиск сприяє виникненню набряків при тривалому стоянні.

4. Кровообіг і обмін речовин в капілярах

Капіляри — центральна ділянка в системі кровообігу. Саме тут відбувається надходження поживних речовин і кисню до клітин організму і видалення від них продуктів обміну (мікроциркуляція, або трансапілярний обмін). Цьому сприяє незначна лінійна

швидкість течії крові (0,3–0,5 мм/с) і малий тиск крові (10–30 мм рт. ст.) в капілярах. При довжині капіляра 0,3–0,7 мм кожна частинка крові проходить через нього за 1–2 с. Цього часу вистачає для повного завершення транскапілярного обміну, а отже, підтримання життєдіяльності клітин організму. Мікроциркуляції речовин підпорядкована вся організація серцево-судинної системи.

Транскапілярний обмін речовин через капілярну стінку забезпечується за допомогою механізмів дифузії, фільтрації і абсорбції (реабсорбції). Дифузія обумовлює направлений рух молекул з більш концентрованого розчину в менш концентрований. Вона триває до часу повного відновлення рівноваги концентрації даних молекул в обох розчинах. Швидкість дифузії через міжклітинні щілини і мембрани ендотеліальних клітин визначається кількістю відкритих капілярів і градієнтом (різницею) концентрації дифундуючої речовини. Двосторонній дифузії належить найбільша роль в обміні Na^+ , Cl^- , глюкози, O_2 , CO_2 між кров'ю і міжклітинною рідиною.

Фільтрація — це процес переходу капілярної рідини в міжклітинну, *абсорбція* — зворотній рух рідини з міжклітинних просторів у капіляри. Таким чином, фільтрація і абсорбція — це два протилежно направлених процеси руху рідини через капілярну стінку. Знаходячись в тісному взаємозв'язку, вони обумовлюють підтримання постійності об'ємів плазми, міжклітинної і внутріклітинної рідин. Величина і напрямок фільтрації рідини між капілярами і клітинами забезпечується різницею між *гідростатичним тиском крові* (ГСТк) і *гідростатичним тиском тканинної рідини* (ГСТт); абсорбція — різницею між *колоїдно-осмотичним (онкотичним) тиском плазми крові* (КОТк) і *КОТ тканинної рідини* (КОТт).

Процес фільтрації посилюється завдяки онкотичному тиску тканинного простору (величина онкотичного тиску тканинної рідини (4,5–6,0 мм рт. ст.) сумується з величиною гідростатичного тиску крові).

Середній ГСТк в капілярах в умовах спокою — 18 мм рт. ст., ГСТт — нижчий атмосферного (мінус 6 мм рт. ст.). Різниця гідростатичного тиску по обидві сторони капіляра (ГСТк — ГСТт) становить 24 мм рт. ст.: 18 мм рт. ст. — (–6 мм рт. ст.). Ця сила обумовлює перехід рідини із капілярів в міжтканинні простори. На 100 г тканини через капілярну стінку за 1 хв фільтрується (на кожний мм рт. ст. різниці тисків) близько 0,04 мл рідини (*коефіцієнт капілярної фільтрації* — ККФ). Величина ККФ залежить від площі перфузійної поверхні (числа активних капілярів). Оскільки в стані спокою більше 50 % капілярів не функціонують («закриті»), то добова величина фільтрації становить не 40 л, як на це вказують розрахунки, а лише 20 л.

Абсорбція рідини з міжклітинного простору в капілярне русло відбувається внаслідок різниці КОТк і КОТт. Відомо, що КОТ рідини визначається концентрацією в ній білка. Вміст білка в плазмі крові — 7 % (онкотичний тиск 30 мм рт. ст.), а в тканинній рідині — 2 % (6 мм рт. ст.). Різниця між КОТк і КОТт становить 24 мм рт. ст. (30 мм рт. ст. — 6 мм. рт. ст.). Ця різниця КОТ плазми крові і тканинної рідини створює

силу, яка необхідна для осмотичного руху рідини з області низького осмотичного тиску в область високого осмотичного тиску, тобто із тканинних просторів в кров'яне русло. Таким чином, внаслідок однакової різниці гідростатичного і онкотичного тисків (24 мм рт. ст.) по обидва боки капілярної стінки величина фільтрації на артеріальному кінці капіляра рівна величині абсорбції на її венозному кінці. Близько 2-4 л рідини, що фільтрується за добу через стінки капілярів, переходить із тканинних просторів в лімфатичні судини. Така ж кількість лімфи повертається протягом доби в кровообіг. Постійна рівновага між фільтрацією і абсорбцією рідини («старлінгова рівновага») — важлива передумова підтримання постійності об'єму циркулюючої крові.

Фільтрація рідини із крові в міжклітинний простір з артеріального кінця капіляра забезпечується сумарною силою гідростатичного тиску крові і онкотичного тиску тканинної рідини. Ця сила називається **ефективним фільтраційним тиском**, вона перевищує онкотичний тиск крові на 7–9 мм рт. ст.

Абсорбція у венозній частині капіляра здійснюється завдяки зниженню в ній гідростатичного тиску крові до 10–15 мм рт. ст. (гідростатичний тиск на вході капіляра складає більше 30 мм рт. ст.). Ефективний абсорбційний тиск дорівнює приблизно 6 мм рт. ст. Гідростатичний тиск в капілярах поступово зменшується від артеріального до венозного

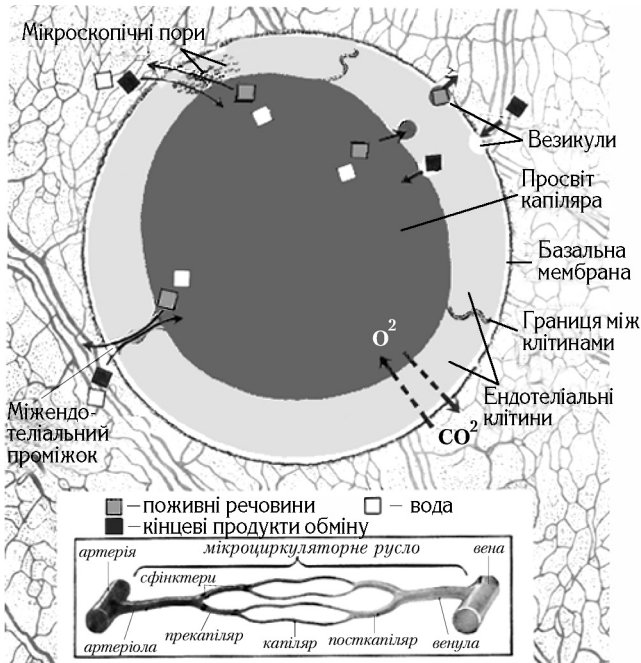


Рис. 4.14

Обмін речовин в межах мікроциркуляторного русла

кінця, а онкотичний тиск крові на всьому протязі капілярів залишається сталим. Фільтрація рідини на артеріальному кінці капіляра відбувається внаслідок переважаючої дії гідростатичного тиску, абсорбція на венозному кінці — завдяки дії онкотичного тиску крові, який набагато вищий гідростатичного тиску крові і онкотичного тиску тканинної рідини. Загальна схема трансапілярного обміну представлена на рис. 4.14.

При фізичній роботі спостерігається тимчасове порушення рівноваги між фільтрацією і абсорбцією. Зростання капілярного гідростатичного тиску (з 18 до 25 мм рт. ст.) відбувається внаслідок підвищення системного артеріального тиску і зниження тону

прекапілярних резистивних судин в працюючих м'язах. Крім того, чинником, що посилює фільтрацію при фізичній роботі, є створення позитивного осмотичного тиску тканинної рідини. Це спричиняється нагромадженням в ній низькомолекулярних метаболітів, особливо молочної кислоти. Виконання м'язової роботи супроводжується незначним зростанням і онкотичного тиску тканинної рідини (внаслідок переходу частини білків з посиленим фільтраційним потоком рідини).

Перевага фільтраційних процесів над абсорбційними на початку напруженої фізичної роботи призводить до збільшення міжклітинної рідини і зменшення об'єму циркулюючої крові (гіповолемія). Позитивним наслідком робочої гемоконцентрації є зростання кисневої ємкості крові і її буферних властивостей (зростання ємкості білкової буферної системи), негативним — можливе зниження систолічного об'єму крові внаслідок зменшення об'єму циркулюючої крові (зниження венозного надходження крові до серця і зростання її в'язкості).

Перевага процесів фільтрації над процесом абсорбції триває протягом перших 5–10 хв роботи. Надалі об'єм циркулюючої крові суттєво не змінюється. Це досягається шляхом активізації процесів, що посилюють абсорбцію: відновлення білків крові за рахунок посиленого надходження в кровообіг лімфи, багатой білками, встановлення в міжклітинній рідині і крові однакової концентрації продуктів обміну. Як наслідок, при фізичній роботі тривалістю більше 5–10 хв встановлюється нова динамічна рівновага процесів фільтрації й абсорбції — в порівнянні із спокоєм об'єм циркулюючої крові зменшений, а об'єм міжклітинної рідини збільшений. Значні витрати води (1–2 л/год) при виконанні тривалої фізичної роботи можуть привести до некомпенсованого зменшення об'єму циркулюючої крові (дегідратація), зростання ЧСС і зниження систолічного об'єму крові.

5. Рух крові в венах

В умовах спокою близько половини всього об'єму циркулюючої крові знаходиться у венозних (смісних) судинах (в системних венах і венах легеневого кола кровообігу). Депоновання крові особливо виражене у великих венах черевної порожнини, у венозних синусах печінки, венозних судинах селезінки, шкіри і легень. При потребі (інтенсивна м'язова чи розумова діяльність, емоції) депонована кров виходить у кров'яне русло. Це досягається скороченням гладеньких м'язів стінок венозних судин.

Тиск крові у венах, розміщених за межами грудної порожнини, 5–10 мм рт. ст., у венах, що знаходяться поблизу грудної порожнини, близький до атмосферного з коливаннями в залежності від фаз дихання: при вдиху знижується і стає нижчим атмосферного, при видиху зростає до 2–5 мм рт. ст. Лінійна швидкість руху крові у венах менша, ніж в артеріях. На рух крові по венах нижніх кінцівок і по нижній порожнистій вені (проти дії сили земного тяжіння) виявляють вплив такі чинники:

- робота серця, яка забезпечує позитивний тиск крові в дрібних венозних судинах (10–15 мм рт. ст.);

- присмоктувальна дія серця при діастолі передсердь;
- присмоктувальна дія грудної клітки, особливо при вдиху;
- скорочення скелетних м'язів, які сприяють витисканню крові;
- наявність у венах клапанів, які забезпечують рух крові лише в напрямку до серця.

Дефекти у венозних клапанах можуть викликати затримку крові у венах (постійні набряки ніг), а згодом привести і до утворення венозних вузлів (варикозне розширення вен). Порушення функції венозних клапанів виникає при частих і тривалих запаленнях вен (тромбофлебітах). Варикозними розширеннями вен і тромбофлебітами все частіше почали хворіти молоді люди. Основні причини цього дві — відсутність навантажень на ноги (сидячий спосіб життя) або, навпаки, надмірні навантаження на ноги.

Венозний пульс. Затихаючи в капілярах, артеріальний пульс зникає в дрібних і середніх венах. Пульсові коливання відновлюються лише у великих венах, розташованих поблизу серця. Венозний пульс виникає внаслідок затримки руху крові до серця в період систоли передсердь і шлуночків. При скороченні серця тиск у венах зростає, що і спричиняє механічні коливання їх стінок. Графічний запис венозного пульсу за допомогою спеціального приладу — флебографа, називається *флебограмою*.

Ортостатичні реакції. Рух крові по кровоносних судинах залежить від дії сил земного тяжіння. Особливо виражений вплив земного тяжіння на кровообіг при знаходженні людини в вертикальному положенні. В цій позі кров проявляє тенденцію збиратися в нижній частині тіла. Неспроможність компенсаторних механізмів серцево-судинної системи перебороти дію гравітаційної сили може призвести до порушень мозкового кровообігу і втрати свідомості (гравітаційний шок). Особливо сприятливі умови для затримки крові в нижніх кінцівках виникають після інтенсивного бігу, оскільки раптове виключення «внутрішніх серцець» значно збільшує навантаження на серцевий м'яз.

Для попередження виникнення гравітаційного шоку після фінішу спортсмену не слід зупинятися, а деякий час продовжувати біг, поступово знижуючи його інтенсивність (заминка). В цих умовах серцю допомагають рухати кров по судинах «внутрішніх серць».

Дія гравітації на кровообіг значно зростає при переміні положення тіла: з горизонтального у вертикальне — *ортостатичні реакції*, і з вертикального у горизонтальне — *кліно-ортостатичні реакції*. При ортостатичних реакціях внаслідок депонування значної кількості крові в нижній частині тіла погіршується надходження венозної крові до серця, на 20–30 % зменшується систолічний об'єм крові, компенсаторно зростає ЧСС.

Прояв ортостатичних реакцій в значній мірі визначається тонусом кровоносних судин. Зниження тону великих вен при вставанні, зменшуючи надходження венозної крові до серця, приводить до погіршення кровопостачання мозку. Неприємний стан, викликаний низьким тонусом великих вен, може виникати не лише при вставанні, а й при тривалому стоянні (ортостатичний колапс).

В спортивній практиці ортостатичні проби використовуються для визначення функціонального стану системи кровообігу спортсменів. У досліджуваних спочатку реєструють ЧСС і артеріальний тиск в горизонтальному положенні, а тоді після вставання в вертикальному положенні. У здорових осіб при вставанні ЧСС збільшується на 5–15 ск/хв, систолічний тиск не змінюється або знижується на 2–5 мм рт. ст., діастолічний тиск зростає на 10–15 мм рт. ст. Більш значні зміни ЧСС і артеріального тиску розцінюються як ознака ортостатичної нестійкості. З ростом натренованості спортсмена показники ортостатичної проби поліпшуються, у гімнастів вони навіть можуть бути тестовими для визначення рівня функціональної підготовленості.

6. Нейрогуморальні механізми регуляції роботи серця

Робота серця в кожний конкретний момент діяльності організму знаходиться в прямій залежності від умов зовнішнього і внутрішнього середовища, які постійно змінюються. Адекватні щодо умов існування зміни роботи серця досягаються завдяки наявності складних регуляторних механізмів. В цілому робота серця обумовлена хронотропними і інотропними властивостями міокарда. *Хронотропні* властивості міокарда визначають ЧСС, *інотропні* — силу скорочення серця, а значить, величину систолічного об'єму крові. Розрізняють позитивний інотропний і хронотропний ефекти, пов'язані із зростанням сили і частоти серцевих скорочень, і негативні — ті, що обумовлюють зменшення активності серця. Інотропні і хронотропні властивості міокарда серця регулюються нервовою і гуморальною системами, а також внутрішньосерцевими механізмами саморегуляції (ауторегуляція).

Ауторегуляція роботи серця забезпечує регуляцію сили скорочень міокардіальних волокон. Розрізняють гетеро- і гомеометричну ауторегуляцію серцевої діяльності. *Гетерометрична ауторегуляція* сили серцевих скорочень обумовлена зміною об'єму порожнини серця, а отже, довжини міокардіальних волокон: чим більше розтягнуті м'язові волокна серця кров'ю, що надходить з вен, тим більша сила серцевого скорочення (механізм Франка Старлінга, або «закон серця»). Фізіологічна суть цього закону пояснюється зростаючим при розтягненні міокардіальних волокон перекриттям актинових і міозинових протофібрил, що, ймовірно, найоптимальніше при найбільшому кінцево-діастолічному об'ємі шлуночків (довжина спокою).

Автоматична зміна сили скорочень міокарда при незмінному об'ємі серця забезпечується гомеометричною ауторегуляцією. Вона обумовлена зростанням ЧСС і аортального тиску і включає в себе «феномен» східців Боудича і ефект Анрепа. Феномен Боудича полягає в поступовому збільшенні сили скорочення ізольованого міокарда із збільшенням частоти його електричного подразнення, а ефект Анрепа — в зростанні сили скорочень при штучному зростанні тиску крові в аорті. Таким чином, обидва механізми гомеометричної саморегуляції сприяють зростанню скоротливої функції міокарда під час фізичної роботи.

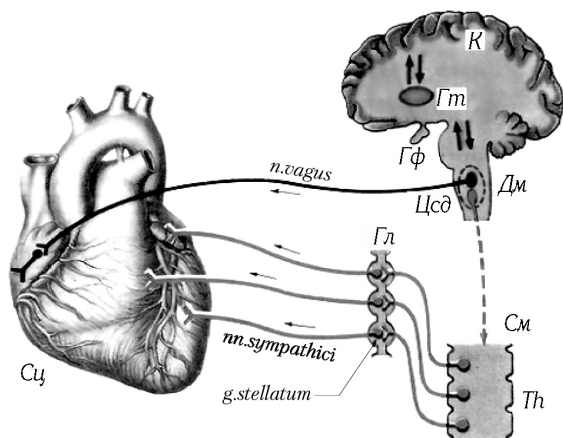


Рис. 4.15

Симпатична і парасимпатична іннервація серця: Сц — серце; Гф — гіпофіз; Дм — довгастий мозок; См — спинний мозок; Гт — гіпоталамус; К — кора великих півкуль

системи закінчуються в шийних і верхніх грудних симпатичних вузлах, від них йдуть другі нейрони, що закінчуються густою сіткою відростків в області сино-атріального вузла і в міокарді шлуночків.

Стимуляція симпатичних нервових волокон підвищує силу і частоту серцевих скорочень, посилює збудливість серця і покращує провідність. Під впливом імпульсів, що надходять до серця по симпатичних нервах, скоротливість міокарда шлуночків може зростати незалежно від ступеня їх наповнення кров'ю. Подразнення парасимпатичного серцевого нерва викликає ефект, протилежний подразненню симпатичного нерва: знижується частота і сила скорочень серця, погіршується його збудливість і провідність (негативний хроно- і інотропні ефекти). Це пов'язано із дією медіатора ацетилхоліну. Збільшуючи проникливість мембрани м'язових волокон серця для калію, ацетилхолін викликає гіперполяризацію мембрани і зниження збудливості міокарда. Протилежну дію має медіатор симпатичної нервової системи — норадреналін. Збільшуючи проникливість мембрани м'язових волокон серця для натрію, він деполяризує мембрану, зменшуючи, таким чином, мембранний потенціал і збільшуючи збудливість міокарда.

Нервові центри серця знаходяться в стані постійного збудження — тонусу. Перерізання усіх нервів, що йдуть до серця, посилює його роботу. Отже, тонус центрів блукаючого нерва більш високий, ніж симпатичного. Проте між обома нервовими центрами серця існують відношення не антагонізму, а взаємодії: посилення роботи серця забезпечується підвищенням активності центрів симпатичних нервів і зниженням тонусу центрів парасимпатичних нервів, послаблення активності серця здійснюється шляхом

Нервова регуляція роботи серця здійснюється імпульсами, які надходять до нього по парасимпатичних (блукаючий нерв) і симпатичних нервах (рис. 4.15). Еферентні шляхи рефлексорних дуг, до складу яких входять ці нерви, мають двонейронну структуру. Перший нейрон блукаючого нерва бере початок в довгастому мозку і закінчується в інтрамуральних гангліях серця, відростки другого нейрона йдуть до м'язових волокон передсердь, сино-атріального і атріо-вентрикулярного вузлів. Шлуночки серця іннервуються блукаючим нервом. Центри симпатичної іннервації серця знаходяться в бокових рогах п'яти верхніх сегментів грудного відділу спинного мозку. Перші нейрони симпатичної нервової

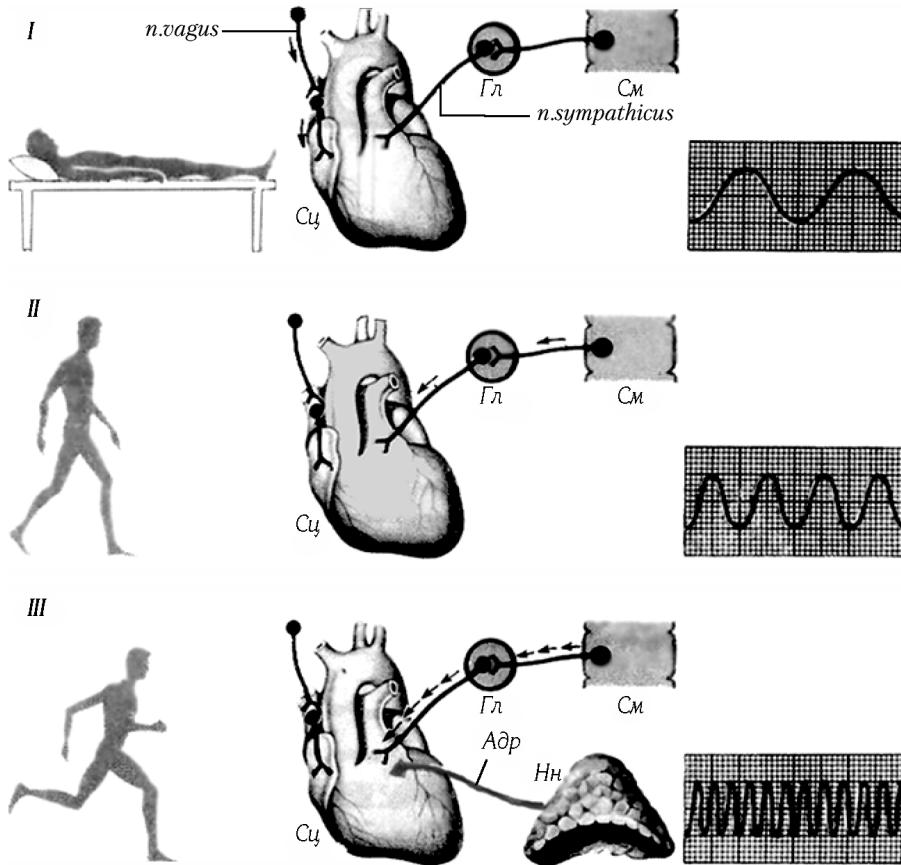


Рис. 4.16

Вплив рухової активності на функціональний стан серця: I — стан спокою (домінування тону *n. vagus*); II — ходьба (домінування тону *n. sympathicus*); III — біг (додаткове виділення адреналіну): *См* — спинний мозок; *Сц* — серце; *Гл* — симпатичний ганглії; *Нн* — наднирники

зниження тону центрів симпатичних нервів і зростання активності гальмівних парасимпатичних нервів (рис. 4.16).

Робота серця регулюється також рефлексорно (імпульсами, що йдуть до серця від рецепторів). В цьому процесі приймають участь нейрони довгастого і спинного мозку, гіпоталамуса, мозочка і кори великих півкуль. Звідси нервові імпульси надходять до нижчих центрів симпатичної і парасимпатичної регуляції серця у відповідності з конкретною ситуацією, знижуючи їх тонус.

Рефлексорні реакції серця в значній мірі залежать від імпульсів, які виникають при подразненні баро- і хеморецепторів судинних рефлексогенних зон (область дуги аорти,

розгалуження сонних артерій, гирла порожнистих вен) відповідними подразниками. Підвищення кров'яного тиску в аорті або сонних артеріях, активізуючи центри парасимпатичної іннервації серця, гальмує його роботу. Наслідком підвищення тиску в порожнистих венах і правому передсерді є рефлекторне прискорення ЧСС (рефлекс Бейнбріджа). Хеморецептори рефлексогенних зон збуджуються при збільшенні в крові концентрації молочної кислоти та вуглекислого газу, зменшенні кисню. За таких умов зростає тонус симпатичного центра серцевої діяльності, робота серця посилюється і склад крові нормалізується.

Рефлекторні зміни в роботі серця виникають і при подразненні рецепторів, розташованих в м'язах, судинах легень, внутрішніх органах, шкірі. Так, імпульси від внутрішніх органів (при нанесенні удару в область сонячного сплетіння) гальмують роботу серця — рефлекс Гольца. Цей рефлекс замикається через ядра блукаючого нерва і може спричинити тимчасову втрату свідомості. Посилюють роботу серця імпульси від пріорецепторів м'язів (моторно-вісцеральні рефлекси). Мобілізація активності серця знаходиться в прямій залежності від активізації пропріорецепторів скелетних м'язів. Важка робота в більшій мірі активізує пропріорецептивну аферентацію, яка через центральну нервову систему обумовлює і більш високе зростання ЧСС, необхідне для даної роботи. Саме цим можна пояснити той факт, що вправи з піднімання вантажів сприяють зростанню ЧСС в більшій мірі, ніж інтенсивний біг з високим кисневим запитом. Рефлекторно зменшується ЧСС при натисканні на очні яблука (рефлекс Аншера), при зануренні в холодну воду, при механічному або хімічному (аміаком) подразненні рецепторів слизової оболонки носа (трійчастий нерв).

В регуляції роботи серця активну участь приймає кора великих півкуль. Це підтверджується можливістю утворення умовних рефлексів, здатних суттєво змінити активність серця. Прикладом подібної регуляції може бути значне посилення серцевої діяльності у спортсмена перед стартом.

Гуморальна регуляція роботи серця. Робота серця змінюється під впливом численних хімічних речовин, що циркулюють з кров'ю по судинах. Активність серця значно зростає під впливом гормонів адреналіну, норадреналіну, тироксину, іонів кальцію. Ацетилхолін і іони калію гальмують активність серця.

7. Регуляція функціонального стану кровоносних судин

Стінки кровоносних судин (за винятком капілярів) мають шар гладеньких м'язів. Скорочуючись або розслаблюючись, ці м'язи змінюють просвіт судин, збільшуючи або зменшуючи тим самим величину проходження через них крові. Наявність у стінках кровоносних судин гладеньких м'язів обумовлює так званий *судинний тонус*. Підвищення судинного тонузу завжди приводить до звуження судин (вазоконстрикція) і зменшення течії крові через них. Наслідком пониження тонузу судин є їх розширення (вазодилатація) з посиленням кровопостачанням. Судинний тонус, що забезпечує підтримання даного діаметра судин без участі нервових та гуморальних механізмів, називається *базальним тонусом*.

В прекапілярних резистинних судинах і сфінктерах, в деяких системних венулах і окремих венах знаходяться так звані *моноунітарні (вісцеральні) гладенькі м'язи*. На відміну від *мультиунітарних гладеньких м'язів*, моноунітарні м'язові волокна схожі до серцевих волокон. Вони забезпечують автоматичну зміну діаметра судин. При незначному розтягненні судин сила скорочень моноунітарних м'язових волокон завжди зростає. Зростання тонузу мультиунітарних волокон виникає лише при значному їх розтягненні. Клітини цього типу знаходяться в стінках великих артерій і вен, в артеріально-венозних шунтах.

Регуляція функціонального стану кровоносних судин забезпечується за допомогою ауторегуляції, нервових і гуморальних механізмів. *Ауторегуляція* забезпечує автоматичне підтримання базального тонузу судин, нервові і гуморальні механізми обумовлюють регуляцію судинної системи в умовах постійних змін внутрішнього середовища і довкілля.

Розрізняють механічну і хімічну ауторегуляцію базального судинного тонузу. *Механічна* (міогенна) *ауторегуляція* обумовлює зростання напруження гладеньких м'язів при їх розтягненні, *хімічна* — розслаблення (вазодилатація) гладеньких м'язів судин при зниженні в організмі концентрації кисню, збільшенні молочної і вугільної кислот. Особливо чутливі до зміни концентрації метаболітів прекапілярні судини і сфінктери.

Нервова регуляція тонузу судин забезпечується судиноруховим центром довгастого мозку (В. Р. Овсянников, 1881). Цей центр складається

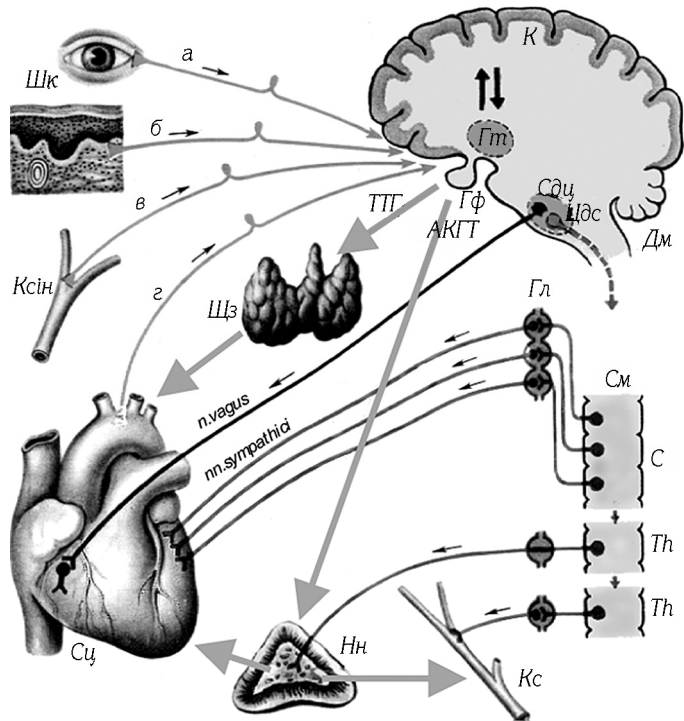


Рис. 4.17

Регуляція кровообігу: а, б — імпульси, що йдуть в центральну нервову систему від екстерорецепторів; в, г — імпульси, що йдуть в центральну нервову систему від інтерорецепторів сонної артерії і аорти. Ум. позначення: Шк — шкіра; Гф — гіпофіз; Дм — довгастий мозок; Ксін — каротидний синус; Гл — симпатичний ганглії; См — спинний мозок (С — шийний відділ, Th — грудний відділ); Щз — щитоподібна залоза; Сц — серце; Нн — наднирники; ТТГ — тиреотропний гормон; АКГТ — адренокартикатропний гормон

з двох відділів: судинозвужуючого (пресорного) і судинорозширюючого (депресорного). При подразненні пресорного центра спостерігається звуження судин і зростання кров'яного тиску, при подразненні депресорного центра — розширення судин і зниження тиску. Передача імпульсів від пресорного центра до м'язових волокон кровоносних судин здійснюється через симпатичну нервову систему (вазоконстрікторні нерви). Депресорний центр сприяє зниженню артеріального тиску шляхом зменшення активності симпатичних судинозвужуючих волокон, викликаючи тим самим розширення судин і зменшення периферичного опору, а також шляхом послаблення симпатичної саморегуляції серця (А. Б. Ноздрачов, 1991). Тонус судинорухового центра довгастого мозку залежить від імпульсів, що надходять від баро- і хеморецепторів судинних рефлексогенних зон і від впливу гуморальних подразників, безпосередньо діючих на нервовий центр.

В регуляції гемодинаміки активну участь приймає кора великих півкуль (рис. 4.17). Кортикальні судинні реакції (умовно-рефлекторне посилення серцевої діяльності і підвищення кров'яного тиску) виникають у спортсменів перед стартом. В регуляції передстартового стану спортсмена активну участь бере гіпоталамо-гіпофіз-адреналова адаптаційна система. Загальна схема регуляції кровообігу і підтримання артеріального тиску представлена на рис. 4.18.

Гуморальна регуляція тонусу судин. Вплив різноманітних біологічно-активних речовин, у тому числі гормонів, на стінки судин здійснюється рефлекторно (з рецепторів) і через судинозвужуючий центр довгастого мозку. Крім того, біологічно-активні речовини здатні безпосередньо впливати на стінки кровоносних судин.

До числа судинозвужуючих речовин належать вазопресин задньої частки гіпофіза, катехоламіни мозкової частини наднирників — норадреналін і адреналін. Звужуючи артеріоли шкіри, органів черевної порожнини і легень, адреналін розширює судини серця і мозку (в малих концентраціях адреналін розширює, а у великих звужує судини м'язів). Важлива роль в регуляції судинного тонусу належить ниркам. Їх фермент — ренін — сприяє утворенню в крові гіпотензину, який звужує судини і підвищує кров'яний тиск.

Судинорозширювальну дію мають серотонін тромбоцитів, ацетилхолін, гістамін стінки шлунка і кишечника, шкіри і працюючих м'язів, молочна і вугільна кислоти, брадикінін слинних і підшлункової залоз.

Порушення регуляції артеріального тиску, спричинене нервово-психічними перенапруженнями, не рідко призводить до розвитку *гіпертонічної хвороби*. Активізуючи симпатико-адреналову систему, стресові подразники спричиняють посилене утворення наднирниками адреналіну і норадреналіну. Посилюючи серцеву діяльність і спричиняючи спазм дрібних кровоносних судин, ці гормони підвищують рівень артеріального тиску (АТ). Згідно класифікації ВОЗ — це стадія функціональних змін (рис. 4.19). Показники АТ коливаються в межах від 160/95 до 179/104 мм рт. ст. Деякі особи скаржаться на слабкість, головокружіння, безсоння, швидку втомлюваність.

Згодом в міру прогресування хвороби, звуження дрібних артерій стає більш стійким. Як наслідок, зменшується надходження крові до окремих органів і тканин (ішемія), порушується функція нирок. Посилена продукція наднирниками альдостерону сприяє затримці солей натрію, а отже, і води в тканинах, зокрема в стінках дрібних судин. Внаслідок набухання стінок судин діаметр їх звужується, опір руху крові зростає. За таких умов АТ постійно утримується в межах 180/105–199/144 мм рт. ст. Це друга стадія хвороби — стадія початкових органічних змін. В умовах дії психотравмуючих чинників, фізичних перенапружень, несприятливих метеорологічних впливів у таких хворих на фоні високого АТ внаслідок подальшого значного зростання в крові адреналіну, норадреналіну, вазопресину, альдостерону відмічається різке підвищення кров'яного тиску. Такі люди скаржаться на біль в очних яблуках, шум у вухах, їх нудить, мучить спрага.

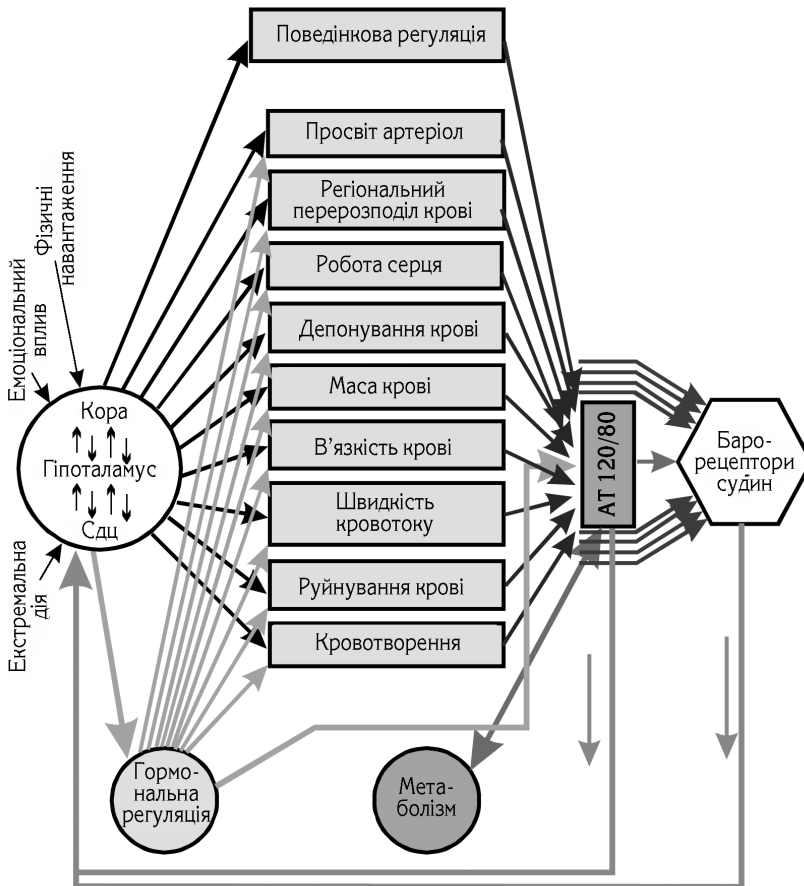


Рис. 4.18

Функціональна система підтримання артеріального тиску (за К. Судаковим, 1976)

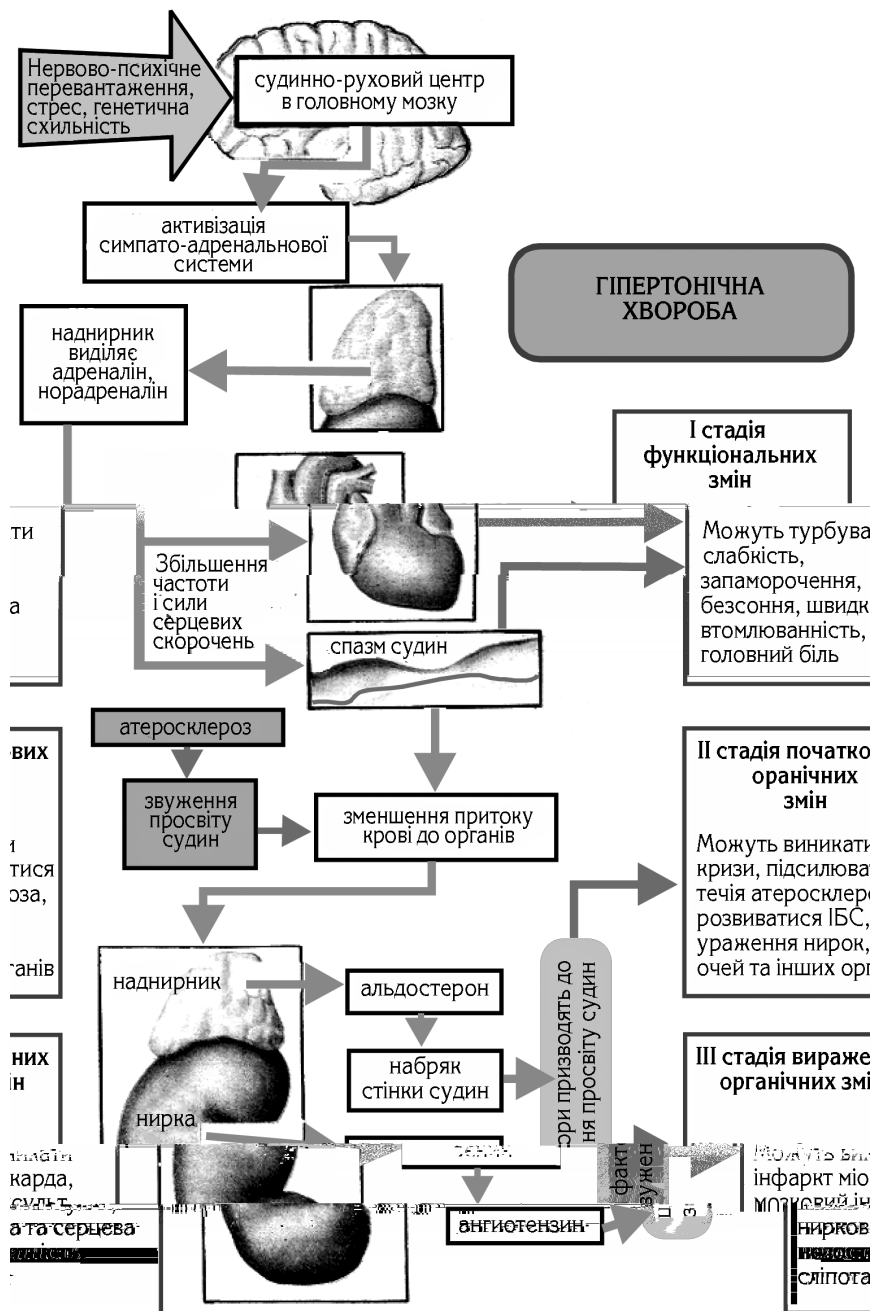


Рис. 4.19
Схема механізму розвитку гіпертонічної хвороби

В третій стадії гіпертонічної хвороби розвивається кардіосклероз, а згодом — серцева недостатність, з'являється задишка, прискорюється серцебиття, набрякають ноги, створюються шкіряні набряки, враження артерій нирок спричиняє нефросклероз (ниркова недостатність), погіршується зір. Внаслідок тривалого спазму судин головного мозку підвищується ймовірність розвитку ішемічного мозкового інсульту, або крововиливів у мозок.

8. Лімфообіг

Поряд з системою кровоносних судин в організмі присутня система лімфатичних судин. Ці судини виконують дренажну функцію: через них відбувається відтік тканинної (інтерстиціальної) рідини в кров'яне русло, що попереджує розвиток набряків. Таким чином, лімфатична система попереджує нагромадження рідини в інтерстиціальних просторах при підвищенні капілярної фільтрації. Вона також забезпечує виведення з інтерстиціальних просторів білків (близько 100 г за добу) і інших речовин, які не реабсорбуються в кровоносних капілярах. Для великих білкових молекул шлях у венозний капіляр закритий не випадково. Адже ці білки можуть виявитись шкідливими для організму мікробами або токсинами. В лімфовузлах за допомогою лімфоцитів, що тут утворюються, реалізується їх специфічна (розпізнавання «свого» і знешкодження «чужого») і неспецифічна (фагоцитоз) захисні функції. Для синтезу клітинних мембран лімфоцитів використовується значна кількість жирів, які тут знаходяться. Звідси небезпідставні міркування вчених щодо ролі лімфовузлів у регуляції жирового обміну і попередженні атеросклерозу судин. Взагалі лімфовузли розглядаються як біологічні фільтри, що виконують бар'єрну (захисну) функцію.

Будова лімфатичної системи. Лімфатична система розпочинається сіткою замкнених капілярів в усіх тканинах, за винятком поверхневих шарів шкіри, ЦНС і сполучної (кісткової) тканини. Стінки лімфатичних капілярів складаються з одношарового ендотелію, здатного вибірково пропускати через себе розчин електролітів, вуглеводи, жири і білки. Лімфатичні капіляри збираються у більш великі лімфатичні судини, які по грудному і шийному великих протоках впадають в підключичні вени. Через ці вени міжклітинна рідина, що утворилась із крові, разом з продуктами клітинного обміну повертається в кровоносне русло.

По ходу лімфатичних судин знаходиться велика кількість (близько 500) лімфатичних вузлів, розміром від просяного зерна до грецького горіха. При запальних процесах розміри лімфовузлів зростають. Загальна схема лімфообігу представлена на рис. 4.20.

Склад і властивості лімфи. Лімфа утворюється із тканинної рідини. Це напівпрозора з жовтуватим відтінком рідина, близька за складом до плазми крові і інтерстиціальної рідини (табл. 4.3). Проте в ній менше білка, ніж у плазмі (у лімфі, що відходить від печінки, білків більше).

Лімфа може згортатись. Це обумовлено наявністю в ній фібриногену і протромбіну. Лімфа містить у собі від 2 до 20 тисяч в 1 мм³ формених елементів (лімфоцити, моноцити,

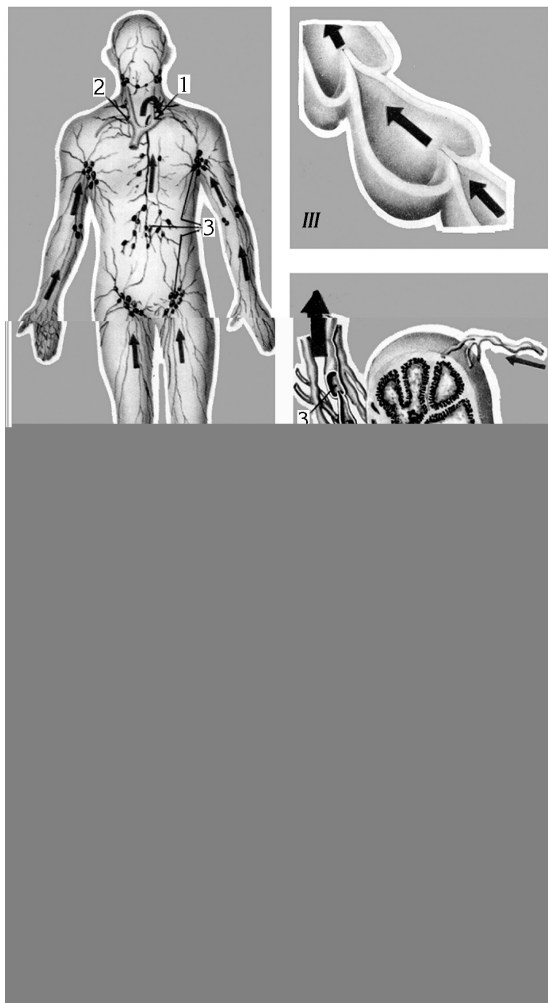


Рис. 4.20
Лімфообіг: I — загальна схема лімфообігу (1 — грудний і 2 — шийний лімфопротоки, 3 — лімфовузли); II — схема лімфатичних судин (1 — легені; 2 — лімфатична система; 3 — венозна система; 4 — артеріальна система; 5 — тканини); III — клапани лімфатичних судин; IV — лімфовузол (1 — кровоносні судини і нерви; 2 — приносні лімфатичні судини; 3 — виносна лімфатична судина)

еозинофіли — 50-60 %), глюкозу — 0,1 %, мінеральні солі — 0,8-0,9 %.

Склад лімфи постійно змінюється в залежності від напруженості обміну речовин. Лімфа, що відходить від кишечника після прийняття жирної їжі, містить в собі близько 3-4 % емульгованих жирів; лімфа, що відходить від залоз внутрішньої секреції, багата гормонами.

Лімфоутворення. В нормі за добу утворюється близько двох літрів лімфи. Це відповідає тим 10 % рідини, яка не реабсорбується після фільтрації в капілярах. Лімфоутворення здійснюється завдяки різниці гідростатичних і осмотичних тисків крові і тканинної рідини. Більш високий осмотичний тиск крові зумовлений більшим вмістом в ній білків, які не проходять через стінку капілярів. Саме онкотичний тиск білків сприяє утриманню води в крові капілярів. Оскільки тканинна рідина і лімфа м'язів та шкіри містить в собі незначну кількість білків, то і лімфоутворення тут внаслідок невеликої різниці колоїдно-осмотичних тисків крові також незначне. В печінці різниця колоїдно-осмотичних тисків крові і лімфи більш суттєва, лімфоутворення більш інтенсивне. Сприяють лімфоутворенню і посилене надходження до тканин і органів артеріальної крові, венозний застій, збільшення загальної маси крові.

В процесах лімфоутворення важлива роль належить активній діяльності ендотелію капілярів, його вибіркової проникності до різних речовин. Сприяють лімфоутворенню продукти розпаду білків (пептони і альбумози), курячий білок, екстракт з м'язів, настій з лісової суниці.

Розчини солей, цукру і сечовини, сприяючи переходу води з тканин в кров підвищують кров'яний тиск, а отже, активізують лімфоутворення.

Основними чинниками, що сприяють руху лімфи по лімфатичних судинах, є ритмічні скорочення гладеньких м'язів стінок лімфатичних судин (10–20 скорочень за хвилину), негативний тиск у грудній порожнині, збільшення об'єму грудної клітки при вдиху. Однонаправленому руху лімфи сприяють клапани лімфатичних судин.

Рух лімфи прискорюється при м'язовій роботі. Це досягається стисканням лімфатичних судин при скороченні скелетних м'язів.

Просвіт лімфовузлів регулюється симпатичною нервовою системою, збудження якої викликає скорочення великих лімфовузлів. Рефлекторно змінюється рух лімфи при болювих подразненнях, при зростанні тиску в каротидному синусі і при подразненні хемо- і барорецепторів внутрішніх органів. Посилюють лімфообіг фізична праця і масаж.

Таблиця 4.3

Щільність, г/см ³	1,017–1,026
В'язкість, ум. од.	1,7–2,0 ум. од.
pH	8,0–9,0
Вода, %	94,0–95,0
Загальний білок (альбуміни, глобуліни, фібриноген), %	3,0–50,0
Жир, %	0,4–0,9
Катіони, г/л: Na ⁺	1,0–2,0
K ⁺	0,8–2,0
Ca ²⁺	0,01–0,1

2.5. Практичні завдання

Матеріальне забезпечення заняття: препарувальний набір, жаби, ефір для наркозу, мікроскоп, мікрометричний окуляр, препарувальна дощечка з отвором, шпильки, секундомір, сфігмоманометр, кушетка, еластична гума (компресійна пов'язка), кодоскоп (діапроектор), кодопозитиви (діапозитиви) або ПК і мультимедійний проєктор.

Робота 1

Спостереження капілярного кровообігу в плавальній перетинці лапки жаби

Завдання. Вивчити особливості капілярного руху крові і дослідити швидкість руху крові в капілярах.

Методика. Жабу наркотизують і кладуть на препарувальну пробкову дощечку таким чином, щоб перетинка задньої лапки знаходилась над отвором дощечки. Злегка розправивши перетинку лапки, фіксують її шпильками. Підлаштувавши отвір дощечки (перетинку) під об'єктив мікроскопа, знаходять артеріальні та венозні судини. При нерівномірному русі крові в судинах розтягнення перетинки зменшують. Під великим збільшенням мікроскопа спостерігають за рухом крові по артеріях, капілярах і венах, відмічають деформування еритроцитів при їх проходженні через згини капілярів.

Визначають лінійну швидкість руху крові. Для цього використовують мікрометричний окуляр. В полі зору мікроскопа знаходять прямий капіляр. Мікрометричним окуляром вимірюють довжину капіляра, а користуючись секундоміром — час проходження одним еритроцитом даного проміжку капіляра. Швидкість руху крові визначають в мм/с. Аналогічно визначають швидкість руху крові в артеріях і венах.

Після завершення досліджень малюють графік швидкості руху крові на різних ділянках судинної системи, відмічають зміну сумарного діаметра судин. Звертають увагу на різну швидкості руху крові в центрі судин і біля їх стінок.

Робота 2

Вимірювання артеріального тиску

Завдання. Оволодіти методикою вимірювання артеріального тиску (АТ) методом Короткова. Визначити величину випадкового, залишкового і додаткового АТ. Дослідити особливості зміни кров'яного тиску при виконанні фізичного навантаження.

Методика. Для вимірювання артеріального тиску користуються сфигмоманометром. Сьогодні в практиці широко використовують прилади, в яких ртутний манометр замінений мембранним або пружинним манометром. Окрім манометра, в комплект приладу для вимірювання АТ входить гумова груша, манжетка, гвинтовий кран для випускання повітря і з'єднувальні резинові трубки.

Піддослідний звільняє від одягу ліву руку і сідає до столу. Передпліччя руки повинно лежати долонею догори. На плече накладають манжетку (звертають увагу, щоб її нижній край був на 2 см вище ліктьової ямки). В період вимірювання тиску піддослідний не повинен дивитися на шкалу манометра.

В ліктьовій ямці знаходять плечову артерію і прикладають до неї фонендоскоп. Закривають краник груші і створюють тиск в манжетці вищий від максимального. Після цього поступово випускають повітря з манжетки, слухають і реєструють за шкалою манометра появу перших тонів серця в плечовій артерії. Момент появи першого тону відповідає максимальному (сistolічному) тиску, момент їх зникнення — діастолічному тиску.

Поява звукових тонів в артерії обумовлена ритмічною зміною швидкості руху крові в різні фази серцевого циклу, а також наявністю кругової компресії, створеної манжеткою. Момент проходження крові через стиснену артерію в період систоли серця обумовлює систолічний тиск, а момент зникнення тонів, обумовлений зниженням в манжетці тиску до його величини в судинах, відповідає діастолічному тиску. Прослуховування «тонів серця» можливе внаслідок «проскакування» порцій крові через стиснену манжеткою артерію, стінки якої в цей час вібрують. При подальшому зниженні тиску в манжетці підходить такий момент, коли діастолічний тиск в артерії вищий, ніж тиск в манжетці. Вільне проходження крові через артерію не викликає вібрації її стінки, що призводить до зникнення тонів.

Після визначення величини кров'яного тиску в стані спокою досліджуваному пропонують виконати фізичне навантаження — 20 присідань за 30 с. Після цього кров'яний тиск вимірюють вдруге. Розраховують величину пульсового тиску і процент його приросту у зв'язку з виконанням фізичного навантаження. Роблять висновки про відповідність отриманих показників нормативним.

Визначення величин випадкового, залишкового і додаткового артеріальних тисків. Досліджуваному пропонують лягти на кушетку, включивши секундомір, вимірюють АТ. Перша цифра АТ є показником випадкового тиску. Надалі АТ вимірюють в кінці кожної третьої хвилини, всього протягом 30 хв. Самий низький АТ, отриманий при повторних вимірюваннях, носить назву залишкового (основного) тиску. Різниця між випадковим і залишковим тиском становить додатковий тиск. Величина додаткового тиску визначає ступінь збудливості нервових центрів, які регулюють рівень АТ — чим сильніша збудливість, тим більша величина додаткового АТ.

Під терміном «основний тиск» розуміють залишковий тиск, визначений в умовах основного обміну. Показник основного тиску є фізіологічною константою для даної людини.

У висновках до роботи вказують на відповідність отриманих показників фізіологічним нормам. Для здорових осіб з нормальним АТ зниження випадкового тиску до рівня залишкового відбувається протягом 6–9 хв; найбільша величина зниження як систолічного, так і діастолічного тисків не більше 10 мм рт. ст.

Робота 3

Дослідження ортостатичної реакції серця за зміною частоти пульсу

Завдання. Оволодіти ортостатичними тестами: тестом Шеллонга, клино-ортостатичним тестом і тестом Тесленка; за допомогою ортостатичних тестів оцінити функціональний стан серцево-судинної системи досліджуваних.

Методика. Визначення функціонального стану організму людини за допомогою ортостатичних тестів здійснюється дослідженням реакції серцево-судинної системи на зміну положення тіла в просторі. Дані ортостатичних тестів використовуються для оцінки функціональної підготовки гімнастів, акробатів і спортсменів інших спеціалізацій, тренування яких пов'язані з частою зміною положення тіла в просторі. Чим вища натренованість спортсмена, тим кращий результат ортостатичного тесту. Ортостатичні тести мають важливе значення для диференційної діагностики систолічних шумів серця.

Ортостатичний тест Шеллонга. Досліджуваний повинен спокійно лежати на кушетці протягом 5 хвилин. Тоді у нього визначають частоту пульсу протягом однієї хвилини. Після спокійного вставання ЧСС вимірюють вдруге.

Найбільш характерною реакцією на ортостатичну пробу Шеллонга є збільшення ЧСС. У натренованих спортсменів це збільшення ЧСС завжди на 5–15 скорочень (за 1 хв) менше ніж у ненаренованих осіб. Зміна ЧСС після вставання в значній мірі визначається тонусом симпатичної нервової системи. Якщо збільшення ЧСС після вста-

вання не більше 27 % від частоти пульсу в стані спокою, то збудливість симпатичної нервової системи вважається нормальною. Збільшення ЧСС після вставання більше ніж на 27 % свідчить про підвищену збудливість симпатичної нервової системи досліджуваного. Такий стан часто спостерігається у спортсменів протягом перших годин після тренування, при перенапруженні і перенапруженості.

Таблиця 4.4

Індексна оцінка функціонального стану серцево-судинної системи (за М. Тесленком)

Пульс сидячи	Показники збільшення ЧСС (різниця пульсу сидячи і пульсу стоячи)											
	4-2	0	0,6-2,8	2,9-5,1	5,2-7,4	7,5-9,7	9,8-12,0	12,1-14,3	14,4-16,6	16,7-18,9	19,0-21,2	21,3-23,5
42,8 і нижче					12,0	12,0	11,5	11,0	10,5	10,0	9,5	9,0
42,9-49,2					12,0	11,5	11,0	10,5	10,0	9,5	9,0	8,5
49,3-49,2				12,0	11,5	11,0	10,5	10,0	9,5	9,0	8,5	8,0
49,3-52,4			12,0	11,5	11,0	10,5	10,0	9,5	9,0	8,5	8,0	7,5
52,5-55,6		12,0	11,5	11,0	10,5	10,0	9,5	9,0	8,5	8,0	7,5	7,0
55,7-58,8	12,0	11,5	11,0	10,5	10,0	9,5	9,0	8,5	8,0	7,5	7,0	6,5
58,9-62,0	11,5	11,0	10,5	10,0	9,5	9,0	8,5	8,0	7,5	7,0	6,5	6,0
62,1-65,3	11,0	10,5	10,0	9,5	9,0	8,5	8,0	7,5	7,0	6,5	6,0	5,5
65,4-68,4	10,5	10,0	9,5	9,0	8,5	8,0	7,5	7,0	6,5	6,0	5,5	5,0
65,5-71,6	10,0	9,5	9,0	8,5	8,0	7,5	7,0	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5
71,7-74,8	9,5	9,0	8,5	8,0	7,5	7,0	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0
74,9-77,0	9,0	8,5	8,0	7,5	7,0	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5
77,1-80,2	8,5	8,0	7,5	7,0	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0
80,3-83,4	8,0	7,5	7,0	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5
83,5-86,6	7,5	7,0	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0
86,7-89,8	7,0	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5
89,9-93,0	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0
93,1-96,2	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5
96,3-99,4	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,0
99,5-102,6	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,0	-0,5
102,7-105,8	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,0	-0,5	-1,0
105,9-109,0	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,0	-0,5	-1,0	-1,5
109,1-112,2	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,0	-0,5	-1,0	-1,5	-2,0
112,3-115,8	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,0	-0,5	-1,0	-1,5	-2,0	-2,5
115,9-118,6	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,0	-0,5	-1,0	-1,5	-2,0	-2,5	-3,0
118,7-121,8	2,0	1,5	1,0	0,5	0,0	-0,5	-1,0	-1,5	-2,0	-2,5	-3,0	-3,5
121,9-125,0	1,5	1,0	0,5	0,0	-0,5	-1,0	-1,5	-2,0	-2,5	-3,0	-3,5	-4,0
125,1-126,0	1,0	0,5	0,0	-0,5	-1,0	-1,5	-2,0	-2,5	-3,0	-3,5	-4,0	-4,5

Таблиця 4.5

Оцінка функціонального стану спортсменів за ІД серцево-судинної системи (за М. Тесленком)

ІД серцево-судинної системи, ум. од.	До тренування		Оцінка навантаження через 15 хв після тренування
	Оцінка пристосованості серцево-судинної системи до фізичних навантажень	Допустимі тренувальні навантаження	
10 і більше	Добра	Незначні, середні, великі	
8–9,5	Середня	Незначні, середні	Незначне
6–7,5	Нижче середньої	Незначні, середні	Середнє
5,5 і нижче	Погана		Велике

Кліно-ортостатичний тест. Його суть полягає в підвищенні тону парасимпатичної нервової системи при переході організму людини з вертикального положення в горизонтальне. Нормальним вважається уповільнення ЧСС не більше шести за хвилину.

Зміни серцевої діяльності при зміні положення тіла обумовлені проявом механізму Франка-Старлінга — збільшене надходження венозної крові до серця в горизонтальному положенні супроводжується посиленням серцевого скорочення. Зменшення наповнення серця кров'ю в вертикальному положенні є основною причиною послаблення скоротливої функції серця.

Тест Тесленка. Досліджуваний зручно розташовується сидячи. Через 2 хв вимірюють ЧСС за 1 хвилину. Тоді підслідний встає і після двохвилинного стояння ЧСС підраховують вдруге. Від показника пульсу, отриманого в положенні стоячи, віднімають величину пульсу в положенні сидячи. Отримані дані ЧСС в положенні сидячи і показник різниці ЧСС в положенні сидячи і стоячи знаходять в табл. 4.4, на перехресті читають величину індексу достатності серцево-судинної системи (ІД ССС). Загальну оцінку ІД ССС проводять за даними табл. 4.5.

Величина ІД ССС «2» і нижче частіше зустрічається в осіб, що хворіють простудними хворобами. ІД залишається низьким деякий час після перенесеної хвороби, в період одужання, у спортсменів в стані гострої і хронічної перевтоми та перенатренованості.

Отримані за допомогою ортостатичних тестів дані аналізують і роблять висновки про рівень функціонального стану серцево-судинної системи досліджуваних, вказують на відповідність отриманих даних показникам фізіологічної форми.

Робота 4

Дослідження впливу м'язової роботи на ортостатичні реакції

Завдання. Шляхом накладання компресійних пов'язок дослідити вплив фізичних навантажень на ортостатичні реакції.

Методика. У досліджуваного вимірюють ЧСС і артеріальний тиск (АТ) в положенні лежачи, тоді в положенні стоячи. Вдруге ЧСС і АТ визначають в умовах накладання (перед вставанням) компресійних пов'язок — бинтування ніг еластичною гумою. Після цього ортостатичні проби повторюють ще двічі після фізичного навантаження (біг на місці в максимальному темпі протягом 20 с): а) без компресійних пов'язок; б) з компресійними пов'язками.

Отримані дані змін ЧСС і АТ в умовах зміни положення тіла, фізичних навантажень та накладання компресійних пов'язок заносять до протокольної таблиці, аналізують їх і роблять висновки про вплив м'язової роботи на ортостатичні реакції; вказують на засоби попередження порушень перерозподілу кровообігу у спортсменів після фінішу.

Протокольна таблиця досліджень впливу фізичних навантажень на ортостатичні реакції в умовах накладання компресійних пов'язок

Умови проведення експерименту	ЧСС, ск/хв		АТ, мм рт. ст.			
			P_{\max}		P_{\min}	
	лежачи	стоячи	лежачи	стоячи	лежачи	стоячи
1. Стан спокою						
1.1. Без накладання компресійних пов'язок						
1.2. З компресійними пов'язками						
2. Після фізичного навантаження						
2.1. Без компресійних пов'язок						
2.2. З компресійними пов'язками						

Робота 5

Екстракардіальні рефлекси

Завдання. Дослідити рефлексорні зміни діяльності серця (рефлекс Даніні-Ашнера). Вивчити механізм рефлексорних впливів на серце.

Методика. У досліджуваного визначають частоту серцевих скорочень. Після цього дослідник другим і третім пальцями протягом 10 с повільно і не сильно натискає на очне яблуко з двох сторін від рогівки. Повторюють визначення ЧСС.

В нормі за даних умов спостерігається зниження ЧСС в середньому на 10 ск/хв. Це явище пояснюється рефлексорним збудженням ядер блукаючого нерва. До складу рефлексорної дуги цього рефлексу (її малюють у висновках до роботи) входять аферентні волокна окорухового нерва, нейрони довгастого мозку та блукаючих нервів (їх збудження і виявляє гальмівну дію на серце).

Робота 6

Дослідження впливу змін кровопостачання кисті руки на виконання складних координованих рухів у людини

Завдання. В умовах експерименту простежити за зміною і характером швидкості почерку при зміні кровопостачання кисті.

Методика. Досліджуваному дають завдання: переписати рядок тексту з книги. Відмічають швидкість писання в секундах. Тоді на плече руки накладають манжетку сфінгоманометра і нагнітають в неї повітря, створюючи тиск 160 мм рт. ст. За таких умов надходження артеріальної крові до пальців руки припиняється. Повторюють переписування рядка тексту спочатку на 1-й хвилині після експериментального припинення кровообігу, тоді на 2-й і 3-й хвилини. У висновках відмічають зміни швидкості письма і почерку в умовах порушеного кровопостачання руки. Роблять висновок про вплив інтенсивності кровопостачання м'язів на ефективність виконання складних координованих рухів.

2.6. Ситуаційні запитання і задачі

1. Розкрийте фізіологічний механізм стану на рингу юного боксера, якому нанесено сильний удар в зону сонячного сплетіння.
2. Робота серця істотно впливає на величину артеріального тиску (АТ) крові. В чім проявляється ця залежність? Яка направленість змін АТ при значних крововтратах?
3. У досліджуваного, який випалив одну цигарку, ЧСС збільшилась на 30 ск/хв, систолічний тиск підвищився на 15 мм рт. ст. Як зміниться за цих умов температура пальців ніг і рук?
4. Нормалізація кров'яного тиску при його підвищенні в гирлі порожнистих вен здійснюється за схемою рефлексу Бейнбриджа. В чім його суть?
5. При натисканні пальцями на очні яблука спостерігаються відповідні зміни роботи серця. В чім сутність цих змін?
6. Вкажіть на фізіологічні зміни в серцево-судинній системі при підвищенні артеріального тиску (АТ) в сонній артерії. Назвіть складові компоненти рефлекторної дуги даного рефлексу.
7. В умовах значного потовиділення істотно зростає в'язкість крові. Як зміниться за таких умов артеріальний тиск крові?
8. Хворому учневі поставили діагноз — гіперфункція щитоподібної залози. Які зміни функціонального стану серцево-судинної системи спостерігатимуться у даного учня?
9. Для нормалізації функціонального стану серцево-судинної системи при підвищенні кров'яного тиску в легеневій артерії включається ряд компенсаторних механізмів. Вкажіть на основні з них.
10. Внаслідок травми учень втратив до 500 мл крові. Які компенсаторні зміни гемодинаміки активізуватимуться за даних умов?

11. Виконання легкої фізичної роботи здоровими учнями зумовлює зростання систолічного і зниження діастолічного тисків. Розкрийте механізм цих змін.
12. З віком у дітей спостерігається сповільнення ЧСС в стані спокою. Знижується ЧСС і у осіб, які систематично займаються фізичною культурою і спортом. Які фізіологічні механізми лежать в основі цих явищ?
13. Собаці зробили пересадку серця від іншої собаки. Після одужання виявилось, що початкова швидкість бігу собаки (в експерименті за зайцем на тредбані) була значно нижчою, ніж в доопераційному періоді. Через 1–2 хв бігу швидкість руху собаки зросла до величини, характерної даній собаці раніше (до операції). Поясніть суть даного явища.
14. Тиск крові у венах, що знаходяться поблизу грудної клітки, при вдиху стає нижчим атмосферного. Які чинники обумовлюють рух крові по венах за даних умов?
15. Відомо, що в умовах спокою середній гідростатичний тиск крові людини в капілярах 18 мм рт. ст., гідростатичний тиск тканинної рідини нижче атмосферного — мінус 6 мм рт. ст. Яка сила обумовлює перехід (фільтрацію) рідини з капілярів в міжтканинні простори? Величини коефіцієнта фільтрації.
16. Колоїдно-осмотичний (онкотичний) тиск плазми крові людини з вмістом 7 % білка — 30 мм рт. ст., тканинної рідини з вмістом 2 % білка — 6 мм рт. ст. Яка сила забезпечує рух рідини (абсорбцію) із тканинних просторів у кров'яне русло?
17. Вкажіть на співвідношення процесів фільтрації і абсорбції рідини між кров'ю судин і тканинною рідиною людини в стані спокою і при виконанні інтенсивної фізичної роботи.
18. У юнака в стані спокою артеріальний тиск становить 120/80 мм рт. ст. Після холодової проби величина артеріального тиску зросла до 140/70 мм рт. ст., час повернення артеріального тиску до норми — 5 хв. Дайте оцінку судинної реактивності організму юнака.
19. При зростаючому надходженні до серця венозної крові сила його скорочень автоматично зростає. Чим обумовлено таке посилення роботи серця?
20. У минулому столітті французький вчений Коріоліс вперше виявив вплив додаткової сили інерції, що діє при русі тіла у системі відліку, яка обертається: центробіжна сила проявляється відхиленням тіла, що рухається в бік, протилежний напрямку його відносного руху на даний момент. Вкажіть на взаємозв'язок коріолісового прискорення і асиметричного розташування артеріальної і венозної систем людини.
21. З врахуванням вчення Коріоліса про центробіжну силу, яка проявляється відхиленням тіла, що рухається в бік, протилежний напрямку його відносного руху, дайте фізіологічне обґрунтування доцільності бігу спортсмена в напрямку протилежному руху годинникової стрілки.
22. Для визначення (передбачення) ймовірності виникнення захворювань коронарних судин необхідно знати про основні чинники ризику. Вкажіть на основні з них.

23. Серед громадян України, які вмирають від захворювань системи кровообігу, близько 35 % осіб вмирають від інсультів. Вкажіть на фізіологічний механізм розвитку цієї поширеної хвороби. Чи можна прогнозувати можливість виникнення цього захворювання?
24. Чимало підлітків та дорослих осіб страждають таким серцево-судинним захворюванням як гіпертонія. Які чинники сприяють виникненню і прогресуванню цього захворювання? Валеологічні заходи попередження гіпертонії.

2.7. Тести

- Мале коло кровообігу розпочинається легеневою артерією, яка відходить від:
а) лівого шлуночка; б) правого шлуночка;
в) лівого передсердя; г) правого передсердя.
- Мале коло кровообігу закінчується чотирма венами, які впадають у:
а) лівий шлуночок; б) правий шлуночок;
в) ліве передсердя; г) праве передсердя.
- Велике коло кровообігу розпочинається з:
а) правого передсердя; б) лівого передсердя;
в) правого шлуночка; г) лівого шлуночка.
- Велике коло кровообігу закінчується двома порожнистими венами, які впадають у:
а) праве передсердя; б) ліве передсердя;
в) правий шлуночок; г) лівий шлуночок.
- Дрібні капіляри мають діаметр (мікрон):
а) 2–4; б) 4–10; в) 10–15; г) 15–20.
- Середня довжина капілярів (мм):
а) 0,3–1; б) 1–2; в) 2–3; г) 3–4.
- Артерії мають три оболонки. Середня з них представлена:
а) одношаровим плоским ендотелієм; б) сполучною тканиною;
в) гладенькими м'язами.
- В середній оболонці аорти і легеневої артерії (на відміну від усіх інших артерій) переважають:
а) еластичні волокна; б) м'язові волокна;
в) клітини одношарового плоского ендотелію.
- «Кранами кровоносної системи» І. М. Сеченов назвав:
а) артерії; б) артеріоли; в) капіляри; г) венули.
- У фізично натренованої людини загальною масою 70 кг і м'язовою масою 50 кг площа поверхні капілярних стінок в усіх м'язах (м²):
а) 200; б) 400; в) 600; г) 800.

11. На кожний см³ швидкого м'яза припадає в середньому капілярів:
а) 350; б) 450; в) 550; г) 400.
12. На кожний см³ повільного м'яза припадає в середньому капілярів:
а) 1000; б) 800; в) 600; г) 400.
13. Загальна кількість капілярів, яка функціонує в стані спокою (%):
а) 30–50; б) 50–70; в) 70–90; г) 90–100.
14. Основним чинником, що забезпечує рух крові у кровеносних судинах, є:
а) різниця кров'яних тисків на початку і в кінці великого і малого кіл кровообігу;
б) наявність залишкового позитивного тиску у венозних судинах;
в) наявність клапанів у великих венах, які відкриваються лише в напрямку серця;
г) присмоктувальна дія передсердь в період розслаблень.
15. Кількість крові, яка протікає через всю кровеносну систему за 1 хв, називається:
а) загальною об'ємною швидкістю течії крові;
б) хвилинним об'ємом крові;
в) місцевою об'ємною швидкістю течії крові;
г) а + б.
16. Загальна площа поперечного діаметра судинної системи послідовно від аорти до капіляра:
а) збільшується; б) зменшується; в) не змінюється.
17. Площа поперечного розрізу аорти дорослої людини (см²):
а) 8; б) 6; в) 4; г) 2.
18. Середня величина лінійної швидкості течії крові в аорті становить (мм/с):
а) 200–300; б) 150–200; в) 10–20; г) 0,5.
19. Середня величина лінійної швидкості течії крові в капілярах і венулах (мм/с):
а) 200–300; б) 150–200; в) 10–20; г) 0,5.
20. Час кругообігу крові при ЧСС 70–80 уд/хв становить близько (с):
а) 20–30; б) 10–13; в) 5–8; г) 1–3.
21. Показник різниці між систолічним і діастолічним тиском називається:
а) максимальним; б) мінімальним; в) пульсовим; г) середнім тиском.
22. В стані спокою у здорових дорослих людей систолічний тиск в плечовій артерії становить (мм рт. ст.):
а) 60–80; б) 80–100; в) 40–60; г) 100–120.
23. Нормотонічним в стані спокою у здорових дорослих людей діастолічний тиск у плечовій артерії становить:
а) 60–80; б) 80–100; в) 40–60; г) 100–120.
24. Гіпертонічним для молодих людей вважається систолічний тиск більше (мм рт. ст.)
а) 100; б) 120; в) 140; г) 160.
25. У капілярах систолічний тиск становить (мм рт. ст.):
а) 10–30; б) 60–80; в) 80–100; г) 100–140.



Таблиця 4.7

Величини об'єму роботи, виконаної спортивним і звичайним серцем людини протягом життя (за показником ЧСС, ск/хв)

	Спортивне серце	Звичайне серце	Різниця
1 хвилина	50	75	25
1 година	3000	4500	1500
1 день	75000	108000	36000
1 місяць	2160000	2240000	1080000
1 рік	25920000	38880000	12960000
Протягом 72 років життя	1866240000	2799360000	933120000

Виникнення спортивної брадикардії в значній мірі зумовлене зниженням тонуусу скелетної мускулатури, а отже, пропріорецептивної еферентації в стані спокою. Зменшення ЧСС при зменшенні надходження імпульсів в ЦНС від пропріорецепторів реалізується через механізми моторно-кардіальних рефлексів. Проте брадикардія не завжди є свідченням високої натренованості. Інколи вона відсутня навіть у спортсменів високого рівня кваліфікації. Економічність роботи серця в цьому випадку забезпечується меншою величиною систолічного об'єму крові або ж іншими механізмами.

Причиною брадикардії може бути перевтома, а також наявні хвороби серця. Тахікардія (пульс більше 80 ск/хв) в стані спокою не рідко виникає внаслідок неповного завершення відновних процесів після попереднього фізичного навантаження, проявом інтоксикації. Тахікардія часто компенсується збільшенням величини систолічного об'єму крові (В. Л. Карпман, В. Г. Любімова, 1982). Тому показник ЧСС в умовах спокою не можна віднести до числа чинників, які завжди визначають величину ХОК.

Брадикардія, як правило, розвивається в перші два-три роки занять спортом, надалі встановлюється на відносно сталому рівні, майже не змінюючись протягом річного тренувального циклу.

У спортсменів поряд з брадикардією часто спостерігається більш чи менш виражена синусова аритмія (коливання тривалості окремих серцевих циклів з різницею від 0,10 до 0,30 с). Її виникнення зумовлене посиленням впливу на серце блукаючого нерва і свідчить про здатність серця швидко адаптуватись до постійно змінних умов діяльності. Синусову аритмію не слід ототожнювати з дихальною аритмією, для якої характерним є зростання частоти пульсу на вдиху і його зменшення на видиху. При виконанні стандартної фізичної роботи прояв синусової аритмії зменшується або ж вона зникає взагалі, у натренованих осіб цей процес проходить швидше, ніж у ненатренованих.

У спортсменів в стані спокою спостерігається ряд особливостей біоелектричної активності серця (наявність синусової брадикардії і аритмії, зміщення сегмента $S-T$ електрокардіограми вище ізолінії, високий вольтаж зубців P і T , низький — зубця R), зменшена продуктивність роботи серця (до скелетних м'язів надходить близько 20 %

крові серцевого викиду), більш жорсткі стінки кровоносних судин (зокрема артеріальних судин ніг у бігунів на довгі дистанції), дещо знижені величини артеріального тиску, особливо мінімального.

Дослідження, проведені на студентах факультету фізкультури, показали, що незалежно від статі, спортивної спеціалізації і кваліфікації рівень систолічного АТ у них не виходив за межі фізіологічної норми. Частота гіпотонії у спортсменів була більшою (27%), ніж у неспортсменів (14%). Серед юнаків число осіб з гіпотонією було значно меншим, ніж серед дівчат. Вказана тенденція була характерна як для спортсменів (спортсменок), так і для ненатренованих осіб (П. Д. Плахтій, 1990). Гіпертонія в стані спокою може бути наслідком частих перенапружень або захворювання (гіпертонічна хвороба, хронічний нефрит тощо). Крім фізіологічної спортивної гіпотонії, зустрічається і патологічна гіпотонія (гіпотонічна хвороба, інтоксикація із органів хронічної інфекції), рідше вона є наслідком хронічної перевтоми.

Важливим показником функціонального стану системи кровообігу є пульсовий тиск. Його збільшення свідчить про зростання систолічного об'єму крові. Зі зростанням спортивної кваліфікації, незалежно від спеціалізації, рівень пульсового тиску у спортсменів зростає (величина діастолічного тиску знижується, систолічного не змінюється або дещо збільшується). Величина пульсового тиску позитивно корелює з показником фізичної працездатності спортсменів (ФП170), які спеціалізуються на витривалісних видах спорту (П. Д. Плахтій, 1990).

2. Показники функціонального стану серцево-судинної системи людини в умовах виконання дозованих навантажень

Серцево-судинна система фізично натренованих осіб (в порівнянні з неспортсменами) при виконанні дозованих навантажень функціонує більш економно (другий функціональний ефект тренування). У натренованих осіб швидше проходять процеси впрацювання системи кровообігу на початку діяльності, у них менш високий і більш стабільний рівень функціонування серця в процесі виконання дозованого навантаження, відновлення завжди проходить більш швидко.

При дозованому аеробному навантаженні ЧСС з віком зменшується. Одна і та ж робота здійснюється більш економно завдяки меншій інтенсифікації серцевої діяльності (рис. 4.22). Так, хлопчики 12–14 років при ЧСС 130 ск/хв можуть виконувати роботу, яка не перевищує 70 Вт, а 18-річні — 122 Вт (Я. М. Коц, 1986).

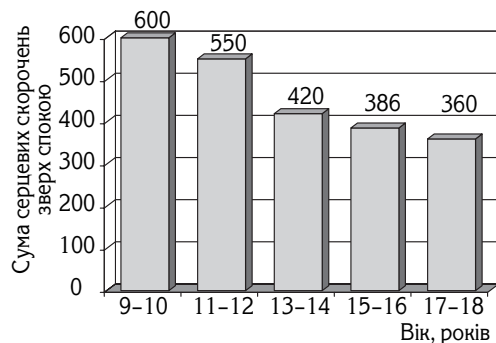


Рис. 4.22

Сума серцевих скорочень зверх спокою (ордината) при виконанні дозованого навантаження у школярів різного віку (В. М. Волков)

Частота пульсу, систолічний і хвилинний об'єми крові при стандартному навантаженні у натренованих осіб нижчі, ніж у ненаренованих. Збільшення хвилинного об'єму кровообігу у натренованих спортсменів відбувається переважно за рахунок збільшення систолічного об'єму крові, у ненаренованих — за рахунок ЧСС, що менш ефективно.

Для об'єктивної оцінки рівня зростання ЧСС і пульсового тиску після виконання стандартного навантаження визначають процент збільшення даних показників. Інформативним показником ефективності роботи серцево-судинної системи є показник середньої арифметичної величини приросту ЧСС і пульсового тиску після навантаження.

Нормальною реакцією на тест з двадцятьма присіданнями за 30 с вважається зростання ЧСС не більше 75 % від величини пульсу в стані спокою (до 25 % — відмінно, 26–50 % — добре, 51–75 % — задовільно). Більш виражене зростання пульсу після дозованого навантаження (більше 75 %) свідчить про неадекватну реакцію серця на навантаження. Причиною цього може бути недостатня натренованість або неповне відновлення вихідного стану спортсмена після виконання попереднього тренувального навантаження. Незначні величини зростання частоти пульсу після дозованих навантажень свідчать про великий об'єм функціональних резервів серця, про більш високу досконалість механізмів регуляції серцевої діяльності.

Найбільш адекватною реакцією артеріального тиску на дозоване навантаження з 20 присіданнями є збільшення систолічного тиску на 15–30 % і зменшення діастолічного тиску на 10–35 % (або незмінність його в порівнянні з величиною спокою).

Порівняння величини прискорення пульсу і збільшення пульсового тиску при дозованих навантаженнях дозволяє визначити відповідність змін пульсу змінам артеріального тиску. Раціональною вважається така реакція: процент прискорення пульсу відповідає проценту збільшення пульсового тиску, рідше процент прискорення ЧСС дещо менший величини збільшення пульсового тиску. Розрізняють п'ять типів реакції ЧСС і артеріального тиску на дозоване навантаження.

Нормотонічна реакція — процент прискорення ЧСС відповідає проценту збільшення АТ. Зростання пульсового тиску свідчить про збільшення систолічного об'єму крові. Більш високий систолічний тиск вказує на зростання систоли лівого шлуночка, а збільшення діастолічного тиску є свідченням зменшення периферійного кровообігу.

Гіпотонічна (астенічна) реакція. Пристосування до навантажень відбувається в основному за рахунок збільшення ЧСС і в меншій мірі за рахунок СОК (наприклад, ЧСС збільшується на 120–150 %, а пульсовий тиск — на 12–25 % або ж не змінюється, або навіть зменшується). Систолічний тиск збільшується несуттєво (на 5–10 мм рт. ст.), діастолічний тиск не змінюється, дещо підвищується або знижується. Цей тип реакції свідчить про функціональну неповноцінність серця.

Гіпертонічна реакція. Характеризується надмірно вираженим зростанням інтенсивності роботи серця (неадекватне зростання ЧСС і пульсового тиску). При цьому типі реакції серцево-судинної системи на дозоване навантаження спостерігається значне

зростання як систолічного (до 200 мм рт. ст.), так і діастолічного (до 100 мм рт. ст.) тисків при незначному прискоренні ЧСС. Проте зростання мінімального тиску після дозованого навантаження до 90 мм рт. ст. без значного збільшення максимального тиску слід вважати варіантом гіпотонічної реакції.

Дистонічна реакція. Характеризується значними змінами як систолічного (більше 180 мм рт. ст.), так і діастолічного (поява феномена «нескінченого тону») тисків, значним зростанням ЧСС. Якщо «нескінчений тон» прослуховується тільки на перших 15–20 с після функціональної проби, то таку реакцію розцінюють як задовільну, якщо ж «нескінчений тон» прослуховується протягом 2–3 хв після дозованого навантаження, то така дистонічна реакція вважається незадовільною. При дистонічній реакції немає потреби розраховувати процент збільшення пульсового тиску, оскільки визначальним в оцінці реакції на функціональну пробу з фізичним навантаженням є тривалість «нескінченого тону».

Реакція з ступінчастим зростанням діастолічного тиску. Якщо систолічний тиск на другій і третій хвилині після дозованого навантаження вищий, ніж на першій хвилині, то це свідчить про недосконалість (неповноцінність) системи регуляції кровообігу. Таку реакцію серцево-судинної системи на дозоване навантаження вважають незадовільною.

При появі хвилеподібного характеру відновлення АТ (ступінчаста реакція максимального тиску) реакцію вважають незадовільною. При доброму функціональному стані серцево-судинної системи відновлення АТ після функціональної проби з двадцятьма присіданнями завершується до кінця третьої хвилини, відновлення ЧСС — протягом другої хвилини. На перших двох-трьох хвилині відновного періоду пульс стає рідшим у порівнянні з доробочим на 1–3 скорочення за 10 с — «від'ємна фаза» пульсу (ВФП). Таке зрідження ЧСС триває близько 30 с, після чого пульс знову прискорюється, поступово приходячи до норми. ВФП є наслідком підвищення тону блукаючого нерва.

3. Зміни функціонального стану системи кровообігу при виконанні максимальних фізичних навантажень

Високий рівень функціональних резервів системи кровообігу при виконанні роботи максимальної потужності проявляється у швидкій і більш повній мобілізації серцем своїх резервів, у його здатності продовжувати роботу в змінених умовах внутрішнього середовища (третій функціональний ефект адаптації до фізичних тренувань).

В забезпеченні кисневого запиту при максимальних фізичних навантаженнях важлива роль належить перерозподілу крові (табл. 4.8, рис. 4.23). При цьому відбувається зменшення кровообігу органів черевної порожнини і непрацюючих скелетних м'язів і збільшення кровообігу інтенсивно працюючих м'язів. Робоча гіперемія викликається нагромадженням в працюючих м'язах молочної кислоти, гістаміну, вуглекислоти та інших речовин, які діють на тканинні рецептори і гладенькі м'язи артеріол. Збудження, що виникає при цьому, передається у судинно-пресорний центр, а звідти до кровоносних судин непрацюючих частин тіла, викликаючи їх звуження (явище компенсаторної

Таблиця 4.8

Особливості перерозподілу кровообігу в стані спокою і при максимальних фізичних навантаженнях (за К. Андерсеном, 1968)

Кровообіг	Спокій		Максимальне фізичне навантаження	
	мл/хв	%	мл/хв	%
Органи черевної порожнини	1400	24	300	1
Нирки	1100	19	250	1
Мозок	750	13	750	3
Коронарні судини	250	4	1000	4
Скелетні м'язи	1200	21	22 000	88
Шкіра	500	9	600	2
Інші органи	600	10	100	1
Разом	5800	100	25 000	100

вазоконструкції). У натренованих осіб, в порівнянні з ненатренованими, судинні реакції, які сприяють перерозподілу крові при максимальних навантаженнях, більш ефективні. Вони сприяють забезпеченню працюючих м'язів киснем і поживними речовинами, зумовлюють виведення з організму продуктів обміну.

При виконанні максимального фізичного навантаження значно скорочується період відпочинку серця. В окремих випадках відношення діастолі до систолі може знизитись до одиниці (однакова тривалість скорочення і розслаблення серця); змінюється також сама систола: зменшується тривалість фаз напруження і вигнання.



Рис. 4.23

М'язовий кровообіг і споживання O₂ м'язами в спокої і при виконанні максимальної аеробної роботи спортсменами і неспортсменами (Я. М. Коц, 1986)

змитись до одиниці (однакова тривалість скорочення і розслаблення серця); змінюється також сама систола: зменшується тривалість фаз напруження і вигнання. Внаслідок цього тиск крові в шлуночках в період фази напруження зростає з такою швидкістю, що практично одноразово з закриттям стулкових клапанів відбувається відкриття півмісяцевих клапанів (Є. П. Ільїн, 1980). Важливим механізмом, що попереджує зменшення наповнення кров'ю порожнин серця, а значить, і зменшення систолічного об'єму серця в цих умовах, є збільшення сили серцевих скорочень. Лише значне зменшення діастолі (до 0,6 с і менше) може привести до помітного зниження продуктивності роботи серця.

Зміни кров'яного тиску при виконанні фізичних навантажень зумовлюються кількістю крові, яка надходить в судинну систему за одиницю часу, ємністю судинного русла, інтенсивністю надходження крові на периферію тощо. При фізичній роботі усі ці чинники змінюються різнонаправлено, а тому і окремі показники кров'яного тиску в окремих осіб змінюються по-різному.

В цілому виконання напруженої фізичної роботи приводить, як правило, до збільшення систолічного тиску крові в плечовій артерії. В залежності від характеру роботи це збільшення може досягти 200 мм рт. ст. і більше. У відновному періоді після тривалої напруженої роботи систолічний тиск знижується інколи нижче початкового (доробочого) рівня (А. Н. Крестовніков, 1938). Діастолічний тиск після роботи помірної інтенсивності змінюється несуттєво, після напруженої роботи — або підвищується, або знижується. Різко виражені зміни цього показника є свідченням недостатньої адаптації циркуляційного апарата щодо виконуваної роботи (В. В. Васильєва, 1969). Граничні величини зміни основних показників кровообігу (рівень резервів серцево-судинної системи) в умовах максимальних фізичних навантажень приведені в табл. 4.9.

Про рівень резервів системи кровообігу судять за показниками коефіцієнту резерву — відношення величини функції за даним показником, визначеним в умовах максимальних навантажень до величини цього ж показника в стані спокою. Так, наприклад, коефіцієнт резерву за ЧСС у юнака (ЧСС спокою 60 ск/хв, ЧСС максимальна — 240 ск/хв) становитиме 4 ск/хв (240 : 60). Отже, ЧСС у даного юнака в екстремальних умовах може бути збільшеним у 4 рази, що і вказує на його рівень здоров'я за показником ЧСС.

В залежності від інтенсивності фізичних навантажень функціональні показники роботи серця змінюються неоднозначно. При відносно невеликих за потужністю навантаженнях ЧСС збільшується однонаправлено із збільшенням показника СОК. Проте СОК стає максимальним вже при порівняно невеликих субмаксимальних навантаженнях, коли ЧСС становить всього 110–120 ск/хв. Подальше зростання хвилинного об'єму серця, в умовах виконання більш потужної роботи, відбувається за рахунок ЧСС.

Таблиця 4.9

Функціональні ефекти адаптації системи кровообігу до фізичних навантажень

Фізіологічні показники	Нетреновані особи		Високотреновані особи	
	стан спокою	при максимальному навантаженні	стан спокою	при максимальному навантаженні
1. Частота серцевих скорочень, ск/хв	65–80	160–180	45–60	200–220
2. Систолічний об'єм крові	70–80	100–150	50–60	180–200
3. Хвилинний об'єм кровообігу, л/хв	3,5–5,5	25–30	2,5–3,5	35–40

4. Особливості реакцій серцево-судинної системи на фізичні навантаження статичного характеру

Вплив статичних навантажень на організм людини вивчено недостатньо, що, звичайно, ускладнює використання статичних вправ в оздоровчому тренуванні школярів. Недостатність розвитку статичної витривалості великих груп м'язів, особливо м'язів спини, призводить до збільшення навантажень на хребетний стовп та порушень постави школярів.

Високоєфективними статичними навантаженнями, які сприяють розвитку великих груп м'язів, є вправи на утримання маси тіла в положенні лежачи на спині, лежачи на стегнах, верхній чи нижній половині тіла. Розвиваючи статичну витривалість м'язів спини, такі вправи сприяють удосконаленню вегетативного забезпечення м'язових напружень за рахунок оптимізації функцій кардіо-респіраторної системи, вдосконалення механізмів аеробно-анаеробного енергозабезпечення м'язової діяльності. Статичні навантаження (з вихідним положенням стоячи) не повинні виконуватись до відмови і перевищувати 70 % від максимального зусилля (Л. Г. Петрова, В. Г. Петров, 1984).

Статична робота при тонічному напруженні м'язів може виконуватись на протязі тривалого часу без помітних змін діяльності серцево-судинної системи, без помітної втоми (підтримання пози сидіння чи стояння). Що ж до статичних зусиль, які супроводжуються тетанічними скороченнями м'язів (вис, упор, стійка на кистях, утримання вантажу тощо), то вони не можуть продовжуватись довго, оскільки такі скорочення викликають швидку втому при значних змінах кровообігу не тільки в м'язах, які скорочуються, а й в усьому організмі.

Особливістю зміни регіонального кровообігу в м'язі, який працює в умовах статичного (ізометричного) скорочення, є значне збільшення внутрім'язового тиску, що призводить до порушення капілярного кровообігу. При цьому активізуються механізми анаеробного енергозабезпечення, зростає ЧСС, у м'язах накопичується значна кількість молочної кислоти, інших продуктів обміну, що призводить до швидкого настання втоми. Зростання ЧСС за даних умов зумовлене активізацією м'язових пропріорецепторів, які підвищують тонуус нервового центру кровообігу в умовах анаеробного метаболізму (Г. Ульмар, 1986). Разом з тим СОК при статичному зусиллі зменшується як у дорослих, так і у дітей та підлітків. Хвилинний об'єм кровообігу на початку статичного напруження великої групи м'язів збільшується за рахунок стимуляції ЧСС при одночасному зниженні показника СОК. Подальше зменшення СОК під кінець періоду статичного напруження приводить до ще більш значного зменшення ХОК (А. В. Торгашева, 1986).

Після припинення статичного напруження (у відновному періоді) спостерігається запізніле (більш виразне, ніж під час роботи) посилення кровообігу, вентиляції легень і споживання кисню (феномен статичних напружень). Даний феномен вказує на те, що дихання і кровообіг при статичних зусиллях менш ефективні, ніж при роботі динамічного характеру.

Оскільки феномен статичних напружень частіше виникає при напруженнях, що виконуються в положенні стоячи, коли необхідно долати гравітаційний чинник, то фізіологи (Р. А. Шабурін, А. Ф. Терешкін та ін., 1986) рекомендують розвивати статичну витривалість у юних спортсменів шляхом використання таких методів, які забезпечують включення в статичне напруження великих груп м'язів з виконанням вправ у положенні сидючи або лежачи.

Нами встановлено ряд особливостей реакції серцево-судинної системи легкоатлетів і гімнастів масових розрядів на статичні напруження: утримання ніг лежачи на спині під кутом 45°, утримання тулуба на гімнастичній лаві, «висячи» на стегнах. Аналіз результатів досліджень свідчить про більш високу виразність змін серцево-судинної системи досліджуваних при утриманні тулуба, ніж при утриманні ніг (табл. 4.10). Так, після 96-секундного утримання ніг легкоатлетами ЧСС зросла на 32 %, а після 63-секундного утримання тулуба — на 50 %, показник ХОК відповідно збільшився на 71 і 90 %.

Таблиця 4.10

Особливості змін функціонального стану системи кровообігу у гімнастів та легкоатлетів в умовах статичних навантажень

Досліджувані показники	До навантаження	Після навантаження	
		утримання ніг	утримання тулуба
Легкоатлети (n=10)			
ЧСС, ск/хв	62,1 ± 1,56	86,6 ± 1,72	93,5 ± 2,70
P _{тах} , мм рт. ст	118,0 ± 2,0	125 ± 2,5	131 ± 1,24
P _{тах} , мм рт. ст	72,5 ± 2,0	61 ± 3,5	61 ± 1,45
P _{пульс} , мм рт.ст.	46 ± 2,0	64,5 ± 3,02	70 ± 1,5
СОК, мл	67,8 ± 1,9	83,4 ± 3,3	86,4 ± 1,46
ХОК, л/хв	4,203 ± 0,3	7,172 ± 0,27	8,06 ± 0,15
Гімнасти (n=10)			
ЧСС, ск/хв	76,5 ± 1,7 P > 0,05	98 ± 1,5 P < 0,001	107,1 ± 2,16 P < 0,001
P _{тах} , мм рт. ст	118,0 ± 1,5	128 ± 1,06	131 ± 1,45
P _{тах} , мм рт. ст	67 ± 2,0	55,5 ± 2,08 P < 0,001	60 ± 1,82 P < 0,001
P _{пульс} , мм рт. ст.	51 ± 2,0 P > 0,05	69 ± 2,0	74 ± 2,44
СОК, мл	73,3 ± 1,9 P < 0,001	87,5 ± 2,3	89,0 ± 2,21
ХОК, л/хв	4,911 ± 0,2 P < 0,001	8,585 ± 0,3 P < 0,001	9,55 ± 0,37 P < 0,001

Исследования показали, что в группе с высоким уровнем интеллектуальной нагрузки (49,60%), в среднем 32,50% из них имеют высокий уровень интеллектуальной нагрузки (P < 0,001). ОНД (P < 0,01). В группе с низким уровнем интеллектуальной нагрузки (32,50%) в среднем 10,00% имеют высокий уровень интеллектуальной нагрузки (P < 0,001). ОНД (P < 0,01). В группе с высоким уровнем интеллектуальной нагрузки (49,60%) в среднем 32,50% из них имеют высокий уровень интеллектуальной нагрузки (P < 0,001). ОНД (P < 0,01).

Исследования показали, что в группе с высоким уровнем интеллектуальной нагрузки (49,60%), в среднем 32,50% из них имеют высокий уровень интеллектуальной нагрузки (P < 0,001). ОНД (P < 0,01). В группе с низким уровнем интеллектуальной нагрузки (32,50%) в среднем 10,00% имеют высокий уровень интеллектуальной нагрузки (P < 0,001). ОНД (P < 0,01).

жується з 1,49 в стані спокою до 1,44 перед екзаменом. Зниження КВ в умовах фізичних навантажень вказує на високий рівень натренованості серцево-судинної системи обстежуваних осіб. В умовах екзаменаційного стресу КВ відображає, ймовірно, рівень емоційно-стресового напруження.

На екзамені, після того, як студент взяв білет, функціональні зрушення серцево-судинної системи стають більш істотними. Так, ЧСС в порівнянні з станом спокою збільшується на 32 % ($p < 0,001$), майже на 17 % зростає систолічний і на 6 % діастолічний тиск крові. В період екзамену істотно зростає СОК ($p < 0,001$) і ХОК.

На 5–10 хвилини після складання екзамену спостерігається зниження показників ЧСС, артеріального тиску, СОК і ХОК, проте всі вони ще істотно вищі рівня спокою. КВ в цей період зростає до 1,5. В багатьох випадках, коли екзаменатор зупиняє студента для виправлення помилки чи неточності, допущеної у відповіді, нами спостерігалось виразне уповільнення частоти серцевих скорочень. Величина зниження ЧСС досить індивідуальна, в середньому вона становить 20–30 ск/хв. Відзначений феномен рідше зустрічається в осіб з низькою ЧСС, зовсім рідко і майже не проявляється в осіб з надмірно високим екзаменаційним пульсом.

Уповільнення скорочень серця людини з 150 до 100 ск/хв по ходу напружених епізодів, зв'язаних з невдалими відповідями на запитання під час захисту дисертації, реєстрував у дисертантів Б. М. Федоров (1977). Найчастіше брадикардія (зменшення ЧСС) відзначається у відповідальних ситуаціях, які вимагають зібраності, вольового напруження, переборення емоцій хвилювання. Разом з тим уповільнення скорочень серця не виникає, коли переважають емоції хвилювання. Таким чином, хвилювання є чинником, що викликає тахікардію (прискорення скорочень серця), стан зібраності і переборення зовнішніх проявів хвилювання, навпаки, зумовлює брадикардію.

В умовах загальмованого ефекту спостерігається перезбудження адренергічної системи з одноразовим впливом блукаючих нервів на серце. За таких умов і виникають аритмії передсердь, порушується атріовентрикулярна провідність провідної системи серця. Уповільнення серцевої діяльності може бути наслідком глибокої депресії і психологічного шоку, а може виникати і рефлекторно-компенсаторна брадикардія у відповідь на різке підвищення артеріального тиску (Б. М. Федоров, 1977).

Встановлено, що у спортсменів, які спеціалізуються з спортивних ігор, одноборств, велоспорту, лижного спорту і легкої атлетики, показники ЧСС, пульсового тиску і ХОК в стані спокою (за тиждень до екзамену) дещо нижчі, ніж у спортсменів, які спеціалізуються з гімнастики і важкої атлетики. Це свідчить про більш економічне функціонування в стані спокою системи кровообігу у спортсменів, які на тренуваннях особливу увагу приділяють розвитку загальної витривалості. Гімнасти і важкоатлети розвитку даної якості приділяють менше уваги, про що, зокрема, говорить факт меншої величини у них показників фізичної працездатності, визначених за тестом ФП170 ($1035 \pm 24,5$ кгм/хв проти $1540 \pm 17,4$ кгм/хв у спортсменів циклічних видів спорту). Дещо менший у спортсменів витривалісних видів спорту в спокої і КВ.

Зміни показників функціонального стану серцево-судинної системи в умовах екзаменаційного стресу у спортсменів різної спеціалізації не суттєві. В цей період можна відзначити лише більш виразне збільшення систолічного і діастолічного тисків у спортсменів, які спеціалізуються з гімнастики, важкої атлетики, спортивних ігор і однокорств.

Встановлено ряд особливостей реакції системи кровообігу на екзаменаційний стрес у спортсменів різної кваліфікації (табл. 4.12).

В спокої у спортсменів високої кваліфікації в порівнянні з спортсменами масових розрядів встановлені більш низькі величини ЧСС, артеріального тиску, СОК і ХОК. Отримані дані щодо зниження величини артеріального тиску у спортсменів з розвитком натренованості співпадають з результатами досліджень М. А. Фоміна, В. П. Філіна (1972). Зовсім протилежної думки дотримується В. В. Васильєва (1975), яка вказує на підвищення артеріального тиску у спортсменів з розвитком натренованості. Дещо виразніше при цьому зростає діастолічний тиск, що, на думку автора, зумовлено зменшенням потреби працюючих тканин в кровозабезпеченні.

Таблиця 4.12

Зміни функціонального стану серцево-судинної системи студентів-спортсменів різної кваліфікації в умовах екзаменаційного стресу

Кваліфікація спортсменів	ЧСС, ск/хв	Артеріальний тиск, мм рт.ст.			СОК, мл	ХОК, л/хв	КВ, ум.од.
		Pmax	Pmin	Pпульс			
Стан спокою							
Спортсмени масових розрядів (n=49)	67,0 ± 1,5	114,4 ± 1,8	70,6 ± 1,6	44,3 ± 1,7	69,1 ± 1,61	4,6 ± 0,63	1,5 ± 0,06
Спортсмени високої кваліфікації (n=49)	65,3 ± 1,0	112,3 ± 1,5	68,5 ± 1,5	42,7 ± 1,4	68,0 ± 1,3	4,4 ± 0,16	1,5 ± 0,14
Перед екзаменом							
Спортсмени масових розрядів	80,3 ± 2,5	119,6 ± 2,0	67,9 ± 1,2	61,8 ± 2,4	70,2 ± 1,8	5,6 ± 0,20	1,3 ± 0,07
Спортсмени високої кваліфікації	80,0 ± 1,7	124,6 ± 1,8	67,1 ± 0,9	67,1 ± 0,9	67,1 ± 1,4	72,9 ± 1,1	5,8 ± 0,25
На екзамені							
Спортсмени масових розрядів	98,1 ± 1,7	128,7 ± 1,6	73,4 ± 1,8	55,3 ± 2,4	72,3 ± 2,3	71,7 ± 0,14	1,7 ± 0,07
Спортсмени високої кваліфікації	83,9 ± 1,7 p < 0,01	130,2 ± 1,8	71,7 ± 2,1	58,5 ± 2,1	71,68 ± 1,4	6,04 ± 0,16 p < 0,001	1,5 ± 0,08 p < 0,01

В передекзаменаційному періоді відзначається адекватне підвищення функціональної активності серцево-судинної системи в усіх обстежуваних осіб. Про це, в першу чергу, свідчить зниження ЧСС, артеріального тиску, зростання величини СОК і ХОК. Під час екзамену зміни відзначених показників більш виражені і мають ряд специфічних особливостей. В цей період у спортсменів високої кваліфікації в порівнянні з спортсменами масових розрядів істотно менші величини ЧСС і ХОК. Більш адекватними у високоатренованих спортсменів були зрушення артеріального тиску під час екзаменаційних навантажень, про що свідчить факт значно меншої величини у них КВ.

Показник фізичної працездатності, визначений за тестом ФП170, за тиждень до екзаменаційної сесії по групі спортсменів високої кваліфікації становив $1305 \pm 12,0$ кгм/хв, по групі спортсменів масових розрядів — $1124 \pm 1,5$ кгм/хв ($P < 0,001$). В період екзаменаційної сесії (у другій її половині) зниження рівня фізичної підготовленості у спортсменів масових розрядів було більш виразним ($P < 0,001$), ніж у спортсменів високої кваліфікації. Таким чином, більш сприятлива реакція серцево-судинної системи на екзаменаційний стрес у спортсменів високої кваліфікації — важлива передумова збереження високого рівня фізичної працездатності. Зниження ж реактивності серцево-судинної системи в умовах екзаменаційної сесії у спортсменів масових розрядів призводить до зниження їх фізичної працездатності. В цілому ж фізична підготовленість сприятливо впливає на функціональну реактивність системи кровообігу, вона є чинником, який оптимізує реакцію даної системи на екзаменаційний стрес. Фізичне тренування в даному випадку належить розглядати як чинник, що попереджує можливі перетворення нормальних стресових реакцій в патологічні.

Отже, у студентів, які систематично займалися фізичною культурою, нервово-емоційне напруження не викликає істотних негативних вегетативних зрушень в організмі. Такі студенти тривалий час здатні підтримувати високий рівень розумової працездатності. Звичайно, величину фізичних навантажень, особливо її інтенсивність, в цей період належить знизити, бажано не пропускати занять ранковою гігієнічною гімнастикою, час від часу виконувати фізкультхвилинки та вправи на розтягування, плавати, частіше прогулюватись на свіжому повітрі.

Різні за типом нервової системи студенти по-різному почувають себе в екстремальних екзаменаційних умовах.

В стані спокою не існує істотної різниці основних показників функції серця і судин у спортсменів сангвінічного і холеричного типів нервової системи; між обстежуваними холеричного і флегматичного типів ВНД різниця суттєва лише за показником СОК, який нижчий у студентів-флегматиків. Порівняння основних показників роботи серця в стані спокою у студентів-сангвініків і студентів-флегматиків дозволило виявити у флегматиків більш низькі величини пульсового тиску, СОК і ХОК, більш високі КВ. Таким чином, в передекзаменаційному періоді серцево-судинна система у студентів-флегматиків в порівнянні із студентами-холериками і сангвініками функціонує більш економно.



людей з надмірною жировою масою тіла АТ підвищений, серед сухошавих гіпертонія зареєстрована лише у 10 % випадків, у вегетаріанців АТ нижчий ніж у м'ясоїдів. Кількість осіб з підвищеним АТ збільшується з віком.

Середні величини АТ для осіб віком від 7 до 20 літ приведені в табл. 4.14 (А. Ф. Синяков, 1987). Середній приріст АТ з 7 до 20 років складає 23,3 мм рт. ст. (1,79 мм рт. ст. за рік) для систолічного тиску і 20,3 мм рт. ст. (1,56 мм рт. ст. в рік) для діастолічного. Дещо більш високий приріст АТ спостерігається у віці від 11 до 14 років, що, ймовірно, зумовлено активізацією гормональної функції статевих залоз. В міру статевого дозрівання АТ у хлопчиків (з 14 років) стає вищим, ніж у дівчаток. Підвищений АТ відмічався в середньому у 2,8 % дітей, понижений — у 1 % дітей. В період статевого дозрівання процент дітей з гіпер- і гіпотензивним станом зростає відповідно на 5 і 3 % (*гіпертензія* — тимчасове підвищення АТ, *гіпотензія* — тимчасове пониження АТ).

Слід пам'ятати, що не всі школярі 13–15-річного віку, в яких вперше встановили підвищений АТ, скаржаться на погіршене самопочуття, лише деякого з них турбують головні болі, головокружіння, підвищена втомлюваність, інколи виникають болі в серці. Оскільки ці симптоми загальні і не стійкі, батьки рідко звертаються за консультацією до лікарів.

Однією з причин підвищення АТ у дітей є психічні перенапруження, викликані навчальними навантаженнями, різними позакласними заняттями, сидячим способом життя, значними витратами часу на перегляд телепередач, читання книг тощо. Підтвердженням психічної теорії гіпертонії школярів є той факт, що в учнів фізико-математичних, ма-

Таблиця 4.14

Середні величини АТ в залежності від віку, мм рт. ст. (А. Ф. Синяков, 1987)

Вік, років	У осіб чоловічої статі		У осіб жіночої статі	
	систолічний	діастолічний	систолічний	діастолічний
7	94,5 ± 9,2	53,6 ± 8,3	93,4 ± 8,7	53,1 ± 8,5
8	96,1 ± 9,1	55,2 ± 8,6	94,8 ± 10,0	54,6 ± 8,4
9	97,0 ± 9,3	59,1 ± 7,8	98,9 ± 9,8	56,2 ± 8,1
10	98,8 ± 9,6	60,3 ± 8,3	101,3 ± 9,5	58,9 ± 8,5
11	99,4 ± 8,4	60,9 ± 8,2	102,6 ± 9,3	60,0 ± 8,7
12	102,8 ± 10,1	61,3 ± 8,5	105,2 ± 10,8	62,4 ± 8,9
13	105,7 ± 11,2	62,4 ± 8,7	108,0 ± 10,6	64,9 ± 9,0
14	111,1 ± 10,8	64,8 ± 8,6	110,6 ± 9,9	67,1 ± 7,4
15	112,4 ± 11,4	66,7 ± 7,9	111,1 ± 9,7	67,9 ± 8,1
16	113,5 ± 8,9	70,2 ± 8,8	111,3 ± 9,1	68,3 ± 8,4
17	114,1 ± 10,2	71,4 ± 8,6	112,1 ± 10,0	69,2 ± 8,7
18	115,5 ± 9,8	72,3 ± 9,8	113,4 ± 8,2	70,6 ± 8,0
19	116,6 ± 9,4	73,4 ± 8,4	114,8 ± 7,8	71,4 ± 7,1
20	118,2 ± 8,6	74,8 ± 8,6	116,3 ± 7,6	72,5 ± 7,2

тематичних і інших спецшкіл підвищений тиск виявляється в п'ять разів частіше, ніж в учнів звичайних шкіл.

Здоров'я дітей залежить і від атмосфери, що оточує їх в школі та дома. Чинниками, що спричиняють розвиток гіпертонії є гіпокінезія, порушення раціонального режиму дня, надмірна вага дітей, споживання солоної їжі, солодощів. Звичайно, причиною гіпертонії можуть бути тонзиліти, хронічні захворювання нирок, печінки, жовчного міхура тощо. Слід пам'ятати і про спадкову схильність до гіпертонії.

Серед вчених немає єдиної точки зору щодо вікових нормативів АТ. Це зумовлено складністю розмежування фізіологічних величин АТ від патологічних. Згідно з рекомендаціями ВООЗ виділяється погранична артеріальна гіпертензія (при АТ у дорослих в межах 140/90–159/94 мм рт. ст.) і гіпертонічна хвороба (при АТ більше 159/94 мм рт. ст.). При граничній типі гіпертензії АТ може коливатись від нормальних величин до рівня межі граничної зони — 159/94 мм рт. ст. При цьому нормалізація АТ відбувається самостійно без втручання лікарів. Належні величини АТ в залежності від віку подані в табл. 4.15.

Якщо фактична величина систолічного АТ вище нормативної (розрахованої за приведеними в табл. 4.15 формулами) на 15 мм рт. ст. і більше, а діастолічний тиск — на 10 мм рт. ст. і більше, то це свідчить про гіпертензію. Якщо фактична величина систолічного АТ буде нижче належної на 20 мм рт. ст. і більше, а діастолічного — на 15 мм рт. ст. і більше, то такий стан вказує на гіпотензію.

Таблиця 4.15

Належні величини АТ в залежності від віку, мм рт. ст. (А. Ф. Сняков, 1987)

Вік, років	Артеріальний тиск		Формули для розрахунків
	систоличний	діастолічний	
7	94,9	53,2	Систоличний АТ = 1,7 · вік + 83
8	96,6	54,8	
9	98,3	56,4	
10	100,0	58,0	
11	101,7	59,6	
12	103,4	61,2	
13	105,1	62,8	
14	106,8	64,4	
15	108,5	66,0	
16	110,2	67,6	
17	111,9	69,2	Діастолічний АТ = 1,6 · вік + 42
18	113,6	70,8	
19	115,3	72,4	
20	117,0	74,0	
25	119,0	74,5	
30	121,0	76,0	
35	123,0	77,5	
40	125,0	79,0	
45	127,0	80,5	
50	129,0	82,0	
55	131,0	83,5	Систоличний АТ = 0,4 · вік + 109
60	133,0	85,0	
65	135,0	86,5	
70	137,0	88,0	
75	139,0	89,5	
80	141,0	91,0	

Таблиця 4.16

АТ у віці від 7 до 20 років в процентах від величини АТ у віці 20 років, мм рт. ст.

Вік, років	У осіб чоловічої статі		У осіб жіночої статі	
	систолічний	діастолічний	систолічний	діастолічний
7	79,95	71,66	80,31	73,24
8	81,30	79,80	81,50	75,31
9	82,06	79,01	85,39	77,31
10	83,59	80,61	87,10	81,24
11	84,09	82,75	88,22	82,76
12	86,97	81,95	90,46	86,07
13	89,42	83,42	92,86	89,52
14	93,99	86,63	95,10	92,55
15	95,09	89,17	95,53	93,66
16	96,02	93,85	95,70	94,21
17	96,53	95,45	96,39	95,45
18	97,72	96,66	97,51	97,38
19	98,65	98,12	98,71	98,48
20	100,00	100,00	100,00	100,00

За показниками АТ в дитячому віці можна передбачити величину АТ в зрілому віці. Найявність такої залежності вказує на необхідність проведення профілактичних заходів з дітьми схильними до гіпертонії.

Для розрахунку майбутньої величини АТ у дорослому віці за показниками АТ в дитячому віці користуються даними табл. 4.16. Хід розрахунків прогнозування АТ у 15-річної дівчинки з АТ — 110/70 мм рт. ст. буде таким (А. Ф. Синяков, 1987). АТ 110/70 мм рт. ст. вищий середніх значень АТ для її ровесниць (108/66 мм рт. ст., табл. 4.15).

За даними табл. 4.16 (А. Ф. Синяков, 1987) визначаємо величину АТ, яка повинна бути у даної дівчинки у віці 20 років. У відповідній графі знаходимо, що систолічний АТ у 15-річної дівчинки становитиме 95,53 %, а діастолічний — 93,66 % від величини АТ у 20-річних. Звідси, систолічний АТ = $(110 \cdot 100) : 95,53 = 115,15$ мм рт. ст, діастолічний АТ = $(70 \cdot 100) : 93,66 = 74,74$ мм рт. ст.

Таким чином, у 20-річному віці в даної дівчинки АТ повинен бути 115/75 мм рт. ст. Користуючись даними табл. 4.15, встановлюємо, що ці величини вище середніх значень — 111/68 мм рт. ст., але вони не виходять за межі норми у 20-річних осіб, а тому немає підстав для турбот щодо проведення спеціальних профілактичних заходів, направлених на зниження АТ.

3.5. Практичні завдання

Матеріальне забезпечення заняття: сфігмоманометр (ртутний, мембранний, пружинний або електронний), степергометр, велоергометр, фонендоскоп, секундомір, кушетка, кодоскоп (діапроектор), кодопозитиви (діапозитиви) або ПК і мультимедійний проектор.

Робота 1

Дослідження змін основних показників роботи серця в умовах фізичних навантажень

Завдання. Оволодіти методикою визначення основних непрямих показників роботи серця — систолічного об'єму крові (СОК) і хвилинного об'єму кровообігу (ХОК), коефіцієнта витривалості, серцевого індексу. Дослідити направленість змін вказаних показників у зв'язку з виконанням дозованого фізичного навантаження.

Методика. Непрямі методи визначення систолічного і хвилинного об'ємів крові базуються на наявності високої кореляційної залежності між показниками пульсового тиску і СОК. Для непрямого визначення СОК у досліджуваного вимірюють артеріальний тиск і, користуючись формулою Старра, визначають величину СОК (в мл):

$$СОК = 100 + 0,5 \cdot ПТ - 0,6 \cdot ДТ - 0,6 \cdot В,$$

де: *ПТ* — пульсовий тиск (мм рт. ст.), *ДТ* — діастолічний тиск (мм рт. ст.), *В* — вік, років.

Для визначення СОК у дітей користуються іншою формулою:

$$СОК = 40 + 0,5 \cdot ПТ - 0,6 \cdot ДТ - 3,2 \cdot В.$$

Хвилинний об'єм кровообігу серця (ХОК) показує, яку кількість крові (мл або л) виштовхує серце в кровообіг за одну хвилину. ХОК визначають шляхом множення показника ЧСС (ск/хв) на показник СОК (мл) або за формулою Лілієстранда і Цандера:

$$ХОК = (ПТ \cdot 100) : СТ,$$

де: *ПТ* — пульсовий тиск, мм рт. ст., *СТ* — середній тиск, мм рт. ст. (середнє арифметичне систолічного і діастолічного тисків).

Після визначення показників ЧСС, систолічного і хвилинного об'ємів крові розраховують *коефіцієнт витривалості (КВ)* і *серцевий індекс (СІ)*. Коефіцієнт витривалості — відношення показника ЧСС до величини пульсового тиску (А. Кваас, 1960). КВ характеризує натренованість системи кровообігу. Нормативна величина КВ — 1,6. При послабленні функції серцево-судинної системи КВ підвищується, при її посиленні — знижується. Серцевий індекс (*СІ*) — відношення ХОК до площі поверхні тіла. Одиниця виміру СІ — л/хв на 1 м².

Площу поверхні тіла (*ППТ*) визначають за формулою:

$$ППТ = 1 + (MT \cdot H): 100,$$

де: *MT* — маса тіла, кг; *H* — відхилення довжини тіла (в см) від умовно середньої (160 см).

Для визначення направленості змін показників, які вивчаються у зв'язку з виконанням фізичної роботи, досліджуваному пропонується виконати дозоване навантаження (20 присідань за 30 с). Після цього досліджувані показники визначають вдруге. Результати досліджень заносять в протокольну таблицю, розраховують приріст ЧСС і пульсового тиску (в %) у зв'язку з виконанням фізичної роботи, визначають тип реакції ЧСС і артеріального тиску (АТ) на дозоване навантаження. Оцінку приросту ЧСС після дозованого навантаження проводять за шкалою: при прискоренні пульсу менш ніж на 25 % функціональний стан системи кровообігу відмінний, на 26–50 % — добрий, на 51–75 % — задовільний, більш ніж на 75 % — незадовільний.

При аналізі експериментальних даних звертають увагу на той факт, що показники серцевих скорочень, систолічний і хвилинний об'єми крові при виконанні дозованого навантаження у фізично натренованих осіб нижчі, ніж у ненатренованих. Це один із проявів тренувального ефекту. В його основі лежить економність роботи органів і систем організму в стані спокою і при виконанні дозованих навантажень. У натренованих спортсменів посилення кровообігу (ХОК) за рахунок СОК більш суттєве, ніж за рахунок ЧСС. Чим менший процент приросту ЧСС, пульсового тиску, а отже, і ХОК в умовах дозованого навантаження, тим, при інших рівних умовах, вища фізична натренованість учня.

Протокольна таблиця оцінки функціонального стану серцево-судинної системи досліджуваних у зв'язку з виконанням дозованого навантаження

Функціональні показники серцево судинної системи	Стан спокою	Після дозованого навантаження	Рівень приросту показників, %	Оцінка функціонального стану
ЧСС, ск/хв				
Артеріальний тиск крові: Р _{max} , мм рт. ст. Р _{min} , мм рт. ст.				
СОК, мл				
ХОК, л/хв				
Коефіцієнт витривалості, ум. од.				
Серцевий індекс, л/хв · м ²				

Робота 2

Визначення і оцінка рівня функціонального стану системи кровообігу у людини

Завдання. Оволодіти методикою визначення рівня функціонального стану системи кровообігу у людини.

Методика. Рівень функціонального стану (РФС) системи кровообігу визначається за показниками ЧСС і артеріального тиску з врахуванням віку, маси тіла і зросту обстежуваних. Вихідні досліджувані показники визначаються в один і той же час (краще вранці після пробудження), в умовах відсутності попередніх емоційних і фізичних перенапружень. Розрахунки РФС проводять за формулою:

$$РФС = 700 - 3 \cdot ЧСС - 2,5 (ДТ + СТ - ДТ/3) - 2,7 + 0,28 \cdot МТ / (350 - 2,7 \cdot В + 0,21 \cdot Зр),$$

де: ЧСС — частота серцевих скорочень, ск/хв; ДТ — діастолічний тиск, мм рт. ст.; СТ — систолічний тиск, мм рт. ст.; В — вік, років; МТ — маса тіла, кг; Зр — зріст, см.

Оцінка РФС системи кровообігу і фізичного стану обстежуваного в цілому, проводиться за шкалою: 0,375 і менше — низький, 0,376–0,525 — нижче середнього, 0,526–0,672 — середній, 0,673–0,825 — вище середнього, 0,826 і більше — високий.

Тест Руффі-Діксона. Індекс Руффі (ІР) ще називають вранішнім тестом. Його використовують для оцінки функціонального стану обстежуваних осіб після пасивного відновлення (сну). Розрахунки ІР проводять за формулою:

$$ІР = [(ЧП_1 + ЧП_2 + ЧП_3) - 200] : 10,$$

де: ЧП₁ — частота пульсу лежачи; ЧП₂ — частота пульсу сидячи; ЧП₃ — частота пульсу стоячи. Частоту пульсу в кожному окремому випадку підраховують протягом 1 хв.

Оцінку функціонального стану серцево-судинної системи обстежуваного проводять за шкалою: 0–5 — відмінно, 6–10 — добре, 11–15 — задовільно, більше 15 — незадовільно.

Робота 3

Показник якості реакції серцево-судинної системи на фізичне навантаження

Завдання. Дослідити функціональний стан системи кровообігу за показником якості реакції цієї системи на дозоване навантаження.

Методика. В стані спокою у досліджуваного визначають ЧСС, артеріальний тиск, розраховують величину пульсового тиску (ПТ). Вдруге досліджувані показники визначають зразу ж після виконання дозованого навантаження — 20 присідань за 30 с.

Показник якості реакції (ПЯР) розраховують за формулою Кушелевського:

$$ПЯР = \frac{ПТ_1 - ПТ_2}{ЧСС_2 - ЧСС_1},$$

де: ПТ₁ і ПТ₂ — пульсовий тиск до і після навантаження; ЧСС₁ і ЧСС₂ — частота пульсу до, і після навантаження.

В нормі спостерігається прискорення пульсу з відповідним зростанням пульсового тиску (діастолічний тиск дещо знижується або залишається незмінним, систолічний тиск зростає). Позитивний показник якості реакції — від 0,5 до 1,0.

Робота 4

Оцінка стійкості серцево-судинної системи до стресів

Завдання. Оволодіти методикою оцінки стійкості серцево-судинної системи до стресів. За допомогою психоемоційного тесту оцінити функціональну стійкість системи кровообігу студентів групи до психоемоційного навантаження.

Методика. У досліджуваного вимірюють частоту пульсу і артеріальний тиск. Тоді дається завдання — вголос віднімати впродовж 30 с від цілого непарного числа (наприклад, 333) непарне ціле число (наприклад, 5). Після цього вдруге визначають частоту пульсу і величину артеріального тиску. Результати вважаються добрими, якщо вимірювані показники пульсу і артеріального тиску збільшуються не більше, ніж на 30 % від вихідних значень. Аналіз отриманих результатів проводять з врахуванням типу нервової системи обстежуваних, їх спортивної спеціалізації і кваліфікації.

3.6. Ситуаційні запитання і задачі

1. В стані спокою ЧСС у досліджуваного юнака — 70 ск/хв, після дозованого навантаження (20 присідань за 30 с) — 140 ск/хв. Визначте величину приросту ЧСС після дозованого навантаження і дайте оцінку стану серцево-судинної системи досліджуваного учня.
2. Відомо, що систолічний об'єм крові досліджуваного учня становить 60 мл крові, резервний об'єм серця — 70 мл, ЧСС в стані спокою — 60 ск/хв, після фізичної роботи — 200 ск/хв. Визначте величину хвилинного об'єму крові у досліджуваного в стані спокою і при виконанні фізичного навантаження.
3. Пульс спокою у досліджуваного 10-класника 70 ск/хв. Після дозованого навантаження (20 присідань за 30 с) — 98 ск/хв, тривалість відновлення пульсу — 3 хв. Дайте оцінку адекватності фізичних навантажень рівню функціональної підготовленості учня.
4. Заповніть таблицю.

Функціональні ефекти адаптації системи кровообігу до фізичних навантажень

Фізіологічні показники	Стан спокою	Після максимального навантаження	Коефіцієнт резерву (рівень здоров'я)
Частота серцевих скорочень, ск/хв			
Систолічний об'єм крові, л/хв			
Хвилинний об'єм крові, л/хв			

5. Вкажіть, за рахунок яких фізіологічних механізмів при виконанні фізичних навантажень споживання організмом кисню зростає у 15–20 разів.
6. Визначте величину систолічного об'єму крові у юного спортсмена, що виконав фізичне навантаження в зоні субмаксимальної потужності. Частота пульсу досліджуваного при роботі — 180 ск/хв, хвилинний об'єм крові — 30 л/хв.
7. Проведено дослідження ЧСС і систолічного об'єму крові (СОК) у двох юнаків одного віку. У першого з них ЧСС становить 60 ск/хв, СОК—60 мл, у другого ЧСС — 80 ск/хв, СОК — 75 мл. Розрахуйте, яку величину роботи (кількість перекачаної крові) виконало серце кожного із юнаків протягом доби.
8. Для оцінки функціонального стану системи кровообігу після пасивного відпочинку (сну) пропонується так званий «вранішній» тест (індекс Руффі):

$$IP = (ЧП_1 + ЧП_2 + ЧП_3 - 200) : 10.$$

Розшифруйте показники, наведені в даній формулі, і дайте оцінку функціонального стану серцево-судинної системи юнака, ЧСС досліджуваного юнака після сну (лежачи) протягом 1 хв — 65 ск/хв, сидячи — 70 ск/хв, стоячи — 75 ск/хв.

9. У 17 річного юнака, що спеціалізується з бігу на довгі дистанції, ЧСС в спокої — 50 ск/хв, артеріальний тиск — 120/80 мм рт. ст. Після виконання дозованої циклічної роботи ЧСС становила 170 ск/хв, артеріальний тиск 160/60 мм рт. ст. Визначте величину приросту (в %) систолічного та хвилинного об'ємів кровообігу у зв'язку з виконанням фізичного навантаження. Якої інтенсивності була дана робота для досліджуваного?
10. Різко зупинившись після завершення бігу на 400 м, учень поскаржився вчителю на запаморочення голови. Що може бути причиною цього? Які ваші дії?
11. Підрахуйте, який об'єм роботи (за показниками кількості серцевих скорочень) виконує серце натренованого (ЧСС в спокої 50 ск/хв) і ненатренованого (ЧСС 75 ск/хв) учнів протягом години, дня, року.
12. Загальновідомо, що після прийняття їжі не бажано (шкідливо) займатись фізичною роботою (фізичним тренуванням). Чому? Обґрунтуйте відповідь, враховуючи особливості перерозподілу крові при фізичних навантаженнях.
13. Визначте показники хвилинного об'єму кровообігу (ХОК) у двох висококваліфікованих спортсменів (штангіста і марафонця), які виконали циклічну роботу в зоні максимальної інтенсивності. ЧСС у одного з досліджуваних — 200 ск/хв, систолічний об'єм серця — 200 мл, у другого — 200 ск/хв і 150 мл відповідно. Які показники роботи серця належать штангісту, а які марафонцю? Чому?
14. У спортсмена перед стартом спостерігається суттєве посилення серцевої діяльності і підвищення кров'яного тиску. Яка фізіологічна природа цього явища?
15. Розрахуйте коефіцієнт резерву (рівень здоров'я) у юнака 17-річного віку за показником хвилинного об'єму кровообігу. ЧСС в обстежуваного учня в стані спокою 60 ск/хв, артеріальний тиск (АТ) 120/80 мм рт. ст.; ЧСС при тестуванні максимально допустимого рівня фізичної активності (МДРФА) — 200 ск/хв, АТ — 180/40 мм рт. ст.

3.7. Тести

1. Об'єм порожнин серця фізично натренованого старшокласника становить (см³):
а) 1000; б) 500; в) 100; г) 50.
2. Систолічний об'єм крові натренованого спортсмена в спокої (мл):
а) 40; б) 60; в) 80; г) 100.
3. ХОК у фізично натренованих школярів в стані спокою становить (л/хв):
а) 3–4; б) 5–6; в) 7–8; г) 9–10.
4. Серце у фізично добре підготовленого учня в стані спокою, в порівнянні з не-натренованим, працює ефективніше на:
а) 12–20 %; б) 25–30 %; в) 35–40 %; г) 45–50 %.
5. Брадикардія спокою у фізично натренованих юнаків нерідко досягає (ск/хв):
а) 20–30; б) 40–50; в) 60–70; г) 70–80.
6. Тахікардія — це збільшення ЧСС в стані спокою, більше (ск/хв):
а) 40; б) 60; в) 80; г) 100.
7. Із зростанням пульсового тиску систолічний об'єм крові:
а) збільшується; б) зменшується;
в) зменшується лише при одночасному збільшенні ЧСС;
г) не змінюється.
8. Із зростанням спортивної кваліфікації школярів рівень пульсового тиску у них:
а) зростає; б) знижується;
в) не змінюється або знижується.
9. Основні показники роботи серця (ЧСС, СОК, ХОК) фізично натренованих учнів, в порівнянні з ненатренованими, при виконанні дозованих навантажень збільшуються:
а) більш виразно; б) менш виразно; в) однаково.
10. Відновлення функціонального стану серцево-судинної системи високонатренованих осіб, в порівнянні з неспортсменами, після дозованих навантажень завершується:
а) швидше; б) повільніше; в) однаково швидко.
11. Нормативною реакцією на тест з двадцятьма присіданнями за 30 с вважається зростання ЧСС не більше ніж на (%):
а) 75; б) 85; в) 95; г) 105.
12. Найбільш адекватною реакцією зміни артеріального тиску на дозоване навантаження (20 присідань за 30 с) є збільшення систолічного тиску на (%):
а) 15–30; б) 30–45; в) 45–60; г) 60–70.
13. При виконанні учнем дозованого навантаження процент прискорення ЧСС відповідає проценту збільшення артеріального тиску. Така реакція системи кровообігу на навантаження називається:
а) дистонічною; б) гіпертонічною;
в) гіпотонічною; г) нормотонічною.

- в) а + б;
г) активізації механізмів аеробного енергозабезпечення без нагромадження в м'язах молочної кислоти.
- 24.** Зміни ЧСС і ХОК у спортсменів високої кваліфікації в умовах виконання дозованих навантажень, в порівнянні з людьми, які не займаються спортом:
а) більш істотні; б) менш істотні; в) різниці немає.
- 25.** Фізична підготовленість є чинником, що:
а) сприятливо впливає на функціональну реактивність системи кровообігу;
б) оптимізує реакцію системи кровообігу на дію екстремальних подразників;
в) попереджує можливі перетворення нормальних стресових реакцій в патологічні;
г) а + б + в.
- 26.** Різні за типом нервової системи студенти (учні) по різному почувають себе в екстремальних умовах. Найбільш стресостійкими в умовах стресу переважно є:
а) сангвініки; б) холерики; в) флегматики; г) меланхоліки.
- 27.** Високі величини ЧСС у дітей, в порівнянні з дорослими, зумовлені більш високим тонусом їх:
а) симпатичної нервової системи;
б) парасимпатичної нервової системи;
в) рухових нервових центрів кори мозку.
- 28.** ЧСС у дітей дошкільного віку, в порівнянні з більш старшими дітьми:
а) більш висока; б) менш висока; в) різниці немає.
- 29.** Артеріальний тиск у школярів початкових класів, в порівнянні з учнями старших класів:
а) більш високий; б) менш високий; в) різниці немає.
- 30.** Хвороба, що найчастіше вражає аорту, вінцеві артерії серця, артерії мозку, нирок, нижніх кінцівок:
а) атеросклероз; б) аритмії; в) міокардит; г) інсульт.
- 31.** Хвороба вен:
а) тромбоемболія; б) варикозне розширення вен;
в) а + б; г) гіпертонічна хвороба.
- 32.** Загальне захворювання людини основним проявом якого є підвищення артеріального тиску:
а) тромбофлебіт; б) аритмії;
в) інсульт; г) артеріальна гіпертензія.
- 33.** Хвороба серця:
а) дистонія; б) міокардит;
в) інфаркт міокарду; г) а + б + в.

34. Хвороба що характеризується змертвінням (некрозом) частин м'язових клітин серця:
 а) інсульт; б) інфаркт міокарду;
 в) тромбоемболія; г) дистонія.
35. Захворювання, що характеризується запаленням стінки вени з утворенням тромбу в її просвіті:
 а) тромбофлебіт; б) варикозне розширення вен;
 в) інсульт; г) гіпертонічна хвороба.
36. Хвороба, що проявляється нерівномірним розширенням вен:
 а) тромбофлебіт; б) варикозне розширення вен;
 в) інсульт; г) інфаркт міокарда.
37. Гостре порушення кровообігу мозку, що призводить до ушкодження тканини мозку і його функціональних розладів:
 а) дистонія; б) аритмія; в) інсульт; г) інфаркт міокарда.
38. Хвороби, що виникають внаслідок змін основних функцій серця (автоматизму, провідності і скоротливості):
 а) інфаркт міокарда; б) аритмія;
 в) інсульт; г) тромбофлебіт.
39. Хвороби, частими ускладненнями якої є інфаркт міокарда, серцева недостатність, недостатність функції нирок:
 а) артеріальна гіпертензія; б) тромбофлебіт;
 в) варикозне розширення вен; г) дистонія.

Оцінка теми 3 модуля 4 (39 запитань)

Оцінка модуля	Кількість вірних відповідей						
	39–35	34–32	33–29	28–27	26–23	22–14	13 і <
За шкалою університету	100–90	89–82	81–75	74–69	68–60	59–35	34–1
За національною шкалою	5	4	4–	3	3–	2	2–
За шкалою ECTS	A	B	C	D	E	FX	F

Модуль 5

ФІЗІОЛОГІЯ СИСТЕМИ ДИХАННЯ

Учитель загальноосвітньої школи і особливо учитель фізкультури повинен мати об'ємні і глибокі знання фізіологічних механізмів функціонування органів і систем організму, зокрема, системи дихання. Дослідження функціонального стану системи дихання широко використовується в спортивній фізіології і медицині для тестування рівня здоров'я, визначення ефективності оздоровчих і спортивних тренувань, науково обгрунтованого вирішення проблеми дозування фізичних навантажень школярів.

Для життя необхідна енергія. Для задоволення своїх енергетичних потреб клітини організму використовують кисень. Кінцевим результатом окислення вуглеводів, жирів і білків, що надходять в організм з їжею, є вуглекислий газ. Таким чином, нормальна життєдіяльність людського організму пов'язана з безперервним споживанням кисню і виділенням вуглекислого газу. Запаси кисню в організмі дуже обмежені, а тому потреба людини в ньому значно важливіша, ніж потреба в їжі, воді або сні. Без їжі можна прожити більше місяця, без води близько 10 діб, без сну декілька днів, а без кисню — всього декілька хвилин.

Тема 1. Зовнішнє дихання та методи його дослідження

1.1. Логіка викладу і засвоєння матеріалу

1. Поняття про дихання, його значення в підтриманні життєдіяльності організму.
2. Морфофункціональні особливості дихальної системи. Функції міжплевральної щілини і верхніх дихальних шляхів. Шкідливість куріння та вдихання забрудненого повітря.
3. Недихальні функції дихальної системи. Біологічна роль вуглекислого газу в організмі людини. Управління диханням.
4. Зовнішнє дихання. Механізм актів вдиху і видиху. Пневмографія. Основні критерії ефективності зовнішнього дихання юних спортсменів при виконанні циклічної роботи.

5. Зміни альвеолярного і плеврального тисків в різні фази дихального циклу. Плевмоторакс.
6. Обсяги легеневого повітря. Повітря «мертвого» і функціонально «шкідливого» просторів.

1.2. В результаті вивчення матеріалу теми Ви повинні знати:

- морфофункціональні особливості і функції системи дихання;
- механізми і критерії оцінки зовнішнього дихання;
- біологічну роль кисню і вуглекислого газу для організму людини;
- нормативні величини основних показників зовнішнього дихання;
- резервні можливості системи дихання.

вміти:

- визначати і оцінювати основні показники зовнішнього дихання;
- розраховувати належні величини показників функціонального стану системи дихання;
- використовувати знання матеріалу теми з метою раціоналізації процесу оздоровчого тренування, збереження і зміцнення здоров'я школярів і дорослих.

1.3. Основні терміни, поняття і скорочення

дихання; вдих; видих; альвеоли; альвелярний міхурець; діафрагма; трахея; бронхи; транхіоли; носові ходи; бронхи; гортань; легені; плевра; міжплевральна щілина (порожнина); чихання; кашель; легенева вентиляція; вдих; видих; тип дихання: діафрагмальний, реберний (грудний); пневмоторакс; дихальний обсяг (ДО); мертвий простір; функціонально «шкідливий» простір (ФШП); резервний обсяг вдиху ($POV_{\text{вд}}$); резервний обсяг видиху ($POV_{\text{вид}}$); залишковий обсяг легень (ЗОЛ); загальна ємність легень (ЗЄЛ); функціональна залишкова ємність (ФЗЄ) легень; життєва ємність легень (ЖЄЛ); життєвий показник (ЖП); спірометр; спірометрія.

1.4. Теоретичні відомості

1. Поняття про дихання, його значення в підтриманні життєдіяльності організму

Дихання — це сукупність фізіологічних процесів, що забезпечують надходження в організм із довкілля кисню, використання його клітинами для окислення органічних речовин та виділення вуглекислого газу. Система дихання забезпечує також компенсацію

гіпоксичних і ацидотичних явищ. Надходячи до легень, кисень переходить в кров, доставляється до тканин, дифундує через стінки капілярів в міжклітинну рідину і використовується клітинами. Вуглекислий газ з тканин надходить у кров, транспортується кров'ю до легень, переходить в альвеоли, а звідти в доквілля. Ці переміщення дихальних газів у процесі дихання умовно можна поділити на п'ять етапів (рис. 5.1):

- 1) обмін газів між доквіллям і альвеолами легень (зовнішнє дихання або легенева вентиляція);
- 2) обмін газів між альвеолярним повітрям і кров'ю капілярів легень (дифузія газів в легенях);
- 3) транспортування кисню і вуглекислого газу кров'ю;
- 4) обмін газів між кров'ю капілярів і тканинами (дифузія газів у тканинах);
- 5) споживання кисню клітинами і виділення ними вуглекислого газу (тканинне дихання).

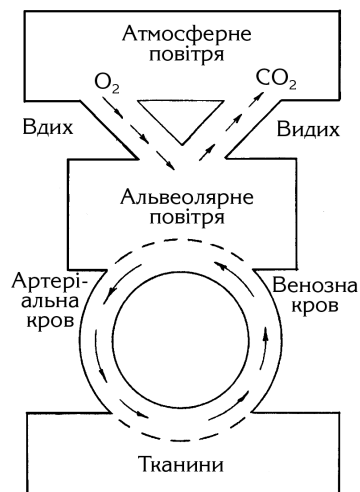


Рис. 5.1
Газообмін між доквіллям і організмом

2. Морфофункціональні особливості дихальної системи

Дихання у людини і вищих тварин відбувається практично повністю через легені. Через шкіру і травний тракт поглинається не більше 1,5 % кисню.

Повітря з киснем надходить до легень переважно через носові отвори і ходи носової порожнини. Ротова порожнина служить додатковим повітряним ходом, яким людина користується лише в екстремальних ситуаціях. З носової порожнини повітря надходить в

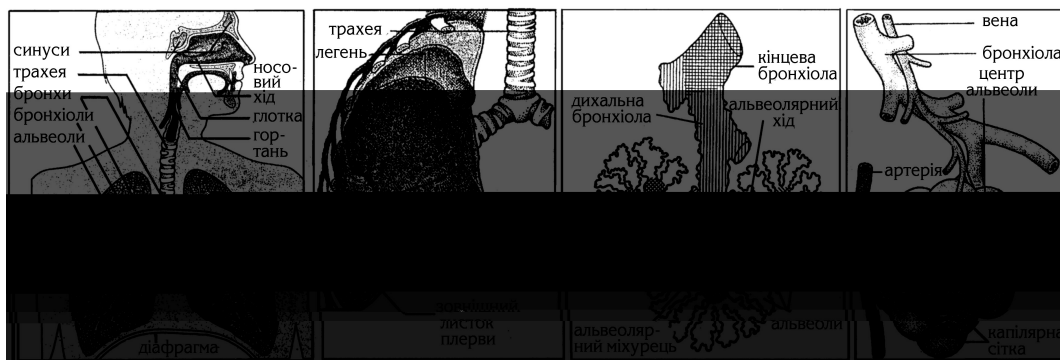


Рис. 5.2
Схема будови дихального апарату людини

носоглотку, звідси через гортань в трахею і бронхи: правий бронх іде до правої легені, лівий — до лівої (рис. 5.2). За діаметром розрізняють бронхи першого, другого і третього порядку. Бронхи третього порядку галузяться на бронхіоли, які дають початок альвеолярним ходам і альвеолам. Стінки альвеол дуже тонкі, вони представлені одношаровим епітелієм і пронизані густою сіткою капілярів, що мають один шар ендотеліальних клітин. Таким чином, альвеолярне повітря відділяється від капілярної крові лише двома тонкими (не більше тисячної частки міліметра) шарами клітин, через які легко здійснюється газообмін. Газообміну також сприяє велика дихальна поверхня легень. В легенях дорослої людини приблизно 700 млн. альвеол з діаметром кожної близько 0,2 мм і площею поверхні — 0,125 мм² (загальна площа поверхні усіх альвеол — близько 90 м²).

Внутрішня поверхня альвеол покрита нерозчинною у воді тонкою плівкою поверхневоактивної речовини — сурфактантом. Ця речовина синтезується клітинами альвеолярного епітелію, вона багата фосфоліпідами і ліпопротеїдами. Володіючи малим поверхневим натягом, сурфактант попереджує спадання альвеол у фазу видиху.

Розрізняють праву і ліву легені. Вони розміщуються на діафрагмі і заповнюють обидві половини грудної клітки. Діафрагма являє собою широкий плоский м'яз з дещо піднятою куполоподібною серединою, вона відділяє грудну порожнину від черевної.

Кожна легень покрита тонкою оболонкою — плеврою, яка складається з двох листків — вісцерального і парієтального. Вісцеральний листок плеври зрощений з легеневою тканиною, по краях легень він закривається назовні і переходить в парієтальний листок, вистилаючи внутрішню поверхню грудної клітки. Між листками плеври є плевральна порожнина (щілина), заповнена серозною рідиною, яка попереджує тертя між листками плеври при дихальних рухах. Назва «плевральна порожнина» досить умовна. Механічно вісцеральний і парієтальний листки плеври з'єднані між собою, як дві змочені водою скляні пластини. Завдяки такому зв'язку легені повністю заповнюють грудну порожнину і будь-які зміни обсягу грудної порожнини повторюються змінами обсягу легень.

Проходячи через дихальні шляхи, повітря очищується, зігрівається і зволожується. Стінки носової порожнини мають нерівний рельєф. Це сприяє збільшенню поверхні її оболонки і площі контакту повітря з поверхневим шаром клітин слизової оболонки, частина якої має волоски. Проходячи через носову порожнину і контактуючи з слизовою оболонкою, повітря зволожується і очищається від частинок пилу, мікробів і отруйних газоподібних домішок. Сторонні мікроби значною мірою знешкоджуються, вбиваються дією носового слизу і лізоциму, а також захоплюються і поглинаються лейкоцитами. Частинки, які пройшли цю перепону, осідають на стінках гортані, трахеї, бронхів, бронхіол. Їх внутрішня поверхня вистелена миготливим епітелієм, а спеціальні клітини виробляють слиз, який покриває кінці війок цього епітелію. Війки постійно рухаються (подібно до гребців у човні): швидко в напрямку до глотки і повільно в зворотному напрямку. Такі узгоджені рухи війок забезпечують повільне (1 см за хвилину) переміщення слизового шару з фіксованими на ньому механічними частинками

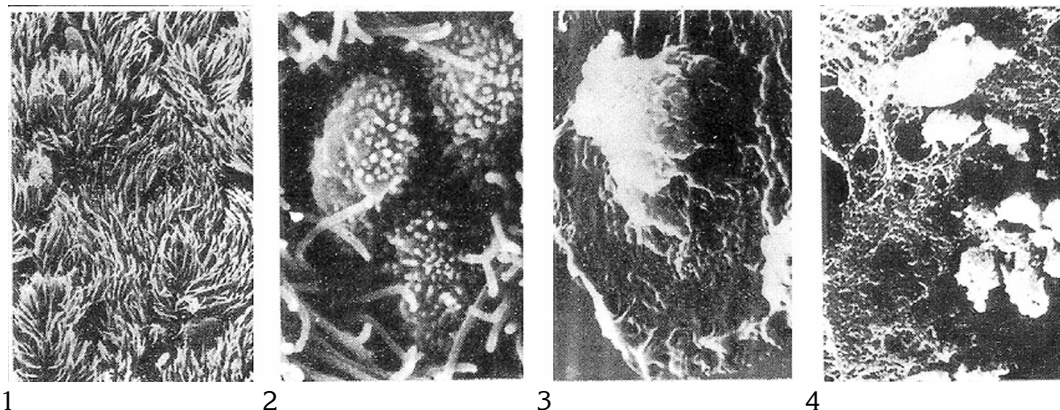


Рис. 5.3

Захисні бар'єри дихальних шляхів (мікрофото): 1 — війкові клітини епітелію; 2 — бакалоподібні клітини епітелію, які виробляють різні компоненти трихосброхіального секрета; 3 — альвеолярний мікрофаг, що захвачує чужорідний мікроорганізм; 4 — суфрактант стінки альвеол

до глотки. Звідси слиз потрапляє в стравохід або виділяється назовні. У випадку якщо чужорідні частинки проникають в альвеоли легень, вони захоплюються і перетравлюються альвеолярними макрофагами (рис. 5.3).

Швидке виділення механічних частинок з дихальних шляхів забезпечується рефлекторними актами чихання і кашлю. *Чихання* зумовлюється подразненням хемо- і механорецепторів слизової оболонки носових ходів, *кашель* є наслідком подразнення рецепторів поверхні глотки, гортані, трахеї та бронхів. Від цих рецепторів ідуть імпульси в довгастий мозок, а звідти до дихальних м'язів і гладеньких м'язів стінки бронхів. Після глибокого вдиху і зближення голосових складок, внаслідок сильного скорочення м'язів видиху, створюється великий тиск у легенях і повітря разом з побічними частинками та слизом виштовхується назовні. Кашель і чихання часто є передвісниками і супутниками запалення органів дихання.

Вдихання забрудненого міського повітря призводить до зниження як фізичної, так і розумової працездатності. Ось чому тренування спортсменів, особливо юних, належить проводити в місцях з найменшою бактеріальною зараженістю (рис. 5.4). Особливо шкідливе забруднене повітря для спортсменів, вентиляція легень яких при тренуванні сягає 100–200 л/хв.

Для захисту дихальних шляхів і легень від вугільного, цементного, мучного, радіоактивного та іншого пилу, диму і газу люди використовують різні респіратори. Як фільтри у респіраторах різної конструкції використовують вату, марлю та інші матеріали. Якщо концентрація шкідливих речовин в повітрі дуже велика, а вміст кисню недостатній використовують ізолюючі респіратори. За допомогою їх здійснюється очищення вдихуваного

повітря від CO_2 і збагачення його O_2 з балона. В умовах забруднення повітря отруйними газами і дрібнодисперсними аерозолями використовують протигази.

Подразнення різних рецепторів слизової оболонки повітроносних шляхів механічними, електричними, температурними і хімічними подразниками викликає багаточисельні рефлекси, які виявляються у зміні функції серця, нирок, печінки, кровосносних судин, залоз внутрішньої секреції, шлунково-кишкового тракту. Подразнення носових рецепторів істотно впливає на дихальні м'язи. При цьому змінюється ритм дихання, виникає затримка дихання (гіпоксемія, гіперкапнія).

Тривале припинення носового дихання (у аденоїдних дітей) є однією з причин розумової відсталості дітей (В. Буков, Р. Фельбербаум, 1980), поганого фізичного розвитку, погіршення функціонального стану організму в цілому (захворювання очей, середнього і внутрішнього вуха, порушення нюху і травлення, зниження імунної реактивності тощо). Таким чином, носове дихання є обов'язковою умовою нормального функціонування ЦНС, легень, серця, інших систем організму.

З метою підвищення стійкості органів дихання до простудних захворювань та інфекцій необхідно проводити загартування організму, виконувати спеціальні дихальні вправи, рішуче боротись з уживанням алкоголю і курінням. Адже, крім загальної шкідливої дії на організм, алкоголь згубно діє на легеневу тканину і слизову оболонку дихальних шляхів, через які частина його виводиться з організму.

Особливо шкідлива для системи дихання дія куріння. Гальмуючи продукцію сурфактанту куріння призводить до збільшення поверхневого натягу альвеол і викликає потребу людини-курця, супроти некурця, докладати більше зусиль на вдиху для наповнення легень однаковим обсягом повітря. У людей-курців збільшується секреція слизу в дихальних шляхах, звужуються бронхи. Переважна більшість курців страждає хронічним бронхітом. Наявні в складі тютюнового диму смолисті речовини бензпирен, радіаційний полоній, сприяють утворенню ракових пухлин. В два-три рази підвищуючи опір верхніх дихальних шляхів руху повітря, куріння значно знижує ефективність легеневої вентиляції.

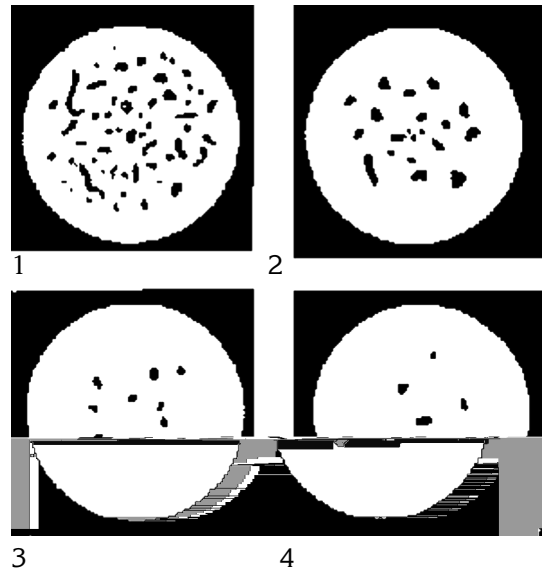


Рис. 5.4
Зараженість бактеріями повітря різних місць: 1 — повітря службових і жилих приміщень; 2 — повітря великих міст; 3 — повітря лісу і парків; 4 — повітря біля моря, озер і річок

3. Недихальні функції дихальної системи

В легенях не лише відбувається газообмін. З ними пов'язані і недихальні функції, зумовлені тісним зв'язком системи дихання з іншими функціональними системами організму. Легені відіграють важливу роль у діяльності системи звертання крові, в синтезі білків та жирів, беруть участь у регуляції водносолевого і теплового обміну, — в підтриманні кислотно-лужної рівноваги внутрішнього середовища.

Вивчаючи газообмін, фізіологи встановили, що в окислювально-відновних процесах використовуються не всі молекули кисню, а лише негативно заряджені. Додаткова іонізація молекул кисню забезпечується спеціалізованими і клітинами, знайденими в миготливому епітелії дихальних шляхів. Світлі -клітини синтезують серотонін, -клітини виділяють гормональні речовини, які здатні змінювати функціональний стан нервових і м'язових волокон. В легеневій тканині знайдено також серотонін, допамін і норадреналін.

Дія серотоніну і норадреналіну в легенях протилежно направлена. Так, зумовлюючи розширення бронхів, норадреналін сприяє надходженню повітря до альвеол, серотонін у високих концентраціях, навпаки, викликає спазм бронхів (тобто діє, як ацетилхолін). На думку вчених, еволюційний смисл існування дифузної ендокринної системи полягає в необхідності попередити можливе проникнення в організм мікробів через слизові оболонки дихальних і травних шляхів.

Важлива роль дихальної системи у звуковираженні. З диханням пов'язана мова, спів, гра на духових інструментах. Видозміненими скороченнями дихальних м'язів забезпечується зітхання, зівання, крик, свист й інші види звуковираження. Так, сміх людини зумовлюється швидко слідує одним за одним короткими, поривчастими видихами; плач, навпаки, є наслідком коротких уривчастих, переважно діафрагмальних вдихів. За характерною зміною дихання можна визначити переживання людини.

З допомогою дихальних шляхів ми п'ємо. Надходження води або рідкої їжі в ротову порожнину забезпечується більш чи менш глибоким вдихом. В цей час тиск повітря в ротовій порожнині знижується і рідина під впливом вищого зовнішнього тиску надходить в рот. Важливою є також недихальна функція діафрагми як масажиста печінки, шлунка й інших органів черевної порожнини.

Довільно змінюючи обсяг і характер зовнішнього дихання, можна направлено змінювати функціональний стан організму, збільшувати його функціональні резерви. Так, глибоке довільне дихання стимулює центральний кровообіг і лімфоток, активізує обмін жирів, попереджуючи їх відкладання в жирових депо, сприяє шлунковому травленню і виведенню жовчі з печінки та жовчного міхура в 12-палу кишку.

Біологічна роль вуглекислого газу в організмі людини. Для підтримання основних процесів життєдіяльності людині необхідний не лише кисень, а й вуглекислий газ. Направлено змінюючи затримкою дихання вміст вуглекислого газу в крові, можна змінювати рівень функціонування окремих органів і систем організму (роботу серця, просвіт церебральних судин, обсяг кровообігу головного мозку).

Біологічна роль вуглекислого газу багатогранна. Беручи участь в розподіленні в організмі іонів натрію, вуглекислий газ регулює збудливість нервових клітин, змінює проникність клітинних мембран, інтенсивність секреції гормонів залозами внутрішньої секреції, активність окислювальних ферментів. Вуглекислий газ впливає на процеси зв'язування білками іонів кальцію і заліза, на процеси синтезу білків в організмі. Підтвердженням цього є факт значно швидшої регенерації пошкоджених тканин у вегетаріанців (при окисленні вуглеводів утворюється більше вуглекислого газу, ніж при окисленні жирів і білків) супроти людей, в раціоні яких переважають продукти тваринного походження. Відома роль вуглекислого газу і як активатора функціональної активності залоз слизової оболонки шлунка, які синтезують соляну кислоту.

Використання довільної затримки дихання, а отже, усунення дефіциту CO_2 в організмі з метою зміцнення здоров'я, профілактики і лікування багатьох захворювань, нормалізації психічного стану людини має тисячолітню історію. Проте ще й сьогодні серед вчених немає єдиної думки щодо доцільності направленої затримки дихання, а також довільного зниження рівня легеневої вентиляції в стані спокою і під час виконання фізичної роботи. Затримка дихання практикується в плаванні, зокрема, при швидкісному проходженні дистанції під водою, гімнастиці, акробатиці, при стрільбі.

Управління диханням, спрямованим на усунення дефіциту вуглекислого газу в крові, широко практикується в тибетській медицині (система наян-гун). Дихати рекомендується через ніс. Займаючись цією системою дихання, людина подумки промовляє про себе слова, тривалість яких відповідає тривалості дихального циклу. Розпочинають з трьох слів, наприклад: «Я вчусь диханню». Слово «я» промовляють на вдиху, «вчуся» — під час паузи, «диханню» — на видиху. Згодом паузу поступово збільшують, додаючи до слова «вчуся» все нові і нові слова. Підбір слів у речення проводиться таким чином, щоб вони сприяли позитивному самонавіюванню.

Згідно з йогівською системою дихання спочатку робиться вдих через ніс протягом 8 с, далі — затримка на вдиху 8–32 с і, нарешті, видих через рот протягом 16 с. В механізмі йогівського дихання активну участь бере діафрагма. Стискаючи кровоносні і лімфатичні судини живота при глибокому вдиху, діафрагма сприяє руху крові по венозних судинах до серця. Сповільнене дихання (не частіше чотирьох дихальних циклів за одну хвилину) з затримкою на висоті вдиху, сприяючи нагромадженню в організмі CO_2 , призводить до розширення кровоносних судин серця, покращення його живлення.

На відміну від вправ йогів А. Стрельнікова рекомендує сполучати м'язові зусилля не з видихом, а з вдихом (довільну гіпервентиляцію з роботою різних груп м'язів).

Система дихальної гімнастики А. Стрельнікової спрямована на розвиток дихальних м'язів, повніше забезпечення клітин киснем, вдосконалення механізмів нервово-гуморальної регуляції дихання. Дихальна гімнастика Стрельнікової успішно використовується при лікуванні захворювань, пов'язаних з дихальною недостатністю.

Тренування дихальних м'язів за системою А. Стрельнікової здійснюється зворотною узгодженістю рухів з диханням (парадоксальна гімнастика). При вдиху руки зводяться, стискають грудну клітку, при видиху — руки розводяться і грудна клітка розширюється. Таким чином, рухи рук і грудної клітки, збільшуючи навантаження на дихальні м'язи, сприяють розвитку їх сили і витривалості. Регуляцію дихання слід починати з вдиху. Він (вдих) має бути активним, коротким, різким, ритмічним і по можливості емоційним.

Для зменшення легеневої вентиляції, а, отже, збільшення концентрації CO_2 в організмі В. Гневушев рекомендує збільшити величину вдиху приблизно в два рази і знизити частоту дихання (переважно за рахунок збільшення тривалості вдиху) в три-чотири рази. Ефективність даної системи тренування дихання значно зростає при її поєднанні з легкими фізичними вправами.

Ефективним методом зниження дефіциту CO_2 в організмі є метод довільної гіповентиляції, запропонований К. Бутейко. Вчений вважає, що для зниження ХОД необхідно передусім зменшувати не частоту, а глибину дихання, практикувати часті затримки дихання (на 1–2 і більше хвилин). Поверхнєве дихання за методом Бутейка є високоенерго-економним, воно рекомендується автором для лікування бронхіальної астми, стенокардії, гіпертонічної хвороби тощо.

М. Агаджанян, А. Катков (1981) рекомендують гіповентиляційне тренування з 20-хвилинним циклом довільної гіповентиляції в ритмі одне діафрагмальне дихання через ніс за одну хвилину. Тривалість вдиху приблизно в два рази коротша видиху. Як вдих, так і видих здійснюється ступінчасто (очищаюче дихання йогів), з 4–5 короткочасними затримками дихання на різних етапах дихального руху. Створюючи ілюзію звичайного дихання, таке уривчасте дихання значно полегшує можливість тривалішого його продовження.

Штучне (за допомогою довільної регуляції дихання) накопичення в організмі вуглекислого газу та інших біологічно активних речовин викликає в організмі зміни, подібні до таких, що виникають при виконанні фізичних навантажень (М. Агаджанян, 1983). За своїм позитивним наслідком рухова гіпоксемія відповідає результатам тренування в умовах високогір'я.

Рухову гіпоксемию можна створювати, зменшуючи хвилинний обсяг дихання при одночасному виконанні легких фізичних вправ. Рекомендують, наприклад, здійснювати короткі і часті нюхоподібні вдихи з використанням повітря «мертвого» простору, насиченого вуглекислим газом. Кожен такий переривчастий вдих поєднується з синхронним рухом окремих частин тіла (голови, рук тощо). В процесі виконання фізичного навантаження гіпоксемія (і гіпоксія) поєднується з гіперкапнією. Гіперкапнія (збільшення парціальної напруги вуглекислого газу в артеріальній крові вище норми) прямим і рефлекторним шляхом активізує діяльність кардіореспіраторної системи, і прискорює відновлення енергосубстратів. Гіпоксемія, що виникає у відсутності належної рухової активності, не супроводжується гіперкапнією (А. Коробков, 1980). Отже дихальні вправи, спрямовані на зменшення дефіциту вуглекислого газу в організмі, завжди бажано поєднувати з руховою активністю.

4. Зовнішнє дихання

Зовнішнє дихання (легенева вентиляція) — це сукупність процесів, що забезпечують надходження атмосферного повітря в легені, а легеневого — в довкілля. Вентиляція легень можлива завдяки ритмічним скороченням і розслабленням дихальних м'язів, які зумовлюють періодичну зміну обсягу грудної клітки, а отже, і тиску в середині легень. Дихальні м'язи належать до посмугованих м'язів, а тому довільне управління диханням практично не відрізняється від управління рухами.

Механізм актів вдиху і видиху. *Акт вдиху (інспірація)* здійснюється внаслідок збільшення обсягу грудної клітки за рахунок скорочення м'язів вдиху. Головні з них — діафрагма і зовнішні міжреберні м'язи (рис. 5.5).

При скороченні діафрагми її купол сплющується. Опускаючись приблизно на 1,5 см униз, діафрагма зміщує в цьому ж напрямку органи черевної порожнини. При глибокому вдиханні вертикальні переміщення діафрагми можуть сягати 10 см і більше. Наслідком опускання діафрагми є збільшення вертикального розміру грудної порожнини. При скороченні зовнішніх міжреберних м'язів відбувається підняття і повороти ребер навколо своїх головок. При цьому розміри грудної клітки збільшуються в поперечному (фронтальному) і передньо-задньому (сагітальному) напрямках.

Скорочуючись, м'язи переборюють ряд опорів: еластичний опір реберних хрящів, самої легеневої тканини, ваги грудної клітки, опір черевних органів і стінок живота, які відтісняються діафрагмою при її скороченні (сплющенні).

Акт видиху (експірація) розпочинається розслабленням м'язів вдиху. Ребра, внаслідок своєї ваги і еластичності реберних хрящів, повертаються у вихідне положення, а купол діафрагми знову стає випуклим. Все це веде до зменшення обсягу грудної порожнини.

При збільшенні легеневої вентиляції видих стає активним. Посилення видиху при цьому відбувається за рахунок скорочення спеціальних експіраторних м'язів. Серед них найбільш важливими є внутрішні міжреберні м'язи і м'язи передньої черевної стінки. Скорочення останніх зумовлює підвищення тиску в черевній порожнині і виштовхує діафрагму в грудну порожнину, зменшуючи її обсяг. Скорочення внутрішніх міжреберних м'язів сприяє опусканню ребер, що зменшує обсяг грудної клітки, збільшуючи глибину видиху.

Рис. 5.5

Зміна положення грудної клітки та діафрагми під час вдиху і видиху

Виконання тривалих інтенсивних навантажень динамічного характеру (стайерського бігу) часто призводить до втоми дихальних м'язів, особливо експіраторних. Ефективність дихання при цьому різко знижується.

Для розвитку витривалості дихальних м'язів рекомендується виконання глибоких вдихів під водою, видихи у воду, посилене форсоване дихання в умовах незручної статичної пози, гра на духових інструментах. Ефективним при тренуванні дихальних м'язів є використання еластичного пояса, що накладається на нижню третину грудної клітки, а також близьке до максимального довільне дихання (В. Міщенко, 1990). Співвідношення інтенсивності і тривалості навантажень при цьому повинно на 10–15 % перевищувати умови змагальної діяльності. Знижуючи відносний рівень анаеробного метаболізму, систематичні тренування дихальних м'язів сприяють зростанню їх витривалості і економності роботи. Важливо пам'ятати, що дихальні м'язи зберігають здатність до розвитку натренованості в похилому віці.

У різних людей в залежності від віку, статі й умов праці дихання відбувається або переважно за рахунок міжреберних м'язів — *реберний* (грудний) тип дихання, або переважно за рахунок діафрагми — *діфрагмальний* (черевний) тип дихання. Грудний тип дихання переважає у жінок, черевний — у чоловіків, а також у новонароджених. Тип дихання не є суворо сталим, він може змінюватись залежно від умов діяльності. Так, у спортсмена, що підняв штангу, внаслідок фіксування міжреберних м'язів тулуба дихання виконується виключно за рахунок руху діафрагми. У вагітних жінок зміщення діафрагми униз утруднене, а тому переважаючим стає реберний тип дихання.

В умовах спокою і при виконанні малоінтенсивних фізичних навантажень дихання характеризується ритмічністю. При виконанні незвичної й інтенсивної роботи ритм дихання порушується. Більшість кваліфікованих спортсменів виконує вставні вдихи глибиною 3–4 л. При стимуляції дихання в умовах зворотного дихання вуглекислим газом кількість вставних вдихів може зростати до 4–6 за одну хвилину. Глибина таких вдихів і загальне їх число у спортсменів вище, ніж у ненатренованих осіб. Це створює певну аритмію дихання. Механізм формування глибоких вставних вдихів пов'язаний з поступовим нагромадженням стимулюючих дихання аферентних імпульсів в інспіраторних нервових центрах, тобто спостерігається кумулятивно відставлена в часі реакція на вуглекислий газ і ослаблення саморегуляції дихання (В. Міщенко, 1990).

Максимальні м'язові зусилля (в метанні, штанговому і гирьовому спорті тощо) завжди виконуються при затриманні дихання і натуженні. Короткотривала (10–20 с) фіксація грудної клітки в цих умовах створює сприятливіші біомеханічні умови для виконання рухового акту, а підвищення внутрішньогрудного тиску натуженням сприяє збільшенню сили скелетних м'язів — пульмомускулярний рефлекс. Динамометричними дослідженнями встановлено, що сила скелетних м'язів більша при затриманні дихання, ніж при видиху і вдиху.

Участь м'язів грудної клітки, плечового пояса, черевного преса в дихальних актах і в рухових діях знижує ефективність виконуваних вправ. Так, рухи верхніх кінцівок,

плечового пояса і тулуба обмежують реберне дихання, а рухи нижніх кінцівок — діафрагмальне. З підвищенням кваліфікації спортсмена формується узгодженість ритмів дихання та рухових дій і ефективність виконуваної роботи зростає.

Основними критеріями ефективності зовнішнього дихання при виконанні циклічної роботи є: 1) досягнення такої величини альвеолярної вентиляції, яка дозволяє забезпечити насичення артеріальної крові киснем на рівні 95-100 % від максимального; 2) економне функціонування апарата зовнішнього дихання (високий ККД дихальних м'язів, оптимальне співвідношення частоти і глибини дихання); 3) оптимальні синхронні і кратні співвідношення числа дихальних і рухових циклів. Правильна оцінка ефективності дихання можлива лише при врахуванні усіх трьох критеріїв. Такі сприятливі ситуації можливі при бігові і неможливі при академічній греблі, що необхідно враховувати при корекції зовнішнього дихання (В. Михайлов, 1983).

5. Зміни альвеолярного і плеврального тисків у різні фази дихального циклу. Пневмоторакс

Завдяки неподатливості грудної клітки атмосферний тиск діє на легені, розтягуючи їх лише з середини, через дихальні шляхи. Саме тому легені знаходяться в грудній порожнині під одностороннім тиском. Розтягуючи легені, цей тиск щільно притискує їх до грудної стінки, і будь-які зміни обсягу грудної порожнини повторюються в обсязі легень.

Внутрішньолегеневий (альвеолярний) тиск. Як відомо з фізики, із збільшенням обсягу газу його тиск знижується. Під час спокійного вдиху, внаслідок збільшення обсягу грудної порожнини, тиск повітря всередині легень стає меншим, ніж в зовнішньому атмосферному повітрі, на 3–5 мм рт. ст. Ця різниця тисків легеневого і атмосферного повітря і зумовлює його переміщення до альвеол. В міру того, як легені заповнюються повітрям, легеневий тиск зростає. Під кінець вдиху, коли легеневий тиск стає рівний атмосферному, надходження повітря до легень припиняється (рис. 5.6).

При м'язовій роботі легеневий тиск під час вдиху може стати на 80 мм рт. ст. нижчим від атмосферного. Саме на цю величину понад-нормального тиску і здатні інспіраторні м'язи переборювати зовнішній тиск на грудну клітку. А тому при диханні атмосферним повітрям у воді через трубку глибина погруження не може бути більшою 1–1,5 метрів, оскільки на цій глибині внаслідок великого тиску води на грудну клітку (на глибині 1 м тиск на грудну клітку становить 0,1 атм.), вдихнути атмосферне повітря практично неможливо.

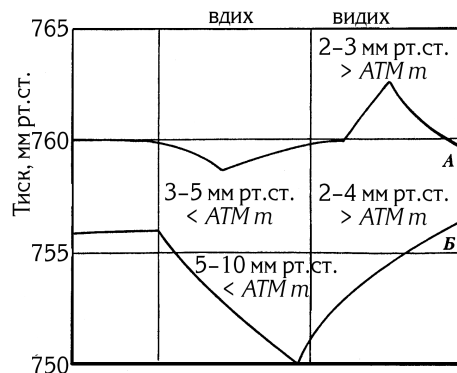


Рис. 5.6

Зміни внутрішньолегеневого (А) і внутрішньоплеврального (Б) тисків під час вдиху і видиху

Протилежні зміни легеневого тиску відбуваються при видиху. Внаслідок щораз більшого тиску грудної клітки на легені і зменшення їх обсягу в цю фазу дихального циклу легеневий тиск стає більшим від атмосферного — в стані спокою на 2-3 мм рт. ст., а при максимальній вентиляції — на 100 мм рт. ст. У відповідності з градієнтом тиску повітря йде з легень назовні.

Внутрішньоплевральний тиск. Він завжди нижчий від внутрішньолегеневого. Протягом дихального циклу внутрішньоплевральний тиск змінюється паралельно внутрішньолегеневому тиску. При спокійному диханні під час вдиху тиск повітря в легенях становить мінус 3 мм рт. ст., а в плевральній щілині — мінус 8 мм рт. ст.; під час видиху і внутрішньолегеневий і внутрішньоплевральний тиски збільшуються на 6 мм рт. ст. (рис. 5.7).

Наявність негативного тиску в міжплевральній порожнині зумовлена пружними силами легень (відтягнення легень від стінки грудної клітки) і пружними силами грудної клітки, які діють в напрямку її розширення. Взаємодія цих двох сил з моменту першого вдиху новонародженого зумовлює створення негативного тиску в міжплевральній порожнині. Цей тиск можна визначити введенням в міжплевральну щілину порожнистої голки, з'єднаної з манометром.

При порушенні цілісності грудної порожнини (при пораненнях) внаслідок надходження повітря в міжплевральну щілину виникає так званий відкритий пневмоторакс. Врівноваження тиску плевральної щілини з атмосферним призводить до спадання легень. При двобічному пневмотораксі надходження повітря в легені припиняється і людина вмирає. З метою зниження легеневого напруження при запальних процесах в легенях, туберкульозі та деяких інших захворюваннях в міжплевральну щілину хворого спеціальною голкою вводять невелику кількість повітря (закритий пневмоторакс).

6. Обсяги легеневого повітря

В стані спокою доросла людина вдихає і видихає близько 400–800 мл повітря. Це **дихальний обсяг** () або показник глибини дихання.

До складу повітря ДО входить не лише повітря, що заповнює альвеоли, а й повітря верхніх дихальних шляхів. Оскільки це повітря не бере безпосередньої участі в газообміні, його називають повітрям **«мертвого» простору** (приблизно 150 мл). Позитивна роль повітря «мертвого» простору полягає в підтриманні оптимальної вологості і температури альвеолярного повітря.

Окрім анатомічного «мертвого» простору, інколи виділяють обсяг **функціонально «шкідливого» простору** (). Наявність цього простору зумовлена невідповідністю альвеолярної вентиляції обсягу крові, що циркулює через окремі частини легеневої тканини. Сюди входить повітря тих альвеол, до яких внаслідок часткового або повного закриття капілярів погано надходить кров, а також надлишкове повітря, що вентилює альвеоли більше, ніж це потрібно для повного газообміну з кров'ю. При фізичних навантаженнях обсяг функціонально «шкідливого» простору може збільшитись у два рази.

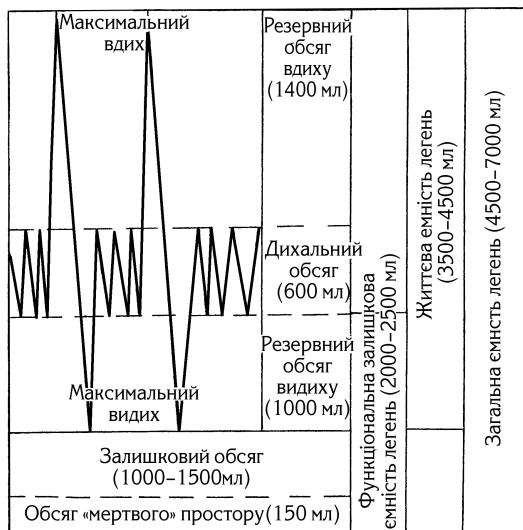


Рис. 5.7

Легеневі обсяги (дихальний обсяг, резервний обсяг видиху, залишковий обсяг) і ємності (життєва ємність легень, функціональна залишкова ємність, загальна ємність легень)

вентиляція легень зменшується на 20 % в порівнянні з вентиляцією в положенні стоячи (А. Гандельсман, 1975).

Сума обсягів повітря спокійного вдиху, резервних обсягів вдиху і видиху складає **життєву ємність легень** (). Для її визначення необхідно зробити максимальний вдих, а тоді максимальний видих в спірометр. ЖЄЛ в нормі становить 3000–5000 мл. У жінок ЖЄЛ на 25 % менша, ніж у чоловіків. З віком, у зв'язку з ростом грудної клітки і легень ЖЄЛ збільшується (табл. 5.1), та до старості — зменшується, що обумовлено зниженням еластичності легеневої тканини і рухливості грудної клітки. Загальна схема обсягів легеневого повітря подана на рис. 5.7.

На величину ЖЄЛ істотно впливає професійна діяльність людини, її рухова активність. У натренованих спортсменів ЖЄЛ нерідко досягає 8000 мл. ЖЄЛ залежить від положення тіла — вона завжди

більша в положенні стоячи, ніж в положенні сидячи і лежачи. При збільшенні кровопостачання легень в умовах обмеження розширення грудної клітки ЖЄЛ зменшується.

Величина ЖЄЛ залежить від навантажуваності тренувань, що, ймовірно, зумовлено втому дихальних м'язів. Так, після тренувань з середнім навантаженням ЖЄЛ знижується на 3 %, після великого навантаження — на 6 %, а після тренувань з максимальними навантаженнями — на 13 % (А. Синяков, 1987). Автор рекомендує ці дані, як нормативні при оцінюванні величини тренувальних навантажень циклічного характеру.

Відношення величини показника ЖЄЛ до маси тіла становить так званий **життєвий показник** (). Його середня величина у юнаків 60–70 мл на 1 кг маси тіла, у дівчат — 50–60 мл/кг. Високі величини ЖЄЛ свідчать про більші функціональні можливості дихальної системи, малі — про недостатність функції легень.

1.5. Практичні завдання

Матеріальне забезпечення заняття: модель Дондерса, жаби, пневмограф, секундомір, пневмотонометр, плевмотахометр, сухий і водяний спірометри, спирт, вата, кодоскоп (діапроектор), кодопозитиви (діапозитиви) або ПК і мультимедійний проєктор.

Робота 1

Дослідження ролі діафрагми в роботі легень

Завдання. Показати значення зміни обсягу грудної клітки для дихальних рухів легень (схема механізму дихання за Дондерсом).

Методика. Модель Дондерса складається з скляної ємності (циліндра, пляшки) з двома отворами (без дна). В гумову трубку, яка закриває пляшку, вставляють скляну трубку з закріпленими легеньми жаби або пацюка (при відсутності тварин функцію легень може виконати звичайний гумовий шар). Поряд з дихальною трубкою вмонтовують манометр. Нижній широкий отвір пляшки закривають еластичною гумою (рис. 5.8).

Виготовлення препарату легень жаби.

В жаби руйнують головний і спинний мозок, фіксують її на корковій дошечці черевцем догори, вирізають груднину, вводять канюлю з кулястим потовщенням на кінці в голосову щілину жаби, закріплюють її ниткою. Перед вирізуванням легень їх роздувають за допомогою гумової трубки надітої на канюлю.

Для демонстрування фази видиху втискують плівку (діафрагму) в пляшку (рис. 5.8, А). Тиск в «грудній клітці» стає більшим від атмосферного, і повітря виходить з легень. Під час вдиху при відтягуванні «діафрагми» тиск в «грудній клітці» стає нижчим від атмосферного, легені розтягуються повітрям, що надходить через «трахею». Для ілюстрації руху повітря в легені і з легень до «трахеї» прикладають запалену цигарку. Спостерігають розгоряння цигарки при відтягуванні «діафрагми». Звертаємо увагу на таке: щоб видалити дим з легень, який надійшов до них лише при одній «затяжці», треба зробити 5–6 дихальних рухів.

Робота 2

Записування дихальних рухів грудної клітки (пневмографія)

Завдання. Оволодіти методикою графічної реєстрації дихальних рухів грудної

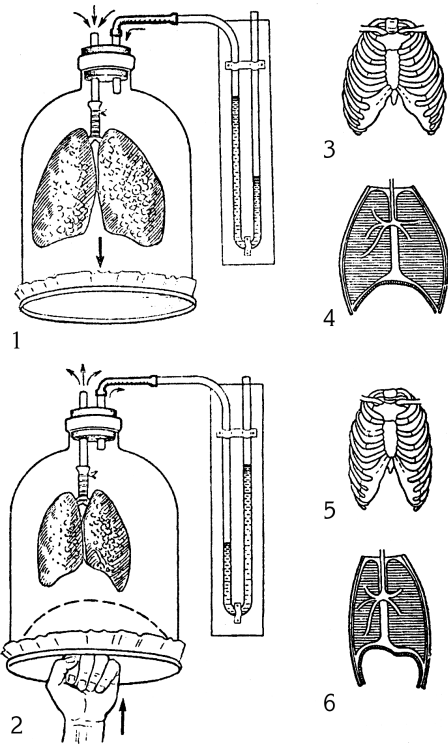


Рис. 5.8

Демонстрування дихальних рухів діафрагми і грудної клітки: 1 — положення діафрагми і легень на моделі в момент вдиху; 2 — в момент видиху; 3 — положення ребер під час вдиху; 4 — положення діафрагми під час вдиху; 5 — положення ребер під час видиху; 6 — положення діафрагми під час видиху

клітки. Записати пневмограми в стані спокою і при фізичних навантаженнях. Оцінити отримані результати.

Методика. Дихальні рухи грудної клітки реєструють пневмографом (порожниста гумова манжета в матерчастому чохлі, капсула Марєя з пером, кімограф). Манжету пневмографа фіксують бинтом на грудній клітці обстежуваного. Гумову трубку манжети з'єднують з трубкою, яка йде до капсули Марєя з пером. Наблизивши перо до барабана кімографа записують спокійне дихання протягом 30 с. Після цього обстежуваний виконує фізичні вправи (20 присідань) і запис пневмограми повторюють. Слідкують, яким фазам дихання відповідає підняття і опускання пера, звертають увагу на глибину дихання (амплітуду дихальних рухів в мм). Користуючись секундоміром, визначають ритм дихальних рухів. Для цього роблять помітки часу на стрічці кімографа. Розраховують частоту дихання і відношення тривалості вдиху до видиху. Отримані дані заносять в протокольну таблицю, аналізують і роблять висновки про їх відповідність нормативним.

Протокольна таблиця характеристики дихального циклу в спокої і після фізичного навантаження

Показники пневмограми	В спокої	Після навантаження
1. Тривалість фази вдиху, с		
2. Тривалість фази видиху, с		
3. Тривалість дихального циклу, с		
4. Частота дихання за 1 хв		
5. Амплітуда дихальних рухів, мм		

Робота 3

Визначення сили дихальних м'язів

Завдання. Ознайомитись з методикою визначення сили м'язів видиху і вдиху. Користуючись пневмотонометром оцінити функціональний стан дихальних м'язів студентів групи.

Методика. Для вимірювання сили дихальних м'язів користуються ртутним або мембранним пневмотонометром (сфігмоманометром), в якому на місці манжета прикріплена лійка від кисневої медичної подушки. Для вимірювання сили м'язів видиху роблять глибокий вдих і, взявши в рот мундштук приладу, поступово збільшуючи зусилля до максимуму, виконують видих. Величина цього зусилля відповідає величині внутрішньогрудного тиску, який візуально реєструється за шкалою в мм рт. ст. Для вимірювання сили м'язів вдиху після глибокого видиху, беруть у рот мунштук і, виконуючи вдих, стараються опустити ртуть в трубочці приладу якнайнижче.

При аналізі отриманих результатів звертають увагу на спортивну спеціалізацію і кваліфікацію досліджуваних, їх вік і стать. Функціональний стан дихальних м'язів вдиху вважається добрим при величинах зусиль для юнаків старших класів — 50–80 мм рт. ст.,

для дівчат — 40–70 мм рт. ст. і більше. Сила видиху у здорових ненагнених молодих чоловіків — 80–120 мм рт. ст. (у спортсменів — 150 мм рт. ст. і більше), у дівчат, які не займаються спортом, сила видиху — 60–90 мм рт. ст., у спортсменок — 80–150 мм рт. ст. і більше (А. Синяков, 1987). При втомі сила дихальних м'язів зменшується.

Робота 4

Визначення потужності вдиху і видиху

Завдання. Оволодіти методикою визначення об'ємної швидкості руху повітря за допомогою пневмотахометра. Дослідити величини потужності вдиху і видиху у спортсменів різної спеціалізації і кваліфікації.

Методика. Вимірювання швидкості руху видихуваного повітря проводять за допомогою пневмотахометра. Досліджуваній робить максимально швидкий і глибокий вдих, тоді бере завчасно продезинфікований наконечник приладу в рот і виконує максимально глибокий видих. На шкалі тахометра відмічають максимальні величини витрат повітря в літрах за 1 с. Для розрахунку належної величини об'ємної швидкості потоку повітря фактичну величину ЖЄЛ множать на коефіцієнт 1,24.

Отримані експериментальні дані при обстеженні усіх студентів групи оцінюють на їх відповідність нормативним величинам. Потужність вдиху рівна потужності видиху або дещо більша від неї і складає у чоловіків 5–8 л/с, у жінок — 4–6 л/с. У висновках вказують, у спортсменів яких видів спорту величини об'ємної швидкості потоку повітря вищі, а у яких — нижчі.

Робота 5

Спірометрія

Завдання. Опанувати методом спірометричного вимірювання життєвої ємності легень (ЖЄЛ) і обсягів, які її складають. Встановити відповідність отриманих показників нормативним.

Методика. ЖЄЛ визначають за допомогою спірометра (рис. 5.9). Дослідження проводять в положенні стоячи. Мундштук водяного спірометра протирають ватою, змоченою спиртом, шкалу спірометра встановлюють на «0». Після глибокого вдиху обстежуваний робить максимально глибокий видих в спірометр. Видих бажано виконувати плавно, без поштовхів. Результат ЖЄЛ оцінюють в літрах. Вимірювання проводять тричі. Найбільша величина і характеризує ЖЄЛ.

Об'єктивність оцінки показників ЖЄЛ значно зростає при розрахунку відповідності фактичної ЖЄЛ належній (НЖЄЛ). Для визначення НЖЄЛ користуються формулами Людвіга:

$$\text{для чоловіків} = 40 \cdot \text{зріст (см)} + 30 \cdot \text{маса тіла (кг)} - 4400;$$

$$\text{для жінок} = 40 \cdot \text{зріст (см)} + 10 \cdot \text{маса тіла (кг)} - 3800;$$

або з врахуванням віку за формулами Є. Болдіна та інших:

$$\text{чоловіків} = 27,63 - (0,112 \cdot \text{вік в роках}) \cdot \text{зріст в см};$$

$$\text{жінок} = 27,78 - (0,101 \cdot \text{вік в роках}) \cdot \text{зріст в см}.$$

Належну ЖЄЛ можна визначити, користуючись показниками величини **належного основного обміну** (, ккал на добу) за формулою А. Антоні і Х. Венрата (1962):

$$= \cdot 2,6 \text{ (для чоловіків);}$$

$$= \cdot 2,2 \text{ (для жінок);}$$

або за формулами, запропонованими Шиком і Канаєвим (1980):

$$= 0,52 \cdot \text{зріст} - 0,028 \cdot \text{вік} - 3,20 \text{ (для чоловіків);}$$

$$= 0,049 \cdot \text{зріст} - 0,019 \cdot \text{вік} - 3,76 \text{ (для жінок).}$$

В нормі величина ЖЄЛ досить варіабельна і може коливатись в межах 15–20 % від належної величини. Зниження ЖЄЛ, в порівнянні з її нормативною величиною (НЖЄЛ), більше ніж на 15 % свідчить про недостатність розвитку дихальної системи (порушення

прохідності дихальних шляхів, зміни структури і властивостей легеневої тканини тощо). Істотне зниження ЖЄЛ спостерігається при захворюваннях серцево-судинної системи.

Для визначення дихального обсягу (ДО) обстежуваний бере мундштук в рот і починає спокійно дихати — вдих через ніс, а видих через рот в спірометр. Після п'яти дихальних циклів на шкалі читають обсяг видихнутого повітря, ділять його на число дихань і отримують показник глибини дихання (дихальний обсяг). Належну величину ДО (НДО) розраховують за формулою (НЖЄЛ — належна ЖЄЛ):

$$= 0,2 \cdot$$

Визначення резервного обсягу видиху (РОВид). Після спокійного видиху в атмосферу, досліджуваний бере в рот мундштук спірометра і робить максимально глибокий видих в спірометр.

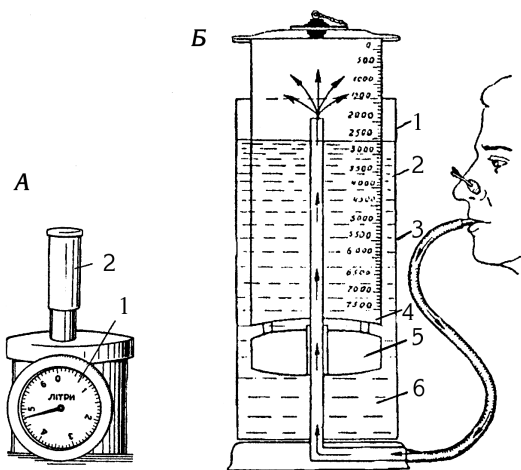


Рис 5.9

Спірометри: А — сухий спірометр: 1 — шкала приладу; 2 — змінний пластмасовий мундштук; Б — водяний спірометр: 1 — вікно у зовнішній циліндр; 2 — вода; 3 — зовнішній циліндр; 4 — внутрішній циліндр; 5 — балон з повітрям для врівноважування внутрішнього циліндра у воді; 6 — вода

На шкалі приладу читають величину РОВид. Належну величину РОВид розраховують за формулою:

$$= 0,3 \cdot$$

Для визначення резервного обсягу вдиху (РОВд) проводять розрахунки: від величини ЖЄЛ віднімають суму обсягів дихального повітря і резервного обсягу видиху. Належну величину РОВд розраховують, користуючись формулою:

$$= \quad - \quad - \quad .$$

При оцінці ЖЄЛ звертають увагу на співвідношення складових її обсягів. З цією метою розраховують рівень дихання — відношення резервного обсягу видиху до резервного обсягу вдиху. Його середня величина — 0,6.

ЖЄЛ, в структурі якої резервний обсяг вдиху займає більше місця, функціонально повніша, ніж ЖЄЛ такої ж величини, але з меншим резервним обсягом повітря. При глибшому вдиху відбувається зменшення величини залишкової ємності легень. В умовах сталої величини дихального обсягу глибший видих зумовлює інтенсивніший газообмін альвеолярного повітря.

Робота 6

Визначення ЖЄЛ і обсягів, які її складають «сухим» спірометром

Завдання. Ознайомити студентів з повітряно-струмковим способом визначення дихальних обсягів легень.

Методика. Для визначення ЖЄЛ обстежуваному студенту пропонують зробити максимально глибокий вдих, взяти в рот мундштук сухого спірометра, затиснути ніс вільною рукою і видихнути в прилад спочатку ривком (щоб запустити турбінку спірометра), а тоді решту — повільно.

Виконуючи видихи в спірометр упродовж 1 хв (вдих через ніс, видих — у мундштук спірометра) визначають хвилинний обсяг дихання (ХОД). Поділивши показник ХОД на частоту дихань, визначають величину дихального обсягу (глибина дихань).

— це обсяг повітря, який досліджуваний може видихнути після спокійного видиху. (додатковий обсяг) — обсяг повітря, який обстежуваний вдихає після спокійного вдиху. Він визначається відніманням від ЖЄЛ суми дихального обсягу і резервного обсягу видиху.

У висновках до роботи вказують на відповідність отриманих показників нормативним величинам (див. роботу 5).

Робота 7

Вплив куріння на функціональний стан системи дихання і кровообігу

Завдання. Дослідити вплив нікотину на функціональний стан системи дихання і кровообігу. Ознайомитися з формами і методами антинікотинного виховання.

Методика. У досліджуваних (курця і того, хто не палить) визначають показники функціонального стану кардіо-респіраторної системи: частоту дихання, ЖЄЛ, глибину дихання, ХОД, силу дихальних м'язів, показники системи кровообігу (див. заняття 32, робота 1) в стані спокою, після викурювання сигарети (20–30 затяжок упродовж 2–3 хв) і на 10 хв відновного періоду.

При аналізі результатів звертають увагу на залежність змін вегетативних показників від стажу куріння та інших чинників.

1.6. Ситуаційні запитання і задачі

1. В легенях дорослої людини приблизно 700 млн альвеол з діаметром кожної 0,2 мм і площею поверхні — 0,125 мм². Яка загальна площа поверхні усіх альвеол? Скільки часу людина може не дихати?
2. Для аденоїдних дітей характерним є відсталість розумового і фізичного розвитку, погіршення функціонального стану організму в цілому (захворювання очей, середнього і внутрішнього вуха, зниження імунної реактивності тощо). Який взаємозв'язок вказаного погіршення здоров'я дітей з особливостями зовнішнього дихання, викликаного аденоїдами?
3. Коли людину похилого віку помістити в приміщення з дещо підвищеним вмістом кисню в повітрі у неї відчається значне покращення самопочуття, нормалізується сон, підвищується працездатність. В чім причина цього? Чому людині так легко дихається на березі моря або в лісі?
4. Вкажіть, в якому випадку відбувається збільшення обсягу грудної клітки: при скороченні чи при розслабленні діафрагми? В яку фазу дихального циклу діафрагма сплющується: при її скороченні чи при розслабленні? Назвіть величину (в см) максимального вертикального переміщення діафрагми при фізичних навантаженнях.
5. Який тип дихання характерний для юнака в стані спокою і при виконанні фізичної роботи (підняття вантажу)? Який тип дихання переважає у вагітної жінки?
6. Динамометричними дослідженнями у школяра встановлена сила скелетних м'язів на вдиху, видиху і при затримці дихання. Отримані показники сили були різними. Чому?
7. На яку глибину під воду може зануритись людина, дихаючи через трубку? Відомо, що на глибині 1 м тиск води на грудну клітку становить 0,1 атм.
8. Для чого при запальних процесах в легенях, туберкульозі в міжплевральну щілину хворого вводять невелику кількість повітря (закритий пневмоторакс)? Які наслідки однобічного і двобічного поранення легень?
9. За допомогою спірометра в досліджуваного учня масою тіла 60 кг визначено дихальний обсяг (600 мл), резервний обсяг вдиху (1500 мл) і резервний обсяг видиху (1000 мл). Розрахуйте величину життєвої ємкості легень та життєвого показника для даного обстежуваного. Дайте оцінку отриманих показників.

10. Визначте загальну ємність легень у двох досліджуваних учнів, якщо відомі такі обсяги легеневого повітря: дихальний обсяг — 600 мл, резервний обсяг видиху — 1000 мл, резервний обсяг вдиху — 1500 мл, залишковий обсяг повітря — 1200 мл (перший досліджуваний). Життєва ємність легень другого учня становила 3100 мл, залишковий обсяг повітря — 1200 мл.
11. Визначте показник функціональної залишкової ємності легень (ФЗЄ) досліджуваного учня, якщо відомі такі показники: обсяг резервного видиху (1000 мл), залишковий обсяг (1200 мл) і дихальний обсяг (500 мл). Дайте оцінку функціональних резервів зовнішнього дихання даного учня.
12. Спірометричним дослідженням у юного спортсмена визначена ЖЄЛ — 4 л, дихальний обсяг — 500 мл і резервний обсяг видиху — 1500 мл. Розрахуйте величину резервного обсягу вдиху (додаткового обсягу).
13. У досліджуваного віком 40 років (зріст 170 см, маса тіла 73 кг), визначена величина ЖЄЛ (5000 мл). Визначте належну життєву ємність легень (НЖЄЛ) досліджуваного, користуючись формулою Шика і Канаєва ($\text{НЖЄЛ} = 0,523 - 0,028 \cdot \text{вік} - 3,20$); дайте оцінку отриманому показникові.

1.7. Тести

1. Дихання — це сукупність безперервно протікаючих процесів, що забезпечують:
 - а) споживання організмом кисню і виділення з організму вуглекислого газу;
 - б) компенсацію гіпоксичних і ацидотичних явищ;
 - в) виділення з організму продуктів білкового обміну (аміаку, сечовини, сечової кислоти) і молочної кислоти;
 - г) а + б.
2. Переміщення дихальних газів з атмосферного повітря до клітин організму умовно можна розділити на таку кількість етапів:
 - а) 4 етапи;
 - б) 3 етапи;
 - в) 2 етапи;
 - г) 1 етап.
3. Кількість кисню, що поглинається організмом через шкіру і травний тракт, становить близько (%):
 - а) 0,5;
 - б) 1,5;
 - в) 2,5;
 - г) 3,5.
4. Кількість альвеол в легенях дорослої людини приблизно становить (млн):
 - а) 700;
 - б) 1000;
 - в) 1300;
 - г) 1500.
5. Середній діаметр альвеоли легень дорослої людини близько (мм):
 - а) 2;
 - б) 1;
 - в) 0,5;
 - г) 0,2.
6. Внутрішня поверхня альвеол покрита нерозчинною у воді тонкою плівкою поверхневоактивної речовини, яка називається:
 - а) муцин;
 - б) серотонін;
 - в) сурфактант;
 - г) адреналін.

7. Проходячи через верхні дихальні шляхи, повітря:
- а) зігрівається і очищується;
 - б) зволожується і іонізується;
 - в) а + б;
 - г) збагачується киснем.
8. При подразненні хемо- і механорецепторів слизової оболонки носових ходів виникає рефлекторний акт:
- а) кашлю;
 - б) чихання;
 - в) затримки дихання;
 - г) б + в.
9. При подразненні хемо- і механорецепторів слизової оболонки поверхні глотки, трахеї та бронхів виникає рефлекторний акт:
- а) кашлю;
 - б) чихання;
 - в) затримки дихання;
 - г) а + в.
10. Тривале припинення носового дихання (у аденоїдних дітей) часто приводить до:
- а) прискореного розумового розвитку дітей;
 - б) прискореного фізичного розвитку дітей;
 - в) розумової відсталості і поганого фізичного розвитку;
 - г) посилення імунної реактивності, загального поліпшення функціонального стану організму.
11. Негативна дія паління на дихальну систему проявляється в:
- а) гальмуванні продукції сурфактанта;
 - б) звуженні бронхів;
 - в) збільшенні секреції слизу в дихальних шляхах;
 - г) а + б + в.
12. Недихальними функціями системи дихання є:
- а) додаткова іонізація кисню спеціальними клітинами миготливого епітелію дихальних шляхів;
 - б) горманально-локальний синтез гормонів спеціалізованими клітинами стінки дихальних шляхів;
 - в) участь в різних видах звуковираження (мова, спів, зітхання тощо);
 - г) а + б + в.
13. Глибоке довільне дихання:
- а) стимулює крово- і лімфообіг;
 - б) активізує обмін жирів, попереджуючи їх відкладання в жирових депо;
 - в) сприяє шлунковому травленню і виведенню жовчі з печінки та жовчного міхура;
 - г) а + б + в.
14. Вуглекислий газ бере участь в:
- а) регуляції збудливості нейронів;
 - б) синтезі білків;
 - в) впливає на інтенсивність секреції і проникність клітинних мембран;
 - г) а + б + в.

15. Сукупність процесів, що забезпечують надходження атмосферного повітря в легені, а легеневого в довкілля, називається:
- а) зовнішнім диханням; б) легеневою вентиляцією;
в) а + б; г) альвеолярною вентиляцією.
16. Інспірація здійснюється внаслідок збільшення обсягу грудної клітки за рахунок:
- а) скорочення діафрагми;
б) скорочення дихальних м'язів грудної клітки (зокрема, зовнішніх міжреберних м'язів);
в) розслаблення діафрагми і зовнішніх міжреберних м'язів;
г) а + б.
17. При скороченні діафрагми (при вдиху) її купол сплющується, опускаючись униз приблизно на (см):
- а) 0,5; б) 1,5; в) 2,5; г) 3,5.
18. При глибокому диханні вертикальні переміщення діафрагми можуть становити більше (см):
- а) 10; б) 20; в) 30; г) 40.
19. При скороченні діафрагми вертикальні розміри грудної порожнини:
- а) зменшуються; б) збільшуються;
в) не змінюються; г) зменшуються при глибокому диханні.
20. Експірація розпочинається:
- а) розслабленням м'язів вдиху; б) розслабленням діафрагми;
в) скороченням зовнішніх міжреберних м'язів і діафрагми;
г) а + б.
21. Для розвитку витривалості дихальних м'язів використовують методику штучного збільшення опору руху повітря в легені шляхом:
- а) імітація вдихів під водою, видихи у воду;
б) посиленого форсованого дихання в умовах статичної пози;
в) довільне дихання в умовах близькомаксимальної вентиляції легень;
г) а + б + в.
22. Грудний тип дихання переважає у:
- а) чоловіків; б) жінок; в) новонароджених; г) а + в.
23. Черевний тип дихання переважає у:
- а) чоловіків; б) жінок; в) новонароджених; г) а + в.
24. Рухи грудної клітки в час вдиху і видиху можна записати:
- а) пневмографом; б) спірометром; в) динамометром; г) кардіографом.
25. Під час спокійного вдиху, внаслідок збільшення обсягу грудної порожнини, тиск повітря всередині легень стає меншим, ніж в зовнішньому атмосферному повітрі на (мм рт. ст.):
- а) 15–20; б) 5–10; в) 3–5; г) 0–1.

26. При м'язовій роботі легеневий тиск під час вдиху може стати нижчим від атмосферного на (мм рт. ст.):
а) 50; б) 60; в) 70; г) 80.
27. При спокійному видиху легеневий тиск стає більшим від атмосферного на (мм рт. ст.):
а) 0–1; б) 2–3; в) 5–10; г) 15–20.
28. При максимальній легеневій вентиляції легеневий тиск стає більшим від атмосферного на (мм рт. ст.):
а) 100; б) 70; в) 40; г) 10.
29. При порушенні цілісності грудної порожнини (при пораненнях), внаслідок надходження повітря в міжплевральну щілину, виникає:
а) гіперкапія;
б) гіпоксемія;
в) відкритий пневмоторакс;
г) закритий пневмоторакс.
30. Та кількість повітря, яку людина вдихає і видихає в стані спокою, називається:
а) легеневою вентиляцією;
б) дихальним обсягом;
в) глибиною дихання;
г) б + в.
31. В нормі дихальний обсяг середньої людини становить (мл):
а) 400–800; б) 900–1200; в) 1300–1500; г) 1600–2000.
32. Повітря, що займає простір верхніх дихальних шляхів, називається повітрям:
а) резервного вдиху;
б) «мертвого» простору;
в) резервного видиху.
33. Середній обсяг повітря «мертвого» простору приблизно становить (мл):
а) 100; б) 150; в) 200; г) 250.
34. В нормі резервний обсяг вдиху становить:
а) 400; б) 1000; в) 1400; г) 2000.
35. Обсяг повітря резервного видиху становить (мл):
а) 1000; б) 2000; в) 2500; г) 3000.
36. Середня величина залишкового обсягу повітря в легенях середньої людини становить:
а) 4000–4500; б) 3000–3500; в) 2000–2500; г) 1000–1500.
37. Обсяг повітря, який міститься в легенях після максимально глибокого вдиху, називається:
а) дихальним; б) залишковим;
в) резервним обсягом вдиху; г) загальною ємністю легень.

38. Сума обсягів повітря резервного вдиху і залишкового складають показник:
а) загальної ємності легень;
б) функціональної залишкової ємності легень;
в) життєвої ємності легень.
39. Сума обсягів повітря спокійного вдиху, резервних обсягів вдиху і видиху складають:
а) загальну ємність легень;
б) функціональну залишкову ємність легень;
в) життєву ємність легень.
40. В нормі величина функціональної залишкової ємності легень становить (мл):
а) 1000–1500; б) 2000–2500; в) 3000–3500; г) 4000–4500.
41. Середня величина загальної ємності легень складає (мл):
а) 4500–7000; б) 6000–9000; в) 8000–10000; г) 9000–12000.
42. Життєва ємність легень в нормі становить:
а) 1500–3500; б) 3500–5500; в) 5500–7500; г) 7500–9500.
43. У натренованих спортсменів витривалісних видів спорту життєва ємність легень нерідко досягає (мл):
а) 4000; б) 6000; в) 8000; г) 10000.
44. У жінок величина показника життєвої ємності легень менша, ніж у чоловіків на (%):
а) 15; б) 25; в) 35; г) 45.
45. Відношення величини показника життєвої ємності легень до маси тіла становить:
а) належну ємність легень;
б) життєвий показник;
в) коефіцієнт використання кисню;
г) коефіцієнт вентиляції легень.
46. Недостатність розвитку дихальної системи спостерігається при зниженні життєвої ємності легень в порівнянні з її нормативною величиною, більш, ніж на (%):
а) 20; б) 30; в) 40; г) 50.
47. Середня величина життєвого показника у юнаків (мл на 1 кг маси тіла):
а) 25–30; б) 35–40; в) 45–50; г) 60–70.

Оцінка теми 1 модуля 5 (47 запитань)

Оцінка модуля	Кількість вірних відповідей						
	47–42	41–39	38–35	34–32	31–28	27–16	15 і <
За шкалою університету	100–90	89–82	81–75	74–69	68–60	59–35	34–1
За національною шкалою	5	4	4–	3	3–	2	2–
За шкалою ECTS	A	B	C	D	E	FX	F

Тема 2. Газообмін в легенях. Споживання кисню організмом

2.1. Логіка викладу і засвоєння матеріалу

1. Робота дихання, її кількісна оцінка і киснева вартість. Необхідність врахування величини ЖЄЛ обстежуваного при визначенні енерговартості роботи дихання.
2. Легенева вентиляція і її ефективність. Альвеолярна вентиляція. Коефіцієнт використання кисню, коефіцієнт вентиляції легень та вентиляційно-перфузійний коефіцієнт.
3. Газообмін між альвеолярним повітрям і кров'ю капілярів легень. Поняття парціального тиску, парціальної напруги, альвеолярно-венозного та альвеолярно-артеріального градієнтів для даного газу. Дифузійна спроможність легень.
4. Транспортування дихальних газів кров'ю. Крива дисоціації оксигемоглобіну. Чинники, що впливають на насичення крові киснем.
5. Газообмін між кров'ю капілярів і тканинами. Коефіцієнт використання кисню. Типи тканинної гіпоксії.

2.2. В результаті вивчення матеріалу теми Ви повинні знати:

- показники роботи дихання, енерговартість роботи дихання;
- відмінність понять легенева і альвеолярна вентиляція;
- особливості газообміну між альвеолярним повітрям і кров'ю капілярів легень;
- чинники, що впливають на насичення крові киснем;
- особливості транспортування дихальних газів кров'ю;
- механізми газообміну між кров'ю капілярів і тканинами.

вміти:

- проводити обстеження людини з використанням методів спірографії, оксигемометрії, прямого і непрямого визначення хвилинного вживання кисню;
- враховувати величини ЖЄЛ обстежуваного при визначенні енерговартості роботи дихання;
- визначати максимальне споживання кисню та використовувати даний показник для оцінки рівня досконалості механізмів аеробного енергозабезпечення та працездатності людини.

2.3. Основні терміни, поняття і скорочення

киснева вартість дихання (КВД); хвилинний обсяг дихання (ХОД); частота дихання (ЧД); дихальний цикл (ДЦ); максимальна вентиляція легень (МВЛ); резерв дихання (РД); коефіцієнт використання кисню (КВО₂); ефективний дихальний об'єм;

альвеолярна вентиляція (АВ); коефіцієнт вентиляції легень (КВЛ); дихальний об'єм; залишковий об'єм повітря (ЗОП); вентиляційно-перфузійний коефіцієнт (ВПК); аерогематичний бар'єр (АГБ); парціальний тиск (ПТ); парціальна напруга (ПН); дифузійна спроможність легень (ДСЛ); альвеолярно-артеріальний градієнт (ААГ); тканинно-капілярний градієнт (ТКГ); коефіцієнт використання кисню (КВО₂); гіпоксія; оксигемограф; максимальне споживання кисню (МСО₂).

2.4. Теоретичні відомості

1. Робота органів дихання, її кількісна оцінка і киснева вартість

Дихальні рухи відбуваються завдяки діяльності дихальних м'язів. Виконуючи певну роботу дихальні м'язи споживають відповідно збільшену кількість кисню. Енерговитрати роботи дихання ідуть головним чином на переборення опору легеневої тканини і грудної клітки (еластичний опір) та на розтягнення легень (динамічний, нееластичний опір). Нееластичний опір розтягнення легень включає в себе опір, зумовлений тертям тканин дихального апарата (між листками плеври, в суглобах грудної клітки тощо) і опір руху повітря в дихальних шляхах. Нееластичний опір складає близько 80 % із загального опору дихання. При м'язовій роботі внаслідок виникнення завихрень опір руху повітря значно зростає, особливо в трахеї і головних бронхах.

Величина опору руху повітря залежить від характеру дихання. Так, при диханні через ніс в стані спокою опір руху повітря на 35 % вищий, ніж при диханні через рот. При посиленому диханні величина опору при носовому диханні може стати в 2–3 рази більшою, ніж при ротовому диханні. Саме тому при виконанні інтенсивної роботи (з легеневою вентиляцією більше 30 л/хв) переважна більшість спортсменів автоматично переходить з носового дихання на ефективніше носово-ротове і повністю ротове дихання.

Еластичний опір зумовлюється передусім розтяжністю легень, яка в свою чергу залежить від їх розмірів: чим менший об'єм легень, тим менша їх розтяжність. Ефективним вважається дихання з приблизно однаковим відхиленням під час вдиху і видиху. Найменша розтяжність легень у дітей і найбільша у людей зрілого віку. В процесі старіння, внаслідок розростання сполучної тканини, розтяжність легень зменшується. Зменшується розтяжність легень і при збільшенні їх кровонаповнення.

Основними показниками роботи дихання є кількість роботи, яка виконується дихальними м'язами за 1 хв і кількість роботи, витраченої на проходження через легені 1 л повітря. В умовах спокою при частоті дихання 12 за 1 хв і дихальному об'ємі 0,5 л загальна робота дихання становить 0,3 кгм/хв, або 0,035 кгм на 1 л легеневої вентиляції.

При інтенсивній м'язовій роботі (вентиляція легень більше 150 л/хв) робота дихання може збільшитись до 200–250 кгм/хв. При цьому споживання кисню дихальними м'язами збільшується з 4–8 мл/хв в стані спокою до 500 мл за 1 хв при фізичних навантаженнях (3–4 мл кисню на 1 л вентиляції; Я. Коц, 1982). Таким чином, при зростанні



Одна і та ж величина ХОД (наприклад, 6 л) при глибокому і рідкому диханні (ДО — 600 мл, ЧД — 10 за 1 хв) і при частому, але поверхневому диханні (ЧД — 20 за 1хв, ДО — 300 мл) зумовлює різні величини АВ. В першому випадку АВ становитиме 4,5 л/хв ($10 \cdot 600 = 150$), а в другому — всього 3,0 л ($20 \cdot 300 = 150$). Таким чином, рідке, але глибоке дихання значно ефективніше щодо вентиляції альвеол, ніж часте поверхнєве дихання.

Тривале виконання вправ з глибоким диханням призводить до зростання сили дихальних м'язів і ЖЕЛ. Глибоке дихання посилює масажну функцію діафрагми на нижчерозташовані внутрішні органи; внаслідок присмоктувальної дії грудної клітки полегшується надходження венозної крові до серця.

При виконанні інтенсивної фізичної роботи (при ДО — 2,5–3 л) об'єм анатомічного «мертвого» простору збільшується до 300–350 мл, що складає всього 10 % від ДО (в стані спокою величина «мертвого» об'єму 30 % від ДО).

Ефективність газообміну в легенях зумовлюється також об'ємною швидкістю течії крові по альвеолярних капілярах. Співвідношення між об'ємом альвеолярної вентиляції і об'ємною швидкістю течії крові в альвеолах називається **вентиляційно-перфузійним коефіцієнтом** (). Для легень в цілому ВПК визначається як відношення альвеолярної вентиляції до хвилинного об'єму крові. Його величина в стані спокою при АВ 5 л/хв становитиме 0,87. При м'язовій роботі внаслідок випереджувального зростання легеневої вентиляції (до 120 л/хв) в порівнянні із зростанням хвилинного об'єму кровообігу (30 л/хв) ВПК зростає до 4.

3. Газообмін між альвеолярним повітрям і кров'ю капілярів легень

Дифузія газів між альвеолярним повітрям і кров'ю капілярів легень здійснюється через альвеоло-капілярну мембрану — **аерогематичний бар'єр** () товщиною близько 1 мкм (рис. 5.11). АГБ має багат шарову структуру: 1) шар ендотеліальних клітин капіляра; 2) базальна мембрана ендотелію капіляра; 3) інтерстиціальний шар; 4) базальна мембрана клітин альвеолярного епітелію; 5) шар клітин альвеолярного епітелію.

Газообмін в альвеолах відбувається під дією сил дифузії, згідно з якими газ переходить з ділянки вищого тиску в ділянку нижчого. Кожен із газів, який входить до складу повітря, має свій так званий **парціальний тиск** (). Щодо газів, розчинених у рідині, використовується

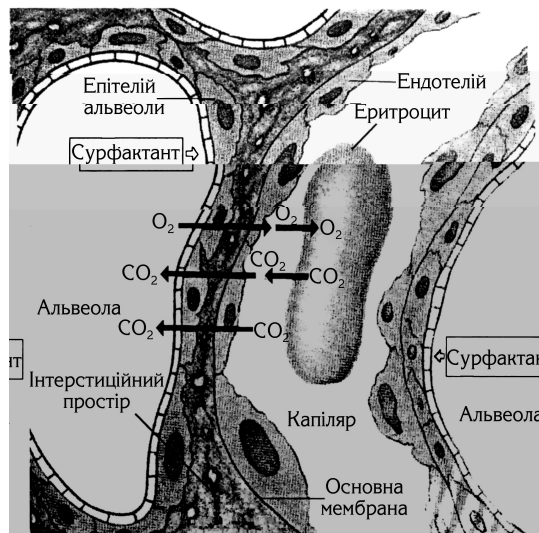


Рис. 5.11

Простір між кров'ю і альвеолярним повітрям (аерогематичний бар'єр)

термін не парціальний тиск, а **парціальна напруга** (). ПТ — це та частина загально-го тиску, що припадає на долю даного газу в суміші газів. Для визначення ПТ необхідно знати загальний атмосферний тиск (на рівні моря 760 мм рт. ст.) і процент даного газу в досліджуваному повітрі (вміст кисню в атмосферному повітрі — 21 %, вуглекислого газу — 0,03 %, азоту та інертних газів — 79 %). ПТ даного газу (наприклад, кисню) розраховується за формулою:

$$ПТО = \frac{760 \text{ мм рт. ст.} \cdot 21 \%}{100 \%} = 159 \text{ мм рт. ст.}$$

ПТ вуглекислого газу, розрахований аналогічним чином, становитиме 0,2 мм рт. ст., азоту — 600 мм рт. ст. (табл. 5.2).

Склад альвеолярного повітря завдяки періодичним вдихам і видихам підтримується відносно сталим. Дещо більший вміст кисню і менший вуглекислого газу у вдихуваному повітрі, ніж у альвеолярному, пояснюється тим, що при звичайному видиху до альвеолярного повітря додається повітря, яке витісняється з «мертвого» простору.

Перехід газів з альвеолярного повітря в кров і, навпаки, з крові в альвеоли легень, відбувається внаслідок різниці парціальних тисків дихальних газів в альвеолах, з одного боку, і в венозній крові — з іншого (альвеолярно-венозний градієнт, АВГ; рис. 5.12).

В стані спокою АВГ щодо кисню становить 60 мм рт. ст. (100 мм рт. ст. — 40 мм рт. ст.). При виконанні інтенсивної фізичної роботи, внаслідок збільшеного споживання організмом кисню (парціальна напруга кисню в венозній крові знижується до 20 мм рт. ст.) і збільшення легеневої вентиляції (парціальний тиск кисню альвеолярного повітря зростає до 130 мм рт. ст.), АВГ збільшується майже вдвічі (до 110 мм рт. ст.). АВГ щодо вуглекислого газу при фізичній роботі зростає до 20 мм рт. ст. (парціальний тиск в альвеолярному повітрі — 40 мм рт. ст., парціальна напруга в венозній крові 60 мм рт. ст.).

Таблиця 5.2

Середні дані парціальних тисків, напруги і процентного вмісту газів у вдихуваному повітрі, у венозній і артеріальній крові

	Процентний вміст, %		Парціанальний тиск і напруга газів, мм рт. ст.	
	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂
Вдихуване (атмосферне повітря)	20,9	0,03	158	0,2
Видихуване повітря	16,4	4,0	124	30
Альвеолярне повітря	14,5	5,0	110	38
Артеріальна кров	20,0	5,2	100	40
Венозна кров	12,0	5,7	40	48

Проникність легеневої мембрани для газів визначається **дифузійною спроможністю легень** () — об'єм газу (в мл), який дифундує через легеневу мембрану за 1 хв при АВГ в 1 мм рт. ст. Для кисню ДСЛ визначається за формулою:

$$ДСЛ = \frac{QO_2}{ABГ},$$

де: QO_2 — об'єм кисню, який надходить через легеневу мембрану, мл/хв; $ABГ$ — альвеолярно-венозний градієнт, мм рт. ст.

В стані спокою ДСЛ щодо кисню становить 25 мл/хв на 1 мм рт. ст. АВГ. При такій величині ДСЛ спостерігається майже повна рівновага між парціальним тиском кисню в альвеолярному повітрі і парціальною напругою кисню в крові венозних капілярів, що відходять від альвеол.

Величина дифузійної спроможності легень зумовлюється: 1) різницею парціальних тисків газу з обох боків мембрани; 2) площиною альвеолярно-капілярної поверхні, доступної для газообміну; 3) станом альвеолярних мембран; 4) об'ємною швидкістю течії крові; 5) вмістом в крові гемоглобіну. В умовах спокою час проходження крові через легеневі капіляри становить всього 0,6–1,1 с. Проте внаслідок великої швидкості дифузії цього часу достатньо для створення рівноваги тисків газів по обидва боки АГБ.

ДСЛ найбільша у людей зрілого віку; у школярів і людей старшого віку вона майже вдвічі нижча. ДСЛ залежить і від положення тіла: в положенні стоячи вона на 15–20 % менша, ніж в положенні сидячи.

Різниця між величинами парціального тиску даного газу в альвеолярному повітрі і його парціальною напругою в артеріальній крові капілярів легень **називається альвеолярно-артеріальним градієнтом** (). В стані спокою ААГ щодо кисню становить всього 5–10 мм рт. ст., а при інтенсивній роботі досягає 30 мм рт. ст. і більше.

Вентиляція газообміну і рівень кровообігу у різних ділянках легень проходить не однаково інтенсивно. Це, ймовірно, і є однією з причин частіших запалень верхівок легень, де вентиляція і кровообіг значно менший, ніж в ділянці нижніх горизонтальних шарів легень (табл. 5.3).

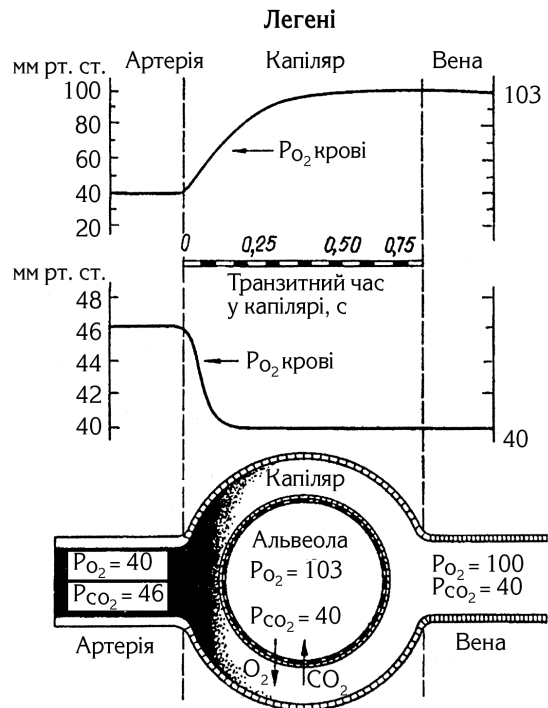


Рис. 96

Обмін газів між альвеолярним повітрям і кров'ю капілярів легень

Таблиця 5.3

Вентиляція газообміну й інтенсивність течії крові верхнього і нижнього горизонтальних шарів легень здорової людини (за Дж. Вестом, 1970)

Досліджувальні показники	Горизонтальні шари легень	
	верхні	нижні
Об'єм легень, % від загального об'єму	7	13
Вентиляція легень, л/хв	0,24	0,82
Кровообіг, л/хв	0,07	1,29
Відношення вентиляції до течії крові	3,3	0,63
Парціональний тиск O_2 , мм рт. ст.	132	89
Перціональний тиск CO_2 , мм рт.ст.	20	42
Насичення киснем, %	100	96
Концентрація вуглекислого газу, %	42	49
pH крові в судинах легень	7,51	7,35

4. Транспортування дихальних газів кров'ю

Дихальні гази можуть бути фізично розчинені в крові (абсорбція) або у вигляді відповідних хімічних сполук. Розчинність газів в крові залежить від концентрації даного газу в крові і від її температури. Чим більший тиск газу і чим нижча температура рідини, тим більше газу розчиняється в рідині. Із зростанням температури рідини розчинність газів знижується. В 100 мл артеріальної крові у фізично розчиненому стані міститься 0,30 об% (об'ємні проценти — кількість газу, розчиненого в 100 мл рідини) кисню, 2,5 об% вуглекислого газу і 0,95 об% азоту.

Найповніше насичення артеріальної крові киснем може бути досягнуто лише за умов оптимального перебігу таких основних процесів:

- 1 безперервна вентиляція альвеол, спрямована на підтримання нормального газового складу альвеолярного повітря;
- 2 дифузія газів через альвеолярно-капілярну мембрану зі швидкістю, достатньою для досягнення рівноваги парціальних тисків в альвеолярному повітрі і крові легневих капілярів;
- 3 безперервна легенева течія крові з інтенсивністю, необхідною для ефективного газообміну в окремих зонах легень.

Важливими показниками ефективної діяльності дихальної системи є показник газового складу артеріальної крові, її насиченість киснем. За інтенсивністю поглинання кисню організмом судять про ефективність системи транспортування газів і інтенсивність тканинного метаболізму.

Транспортування кисню кров'ю. Кисень транспонується кров'ю у сполучі з гемоглобіном (1 г гемоглобіну здатний приєднати 1,34 мл кисню). При наявності в крові 15 % гемоглобіну киснева ємність крові становить 20 об %.

Сполука кисню з гемоглобіном (оксигемоглобін) нестійка, при зниженні парціальної напруги кисню вона розпадається, віддаючи кисень клітинам організму.

Утворення оксигемоглобіну і його розпад зумовлюються парціальною напругою кисню (ПНК) крові. Співвідношення між ПНК і кількістю утвореного оксигемоглобіну оцінюється кривою дисоціації оксигемоглобіну. Для її отримання на осі абсцис відкладають показник парціальної напруги кисню, а на осі ординат процент насичення гемоглобіну киснем. Отримана крива дисоціації оксигемоглобіну має форму гіперболи, яка показує, що між парціальним тиском кисню і кількістю утвореного оксигемоглобіну немає прямої залежності (рис. 5.13).

В ділянці високої парціальної напруги кисню, яка є в альвеолах, майже весь гемоглобін крові капілярів легень перетворюється в оксигемоглобін і, навпаки, при низькій напрузі кисню, що виявляється в капілярах тканин, навіть незначне зниження тиску викликає розпад оксигемоглобіну, звільнення кисню і його перехід в тканини.

Утворення оксигемоглобіну залежить від насичення крові кислими продуктами обміну (рН середовища) — при зниженні рН крові утворення оксигемоглобіну зменшується. Саме тому надходження вуглекислого газу із тканин в кров полегшує звільнення кисню із оксигемоглобіну і перехід його до тканин.

Перехід вуглекислого газу з крові в легені сприяє утворенню оксигемоглобіну. Особливо виразно знижується здатність гемоглобіну зв'язувати кисень в крові м'язових капілярів під час інтенсивної м'язової роботи, коли в кров надходить велика кількість кислих продуктів обміну, зокрема молочної кислоти. В цих умовах спостерігається розпад значно більшої кількості оксигемоглобіну, ніж в стані спокою.

Здатність гемоглобіну зв'язувати і віддавати кисень змінюється також і в залежності від температури тіла: при одній і тій же парціальній напрузі кисню розпад оксигемоглобіну буде більшим при вищій температурі тіла.

Рестрація насичення крові киснем здійснюється оксигемографом, принцип роботи якого ґрунтується на різних спектральних характеристиках окисленого і відновленого гемоглобіну. Метод забезпечує безкровну і безперервну

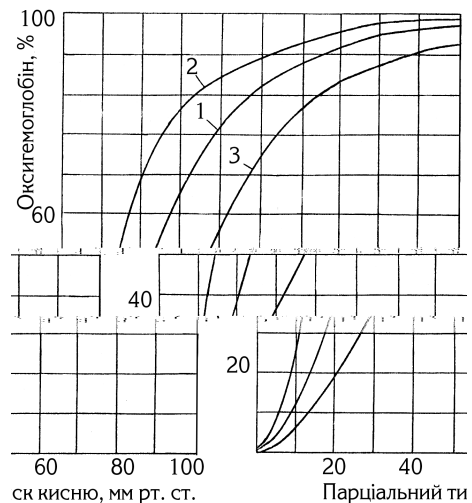


Рис. 5.13

Крива дисоціації оксигемоглобіну в нормі (1), при зменшенні (2) і збільшенні (3) вмісту вуглекислого газу в крові

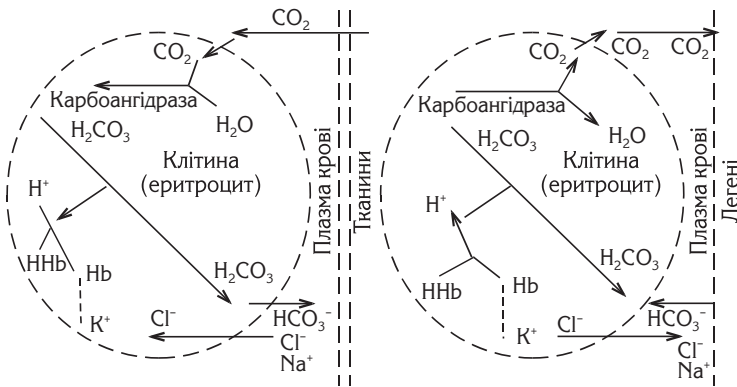


Рис. 5.14
Схема обміну вуглекислого газу між тканинами, кров'ю і альвеолярним повітрям

реєстрацію змін насичення крові киснем. Для визначення абсолютних величин кисневої ємності необхідно знати вміст гемоглобіну в крові і забезпечити його повне насичення киснем (дихання чистим киснем).

Транспортування вуглекислого газу кров'ю. 3 50 об% вуглекислого газу венозної крові близько 2,5 об% розчинено в плазмі, 4–5 об% зна-

ходяться в сполуках з гемоглобіном у вигляді карбогемоглобіну, а інша основна частина знаходиться в плазмі і еритроцитах у вигляді натрієвих і калієвих солей вуглекислоти.

Утворення вугільної кислоти з вуглекислого газу відбувається в еритроцитах при участі сильного каталізатора карбоангідрази:

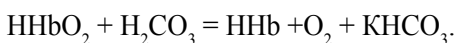


Дія карбоангідрази залежить від напруження вуглекислого газу в крові: в крові капілярів тканин, де напруга вуглекислого газу велика, карбоангідраза прискорює реакцію гідратації (утворення вуглекислоти з води і вуглекислого газу); в легенях, де напруга вуглекислого газу невелика, карбоангідраза прискорює реакцію дегідратації (розпад вуглекислоти і перехід вуглекислого газу в легені).

Дифундуючи з тканин в кров, вуглекислий газ проникає в еритроцити, де, реагуючи з водою, утворює вуглекислоту. Її нагромадження призводить до переходу іонів HCO_3^- в плазму (звільнений H^+ -іон зв'язується гемоглобіном — HHb).

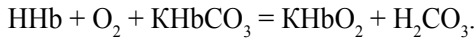
Оскільки мембрана еритроцитів проникна для аніонів і непроникна для катіонів, на заміну аніонів HCO_3^- в еритроцит входить аніон NaCl . Звільнені при цьому (з NaCl) іони Na^+ зв'язують HCO_3^- , утворюючи бікарбонат натрію — NaHCO_3 .

Одночасно з надходженням вуглекислого газу до еритроцитів і утворенням в них H_2CO_3 відбувається віддача кисню оксигемоглобіном. Утворений при цьому відновлений гемоглобін є менш дисоційованою кислотою, ніж оксигемоглобін (HbO_2) і H_2CO_3 , а тому вуглекислота заміщує в гемоглобіні іони калію і, з'єднуючись з ним, утворює калієву сіль бікарбонату:



Внаслідок переходу CO_2 в альвеоли легень, а кисню з альвеол в кров відбувається зниження напруги CO_2 і зростання напруги кисню в крові капілярів легень. Гемоглобін

перетворюється в оксигемоглобін. Оскільки оксигемоглобін є кислотою, дисоціація якої вища, ніж гемоглобіну і H_2CO_3 , то він утворює H_2CO_3 з її калієвої солі:



Звільнена вуглекислота дегідратує на CO_2 і H_2O . Оскільки в еритроцитах легеневих капілярів зменшується концентрація іонів HCO_3^- , то ці іони з плазми дифундують в еритроцити, а іони Cl^- — з еритроцитів в плазму.

5. Газообмін між кров'ю капілярів і тканинами

Обмін кисню і вуглекислого газу між кров'ю і тканинами зумовлюється різницею парціальних напружень цих газів в тканинах і в крові.

Напруга вуглекислого газу в клітинах досягає 60 мм рт. ст., в тканинній рідині — близько 46 мм рт. ст., а в артеріальних капілярах — 40 мм рт. ст.

Величина *тканинно-капілярного градієнта* (), який забезпечує дифузію вуглекислого газу в кров, становить 6 мм рт. ст. (46 мм рт. ст. — 40 мм рт. ст.). Чинником, що зумовлює дифузію кисню з крові артеріальних капілярів в тканини, є артеріально-тканинний градієнт величиною близько 65 мм рт. ст. (100 мм рт. ст. — 35 мм рт. ст.).

Проходячи по капілярах великого кола кровообігу, кров віддає не весь кисень, а лише 8 об%, що становить 40 % всього кисню, який міститься в крові. Показник споживання кисню з артеріальної крові — *коефіцієнт використання кисню* () — визначається за формулою:

$$\text{КВК} = \frac{O_2 \text{AK} - O_2 \text{BK}}{O_2 \text{AK}} \cdot 100,$$

де $O_2 \text{AK}$ — вміст кисню в артеріальній крові, об%; $O_2 \text{BK}$ — вміст кисню у венозній крові, об%.

В стані спокою при різниці кисню в артеріальній і венозній крові 8 об% (20 об% — 12 об%), КВК становить 40 %, а при напруженій м'язовій роботі використання кисню з артеріальної крові зростає до 60 % і більше (різниця кисню в артеріальній і венозній крові — 16 об% і більше). Таке інтенсивне споживання кисню тканинами досягається завдяки:

- 1 розкриттю нефункціонуючих капілярів працюючих тканин;
- 2 посиленому утворенню кислих продуктів обміну (молочної кислоти і вуглекислоти), які сприяють розпаду оксигемоглобіну і дифузії кисню в тканини;
- 3 зростанню температури в працюючих м'язах;
- 4 активізації ферментативних і енергетичних процесів в клітинах.

Неповне забезпечення тканин киснем називається *гіпоксією*. В залежності від того, які фізіологічні механізми лежать в основі її виникнення, розрізняють чотири основних типи тканинної гіпоксії: *гіпоксична, анемічна, циркуляторна, гістотоксична*.

Гіпоксична гіпоксія виникає в умовах дихання повітрям з зниженим вмістом кисню, що приводить до його зниження в альвеолярному повітрі, а також в артеріальній крові (вміст оксигемоглобіну в крові альпініста на висоті 2 км — 96 %, 3-4 км — 80 %, 5 км — 50 %). Анемічна гіпоксія пов'язана із зниженням вмісту гемоглобіну в крові, циркуляторна — із зменшенням течії крові через тканини. Гістотоксична гіпоксія є наслідком неспроможності тканинних клітин використати весь кисень, що до них надходить.

2.5. Практичні завдання

Матеріальне забезпечення заняття: кодоскоп (діапроектор), кодопозитиви (діапозитиви) або ПК і мультимедійний проектор, схеми, таблиці з фізіології дихання. Спірограф, секундомір, велоергометр, оксигемограф, спирт, вата.

Робота 1

Графічна реєстрація показників зовнішнього дихання і споживання кисню

Завдання. Ознайомитися з принципом роботи спірографа, з методами розрахунку показників зовнішнього дихання і споживання кисню. Опанувати навиком фізіологічного аналізу отриманих показників з метою визначення функціональних резервів системи дихання у школярів.

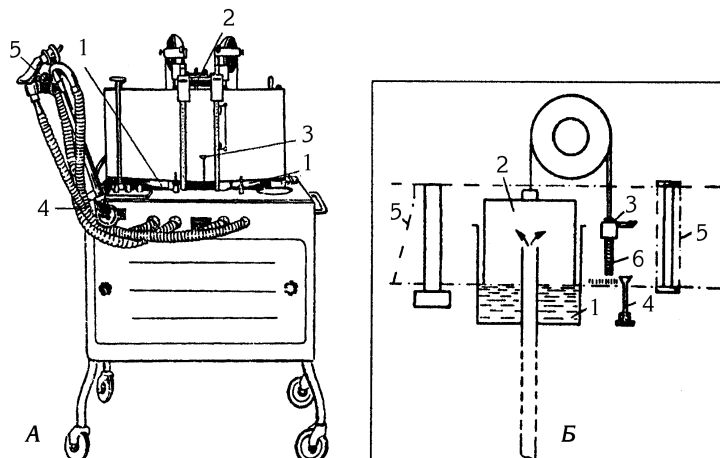


Рис. 5.15

Спірограф: А — зовнішній вигляд приладу: 1 — спірометри; 2 — писчики; 3 — відмітчик часу; 4 — з'єднувальні шланги; 5 — загубник; Б — принципова схема основної частини спірографа: 1 — зовнішній циліндр; 2 — внутрішній циліндр; 3 — чорнильнозаписувальний пристрій; 4 — відмітчик часу; 5 — барабан кімографа; 6 — вага, що зрівноважує внутрішній циліндр

Методика. Спірографію проводять спірографом (метатест 2), який складається з спірометра і реєструючого пристрою (рис. 5.15). Вимірювання дихальних об'ємів здійснюється за допомогою резинових сильфонів вдиху і видиху. В сильфони встановлені загерметизовані з ними клапанні коробки. Рухливі кришки сильфона з'єднані між собою траверсою і разом з нею здійснюють зворотно-поступальні рухи. Траверса несе на собі перо, і воно ж забезпечує колові рухи екрана привода лічильника. Привод лічильника являє собою фотоелектричний устрій, в якому світловий промінь від лампочки, подаючи зміну фотоопору, час від часу перекидає екран. Падаючи на обмотку лічильника електричні імпульси включають його в роботу.

Робота приладу основана на принципі об'ємних вимірювань вдихуваного і видихуваного газів; при цьому вдих здійснюється з одного сильфона, а видих — в інший. Така схема виключає необхідність дезинфекції приладу. Дезинфікувати необхідно лише загубник і трійник.

Досліджуваний під'єднується до спірографа загубником, а щоб повітря не проходило через ніс, на нього накладають носовий зажим. Через штуцер вдиху досліджуваний постійно вдихає свіже повітря, що забезпечує можливість тривалого дослідження дихання. Після того, як досліджуваний привикне до дихання через загубник, тумблери мережі «пацієнт», «запис» переводять в робоче положення. На рухливій кришці сильфонного датчика закріплене чорнильне перо, яке на діаграмній стрічці, що рухається, записує спірограму.

При аналізі спірограми амплітуду вимірюють в мм. Отриману величину множать на 40 (в даному приладі 1 мм руху пера відповідає зміні об'єму дихального мішка приладу на 40 мм). Амплітудні характеристики вимірюють по вертикалі, часові — по горизонталі. Знаючи масштаб спірографа і швидкість руху стрічки, визначають життєву ємність легень (ЖЄЛ) і об'єми, які її складають, частоту дихання (ЧД), хвилинний об'єм дихання (ХОД), максимальну вентиляцію легень. За кривою споживання кисню визначають споживання кисню (V_{O_2}), розраховують коефіцієнт використання кисню (R_{VO_2}).

Спірограму реєструють у такій послідовності:

- 1) протягом 1 хв записують спокійне дихання для визначення ДО (однохвилинне спокійне дихання необхідне і для адаптації досліджуваного до дихання з загубником через спірограф);
- 2) записують 1-2 дихальні цикли при швидкості руху стрічки спірографа 1200 мм/хв;
- 3) досліджуваному пропонують тричі з короткими переривами виконати максимально глибокий вдих і глибокий спокійний видих;
- 4) записують криву форсованої ЖЄЛ. Для цього досліджуваний робить максимально глибокий вдих, затримує дихання на 1–2 с (для перемикання стрічкопротяжного механізму з швидкістю 50 на 1200 мм/хв) і швидко та глибоко видихає;
- 5) досліджуваний дихає максимально глибоко і часто протягом 15 с. Спірограму записують при частоті 50 мм/хв;
- 6) записують спірограму дихання в стані спокою протягом 1 хв. Олівцем на діаграмній стрічці роблять відмітки початку і кінця однохвилинного інтервалу.

Розицифровка спірограми. ЧД визначають за кількістю зубців спірограми протягом однієї хвилини. ДО вимірюють за амплітудою спірограми від рівня спокійного видиху. Резервний об'єм вдиху (РОВд) вимірюють за амплітудою спірограми від рівня максимального вдиху. Резервний об'єм видиху (РОВид) визначають, вимірюючи амплітуду спірограми від рівня спокійного видиху.

Визначення ЖЄЛ. На спірограмі визначають віддаль від вершини зубця максимального вдиху до вершини зубця максимального видиху в міліметрах і відповідно до шкали спірографа виконують перерахунок в мілілітри.

Визначення хвилинного об'єму дихання (ХОД). ХОД визначають за спірограмою, сумуючи об'єм дихальних рухів за одну хвилину спокійного дихання, або за даними лічильника — як відношення об'єму повітря в літрах до часу реєстрації спірограми.

Максимальну вентиляцію легень (МВЛ) розраховують за даними окремого відрізка спірограми в період часу, коли досліджуваний дихав максимально глибоко і максимально часто протягом 15 с. Належну МВЛ розраховують за формулами:

$$\text{для чоловіків} = \dots \cdot 25;$$

$$\text{для жінок} = \dots \cdot 36.$$

Визначення хвилинного споживання кисню (). ХСК — кількість кисню, що поглинається організмом людини з атмосферного повітря за 1 хвилину. Споживання кисню розраховують за величиною відхилення спірограми від вихідного рівня за 1 хв. В міру використання кисню з дихального мішка спірографа спірограма відхилюється вгору. Це обумовлено відсутністю компенсації об'єму повітря в ємності спірографа. Оскільки видихуваний вуглекислий газ зв'язується хімічним поглиначем, ХСК (в мл) визначають множенням отриманої величини відхилення запису спірограми (в мл) на 40.

Кисневий еквівалент () — відношення ХСК до ЧСС, його величину розраховують за формулою:

$$KE = \frac{ХСК, \text{ мл}}{ЧСС, \text{ ск/хв}} \cdot$$

В нормі ХСК становить 250 мл, KE — 4–7.

Отримані за допомогою спірографа основні показники зовнішнього дихання обстежених осіб заносять в протокольну таблицю, аналізують і роблять висновки про їх відповідність нормативним величинам.

Основні показники зовнішнього дихання, отримані за допомогою спірографії

Показники спірографії	Нормативні величини показників дихання в стані спокою	Експериментальні дані
ЧД, за 1 хв	14–18	
ДО, мл	400–800	
РОВд, мл	1200–1600	
РОВид, мл	800–1200	
ЖЄЛ, мл	3500–5500	
ХОД, мл	5000–8000	
МВЛ, л/хв	70–150	
СПО ₂ , мл	200–300	
КВО ₂ , мл	35–45	

Робота 2

Визначення максимального споживання кисню

Завдання. Оволодіти методикою спірометричного визначення максимального споживання кисню (МСК). Визначити величину МСК у спортсменів різної спеціалізації і кваліфікації. Дати оцінку отриманим результатам.

Методика. Для тестування МСК підходять лише глобальні фізичні вправи тривалістю не менше 5–6 хв, при виконанні яких включаються в роботу не менше 2/3 усієї м'язової маси тіла обстежуваного. Так, величина МСК, що визначається за допомогою велоергометра, дещо нижча, ніж при тестуванні за допомогою третбана; при виконанні велоергометричної роботи руками отриманий показник МСК буде значно нижчий, ніж при педалюванні ногами.

Взявши в рот загубник спірографа, досліджуваній виконує педалювання на велоергометрі (потужність навантаження для жінок: 25 Вт, тоді 50, 75, 100 Вт; для чоловіків — спочатку 50 Вт, тоді 100, 150 Вт). Тривалість кожної сходинки навантаження — 1 хв. Період, коли збільшення рівня відхилення спірограми від горизонталі припиняється, свідчить про досягнення рівня максимального споживання кисню. Аналіз спірограми і розрахунки споживання кисню проводять за методикою, описаною в попередній роботі.

Пряме визначення МСК можна провести і без спірографа, за допомогою газового лічильника. Під час роботи тривалістю 5 хв реєструють легеневу вентиляцію, а після роботи (досягнувши надкритичної потужності навантаження), визначають вміст кисню в атмосферному і видихуваному (в мішок Дугласа) повітрі. Різниця кисню обстежуваних газових сумішей і становитиме величину МСК.

Для орієнтованого передбачення критичної для даного обстежуваного потужності навантаження попередньо визначають величину фізичної працездатності за тестом ФП170. Виходячи з міркувань, що показник потужності м'язової роботи за тестом ФП170 становить приблизно 75 % від критичної, визначають величину супермаксимального навантаження. Для цього до «передбаченої» величини критичної потужності додається ще 300–400 кгм/хв.

При тестуванні МСК особливу увагу обстежуваного звертають на необхідність вольового підвищення потужності роботи. В протилежному випадку (при недостатній мотивації до діяльності) отриманий результат МСК буде знижений. Слід також пам'ятати, що досягнення рівня критичної потужності навантаження пов'язане з певним ризиком для здоров'я (особливо для людей середнього і старшого віку), а тому при прямому тестуванні МСК необхідна присутність медичного працівника.

Робота 3

Визначення кисневої вартості дихання

Завдання. Оволодіти методиками спірографічного визначення кисневої вартості дихання ().

Методика. КВД — це кількість кисню, яка споживається дихальними м'язами при проходженні через легені 1 л повітря. Одиниця виміру КВД — мл кисню на 1 л легеневої вентиляції.

Суть методу дослідження КВД полягає у визначенні споживання кисню при двох рівнях вентиляції. Обстежуваному рекомендується спокійно дихати протягом 1 хв — перший рівень вентиляції. Після цього виконується максимально часте і глибоке дихання протягом 1 хв — другий рівень вентиляції.

Визначають споживання кисню і об'єм вентилязованого повітря при двох різних рівнях вентиляції. КВД розраховують за формулою:

$$КВД = \frac{СПК_2 - СПК_1}{ХОД_2 - ХОД_1},$$

де: $СПК_2 - СПК_1$ — різниця споживання кисню при двох різних рівнях вентиляції; $ХОД_2 - ХОД_1$ — різниця об'ємів повітря легеневої вентиляції при двох різних рівнях вентиляції.

Робота 4

Вивчення насичення крові киснем методом оксигеметрії

Завдання. Оволодіти методикою роботи з оксигемографом. Користуючись даним методом, визначити величини насичення крові киснем в умовах затримки дихання і виконання обстежуваним фізичних навантажень.

Методика. Оксигемограф складається з фотодатчика і реєструючого приладу (рис. 5.16). Датчик накладається на верхню частину вухної раковини так, щоб охоплював її з двох сторін — з одного боку джерело світла (маленька лампа накаливання), з другого — блок з фотоелементом. Забезпечуючи нагрівання вухної раковини, лампа сприяє розширенню кровеносних судин і збільшенню швидкості кровообігу. При цьому кров, що проходить через підігріту ділянку вухної раковини, стає практично повністю артеріальною. Чим більше кров насичена киснем, тим більше вона пропускає світла. У відповідності з даною закономірністю змінюється потік світлових променів.

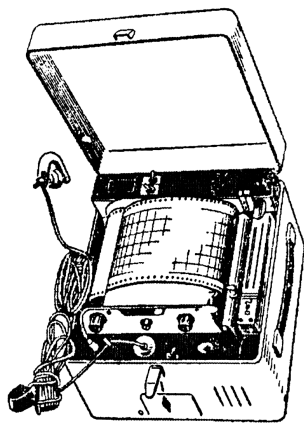


Рис. 5.16
Оксигемограф-036М

1. Увімкнути оксигемограф. Через 10 хв закріпити датчик приладу на вухній раковині, прогріти протягом 5 хв. Ручкою «установка вихідного насичення» встановити перо приладу на величину 96–97 % (нормативна величина насичення крові киснем у здорових людей у спокої). Увімкнути стрічкопротяжний механізм і записати оксигемограму протягом 1 хвилини. Тоді обстежуваний робить глибокий вдих і максимально довго затримує дихання (тест Штанге).

Відмітити на оксигемографі початок затримання дихання (точка А), початок зміни запису (точка Б), кінець затримки дихання (перший вдих після затримки — точка В), момент максимального зниження насичення крові киснем, що відповідає початку відновлення оксигемограми (точка Г), та момент повернення оксигемограми до початкового рівня (точка Д).

При аналізі отриманої оксигемограми визначають такі показники: **АБ**, **АВ**, **ВГ**, **ГД**. **АБ** — тимчасовий резерв кисню. Він вимірюється від початку затримки дихання до початку зміни запису (час, протягом якого в період затримки дихання у вушній раковині обстежуваного ще не спостерігається гіпоксія); **АВ** — час затримки дихання; **ВГ** — час кровообігу (швидкість руху крові) на відрізку «легені-вухо». Оскільки основний опір крові характерний для капілярів легень (і в меншій мірі для судин ший та голови), то різниця у величині опору руху крові відображає стан судин легень.

Відрізок **ГД** оксигемограми свідчить про час відновлення. За цей період рівень оксигемоглобіна після затримки дихання повертається до початкової величини.

2. . Записати оксигемограму у 3–4 студентів в стані спокою (сидячи), під час виконання однохвилинного велоергометричного навантаження (150 Вт, частота педалювання 60 об/хв) і у відновному періоді. Встановити зміни оксигемограми. Вказати на індивідуальні особливості оксигемограм, встановити їх залежність від рівня фізичної підготовленості обстежуваних. У висновках пояснити причину зміни насичення крові киснем при затримці дихання, відмітити значимість оксигеометрії для медичної і спортивної практики.

2.6. Ситуаційні запитання і задачі

1. Назвіть складові компоненти енерговитрат роботи дихання. Яка середня величина споживання кисню дихальними м'язами в стані спокою і при виконанні інтенсивної м'язової роботи.
2. Визначте тривалість дихального циклу і легеневої вентиляції у досліджуваного учня, який дихає з частотою 10 дихальних циклів за 1 хв. Глибина дихання — 500 мл.
3. За допомогою спірографа у юного спортсмена визначили максимальну довільну частоту (80 дихальних актів за 1 хв) і глибину (4 л) дихання. Розрахуйте максимальну вентиляцію легень (МВЛ) даного досліджуваного. Належна життєва ємність легень юнака становила 6 л. Користуючись формулою ($\text{НМВЛ} = \text{НЖЄЛ} \cdot 25$), розрахуйте належну МВЛ.
4. Розрахуйте величину коефіцієнта споживання кисню у досліджуваного школяра, який виконує роботу зі споживанням кисню 4 л/хв. Частота дихання юнака — 50 дихальних циклів за 1 хв; глибина — 2 л.
5. Частота дихання (ЧД) учня в стані спокою становить 10 дих. циклів за 1 хв, глибина дихання (ГД) — 500 мл. Розрахуйте величину ефективного дихального об'єму (ЕДО), альвеолярної і легеневої вентиляції.

6. Розрахуйте коефіцієнт вентиляції легень (КВЛ) 17-річного учня. Відомі такі обсяги легеневого повітря досліджуваного: дихальний обсяг (ДО) — 500 мл, резервний обсяг видиху (РОВид) — 1000 мл; залишковий обсяг повітря (ЗОП) — 1200 мл.
7. Вміст кисню в атмосферному повітрі — 21 %, вуглекислого газу 0,03 %. Розрахуйте парціальний тиск кисню і вуглекислого газу даного повітря.
8. Розрахуйте величину альвеоло-венозного градієнта (АВГ) кисню у школяра в стані спокою і при виконанні фізичних навантажень. Парціальна напруга кисню в венозній крові обстежуваного в стані спокою — 40 мм рт. ст., парціальний тиск кисню в альвеолах — 100 і 130 мм рт. ст. відповідно в стані спокою і при роботі.
9. Визначте дифузійну спроможність легень (ДСЛ) учня 10-го класу за киснем. Об'єм кисню, дифундуючого через легеневу мембрану, становить 250 мл/хв, альвеоло-венозний градієнт — 60 мм рт. ст.
10. Розрахуйте величину альвеоло-артеріального градієнта (ААГ) для кисню у юного спортсмена в стані спокою і при виконанні фізичної роботи. Відомо, що парціальний тиск кисню в альвеолах спортсмена в стані спокою становить 100 мм рт. ст., а при фізичних навантаженнях 130 мм рт. ст.; в артеріальній крові — відповідно 90 і 100 мм рт. ст.
11. В стані спокою в крові досліджуваного учня міститься 15 г % гемоглобіну, при фізичній роботі — 16 г %. Розрахуйте кисневу ємність крові досліджуваного за цих умов.
12. Розрахуйте величину тканинно-капілярного градієнта (ТКГ) для вуглекислого газу і артеріально-тканинного градієнта (АТГ) для кисню, якщо парціальна напруга вуглекислого газу в тканинній рідині досліджуваного учня — 46 мм рт. ст., а в артеріальних капілярах — 40 мм рт. ст.; парціальна напруга кисню в тканинній рідині і артеріальній крові відповідно — 35 і 100 мм рт. ст.
13. Визначте величину споживання кисню з артеріальної крові учня в стані спокою. Відомо, що вміст гемоглобіну в крові спортсмена — 15 г%, а вміст кисню в венозній крові — 12 об%.
14. Розрахуйте величину споживання кисню з артеріальної крові юного спортсмена, який виконує інтенсивну м'язову роботу. Вміст гемоглобіну в крові досліджуваного — 16 г%, вміст кисню в венозній крові — 7,0 об%.

2.7. Тести

1. *Різниця між максимальною довільною і максимальною мимовільною вентиляцією легень називається:*
 - а) життєвою ємністю легень;
 - б) життєвим показником;
 - в) легневим резервом;
 - г) функціональною ємністю легень.
2. *Кількість кисню, яка споживається дихальними м'язами при проходженні через легені 1 л повітря виражає показник:*
 - а) кисневої «вартості» дихання;
 - б) максимальної вентиляції легень;
 - в) максимального споживання кисню (МСК);
 - г) легеневого резерву.

Таблиця 5.4

Основні фізіологічні показники дихання у юних спортсменів і нена тренованих осіб в стані спокою та при максимальних фізичних навантаженнях

Фізіологічні показники	Ненатреновані особи		Високо натреновані юнаки	
	Стан спокою	При максимальному навантаженні	Стан спокою	При максимальному навантаженні
Частота дихання за 1 хв	13–16	50–60	10–12	70–100
Дихальний об'єм, мл	500–700	1000–1300	300–500	1500–2000
Хвилинний об'єм дихання, л/хв	6–11	50–80	3–9	130–200
Споживання кисню, л/хв	0,3	2,5–3,5	0,2	6,0–7,0
Кисневий борг, л	–	10–15	–	20–25

Отримана при цьому енергія окислення використовується не лише м'язами, які безпосередньо беруть участь у даній роботі, а і м'язами, що забезпечують високу легеневу вентиляцію та кровообіг.

Систематичне виконання людиною фізичної роботи сприяє суттєвому зростанню об'єму функціональних резервів дихальної системи. Об'єктивну оцінку цих резервів можна здійснити, визначивши показники роботи легень в стані спокою і при виконанні максимальних навантажень (табл. 5.4).

В стані спокою у натренованих осіб вентиляція легень менша, ніж у нена тренованих.

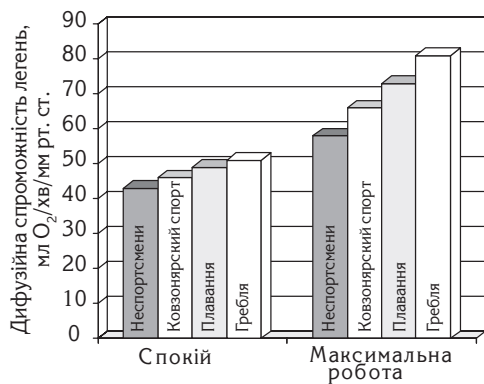


Рис. 5.17

Дифузійна спроможність легень щодо O₂ у неспортсменів і спортсменів різної спеціалізації в стані спокою і при виконанні максимальної аеробної роботи

Це зумовлено зменшенням частоти дихання при відсутності змін або при незначному зростанні дихального об'єму, що значно економізує дихальний акт. Розвиток дихальних м'язів і збільшення рухливості діафрагми у фізично натренованих юнаків (особливо тих, що спеціалізуються з плавання, греблі, бігу) сприяє збільшенню ЖЄЛ. Характерно, що показники ЖЄЛ, глибини дихання і ХОД зростають лише на перших етапах тренувань. Саме тому ці показники не можуть бути об'єктивними критеріями непрямой оцінки натренованості спортсмена. У натренованих осіб більш висока дифузійна спроможність легень (рис. 5.17), вищий коефіцієнт використання кисню з вдихуваного повітря, більший життєвий показник, дихання більш узгоджене з руховою активністю, ніж у нена тренованих.

Кількість кисню, яка необхідна для окислювальних процесів, спрямованих на енергозабезпечення даної роботи, називається *загальним кисневим запитом*. Та кількість кисню, що необхідна організму для виконання конкретної роботи протягом 1 хв, називається *хвилинним кисневим запитом* (). Найбільші величини ХКЗ при виконанні роботи в зоні максимальної потужності — 50 л/хв і більше.

Для визначення загального кисневого запиту до величини споживання кисню під час роботи додають показник споживання кисню у відновному періоді, від отриманої суми віднімають кількість кисню, який йде на підтримання життєдіяльності організму за період роботи і відновлення (споживання кисню в стані спокою).

2. Чинники, що лімітують працездатність системи дихання

При аналізі цих чинників виділяють обмеження, пов'язані з механікою дихання і його енерговартістю, а також з втомою дихальних м'язів і легенеvim газообміном.

Обмежувальними чинниками швидкості вдиху є опір руху повітря в дихальних шляхах і швидкісно-силові характеристики дихальних м'язів. У людини з масою тіла 70 кг дихальні м'язи складають близько 4 кг. При виконанні інтенсивних навантажень дихальними м'язами споживається близько 35 % кисню від МСК (В. В. Михайлов, 1983).

При напруженій роботі може виникати такий рівень вентиляції, за межами якого будь-яке збільшення в споживанні кисню буде повністю визначатися його витратами на роботу дихальних м'язів (А. Отис, 1956). Цей так званий критичний рівень вентиляції знаходиться в межах 120–170 л/хв. Він залежить від індивідуальних особливостей спортсменів, виду спорту, робочої пози тощо.

Дихальні м'язи лімітують працездатність, зокрема витривалість, переважно при високих рівнях інтенсивності фізичного навантаження. Підтвердженням цьому є той факт, що легенева вентиляція більше 60 % МВЛ може підтримуватись лише певний період часу (В. С. Міщенко, 1990). Оскільки легенева вентиляція (ХОД) при спортивних навантаженнях складає 50–60 % МВЛ і більше, то дихальна система, як і інші системи, є чинником лімітування працездатності.

Після важких фізичних навантажень спостерігається зниження ЖЄЛ, сили інспіраторних і експіраторних дихальних м'язів. Дихальні м'язи характеризуються низькою анаеробною стійкістю, в них обмежені запаси глікогену, а наявні в більшості червоні м'язові волокна при інтенсивній легенеvій вентиляції втомлюються раніше, ніж білі. Менш витривалісними до інтенсивних фізичних навантажень виявились і м'язи діафрагми. Так, якщо суттєве утворення лактату в скелетних м'язах починається при зниженні парціальної напруги кисню в них нижче 12 мм рт. ст., то в м'язах діафрагми утворення лактату розпочинається вже при зниженні парціальної напруги кисню нижче 20 мм рт. ст. В оптимізації функції діафрагми значну роль відіграють м'язи тулуба і живота. Вже незначне полегшення роботи дихальних м'язів (наприклад, дихання повітрям, в якому азот замінений гелієм, що зменшує щільність вдихуваного повітря) значно знижує роботу дихання

і збільшує легеневу вентиляцію. Збільшення об'єму вдиху приводить до більш швидкої втоми дихальних м'язів. Це зумовлено тим, що дихальні м'язи за своєю структурою значно коротші від інших м'язів і їх значне розтягнення механічно не вигідне.

3. Максимальне споживання кисню (МСК)

МСК — це та найбільша кількість кисню, яку певна людина може отримати за одиницю часу при виконанні максимально напруженої роботи. Показник величини МСК широко використовується в спортивній практиці для характеристики досконалості механізмів аеробного енергозабезпечення і загальної фізичної працездатності спортсменів, особливо витривалісних видів спорту. Так, у висококваліфікованих бігунів на довгі дистанції і лижників МСК досягає 6–7 л/хв, МСК у осіб які не займаються спортом — 2–3 л/хв.

МСК може підтримуватись до 10 хв і більше. При споживанні кисню близько 90 % МСК натренований спортсмен може працювати 20–30 хв, навантаження інтенсивністю 70 % МСК можуть підтримуватись людиною 4–5 год, 40 % МСК — 8 год. Висококваліфіковані спортсмени — марафонці можуть підтримувати споживання кисню на рівні 80 % їх МСК більше 2 год.

На основі власних досліджень і аналізу літературних даних В. С. Міщенко (1990) виділяє такі основні чинники, що лімітують досягнення високих величин МСК:

- 1) зовнішнє дихання (показники ХОД, АВ/ХОК, дифузійна спроможність альвеол, швидкість утворення оксигемоглобіну тощо);
- 2) центральна циркуляція і транспортування кров'ю (загальний гемоглобін крові, ХОК, загальний периферійний опір);
- 3) периферійна циркуляція, компенсаторний перерозподіл кровообігу, щільність м'язових капілярів, дифузійна спроможність капілярів тощо;
- 4) метаболізм (швидкість транспортування енергосубстратів для окислення, розміри і кількість м'язових волокон, наявність енергоресурсів; міоглобіну, мітохондрій, окислювальних ферментів);
- 5) динамічна ефективність працюючих м'язів.

При високих вихідних даних МСК (більше 3,5 л/хв) його зростання відбувається повністю за рахунок збільшення систолічного об'єму крові. Збільшення МСК у кваліфікованих спортсменів, які тривалий час займаються спортом, на 32 % зумовлене збільшенням ХОК при незначному (на 8 %) збільшенні артеріально-венозної різниці за киснем. При цьому збільшується величина максимального кровообігу в ногах (за рахунок збільшення щільності капілярів і об'єму крові в м'язах), значно зростає активність окислювальних ферментів. Трьохтижнева перерва в тренуваннях призводить до зниження МСК за рахунок зниження систолічного об'єму крові (В. С. Міщенко, 1984, 1990).

Лімітування МСК передусім пов'язане з можливостями центральної і периферійної гемоциркуляції. У високонатренованих спортсменів ХОК і споживання кисню досягає максимуму одночасно. Пряма залежність між МСК і максимальним ХОК у

спортменів зберігається лише при високих величинах ХОК (32–42 л/хв), величина СОК при цьому досягає 190–210 мл, а артеріально-венозна різниця за киснем — 16,2–17,6 мл/л (В. С. Міщенко, 1990).

Причиною швидкого зниження споживання кисню і ХОК, в умовах мимовільної відмови від подальшого виконання важкої роботи, є зниження СОК при наростаючому збільшенні ЧСС і погіршенні умов діастолічного наповнення шлуночків кров'ю. Найбільший тренувальний ефект щодо зростання потужності системи центральної циркуляції спостерігається при виконанні навантажень граничної інтенсивності тривалістю близько 7 хв; інші навантаження, при яких хоч і досягається МСК, дають менший ефект щодо вдосконалення продуктивності роботи серця (В. С. Міщенко, 1990).

Одним із найважливіших механізмів підвищення використання кисню артеріальної крові в працюючих м'язах є активізація периферійного кровообігу за рахунок збільшення середнього часу проходження крові через капіляри. При виконанні максимально напруженої роботи лише близько третини капілярів працюючих м'язів розширені, інші знаходяться під вазоконстрикторним впливом нервової системи, що є необхідною передумовою здатності серця підтримувати необхідну (належну) величину кров'яного тиску в системі кровообігу.

Обмежувальна роль центральної гемодинаміки чітко проявляється при виконанні фізичної роботи в горах. Так, на висоті близько 7,5 км над рівнем моря ЧСС знижується з 192 ск/хв (при виконанні аналогічної роботи на рівні моря) до 136 ск/хв. При зниженні парціального тиску у вдихуваному повітрі, внаслідок зниження атмосферного тиску (до 464 мм рт. ст.), МСК у чоловіків знижується до 70 % від нормативних величин.

МСК залежить від загального вмісту гемоглобіну в крові. Значне збільшення концентрації гемоглобіну в крові спортсменів після інтенсивних навантажень на довгі дистанції може бути наслідком втрати значної кількості води. Збільшення вмісту гемоглобіну в цих умовах має відносний характер і не викликає збільшення МСК (Я. М. Коц, М. М. Щерба, Я. С. Колкер, 1979).

Важливим чинником лімітування МСК є швидкість переміщення кисню в крові до працюючих м'язів. Підтримання ефективного кровообігу в працюючих м'язах пов'язане з підвищенням пластичності еритроцитів, їх здатністю деформуватись (зменшення в'язкості крові при незмінному гематокриті). При гематокриті 40 досягається оптимум транспортування кисню. При збільшенні гематокриту за межі вказаної величини умови взаємодії еритроцитів з стінками капілярів погіршуються (В. С. Міщенко, 1990).

Оскільки усі ланки киснезабезпечувальних систем не мають тісного взаємозв'язку, виділити який-небудь один чинник лімітування МСК практично неможливо. Проте в кожному конкретному випадку можна виділити головний чинник лімітування МСК. Загальноприйнятим сьогодні є положення про те, що головними чинниками збільшення МСК в процесі направлених тренувань є посилення максимального кровообігу і збільшення щільності капілярів у м'язах.

1 kgm xlv a • h e h j _ q z g ; a s f b f h ` m l a Z [_ a i _ q b t e v r _ g j z y p _ a ^ Z l h k l •
k i h j l k f _ g p \ a a [• e v r _ f g k y D < < F b o Z c e t 1983, F. 1 < h e d 1986, < K F •
s _ g d 1984). L Z d j b \ l h f • g d h e g k i h k l _ j •] Z p l o k y _ g f g k y D a g b ` m } l e t k y _
g Z i j m ` _ g z y \ Z g l Z ` , i g l y d h f t h k y] Z } l f v k D P _ o j b d e Z ^ ^ l \ _ j ^ ` k r f
g h k g m a Z e _ ` g j z p v a ^ Z l g h k l D ; • e v r l h] , h \ i j h p _ k i h j l b \ g h j] h g m
\ Z g g y] m g \ e h k b i _ ^ , b j k l f p q \ Z k k i h k l _ j •] Z p l o k y r _ g j z y p _ a ^ Z l g h k l •
[_ a a [• e v r _ f g k y D Z \ j y ^ i b i Z ^ d f k D g Z \ • l v g b ` m } l (v k k F • s _ g , d 1990).
< k i h j l g _ j • ^ d o i Z ^ , d d h e b h d Z a g a z p Z e v i g z p e _ a ^ Z l g h k l j o b \ Z e f k l e b
[• e v r b f r k i h j l k f _ , g y d f Z e b h k _ j _ ^ g e b q b f g k D < k _ p _ k \ • ^ q b i j h \ Z ^
e b \ • k l v h k d h g Z e g g g y _ o Z g • z f • Z i l Z p h e a b q g z d Z g l Z , ` h g j y f b , o
y d a Z [_ a i _ q t o k l h v d _ e b q b f g k D
L Z d b q b g h f _ e b q b f g k D a Z e _ ` b i v • y e v g l h k a g h f Z g • h g b o h e h] • q g b
k b k l , _ Z l h f m F p k D h p & € a Z 0 " k ! • y Ö 7 Y ' † D • & @ ' & % à

3.5. Практичні завдання

Матеріальне забезпечення: кодоскоп (діапроектор), кодопозитиви (діапозитиви) або ПК і мультимедійний проектор, схеми, таблиці з фізіології дихання, спірометр, секундомір, спирт, вата.

Робота 1

Визначення порушень функціонального стану дихальної системи п'ятиразовим вимірюванням ЖЄЛ

Завдання. Користуючись тестом Розенталя, визначити функціональний стан дихальної системи, стан дихальних м'язів, тонус дихального центру. Дати оцінку отриманим результатам.

Методика. Досліджуваному пропонується п'ятиразове спірометричне визначення ЖЄЛ з 15 секундними інтервалами відпочинку. У здорових людей отримані показники ЖЄЛ суттєво не відрізняються один від одного або ж спостерігається незначне збільшення кожного наступного показника.

Зниження результатів повторних вимірювань в тесті Розенталя свідчить про погіршення функціонального стану кардіореспіраторної системи, про залишкову втому дихальних м'язів спортсмена і часто спостерігається при перевтомі, перенапруженні, перенапруженні.

Робота 2

Тести з затримкою дихання

Завдання. Оволодіти методами постановки тестів з затримкою дихання (тест Штанге, Генчі). За допомогою вказаних тестів оцінити функціональний стан дихальної системи студентів підгрупи.

Методика. Тести з затримкою дихання використовуються в спортивно-медичній практиці переважно для оцінки функціонального стану дихальної і серцево-судинної системи, а також для аналізу психологічної стійкості спортсмена (вольової підготовленості).

Тривалість затримки дихання досить індивідуальна, вона залежить від вольових здібностей спортсмена (вольовий компонент затримки дихання) і, звичайно, економічності споживання кисню клітинами організму.

Вольовий компонент затримки дихання визначають за першим скороченням діафрагми (коливання черевної стінки). Слід пам'ятати, що повторні затримки дихання будуть більш результативні, ніж перші.

Тест Штанге (затримання дихання на вдиху, апноє). Досліджуваний в положенні сидячи робить глибокий вдих, затискає спеціальним затискачем (або пальцями) ніздрі і якнайдовше затримує дихання. Секундоміром вимірюють час від моменту затримки дихання до її припинення. Протягом всього часу затримки дихання вимірюють ЧСС. Після

Таблиця 5.5

Оцінка тесту Серкіна

Контингент обстежуваних	Фази тесту, с		
	перша	друга	третя
1. Здорові натреновані особи	60 і більше	30 і більше	більше 60
2. Здорові ненатреновані особи	40–55	15–25	35–55
3. Особи з прихованою недостатністю кровообігу	25–35	12 і менше	24 і менше

виконання тесту розраховують пульсовий індекс затримки дихання — відношення ЧСС за 1 хв до тривалості апное (с). Чим менша величина пульсового індексу, тим більша стійкість організму до кисневого голодування.

Оцінка тесту Штанге: менше 39 с — незадовільно; 40–49 с — задовільно, більше 50 с — добре. У здорових дітей 7–11 років тривалість затримки дихання на вдиху в середньому складає 30–35 с, у підлітків 12–15 років — 40–45 с, у юнаків та дівчат — 45–50 с (В. С. Язловецький, 1997). При втомі, перенапруженні, захворюванні органів кровообігу та дихання, при анемії тривалість затримки дихання зменшується, що обумовлено підвищенням збудливості дихального центру, зміною інтенсивності процесів обміну в тканинах.

Тест Генчі (затримання дихання на видиху). При проведенні цього тесту досліджуваному пропонується після видиху затримати дихання якомога довше. Апное на видиху оцінюється так: менше 34 с — незадовільно, 35–39 с — задовільно, більше 40 с — добре.

Відношення величини тесту Генчі до частоти пульсу (кількість скорочень серця за весь період затримки дихання) є важливим показником анаеробної стійкості організму. Чим більша величина отриманого показника, тим стійкіший організм до кисневої недостатності.

Тест Серкіна. Це комбінований тест з затриманням дихання і 20 присіданнями за 30 с. Спочатку визначається час затримання дихання на вдиху в положенні сидячи. Тоді обстежуваний робить 20 присідань за 30 с і повторює затримання дихання. Втретє величину затримання дихання визначають після однохвилинного відпочинку обстежуваного. Оцінку тесту проводять за даними табл. 5.5.

Робота 3

Непрямі методи визначення максимального споживання кисню

Завдання. Оволодіти основними непрямими методами визначення максимального споживання кисню (МСК). Визначити величини МСК у спортсменів різної спеціалізації і кваліфікації, а також у школярів з врахуванням їх віку і фізичного розвитку. Дати оцінку отриманим даним.

Методика. Методи непрямого визначення МСК базуються на наявності лінійної залежності між ЧСС, споживанням кисню, з одного боку, і потужністю циклічної роботи субмаксимальної інтенсивності, з іншого.

Широкого використання в спортивній практиці знайшли методи непрямого визначення МСК при виконанні субмаксимальних навантажень (за допомогою номограм І. Астранда, за даними ФП170, за показниками розвитку рухових здібностей тощо). Отримані при такому тестуванні фізіологічні показники використовуються для визначення загальної витривалості і фізичної підготовленості обстежуваних.

Найбільш точними з непрямих методів визначення МСК є максимальні тести з використанням велоергометра, степергометра, третбана. Визначену за допомогою даних тестів величину максимально допустимого рівня фізичної активності () в кгм/хв переводять у величину МСК (на виконання протягом 1 хв 1 кгм глобальної роботи витрачається в середньому 1,78 мл кисню).

Оптимальна тривалість одного тестування 10–16 хв, тривалість окремого ступеня навантаження — 2 хв. Тестування слід припинити при наявності фізіологічних ознак декомпресії (неможливості продовження роботи) — перевищенні систолічного тиску 240 мм рт. ст., а дістолічного 125 мм рт. ст., вираженому зниженні тиску, зростаючих болях в грудях, виразній задишці, аноксії (блідість або синюшність обличчя), запамороченні, відсутності реакції на подразнення тощо.

1. . Обстежуваним повністю виконуються вимоги проведення стандартних тестів (відпочинок, розминальне навантаження, другий відпочинок). Щоб велоергометричні навантаження можна було співставляти з навантаженням степ-третбану і ергометричного степ-тесту, величину початкового навантаження і її збільшення розраховують, виходячи з величини маси тіла: 1 Вт початкового навантаження повинен відповідати 1 кг маси тіла обстежуваного, а кожне збільшення навантаження повинно складати 1/3 від маси тіла. Частота педалювання велоергометра — 60 об/хв.

Для осіб з ослабленим здоров'ям величина початкового навантаження повинна становити 25 Вт (150 кгм/хв). Через кожні 2 хв роботи навантаження збільшують на 12,5 Вт. Для спортсменів високої кваліфікації (з метою скорочення тривалості експерименту) перші навантаження збільшують не через дві, а через одну хвилину.

Киснева вартість м'язової роботи будь-якої заданої інтенсивності (кгм за 1 хв) визначається за формулою:

$$МСК = МПН \cdot 1,78 + 1,5 \text{ Мет},$$

де: МСК — кисневий запит, або максимальне споживання кисню, л/хв; МПН — максимальна потужність велоергометричного навантаження, кгм/хв; 1,78 — величина кисню (в мл), яка необхідна для виконання 1 кгм роботи; Мет — величина споживання кисню досліджуванним, який працює на велоергометрі без навантаження — приблизно 375 мл за хвилину (5,3 мл/кг за 1 хв).

2. - . Обстежуваний крокує вгору і вниз по сходинці ергометра з частотою 33 сходження за 1 хв. Витрати енергії на цю роботу становлять приблизно 3 Мета. Через кожні дві хвилини сходження висоту ергометра збільшують на 4 см (початкова висота сходження — 40 см). Повний цикл сходження на сходинку і з сходинки вниз

виконується на 4 рахунки: на перші два рахунки досліджуваній піднімається на сходинку і стає на дві ноги, на наступні два рахунки — сходиться на долівку. Для попередження локальної м'язової втоми сходження слід розпочинати поперемінно — то з правої, то з лівої ноги.

Кисневу вартість степ-тестового навантаження ($KЗ$, мл/кг за 1 хв) при частоті сходження 33 за 1 хв розраховують за формулою:

$$KЗ = 33 \cdot BC \cdot 1,33 \cdot 1,78 + 10,5,$$

де: 33 — частота крокування (кількість сходжень за 1 хв); BC — висота сходження в метрах; 1,33 — робота, що виконується при сходженні вниз; 10,5 — додатковий запит кисню, необхідний для виконання горизонтальних рухів (вперед — назад) при тестуванні; 1,78 — кількість кисню (в мл), необхідна для виконання 1 кгм роботи.

3.

Даний непрямий метод визначення МСК запропонований І. Астрандом і І. Рімінгом в 1954 р. Досліджуваному пропонують виконати навантаження на велоергометрі. Тривалість навантаження — до стійкого стану енергообміну, який визначається за стабілізацією ЧСС (приблизно 6 хв).

Величина навантаження (75 % від МСК) визначається з врахуванням віку, статі, зросту і маси тіла досліджуваного за табл. 5.6.

Таблиця 5.6

Величина субмаксимальних велоергометричних навантажень (Вт) для осіб різної статі, зросту, маси тіла (за Р. Шефардом, 1971)

Маса тіла, кг	Вік, років							
	Чоловіки				Жінки			
	20–29 (161)	30–39 (156)	40–49 (152)	50–59 (145)	20–29 (167)	30–39 (160)	40–49 (154)	50–59 (145)
40					78	77	63	50
45					88	87	73	58
50	113	103	92	72	100	95	82	62
55	125	117	103	80	110	105	90	68
60	137	127	112	90	123	120	103	77
65	147	137	122	97	130	128	112	83
70	158	150	130	105	148	140	122	92
75	172	160	142	113	155	150	130	100
80	195	173	153	122	165	160	138	106
85	207	183	160	130	175	172	150	113
90	217	193	172	138	183	168	158	120
95	227	207	182	147				
100	242	220	192	155				

Примітка: в дужках вказана максимальна для даного віку ЧСС (ск за 1 хв) при навантаженні

Зіставляючи потужність навантаження з ЧСС за допомогою табл. 5.7, визначають величину МСК, множать її на віковий чинник (табл. 5.8) і оцінюють отриманий показник МСК, користуючись даними табл. 5.9. В табл. 5.9 наведені величини МСК в розрахунку на 1 кг маси тіла за 1 хв (середньою вважається маса тіла, що дорівнює 50 кг для жінок і 77 кг для чоловіків).

4. ¹⁷⁰ Можливість визначення МСК за результатом фізичної працездатності при ЧСС 170 за 1 хв ($ФП_{170}$) ґрунтується на наявності між даними показниками високого позитивного кореляційного зв'язку (В. Л. Карпман та ін., 1972). З метою полегшення обчислювальних дій користуються формулами:

$$\text{при } ФП_{170} > 900 \text{ кгм/хв} \quad \text{мл/хв} = 2,2 \cdot ФП_{170} + 1070;$$

$$\text{при } ФП_{170} < 900 \text{ кгм/хв} \quad \text{мл/хв} = 1,7 \cdot ФП_{170} + 1240.$$

Таблиця 5.7

Визначення МСК за ЧСС і потужністю навантаження

ЦРР МОО с хв	Потужність навантаження, Вт									
	Чоловіки					Жінки				
	50	100	150	200	250	50	75	100	125	150
120	2,2	3,5	4,8			2,6	3,4	4,1	4,8	
121	2,2	3,5	4,7			2,5	3,3	4,0	4,8	
122	2,2	3,4	4,6			2,5	3,2	3,9	4,7	
123	2,1	3,4	4,6			2,4	3,1	3,9	4,6	
124	2,1	3,3	4,5	6,0		2,4	3,1	3,8	4,5	
125	2,0	3,2	4,4	5,9		2,3	3,0	3,7	4,5	
126	2,0	3,2	4,4	5,8		2,3	3,0	3,6	4,3	
127	2,0	3,1	4,3	5,7		2,2	2,9	3,5	4,5	
128	2,0	3,1	4,2	5,6		2,2	2,8	3,5	4,2	4,8
129	1,9	3,0	4,2	5,6		2,2	2,8	3,4	4,1	4,8
130	1,9	3,0	4,1	5,6		2,1	2,7	3,4	4,0	4,7
131	1,9	2,9	4,0	5,4		2,1	2,7	3,4	4,0	4,6
132	1,8	2,9	4,0	5,3		2,0	2,7	3,3	3,9	4,5
133	1,8	2,8	3,9	5,3		2,0	2,6	3,3	3,8	4,4
134	1,8	2,8	3,9	5,2		2,0	2,6	3,2	3,8	4,4
135	1,7	2,8	3,8	5,1		2,0	2,6	3,1	3,7	4,3
136	1,7	2,7	3,8	5,0		1,9	2,5	3,1	3,6	4,2
137	1,7	2,7	3,7	5,0		1,9	2,5	3,0	3,6	4,2
138	1,6	2,7	3,7	4,9		1,8	2,4	3,0	3,5	4,1

Закінчення табл. 5.7

ЦРР МОО с хв	Потужність навантаження, Вт									
	Чоловіки					Жінки				
	50	100	150	200	250	50	75	100	125	150
139	1,6	2,6	3,6	4,8		1,8	2,4	2,9	3,5	4,0
140	1,6	2,6	3,6	4,8	6,0	1,8	2,4	2,8	3,4	4,0
141		2,6	3,5	4,7	5,9	1,8	2,3	2,8	3,4	3,9
142		2,5	3,5	4,6	5,8	1,7	2,3	2,8	3,3	3,9
143		2,5	3,4	4,7	5,7	1,7	2,2	2,7	3,3	3,8
144		2,5	3,4	4,5	5,7	1,7	2,2	2,7	3,2	3,8
145		2,4	3,4	4,5	5,6	1,6	2,2	2,6	3,2	3,7
146		2,4	3,3	4,4	5,6	1,6	2,2	2,6	3,2	3,7
147		2,4	3,3	4,3	5,5	1,6	2,1	2,6	3,1	3,6
148		2,4	3,2	4,3	5,4	1,6	2,1	2,6	3,1	3,6
149		2,3	3,2	4,3	5,4		2,1	2,6	3,0	3,5
150		2,3	3,2	4,2	5,3		2,0	2,5	3,0	3,5
151		2,3	3,1	4,2	5,2		2,0	2,5	3,0	3,4
152		2,3	3,1	4,3	5,4		2,1	2,6	3,0	3,5
153		2,2	3,0	4,1	5,2		2,0	2,4	2,9	3,3
154		2,2	3,0	4,0	5,1		2,0	2,4	2,8	3,3
155		2,2	3,0	4,0	5,0		1,9	2,4	2,8	3,2
156		2,2	2,9	4,0	5,0		1,9	2,3	2,7	3,2
157		2,1	2,9	3,9	4,9		1,9	2,3	2,7	3,2
158		2,1	2,9	3,9	4,9		1,8	2,3	2,7	3,1
159		2,1	2,8	3,8	4,8		1,8	2,2	2,6	3,1
160		2,1	2,8	3,8	4,8		1,8	2,2	2,6	3,0
161		2,0	2,8	3,7	4,7		1,8	2,2	2,6	3,0
162		2,0	2,8	3,7	4,6		1,8	2,2	2,6	3,0
163		2,0	2,8	3,7	4,6		1,7	2,2	2,5	2,9
164		2,0	2,7	3,6	4,6		1,7	2,1	2,5	2,9
165		2,0	2,7	3,6	4,5		1,7	2,1	2,5	2,9
166		1,9	2,7	3,6	4,5		1,7	2,1	2,5	2,8
167		1,9	2,6	3,5	4,3		1,6	2,1	2,4	2,8
168		1,9	2,6	3,5	4,3		1,6	2,0	2,4	2,8
169		1,9	2,6	3,5	4,3		1,6	2,0	2,4	2,8
170		1,8	2,6	3,4	4,3		1,6	2,0	2,4	2,7

Таблиця 5.8

Віковий чинник для визначення МСК при одноразовому велоергометричному навантаженні

Вік, років	Чинник	Вік, років	Чинник	Вік, років	Чинник
15	1,10	40	0,83	55	0,71
25	1,00	45	0,78	60	0,68
35	0,87	50	0,75	65	0,65

Таблиця 5.9

Оцінка показників МСК для осіб різного віку і статі (мл/кг за 1 хв)

Вік, років	Стать	Оцінка показників МСК				
		Низьке	Нижче середнього	Середнє	Добре	Високе
20–29	ч.	38	39–43	44–51	52–56	57
	ж.	28	29–34	35–43	44–47	49
30–39	ч.	24	35–39	40–47	48–51	52
	ж.	27	28–33	34–41	42–47	48
40–49	ч.	30	31–35	36–43	44–47	48
	ж.	25	26–31	32–40	41–45	46
50–59	ч.	25	26–31	31–39	40–43	44
	ж.	21	22–28	29–36	37–41	42

Таблиця 5.10

Співвідношення між величиною МСК і потужністю роботи (ФП₁₇₀) у здорових осіб (В. Л. Карпман та ін., 1972)

ФП ₁₇₀ , кгм/хв	МСК, л/хв	ФП ₁₇₀ , кгм/хв	МСК, л/хв	ФП ₁₇₀ , кгм/хв	МСК, л/хв
500	2,62	1200	3,60	1900	5,16
600	2,66	1300	3,88	2000	5,32
700	2,72	1400	4,13	2100	5,43
800	2,82	1500	4,37	2200	5,57
900	2,97	1600	4,62	2300	5,66
1000	3,13	1700	4,82	2400	5,72
1100	3,38	1800	5,06	2500	6,80

Як і в попередній методиці, отриману величину МСК корегують за віковим чинником.

Більш швидко величину МСК за даними ФП₁₇₀ можна визначити, користуючись табл. 5.10.

6. Коефіцієнт резерву за частотою дихання у нена тренованих осіб (чисельник) і у високотренованих спортсменів (знаменник) становить:
а) 4/8; б) 6/10; в) 8/12; г) 10/15.
7. Коефіцієнт резерву за максимальним споживанням кисню у нена тренованих осіб (чисельник) і у високотренованих спортсменів (знаменник):
а) 5/10; б) 10/30; в) 15/40; г) 20/60.
8. Коефіцієнт резерву за показником ХОД у нена тренованих осіб (чисельник) і у високотренованих спортсменів (знаменник):
а) 10/40; б) 20/60; в) 30/80; г) 40/100.
9. При високих вихідних даних МСК, його збільшення відбувається майже повністю завдяки збільшення:
а) частоти дихання; б) глибини дихання;
в) систолічного обсягу крові.
10. Ведучим чинником збільшення МСК в процесі направлених тренувань є:
а) посилення кровообігу;
б) збільшення щільності капілярів в м'язах;
в) збільшення частоти і глибини дихання;
г) а + б + в.
11. Та кількість кисню, яка споживається учнем після закінчення фізичної роботи (у відновному періоді) без врахування споживання кисню в стані спокою, називається:
а) кисневим запитом; в) кисневим боргом;
б) максимальним споживанням кисню; г) гіпоксією.
12. Кисень кисневого боргу використовується на:
а) окислення молочної кислоти;
б) відновлення запасів міоглобіну в м'язах;
в) відновленням запасів оксигемоглобіну в крові;
г) а + б + в.
13. У підготовлених до фізичної роботи осіб кисневий борг може становити (л):
а) 10; б) 20; в) 30; г) 40.
14. Дихання, яке здійснюється свідомо «за самонаказом» або за словесною інструкцією «дихати так-то» називається:
а) мимовільним; б) довільним;
в) мимовільним, коли йдеться про зовнішнє дихання.
15. Дихання, що здійснюється без активної участі свідомості, коли на запитання: «Як дихали?» людина відповідає: «Дихав, як дихалось», — називається:
а) мимовільним; б) довільним;
в) довільним, коли мова йде про зовнішнє дихання.

16. Дихальний центр розташований у:
а) мозочку; б) середньому мозку;
в) проміжному мозку; г) довгастому мозку.
17. Тонус дихального центру може суттєво змінюватись під впливом імпульсів, які надходять від рецепторів:
а) легень; б) судинних рефлексогенних зон;
в) вище розташованих відділів ЦНС; г) а + б + в.
18. Приспосувальні можливості дихання до зміни умов довкілля і діяльності здійснюються з обов'язковою участю:
а) кори великих півкуль; б) мозочка;
в) середнього мозку; г) б + в.
19. Гуморальна регуляція дихання зумовлюється зміною концентрації в крові:
а) вуглекислого газу; б) кисню;
в) молочної кислоти; г) а + б + в.
20. Наші змагання проблем гірської акліматизації і профілактики гірського захворювання людей пов'язані з ім'ям:
а) І. М. Сеченов; б) І. П. Павлов; в) М. М. Сиротинін; г) П. К. Анохін.
21. З підняттям в гори величина атмосферного тиску:
а) знижується; б) збільшується;
в) не змінюється; г) змінюється лише процентний склад газів.
22. Дія гірського клімату на організм людини зумовлюється передусім:
а) посиленням сонячної радіації; б) підвищеною іонізацією повітря;
в) різкою зміною вологості, температури і парціального тиску кисню;
г) а + б + в.
23. На рівні моря насичення крові киснем близько 98 %, а на висоті 5000 м (%):
а) 50; б) 70; в) 90; г) 100.
24. Зниження парціального тиску кисню в альвеолярному повітрі при пониженні барометричного тиску призводить до:
а) гіповентиляції легень; б) гіпоксемії;
в) гіперкапнії, г) а + в.
25. Наслідком висотної гіпоксемії є:
а) зниження функції аналізаторів;
б) порушення балансу між процесами збудження і гальмування в корі мозку;
в) порушення механізмів диференціювального гальмування;
г) а + б + в.
26. Ознаками вираженої форми кисневого голодування є:
а) різка зміна підвищеної збудливості ЦНС;
б) порушення вищої нервової діяльності;
в) в'ялість, сонливість;
г) задишка, нудота + а + б + в.

27. Хронічна форма кисневого голодування характеризується:
- а) збільшенням кисневої ємності крові;
 - б) підвищенням кров'яного тиску;
 - в) а + б;
 - г) запамороченням, задишкою, нудотою, сонливістю.
28. Хворому гострою формою гірського захворювання, який втратив свідомість і не дихає, необхідно негайно забезпечити:
- а) штучне дихання;
 - б) введення в легені стимулятора дихального центру — карбогену;
 - в) спокій в горизонтальному положенні і холодний компрес на груди;
 - г) а + б.
29. Пристосування організму до гострої нестачі кисню в умовах пониженого атмосферного тиску називається:
- а) адаптацією;
 - б) радіацією;
 - в) акліматизацією;
 - г) акомодатією.
30. Наслідком адаптованості організму до умов високогірного клімату є:
- а) збільшення в крові кількості еритроцитів і гемоглобіну;
 - б) збільшення в м'язах міоглобіну;
 - в) зменшення кисневої ємності крові і вмісту міоглобіну в м'язах;
 - г) а + б.
31. Рівнозначною за силою механічної дії атмосферного повітря в 1 атм. є тиск морської води на глибині (м):
- а) 5;
 - б) 10;
 - в) 15;
 - г) 20.
32. При порушенні гігієнічних режимів дихання в умовах високих тисків можливе виникнення:
- а) декомпресійного (кесонного) захворювання;
 - б) отруєння високими концентраціями кисню;
 - в) отруєння високими концентраціями вуглекислого газу або азоту (азотний наркоз);
 - г) а + б + в.
33. При швидкому переході організму людини із зони великого атмосферного тиску в зону малої розчинність газів, особливо азоту, в крові знижується. Не встигаючи виділятися з організму, азот утворює невеликі пухирці, які спроможні викликати закупорку судин. Це захворювання називають:
- а) бронхопневмонією;
 - б) кесонним захворюванням;
 - в) пневмотораксом;
 - г) асфіксією.
34. Запалення бронхів з переважним ураженням слизової оболонки:
- а) трахеї;
 - б) туберкульоз;
 - в) бронхи;
 - г) дифтерія.
35. Алергічне захворювання, дуже поширене в Україні, особливо серед дітей:

- а) астма бронхіальна; б) рак легень;
в) туберкульоз; г) грип.

36. Хвороба збудник якої найчастіше уражає легені:

- а) дифтерія; б) пневмонія; в) туберкульоз; г) бронхіт.

37. Хвороба легень, виникнення якої в значній мірі зумовлене палінням:

- а) пневмонія; б) рак легень; в) туберкульоз; г) дифтерія.

Оцінка теми 3 модуля 5 (37 запитань)

Оцінка модуля	Кількість правильних відповідей						
	37-33	32-30	29-28	27-26	25-22	21-13	12 і <
За шкалою університету	100-90	89-82	81-75	74-69	68-60	59-35	34-1
Занациональною шкалою	5	4	4-	3	3-	2	2-
За шкалою ЕСТ5	A	B	C	0	E	PX	P

Тема 4. Регуляція дихання. Резерви функціональних можливостей системи дихання в умовах пониженого і підвищеного атмосферних тисків

4.1. Логіка викладу і засвоєння матеріалу

1. Поняття довільного і мимовільного дихання.
2. Нервова регуляція дихання. Роль вищих відділів мозку в регуляції дихання.
3. Гуморальна регуляція дихання. Суть дослідів Фредеріка.
4. Фізіологічні механізми пристосування організму до нестачі кисню в умовах пониженого атмосферного тиску. Хронічні і гострі форми кисневого голодування. Чинники, що сприяють акліматизації.
5. Дія підвищеного атмосферного тиску на організм людини. Засоби попередження декомпресійного (кесонного) захворювання. Штучна вентиляція легень.

4.2. В результаті вивчення матеріалу теми Ви повинні знати:

- основні причини та механізми регуляції дихання людини в змінних умовах довкілля;
- суть дослідів Фредеріка;
- механізми пристосування організму до нестачі кисню в умовах пониженого атмосферного тиску;
- механізми акліматизації при підвищенні атмосферного тиску;
- засоби попередження декомпресійного захворювання.

вміти:

- пояснити механізми регуляції дихання людини в постійно змінних умовах довкілля, в умовах підвищеного і пониженого атмосферного тисків;
- робити штучне дихання різними способами;
- попередити виникнення «гірської хвороби» і декомпресійного (кесонного) захворювання;
- використовувати знання матеріалу теми для оптимізації процесу акліматизації до умов середньо- і високогір'я, для раціоналізації оздоровчого тренування школярів і дорослих.

4.3. Основні терміни, поняття і скорочення

довільне дихання; мимовільне дихання; центр інспірації; центр експірації; дослід Фрідеріка; гіпокапнія; гіпоксемія; гіпоксія; акліматизація; штучна вентиляція легень (ШВЛ);

4.4. Теоретичні відомості**1. Поняття довільного і мимовільного дихання. Регуляція дихання**

Функцією системи регуляції дихання є підтримання оптимального напруження газів в крові і в тканинах організму у відповідності з інтенсивністю метаболізму. Досягається це завдяки об'єднанню в єдину функціональну систему процесів тканинного і легеневого дихання, зв'язування і транспортування газів кров'ю. Ефективна діяльність функціональної системи дихання необхідна передумова сталості вмісту дихальних газів в артеріальній крові людини, яка знаходиться в постійно змінних умовах довкілля (рис. 5.19).

Слід розрізняти довільне і мимовільне дихання. Поняття «довільне дихання» має відношення до зовнішнього дихання. Воно здійснюється свідомо «за самонаказом» або за словесною інструкцією — «дихати так-то!» *Мимовільне дихання* здійснюється без активної участі свідомості, коли на питання «Як дихали?» людина відповідає: «Дихав так, як дихалось» або «Свідомо дихання не контролював» (В. В. Михайлов, 1983).

В звичайних умовах дихальні рухи здійснюються автоматично, без участі свідомості. Разом з тим дихання досить суттєво може змінюватися, пристосовуючись до постійно змінних умов діяльності. Такі пристосування дихальної системи можливі завдяки механізмам нервової і гуморальної регуляції дихальної функції.

2. Нервова регуляція дихання

Ще в 1885 році М. А. Миславський виявив дихальний центр, розташований на дні четвертого шлуночка довгастого мозку. Цей центр парний, а тому однобічне його руйнування призводить до порушення дихальних рухів лише з одного боку грудної клітки.

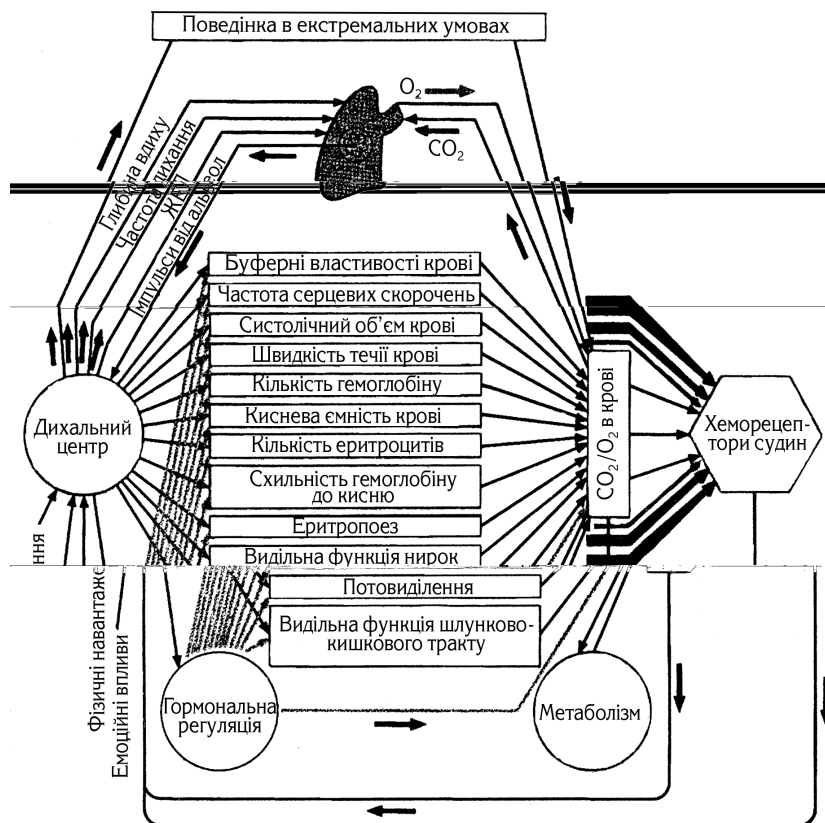


Рис. 5.19

Функціональна система підтримання газового складу внутрішнього середовища організму (за К. Судаковим, 1978)

Дихальний центр являє собою дві групи нервових клітин ретикулярної формації: *інспіраторні* і *експіраторні*. Відповідно виділяють і два центри: *центр вдиху* (інспірації) і *видиху* (експірації). Інспіраторні клітини дихального центру посилають свої імпульси від довгастого мозку до мотонейронів спинного мозку, від якого відходять нерви до м'язів, які забезпечують вдих.

Мотонейрони м'язів вдиху і видиху знаходяться між собою в реципрокних взаємозв'язках: при збудженні мотонейронів м'язів вдиху відбувається гальмування мотонейронів м'язів видиху і навпаки. Така взаємодія спінальних мотонейронів деякою мірою може забезпечити саморегуляцію дихання (ритмічне чергування актів вдиху і видиху). В основному ж механізми саморегуляції пов'язані з діяльністю дихального центру довгастого мозку, який, володіючи автоматизмом, в той же час чутливо реагує на

імпульси, що надходять від рецепторів легень, судинних рефлексогенних зон і вищерозташованих відділів ЦНС.

Автоматизм дихального центру пояснюється ритмічною динамікою процесів обміну в його структурних елементах, що спричиняє утворення кругових ритмів збуджень (М. В. Сергієвський).

З легень імпульси передаються до дихального центру по блукаючих нервах. Їх аферентні відростки закінчуються рецепторами легень, чутливими до розтягнення. Під час вдиху імпульси від рецепторів легень передаються в дихальний центр і гальмуючи збудження інспіраторних клітин припиняють вдих. Виникає видих. По його завершенні знову відбувається автоматичне збудження інспіраторних клітин і новий вдих. Таким чином відбувається саморегуляція дихальних рухів і легені захищаються від надмірного розтягнення або спадання.

В регуляції дихання бере участь спеціалізована група нервових клітин варолієвого мосту (пневмотаксичний центр), а також нервові клітини, які сприймають зміни функціонального стану міжреберних м'язів і діафрагми. Рефлекторно з участю рецепторів рухового апарата (моторно-вісцеральні рефлекси) посилюється дихання в умовах м'язової діяльності. В період виконання циклічної м'язової роботи довільне зростання частоти дихання супроводжується мимовільним збільшенням частоти рухів (В. Михайлов, 1983). Сприяючи формуванню синхронних співвідношень темпу рухів і частоти дихання в період циклічної роботи, цей зв'язок може перешкоджати формуванню відповідних асинхронних дій спортсмена.

Роль вищих відділів мозку в регуляції дихання. Пристосувальні можливості дихання до зміни умов довкілля і діяльності організму здійснюється з участю кори великих півкуль. Так, дихання собаки з зруйнованою корою великих півкуль в стані спокою і в стандартних умовах не має суттєвих відхилень від норми. При виконанні навіть незначної роботи (ходьба) у такої собаки різко виявлена задишка. Умовні дихальні рефлекси (посилення дихання у спортсменів перед стартом) є важливим механізмом «настройки» системи дихання на наступну м'язову діяльність.

Людина здатна розрізняти ступінь кисневого голодування і рівень концентрації у вдихуваному повітрі вуглекислого газу. Систематичними тренуваннями цю здатність можна розвивати, що має велике значення для регулювання поведінки людей в складних умовах діяльності — при пірнанні, підводному плаванні, сходженні в гору (А. Б. Гандельсман, 1975). Направлено змінюючи тонус дихального центра довільною зміною дихання, можна впливати на стан організму людини в цілому. Можливість довільної регуляції дихання значно обмежується при виконанні інтенсивної фізичної роботи, яка викликає суттєві зрушення гомеостазу внутрішнього середовища. Загальна схема регуляції дихання при м'язовій роботі подана на рис. 5.20.

Враховуючи той факт, що довільна МВЛ у спортсменів, виміряна протягом 10–15 с, може досягти 250 л за 1 хв (при фізичній роботі ХОД рідко перевищує 200 л/хв), можна

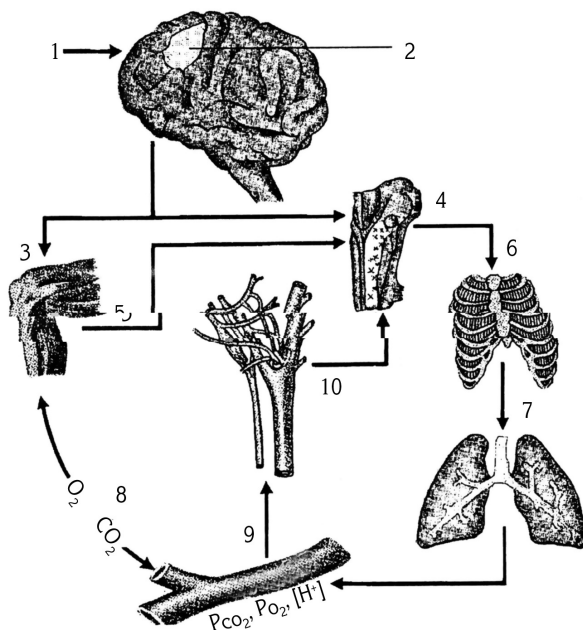


Рис. 5.20

Регуляція дихання при м'язовій роботі: 1 — сигнал про початок роботи; 2 — центр рухової домінанти в корі мозку; 3 — скелетні м'язи; 4 — дихальний центр довгастого мозку; 5 — імпульси від проприорецепторів працюючих м'язів; 6 — підвищення активності дихальних м'язів; 7 — посилення вентиляції легень; 8 — компенсація підвищеного споживання м'язами кисню; 9 — підтримання газового складу і кислотно-лужного стану артеріальної крові; 10 — імпульси від хеморецепторів

зробити помилковий висновок про несуттєвість ролі легеневої вентиляції серед чинників лімітування МСК і працездатності. При вирішенні цього питання слід врахувати дані про те, що відчуття задишки при фізичних навантаженнях пов'язане з подразненням рецепторів дихальних шляхів, діафрагми і грудної стінки, — про прямі рефлекторні зв'язки рецепторів кровоносних судин легеневої тканини з нервами, що іннервують нижні кінцівки. Інтенсивне подразнення рецепторів, реагуючих на кровонаповнення легень, зумовлює мимовільне зниження активізації моторної функції нижніх кінцівок (В. С. Міщенко, 1990).

Довільне управління дихальним актом широко використовується в спортивній практиці для вдосконалення дихання спортсменів. Систематичні тренування з направленим довільним регулюванням частоти, глибини, типу і ритму дихання зумовлюють їх автоматизацію і включення у руховий навик, що вивчається. Завдяки цьому досягається збільшення легеневої вентиляції, підвищується продуктивність діяльності.

Між довільними кортикальними впливами і мимовільною ритмічною активністю бульбарного дихального

центру існують конкурентні взаємовідношення. В міру зростання інтенсивності роботи роль кортикального чинника в регуляції дихання поступово зменшується і дихальні рухи переважно регулюються рефлекторними механізмами (В. І. Мінаєв, 1978).

Зміни дихання можуть бути зумовлені і різноманітними емоціями. Вони виникають під впливом лімбічного відділу ЦНС на функціональний стан дихального центру. Саме цим пояснюється посилення дихання або, навпаки, його затримка при різних емоційних станах.



3 2

Hajrafai h

Таблиця 5.13

Показники крові в спокої і при виконанні максимальної аеробної роботи на різних висотах (за Д. Фолкером, 1971)

Висота, (м) і барометричний тиск, мм рт. ст.	Умови	Концентрація гемоглобіну, г%	Парціальний в артеріальній крові, мм рт. ст.	% насиченості артеріальної крові O ₂ , %	Вміст O ₂ в артеріальній крові, об%
0 (760)	Спокій	15,1	105	97	19,6
	Макс. робота		98	96	19,4
2300 (580)	Спокій	16,6	75	93	20,6
	Макс. робота		70	87	19,3
3100 (520)	Спокій	17,2	67	80	20,7
	Макс. робота		57	75	19,6
4300 (420)	Спокій	18,2	52	84	20,5
	Макс. робота		46	70	17,1

рідиною, сповільнює перехід кисню в тканини, знижує швидкість окислювальних реакцій. Особливо виразно ці процеси протікають при виконанні людиною напруженої аеробної роботи (табл. 5.13).

Перебування в умовах високогір'я характеризується активізацією функцій кардіореспіраторної системи. Посилена вентиляція легень в цих умовах призводить до виведення з крові значної кількості вуглекислоти, зрушення рН крові в лужний бік, зменшення коефіцієнта утилізації кисню. Активізація функції системи кровообігу в умовах високогір'я проявляється збільшенням ЧСС і швидкості течії крові, підвищенням артеріального та зниженням венозного кров'яного тиску. Все це сприяє покращенню кровообігу в тканинах. Підвищена проникність легеневих капілярів зумовлена недостатністю кисню і значним зростанням кров'яного тиску в малому колі кровообігу (легенева гіпертензія), інколи призводять до набряку легень.

Наслідком висотної гіпоксемії є зниження функції аналізаторів, особливо зорового; за таких умов знижується тактильна і підвищується больова чутливість, порушується баланс між процесами збудження-гальмування в корі великих півкуль, порушуються механізми диференціовального гальмування.

При *гіпоксії* (недостатність забезпечення тканин киснем) спостерігаються пристосувальні зміни дихання і кровообігу: збудження хеморецепторів судинних рефлексогенних зон спричиняє рефлекторне посилення легеневої вентиляції і роботи серця; наслідком рефлекторного викиду крові з кров'яних депо є збільшення об'єму циркулюючої крові та її кисневої ємності.

Розрізняють хронічні і гострі форми кисневого голодування. Хронічна форма кисневого голодування характеризується реакціями компенсаторної направленості: посиленням діяльності легень і серця, підвищенням кров'яного тиску і додатковим викидом в кровообіг депонованих еритроцитів, збільшенням кисневої ємності крові тощо. Усі ці

зміни на деякий час можуть сприяти незначному підвищенню працездатності. Проте на висоті 4 км і вище вказані компенсаторні реакції виявляються недостатніми. Виникають гострі форми кисневого голодування (гірська хвороба), коли весь симптомокомплекс розладів (аж до втрати свідомості і смерті) може проходити протягом декількох хвилин.

Слабо виражене гостре кисневе голодування у людини проявляється ейфорійним станом (піднесений настрій, немотивований сміх, балакучість, метушливість, підвищена рухова активність тощо). Виникнення цього стану зумовлене активізуючою дією недостатності кисню на клітини кори головного мозку. Тривалість першої фази гострого кисневого голодування визначається висотою — чим вона більша, тим коротша ейфорія і навпаки.

Ознаками вираженої форми гострого кисневого голодування (друга фаза) є різка зміна підвищеної збудливості ЦНС депресією, порушення вищої нервової діяльності, погіршення самопочуття. Згодом настає в'ялість, сонливість, задишка, блідість шкірних і слизових покривів, відчутність серцебиття, пульсації судин, запаморочення, нудота, втрата свідомості і навіть смерть (від порушення функції дихального центру). Досить часто втрата свідомості може виникати без перебігу інших ознак кисневого голодування.

Гостре кисневе голодування спостерігається при зниженні тиску в барокамері та крутінні на центрифусі. Воно може виникати і при виконанні напруженої фізичної роботи та при перегріванні організму. Сприяючи покращенню реактивності організму до дії даних екстремальних чинників, гірська адаптація широко використовується в системі тренування спортсменів, льотчиків, космонавтів.

Лікування людей з гострою формою гірського захворювання полягає в ліквідації або ослабленні кисневого голодування. Для відновлення діяльності судиннорухового і дихального центрів необхідно забезпечити дихання з оптимальним парціальним тиском кисню. Хворому, який втратив свідомість і не дихає, слід негайно забезпечити штучне дихання з обов'язковим введенням в легені стимулятора дихального центру — карбогену (суміш 5 % вуглекислого газу і 95 % кисню).

Для забезпечення необхідного парціального тиску кисню в альвеолярному повітрі з метою насичення ним крові на великих висотах (більше 10 км) застосовують метод дихання під підвищеним тиском. При цьому використовують спеціальні маски з регулятором, який забезпечує створення необхідного (більшого від атмосферного) тиску вдихуваного повітря. Зняття маски з людини в умовах значного розрідження атмосфери призводить до втрати свідомості. Відбувається це тому, що напруга кисню в артеріальній крові стає меншою, ніж в венозній. Незважаючи на посилене дихання, замість того, щоб надходити в організм, кисень, навпаки, виходить з нього. Саме тому при розгерметизації кабіни літака на великих висотах льотчику пропонується негайно затримати дихання і надіти кисневу маску.

Пристосування організму до нестачі кисню в умовах пониженого атмосферного тиску називається **акліматизацією**. Процес акліматизації здійснюється шляхом вдосконалення механізмів доставки кисню до тканин і пристосування самих тканин до гіпоксемії. Один з механізмів такого пристосування полягає в переході організму на безкисневий шлях

енергозабезпечення. На більш пізніх етапах акліматизації вдосконалюються механізми тканинної адаптації, збільшується використання кисню з артеріальної крові, більша частина кисню використовується безпосередньо на м'язову діяльність.

Попервах гірської акліматизації відбувається зниження працездатності, згодом її рівень зростає, часто навіть вище попереднього рівня. Перехід спортсменів, які тренувались в умовах середньогір'я, в низькогір'я сприяє підвищенню їх працездатності, росту спортивної майстерності.

Наслідком адаптованості до умов високогірного клімату є збільшення в крові кількості еритроцитів (до 7–8 млн в 1 мм³ крові), гемоглобіну (до 17–18 %) і кисневої ємності крові (до 25 об% і більше, табл. 5.14). В м'язах збільшується кількість міоглобіну, підвищується активність окисно-відповідних ферментів, стійкість тканин до гіпоксії та реактивність імунної системи організму. Успішній акліматизації сприяє проведення тренувань в умовах пониженого атмосферного тиску, поступове, сходинкове підняття на великі висоти з відповідними за величиною м'язовими навантаженнями, повноцінне і раціональне харчування.

Повна високогірна акліматизація характеризується:

- 1) зниженням рівня вентиляції легень відносно її початкових величин (глибше дихання);
- 2) збільшенням ХОК, підвищенням рівня середнього артеріального тиску, зменшенням швидкості руху крові, гіпертрофією правого шлуночка серця;
- 3) значним збільшенням концентрації еритроцитів і гемоглобіну в крові;
- 4) збільшенням запасів глікогену в м'язах і печінці.

Під час тренувань в умовах середньогір'я необхідно зменшити споживання жирів, оскільки на їх окислення витрачається велика кількість кисню. Ефективнішим енергосубстратом в цих умовах є вуглеводи. Для отримання одиниці енергії при окисленні вуглеводів витрачається на 10–15 % менше кисню, ніж при окисленні жирів і на 15–20 % менше ніж при окисленні білків.

Таблиця 5.14

Показники крові в спокої у акліматизованих людей на різних висотах (Я. М. Коц, 1986)

Висота, м	ОЦК, мл/кг маси тіла	Концентрація гемоглобіну, г%	Киснева ємність крові, об%	% насиченості крові O ₂ , %	Вміст O ₂ в артеріальній крові, об%
0 (рівень моря)	79,6	15,3	20,0	97	20,0
3100	83,0	16,8	22,5	91	20,5
3600	96,0	18,8	25,2	87	21,9
4600	104,0	20,7	27,8	81	22,4
5600	—	24,8	33,3	65	21,7

5. Дія підвищеного атмосферного тиску на організм людини

Актуальність питань, пов'язаних з впливом на організм підвищеного атмосферного тиску в умовах підводних занурювань і дихання штучними сумішами під водою, зумовлена добуванням під водою корисних копалин, розвитком підводного спорту, туризму, мисливства, фото- і кінозйомок.

На рівні моря тіло людини знаходиться під тиском повітря в одну атмосферу. Рівнозначним за силою механічної дії тиску атмосферного повітря в одну атмосферу є тиск морської води на глибині 10 м. Саме тому на глибині 10 м водолаз може дихати повітрям, тиск якого більший норми на рівні моря в два рази. Для підтримання дихання в умовах вищого тиску води на тіло повітря в легені повинно подаватися під підвищеним тиском. При високому тиску стиснутого повітря дихання стає рідким і глибоким, зменшується ЧСС, сповільнюються процеси обміну речовин.

Для занурювання в воду водолази використовують спеціальні апарати-скафандри, які захищають тіло від тиску води і забезпечують дихання за рахунок подачі в шолом з поверхні газової суміші під високим тиском. Занурювання під воду на глибину до 50 м здійснюються на стиснутому повітрі, більш глибокі — на стиснутих гелієво-кисневих і повітряно-гелієвих сумішах.

При порушенні гігієнічних режимів дихання в умовах високих тисків можливе виникнення декомпресійного (кесонного) захворювання, отруєння високими концентраціями кисню (бронхопневмонія), вуглекислого газу або азоту (азотний наркоз) тощо.

При знаходженні людини в умовах високого атмосферного тиску в крові і тканинах організму розчиняється досить велика кількість газів, зокрема азоту. При швидкому переході організму людини із зони високого атмосферного тиску в зону малого розчинності газів в крові, особливо азоту, понижується. Не встигаючи виділятися з організму, молекули азоту утворюють невеликі пухирці, які спроможні викликати закупорку судин (кесонна хвороба). Будучи добре розчинним в жирах і ліпоїдах, азот нагромаджується у великій кількості в багатих жирами нервових клітинах.

Симптомами кесонного захворювання є болі в суглобах, запаморочення, блювота, задишка, втрата свідомості. Для попередження кесонного захворювання при занурюванні водолазів на велику глибину в дихальну суміш замість азоту вводять гелій, який майже не розчиняється в крові. Крім того, при підніманні з морських глибин чи шахт обмежується швидкість піднімання. Найбільш ефективним методом лікування кесонного захворювання є повторний спуск хворого під воду або в спеціальні декомпресійні камери до того часу, поки повністю не розчиняться усі пухирі газу. Щоб зменшити час декомпресії, для дихання використовують чистий кисень або суміш кисню з гелієм, аргонном чи іншим індиферентним газом.

Штучна вентиляція легень. Вона використовується при пошкодженні дихального центру, коли самостійне дихання стає неможливим; при утопленні, задушенні, ураженні електричним струмом, отруєнні чадним газом, а також при внутрішньогрудних операціях, деяких видах наркозу, при лікуванні черепно-мозкових травм тощо.

Штучна вентиляція легень спрямована на підтримання необхідного вмісту кисню в альвеолярному повітрі і виведення надмірної кількості вуглекислого газу. Забезпечуючи ритмічне подразнення механорецепторів плеври, діафрагми, міжреберних і грудних м'язів, штучне дихання сприяє поновленню функції дихального центру. З цією метою інколи практикують подразнення температурних або больових рецепторів шкіри (наприклад, оживлення новонароджених, які народились в стані задушення). Оскільки функція дихального центру відновлюється досить повільно, штучну вентиляцію легень в деяких випадках доцільно продовжувати тривалий час — 1–2 годин і більше.

Існує велика кількість методів штучного дихання. Їх можна поділити на дві групи — *неапаратні* (ручні) і *апаратні* (механічні) засоби. Ручні методи використовуються як допоміжні при збереженні слабого самостійного дихання і слабкої серцевої діяльності. Найпоширенішим серед них є метод примусового ритмічного нагнітання повітря в легені через дихальні шляхи з рота в рот та з рота в ніс.

Апарати для штучного дихання приводять в рух руками, електродвигунами або стиснутим повітрям. Основною частиною ручного апарата штучного дихання з активним вдихом — РПА-1 є невеличкий міх. За його допомогою у легені вводять під невеликим тиском один-півтора літра повітря (дітям 0,25–0,5 л) в суміші з 30–40 % кисню. При розтягненні міха тиск в легенях знижується — виникає видих. Ефективним є також метод ритмічного розширення і стискання грудної клітки (імітування дихальних рухів) руками або спеціальним апаратом «залізни легені». Сильним стисканням грудної клітки руками забезпечується видих, при припиненні стискання відбувається пасивне розширення грудної клітки — вдих. Поліпшення серцевої діяльності при цьому здійснюється за допомогою збільшення присмоктувальної дії грудної клітки та непрямого масажу серця.

Перспективним серед методів штучного дихання є метод ритмічного електричного подразнення діафрагмального нерва (електродіафрагмальне дихання). Змінюючи частоту і силу стимулюючого струму, регулюють частоту і глибину скорочення діафрагми, а значить і величину легеневої вентиляції. Сьогодні вчені працюють над створенням електронних моделей дихального центру, який міг би автоматично імітувати його роботу.

4.5. Практичні завдання

Матеріальне забезпечення заняття: кодоскоп (діапроектор), кодопозитиви (діапозитиви) або ПК і мультимедійний проєктор, схеми, таблиці з фізіології дихання, спінограф, секундомір, спирт, вата, марля.

Робота 1

Вивчення впливу складу вдихуваного повітря на тонус дихального центра і показники дихання

Завдання. Дослідити вплив вдихуваного повітря із збільшеним вмістом вуглекислого газу (гіперкапнічний стимул дихання) і зменшеним вмістом кисню (гіпоксія) на показники дихання (моделювання задишки).

Методика. Дослідження виконується за допомогою спірографа з відключеним блоком хімічного поглинача вуглекислого газу. Дихання повітрям з замкненого простору (легені — дихальний мішок спірографа) призводить до поступової зміни складу вдихуваного повітря (збільшення вмісту вуглекислого газу і зменшення вмісту кисню), а згодом і до зміни газового складу крові. Під дією вуглекислого газу вдихуваного повітря зростає тонус нейронів дихального центру і, як наслідок, збільшується частота і глибина дихання.

Для виконання роботи обстежуваного з'єднують з дихальною системою спірографа і записують спірограму до моменту непереносимості задухи (виникнення непереборного бажання припинити дослід із-за задухи). Визначають показники дихання (ЧД, ДО, ХОД) на першій хвилині дихання і в кінці досліді.

Визначають час затримки дихання після гіпервентиляції. Обстежуваний протягом 20–30 с робить близько 15–20 глибоких вдихів і видихів (якщо є наповнена киснева подушка, гіпервентиляцію проводять з її допомогою). Після гіпервентиляції обстежуваний затримує дихання. Визначають час затримки дихання, записують спірограму. Пояснюють причину збільшення тривалості часу затримки дихання.

При аналізі отриманих результатів враховують наукові дані про те, що зміни дихання розпочинаються вже при вмісті у вдихуваному повітрі 0,5–1,0 % вуглекислого газу. Спочатку спостерігається поглиблення дихання, а згодом, при подальшому збільшенні вмісту вуглекислого газу, дихання стає частішим і поверхневим. П'ятипроцентна концентрація вуглекислого газу у вдихуваному повітрі вже є небезпечною для життя. Саме тому роботу необхідно проводити на здоровій людині, уважно слідкуючи за її станом. При появі запаморочення, блідості обличчя, холодного поту дослідження негайно припиняють.

Робота 2

Вивчення механізмів умовно-рефлекторної регуляції дихання

Завдання. Дослідити направленість зміни частоти і глибини дихання у спортсменів в умовах моделювання передстартової ситуації.

Методика. Обстежуваного з'єднують з спірографом (пневмографом) і записують спірограму (пневмограму) в стані спокою. Тоді чітко і звучно подається команда: «Увага! Через 30 секунд Ви будете виконувати напружену фізичну роботу». Повторюють запис спірограми (пневмограми) за 1 хв. Після цього обстежуваному подається вказівка

виконати дозоване велоергометричне навантаження протягом 30 с (потужність 200 Вт, частота педалювання 70 об/хв).

Проводять аналіз спірограми (пневмограми). Вказати на різницю показників активності функціонування системи дихання в спокої і після подачі команди про майбутню діяльність. Пояснити, чому змінюється дихання ще до початку роботи?

Робота 3

Способи штучного дихання

Завдання. Опанувати навичками проведення штучного дихання ().

Методика. ШД проводять при рятуванні утопленика, при задушенні, враженні електричним струмом, тепловим або сонячним ударом, при деяких отруєннях тощо.

1. (Рис. 5.21, I, II). Обстежуваного кладуть на спину, підклавши під неї валик (можна з одягу). Той, хто подає допомогу стає на коліна біля голови потерпілого, бере його руки за передпліччя (біля ліктів), піднімає і закладає їх за голову на 2–3 с (відбувається вдих). Тоді руки обстежуваного опускають і стискають ними його грудну клітку протягом 2–3 с (видих). Такі рухи повторюють до того часу, поки не відновиться самостійне дихання. Щоб язик у потерпілого не западав його трохи витягують (це робить помічник) і, обгорнувши чистою марлею (бинтом чи носовою хусточкою), утримують протягом всього періоду проведення штучного дихання.

2. Штучне дихання за цим способом проводять при рятуванні утопленика або коли у потерпілого ушкоджені руки. Перед початком ШД необхідно очистити ротову порожнину і ніс утопленика від слини, слизу, землі тощо. Потерпілого кладуть на живіт, а голову повертають набік, підклавши під щоку зігнуту в лікті руку. Рятівник стає на коліна так, щоб стегна потерпілого були між його колінами і, охоплюючи спину потерпілого з боків біля нижніх ребер, сильно стискає їх (видих), після цього йде пасивне розправлення ребер (вдих). Через 2–3 с стискання повторюється.

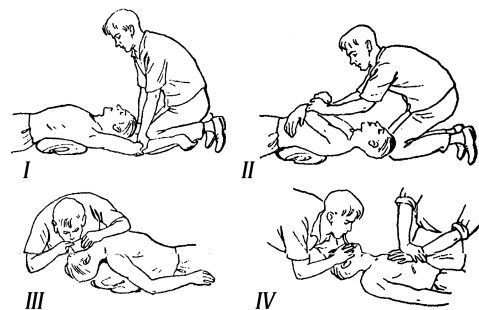


Рис. 5.21

Способи штучного дихання: I, II — положення на спині (I — вдих; II — видих); III — спосіб «з рота в ніс»; IV — почерговий непрямий масаж серця і штучне дихання «з рота в рот»

ШД способом 1 і 2 проводять за умови неможливості проведення ШД способом «з рота в рот, або в ніс» (при травмах голови, рота, носа).

3. «З рота в ніс» або «з рота в рот» (рис. 5.21, III, IV). При проведенні ШД способом «з рота в рот» стають на коліна біля голови потерпілого, закидають його голову назад, при цьому підборіддя потерпілого максимально підіймається вгору, а рот відкривається. Однією рукою тримають голову потерпілого (одноразово закривши пальцями ніс), а другою рукою підтримують напіввідкритий рот. ШД «з рота в

рот» роблять через марлю, носову хусточку або гумову трубочку. Після глибокого вдиху рятівник щільно приставляє свій рот до рота потерпілого і енергійно, з деякими зусиллями видихає (вдих потерпілого). Після цього грудна клітка потерпілого спадає, відбувається пасивний видих. Вдування повітря проводять ритмічно з звичайною частотою дихання.

При способі ШД «з рота в ніс» однією рукою утримують за тім'я голову потерпілого, а другою, піднявши нижню щелепу, закривають рот. Роблять глибокий вдих і, захопивши губами через марлю ніс потерпілого, видихають повітря в ніс (для вдування повітря можна використати гумову трубочку).

При відсутності ознак серцевої діяльності потерпілому роблять масаж серця (рис. 5.21, IV). Його має проводити помічник одночасно з ШД. При цьому долоні рук масажиста, який стає зліва від потерпілого, розміщуються на нижній третині грудини. Натискання роблять поштовхами (частково переносячи на руки вагу тіла), зміщуючи грудину на 3–4 см. При масажі дітей і підлітків зміщення грудини не перевищує 2–3 см, при цьому для масажу достатньо зусилля однієї руки. Частота натискувань на грудину — 50–60 за 1 хв.

4.6. Ситуаційні запитання і задачі

1. Після бігу учня запитали: «Як ви дихали?». — Він відповів: «Дихав, як дихалось». Інший учень на таке ж питання відповів: «Свідомо дихання не контролював». Про яке дихання (довільне, мимовільне) йдеться в цих двох випадках?
2. В досліді Фрідеріка сонні артерії двох собак з'єднують за допомогою трубок на перехрест таким чином, що голова першої собаки постачається кров'ю від другої і навпаки. Як змінюється дихання в обох собак, якщо першій із них перетиснути трахею, викликаючи гіпоксемію? Про що свідчить даний дослід?
3. В горах на висоті 4 км над рівнем моря в поведінці одного з альпіністів сталися помітні зміни: піднесення настрою, сміх з малозначних причин, балакучість, метушливість, підвищена рухова активність. Що може бути причиною цьому? Які ваші дії в даній ситуації?
4. Для забезпечення необхідної величини парціального тиску кисню в альвеолярному повітрі (на висотах більше 10 км) використовують метод дихання під підвищеним тиском. Що повинен робити льотчик літака при розгерметизації кабіни в таких умовах?
5. Чому перед пірнанням під воду необхідно остерігатись надмірної штучної гіпервентиляції легень?
6. Дитина народжується з правильним диханням. Яка причина того, що переважна більшість людей дихає не правильно? Вплив неправильного дихання на психічний стан людини.
7. Вкажіть на фізіологічну сутність позитивного впливу на стан здоров'я людини методу вольової ліквідації затримки дихання.

4.7. Тести

1. Дихання, яке здійснюється свідомо «за самонаказом» або за словесною інструкцією «дихати так-то» називається:
а) мимовільним; б) довільним;
в) мимовільним, коли йдеться про зовнішнє дихання.
2. Дихання, що здійснюється без активної участі свідомості, коли на питання: «Як дихали?» людина відповідає: «Дихав, як дихалось», — називається:
а) мимовільним; б) довільним;
в) довільним, коли мова йде про зовнішнє дихання.
3. Дихальний центр розташований у:
а) мозочку; б) середньому мозку;
в) проміжному мозку; г) довгастому мозку.
4. Тонус дихального центру може суттєво змінюватись під впливом імпульсів, які надходять від рецепторів:
а) легень; б) судинних рефлексогенних зон;
в) вище розташованих відділів ЦНС; г) а + б + в.
5. Пристосувальні можливості дихання до зміни умов довкілля і діяльності здійснюється з обов'язковою участю:
а) кори великих півкуль; б) мозочка; в) середнього мозку; г) б + в.
б. Гуморальна регуляція дихання зумовлюється зміною концентрації в крові:
а) вуглекислого газу; б) кисню;
в) молочної кислоти; г) а + б + в.
7. Велику увагу у вивченні питань гірської акліматизації і профілактики гірського захворювання людей приділяв:
а) І. М. Сеченов; б) І. П. Павлов; в) М. М. Сиротинін; г) П. К. Анохін.
8. З підняттям в гори величина атмосферного тиску:
а) знижується; б) збільшується;
в) не змінюється; г) змінюється лише процентний склад газів.
9. Дія гірського клімату на організм зумовлюється передусім:
а) посиленням сонячної радіації; б) підвищеною іонізацією повітря;
в) різкою зміною вологості, температури і парціального тиску кисню;
г) а + б + в.
10. На рівні моря насичення крові киснем близько 98 %, а на висоті 5000 м (%):
а) 50; б) 70; в) 90; г) 100.
11. Зниження парціального тиску кисню в альвеолярному повітрі при пониженні барометричного тиску призводить до:
а) гіпервентиляції легень; б) гіпоксемії;
в) а + б; г) гіперкапнії; д) гіповентиляції легень + в.

12. Наслідком висотної гіпоксемії є:
- а) зниження функції аналізаторів;
 - б) порушення балансу між процесами збудження і гальмування в корі мозку;
 - в) порушення механізмів диференціовального гальмування;
 - г) а + б + в.
13. Ознаками вираженої форми кисневого голодування є:
- а) різка зміна підвищеної збудливості ЦНС;
 - б) порушення вищої нервової діяльності;
 - в) в'ялість, сонливість;
 - г) задишка, нудота + а + б + в.
14. Хронічна форма кисневого голодування характеризується:
- а) збільшенням кисневої ємності крові;
 - б) підвищенням кров'яного тиску;
 - в) а + б;
 - г) запамороченням, задишкою, нудотою, сонливістю.
15. Хворому гострою формою гірського захворювання, який втратив свідомість і не дихає, необхідно негайно забезпечити:
- а) штучне дихання;
 - б) введення в легені стимулятора дихального центру — карбогену;
 - в) спокій в горизонтальному положенні і холодний компрес на груді;
 - г) а + б.
16. Пристосування організму до гострої нестачі кисню в умовах пониженого атмосферного тиску називається:
- а) адаптацією;
 - б) радіацією;
 - в) акліматизацією;
 - г) акомодатією.
17. Наслідком адаптованості організму до умов високогірного клімату є:
- а) збільшення в крові кількості еритроцитів і гемоглобіну;
 - б) збільшення в м'язах міоглобіну;
 - в) зменшення кисневої ємності крові і вмісту міоглобіну в м'язах;
 - г) а + б.
18. Рівнозначною за силою механічної дії атмосферного повітря в 1 атм є тиск морської води на глибині (м):
- а) 5;
 - б) 10;
 - в) 15;
 - г) 20.
19. При порушенні гігієнічних режимів дихання в умовах високих тисків можливе виникнення:
- а) декомпресійного (кесонного) захворювання;
 - б) отруєння високими концентраціями кисню;
 - в) отруєння високими концентраціями вуглекислого газу або азоту (азотний наркоз);
 - г) а + б + в.

ДОДАТКИ

Модуль I

1.10. Відповіді на запитання тестового контролю

Десятки	Одиниці									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	б	б	а	в	б	а	б	г	в
1	г	б	г	в	г	г	г	г	а	в
2	г	г	г	а	г	г	в	а	в	г
3	г	а	в	в	б	а	в	г	в	а
4	б	б	в	г	в	а	в	г	в	г

2.10. Відповіді на запитання тестового контролю

Десятки	Одиниці									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	б	г	в	г	б	б	а	в	г
1	б	а	а	в	б	в	б	б	в	а
2	б	а	в	б	г	б	б	в	а	б
3	в	б	в	г	а	в	а	а	б	г
4	г	-	-	-	-	-	-	-	-	-

3.10. Відповіді на запитання тестового контролю

Десятки	Одиниці									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	г	в	а	в	а	в	б	б	г
1	г	а	в	а	а	б	в	в	г	а
2	б	в	г	б	а	г	б	г	а	в
3	б	в	г	б	а	г	б	г	г	а
4	г	в	-	-	-	-	-	-	-	-

4.10. Відповіді на запитання тестового контролю

Десятки	Одиниці									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	а	б	б	в	г	а	г	а	б
1	а	г	в	в	г	г	б	в	г	а
2	в	а	-	-	-	-	-	-	-	-

Модуль 2

1.10. Відповіді на запитання тестового контролю

Десятки	Одиниці									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	а	б	а	в	б	г	а	б	б
1	б	а	г	б	г	в	в	г	а	б

2.10. Відповіді на запитання тестового контролю

Десятки	Одиниці									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	а	а	в	б	а	в	б	в	а
1	в	б	а	б	а	г	в	а	в	а
2	а	г	а	в	-	-	-	-	-	-

3.10. Відповіді на запитання тестового контролю

Десятки	Одиниці									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	в	б	а	б	в	а	а	г	б
1	г	в	б	г	в	г	в	а	б	в

4.10. Відповіді на запитання тестового контролю

Десятки	Одиниці									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	г	г	а	в	г	а	б	а	б
1	в	в	а	г	в	б	а	а	б	б
2	в	а	б	а	в	а	г	а	а	г
3	а	г	б	в	а	б	а	-	-	-

Модуль 3
1.10. Відповіді на запитання тестового контролю

Десятки	Одиниці									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	в	б	г	а	в	б	б	а	г
1	а	в	б	в	а	б	г	б	а	в
2	б	а	б	а	а	б	г	б	б	в
3	в	б	б	б	г	б	в	а	г	а

2.10. Відповіді на запитання тестового контролю

Десятки	Одиниці									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	б	г	а	г	а	б	в	б	а
1	б	а	а	б	б	б	в	в	б	б
2	в	а	в	в	б	в	г	б	б	г
3	г	б	а	б	в	в	г	г	а	а

3.10. Відповіді на запитання тестового контролю

Десятки	Одиниці									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	а	г	б	г	г	а	в	г	б
1	г	б	г	а	б	г	б	б	а	в
2	б	в	в	б	а	в	г	б	в	в
3	б	а	б	г	б	г	-	-	-	-

Модуль 4
1.10. Відповіді на запитання тестового контролю

Десятки	Одиниці									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	г	б	в	а	а	б	а	а	г
1	б	а	в	в	б	а	в	г	г	б
2	г	б	б	г	г	в	г	в	г	а
3	б	г	а	в	в	-	-	-	-	-

2.10. Відповіді на запитання тестового контролю

Десятки	Одиниці									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	–	б	в	г	а	б	а	в	а	б
1	в	а	а	а	а	г	а	а	а	г
2	а	в	г	а	в	а	а	в	а	а
3	а	г	а	б	а	в	г	г	а	в
4	а	а	б	а	а	б	а	г	а	в

3.10. Відповіді на запитання тестового контролю

Десятки	Одиниці									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	–	а	б	а	а	б	в	а	а	б
1	а	а	а	г	а	в	б	а	г	а
2	а	г	г	в	б	г	а	а	а	б
3	а	в	г	г	б	а	б	в	б	а

Модуль 5

1.10. Відповіді на запитання тестового контролю

Десятки	Одиниці									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	–	г	а	б	а	а	в	в	г	г
1	в	г	г	г	г	в	г	б	а	б
2	г	г	б	г	а	а	г	б	а	в
3	а	а	б	б	в	а	г	г	б	в
4	б	а	б	в	б	б	а	г	–	–

2.10. Відповіді на запитання тестового контролю

Десятки	Одиниці									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	–	в	а	а	а	б	г	в	а	б
1	б	а	б	а	б	в	г	а	б	г
2	а	б	г	а	а	а	в	б	а	г
3	б	б	а	в	г	а	б	г	б	в
4	г	а	а	г	–	–	–	–	–	–

3.10. Відповіді на запитання тестового контролю

Десятки	Одиниці									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	а	г	а	г	б	б	б	а	в
1	г	в	г	б	б	а	г	г	а	г
2	в	а	г	г	б	г	г	в	г	в
3	г	б	г	б	в	а	в	б	-	-

4.10. Відповіді на запитання тестового контролю

Десятки	Одиниці									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	б	а	г	г	а	г	в	а	г
1	б	б	г	г	в	г	в	г	б	г
2	б	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Навчальне видання

Петро Плахтій

,
()

Навчальний посібник

*Керівник видавничих проектів О. С. Прокопчук
Відповідальний редактор Г. Д. Наваліхін
Коректор О. С. Крутенко
Технічне редагування В. Л. Тарнавський
Дизайн обкладинки К. Р. Іщенко
Верстка О. Д. Ломарьов*

Формат 60×84/16. Підписано до друку _____
Друк офсетний. Папір офсетний. Гарнітура Таймс.
Наклад 1000 прим.

ТОВ «Видавничий дім «Професіонал»
Тел./факс (8-044) 451-45-66 (багатоканальний)
e-mail: vdbook@profi-book.kiev.ua,
ruslan@profi-book.kiev.ua
www.profi-book.kiev.ua

*Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготівників
і розповсюджувачів видавничої продукції
серія ДК № 1533*