

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
Кам'янець-Подільський національний університет  
імені Івана Огієнка

**Плахтій П.Д.,  
Плахтій Д.П.**

**ФІЗІОЛОГІЯ ЛЮДИНИ. ОБМІН  
РЕЧОВИН ТА ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
М'ЯЗОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ  
в запитаннях, завданнях і відповідях**

*Навчальний посібник*

м. Кам'янець-Подільський  
ПП «Медобори-2006»  
2013

УДК 612.766:796+371.73

ББК 28.903.7+74.200.84

П 37

*Рецензенти:*

*М.С. Гончаренко* – доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри валеології ХНУ імені В.Н. Каразіна;

*С.П. Польова* – доктор медичних наук, професор Одеського національного медичного університету

**Плахтій П. Д.**

**П 37** Фізіологія людини. Обмін речовин та енергозабезпечення м'язової діяльності в запитаннях, завданнях і відповідях : Навчальний посібник / П.Д. Плахтій, Д.П. Плахтій. – Кам'янець-Подільський : ПП «Медобори-2006», 2013. – 464 с.

ISBN 978-617-681-011-7

У посібнику у вигляді відповідей на ситуаційні запитання і завдання розкриваються фізіологічні механізми перебігу процесів обміну речовин і енергії в організмі людини. Окремо, і в той же час в тісному взаємозв'язку з руховою активністю і механізмами енергозабезпечення м'язової діяльності, розглядаються питання фізіології травлення, обміну білків, жирів, вуглеводів, води, мінеральних солей, теплообміну і виділення.

Для студентів закладів освіти III-IV рівнів акредитації, галузі знань Фізичне виховання, спорт і здоров'я людини, Біологічні науки, Природничі науки, вчителів біології і основ здоров'я, учнів спецшкіл із поглибленим вивченням біології.

УДК 612.766:796+371.73

ББК 28.903.7+74.200.84

*Друкується згідно ухвали вченої ради  
Кам'янець-Подільського національного університету  
імені Івана Огієнка  
(протокол № 13 від 27 грудня 2012 р.)*

ISBN 978-617-681-011-7

© Плахтій П. Д., 2013

© Плахтій Д. П., 2013

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	7
<b>СПИСОК СКОРОЧЕНЬ</b> .....	9

### **РОЗДІЛ I. ФІЗІОЛОГІЯ М'ЯЗІВ** .....

#### **Тема 1. Морфофункціональні особливості м'язової тканини.**

<b>Обмін речовин у м'язах</b> .....	12
1.1. Рухова активність – обов'язкова умова збільшення обсягу функціональних резервів організму людини .....	12
1.2. Морфофункціональні особливості м'язової тканини .....	18
1.3. Хімічний склад скелетних м'язів .....	28
1.4. Фізіологічна характеристика рухових одиниць м'язів .....	36
1.5. Нервово-м'язовий синапс .....	43
1.6. Обмін речовин у м'язовій тканині .....	45

#### **Тема 2. Механізм і енергетика м'язового скорочення** .....

2.1. Сучасні уявлення механізму м'язового скорочення .....	49
2.2. Енергетика м'язового скорочення .....	53
2.3. Робоча гіпертрофія м'язів .....	58
2.4. Фізіологічні механізми впливу різного рівня рухової активності на здоров'я людини .....	61

#### **Тема 3. Форми, типи і режими м'язових скорочень.**

<b>Ефективність роботи м'язів</b> .....	67
3.1. Форми і типи м'язових скорочень .....	67
3.2. Режими скорочення м'язових волокон. Міотонометрія .....	70
3.3. Робота м'язів і її механічна ефективність .....	76
3.4. Силові якості м'язів .....	81

### **РОЗДІЛ II. ФІЗІОЛОГІЯ СИСТЕМИ ТРАВЛЕННЯ** .....

2.1. Структурно-функціональна організація травної системи .....	87
2.2. Травлення в ротовій порожнині .....	97

2.3. Травлення в шлунку.....	102
2.4. Травлення в тонких і товстих кишках.....	113
2.5. Всмоктування продуктів травлення.....	126

<b>РОЗДІЛ ІІІ. ОБМІН РЕЧОВИН ТА ЕНЕРГІЇ.....</b>	<b>141</b>
3.1. Обмін білків.....	143
3.2. Обмін вуглеводів.....	155
3.3. Обмін ліпідів.....	162
3.4. Обмін води і мінеральних солей.....	169
3.5. Обмін енергії.....	180

<b>РОЗДІЛ ІV. ФІЗІОЛОГІЯ ТЕПЛООБМІНУ.....</b>	<b>192</b>
4.1. Температура ядра і оболонки тіла.....	192
4.2. Фізіологічні механізми підтримання температурного гомеостазу.....	201
4.3. Фізіологічні механізми нейрогуморальної регуляції теплообміну.....	208
4.4. Загартування людини.....	218

<b>РОЗДІЛ V. ФІЗІОЛОГІЯ СИСТЕМИ ВИДІЛЕННЯ.....</b>	<b>227</b>
5.1. Особливості будови і функції нирок.....	227
5.2. Фізіологічні механізми утворення сечі.....	234
5.3. Регуляція процесів сечоутворення і сечовиведення.....	241
5.4. Видільна функція шкіри.....	247
5.5. Водно-сольовий баланс і питний режим людини в умовах фізичних і теплових навантажень.....	254

<b>Розділ VI. ФІЗІОЛОГІЯ СИСТЕМИ КРОВІ.....</b>	<b>259</b>
---	------------

<b>Тема 1. Фізико-хімічні властивості плазми і формених елементів крові.....</b>	<b>259</b>
1.1. Поняття про внутрішнє середовище організму і його постійність. Функції крові.....	259
1.2. Функціональна характеристика еритроцитів і гемоглобіну. Зміни кисневої ємності крові при фізичних навантаженнях....	268
1.3. Функціональна характеристика лейкоцитів і тромбоцитів. Регуляція функцій системи крові.....	277

1.4. Особливості змін складу і фізико-хімічних властивостей крові в умовах виконання фізичної роботи.....	286
---	-----

**Тема 2. Захисна функція крові та її антигенні властивості.....** 289

2.1. Специфічні і неспецифічні механізми захисту організму від збудників інфекційних захворювань.....	289
2.2. Фізіологічні механізми згортання крові .....	300
2.3. Групи крові та їх успадкування. Резус-фактор .....	305

**Розділ VII. ФІЗІОЛОГІЯ СИСТЕМИ ДИХАННЯ .....** 314

**Тема 1. Газообмін між легеньми і довкіллям .....** 314

1.1. Поняття про дихання, його значення в підтриманні основних процесів життєдіяльності організму .....	314
1.2. Зовнішнє дихання та основні критерії його ефективності при виконанні фізичної роботи .....	324
1.3. Легенева вентиляція та її ефективність. Альвеолярна вентиляція .....	335

**Тема 2. Споживання кисню організмом в стані спокою і в умовах виконання фізичної роботи.....** 339

2.1. Газообмін між альвеолярним повітрям і кров'ю капілярів легень. Дифузійна спроможність легень .....	339
2.2. Транспортування дихальних газів кров'ю. Газообмін між кров'ю капілярів і тканинами. Коефіцієнт використання кисню.....	343
2.3. Показники досконалості механізмів аеробного й анаеробного енергозабезпечення діяльності людини .....	348

**Тема 3. Резерви функціональних можливостей системи дихання в умовах фізичних навантажень, пониженого і підвищеного атмосферних тисків.....** 353

3.1. Регуляція дихання. Довільні режими зовнішнього дихання спортсменів.....	353
3.2. Фізіологічні механізми киснезабезпечення в умовах пониженого і підвищеного атмосферних тисків.....	363
3.3. Фізіологічні механізми киснезабезпечення в умовах фізичних навантажень .....	371

<b>Розділ VIII. ФІЗІОЛОГІЯ СИСТЕМИ КРОВООБІГУ</b> .....	375
<b>Тема 1. Фізіологічні властивості серцевого м'яза</b>	
<b>і показники роботи серця</b> .....	376
1.1. Анатомо-фізіологічні особливості серця. Серцевий цикл.....	376
1.2. Фізіологічні властивості серцевого м'яза.	
Зовнішні прояви серцевих скорочень .....	383
1.3. Прямі і непрямі показники роботи серця .....	394
<b>Тема 2. Рух крові в кровоносних і лімфатичних судинах.</b>	
<b>Механізми регуляції системи крово- і лімфообігу</b> .....	402
2.1. Морфофункціональна характеристика кровоносних судин.	
Основні принципи гемодинаміки .....	402
2.2. Тиск крові в кровоносних судинах. Ортостатичні реакції.....	410
2.3. Кровообіг і обмін речовин в капілярах. Рух крові у венах	
і лімфатичних судинах .....	419
2.4. Механізми нейрогуморальної регуляції функціонального	
стану серця і кровоносних судин .....	428
<b>Тема 3. Функціональні ефекти адаптації системи кровообігу до</b>	
<b>фізичних навантажень та інших стресових подразників</b> ... ..	441
3.1. Показники функціонального стану системи кровообігу	
людини в стані спокою та в умовах виконання дозованих	
фізичних навантажень .....	441
3.2. Зміни функціонального стану системи кровообігу,	
спричинені виконанням максимальних динамічних	
і статичних навантажень .....	449
3.3. Вікові особливості системи кровообігу. Зміни	
функціонального стану серцево-судинної системи	
у школярів і студентів в умовах емоційного стресу.....	456
<b>ЛІТЕРАТУРА</b> .....	461

## **ВСТУП**

Фізіологія людини – одна з найбільш важливих дисциплін у циклі біологічних наук. Знання її основних положень необхідне для наукового обґрунтування інших дисциплін, тісно пов'язаних з практичною діяльністю вчителя біології і фізичного виховання, зокрема таких як валеологія, безпека життєдіяльності, теорія і методика фізичної культури, основи здоров'я. Усе це зумовило необхідність збагачення новими даними змісту і деякої перебудови курсу фізіології людини для студентів факультетів біології і фізичної культури ВНЗ.

У посібнику висвітлені основні теоретичні положення сучасної фізіологічної науки та матеріали власних досліджень автора з питань киснезабезпечуючих систем – крові, кровообігу та дихання. Особлива увага акцентується на ситуаційних запитаннях і завданнях оздоровчої спрямованості.

Корисність книги значно зростає у зв'язку з переходом на Болонську систему освіти, в якій особлива увага приділяється самостійній роботі студентів. Ряд теоретичних положень фізіології киснезабезпечуючих систем розглядаються з точки зору їх використання у практичній діяльності вчителя біології та фізичної культури – в контексті пріоритетної орієнтації школярів на ведення здорового способу життя.

При формулюванні запитань і завдань та відповідей на них, особлива увага приділена формуванню у студентів професійних навичок:

- кількісної і якісної характеристики фізіологічних реакцій киснезабезпечуючих систем організму;
- визначення обсягу функціональних резервів систем крові, кровообігу і дихання;
- тестування рівня здоров'я, фізичного розвитку та функціональної підготовленості людини за показниками киснезабезпечуючих систем;
- оцінки впливу чинників довкілля і фізичних вправ на функціональний стан киснезабезпечуючих систем і здоров'я людини.

Посібник побудований за структурою модульного викладу – у вигляді запитань, завдань і відповідей на них. Він може бути використаний для самоконтролю після вивчення матеріалу звичайного типу

посібників. З цією метою прочитавши запитання (ознайомившись з умовою задачі), постарайтеся спочатку самостійно на нього відповісти, а тоді перевірити вірність відповіді.

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 наукового обґрунтування ортобіотичності життя, профілактики і лікування захворювань, пошуку ефективних реабілітаційних заходів.

Перебіг усіх без винятку процесів життєдіяльності організму проходить в тісному і нерозривному взаємозв'язку з процесами обміну речовин та енергії. Тому дослідження енергетичного обміну і процесів енергозабезпечення діяльності є обов'язковою передумовою оцінки функціонального стану органів і систем організму, – використання відповідних теоретичних положень в практичній діяльності людини. Так, співвідношення енергії, що надходить з їжею, до тієї, яка виділяється в довкілля (енергетичний баланс) використовується для розрахунків харчових раціонів людини; показники енерговитрат працівників різних професій та спортсменів враховуються при організації трудових процесів і фізичних тренувань; показники енерговитрат людей, які знаходяться в умовах постійно змінних зовнішніх температур, використовуються для розробки профілактичних заходів, направлених на підтримання температурного гомеостазу організму та його загартування; резерви систем киснезабезпечення є об'єктивним непрямим показником рівня здоров'я людини.

Посібник адресований студентам закладів освіти III-IV рівнів акредитації, які вивчають курси «Фізіологія людини», «Фізіологія людини і тварин», вчителів біології і основ здоров'я, учнів спецшкіл із поглибленим вивченням біології.

Матеріал посібника може бути використаний студентами у їх підготовці до участі у внутрішньовузівських, обласних, всеукраїнських і міжнародних конкурсах (олімпіадах) із загальної фізіології, фізіології людини і тварин.



## **СПИСОК СКОРОЧЕНЬ**

А	адреналін
ААГ	альвеолярно-артеріальний градієнт
АВГ	альвеолярно-венозний градієнт
АДГ	антидіуретичний гормон
АДФ	аденозиндифосфат
АКТГ	адренокортикотропний гормон
АМФ	аденозинмонофосфат
АР	адренорецептор
АТ	артеріальний тиск крові
АТФ	аденозинтрифосфат
АТФ-аза	аденозинтрифосфатаза
АХ	ацетилхолін
БР	безумовний рефлекс
ВНС	вегетативна нервова система
ГАМК	гамма-аміномасляна кислота
ГЕБ	гематоенцефалічний бар'єр
ГКК	глюкокортикоїди
ГПСП	гальмівний постсинаптичний потенціал
ГСТк	гідростатичний тиск крові
ГСТт	гідростатичний тиск тканинної (міжклітинної) рідини
Гт	гіпоталамус
Гф	гіпофіз
ДК	дихальний коефіцієнт
Дм	довгасти мозок
ДНК	дезоксирибонуклеїнова кислота
ДО	дихальний обсяг
ДСЛ	дифузійна спроможність легень
ДЦ	дихальний цикл
ЕДО	ефективний дихальний обсяг
ЕКГ	електрокардіограма
ЕМГ	електроміограма
ЕФТ	ефективний фільтраційний тиск
ЖЄЛ	життєва ємність легень

ЖП	життєвий показник
ЗЄЛ	загальна ємність легень
ЗПСП	збудливий постсинаптичний потенціал
Ін	інсулін
КБ	кисневий борг
КВО <sub>2</sub>	коефіцієнт використання О <sub>2</sub>
КВП	кора великих півкуль
КЕО <sub>2</sub>	калоричний еквівалент кисню
КЄК	киснева ємність крові
ККФ	коефіцієнт капілярної фільтрації
КОР	кисотно-основна рівновага
КФ	креатинфосфат
ЛГ	лютеостимулюючий гормон
М	моль
МВЛ	максимальна вентиляція легень
МГ	мікроциркулярний гемостаз
МП	мембранний потенціал
МР	механічна робота
МСпО <sub>2</sub>	максимальне споживання кисню
НА	норадреналін
НЖЄЛ	належна життєва ємність легень
ННЗ	наднирникові залози
НФР	неспецифічна фізіологічна резистентність
ОО	основний обмін
ОЦК	об'єм циркулюючої крові
ПГ	паратгормон
ПД	потенціал дії
ПЗ	підшлункова залоза
ПКП	потенціал кінцевої пластинки
ППТ	площа поверхні тіла
ПТ	парціальний тиск
РНК	рибонуклеїнова кислота
РО	рухова одиниця
РОВд	резервний обсяг вдиху
РОВид	резервний обсяг видиху
РП	рецепторний потенціал

РФ	ретикулярна формація
СГ	статеві гормони
СЗ	статеві залози
СІ	серцевий індекс
СМР	спинномозкова рідина
СОК	систоличний об'єм крові
СпО <sub>2</sub>	споживання кисню
СР	саркоплазматичний ретикулум
СТГ (ГР)	соматотропний гормон (гормон росту)
Сц	серце
T <sub>3</sub>	трийодтиронін
T <sub>4</sub>	тетрайодтиронін
ТРГ	тиреотропний рилізінг гормон
ТСЦ	тривалість серцевого циклу
ТТГ	тиреотропний гормон
УОК	ударний об'єм крові
УР	умовний рефлекс
ЧЗ	чинник згортання
ФСГ	фолікулостимулюючий гормон
ХГ	хоріонічний гормон
ХЕ	холінестераза
ХКЗ	хвилинний кисневий запит
ХОД	хвилинний об'єм дихання
ХОК	хвилинний об'єм кровотоку
ХР	холінорецептор
ХЦК-ПЗ	холецистокінін-панкреозимін
ЦНС	центральна нервова система
ЧД	частота дихання
ЧП	частота пульсу
ЧСС	частота серцевих скорочень
ШКТ	шлунково-кишковий тракт
ЩЗ	щитоподібна залоза
Нб	гемоглобін

## РОЗДІЛ І. ФІЗІОЛОГІЯ М'ЯЗІВ

### ТЕМА 1. МОРФОФУНКЦІОНАЛЬНІ ОСОБЛИВОСТІ М'ЯЗОВОЇ ТКАНИНИ. ОБМІН РЕЧОВИН У М'ЯЗАХ

#### 1.1. РУХОВА АКТИВНІСТЬ – ОBOB'ЯЗKOBA УMOBA ЗБІЛЬШЕННЯ ОБСЯГУ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ РЕЗЕРВІВ ОРГАНІЗМУ ЛЮДИНИ

*1. Як змінюється м'язова тканина в процесі еволюції живих організмів?*

У процесі еволюції живих організмів м'язова тканина все більше диференціюється, а рухи організму стають все більш точними і швидкими. У найпростіших (інфузорії та ін.) в зовнішніх шарах цитоплазми є скоротливі ниткоподібні «міонемии». У багатоклітинних тварин рухи здійснюються за допомогою особливих спеціалізованих клітин. У кишковопорожнинних (гідри, медузи) функцію скорочення виконують епітеліалізовані м'язові клітини – скоротливі волокна. У червів і нижчих молосків більша частина м'язів гладенька, тільки серцевий м'яз і невелика частина м'язів тіла поперечносмугасті; у головоногих молосків майже всі м'язи поперечносмугасті. В членистоногих поперечносмугасті м'язи кріпляться до хітинового скелету і складаються з окремих м'язів. У хордових, починаючи з ланцетника, спостерігається чіткий поділ м'язів на поперечносмугасті, які здійснюють рухи тіла, і гладенькі м'язи внутрішніх органів, які забезпечують тривалі тонічні напруження. Поява поперечносмугастих м'язів дала можливість тваринам пересуватись більш координовано і швидко.

У процесі еволюційного розвитку та ускладнення рухової функції у хребетних з'являються все нові м'язи і групи м'язів, які виконують нові рухи, забезпечуючи можливість ефективного пристосування до постійно змінних умов довкілля.

Розвиток поперечносмугастих (скелетних) м'язів у філогенезі є відображенням переходу кількісних змін в якісні: формування в

червів і моллюсків поперечносмугастих м'язів серця відбувалося з гладенької м'язової тканини кровоносних судин. Ця діалектична закономірність виявляється і щодо розвитку скелетної мускулатури: на основі кількісних змін в м'язах (накопичення маси), спричинених систематичними тренуваннями, відбувається подальший розвиток сили, пружкості, витривалості та інших рухових здібностей.

### ***2. У чому полягає важливість зв'язків м'язової системи з нервовою і ендокринною системами?***

Нормальне функціонування та вдосконалення м'язової системи можливе лише за умови наявності тісних зв'язків з нервовою і ендокринною системами. Такі взаємозв'язки є необхідною передумовою підтримання сталості внутрішнього середовища як обов'язкової умови «комфортного» життя індивіду в постійно змінному довкіллі. Порушення вказаного взаємозв'язку викликане гіподинамією, призводить до дискоординації функцій опорно-рухового апарату й інших систем організму, спричиняє розвиток атеросклерозу судин неврозів, інфарктів тощо.

### ***3. Які є способи (форми) пристосування живих організмів до постійно змінних умов довкілля?***

Існує три основних способи (форми) пристосувань живих організмів до постійно змінних умов довкілля. Першою, найбільш простою формою адаптації є здатність організмів в несприятливих умовах (при виражених змінах внутрішнього середовища) переходити на максимально низький рівень обміну речовин (*гiнобіоз*). Цей спосіб пристосувань характерний для мікроорганізмів (спороутворення) і частково хребетних тварин (низька активність пойкилотермних організмів взимку, зимова сплячка ведмедів тощо). Здатність організмів до гіпобіозу використовується в медицині для тривалого зберігання сперматозоїдів, яйцеклітин, окремих тканин і органів.

Другою формою пристосувань є пошуки найсприятливіших для підтримання гомеостазу умов існування. Ця форма пристосувань реалізується через здатність тварин до переміщення в просторі. Роз-

різняють пасивне (водою, вітром), активне (осінні перельоти птахів) і змішане переміщення тварин у просторі – весняні активно-пасивні переміщення гірських жаб з гір в долини за допомогою гірських потоків тощо.

#### **4. Який спосіб підтримання гомеостазу найбільш характерний для людини?**

Для людини, на відміну від тварин, найбільш характерним способом підтримання сталості внутрішнього середовища є **спосіб активного пристосування**. Активно діючи на навколишній світ, людина навчилася пристосовувати його для своїх гомеостатичних потреб. При цьому трудова діяльність людини стала прямим наслідком і причиною подальшого вдосконалення її рухової активності. За таких умов рух є не просто засобом переміщення в просторі, а й визначальним чинником реалізації всіх форм трудової, творчої і перетворюючої діяльності. Тому цей спосіб пристосування називається способом **активного перетворення**. На жаль, надмірно активне перетворення природи, спричинене високими темпами інтенсифікації виробництва, особливо в теперішній час, все частіше приносить шкоду здоров'ю людини: забруднення повітря, води, їжі, недостатність загартованості, високі темпи життя тощо, зумовлюючи зниження імунної реактивності організму і нервову перенапруженість, сприяють розвитку неінфекційних захворювань – хвороб цивілізації (інфарктів, інсультів, неврозів тощо).

#### **5. Чим відрізняється фізично натренована людина від ненатренованої? Поняття функціональних резервів.**

Загальновідомо, що в умовах оптимального емоційного збудження людина може виконати значно більший обсяг роботи, ніж в умовах відсутності вольового зосередження. Значно більші можливості мобілізації функцій має фізично натренований організм в порівнянні з ненатренованим. Таким чином, резервні можливості організму зростають в процесі систематичних фізичних тренувань; зростають вони і в умовах тривалої дії будь-яких інших несприятливих чинників довкілля: тепла, холоду, атмосферного тиску тощо.

Фізично натренована людина відрізняється від ненаренованої не лише за обсягом фізіологічних резервів, а і за будовою тіла, розвитком м'язової і кісткової тканин, міцністю і рухливістю зв'язок та суглобів. Виходячи з цього, всі резерви організму людини умовно поділяють на функціональні і морфологічні (А.С. Мозжухін). До складу **функціональних резервів** входять резерви біологічні (біохімічні та фізіологічні) і соціальні (психічні та професійно-технічні).

**Психічні резерви**, пов'язані з пусковими (оцінки значимості сигналів до діяльності) і корегуючими (вольові зусилля) механізмами мобілізації функцій. **Професійно-технічні резерви** визначаються наявністю рухових і тактичних навичок, спроможністю до їх вдосконалення, ефективністю формування нових навичок на базі старих. **Біохімічні резерви** лежать в основі ефективності енергозабезпечення діяльності та швидкості відновлення енергоресурсів.

#### **6. Що таке фізіологічні резерви організму людини?**

**Фізіологічні резерви** пов'язані з інтенсивністю і тривалістю роботи окремих клітин (нервових, м'язових тощо), органів (серця, легень, нирок тощо), систем органів (кардіореспіраторної, видільної тощо), з досконалістю механізмів нейрогуморальної регуляції функцій. При цьому фізіологічні резерви клітин переважно забезпечують адаптацію до тривалої дії тих чи інших зовнішніх чинників; резерви органів і систем органів обумовлюють безпосередній перехід організму від спокою до діяльності; резерви регуляторних систем забезпечують узгоджені зміни функцій вегетативних і анімальних систем для досягнення найбільшого пристосувального ефекту – розвитку високого рівня дієздатності (фізичної або розумової підготовленості).

#### **7. Чи завжди високий рівень фізіологічних резервів позитивно корелює з високою працездатністю людини?**

Фізіологічні системи в організмі взаємопов'язані і входять до складу функціональних систем, які зумовлюють вирішення конкретних завдань і досягнення певної мети. Проте, хоч фізіологічні резерви є основною складовою функціональних резервів і сприяють

досягненню високої працездатності, вони не гарантують її. Адже висока працездатність є результатом мобілізації усіх видів резервів.

**8. Що означають терміни «кількість здоров'я», «коефіцієнт резерву»?**

Для об'єктивної оцінки рівня резервів організму людини академік М.М. Амосов 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).

**Таблиця 1.1**

**Фізіологічні резерви кардіореспіраторної системи**

Функціональні показники	Стан спокою	При максимальному навантаженні	Коефіцієнт резерву
Частота серцевих скорочень, ск/хв	60-70	260	4
Систолічний обсяг крові, мл	50-80	150	2,5
Хвилинний обсяг кровообігу, л/хв	3,0-5,0	35	8
Частота дихання, дих. цикл/хв	10-16	90	7
Дихальний обсяг, мл	400-800	2500	4
Хвилинний обсяг дихання, л/хв	5,0-12,0	220	30
Киснева ємність крові, об%	17-19	23	1,3
Споживання кисню, л/хв	0,25	6	24

**9. Як змінюється інтенсивність кровообігу окремих органів і тканин в умовах фізичних навантажень?**

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).



Таблиця 1.2

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

	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

**10. Що є основною умовою збільшення обсягу фізіологічних резервів організму людини?**

Основною умовою збільшення обсягу фізіологічних резервів організму людини є систематичні фізичні тренування і загартовування. Посилюючи компенсаторні механізми адаптації, викликані ними, функціональні зміни в організмі формують якісно новий структурний слід в системі (Ф.З. Меєрсон). 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 адаптації, а отже і працездатності.

**11. Яким чином відбувається мобілізація фізіологічних резервів в умовах максимально напруженої роботи?**

Мобілізація фізіологічних резервів при виконанні будь-якої відбувається завдяки активізації систем нервової і гуморальної регу-

ляції функцій. Механізмом термінової мобілізації резервів є емоції і вольові зусилля. Їх направлено до вдосконалення можна досягти систематичним аутогенним тренуванням. Для швидкого збільшення обсягу фізіологічних резервів, що визначають ефективний розвиток рухових здібностей, використовують різноманітні фармакологічні засоби.

## 1.2. МОРФОФУНКЦІОНАЛЬНІ ОСОБЛИВОСТІ М'ЯЗОВОЇ ТКАНИНИ

### 12. З чого складається руховий апарат і скелетний м'яз людини?

Рухова активність є основою усіх пристосувальних реакцій людини і тварин до змін зовнішнього середовища. Систему органів і тканин, що виконують функцію руху, називають **руховим апаратом**. Він складається з кісток скелету, з'єднаних між собою суглобами і зв'язками, скелетних (поперечносмугастих) м'язів, прикріплених до кісток і мотонейронів – нервових клітин, що іннервують м'язові волокна.

До складу скелетних м'язів входить м'язова, нервова і сполучна (зв'язки, сухожилки) 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 – **перімізієм**. **М'язові волокна** – багатоядерні циліндричної форми видовжені поперечносмугасті клітини (рис. 1.1), які мають велику кількість (1 тис. і більше) м'язових ниток – **міофібрил**.

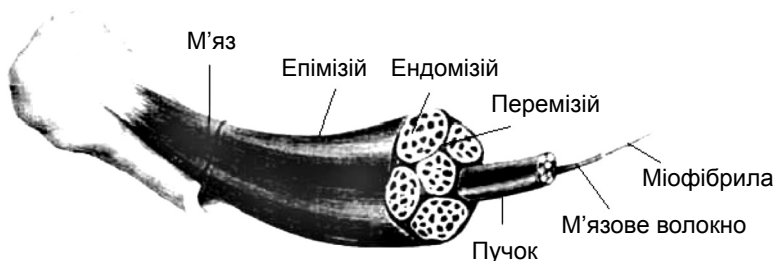


Рис. 1.1. Будова скелетного м'язу

**13. Чи змінюється з віком кількість м'язових волокон у м'язах людини? Нормативна величина маси м'язів середньої людини.**

Товщина окремих м'язових волокон не перевищує 0,1 мм (10-100 мкм), довжина – від декілької міліметрів до 10-12 см. При народженні дитини товщина м'язових волокон становить близько 1/5 товщини волокон дорослих людей. Кількість м'язових волокон в м'язі встановлюється через 4-5 місяців після народження дитини і майже не змінюється з віком.

Загальна маса м'язів в осіб середнього рівня фізичної натренованості близько 30-40% ваги тіла. В організмі людини 327 парних скелетних м'язів і 2 м'язи непарні, 49 м'язів внутрішніх органів і органів відчуття. Діаметр м'язових волокон значно зростає під впливом систематичних фізичних тренувань. М'язи містять 75-80% води, 18% білків, 0,2% жиру, 0,7% глікогену, 0,45% креатинфосфату.

**14. Що таке сарколема, саркоплазма і саркоплазматичний матрикс?**

М'язове волокно покрите тонкою еластичною плазматичною мембраною – **сарколемою** (від грецьк. sarkos – м'ясо), яка з'єднується сполучнотканинними волокнами. Об'єднуючись біля кінців м'язових волокон, сполучнотканинні волокна формують **сухожилки**. З їхньою допомогою м'яз кріпиться до кісток. Сарколема відіграє важливу роль у виникненні і проведенні збудження. В середині м'язового волокна **саркоплазми**, крім типового набору органодів, знаходиться саркоплазматичний матрикс і ретикулум – сітка.

**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 та інші малі молекули та йони, розчинні білки (16,5-21,0%).

**15. Які білки входять до складу м'язів? Їх функції.**

Розрізняють саркоплазматичні (міоген, глобулін, білок-пігмент, міоглобін, міоальбумін, різні ферменти, нуклеопротейди ядер, багаті ДНК) і міофібрилярні (міозин, актин, актоміозин, тропонін, тропомі-

озин, контрактин та ін.) білки. Тропонін і тропоміозин входять до складу актинових протофібрил. Тропонін-тропоміозинова система в умовах відсутності йонів  $\text{Ca}^{2+}$  в стані спокою гальмує змикання поперечних містків з актиновими нитками і блокує АТФ-азну активність міозинових головок.

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 максимально 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 сполученні міофібрилярного білку міозину з актином утворюється скоротливий білок *актоміозин*. Міозин і актоміозин є ферментами АТФ. Ферментативна дія міозину на АТФ активується йонами  $\text{Ca}^{2+}$ .

### ***16. Які морфологічні структури є складовими міофібрил? Просторове розташування міофіламентів.***

У кожному м'язовому волокні 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. 1.2).

Міозинові філаменти утворені 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. 1.3 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, тропоміозину і тропоніну. Актин є основою філаменту. Окремі глобулярні актинові молекули, з'єднуючись, ут-

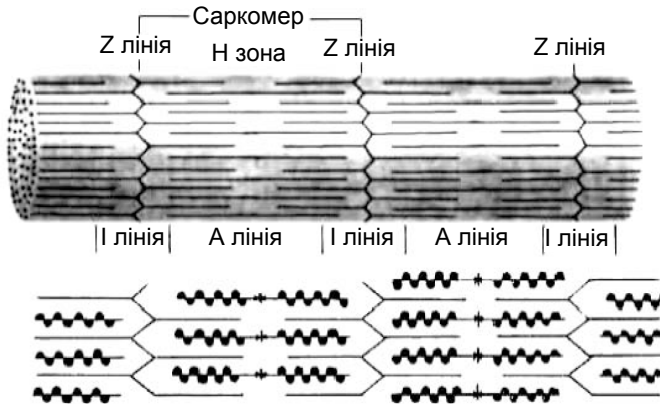


Рис. 1.2. Схема ділянки м'язового волокна скелетного м'язу



Рис. 1.3. Схема просторового розташування міофіламентів:

- а – молекула міозину;
- б – міозиновий філамент;
- в – актиновий філамент, який складається з молекул актину, тропоміозину і тропоніну (за Х. Уілмором і Д. Костіллом)

ворюють 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. 1.3).

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** є основною структурно-функціональною одиницею міофібрили. У саркомерах актинові філаменти розташовані між міозиновими, які мають довгі «хвости» і «головки». Го-

ловки міозинових молекул повернуті в косому напрямі до актинових ниток і мають назву **поперечних містків**.

### **17. Чим зумовлена поперечна посмугованість міофібрил?**

Поперечна посмугованість міофібрил є наслідком чергування ділянок саркомера з сильним і слабким заломленням променів. У тій частині саркомера, де розташовані тільки тонкі нитки (диск-I), заломлення променів невелике. В місцях перекриття товстих і тонких ниток (диск-A) заломлення променів подвійне, а тому вони виглядають темними. В середині диска-A тонких ниток немає – це H-зона, вона світла. Посередині A-диска поперек проходить мембрана – ізофрагма (M), 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.

### **18. З чого складається саркоплазматична сітка? Її функції.**

**Саркоплазматична сітка** (ретикулум) складається з поперечних (Т-трубочок) і поздовжніх трубочок, розташованих між міофібрилами паралельно до них (рис. 1.4). В розширених кінцях поздовжніх трубочок (міхурах) зосереджені йони  $\text{Ca}^{2+}$ . Саме йонам 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.

У 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.

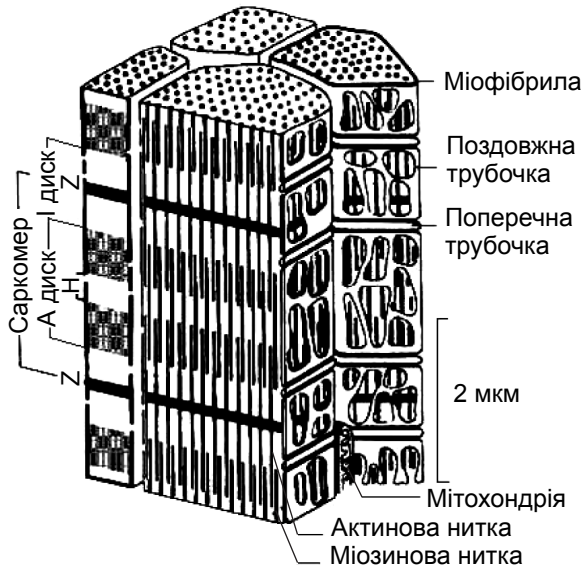


Рис. 1.4. Саркоплазматичний ретикулум м'язового волокна

**19. Які особливості будови характерні для непосмугової м'язової тканини?**

Непосмугована м'язова тканина (**гладенькі м'язи**) входить до складу стінок 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 **тономіозин** (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 мк), діаметр – 5-20 мк.

Розташування скоротливих міофіламентів усередині гладком'язових клітин дещо відрізняється від скелетних. Філаменти згруповані в пучки, які утворюють вузлові ущільнення. Ділянки двох

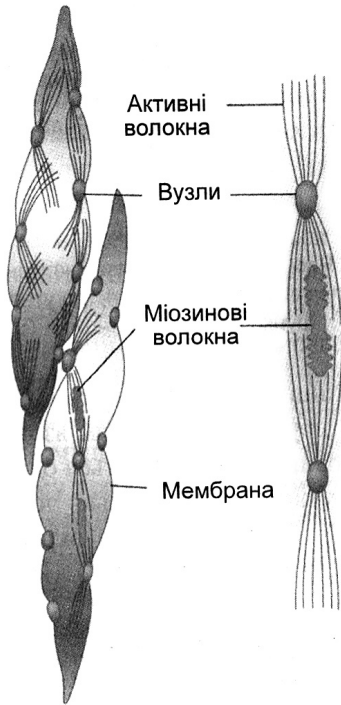


Рис. 1.5. Структурна схема гладком'язових клітин

сусідніх клітин, що прилягають до мембрани, часто співпадають, утворюючи білкову перемичку, яка об'єднує структури цих клітин у **синцитій** (рис. 1.5).

Окрім гладком'язових клітин, що утворюють синцитій, ще виділяють тип клітин, що розташовані окремо (рис. 1.6). Гладком'язові волокна, що лежать окремо, входять до складу структур ока, артерій, сім'яних проток, розташовані навколо волосяних цибулин. В їх мембрані знаходяться колагенові і глікопротеїнові волокна. Подібно до скелетних м'язів гладком'язові волокна іннервуються симпатичними нервами.

## 20. Які властивості характерні для гладеньких м'язів?

Гладенькі м'язи менш збудливі, ніж поперечносмугасті, вони мають більш тривалий рефрактерний період і невелику швидкість поширення нервового імпульсу (2-15 см/с). Збудження по непосмугованих м'язах може вільно передаватися з одного волокна на інше. Ці та інші морфологічні особливості гладеньких м'язів зумовлюють ряд відмінних ознак їх функціонування (табл. 1.3).

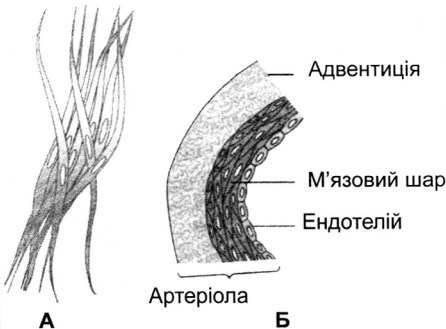


Рис. 1.6. Гладком'язові клітини, що лежать окремо (А), і ті, що утворюють функціональний синцитій (Б)



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

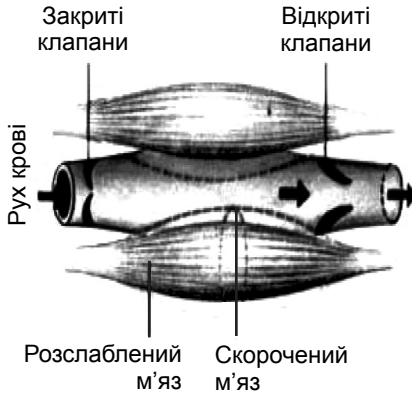
Скорочення непосмугованих м'язів відбувається більш повільно і тривало (*енергоекономне тонічне скорочення*). Упродовж всього життя людини в тонусі знаходяться м'язи стінок кровоносних і лімфатичних судин, тривалий період часу в тонусі перебувають гладенькі м'язи сфінктерів травного каналу, сечового 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.

Для гладеньких м'язів характерна *автоматія*. Їх походження зумовлене 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.

## 21. Які функції виконують м'язи?

**Функції м'язів:** опорно-рухова, інтерорецептивна, депонуюча (глікоген, водносолеві розчини), теплотворна, помпувальна (нагнітально-присмоктувальна). Скелетні м'язи, як і серцевий м'яз, здатні виконувати роль потужної, постійно діючої присмоктувально-нагнітальної помпи крові та лімфи.



*Рис. 1.7. Вплив м'язового скорочення на венозний кровообіг*

не лише в умовах фізичних навантажень, а й у стані спокою, що зумовлено постійною мікровібрацією м'язових волокон.

## 22. У чому полягає присмоктувально-помпувальна функція серцевого м'яза?

Активна внутрішньоорганна присмоктувально-помпувальна функція притаманна не лише поперечносмугастим скелетним м'язам, а й серцевому м'язу (наявність в серці функціонуючого додаткового «серця»). Таким чином, серцевий м'яз одночасно виконує дві помпувальні функції: перша забезпечує нагнітання крові в судини малого і великого кіл кровообігу, друга – зумовлює рух крові у власних судинах (присмоктує артеріальну кров, проштовхує її по мікроциркулярному руслу і нагнітає у венозні судини та порожнини серця).

Для виконання своєї нагнітальної функції по перекачуванню крові і лімфи серцевий м'яз мав би бути в 40 разів потужнішим, ніж є. Допомогають серцю рухати кров по судинах поперечносмугасті скелетні м'язи – «внутрішньом'язові периферійні серця» (М.І. Арінчин, Г.Д. Медвецька та ін.). Особливо виразний вплив м'язових скорочень на венозний кровообіг (рис. 1.7).

«Внутрішньом'язові периферійні серця» функціонують

**23. Як змінюється ефективність помпувальної функції серця і скелетних м'язів з віком?**

Ефективність внутрішньоорганної помпувальної функції серця і скелетних м'язів не однакова в різні вікові періоди. Поступово дозріваючи з моменту народження дитини, внутрішньом'язові серця найбільш ефективно функціонують в зрілому віці. У чоловіків ефективність помпувальної функції скелетних м'язів більш висока, ніж у жінок. В процесі старіння людини, а особливо в осіб, які ведуть малорухливий спосіб життя, ця функція поперечносмугастих м'язів згасає.

Гемодинамографічні дослідження роботи скелетних м'язів у школярів показали, що лише у 50% з числа обстежених дітей підготовчих і перших класів периферійні м'язові серця проявляють активність, у інших вони недорозвинуті (М.І. Арінчин).

Найбільш високі показники роботи периферійних м'язових pomp характерні для спортсменів витривалих видів спорту (Г.Д. Медведька). Таким чином, довільно регулюючи інтенсивність та обсяг рухової активності, можна направлено змінювати ефективність помпувальної функції скелетних м'язів, а отже, керувати центральним та периферійним кровообігом.

**24. Вкажіть на можливості використання природної мікрівібрації скелетних м'язів у практиці ЛФК.**

Факт наявної природної мікрівібрації скелетних м'язів використовується в пошуках методів електричної та біомеханічної стимуляції скелетних м'язів. Біомеханічна стимуляція працюючих м'язів з частотою, близькою до частоти природної мікрівібрації м'язів, сприяє більш швидкому зростанню сили, покращує рухливість в суглобах. Метод біомеханічної стимуляції успішно використовується і з метою відновлення рухової активності після перенесених операцій (травм). Висока ефективність використання біомеханічних тренажерів в практиці опанування новими руховими навичками зумовлена покращенням крово- і лімфообігу в м'язах під впливом потужного зростання їх помпувальної функції.

### 1.3. ХІМІЧНИЙ СКЛАД СКЕЛЕТНИХ М'ЯЗІВ

#### 25. Який хімічний склад м'язів?

Хімічний склад м'язів вивчається не в окремо взятих її мікроскопічних елементах, а в загальній масі. Для повного уявлення про складові частини м'язових волокон враховують вміст в м'язі білків сполучної тканини.

У скелетних м'язах теплокровних тварин міститься 75-80% води і 20-25% сухого залишку. В м'язах холоднокровних тварин води дещо більше, – 80-82%.

У працюючому до втоми м'язі вміст води зростає до 80-83%. Причиною цього є значне утруднення відтоку крові від напруженого м'яза. Вміст води в м'язах, як і в організмі в цілому, залежить від віку людини (тварини). Чим молодший організм, тим більше в його м'язах води.

Близько 22% сухого залишку м'язів складають білки. Крім них, в м'язах є азотисті небілкові речовини, неорганічні солі.

#### 26. Які білки входять до складу саркоплазми м'язового волокна?

Білки м'язової тканини поділяють на три групи: **білки саркоплазми, білки міофібрил, білки м'язової стромы**. До білків саркоплазми належать міоген, міоглобін, глобулін X, міоальбумін.

**Міоген** є гетерогенною фракцією білків м'язів. Цей простий, глобулярний білок становить близько 30% загальної маси м'яза. Складається з міогену А і міогену В. **Міоген А** володіє ферментативною активністю альдолази (розщеплює 1,6-дифосфат до фосфодіоксіацетону і 3-фосфогліцеринового альдегіду). **Міоген В** ферментативно неактивний.

У тварин, життя яких тісно пов'язане з водою, до 47% кисню зв'язується у формі **оксиміоглобіну**. У людини і наземних хребетних з міоглобіном зв'язується близько 14% усього кисню. Молекула міоглобіну складається з одного поліпептидного ланцюга, що містить 153 залишки амінокислот. Молекулярна маса білка – 17 тисяч. Активною частиною молекули міоглобіну є гем.

**Глобулін X** – гетерогенний білок, що залишається в м'язовій тканині після виділення міогенової фракції. За хімічними властивостями він подібний до глобулінів. Нерозчинний у воді, розчиняється в розчинах солей NaCl, KCl. Володіє ферментативною активністю. Становить у середньому 20% загальної кількості білків тканини.

**Міоальбумін.** За хімічними властивостями цей білок м'язів подібний до альбумінів крові. Його багато в м'язах ембріонів і в гладеньких м'язах.

### 27. Які характерні особливості міофібрилярних білків?

До білків міофібрил належать міозин, актин, актоміозин, тропоміозин.

**Міозин** становить 40% від сухої маси м'язів, молекулярна маса міозину – близько 500 тис. Молекули міозину складаються з двох поліпептидних ланцюгів, скручених у спіраль. Молекула міозину складається з 5000 залишків 18 амінокислот. Міозин погано розчиняється у воді. При з'єднанні з актином утворює **актоміозин** – основний білок скоротливої системи м'язів. Виявляє АТФ-азну активність, що дає можливість перетворювати енергію АТФ на механічну роботу м'язового скорочення. Ензиматична активність міозину посилюється в присутності йонів  $Ca^{2+}$ , а йони  $Mg^{2+}$ , навпаки, гальмують її. Міозин має також властивості АМФ-аміногідролази.

Розчин міозину дуже в'язкий. Міозин відрізняється від інших білків своєю нестійкістю, навіть при оптимальних умовах; при зберіганні він поступово змінюється і втрачає свої вихідні властивості. При повільній денатурації молекули агрегують (злипаються) і розчинність міозину знижується.

**Актин.** Цей глобулярний білок становить близько 14% загальної кількості білків м'язів. Актин може бути у вигляді мономеру ( $M=70000$ ), а також у вигляді димеру ( $M=140000$ ). Відповідно до цього є дві форми актину: глобулярна (Г-А) і фібрилярна (Ф-А), які переходять одна в одну. Перетворення глобулярної форми актину на фібрилярну зумовлюється поєднанням окремих глобул у ланцюг. Розчини Г-А рухомі і володіють незначною в'язкістю, розчини ж Ф-А мають велику в'язкість. Актин знаходиться в усіх клітинах

еукаріотів і становить близько 15% усіх білків. Він забезпечує також формування цитоскелету клітин.

**Актоміозин** – комплекс, який утворюється з білків актину і міозину. Цей основний скоротливий білок м'язової тканини поєднує в собі фізико-хімічні та ферментативні властивості обох білків. Молекулярна маса – близько 5 млн. Актоміозин володіє властивостями АТФ-ази. Головною особливістю білка є його здатність за наявності іонів  $K^+$  і  $Mg^{2+}$  стискатися під впливом АТФ. При цьому витісняється вода, зменшується частинка білка, після чого він розпадається на актин і міозин. Актоміозин знаходиться в усіх м'язових волокнах людини та тварин, забезпечуючи процеси скорочення м'язів та рух органел клітин. Реакція взаємодії актоміозину з АТФ є основою механізму скорочення м'язів.

**Тропоміозин** має молекулярну масу 50 тис і становить 4-11% загальної кількості білків м'язів. Існує в двох формах – водорозчинній і водонерозчинній. Багато тропоміозину в гладеньких м'язах. За властивостями подібний до міозину. До складу тропоміозину входять 18 амінокислот, особливо багато лізину, аланіну, глутамінової кислоти.

### **28. Які білки належать до м'язової стром?**

**Білки м'язової стром** – це білки, які залишаються в м'язовій тканині після екстракції білків саркоплазми та міофібрил сольовими розчинами. Становлять 15-20% загальної кількості білків м'язів. До їх складу входять **структурні** (колаген, еластин, нейрокератин) і **ферментні** (АТФ-аза, АМФ-аміногідролаза) **білки**.

### **29. Які ліпіди входять до складу м'язів? Зв'язок між вмістом ліпідів і працездатністю м'яза.**

Основними ліпідами м'язів є нейтральні жири, стерини і стериди, гліколіпіди, фосфатиди. М'язи містять в середньому близько 1% ліпідів, але в їх розподілі, а також у співвідношенні окремих ліпідів в різних м'язах є суттєві відмінності. Загальний вміст стеринів і стеридів коливається в межах 0,03-0,23%, фосфатидів – 0,4-1%.

Нейтральні жири м'язів є резервними жирами, які розташовуються між окремими м'язовими волокнами в сполучній тканині; їх

присутність не є обов'язковою. Навпаки, холестерин і фосфатиди – необхідні складові частини всіх м'язів. Серцевий м'яз містить приблизно в два рази більше холестерину і фосфатидів, ніж скелетна мускулатура; в гладеньких м'язах багато холестерину і мало фосфоліпідів. Між вмістом ліпідів і працездатністю м'яза існує певний взаємозв'язок: м'язи, які постійно працюють з великим навантаженням, містять більше холестерину і фосфоліпідів. Відповідно у вмісті цих речовин існують значні індивідуальні коливання, зумовлені рівнем рухової активності м'язів (табл. 1.4).

**Таблиця 1.4**

**Особливості співвідношень фосфатидів і холестерину в різних видах м'язів (% від загальної маси)**

<b>Вид м'язів</b>	<b>Фосфатиди</b>	<b>Холестерин</b>
Скелетний м'яз	0,85	0,06
Серцевий м'яз	1,50	0,12
Гладкий м'яз	0,75	0,21

При голодуванні в першу чергу використовуються резервні жири. Нейтральні жири, холестерин і фосфоліпідів залишаються в складі м'язової тканини. Згодом, при тривалому голодуванні, на енергетичні цілі використовуються не лише жири, а й білки м'язів.

**30. Які екстрактивні речовини входять до складу м'язової тканини?**

**Екстрактивні речовини м'язової тканини** – це органічні і мінеральні сполуки, які добре екстрагуються водою з подрібненої м'язової тканини. Органічні сполуки поділяють на азотисті й безазотисті.

**Азотисті екстрактивні речовини** становлять близько 1% загальної маси м'язів. Вміст небілкового азоту в складі м'язової тканини досягає 0,3-0,9% (300-350 мг%). До них належать різні вільні амінокислоти, аденозинфосфати (АТФ, АДФ, УДФ, ГТФ та інші), креатин, креатинфосфорна кислота (фосфаген), креатинин, карнозин, карнітин, ансерин, амоніак, пуринові та піримідинові сполуки,

поліпептиди. Більшість цих речовин перебуває у фосфорильованому стані, становлячи кислоторозчинну і кислотонерозчинну фракції.

Найбільше значення в енергозабезпеченні м'язової діяльності має **креатин**. Ця сполука синтезується в нирках з трьох амінокислот: гліцину, аргініну, метіоніну. Спочатку у нирках з гліцину і аргініну під впливом відповідних ферментних систем синтезується гуанідиноцтова кислота, а з неї і метіоніну в тканинах печінки утворюється креатин. Звідси з током крові креатин надходить у м'язову тканину і під впливом ферменту креатинкінази фосфорилується, перетворюючись на креатинфосфат (КрФ, фосфаген).

Понад 50% креатину перебуває у вигляді КрФ, який міститься у скелетних м'язах, серці, мозку, нервовій тканині і бере участь в енергетичному обміні. Скелетні м'язи, на відміну від інших органів, здатні утримувати значні кількості креатину.

Біологічна роль КрФ полягає у підтриманні в тканинах сталого вмісту АТФ. Вміст креатинфосфату у м'язах в стані спокою у 5-8 разів більший, ніж АТФ, що повністю забезпечує сталий рівень АТФ в період фізичного навантаження. В стані спокою запаси АТФ і КрФ поповнюються за рахунок гліколізу та окисного фосфорилування.

Кінцевим продуктом обміну креатинфосфату є **креатинин**. Він утворюється при спонтанному неферментативному гідролізі КрФ і виділяється із сечею через нирки. Перебіг цього процесу значно зменшується при діабеті, м'язовій дистрофії, гіпертиреозі, порушенні функцій нирок. В м'язовій тканині, як і в плазмі крові, креатинину мало.

**Ансерин** – природній дипептид, утворюється з амінокислот 1-метилгістидину і β-аланіну, під час метилування карнозину. Ансерин впливає на фосфорилуюче окиснення та синтез макроергічних сполук на мембранах мітохондрій, посилює процеси вуглеводного обміну, забезпечує нормальне функціонування клітинних структур та м'язових волокон.

**Карнітин** (від латинського слова *carnis* – м'ясо). Належить до вітаміноподібних сполук. Його ще називають вітаміном В<sub>т</sub>.

Молекулярна маса карнітину – 161200. Завжди присутній у тканинах рослинних і тваринних організмів, а також в клітинах бак-



терій та мікроорганізмів. Значна кількість карнітину міститься у м'язовій тканині. В організмі людини карнітин може частково синтезуватися з лізину.

Карнітин стимулює процеси β-окиснення жирних кислот – є кофактором, який забезпечує транспорт залишків жирних кислот крізь мембрани з цитоплазми в мітохондрії. У медицині використовується у вигляді карнітинхлориду, який володіє виразною анаболічною дією.

**Карнозин** – природний дипептид, що утворюється з амінокислот гістидину і β-аланіну. Вміст карнозину в скелетних м'язах – 150-1000 мг на 100 г тканини. Бере участь в обміні речовин у скелетних м'язах, посилює частоту та силу м'язових скорочень шляхом підвищення ефективності роботи йонних pomp м'язової тканини.

Серед амінокислот в м'язовій тканині багато **глутаміну** і **глутамінової кислоти** та їхніх амідів (близько 75% усіх амінокислот та їхніх амідів). Зв'язаний амоніак у вигляді глутаміну використовується тканиною для амінування пуринових і піримідинових основ, карбонових кислот, а його надлишок з кров'ю надходить у печінку, де з нього синтезується сечовина.

### **31. Які речовини належать до безазотистих екстрактивних речовин м'яза?**

До **безазотистих екстрактивних речовин м'язів** належать глікоген (3-4%) та продукти анаеробного та аеробного обміну вуглеводів:

- молочна кислота;
- гексозофосфати (глюкозо-1-фосфат, глюкозо-6-фосфат, фруктозо-1-фосфат та інші);
- тріозофосфати (фосфодіоксіацетон, 3-фосфогліцериновий альдегід);
- глюкоза, янтарна кислота, вітамін С, інозит тощо.

Вміст глікогену в скелетних м'язах коливається в значних межах (від 0,2 до 2% і більше) і залежить від кількості вуглеводів в їжі. Глікоген легко використовується в м'язах при їх роботі, на що вказує факт його різкого зниження навіть після навантажень тривалістю 0,5-1 хв.

**32. З яких мінеральних речовин складається м'язова тканина?**

При спалюванні м'яза залишається зола (1-1,5% загальної маси), яка складається з мінеральних речовин. М'язова тканина багата на йони  $K^+$ ,  $Na^+$ ; містить йони  $Co^{2+}$ ,  $B^{3+}$ ,  $Hg^{2+}$ ,  $Cl^-$ , вільний та зв'язаний Фосфор. Йони  $Ca^{2+}$  і  $Mg^{2+}$  переважно сконцентровані всередині м'язових волокон. Йони  $Fe^{3+}$  входять до складу міоглобіну.

**33. У чому відмінність хімічного складу серцевого, гладенького і скелетного м'язів?**

В серцевому м'язі 78-79% води. Щільний залишок на 80% складається з білків. За своїми властивостями білки серцевого м'язу мало відрізняються від білків скелетних м'язів. Відмінності пов'язані перш за все з кількісним складом окремих білків і білкових фракцій. В серцевому м'язі менше, ніж в скелетних м'язах креатину (приблизно в два рази) і аденозинтрифосфорної кислоти, проте більше глутаміну і глутамінової кислоти. Вміст глікогену в серцевому м'язі (близько 0,5%) є величиною постійною, і вона майже не змінюється в процесі виконання фізичних вправ. Концентрація цього енергосубстрату в працюючих скелетних м'язах може зменшуватися в 2-3 рази.

Порівняно багатий серцевий м'яз на фосфатиди, при окисненні яких виробляється значна кількість енергії, необхідної для скорочення міокарду (табл. 1.5).

**Таблиця 1.5**

**Вміст фосфоліпідів (у % до сухої маси тканини)  
в різних видах м'язів**

Тип мускулатури	Рівень фосфоліпідів
Скелетна	0,85
Серцева	1,50
Гладенька	0,75

Гладенькі м'язи містять близько 75% води. Основою їх сухого залишку є білки з великим вмістом актоміозину, креатину, АТФ. Серед білків гладеньких м'язів знайдені сліди ансерину і карнозину;

вони бідніші на фосфатиди, багатші на холестерин, тропоміозин та білки строми.

#### **34. Як змінюється хімічний склад м'язів в онтогенезі?**

Ембріональна м'язова тканина за своїм хімічним складом значно відрізняється від скелетної мускулатури дорослих особин. В м'язах ембріонів міститься більше води, ніж у функціонально зрілій мускулатурі. Відповідно загальний віст білка в м'язовій тканині ембріонів, в перерахунку на сиру тканину, є більш низьким, ніж в м'язах тварин того ж виду у постнатальному періоді. В порівнянні з м'язами дорослого організму, у функціонально незрілому м'язі нижчий вміст міофібрилярних білків (міозину і актоміозину) і більш високий – білків строми, міоальбуміну, а також глобуліну X. З розвитком плоду кількість міофібрилярних білків зростає, одночасно зростає і АТФ-азна активність м'язових екстрактів.

Ембріональна м'язова тканина характеризується високим вмістом нуклеопротейдів, а також РНК і ДНК. З розвитком ембріону кількість нуклеопротейдів і нуклеїнових кислот в м'язах швидко зменшується. У функціонально незрілому м'язі значно менше, ніж в м'язах зрілих особин, макроергічних сполук (АТФ і креатинфосфату).

У чітко визначеному періоді онтогенезу в м'язовій тканині з'являються імідазолвмісні дипептиди (ансерин і карнозин). Період виникнення цих дипептидів тісно пов'язаний з м'язовою функцією і співпадає з формуванням рефлекторних дуг кальцієвої чутливості актоміозину і початком роботи йонних помп.

Для ембріонального періоду розвитку м'язової тканини характерні певні особливості у ферментних та ізоферментних спектрах м'язової тканини. Специфічно змінюється ізоферментний спектр лактатдегідрогенази. В екстрактах із скелетних м'язів 3-5-місячного ембріону на долю ізоферментів ЛДГ<sub>3</sub> і ЛДГ<sub>2</sub> приходиться відповідно 40% і 31% від загальної активності лактатдегідрогенази. В процесі ембріонального розвитку в скелетній мускулатурі проходить поступове зростання активності катодних і зниження активності анодних ізоферментів ЛДГ; у дорослих особин в скелетній мускулатурі найбільшою активністю володіють уже ізоферменти ЛДГ<sub>5</sub> і ЛДГ<sub>4</sub>.

З розвитком плода змінюється також ізоферментний спектр гексокінази в м'язовій тканині; підвищується активність ізоферменту ГК-I і знижується активність ізоферменту ГК-II. Вище наведені дані про зміни хімічного складу м'язової тканини в онтогенезі майже виключно відносяться до скелетної мускулатури.

#### 1.4. ФІЗІОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА РУХОВИХ ОДИНИЦЬ М'ЯЗІВ

##### 35. Які структури утворюють рухову одиницю?

Структурно-функціональним елементом нервово-м'язового апарата є **рухова одиниця (РО)**. Її утворюють: тіло мотонейрона, яке знаходиться в передньому розі спинного мозку або в руховому ядрі головного мозку; аксон цього нейрона (один довгий відросток); кінцеві розгалуження аксона; нервово-м'язові синапси; м'язові волокна, з якими з'єднується аксон (рис. 1.8).



Рис. 1.8. Будова рухової одиниці (за А.В. Коротковим і С.А. Чесноковою)

Усі РО організму складають нервово-м'язовий апарат. М'язове волокно є структурною одиницею м'яза, а РО – структурно-функціональною одиницею нервово-м'язового апарату. Нервово-м'язовий апарат не слід отожднювати з опорно-руховим апаратом людини, до складу якого, окрім рухових одиниць, входять кістки скелету, суглоби, сухожилки і зв'язки.

##### 36. Чим відрізняються між собою рухові одиниці?

Рухові одиниці відрізняються між собою розмірами тіл мотонейронів, товщиною аксонів, а також числом м'язових волокон. У зв'язку з цим виділяють **великі і малі РО**. Кількість м'язових волокон у них коливається

від декількох десятків одиниць (в м'язах ока людини один мотонейрон іннервує 3-6 м'язових волокон) до декількох тисяч (у великих м'язах ніг – 200). Малі РО переважно входять до складу м'язів, які забезпечують швидкі і точні рухи (м'язи очного яблука, пальців кисті, дрібні м'язи обличчя). В інших м'язах малі РО забезпечують повільні рухи. Великі РО переважають в м'язах тулуба і кінцівок, які здійснюють як швидкі, так і повільні рухи. Великі РО є переважно високопороговими. Їх активація можлива лише при виконанні фізичних вправ з значним напруженням м'язів. В цілому ж в кожному м'язі є різні за розміром РО, що зумовлює можливість розвитку ними різної величини напруження.

**37. Що покладено в основу поділу м'язових волокон на повільні і швидкі?**

Швидкість і сила скорочення м'язового волокна залежить від активності актоміозинової АТФ-ази; чим її активність вища, тим швидше утворюються актоміозинові містки, а отже, і вища швидкість скорочення. Окрім цього, м'язові волокна відрізняються між собою і активністю ферментів, які забезпечують ресинтез АТФ (табл. 1.6).

**Таблиця 1.6**

**Структурна і функціональна характеристика різних типів м'язових волокон (Х. Уілмор, Д. Костілл)**

Характеристика	Тип волокна		
	I	II A	II B
Кількість волокон на мотонейрон	10-180	300-800	300-800
Розмір мотонейрону	невеликий	великий	великий
Швидкість нервової провідності	невелика	велика	велика
Швидкість скорочення, мс	50	110	110
Тип міозинової АТФ-фази	повільний	швидкий	швидкий
Сила рухової одиниці	невелика	велика	велика
Аеробна продуктивність	висока	середня	низька
Окисно-гліколітична продуктивність	низька	висока	висока

У зв'язку з цим, розрізняють два основних типи м'язових волокон: *повільні* – тип I і *швидкі* – тип II. Всі м'язові волокна, які входять до складу діючої РО, за своїми властивостями ідентичні. Кількісне співвідношення м'язових волокон цих двох типів РО має генетичне походження і змінюється в онтогенезі за спадковою програмою.

**38. Як змінюється з віком співвідношення повільних і швидких м'язових волокон?**

У дітей дошкільного і молодшого шкільного віку основна маса скелетних м'язів складається з волокон типу I. В період статевого дозрівання, під впливом статевих гормонів, особливо тестостерону, в скелетних м'язах настають значні зміни в розвитку м'язових волокон. Починають швидко збільшуватись у поперечному розрізі волокна типу II. Абсолютна кількість волокон типу I при цьому залишається незмінною (Д.А. Фарбер та ін., 1990).

Сила, швидкість скорочень і витривалість повільних і швидких м'язових волокон різні, що зумовлено їх морфологічними і біохімічними особливостями.

**39. Які особливості характерні для повільних м'язових волокон?**

*Повільні м'язові волокна* (тип I) мають багато капілярів, міоглобіну і мітохондрій. Їх ще називають «червоними» м'язами, вони повільно стомлюються, забезпечуючи виконання довготривалих навантажень порівняно невеликої сили. Чим більше генетично обумовлених повільних волокон, тим вищий спадковий показник максимального споживання кисню. Робоча гіпертрофія повільних волокон лежить в основі розвитку витривалості.

**40. Які є різновиди швидких м'язових волокон? Їх зміни в процесі направлених тренувань на витривалість.**

*Швидкі м'язові волокна* (тип II) називаються гліколітичними, це «білі» м'язи. На відміну від повільних окисних волокон вони «працюють» переважно в безкисневому (анаеробному) режимі. Розвиваючи велику силу статичних і динамічних скорочень, швидкі м'язові волокна зумовлюють «вибухову» силу і високу швидкість рухів (стрибки, підняття вантажів тощо).

У процесі направлених тренувань на витривалість відбувається перетворення частини швидких чисто гліколітичних анаеробних волокон (тип II) у другу частину швидких волокон – окисно-гліколітичні цього ж типу (IIA), які можуть інтенсивно скорочуватись, розвиваючи значні напруження упродовж відносно тривалого часу, повільно стомлюючись. Такі перетворення можливі тільки в межах м'язових волокон типу II.

Волокна підтипу II A за своїми властивостями наближаються до повільних волокон типу I. Вони окисно-гліколітичні, тобто можуть працювати як волокна типу I (повільні) і як волокна типу II B (швидкі). Волокна підтипу II A здатні функціонувати не тільки в анаеробних, а й в аеробних умовах, пристосовуючись до виконання довготривалих фізичних вправ великої сили і швидкості.

#### ***41. Чи можливе перетворення повільних волокон у швидкі?***

Перетворення повільних волокон типу I у швидкі волокна типу II (підтип II A чи в підтип II B) і, навпаки, перетворення волокон типу II у волокна типу I, при будь-яких тренуваннях неможливе, оскільки співвідношення волокон типів I і II для кожного індивіду є величиною постійною, яка має генетичне походження. Цей факт необхідно враховувати в практиці фізичного виховання, зокрема при вирішенні питань спортивної орієнтації дітей та підлітків.

#### ***42. Що означає активна рухова одиниця?***

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 нервові імпульси, які активують повільні РО.

**43. Яким чином забезпечується внутрішньом'язова координація рівня напруження м'яза?**

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

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

**44. Від чого залежить активність різних рухових одиниць? «Правило розміру» Е. Хеннемана.**

Для розвитку м'язом великого напруження центральною нервовою системою 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 малі (повільні) РО активні при будь-якому напруженні м'яза, а великі (швидкі) РО – лише при значному м'язовому напруженні. Тому ступінь використання, а отже і функціонального вдосконалення (тренування) великих (швидких) РО у звичних 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.

**45. Як регулюється напруження м'язу зі зміною режиму активності рухових одиниць?**

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 людини та її емоційного стану. 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.

***46. Яке значення асинхронно-рівномірної активності більшості рухових одиниць м'яза в забезпеченні необхідної плавності його скорочень?***

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. Це зменшує амплітуду фізіологічного тремору і забезпечує необхідну плавність скорочення м'яза та велику точність утримання необхідної пози. Втома м'яза призводить 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 період 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.

**47. Яким чином забезпечується координація активності окремих м'язів?**

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-антагоністів. Завдяки високій досконалості механізмів міжм'язової координації істотно зменшується загальна напруженість м'язів, зростає їх максимальна довільна сила.

**48. Що таке електроміограма? Явище інтерференції.**

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.

Кількісну оцінку електричної активності м'язів проводять шляхом 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 допомогою ЕМГ оцінюють рівень вдосконалення рухової навички (правильність включення окремих м'язів), структуру рухової навички (черговість включення окремих м'язів), напруженість м'язів, виразність втоми тощо.

## 1.5. НЕРВОВО-М'ЯЗОВИЙ СИНАПС

### 49. З чого складається нервово-м'язовий синапс?

Збудження і скорочення скелетного м'язу викликається нервовими імпульсами, які надходять від мотонейронів спинного мозку, або рухових ядер головного мозку, до нервово-м'язових синапсів. В структурі нервово-м'язового синапсу багато синаптичних складок, завдяки яким значно збільшується площа синаптичної щілини.

**Синапс** складається з мембрани нервового закінчення (пресинаптична мембрана), мембрани м'язового волокна (постсинаптична мембрана) і розміщеної між ними синаптичної щілини (рис. 1.9).

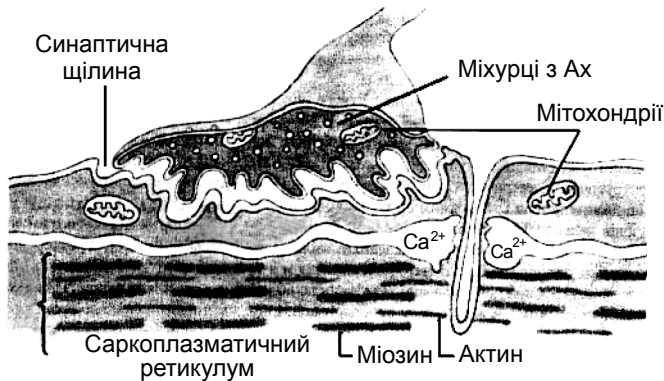


Рис. 1.9. Схема нервово-м'язового синапсу у розрізі

### 50. Як виникає потенціал дії м'язового волокна?

В пресинаптичному нервовому закінченні є багато міхурців (до 30 000), які містять медіатор ацетилхолін (Ах). Вихід ацетилхоліну з пресинаптичних міхурців у синаптичну щілину відбувається під впливом нервових імпульсів. Переходячи через синаптичну щілину, ацетилхолін, взаємодіючи з холінорецепторами постсинаптичної мембрани м'язового волокна, деполяризує її. Так виникає **потенціал дії м'язового волокна** (ПДМВ).

Таким чином, в процесі передачі збудження з нерва на м'яз можна виділити три ланки: електрична (нервовий імпульс), хімічна

(утворення комплексу Ах-рецептор) і знову електрична (утворення ПДМВ).

**51. Назвіть складові компоненти часу синаптичної затримки збудження.**

Для проведення збудження через нервово-м'язовий синапс необхідно 0,2-0,5 мс, через міжнейронний синапс – 1,5-2 мс. Цей час називається **синаптичною затримкою**. Він складається з часу, необхідного для вивільнення Ах з нервового закінчення, часу дифузії Ах від пресинаптичної мембрани до постсинаптичної, часу, необхідного для взаємодії Ах з рецепторами кінцевої пластинки.

**52. Що таке пресинаптичний і постсинаптичний нервово-м'язовий блок?**

Запасів Ах в нервовому закінченні достатньо для проведення близько 10 000 мотонейронних імпульсів. При тривалій імпульсації мотонейрону вміст Ах в кінцевих розгалуженнях може суттєво зменшитися, що призводить до розвитку **пресинаптичного нервово-м'язового блоку**.

Комплекс «Ах-рецептор» швидко руйнується спеціальним ферментом – ацетилхолінестеразою (АХЕ) кінцевої пластинки. Це руйнування супроводжується відновленням вихідної проникності постсинаптичної мембрани, її готовністю сприймати повторне збудження. Але при тривалій високочастотній імпульсації мотонейрону 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 або ж повний **постсинаптичний нервово-м'язовий блок**. Обидва типи нервово-м'язового блоку (пре- і постсинаптичний) можуть бути причиною розвитку втоми із зниженням скоротливої здатності м'язів.

## **1.6. ОБМІН РЕЧОВИН У М'ЯЗОВІЙ ТКАНИНІ**

### **53. Як змінюється обмін речовин у м'язах у процесі виконання фізичної роботи?**

М'язова тканина характеризується високим ступенем метаболізму. Обмін речовин м'язу в стані спокою знаходиться на відносно низькому рівні; при роботі він може зростати більше ніж в 100 разів. За таких умов необхідна мобілізація великих обсягів енергії. Джерелом енергії для м'язових скорочень є реакції анаеробного глікогенолізу і циклу трикарбонових кислот. При виконанні роботи великої потужності в тканині різко зростає вміст молочної кислоти, зменшується вміст глікогену, макроергічних сполук тощо, накопичується багато продуктів обміну.

### **54. Які хімічні процеси проходять в працюючому ізолюваному м'язі?**

У м'язі, який активно скорочується, в процесі розпаду глікогену утворюється молочна кислота. При розщепленні глікогену, який знаходиться в 1 г м'язу, до молочної кислоти вивільнюється 1-2 ккал енергії, яка може бути використана для виконання роботи. У всьому організмі за умов виконання тривалої і напруженої роботи може накопичитися 100 г молочної кислоти. Близько 20% утвореної при роботі в анаеробних умовах молочної кислоти аеробно окиснюється з утворенням вуглекислого газу і води. Відновлена при цьому енергія використовується для зворотного ресинтезу використаного глікогену із другої частини (80%) молочної кислоти.

Разом з тим, робота м'язів можлива не лише в анаеробних умовах, а й при використанні креатинфосфату, ресинтез (відновлення) якого здійснюється за рахунок реакцій гліколізу. При цьому головним джерелом енергії м'язової діяльності є реакція розщеплення АТФ.

При правильному поєднанні періодів роботи та відпочинку м'язи можуть працювати тривалий час без накопичення в них молочної кислоти, продуктів розпаду АТФ та КрФ, а також без ознак

втоми. Коли розпад енергетично важливих речовин в м'язових волокнах у період скорочення проходить більш інтенсивно, ніж їх синтез у період розслаблення, в м'язах накопичується молочна кислота, амоніак, креатин і фосфорна кислота. За таких умов м'язи поступово стомлюються, і для відновлення їх працездатності необхідний тривалий проміжок відпочинку.

На початковій стадії роботи м'язів спостерігається інтенсивне використання накопичених в них запасів АТФ, КрФ та глікогену. Ця стадія роботи характеризується переважанням в м'язах процесів, які не потребують участі кисню, і проходять в анаеробних умовах. При продовженні роботи на перший план виступають аеробні процеси, які супроводжуються використанням поживних речовин, що надійшли до м'язів з кров'ю.

#### **55. Які біохімічні зміни проходять в м'язах при патології?**

Ураження рухових нервів, рухова бездіяльність, перерізування сухожилів викликають атрофію м'язів із зменшенням їх маси та якісними змінами м'язової тканини. В м'язах зростає вміст сполучної тканини і зменшується кількість білків, які входять до складу м'язових волокон, порушується перебіг процесів обміну речовин. З розвитком атрофії м'язі їх працездатність знижується.

Подібні зміни в м'язах спостерігаються у людини при пораненнях рухових нервів, а також при деяких порушеннях функцій нервової системи. До важких м'язових захворювань людини належить прогресивна м'язова дистрофія та ряд інших функціональних розладів м'язів.

Вивчення біохімічних змін в м'язах, які наступають при атрофії і дистрофії, показало, що порушення фізіологічної функції м'язів супроводжується глибокими змінами в обміні вуглеводів, фосфорних сполук та азотистих речовин, включаючи білки. При захворюваннях м'язів в них зменшується вміст глікогену, знижується активність гліколітичних ферментів. М'язи втрачають здатність нормально використовувати поживні речовини, порушується їх трофіка (звідси назви **«атрофія»** і **«дистрофія»**).

Загальним для більшості захворювань м'язів (прогресуючі м'язові дистрофії, атрофія м'язів в результаті їх денервації, тенотомія, поліміозит, деякі авітамінози тощо) є різке зниження в м'язах вмісту міофібрилярних білків, зростання концентрації білків стромы та деяких саркоплазматичних білків, в тому числі міоальбуміну. Поряд із змінами фракційного складу м'язових білків при ураженнях м'язів спостерігається зниження концентрації АТФ і креатинфосфату.

Для багатьох форм патологій м'язової тканини характерне порушення метаболізму креатину та його посилене виділення з сечею (*креатинурія*). Вважається, що креатинурія у хворих на міопатію є наслідком порушення в скелетній мускулатурі процесів фіксації (утримання) креатину та його фосфорилування.

Якщо порушується процес синтезу креатинфосфату, то не утворюється і креатинин; вміст останнього в сечі різко знижується. При креатинурії і порушенні синтезу креатинину різко зростає креатининий показник сечі.

На наявність патології м'язової тканини вказують такі зміни активності ферментів у м'язах: зменшується активність ферментів, які локалізовані в саркоплазмі; змінюється активність ферментів, які пов'язані з мітохондріями; помітно зростає активність лізосомальних ферментів.

### ***56. Які особливості обміну речовин характерні для серцевого м'яза?***

Для серцевого м'язу характерний аеробний шлях розщеплення вуглеводів. Високий вміст в серцевому м'язі міоглобіну забезпечує певний запас кисню, який використовується у випадку підвищення потреби в ньому, зокрема при посиленні роботи серця. Окисні процеси відбуваються у мітохондріях м'язових волокон. Частина енергії, у вигляді АТФ серцевий м'яз отримує внаслідок окиснення жирних кислот і гідроокисиклот, а також реакцій пентозного шляху.

Переважаання в серцевому м'язі аеробних процесів енергозабезпечення над анаеробними призводить до того, що при розпаді глікогену в ньому накопичується значна кількість молочної кисло-

ти. Крім того, в серці інтенсивно окиснюється молочна кислота, яка доставляється кров'ю по системі коронарних судин. При посиленій роботі скелетних м'язів, утворена в них молочна кислота частково поступає в кров. В печінці вона перетворюється в глікоген, а в серцевому м'язі – піддається аеробному окисненню.

При інтенсивній м'язовій роботі посилюється доставка до серцевого м'язу молочної кислоти, яка утворюється в скелетних м'язах, отже, створюються сприятливі умови для живлення серця. Цей факт є прикладом кореляційної координації функції органів. При посиленій роботі м'язів зростає інтенсивність кровообігу, одночасно збільшується надходження до серця молочної кислоти, яка використовується в якості енергосубстрату.

### ***57. Що відбувається в м'язах після смерті?***

Після смерті припиняється кровообіг і м'язова тканина позбавляється поживних речовин, припиняється видалення продуктів розпаду, реакція середовища стає кислою, м'язи вкорочуються і тверднуть. Через кілька хвилин або годин після клінічної смерті розвивається трупне залякання – посмертне тверднення м'язів і пов'язана з ним нерухомість суглобів. Швидкість залякання м'язів залежить від наявності в тканині глікогену, кислих продуктів обміну (молочної кислоти, вуглекислоти) і навколишньої температури. В тканині різко зменшуються запаси глікогену, АТФ, КрФ, глюкози тощо. Незабаром вони зникають зовсім. Значно зростає вміст молочної кислоти і фосфатів, збільшується кислотність, коагулюються білки. Ці процеси швидше настають у скелетних, повільніше – у гладеньких м'язах. Через деякий час залякання м'язів припиняється і вони знову стають м'якими. Відсутність у трупа залякання м'язів є важливою ознакою небезпечної хвороби – сибірської виразки.



## **ТЕМА 2. МЕХАНІЗМ І ЕНЕРГЕТИКА М'ЯЗОВОГО СКОРОЧЕННЯ**

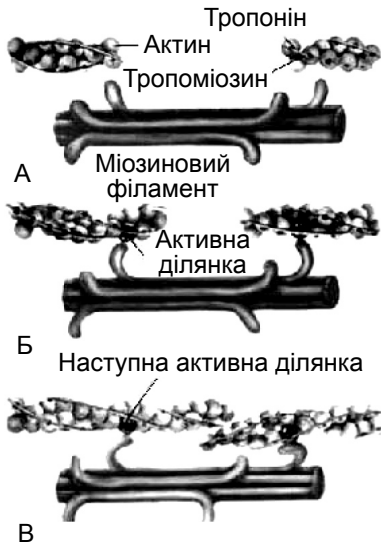
### **2.1. СУЧАСНІ УЯВЛЕННЯ МЕХАНІЗМУ М'ЯЗОВОГО СКОРОЧЕННЯ**

#### *1. Який механізм м'язового скорочення?*

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 йонів Кальцію із цистерн у міжфібрилярний простір – до ниток актину та міозину. Цей вихід звільнених йонів Кальцію знаменує собою початок скорочення м'яза, він розпочинається при деполяризації мембрани до 60 мВ і триває упродовж всього часу деполяризації. Йони 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, активуючи АТФ-азу міозинових головок, йони Кальцію розщеплюють 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 йонів Кальцію міозинові містки ритмічно прикріплюються до активних ділянок актину та 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 одній, актинові нитки забезпечують вкорочення саркомера (від 2 мкм до 1,25 мкм); вкорочуються, скорочуючись, міофібрили, м'язові волокна і м'яз в цілому (рис. 1.10).

Йони Кальцію затримуються біля міофіламентів (у міжфібрилярному просторі) всього декілька мілісекунд, а тоді, внаслідок дії



**Рис. 1.10.** Механізм ковзання актинових і міозинових філаментів (за Х. Уілмором і Д. Костіллою, 1997): м'язове волокно в стані розслаблення (А), у процесі скорочення (Б) і повністю скорочене (В)

напруження м'яза знижується. Найбільше напруження м'яз розвиває при середній довжині саркомерів – 2,0-2,25 мкм. За таких умов зчеплення між нитками актину і поперечними містками міозину найбільш оптимальне. При сильному скороченні, коли актинові нитки в саркомері перекриваються між собою і міозинові нитки впираються в Z-перегородку, напруження м'яза зменшується.

### **3. Яким чином в м'язовій тканині підтримується постійний вміст АТФ?**

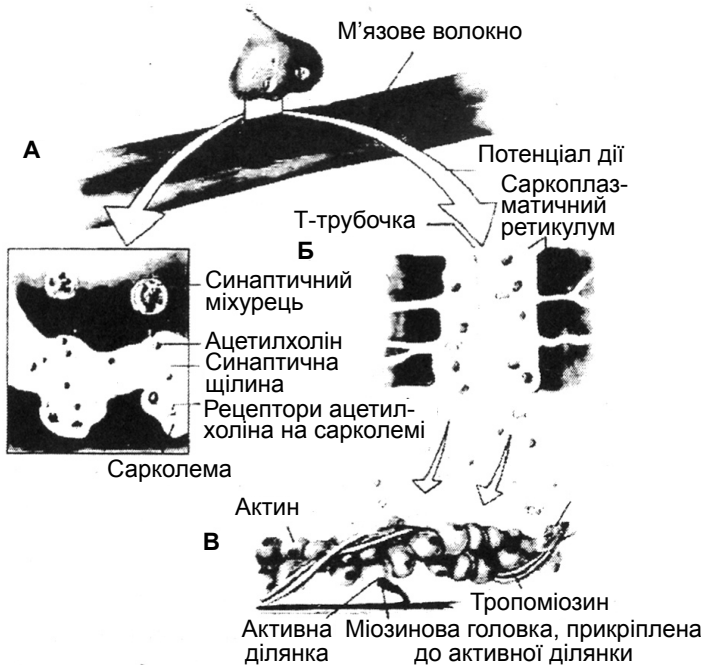
Основними біохімічними компонентами м'язового скорочення є актин та міозин, які, сполучаючись, утворюють комплекс актоміозин, і енергія від АТФ, яка ресинтезується за рахунок енергії фосфагену.

спеціальної кальцієвої помпи, повертаються в цистерни. При цьому настає розслаблення м'язового волокна.

Тропонін і тропоміозин повертаються до виконання своєї гальмівної функції. Загальна схема послідовності процесів, які забезпечують м'язове скорочення, представлена на рис. 1.11.

### **2. Як змінюється число взаємодіючих з актиновими структурами поперечних містків в умовах надмірного розтягнення м'яза, а також при сильному і швидкому його скороченні?**

При надмірному розтягуванні м'яза, як і при сильному та швидкому його скороченні, число взаємодіючих з актиновими нитками поперечних містків зменшується, їх зчеплення послаблюється,



**Рис. 1.11. Послідовності дії, які зумовлюють м'язове скорочення** (за Х. Уілмором і Д. Костіллом): **А** – мотонейрон виділяє ацетилхолін, який приєднується до рецепторів ацетилхоліна в сарколемі; на м'язовім волокні утворюється потенціал дії; **Б** – потенціал дії «включає» виділення  $Ca^{2+}$  з саркоплазматичного ретикулума в саркоплазму; **В** –  $Ca^{2+}$  приєднується до тропоніна на активному філаменті і тропонін «відтягує» тропоміозин від активних ділянок, дозволяючи міозиновим головкам прикріпитись до активного філамента

Постійний вміст АТФ у м'язовій тканині пов'язаний з утворенням і розщепленням креатинфосфорної кислоти (КрФ). Деяка частина АТФ може синтезуватися з фосфопіровиноградної кислоти і з 1,3-дифосфогліцеринової кислоти. В хімізмі м'язового скорочення розрізняють дві фази:

1) АТФ в присутності актоміозину і води:  $АТФ + актоміозин + H_2O \rightarrow АДФ + H_3PO_4 + \text{скорочення актоміозину}$ .

Взаємодія АТФ з актоміозином є основою м'язового скорочення. При цьому витискується вода і зменшується об'єм часточок актоміозину.

2) АДФ + фосфаген  $\rightarrow$  АТФ + креатин.

АТФ відновлюється за рахунок фосфагену (креатинфосфату). АТФ-азна функція актину і міозину активується за допомогою йонів  $\text{Ca}^{2+}$ , які виділяються в гіалоплазму.

Після скорочення м'язів комплекс актин-міозин розщеплюється до актину і міозину. Саркомер і міофібрила відновлюються до вихідного стану. В гіалоплазмі м'язового волокна різко зменшується вміст йонів  $\text{Ca}^{2+}$ , гальмується діяльність міозинової АТФ-ази. М'язове волокно відновлює попередні запаси АТФ і КрФ.

Під час інтенсивної роботи м'язів витрати АТФ, глікогену і глюкози значно зростають, при цьому доступ речовин, необхідних для фізіологічної регенерації, погіршується. Уповільнюється клітинне дихання, накопичується молочна кислота, амоніак, похідні пурину та інші продукти обміну. Порушується ефективність механізмів нейрогуморальної регуляції функцій. Настає стомлення м'язів.

#### ***4. Як змінюється інтенсивність перебігу в них процесів обміну у фізично тренуваних м'язах?***

Фізично тренований організм характеризується більш високим рівнем працездатності. В ньому всі органи працюють узгоджено. В результаті цього поліпшуються кровообіг і газообмін, біосинтез білків і фосфатидів, глікогену і макроергів, інтенсивніше видаляються з організму кінцеві продукти обміну речовин, підвищується активність різних ферментів. Робота тренуваних м'язів супроводжується меншим накопиченням в них молочної кислоти, а також більш швидкою дифузиею її в кров, ніж робота нетренуваних м'язів.

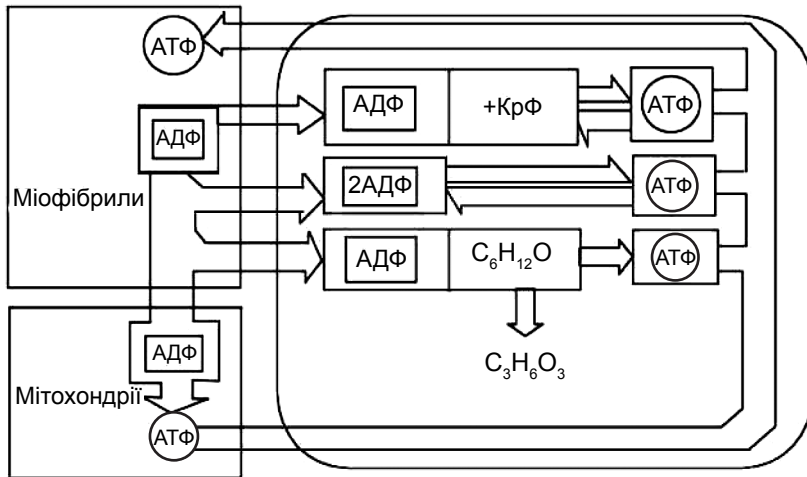
Зміни хімічного складу м'язів і інтенсивності перебігу в них процесів обміну речовин, спричинені систематичним виконанням фізичних вправ (тренуванням), через зміну пластичності обміну речовин забезпечують пристосування організму в цілому, і м'язів зокрема, до змін умов їх діяльності. В цьому полягає важлива загальнобіологічна роль фізичних тренувань.

## 2.2. ЕНЕРГЕТИКА М'ЯЗОВОГО СКОРОЧЕННЯ

### 5. Що є безпосереднім джерелом енергії для м'язового скорочення?

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

Безпосереднім джерелом енергії для м'язового скорочення є аде-нозинтрифосфат (АТФ). Його розщеплення зв'язане з дією міозину як ферменту. При цьому утворюються аде-нозиндифосфат (АДФ), відщеплюється фосфатна група і виділяється близько 10 ккал енергії. Відновлення АТФ йде за рахунок креатинфосфату (КрФ), вуглеводів, жирів і рідше білків. Енергія розпаду цих речовин забезпечує зв'язок АДФ і фосфату з утворенням АТФ (рис. 1.12).



**Рис. 1.12. Енергетичний обмін в м'язах** (за А. Леві і Ф. Сікевичем):  
I – ресинтез АТФ за рахунок енергії КрФ; II – ресинтез АТФ з двох молекул АДФ; III – ресинтез АТФ за рахунок анаеробного розпаду вуглеводів

**6. За рахунок яких енергосистем відбувається відновлення АТФ у працюючому м'язі? Поняття аеробної та анаеробної роботи.**

Відновлення АТФ в працюючому м'язі здійснюється за допомогою трьох енергосистем: фосфатної, лактацидної, кисневої. Перші дві енергосистеми – фосфатна і лактацидна – анаеробні, третя – аеробна. Відмінність однієї енергосистеми від іншої полягає у використанні для енергопродукції різних речовин (енергосубстратів), в їх енергоемності і енергопотужності.

Робота при якій ресинтез АТФ здійснюється переважно аеробним шляхом, називається **аеробною**, якщо ж енергозабезпечення діяльності в основному йде без участі Оксигену, то така робота називається **анаеробною**.

**7. Що таке енергоемність і енергопотужність енергосистеми? Їх величини.**

**Енергоемність системи** – максимальна кількість енергії, яка може бути утворена за рахунок даної енергосистеми; **енергопотужність** – найбільша кількість енергії, яка може бути утворена за рахунок даної енергосистеми в одиницю часу. Ємність енергосистеми визначає тривалість роботи, її загальний обсяг, потужність – зумовлює граничну інтенсивність діяльності.

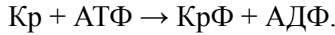
Потужність фосфатної енергосистеми – 36 ккал/хв, лактацидної – 12 ккал/хв, кисневої (при окисненні глікогену і глюкози) – 8 ккал/хв, при окисненні жирів – 4 ккал/хв; ємність цих енергосистем відповідно рівна – 5, 12, 800 і 60 000 ккал енергії.

У людини вагою 70 кг м'язова маса складає близько 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 окисненні дає 2400 ккал, 1 моль глюкози при анаеробному розщепленні – 50 ккал, при аеробному – близько 700 ккал, 1 моль АТФ забезпечує 10 ккал, 1 моль КрФ – 10,5 ккал.

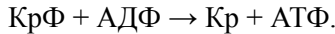
**8. Як відбувається ресинтез АТФ за рахунок фосфатної енергосистеми?**

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

При надлишку в тканині АТФ вона під впливом креатинкінази взаємодіє з креатином (Кр):



При нестачі АТФ у працюючій м'язовій тканині здійснюється її регенерація (відновлення):



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 КрФ для ресинтезу АТФ обмежені, тому при більш тривалій роботі вслід за фосфатною енергосистемою включаються в дію інші енергосистеми – гліколітична і аеробна.

**9. В енергозабезпеченні яких фізичних навантажень першочергове значення має лактацидна енергосистема?**

**Лактацидна енергосистема** забезпечує ресинтез АТФ і КрФ 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 першочергове значення в енергозабезпеченні фізичних навантажень тривалістю від 20-30 с, до 1-3 хв. У цей період в крові виявляється і найбільший вміст молочної кислоти. При менш тривалій роботі енергетична роль лактацидної енергосистеми зменшується.

Потужність лактацидної енергосистеми – 12 ккал/хв, енергоємність – 12 ккал. Важливим чинником, який лімітує ємність лактацидної енергосистеми, є лактацид. Нагромаджуючись у м'язах, молочна кислота пригнічує активність гліколітичних ферментів (фосфорилаз, фосфофруктокінази), що в свою чергу призводить до зниження швидкості гліколізу, а, значить, енергоутворення.

Лактацидна енергосистема завжди активна в тих випадках, коли працюючі м'язи не забезпечуються необхідною кількістю кисню. Такі умови виникають при виконанні роботи великої потужності, а також при статичному скороченні м'язів, коли через високий внутрішньом'язовий тиск різко обмежується кровопостачання і забезпечення м'язів киснем.

### ***10. Що є основним енергосубстратом кисневої енергосистеми? Енергопотужність і енергоємність кисневої енергосистеми.***

Однією з причин зниження працездатності людини, яка виконує напружену фізичну роботу, є дефіцит кисню. Він завжди виникає за умови, коли кисневий запит більший максимального споживання кисню (МСК). Для повного окиснення продуктів розпаду, що утворилися при виконанні напруженої роботи, необхідно більше 20 л кисню за 1 хв, в той час як МСК не перевищує 5-6 л/хв.

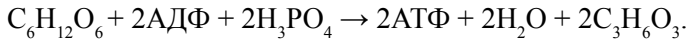
Основними енергосубстратами кисневої енергосистеми є вуглеводи і жири. Співвідношення їх використання визначається потужністю аеробної роботи (рівнем МСК): чим вона вища, тим більший енергетичний вклад вуглеводів, що окиснюються, і відповідно менший вклад жирів в загальну енергопродукцію працюючих м'язів.

Енергозабезпечення тривалих фізичних навантажень (споживання кисню до 50% від МСК) проходить переважно за рахунок окиснення жирів; при навантаженнях, близьких до МСК, основна



частина аеробної енергопродукції утворюється за рахунок окиснення вуглеводів. Киснева енергосистема, в основі якої лежать процеси окиснення вуглеводів (глікогену та глюкози) і жирів до  $H_2O$  і  $CO_2$ , має найбільшу енергетичну ємність і найменшу потужність.

М'язова тканина має незначні запаси АТФ, тому вони швидко витрачаються. Реакції гліколізу (глікогенолізу) і клітинного дихання зумовлюють відновлення запасу АТФ у м'язовій тканині. Так, під час гліколізу з однієї молекули глюкози утворюється дві молекули АТФ:



При повному розщепленні однієї молекули глюкози утворюється 38 молекул АТФ. Якщо джерелом глюкози є глікоген, то під час глікогенолізу з однієї молекули глюкози утворюється три молекули АТФ; 80-85% молочної кислоти йде на ресинтез глікогену, решта є джерелом енергії в циклі трикарбонових кислот. Частина АТФ синтезується з 1,3-дифосфогліцеринової і фосфопіровиноградної кислот.

На синтез 1 моля АТФ при аеробному розщепленні глюкози необхідно 3,54 л кисню, а при розпаді глікогену – 3,45 л кисню. Тому м'язовому глікогену як енергосубстрату надається перевага при виконанні інтенсивної м'язової роботи: чим більша потужність роботи, тим більша швидкість розщеплення м'язового глікогену. Аеробний глікогеноліз переважає при потужності роботи до 70% від МСК. При більш високих навантаженнях збільшується швидкість аеробного глікогенолізу, проте при цьому утворюється в 13 разів менше АТФ, ніж при аеробному розпаді глікогену. Отже, вуглеводи як енергетичний субстрат використовуються організмом як в умовах анаеробної, так і в умовах аеробної роботи.

Потужність кисневої енергосистеми при окисненні глюкози і глікогену – 8 ккал/хв, енергоємність – 800 ккал. В час роботи використовується близько 50-60 г глікогену печінки і 200-250 г глікогену м'язів (середній запас глікогену в печінці приблизно 70-80 г, у м'язах – 300 г). Сюди ж слід додати 30% глюкози, яка утворюється в печінці за рахунок окиснення лактациду.

### **11. Яке значення в енергозабезпеченні роботи м'язів відіграють жири?**

Важливим субстратом кисневої енергосистеми є **жири**. В нормі вони становлять 20% маси тіла. Близько 5% усіх жирових запасів знаходиться в м'язах у вигляді тригліцеридів, які складаються з однієї молекули гліцерину і трьох молекул жирних кислот. В час роботи м'язів окиснюються як вільні жирні кислоти в крові, так і тригліцериди. Процес окиснення проходить в мітохондріях і називається **бета-окисненням**.

Питома енергоємність (кількість енергії, що міститься у ваговій одиниці енергосубстрату) жирів найбільша, це найлегше «пальне» (при розпаді 1 г жиру виділяється 9,3 ккал, а 1 М жиру дає 2400 ккал). Найбільша у жирів і загальна енергоємність – близько 60 000 ккал (цієї енергії вистачило б для легкого бігу упродовж 5-7 діб). Проте жири поступаються перед вуглеводами при порівнянні кількості енергії, що утворюється з одиниці використаного кисню (калоричний еквівалент кисню при окисненні вуглеводів – 5,05, жирів – 4,7). Тому у жирів, в порівнянні з вуглеводами, вдвічі менша максимальна енергопотужність, і їхнє використання в енергозабезпеченні зменшується в міру зростання потужності виконуваної роботи.

Великі резерви енергетичних потужностей, яких досягають фізкультурники виконанням інтенсивних і тривалих фізичних навантажень, є необхідною передумовою міцного здоров'я. Такі навантаження тренують майже всі робочі системи енергозабезпечення – серце, кровоносні судини, печінку, нирки і одночасно – регулюючі системи.

## **2.3. РОБОЧА ГІПЕРТРОФІЯ М'ЯЗІВ**

### **12. Що таке робоча гіпертрофія м'язів?**

Наслідком систематичного виконання фізичних вправ є збільшення анатомічного поперечника м'язів – **робоча гіпертрофія** (від грец. «трофос» – живлення, збільшене живлення). Вона розвивається в основному за рахунок потовщення існуючих м'язових волокон

(від 10 до 100 мк). Вчені допускають також можливість «клітинного ділення» (розщеплення) товстого м'язового волокна з утворенням двох тонких. Розрізняють два основних типи робочої гіпертрофії м'язів: саркоплазматичний і міофібрилярний.

***13. Які умови найбільш сприятливі для розвитку саркоплазматичної гіпертрофії?***

***Саркоплазматична гіпертрофія*** відбувається переважно за рахунок збільшення обсягу нескоротливої частини м'язового волокна – саркоплазми. При цьому типі гіпертрофії спостерігається суттєве підвищення метаболічних резервів м'яза (збільшення вмісту креатинфосфату, глікогену, міоглобіну тощо), збільшення числа функціонуючих капілярів. Найбільш схильні до саркоплазматичної гіпертрофії повільні (тип I) і швидкі окиснювальні (тип II A) м'язові волокна. Саркоплазматична гіпертрофія мало впливає на силові якості м'язів; у більшості випадків вона (сила м'язів) не змінюється або несуттєво зростає. Основним наслідком саркоплазматичної гіпертрофії є значне зростання витривалості.

***14. Які м'язові волокна найбільш схильні до міофібрилярної гіпертрофії? Умови розвитку цього типу гіпертрофії м'язів.***

***Міофібрилярна гіпертрофія*** розвивається переважно за рахунок збільшення числа і обсягу міофібрил, збільшення їх щільності в м'язовому волокні. Даний тип гіпертрофії м'язів сприяє значному зростанню сили м'язів. Найбільш схильні до міофібрилярної гіпертрофії швидкі (тип II Б) м'язові волокна.

У звичайних умовах життя у людини розвивається змішана (саркоплазматично-міофібрилярна) гіпертрофія з перевагою, в залежності від професійної діяльності, першого або другого типу. Саркоплазматична гіпертрофія розвивається при виконанні великого обсягу динамічних вправ, міофібрилярна – при виконанні вправ з великими м'язовими напруженнями (більше 70% від максимальної довірливої сили м'язів).

При тренуванні сили гіпертрофуються переважно швидкі м'язові волокна, а при тренуванні витривалості – повільні. Таким чином,

високий відсоток швидких волокон у м'язах – важлива передумова розвитку м'язової сили, а високий вміст у м'язах повільних волокон – свідчення великих потенційних можливостей розвитку витривалості.

**15. Як впливають на розвиток робочої гіпертрофії м'язів андрогени?**

Важлива роль у розвитку гіпертрофії м'язів належить чоловічим статевим гормонам – андрогенам, які у чоловіків виробляються статевими залозами (сім'яниками) і корою наднирників, у жінок – лише наднирниками. **Андрогени** посилюють синтез міофібрилярних білків, поліпшують координацію рухів, підвищують «агресивність» людини в стресових ситуаціях. Саме низьким вмістом андрогенних гормонів в організмі жінок можна, ймовірно, пояснити значно меншу силу їхніх м'язів (приблизно на 20% у порівнянні з силою м'язів чоловіків). Збільшення секреції андрогенів наднирниками у жінок з підвищеним обміном речовин завжди приводить до збільшення у них м'язової маси і сили. Введення тестостерону в організм чоловіків, які тренують силу, сприяє прискореному розвитку міофібрилярної гіпертрофії з одночасним зростанням м'язової сили.

**16. В чому полягає небезпечність для здоров'я вживання синтетичних аналогів чоловічих статевих гормонів?**

Гіпертрофію м'язів можна прискорити, вводячи в організм не лише чоловічі статеві гормони, а й їх синтетичні аналоги (неробол, діанобол, ретаболіл та ін.) Усі вони володіють вираженим анаболітичним ефектом щодо скелетних м'язів, сприяють швидкому відновленню організму після тренувальних навантажень. Проте належить знати, що використання значних доз цих препаратів, пригнічуючи синтез власних статевих гормонів, може призвести до погіршення статевої функції, порушень обміну речовин тощо. Вченим відомі і канцерогенні властивості анаболіків.

Виражену анаболітичну дію на організм людини має ряд неандрогенних препаратів. До них належать 4-метилурацил, оротат калію, інозит та ін.

## 2.4. ФІЗІОЛОГІЧНІ МЕХАНІЗМИ ВПЛИВУ РІЗНОГО РІВНЯ РУХОВОЇ АКТИВНОСТІ НА ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ

*17. У чому полягає фізіологічна природа позитивного впливу рухової активності на організм людини?*

Фізіологічна природа позитивного впливу рухової активності на організм людини зумовлена складними взаємозалежними і взаємообумовленими зв'язками між м'язовою системою та внутрішніми (вегетативними) органами. Посередником у цьому взаємозв'язку є ЦНС.

У випадку малої рухової активності людини (гіподинамія), а також при надмірному нервово-емоційному перенапруженні, порушується функціональний стан ЦНС як посередника між м'язами і внутрішніми органами. Як наслідок, знижується імунна реактивність, погіршується функціональний стан всього організму, створюються сприятливі передумови для виникнення неінфекційних захворювань.

Дослідженнями Н.І. Красногорського, О.О. Ухтомського, М.Р. Могендовича було встановлено наявність двох типів рефлекторних впливів: з внутрішніх органів на м'язи – **вісцеромоторні рефлекси**, і з м'язів на внутрішні органи – **моторно-вісцеральні рефлекси**. У відповідності до потреб організму в діяльності вегетативних систем (дихання, кровообігу тощо) моторно-вісцеральні рефлекси направлено змінюють (шляхом зміни обміну речовин) функціональний стан цих систем. Так, одночасно з скороченням м'язів, що виникають при збудженні моторної зони кори мозку, зменшується нервова стимуляція симпатичних волокон, що йдуть до кровоносних судин працюючих м'язів; розширення кровоносних судин за таких умов сприяє покращенню кровообігу.

Слід пам'ятати, що нічого специфічного, безпосередньо спрямованого на боротьбу з інфекцією (конкретним захворюванням) у захисній дії моторно-вісцеральних рефлексів немає. Через покращення обміну речовин і тканинного живлення ці рефлекси лише стимулюють фізіологічні процеси, підвищують стійкість органів і систем організму до дії шкідливих чинників довкілля.

Отже, оздоровче значення рухової активності для людини полягає в нейтралізації самих передумов захворювань у вигляді викликаних гіпокінезією порушень функцій організму. У випадку, коли захворювання спричинене недостатністю руху (наприклад, при атеросклерозі і гіпертонічній хворобі), фізичні вправи можуть бути використані в якості специфічного засобу лікування; якщо ж захворювання не пов'язано з гіподинамією, а має інфекційну природу, то фізичні вправи виявляють неспецифічну оздоровчу дію.

***18. Який взаємозв'язок між психомоторними здібностями людини і можливостями адаптації до змінних умов довкілля?***

Пристосовуючи природу до своїх гомеостатичних потреб, змінюючи середовище свого існування, людина втрачає набуті нею в процесі еволюції психомоторні здібності та руйнує тим самим свій організм. Тепла кімната, теплий одяг, тепле взуття, тепла або 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 окремих органів і систем з наступним зниженням рівня здоров'я. Лише з допомогою систематичних занять фізичними вправами можна сприяти зростанню функціональних резервів організму, адаптувати його до постійно змінних умов існування, забезпечивши таким чином філогенетично сформовану потребу людини в руховій активності.

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 тощо.

***19. Що таке «здоров'я» з позицій ролі фізичних вправ у реалізації генетично запрограмованої тривалості життя індивіда?***

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 та інтелектуальної працездатності, високої імунної і фізіологічної стійкості щодо впливу чинників довкілля та відсутності патологічних відхилень в організмі.

### 20. Які можливі наслідки гіпокінезії для здоров'я людини?

Обмеження рухової активності (*гіпокінезія*) супроводжується рядом функціональних і морфологічних змін в організмі. Найбільш виражено ці зміни проявляються у космонавтів, підводників, у людей з травмованими мотонейронами та сухожилками або з гіпсовими пов'язками. 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).

Таблиця 1.6

#### Вплив фізичного тренування і гіподинамії на організм людини (С.Е. Strauzenberg)

Фізіологічні системи, органи і показники життєдіяльності організму	Зміни, зумовлені тренуванням	Зміни, зумовлені гіподинамією
1	2	3
М'язи	Збільшення м'язової маси (гіпертрофія)	Зменшення м'язової маси (атрофія або інволюція)
Вегетативна нервова система	Відносна ваготонія, зняття напруження нервової системи, тропотропна направленість обміну речовин	Відносна симпатикотонія, енерготропна направленість обміну речовин

Продовження табл. 1.6

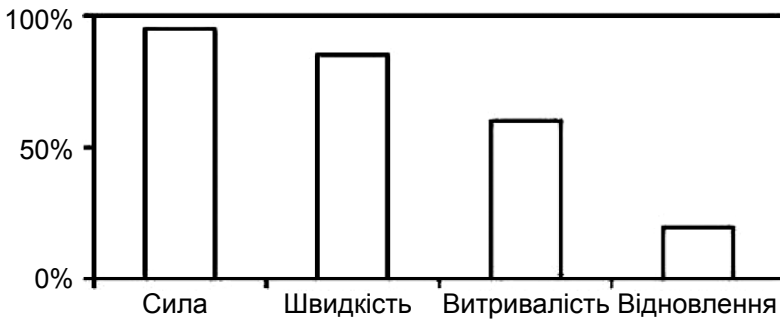
1	2	3
Серце і система кровообігу	Економізація роботи серця із збільшенням обсягу наповнення, зниження ЧСС і артеріального тиску	Економізація не розвивається, як наслідок, посилюється зношення серцево-судинної системи
Холестерин сироватки крові	Зниження	Підвищення
Глюкоза крові	Збільшення, включення в 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)

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 кровноносних судин.

Наслідком гіподинамії є порушення структури і функції м'язів, зв'язок, сухожилок, нервово-м'язових синапсів. За таких умов згасають сформовані рухові навички, зменшується суглобна рухливість, погіршується координація рухів та прояв інших рухових здібностей (рис. 1.13).

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 сухожиль (обмеженість прояву моторно-вісцеральних рефлексів).





**Рис. 1.13.** Зміна стійкості різних показників рухової діяльності людини під впливом гіподинамії (за А. Коробковим)

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

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 сталість внутрішнього середовища, на склад крові, лімфи і міжклітинної рідини. Кров експериментальних тварин, які тривалий час були знерухомлені, містила в собі зменшену кількість гемоглобіну, формених елементів крові і

загального білку. Зменшений вміст білків гама-глобулінової фракції в сироватці крові знерухомлених тварин, в порівнянні з контрольними, свідчить про виражене зниження їх імунної реактивності (П.Д. Плахтій, 1990). Тривала бездіяльність є першопричиною зменшення загальної кількості крові в організмі. Узагальнено вплив гіпокінезії на організм людини представлено на рис. 1.14.

Зниження витрат енергії	Зниження метаболізму в м'язах	Зменшення імпульсації з пропріорецепторів
Зниження синтезу АТФ	Зменшення м'язової маси	Порушення пропріорецептивної чутливості м'язів
Зниження сили м'язів і працездатності	Збільшення маси тіла за рахунок збільшення жирових запасів	Порушення координації рухів
<b>ГІПОКІНЕЗІЯ</b>		
Зниження тонуусу судин	Порушення кальцієвофосфорного обміну в кістках	Порушення аферентної імпульсації
Зменшення маси міокарду	Підвищення виділення йонів Кальцію з сечею	Порушення трофічної функції нервової системи
Детренованість серцево-судинної системи	Порушення міцності кісток	Зниження реактивності, астенія

*Рис. 1.14. Гіпокінезія та її наслідки*

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 стомлюється при виконанні будь-якої роботи.

## ТЕМА 3. РЕГУЛЯЦІЯ НАПРУЖЕННЯ М'ЯЗІВ

### 3.1. ФОРМИ І ТИПИ М'ЯЗОВИХ СКОРОЧЕНЬ

#### *1. Які скорочення м'язів називаються динамічними? Типи динамічних 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 (рис. 1.15). **Це концентричний тип скорочення.** Скорочення м'яза при сталому напруженні називають **ізотонічним** («іzos» – рівний, тонус – 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 під 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.

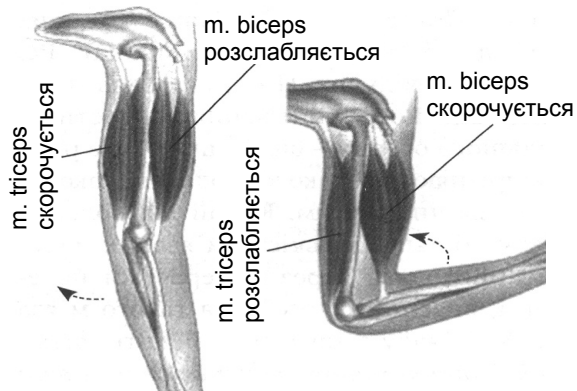


Рис. 1.15. Взаємодія м'язів-згиначів і розгиначів

**2. Які скорочення називаються статичними, а які ауксотонічними?**

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, маловтомлюючими 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 і 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. 1.7.

**Таблиця 1.7**

**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

### **3. Яка робота виконується при динамічному і при ізометричному скороченні м'язів?**

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 зі значними витратами енергії і тому може бути дуже втомливим. У даному випадку роботу м'язів оцінюють за тривалістю часу підтримання ним даної величини напруження (імпульс сили у фізиці).

### **4. Які вправи називаються долаючими, підтримуючими та уступаючими?**

Співвідношення вираженості динамічних і статичних скорочень у виконанні даної роботи дозволяє виділити **долаючі** або **переборюючі** (підняття вантажу), **підтримуючі** (утримання вантажу) та **уступаючі** (опускання вантажу) вправи. 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 завдяки зниженню діастолічного тиску за рахунок збільшення пульсового тиску (І. Б. Тьомкін).

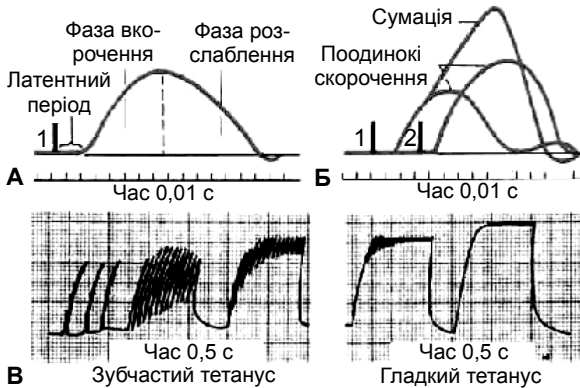
При виконанні роботи в переборюючому (долаючому) режимі ступінь активізації пропріорецепції, внаслідок протилежно спрямо-

ваної 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.

## 3.2. РЕЖИМИ СКОРОЧЕННЯ М'ЯЗОВИХ ВОЛОКОН. МІОТОНОМЕТРІЯ

### 5. За яких умов м'язові волокна працюють в режимі поодиноких скорочень?

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. 1.16).

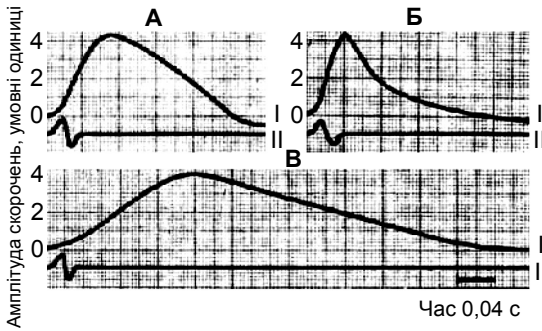


**Рис. 1.16.** Поодинокі скорочення (А), сумація (Б), тетанус (В):  
1 – момент першого подразнення,  
2 – момент другого подразнення

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

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. 1.17).



*Рис. 1.17. Криві поодинокого скорочення змішаного м'яза (А), м'яза з білих (Б) і червоних (Б) волокон:  
I – скорочення,  
II – струм дії*

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 спостерігатиметься при частоті імпульсації мотонейрона – 50 імп/с.

#### **6. Які фази виділяють в кривій поодинокого ізометричного скорочення? Швидкість скорочення м'язів.**

У кривій поодинокого ізометричного скорочення м'яза виділяють три фази: латентний (прихований) період збудження, фаза підйому напруження і фаза розслаблення. При концентричному скороченні ці фази позначаються дещо інакше: латентний період збудження, фаза вкорочення, фаза видовження. Тривалість фази напруження (вкорочення) приблизно вдвічі коротша, ніж фаза розслаблення (видовження).

Тривалість фази вкорочення окремих РО, а, отже, швидкість скорочення різних м'язів, у різних тварин і у людини 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; середній час поодиноких скорочень РО

різних м'язів ссавців – 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.

*7. Дайте характеристику тонічному напруженню м'язів. Зубчастий тетанус.*

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 земному тяжінню.

*8. Яким чином виникає і підтримується тонус м'язів?*

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 гравітації.

*9. У чому полягає практичне значення досліджень м'язового тонусу?*



Дослідження м'язового тонусу є важливим елементом у дослідженні стану опорно-рухомого апарату працівників фізичної праці та осіб, які займаються фізичною культурою і спортом. Особливо важливе значення має вивчення м'язового тонусу для нормування навантажень.

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 польоти людей в космос вимагають знань того, як змінюватиметься в умовах невагомості координація рухів, в якій мірі та за яких умов вона зберігатиметься якнайдовше.

### ***10. Що таке міотометрія? Її значення.***

Вимірювання тонусу м'язів в умовах максимального напруження і при розслабленні (***міотометрія***) 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. Міотометричні 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.

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

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

**11. Що таке динамічний і пластичний тонус м'язів? Амплітуда тонусу.**

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 повздовжньому напрямку, і **пластичний**, – коли визначається опір м'язу тиску, що діє в поперечному напрямку щодо певної точки м'язу.

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

**12. У чому полягають вікові особливості тонусу м'язів?**

Існують вікові та статеві 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.

**13. За яких умов м'язи працюють в тетанічному режимі? Різновиди тетанусів.**

При руховій діяльності до м'язових волокон надходить серія нервових імпульсів, які викликають тривале тетанічне скорочення м'язів – **тетанус**. Тетанічні скорочення властиві тільки скелетним м'язам і не властиві гладеньким м'язам внутрішніх органів та поперечносмугастим м'язам серця, які мають тривалий рефрактивний

період. Тетанічні скорочення, в порівнянні з поодинокими, більш тривалі та сильні.

Тетанус викликається сумацією поодиноких м'язових скорочень, коли повторний нервовий імпульс надходить до м'яза раніше, ніж повністю завершиться його поодиноке скорочення (рис. 1.18). За таких умов відбувається накладання однієї хвили поодиноких

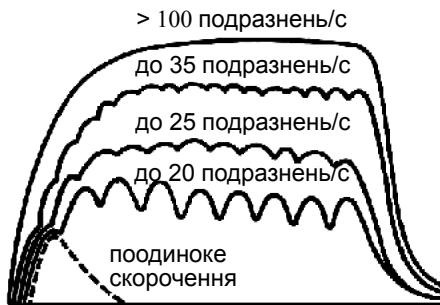


Рис. 1.18. Формування тетанусу в залежності від частоти подразнення

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 сумації асинхронних позмінних скорочень різних РО. В режимі такого скорочення (при оптимальній частоті подразнення) досягається максимальне скорочення м'яза. Надмірне збільшення частоти імпульсів (більше 120 імпульсів за 1 с) викликає зниження сили скорочення м'язів, що є наслідком розвитку постсинаптичного нервово-м'язового блоку (див. Розділ I, тема 1, запитання №52).

#### 14. Що таке контрактура? Її різновиди.

Поряд з тетанічним скороченням м'язів зустрічається такий різновид тривалого скорочення м'язів як контрактура. **Контрактура** –

локальне, тривале і сильне скорочення м'язових волокон. Воно характеризується стійким напруженням (стягуванням) м'яза з сильно сповільненим розслабленням.

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

### 3.3. РОБОТА М'ЯЗІВ І ЇЇ МЕХАНІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

**15. Яку роботу виконує м'яз, скорочуючись? Одиниці виміру роботи м'язів. Потужність роботи.**

Скорочуючись, м'яз виконує зовнішню *механічну роботу* – добуток величини сили (наприклад, піднятого вантажу) на відстань переміщення. Робота обчислюється за формулою  $A = m \cdot h$ ,

де:  $m$  – маса піднятого вантажу,  $h$  – висота.

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*:  $N = A/t$ . 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).

**16. За яким показником визначають ефективність роботи м'язів людини?**

Ефективність роботи м'язів (ефективність використання енергії) оцінюють шляхом визначення *коефіцієнта корисної дії* (ККД). ККД – виражене у відсотках відношення корисної механічної енергії

(КМЕ), затраченої на роботу до загальних енерговитрат (ЗЕ) мінус витрати енергії, які б мали місце у стані спокою за період виконання роботи (ВЕС).

$$\text{ККД} = \frac{\text{КМЕ}}{\text{ЗЕ} - \text{ВЕС}} \cdot 100.$$

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 близько 20-30% енергії скорочення м'язів витрачається на механічну роботу, а решта (70-80%) 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».

### *17. Як залежить ефективність роботи м'язів від величини навантаження і швидкості скорочення?*

Ефективність роботи м'язів залежить від величини навантаження і швидкості скорочення. *ККД* 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 внутрішньом'язового тертя (в'язкості) – чим більша швидкість скорочення м'язів, тим більше внутрішнє тертя.

**18. У чому полягає практична значимість врахування законів середніх навантажень і середніх швидкостей щодо ефективності діяльності людини?**

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 апарату, збільшуються і абсолютні значення середніх навантажень і швидкостей. Тому величину середніх навантажень і швидкостей, в кожному окремому випадку, необхідно визначати експериментально, враховуючи вік, стать, розвиток окремих груп м'язів досліджуваних 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.

**19. Як можна визначити механічну продуктивність роботи, знаючи обсяг використаного при роботі кисню?**

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

$$\text{ККД} = 0,49 \cdot \frac{\text{МР}}{\text{СпО}_2} \cdot 100,$$

де: МР – механічна (зовнішня) робота в кгм; СпО<sub>2</sub> – обсяг (рівень) використаного при роботі кисню в мл; 0,49 – коефіцієнт еквівалентності між механічною роботою і обсягом використаного кисню.

Зі 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).

**20. Яка робота і чому більш втомлива – динамічна чи статична?**

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 втому і не може продовжуватись тривалий час. Це пояснюється розвитком у рухових центрах працюючих м'язів захисного гальмування, яке завжди виникає тим швидке, 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.

**21. Що таке натуження? Які фізіологічні механізми лежать в основі його виникнення?**

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. При цьому різко підвищується внутрішньочеревний та грудний тиск, фіксується грудна клітка, знижується забезпечення організму Оксигеном. Натуження завжди починається на вдиху, закінчується на видиху. Досить часто натуження поєднується з напруженням м'язів кінцівок.

Різке 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 ударного (систоличного) обсягу крові та падає кров'яний тиск (у натренованих людей звуження периферичних судин може призвести до незначного підвищення кров'яного тиску). Після 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.

## ***22. Як впливають статичні навантаження на організм людини?***

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.

### **3.4. СИЛОВІ ЯКОСТІ М'ЯЗІВ**

#### ***23. Що таке сила м'язів і яка її величина?***

Без напруження м'язів, без сили, яку вони розвивають на даному напруженні, виконання фізичних вправ неможливе. Фізична сила людини взагалі за межами конкретного руху не існує.

Під час скорочення м'яз тягне обидва свої сухожилкові кінці до центру. Величина тяги на цих кінцях залежить від сили, яку розвиває м'яз. Найбільшу силу він розвиває при ізометричному типі скорочень за умови дотримання таких умов: вихідне положення м'яза перед скороченням – довжина спокою; активація всіх РО працюючого м'яза; режим повного тетануса усіх РО.

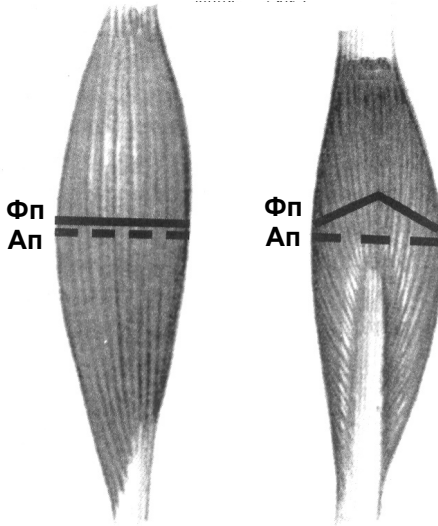
М'язова сила, що проявляється в умовах концентричного або ексцентричного скорочення м'язів, називається **динамічною силою** (силовий компонент потужності). Динамічна сила при концентричному скороченні м'язів менша, ніж ізометрична сила при ексцентричному скороченні (уступаючий режим).

Силу м'яза визначають за величиною вантажу, який він здатний підняти, або за показником максимального напруження, яке він може розвинути в умовах ізометричного скорочення. Для цього використовують **кистьові і станові динамометри**.

Одиночне м'язове волокно здатне розвинути напруження близько 150 мгс. Відносна сила окремих м'язів людини (на 1 см<sup>2</sup> площі поперечного перерізу) різна: литковий м'яз – 6,0 кг; згинач плеча – 8 кг; двоголовий плеча – 11 кг; триголовий – 17 кг; жувальний 10 кг.

#### 24. Від чого залежить сила м'язів?

Сила окремих м'язів залежить від співвідношення в них швидких і повільних РО (швидкі РО сильніші від повільних РО), від його поперечного перетину, розташування м'язових волокон у м'язі, кута, під яким м'яз, що має скорочуватися, підходить до кістки.



*Рис. 1.19. Лінією показано анатомічний (Ап) і фізіологічний (Фп) поперечник у м'язів з різним розташуванням волокон*

Чим більший об'єм м'язу, тим він сильніший. Окрім того, сила м'язів залежить від ходу волокон у них. У зв'язку з цим виділяють **фізіологічний** та **анатомічний поперечник** м'яза (рис. 1.19). У м'язах з поздовжнім ходом волокон обидва поперечники співпадають, у перистих фізіологічний поперечник більший, ніж анатомічний.

На прояв сили м'яза впливає кут, під яким м'яз підходить до кістки: чим він більший, тим кращі умови для прояву сили. Якщо м'яз підходить до кістки під гострим кутом, то частина сили йде на забезпечення руху,

а інша частина – на стиснення важеля, якщо ж м'яз підходить до кістки під прямим кутом, то майже вся сила м'яза витрачається на забезпечення руху.

#### 25. Які м'язові фактори визначають величину максимальної довільної сили м'язів?

На величину максимальної довільної сили (МДС) м'язів виявляють вплив такі м'язові (периферичні) фактори: механічні умови дії м'язової тяги (плече важеля дії м'язової сили і кут прикладення цієї сили до кісткових важелів); поперечник активних м'язів (кіль-

кість м'язових волокон і їх товщина); композиція м'язів: чим більше швидких м'язових волокон у м'язі, тим більша МДС (чим більше повільних м'язових волокон, тим більша витривалість м'язів). Сила скорочень працюючих м'язів залежить і від вихідної довжини м'яза та швидкості його скорочення.

М'яз спроможний розвинути найбільшу силу, якщо його довжина на 20% більша рівноважної довжини, тобто довжини, яку має ізольований м'яз з нульовим напруженням. Напруження м'яза залежить від швидкості його скорочення під час навантаження: швидкість вкорочення м'яза тим більша, чим менша величина ваги. Чим швидше м'яз вкорочується, тим менше число взаємодіючих поперечних містків між актиновими і міозиновими міофібрилами.

### **26. Що таке силовий дефіцит? Які фактори впливають на його величину?**

Показник різниці між величинами максимальної істинної сили (МІС) і максимальної довільної сили (МДС) для даної групи м'язів складає величину **силового дефіциту** (СД). Його наявність зумовлена досконалістю центральнонервового управління м'язами.

МДС окремих груп м'язів визначають з допомогою звичайного кистьового динамометра або спеціальної динамометричної установки. Для визначення МІС подразнюють нерв, що іннервує досліджувану групу м'язів електричними імпульсами такої частоти і сили, щоб активізувати якнайбільшу кількість рухових одиниць.

Величина СД залежить від емоційного стану досліджуваного, рівня мотивації та кількості одночасно активних м'язів. Так, на змаганнях спортсмен у більшості випадків показує більшу МДС, ніж на тренуваннях. Помітне зниження СД спостерігається при споживанні лікарських препаратів, стимулюючих функцію ЦНС. При інших рівних умовах величина СД тим менша, чим менше число одночасно працюючих м'язів. Так, МДС м'язів згиначів великого пальця кисті менша від їх МІС на 10%, а різниця МДС і МІС великих груп м'язів гомілки досягає 30%.

**27. У двох досліджуваних визначені показники максимальної довільної сили (МДС) і максимальної істинної сили (МІС) згиначів плеча. У першого досліджуваного ці показники відповідно становили 6 і 8 кг/см<sup>2</sup>, у другого 7 і 8 кг/см<sup>2</sup>. У кого з обстежуваних більш досконале центральнонервове управління м'язовим апаратом?**

Величина МДС, її наближення до МІС визначається досконалістю механізмів внутрішньом'язової і міжм'язової координації (координація активності окремих м'язів шляхом включення «потрібних» для успішного виконання даної вправи, м'язів-антагоністів). Висока досконалість центрально-нервового управління м'язовим апаратом зумовлює наближення МДС до МІС (тієї, яка проявляється при безпосередньому подразненні м'язів стимулами оптимальної сили і частоти). Оскільки різниця МІС і МДС у другого досліджуваного менша (8-7 кг/см<sup>2</sup>), то досконалість центральнонервового управління м'язовим апаратом у нього вища (МДС більш наближена до МІС), ніж у першого (8-6 кг/см<sup>2</sup>).

**28. Вкажіть на відмінність між анатомічним і фізіологічним поперечником м'язу, між його абсолютною (АДС) і відносною (ВДС) максимальною довільною силою. В якому випадку АДС м'яза відповідає його ВДС?**

Абсолютна довільна сила (АДС) м'яза – це відношення показника максимальної довільної сили до величини фізіологічного поперечника даного м'яза. Відносна довільна сила даного м'яза – це відношення його максимальної довільної сили до величини анатомічного поперечника м'яза. В м'язах паралельноволокнистого типу (литковий м'яз) усі м'язові волокна розташовані паралельно, а тому фізіологічний поперечник м'яза, а величина АДС рівна величині ВДС. В м'язах пірчастого типу м'язові волокна розташовані косо, прикріплюючись з одного боку до центрального сухожильного м'яза, а з другого – до зовнішнього футляра. В м'язах такого типу фізіологічний поперечник більший від анатомічного (рис. 1.19). Таким чином, АДС м'яза відповідає його ВДС у тому випадку, якщо анатомічний поперечник м'яза відповідає його фізіологічному поперечнику.

**29. Сила м'язів рук хлопчиків 10-річного віку не набагато вища, ніж у дівчаток такого ж віку. Відмінність показників сили у юнаків і дівчат 16-річного віку більш значна. Чому?**

Розвиток м'язової сили у хлопчиків в значній мірі залежить від активності чоловічих статевих залоз, які виробляють гормон тестостерон. Період статевого дозрівання дівчаток у меншій мірі залежить від рівня тестостерону в організмі, а тому їх м'язова сила і працездатність істотно не змінюється. Таким чином, до періоду статевого дозрівання (до 12-15 років) м'язова сила хлопчиків і дівчаток майже однакова; із завершенням статевого дозрівання (після 15-16 років), внаслідок зростання андрогенної активності чоловічих статевих залоз, м'язова сила хлопчиків значно зростає.

**30. Розкрийте суть поняття «максимальна довільна сила». Що таке відносна сила людини в цілому?**

Вимірювання м'язової сили у людини здійснюється шляхом довільного максимального напруження м'язів. Свідомо напружуючи м'язи, людина показує максимальну довільну силу (МДС), що відповідає поняттю «абсолютна сила м'язів». У практиці фізичного виховання під поняттям «відносна сила» розуміється відношення МДС до маси тіла. Іншими словами, відносна сила людини – це абсолютна сила даної групи м'язів (МДС), що приходить на 1 кг її маси тіла. Вона визначається за величиною опору, який здатний перебороти досліджуваний, стискаючи пружину динамометра, вагою піднятої штанги, гирі тощо.

Чим більша маса тіла спортсмена, тим менша його відносна сила (за інших рівних умов: вік, стать, рівень натренованості). Оскільки показник відносної сили більш об'єктивний, ніж абсолютної сили, у таких видах спорту, як важка атлетика, єдиноборства тощо введені вагові категорії.

## **РОЗДІЛ II**

### **ФІЗІОЛОГІЯ СИСТЕМИ ТРАВЛЕННЯ**

Травлення є першим етапом обміну речовин і енергії. Система травлення (шлунково-кишковий тракт – ШКТ) забезпечує надходження в організм води, електролітів, речовин, необхідних для пластичного й енергетичного обміну. Їжа, складові компоненти якої засвоюються в процесі травлення, містить в собі хімічну енергію, необхідну для підтримання йонних градієнтів на мембрані клітин, процесів обміну речовин, виведення з організму шкідливих речовин тощо. На постійному рівні має знаходитися в організмі рівень води, йонів  $N^+$ ,  $Ca^{2+}$  та інших неорганічних речовин, а ШКТ є місцем надходження їх у внутрішнє середовище.

У травному тракті рідке внутрішнє середовище організму і зовнішній світ відокремлені лише дуже тонким (30 мкм), але великим за площею поверхні шаром епітелію (близько  $10\text{ м}^2$ ), через який можуть всмоктуватися необхідні для організму речовини харчових продуктів. Щоб організм міг використати поживні речовини їжі, вона має бути оброблена механічно, переведена у водний розчин і розщеплена хімічно. Невикористані рештки мають бути виведені з організму. Координація процесів перетравлювання харчових речовин, їх рух і всмоктування у внутрішнє середовище здійснюється механізмами нейрогуморальної регуляції функцій:

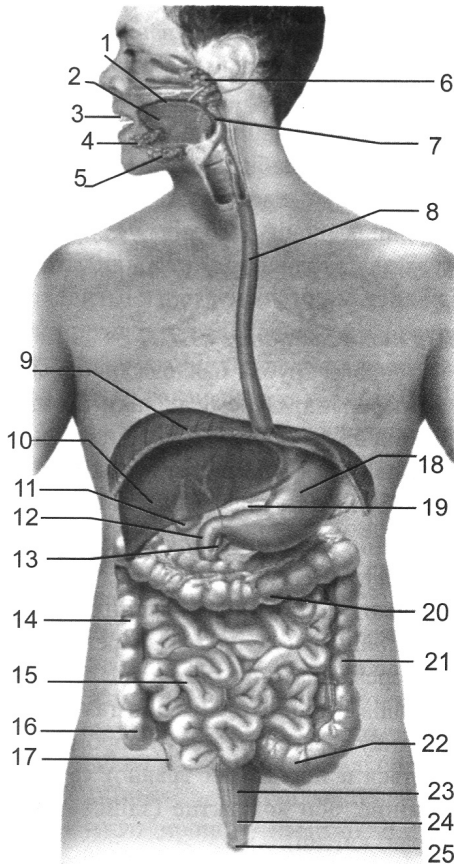
- автономною або гостроекторальною нервовою системою (нервові сплетіння шлунково-кишкового тракту);
- нервами вегетативної нервової системи і вісцеральними афферентами;
- гормонами залоз внутрішньої секреції і біологічно активними речовинами травного тракту.

Тонкий епітелій стінок ШКТ є тим місцем (кордоном), через яке в організм можуть проникати збудники самих різних захворювань. Щоб попередити процес інфікування організму існує низка специфічних і неспецифічних механізмів захисту цього кордону між доквіллям і внутрішнім середовищем організму.

## 2.1. СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНА ОРГАНІЗАЦІЯ ТРАВНОЇ СИСТЕМИ

### 1. Які морфофункціональні особливості характерні для системи травлення людини?

Система травлення людини включає в себе ШКТ довжиною 5-6 м 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, ободові і пряма кишки) кишечник. Завершується травна трубка анальним каналом і анусом (рис. 2.1).



**Рис. 2.1. Схема будови системи травлення:**

1 – ротова порожнина; 2 – язик, 3 – зуби, 4 – під'язикова залоза, 5 – підщелепна залоза, 6 – привушна залоза, 7 – глотка, 8 – стравохід, 9 – діафрагма, 10 – печінка, 11 – жовчний міхур, 12 – дванадцятипала кишка, 13 – жовчна протока, 14 – висхідна ободова кишка, 15 – тонкий кишечник, 16 – сліпа кишка, 17 – апендикс, 18 – шлунок, 19 – підшлункова залоза, 20 – поперечна ободова кишка, 21 – низхідна ободова кишка, 22 – сигмоподібна кишка, 23 – пряма кишка, 24 – анальний канал, 25 – анус

Стінка ШКТ 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 розташоване аурербахове нервово сплетіння, а між середнім і підслизовим шарами – мейснерове сплетіння (рис. 2.2). Ці сплетіння беруть участь в регуляції моторної функції травного тракту, а також регулюють секреторну функцію травних залоз.



**Рис. 2.2. Схема шарів стінки шлунково-кишкового тракту**  
(за Ф. Вальбеком)

Петлі кишечника розташовуються справа наліво. Хімул ШКТ пересувається за рухом годинникової стрілки. Це належить врахувати масажистам при виконанні масажу травних органів.

## **2. Що таке травлення? Які чинники діють на поживні речовини їжі в травному тракті?**

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

У травному тракті поживні речовини їжі піддаються фізичній, хімічній і біологічній дії. Фізичний вплив на їжу здійснюється з до-



помогою язика, зубів ротової порожнини та гладеньких м'язів стінок шлунково-кишкового тракту. Внаслідок **механічної обробки** їжа подрібнюється, перемішується і переміщується по травному тракту.

**Хімічна дія на їжу** полягає в розщепленні складних високомолекулярних білків, жирів та вуглеводів з допомогою гідролітичних ферментів до простих хімічних сполук, які можуть всмоктуватись в кров і лімфу.

Розщеплення більшості поживних речовин необхідне для того, щоб вони втратили свою імунну специфічність. Лише після цього продукти розпаду можуть всмоктуватися у внутрішнє середовище організму. Головними для всмоктування структурами щодо білків є амінокислоти, щодо нуклеїнових кислот – нуклеотиди. Жири і вуглеводи в меншій мірі володіють імунною антигенністю, а тому можуть попадати в кров у менш видозмінену вигляді. Щоб не втратити своєї біологічно активної структури, без розщеплення всмоктуються вітаміни, вода, мінеральні солі.

**Біологічний вплив на їжу** виявляють мікроорганізми травного тракту (**симбіотне травлення**). В забезпеченні повноцінного харчування людини важливу роль відіграють мікроорганізми кишечника, що здатні синтезувати вітаміни і деякі незамінні амінокислоти.

Сукупність процесів фізичної, хімічної і біологічної обробки харчових речовин називається **травленням**.

### **3. Яке значення баластних речовин для організму людини?**

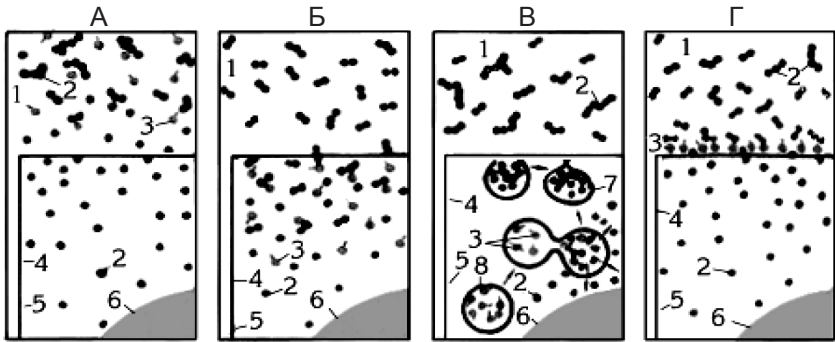
Важливим компонентом їжі є **баластні речовини**: клітковина або целюлоза, пектин, лігнін і деякі інші. Ці речовини не утворюються в організмі і повинні надходити до нього з харчовими продуктами.

Зв'язуючи воду, баластні речовини збільшують обсяг і масу шлункового вмісту. Наслідком цього є посилення моторної функції кишечника і більш повне використання поживних речовин їжі. В процесі «перетравлення» клітковини стінки товстого кишечника звільняються від нагромаджень шлаків, зокрема калового каміння, яке міцно прикріплене до стінки. При наявності в харчовому раціоні

людини достатньої кількості клітковини, зростає обсяг калових мас, що в свою чергу оптимізує випорожнення кишечника. Окрім того, зв'язуючи холестерин, баластні речовини виводять його з організму. Це сприяє попередженню розвитку атеросклерозу, ішемічної хвороби серця, жовчнокам'яної хвороби.

#### 4. Які основні типи травлення сформувались у людини і тварин процесі філогенезу?

В процесі тривалого еволюційного розвитку системи травлення у тварин і людини сформувалось три різних типи травлення – внутрішньоклітинне, позаклітинне, мембранне (рис. 2.3).



**Рис. 2.3. 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

**Внутрішньоклітинне травлення** характерне для найпростіших і деяких багатоклітинних тварин (губки, плоскі черви). Основою цього типу травлення є поглинання клітиною щільних (**фагоцитоз**) або рідких (**піноцитоз**) частинок. Гідроліз харчових речовин здійснюється всередині клітини з допомогою ферментів, які виділяються лізосомами. У людини внутрішньоклітинне травлення

забезпечує виконання неспецифічної захисної функції (фагоцитоз лейкоцитів).

**Тип позаклітинного травлення** характерний для високоорганізованих тварин і людини. Вироблені секреторними клітинами ферменти виділяються за їх межі в спеціальні порожнини (**порожнинне травлення**), де і відбуваються процеси перетравлення поживних речовин. Позаклітинне травлення може здійснюватись і за межами організму, якому належать секреторні клітини (наприклад, павуки вводять травні ферменти у вбиту ними здобич).

**Мембранний** (пристінковий) **тип травлення** (А.М. Уголев) здійснюється високоактивними 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 і легко всмоктуються у внутрішнє середовище організму.

#### **5. У чому полягає секреторна функція травної системи? Особливості дії ферментів травних соків.**

Секреторна функція ШКТ здійснюється за допомогою травних залоз. Вони є залозами зовнішньої секреції. Секреторні клітини травних залоз (рис. 2.4) виробляють **травні соки**, які містять в собі гідролітичні ферменти, соляну кислоту, бікарбонат, жовчні солі, мукоїдні речовини тощо. До травних залоз належать під'язикові, підщелепні і білявушні слинні залози, підшлункова залоза, дрібні залози слизової оболонки шлунка і кишечника. Умовно до травних залоз відносять і печінку, яка виділяє продукти своєї життєдіяльності у вигляді жовчі в жовчний міхур, а звідти в 12-палу кишку.

#### **6. Яке значення ферментів травних соків у переварюванні їжі?**

Ферменти травних соків є біокаталізаторами білкової природи, вони прискорюють перетравлення поживних речовин. Більшість ферментів, що діють на білки, виділяються клітинами травних залоз у вигляді неактивних проферментів. Їх активізація здійснюється під дією специфічних активаторів. Так, профермент пепсину пепси-

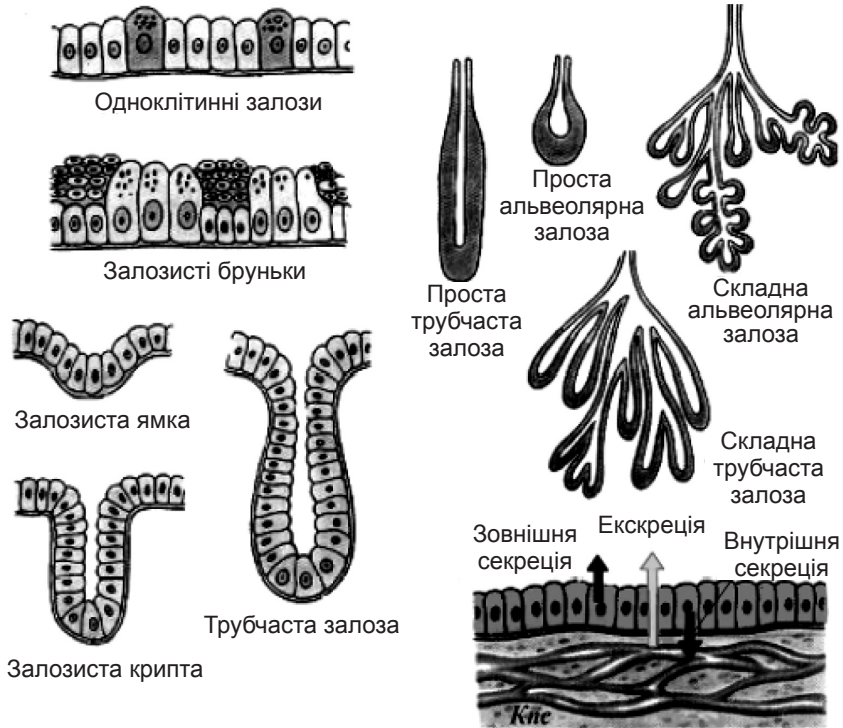


Рис. 2.4. Залози травного тракту і характер їх діяльності

ноген шлункового соку перетворюється в свою активну форму (пепсин) під впливом соляної кислоти шлункового соку.

Активність травних ферментів проявляється при певній реакції середовища (шлунковий фермент пепсин активний в кислому середовищі і не діє в лужному, фермент слини амілаза, навпаки, діє в слаболужному середовищі і не активний в кислому) і температурі 36-40°C. При температурі середовища вищій або нижчій від вказаної активність ферментів знижується. В середовищі, температура якого вища 60°C, ферменти повністю втрачають свою активність.

Ферменти травних соків досить специфічні – кожний окремо взятий фермент виявляє свою ферментативну дію лише на конкретну речовину. Тому повне розщеплення харчових продуктів можливе

лише при наявності певного набору ферментів, які включаються в дію на певних етапах гідролітичного розщеплення поживних речовин їжі. Недостатність в травних соках хоч одного ферменту призводить до порушення всього процесу травлення.

**7. У чому полягає екскреторна, всмоктувальна та інкреторна функції травної системи?**

**Екскреторна функція** травної системи полягає у виведенні з організму деяких продуктів обміну (жовчних пігментів) і солей важких металів. **Всмоктувальна функція** здійснюється слизовою оболонкою травного тракту, через яку з порожнини шлунка та кишечника в кров і лімфу всмоктуються продукти розпаду білків, жирів та вуглеводів (амінокислоти, гліцерин, жирні кислоти, моноцукри), вода, солі, ліки тощо.

**Ендокринна (інкреторна) функція** ШКТ полягає у виділенні специфічних гормонів, які синтезуються великою кількістю спеціалізованих клітин, розташованих дифузно в слизовій шлунка, тонкого кишечника, підшлунковій залозі (**дифузна ендокринна система**), які впливають на функціональну активність органів травлення (гастрин, гістамін, секретин, панкреозимін, бомбензин тощо) і виявляють загальногормональні ефекти (вазоактивний поліпептид, нейроентерін, аренерін тощо). Гормони, які синтезуються в самому ШКТ, називаються **гастроінтестинальними гормонами** (ГІГ). ГІГ можуть виявляти як негайний (місцевий) вплив шляхом дифузії від місця утворення до сусідніх клітин самого ШКТ, так і відставлений в часі ефект. Всмоктуючись в кров, ГІГ надходять до відносно віддалених клітин або органів ШКТ.

**8. Які типи рухової активності характерні для ШКТ людини?**

Завдяки гладеньким м'язам травного тракту забезпечується жування, ковтання, перемішування їжі та її рух по травному тракту, виведення секретів печінки і підшлункової залози в 12-типалу кишку, а травних решток назовні – **моторна функція** (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

**Характеристика моторної функції ШКТ**

Тип рухової активності	Структура ШКТ	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

**9. Як відбувається секреція травних соків в секреторних клітинах ШКТ?**

Утворення окремих компонентів соків травних залоз ґрунтується на таких механізмах (В.І. Філімонов, рис. 2.5):

1. Матеріал для синтезу компонентів травного соку надходить шляхом дифузії або активного транспорту з кровоносних капілярів.

2. Для процесів синтезу використовується енергія АТФ, яка утворюється в мітохондріях клітини.

3. З цього ж боку клітина отримує і регулюючі сигнали від нервових волокон і біологічно активних сполук, які надходять з кров'ю.

4. Секрет, що синтезується, нагромаджується в клітинах у вигляді гранул.

5. Гранули секрета виділяються із клітини з протилежного кінця (через апікальну мембрану).

6. Контролюючі сигнали всередині клітини опосередковуються через йони вільного Кальцію, концентрація яких у клітині завжди зростає при підвищенні проникності мембрани.

Основою будь-яких травних соків є вода. В секреторні клітини вона надходить з кровоносних капілярів за градієнтом осмотичного тиску, тобто з області меншого осмотичного тиску в область більшого. У воді розчинені електроліти і ферменти.

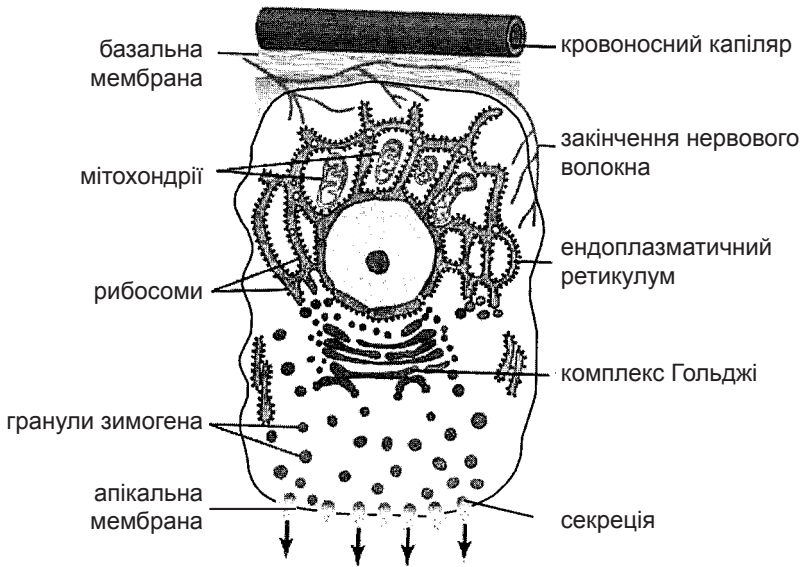


Рис. 2.5. Схема типової секреторної клітини ШКТ

### 10. Які функції виконують сфінктери ШКТ?

Вся кишкова трубка є безпервною. Її довжина близько 7-8 м. Зворотному руху їжі (хімуса) по травному тракту перешкоджають циркулярні скупчення гладеньких м'язів – **сфінктери**. Упродовж всього ШКТ 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) здійснюється за участю рецепторів, розташованих в слизовій оболонці травного тракту нижче і вище кожного сфінктера. Подразнення рецепторів рефлексогенної зони, розташованих в оболонці травного тракту нижче сфінктера, призводить до збудження місцевої інтрамуральної нервової системи, яка забезпечує його рефлекторне закриття. Розслаблення і розкриття сфінктера виникає при пригніченні інтрамуральної нервової системи, що відбувається при подразненні

біологічно активними речовинами хеморецепторів розташованих вище сфінктера. Таким чином робота сфінктерів характеризується певною періодичністю (ритмічністю) роботи.

***11. Який практично значимий висновок щодо оптимальної тривалості інтервалів часу між прийняттям їжі можна зробити на основі аналізу циклічності роботи травних залоз?***

Важливою загальнобіологічною складовою життєвого ритму є рівновага між діяльністю і відпочинком. Прикладом такої рівноваги є ритмічна робота легень (активний вдих і пасивний видих), серця (систола-діастола), нирок (1/3 ниркових клубочків працює, 1/3 – пасивно відпочиває, решта готується до роботи), печінки та інших органів. Така загальнобіологічна закономірність ритмічності роботи окремих органів і систем організму характерна і системі травлення. З прийняттям їжі розпочинається інтенсивне виділення ферментів травними залозами. Ці ферменти повністю використовуються на розщеплення поживних речовин їжі.

Для відновлення функціональної активності травних залоз необхідний певний час – 3-4 години. Отже, для того, щоб забезпечити відпочинок травним залозам, людина упродовж цього часу не повинна приймати їжі взагалі. За умови, коли людина весь час щось їсть (перекушує) ШКТ працюватиме на фоні постійного недовідновлення.

Людина, яка приймає їжу з інтервалами більше 5 годин (один або два рази на добу), з'їдає більше їжі, ніж та, що більш часто її споживає. Переобтяження шлунка їжею призводить до її поганого перетравлення, порушень моторики кишок, закріпів. Такі люди, досить часто страждають ожирінням, захворюваннями печінки, атеросклерозом.

Харчування з короткими інтервалами (менше години) призводить до змішування несумісних харчових продуктів, а отже до розладу моторної і секреторної функції травного тракту. Здоровій людині упродовж дня потрібно харчуватись 3-4 рази: 8<sup>30</sup>, 13<sup>30</sup>, 18<sup>30</sup> і кисло-молочні продукти на ніч (22<sup>00</sup> – 22<sup>30</sup>).



## **2.2. ТРАВЛЕННЯ В РОТОВІЙ ПОРОЖНИНІ**

### ***12. Якi залози ротової порожнини виробляють слину?***

Перетравлення їжі розпочинається вже в ротовій порожнині. Тут упродовж 15-20 с відбувається подрібнення їжі, змішування її з слиною, формування харчової грудочки.

У порожнину рота виділяють свої секрети привушні, підщелепні і під'язикові слинні залози, а також велика кількість дрібних залоз, розташованих на поверхні язика, в слизовій оболонці щік та піднебіння. Ці дрібні залози, як і під'язикові постійно виробляють рідку слину; білявушні і підщелепні залози виділяють свої секрети лише при їх рефлекторному подразненні.

### ***13. Якщо упродовж декількох хвилин утримувати в ротовій порожнині кусочок картоплини, то згодом можна відчутти солодкий присмак. Яка природа даного відчуття?***

Слина – безбарвна за кольором, трохи мутнувата рідина. Її основним органічним компонентом є фермент амілаза, що розщеплює крохмаль і глікоген до дисахариду мальтози і фермент мальтаза (глюкозидаза), яка розщеплює мальтозу і сахарозу до моносахариду глюкози. Подразнюючи смакові рецептори порожнини рота, глюкоза, що утворилась при розщепленні крохмалю картоплі, спричиняє відчуття солодкого присмаку.

### ***14. Що входить до складу слини?***

Окрім ферментів, що діють на вуглеводи, в слині є незначна кількість мукополісахаридів і глікопротеїнів (муцин, специфічні білки крові тощо), імуноглобулінів, йонів Натрію, Кальцію, Хлору тощо. Високу бактерицидну властивість слини забезпечує фермент **лізоцим**. Своєрідний слизистий вигляд слини зумовлений присутністю в ній білкової речовини **муцину**. Окрім муцину і лізоциму до щільного залишку слини (0,5-1,5%) входять ферменти, неорганічні солі, глобулін, амінокислоти, креатинін, сечова кислота, сечовина.

Реакція слини (рН) – 5,8-7,8. Її величина залежить від інтенсивності секреторної функції слинних залоз; при великих обсягах секреції вона слаболужна, при незначних – слабокисла. Слина завжди гіпотонічна. Це зумовлено процесами активної реабсорбції солей в протоках слинних залоз.

Упродовж доби слинні залози виробляють 0,5-2,0 л слини. На суху їжу слини виділяється більше, ніж на вологу.

### ***15. У чому полягає функціональне призначення ротової порожнини?***

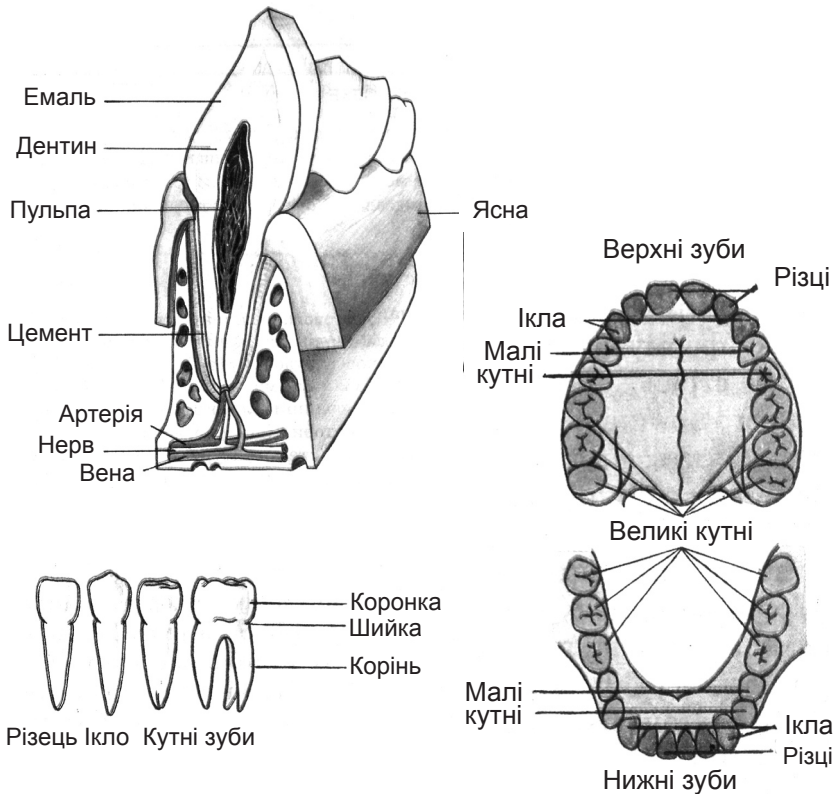
Кусання і механічна обробка їжі здійснюється з допомогою зубів у ротовій порожнині (рис. 2.6). Крім того, з допомогою смакових рецепторів тут проходять процеси попередньої оцінки якості їжі. Як наслідок, неїстівні речовини або харчові з незвичним смаком випльовуються, що ж до їстівних, то в залежності від їх хімічного складу запускаються рефлекторні механізми виділення секретів травних залоз і рефлекси, які забезпечують жування і ковтання сформованої харчової грудочки.

### ***16. Що може бути причиною потемніння зубів?***

Причиною потемніння зубів є відкладання зубного каміння на шийках зубів, розташованих біля вивідних протоків слинних залоз. Спочатку цей вапняковий осад рихлий, ледь-ледь пігментований; згодом він ущільнюється і темніє. Зубний камінь є чинником, який може спричинити запалення ясен. Профілактика відкладання зубного каміння полягає у споживанні жорсткої їжі багатой клітковиною, своєчасному лікуванні зубів (механічному видаленні каміння), ретельному дотриманні правил гігієни ротової порожнини.

### ***17. Які механізми забезпечують регуляцію слиновиділення?***

Адекватна реакція слинних залоз на певний тип їжі здійснюється за участю механізмів нейрогуморальної регуляції функцій. **Нервова регуляція** слиновиділення здійснюється харчовим центром за допомогою умовних та безумовних рефлексів. **Харчовий центр** – сукупність нервових клітин на різних рівнях ЦНС – в довгасто-



**Рис. 2.6. Особливості будови різних типів зубів людини**

му мозку, гіпоталамусі, лімбічній системі та 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, багатой муцином, органічними і мінеральними речовинами слини; при подразненні парасимпатичних нервів, які входять до складу язиковоткового нерва, виділяється велика кількість рідкої слини (рис. 2.7).

В умовах пасивного відпочинку слиновиділення незначне, воно безумовнорефлекторно посилюється при подразненні складовими компонентами їжі нюхових, смакових і тактильних рецепторів.

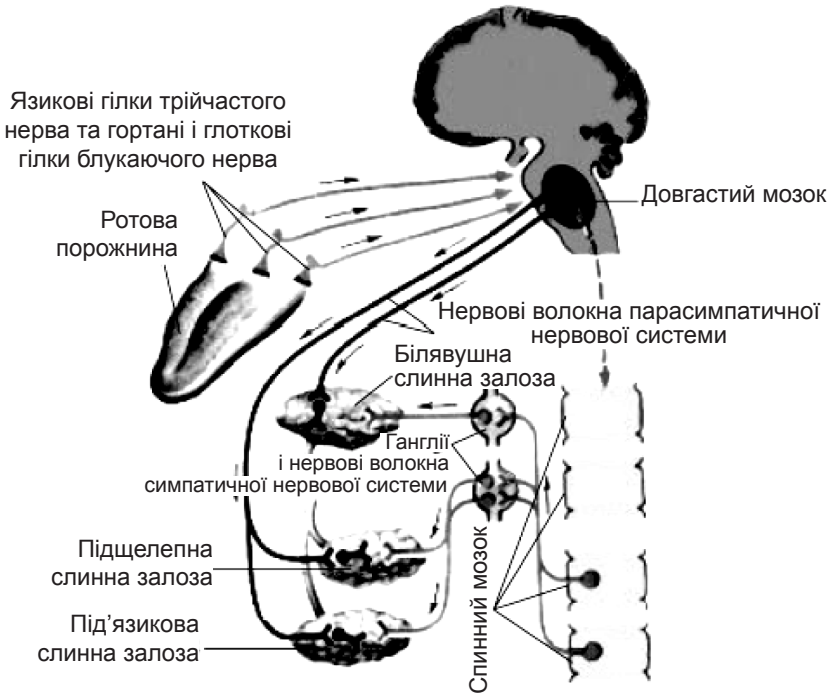


Рис. 2.7. Регуляція слиновиділення

**Умовнорефлекторне 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 слиновиділення посилюється при болях в кишках, харчових отруєннях тощо.

**18. Які фізіологічні механізми лежать в основі процесів пережовування їжі? Значення ретельного пережовування їжі.**

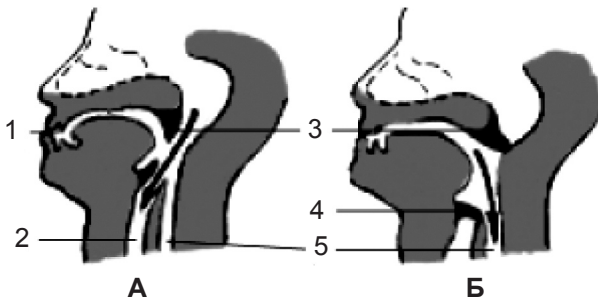
**Жування** – складний рефлекторний акт. Він полягає у координаній діяльності верхніх і нижніх зубів, язика і щік. Рухи нижньої

щелепи здійснюються по вертикалі і горизонталі, що забезпечує подрібнення і перетирання їжі зубами. З допомогою язика і щік їжа декілька разів перекидається в простори між верхніми зубами і зубами нижньої щелепи, 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 тонусу зубної системи в харчовий раціон бажано включати якнайбільше сирі рослинної їжі. При її старанному пережовуванні засвоєння поживних речовин їжі зростає майже у два рази.

### **19. Як здійснюється ковтання їжі?**

Рефлекс ковтання виникає тоді, коли харчова грудочка 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 ідуть еферентні імпульси до м'язів порожнини рота, глотки, гортані і стравоходу, викликаючи їх координовані скорочення – піднімаючись, м'язи м'якого піднебіння закривають носоглотку, надгортанник опускається і корінь язика проштовхує їжу в глотку, а далі в стравохід (рис. 2.8). Проходження харчової грудочки в напрямку до шлунка забезпечується перистальтичними скороченнями циркулярних гладеньких м'язів стравоходу.



**Рис. 2.8. 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*

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.

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

### 2.3. ТРАВЛЕННЯ В ШЛУНКУ

**20. Які морфофункціональні особливості характерні для шлунка людини?**

Шлунок – це розширена частина травного каналу (рис. 2.9). 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-типалу 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 зростає до 10 л.

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

**21. Якими методами користуються фізіологи для дослідження шлункової секреції?**

Для дослідження шлункового травлення використовують різноманітні хірургічні операції, виконані на тваринах. Для отримання шлункового соку у тварин користуються *фістульним методом*. Щоб слина не попадала в шлунок, практикують перерізку (*езофаготомія*) стравоходу на шийі («*уявне годування*» за І.П. Павловим).

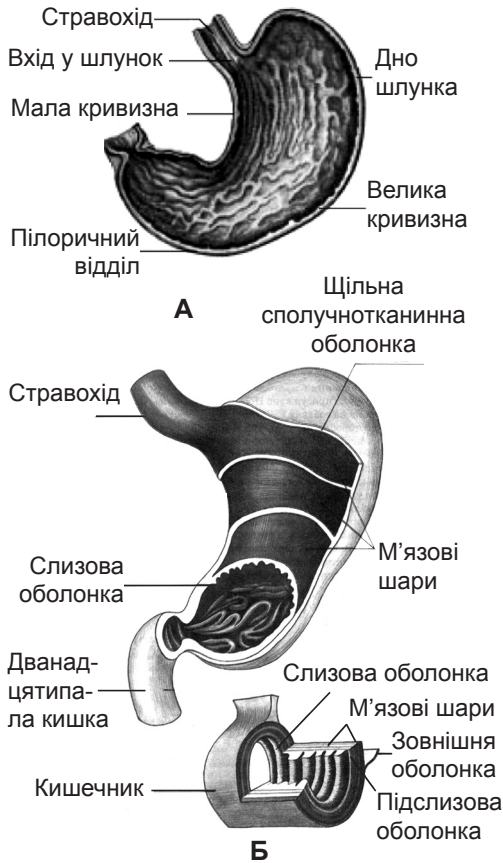


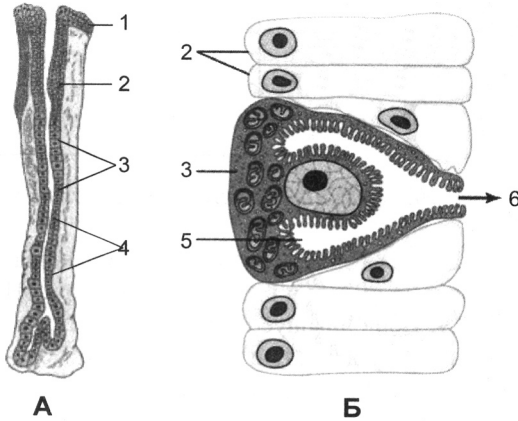
Рис. 2.9. Будова шлунка (А) і його стінки (Б)

**22. Які особливості топографії характерні для травних залоз шлунка? Добовий обсяг секреції шлункового соку і його кислотність.**

У слизовій оболонці фундальної частини шлунку розташовані головні, додаткові та обкладові (парієнтальні) залози (рис. 2.10). **Головні залози** виробляють ферменти (пепсиногени), **обкладові** – соляну кислоту, **додаткові** – мукоїдний секрет, мукополісахариди, бікарбонат, муцин. Постійне виділення муцину сприяє формуванню

Вдосконалення методик отримання шлункового соку пов'язане з хірургічним утворенням маленького ізольованого шлуночка.

Для дослідження шлункового травлення у людей використовують методи зондування, рентгенографії тощо. За допомогою мініатюрних радіопередавачів (радіопілюль), які проковтуються досліджуваним, реєструють температуру, тиск та інші параметри діяльності шлунку. Електричну активність гладеньких м'язів шлунку записують з допомогою електрогастрографа.



**Рис. 2.10. Слизова оболонка шлунка:**

*А – залоза дна шлунка;  
Б – секреторна клітина в активному стані;*

*1 – поверхневий епітелій,  
2 – шийковий мукоцит,  
3 – парієнтальні клітини,  
4 – головні клітини,  
5 – секреторний каналець,  
6 – секреція*

специфічної оболонки, яка щільно прилягає до слизової оболонки шлунка. Поверхневі шари муцинової оболонки можуть відділятися від слизової оболонки шлунку, захищаючи її від механічних і хімічних подразнень, зокрема від дії високоактивних білкових ферментів.

Клітини пілоричного відділу разом з пепсиногенами секретують гормон гастрин. Серед залоз пілоруса обкладових залоз немає, а тому сік цієї частини шлунка має лужну реакцію. Така особливість топографії секреторних клітин шлунка пояснюється тим, що соляна кислота бере участь в процесах безумовнорефлекторного транспортування хімусу зі шлунку в кишечник.

Натще реакція шлункового соку нейтральна, або слаболужна, після прийняття їжі – сильно кисла (рН – 0,8-1,5). Добовий обсяг секреції шлункового соку – 2,0-3,0 л.

### **23. З яких компонентів складається шлунковий сік? Різновиди пепсиногенів.**

Чистий шлунковий сік – безколірна прозора рідина кислої реакції. 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 стає нейтральною.



До складу шлункового соку входять ферменти – **протеази**, які перетравляють білки, і **ліпаза**, гідролізуюча жири. Головні клітини шлунку синтезують і виділяють 7 неактивних пепсиногенів. Пепсинами називають ті форми, які розщеплюють білки при рН 1,5-2,2; ті фракції, гідролітична активність яких максимальна при рН 3,2-3,5, називаються **гастриксинами**. Активатором пепсиногену є соляна кислота. Пепсини розщеплюють білки до поліпептидів. Желатиназа (парапепсин) здійснює гідроліз желатини (білок сполучної тканини), а хімосин (ренін) – розщеплює казеїн молока в присутності кальцію до параказеїну і сироваткового білка. У дорослих людей хімосину виділяється мало.

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. Незначна кількість хімосину і низька активність ліпази у дорослих осіб зумовлюють погане перетравлення білка і жиру молока, що спричиняє у них розлад травлення.

#### **24. Як змінюється склад шлункового соку при вживанні різного типу їжі?**

Діяльність шлунку залежить від складу і кількості прийнятої їжі. Стимулюючи 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.

Склад шлункового соку залежить від складу їжі, зокрема наявності в ній гормонів, екстрактивних речовин, медіаторів тощо (рис. 2.11). При харчуванні людини упродовж певного часу одним типом їжі формується специфічний склад шлункового соку. При прийнятті білкової їжі зростатиме секреторна активність залоз в другій і третій фазі шлункової секреції, при вживанні переважно рослинної їжі секреторна активність залоз в другій і третій фазі зменшуватиметься (див. запитання №27).

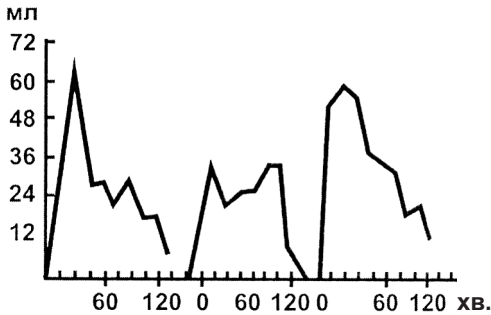


Рис. 2.11. Кількість і тривалість виділення шлункового соку при споживанні: м'яса (а), молока (б), хліба (в)

Шлунковий сік позбавлений ферментів, що діють на вуглеводи. Карбоангідрози слини активні тільки в слаболужному або нейтральному середовищах. Оскільки рН шлункового соку при прийнятті їжі виразно кисле, розщеплення крохмалю за даних умов гальмуватиметься. Дія карбоангідраз слини на крохмаль буде

продовжуватись лише до тих пір, поки їжа не перемішається з кислим шлунковим соком. Кислотність рН в середині харчової грудочки знижується до 5,0 лише через 1-2 години після його надходження в шлунок. Кисле середовище шлункового соку сприятливе для перетравлення білків.

### 25. Які функції виконує соляна кислота шлункового соку?

Важлива роль в шлунковому травленні належить соляній кислоті. Вона виконує багатогранні функції: активує пепсиногени; забезпечує бактерицидну дію шлункового соку; викликає денатурацію і набухання білків, зокрема білків молока, сприяючи їх подальшому ферментативному розщепленню; активує гормон гастрин, який утворюється в слизовій оболонці шлунку; стимулює шлункову секрецію; бере участь в процесах переміщення харчових мас зі шлунку в кишечник.

У перші місяці життя дитини соляної кислоти утворюється небагато. Під кінець річного віку секреція HCl поступово зростає і у віці 7-12 років стає такою ж, як і в дорослих.

Крім соляної кислоти, обкладовими клітинами шлунку виробляється внутрішній фактор шлункового травлення – глікопротеїд. При його відсутності порушується всмоктування вітамінів групи В і виникає перніціозна анемія.

### 26. Які функції виконують мукоїди шлункового соку?

У захисті стінки шлунку від пошкоджуючої дії пепсину і соляної кислоти важлива роль належить слизовому бар'єру з великим вмістом муцину, який виробляється додатковими (слизистими) клітинами шлункових залоз. Окрім муцину, слизисті клітини утворюють бікарбонати, які місцево нейтралізують соляну кислоту. Фіксуючись на поверхні епітелію і знижуючи тертя, слиз попереджує механічне пошкодження стінки. Щодо кислот і ферментів, муцин функціонує як сорбент, чим в значній мірі нейтралізує їхню дію.

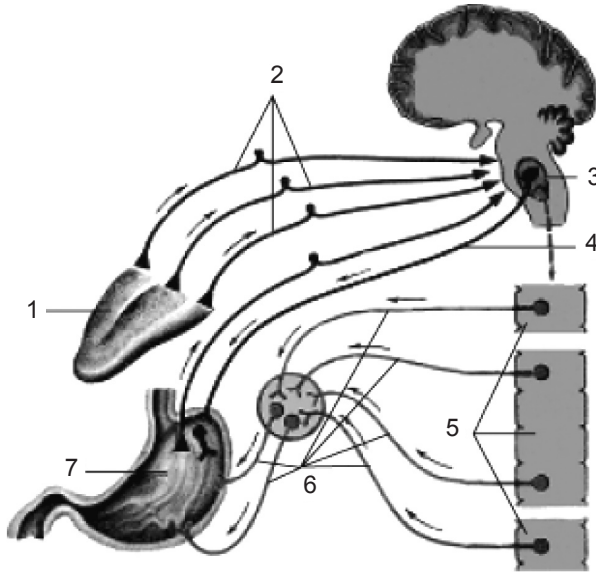
У шлунку крім муцину і бікарбонатів, існує ще один механізм захисту слизової від самоперетравлення. Клітини покривного епітелію здатні зреагсорбувати водень, чим зменшують рівень концентрації кислоти.

### 27. Які є фази шлункового соковиділення?

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

У період *психогенної фази секреції* сік виділяється при дії умовних подразників – умовні харчові рефлексії: вигляд їжі і запах їжі, неспецифічні подразники, які раніше співпадали з прийняттям їжі, її запахом тощо. При подразненні їжею смакових і нюхових рецепторів відбувається безумовнорефлекторне посилення секреції не лише слинних, а й інших травних залоз, зокрема шлункових (рис. 2.12).

Шлунковий сік, який виділяється при сприйнятті їжі зоровим і нюховим аналізаторами, І.П. Павлов назвав *апетитним* (запальним) *соком*. Виділення апетитного соку забезпечує підготовку травного тракту до прийняття їжі. А оскільки виникнення апетиту визначається рядом умовних і безумовних подразників, то обстановка, в якій людина споживає їжу, як і її смакові якості, мають важливе значення для процесів травлення. Наявність фази шлункової секреції доведено «уявним голодуванням» собаки з фістулою шлунка і перерізанним стравоходом.



*Рис. 2.12. 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 (Т<sub>1</sub> – 4–12); 6 – пре- і постгангліонарні волокна симпатичної нервової системи; 7 – шлунок*

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

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

**28. Як змінюється секреторна функція травних залоз в умовах емоційного напруження?**

Секреторна функція шлункових залоз в значній мірі залежить від емоційного стану людини. В умовах емоційного збудження секреторна діяльність травних залоз посилюється, в умовах страху і смутку – гальмується. Підвищення кислотності і атрофія слизової оболонки шлунку за таких умов сприяють виникненню виразок.

**29. Які хімічні і біологічні активатори регулюють діяльність секреторних клітин шлунка?**

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.

У 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 пепсинів), *бомбезин* (посилює секрецію соляної кислоти) та інші. В цілому регуляція діяльності шлункових залоз здійснюється одночасним впливом на них гормонів, медіаторів, активних метаболітів і, звичайно, нервової системи.

**30. Чому при внутрішньовенному введенні голодній людині 40%-вого розчину глюкози «голодні» скорочення шлунку припиняються?**

Наявність 80-120 мг% глюкози в крові є життєвоважливою гомеостатичною константою внутрішнього середовища організму. При зменшенні рівня глюкози в крові збуджуються хеморецептори (глюкорорецептори) гіпоталамуса, що і спричиняє скорочення м'язів шлунку та відчуття голоду. Якщо ж такій людині внутрішньовенно ввести розчин глюкози, то «голодні» скорочення шлунка рефлекторно припиняються.

**31. Які є різновиди моторики шлунка?**

Моторна функція шлунка полягає в перемішуванні їжі з шлунковим соком та її транспортуванні в 12-типалу кишку. Адаптація

м'язів шлунку щодо наповнення його значною кількістю їжі, забезпечує можливість розтягнення стінок шлунка без 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 скорочення шлунку** – тонічні і перистальтичні. Завдяки **перистальтичним скороченням** забезпечується перемішування харчових мас з шлунковим соком (утворення хімусу). Цей процес дуже повільний, що сприяє продовженню гідролітичної дії амілази і мальтази на вуглеводи. Перистальтичні скорочення м'язів шлунку проходять на фоні тонічних скорочень, які розпочинаються з кардіальної частини шлунку і закінчуються в пілоричній.

### ***32. Які фізіологічні механізми забезпечують регуляцію моторики шлунка?***

Регуляція моторної функції шлунку здійснюється нервовим і гуморальним шляхом. При збудженні блукаючого нерва рухи шлунка посилюються, а при збудженні симпатичного – гальмуються. Гальмують рухи шлунка ентерogaстрин, адреналін, норадреналін, йони Кальцію, посилюють – гастрин, гістамін, холін, а також йони Калію. Гладенькі м'язи шлунку володіють автоматією.

### ***33. Яким чином регулюється надходження хімусу з шлунку в тонкий кишечник?***

У регулюванні надходження хімусу в тонкий кишечник важлива роль належить пілоричному сфінктеру, який знаходиться на ділянці переходу шлунка в 12-палу кишку (рис. 2.13). Цей сфінктер завжди рефлекторно відкривається при подразненні хеморецепторів пілоруса кислим хімусом. Невелика частина хімусу в цей період переходить в 12-типалу кишку. Подразнення хеморецепторів слизової оболонки тонкої кишки викликає рефлекторне закриття пілоричного сфінктера. Після нейтралізації соляної кислоти процес з відкриттям пілоричного сфінктера повторюється.



**Рис. 2.13. Перехід їжі (хімусу) з шлунка в дванадцятипалу кишку:**  
1 – скорочення препілоричного 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

розчини затримують евакуацію і хімус залишає шлунок лише після розчинення його шлунковим соком до концентрації ізотонічного розчину), рівня наповнення 12-типалої кишки (при її переповненні евакуація хімусу з шлунку затримується).

#### 34. Що таке блювота? Як її можна викликати?

Одним з видів моторної функції шлунку є **блювота** – руховий рефлекс захисного характеру. Цей рефлекс може виникати при дії подразників на чутливі закінчення нервів або автоматично, тобто через кров, впливаючи безпосередньо на нервовий центр блювоти, що знаходиться в довгастому мозку. Блювота завжди виникає при отруєнні токсинами, що поступили в ШКТ з їжею, або утвореними

в організмі при наявності запального процесу. Блювання можна викликати, подразнюючи механорецептори кореня язика, носоглотки, слизової оболонки стравоходу і шлунку, інколи – органів сечостатевої, рухової та інших систем організму.

***35. У чому шкідливість для людини нерегулярного харчування, споживання гарячої і холодної їжі та напоїв?***

Для ритмічної секреції та більш активного виділення багатого ферментами шлункового соку їжу треба приймати регулярно. При нерегулярному харчуванні порушуються рефлекторні механізми секреції травних соків і їжа попадає у не підготовлений до перетравлення шлунково-кишковий тракт. При цьому порушується робота травних залоз, їжа погано засвоюється, створюються сприятливі умови для активізації процесів гниття, розвитку виразкової хвороби шлунку та дванадцятипалої кишки тощо.

Виділення шлункового соку гальмується при зниженні температури шлунку, що виникає за умови споживання холодних напоїв і страв. Холод знижує активність ферментів, а холодні напої і страви можуть травмувати слизову оболонку шлунка.

Шкідливим для перебігу травних процесів є споживання і надто гарячої їжі та напоїв. Порушуючи цілісність слизової оболонки шлунку, гаряча їжа послаблює її спроможність механічно впливати на їжу. Наслідком зниження реактивності слизової оболонки шлунку є зменшення її товщини і схильність до утворення виразок.

Отже, як надмірно висока, так і надмірно низька температура їжі та напоїв негативно впливає на виділення травних соків. Тому споживати холодні (гарячі) страви, пити холодні (гарячі) напої не фізіологічно. Найбільш висока функціональна активність секреторних залоз шлунка і кишечника проявляється при температурі 36-37°C.



## **2.4. ТРАВЛЕННЯ В ТОНКИХ І ТОВСТИХ КИШКАХ**

### ***36. Які фізіологічні механізми забезпечують нормальний перебіг процесів травлення в 12-типалій кишці?***

У тонких кишках хімус перемішується з лужним кишковим соком, який утворюється підшлунковою залозою, печінкою і кишечними залозами. Ферменти кишкового соку діють не лише в 12-типалій кишці, а й у нижче розташованих відділах тонкого і товстого кишечника.

У 12-типалій кишці харчові продукти піддаються дії соку кишкових 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-типалої кишки. Підшлункова залоза складається з одинарних клітин, які виробляють ферменти і спеціалізованих клітин протоків, в яких здійснюється секреція води, бікарбонатів і інших електролітів. Упродовж доби підшлункова залоза виділяє до 3000 мл травного соку.

Під час прийняття їжі і надходження хімусу з шлунку в кишечник виділяється незначна кількість соку підшлункової залози з високим вмістом ферментів. Після прийняття їжі секреція підшлункового соку безперервна, її характер і тривалість залежить від кількості і якості їжі. В умовах відсутності травлення секреторна активність підшлункової залози знижується до нуля.

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

Білкові ферменти виробляються травними залозами у вигляді неактивних попередників – трипсиногену, хімотрипсиногену, прокарбоксипептидази А і Б. Активізація трипсиногену забезпечує-

ся ферментом кишкового соку ентерокиназою, хімотрипсиногену – трипсином.

### **37. Які функції виконують ферменти кишкового соку?**

Усі ферменти кишкового соку активні в лужному середовищі (рН 7,2-9,0). Нейтралізація кислого шлункового хімусу здійснюється з допомогою бікарбонатів соку підшлункової залози (до 125 ммоль/л).

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, фосфоліпаза А та естераза розщеплюють ліпіди на моногліцериди і жирні кислоти. Її активатором є йони Кальцію та жовчні кислоти. Гліколітичний фермент амілаза розщеплює крохмаль та глікоген на мальтозу, фермент мальтаза гідролізує мальтозу на дві молекули глюкози, фуронідаза розщеплює сахарозу, лактаза – молочний цукор (лактозу) до моноцукрів галактози і глюкози.

### **38. Які функції виконує печінка?**

**Печінка** – найбільша залоза людського організму (2,5 кг, або 4% усієї маси тіла). Вона міститься у правому підребер'ї і займає всю верхню частину черевної порожнини. Між її двома частинами (правою і лівою) на нижній поверхні лежать ворота печінки (місце входження в печінку кровоносних судин і нервів та виходу з неї жовчної протоки і лімфатичних судин (рис. 2.14).

Функції печінки багатогранні. Вона бере участь в обміні білків, жирів, вуглеводів, гормонів, вітамінів (**метаболічна функція**), виконує захисну функцію (**детоксикаційна функція**), жовч печінки відіграє важливу роль в процесах травлення (**секреторна і травна функції**) і виділення (**екскреторна функція**). Окрім того, в печінці депонується значна кількість крові.

Печінка є біологічним фільтром крові, яка до неї надходить з ШКТ. Тут незаражуються отруйні сполуки, які надійшли з їжею

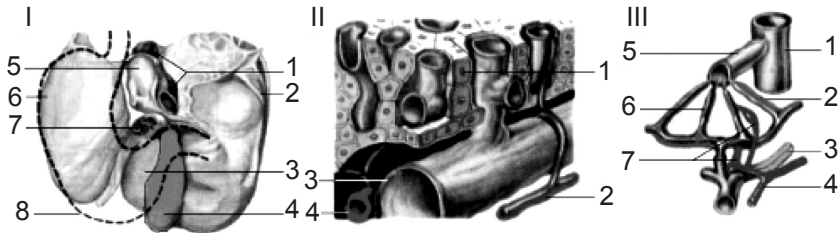


Рис. 2.14. Будова печінки (за Х. Еліасом):

**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)

або утворились в кишечнику під дією гнильних та інших мікроорганізмів, інфекційні і токсичні агенти, окиснюються і виводяться з жовчю ліки та токсини. Варто пам'ятати, що інколи продукти окиснення деяких речовин, зокрема метилового спирту, є ще більш токсичними, ніж самі токсини (В.І. Філімонов).

### 39. Яку роль відіграє жовч в перетравленні поживних речовин їжі?

**Жовч** – продукт секреторної діяльності печінкових клітин. Вона утворюється постійно незалежно від прийняття їжі. Основним регулятором руху жовчі є сфінктер Одді, розташований в гирлі загальної жовчної протоки. При відсутності їжі жовч нагромаджується в жовчному міхурі, а при надходженні їжі – виділяється безпосередньо в 12-типалу кишку. Упродовж доби в печінці утворюється близько 1 л жовчі.

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 окиснення білірубину) – зеленого. Натрієві солі жовчних кислот (холева, кенодезоксихолева), сполучені з гліцином (глікохолева кислота) і таурином (таурохолева кислота) сприяють емульгуванню жирів, посилюють дію ліпази, беруть участь у всмоктуванні жирних кислот.

Печінкова жовч містить 75% глікохолевих і 25% таурохолевих кислот. При вегетаріанському харчуванні збільшується кількість глікохолевих кислот, при високобілковому – таурохолевих. З калом виводиться близько 10-15% жовчних кислот, решта активно реабсорбується і по портальних судинах повертається до печінки. Жовч стимулює діяльність облігатної (нормальної) кишкової мікрофлори, пригнічує життєдіяльність патогенних мікроорганізмів.

#### **40. Яку роль відіграє печінка в обміні речовин?**

Печінка бере активну участь в процесах обміну білків, жирів, вуглеводів, гормонів, вітамінів. У печінці відбувається інактивація стероїдних гормонів, глюкогону, інсуліну, тироксину, антидіуретичного гормону, в ній синтезується вітамін А і гормон соматомедин, фактори, що беруть участь в згортанні крові.

У печінці утворюється більшість білків плазми крові, сечовина, глютамін, тригліцериди, фосфоліпіди, холестерин, глікоген, запаси якого можуть становити 10-15% ваги усього органу; печінка є важливим теплотворним органом.

#### **41. Як змінюється склад жовчі, що знаходиться в жовчному міхурі?**

У жовчному міхурі, завдяки процесам реабсорбції води й інших компонентів, жовч концентрується. Перенасиченість розчину створює сприятливі передумови для утворення нерозчинних осадів (*жовчних каменів*). Переважно це холестеринові камені. Хоч холестерин нерозчинний у воді, у присутності жовчних солей він переходить у форму міцел. Утворенню жовчного каміння в жовчному міхурі сприяє підвищена секреція холестерину при тривалому споживанні великої кількості жиру, наявності запальних процесів, пошкодженні слизової оболонки стінок жовчного міхура.

#### **42. Які механізми забезпечують виділення жовчі?**

Утворення жовчі печінковими клітинами проходить безперервно. В шийці жовчного міхура в ділянці переходу в міхурову протоку знаходиться сфінктер Люткенса, в місці злиття жовчної протоки – сфінктер Міріцці. При наповненні усіх жовчних шляхів відбувається скорочення м'язів проток і жовчного міхура. При цьому тиск в загальній жовчній протоці може зростати до 300 мм вод. ст. За таких умов через відкритий сфінктер Одді жовч із міхура і проток виходить у порожнину 12-типалої кишки. За відсутності хімуса в кишечнику тиск у жовчному міхурі знаходиться в межах 60-180 мм вод. ст. Жовчовиведення посилюється під впливом холецистокініну, який утворюється в 12-типалій кишці під впливом соляної і жовчних кислот.

#### **43. Які фізіологічні механізми забезпечують регуляцію жовчоутворення і жовчовиведення?**

Регуляція жовчоутворення і жовчовиведення відбувається за участю нервових (за механізмом умовних і безумовних рефлексів) і гуморальних механізмів. Парасимпатичні нервові волокна викликають посилення секреторної функції печінкових клітин, симпатичні – пригнічення. Умовні і безумовні рефлекси сприяють виділенню невеликої кількості жовчі упродовж 7-10 хв. Після цього проходять більш активні поперемінні скорочення і розслаблення жовчного міхура. Після випорожнення міхура в кишечник надходить менш концентрована жовч прямо з печінки.

Гуморальна регуляція секреції жовчі забезпечується гормонами шлунково-кишкового тракту (гастрин, секретин і інші), продуктами перетравлення білків і екстрактивними речовинами їжі, які всмоктуються з шлунка і кишечника в кров. Особливо багато жовчі виділяється при споживанні яєчних жовтків, молока, м'яса, жирів. Жовчогінні властивості має сама жовч.

#### **44. Як змінюватиметься травлення в кишечнику за умови закупорки загального жовчного каналу?**

Одним з найбільш поширених захворювань жовчних шляхів і жовчного міхура є жовчокам'яна хвороба. Її виникнення обумовле-

не зміною співвідношень жовчних кислот, лецитину і холестерину в жовчі. Перенасичення жовчі холестерином призводить до його кристалізації з утворенням холестеринових жовчних камінців.

Жовч активує ліпазу кишечного соку, емульгує жири, сприяючи їх розщепленню, посилює моторну функцію кишок, стимулює секрецію підшлункової залози, сприяє всмоктуванню жирних кислот, вітамінів Д, Е, К, амінокислот, солей кальцію. Внаслідок закупорки загального жовчного каналу надходження жовчі в дванадцятипалу кишку припиняється. За таких умов порушуватимуться усі вище вказані функції, які пов'язані із жовчю.

#### ***45. Чому в осіб жіночої статі жовчнокам'яна хвороба спостерігається значно частіше, ніж у чоловіків?***

На виділення жовчі стимулюючий вплив виявляє активно працююча діафрагма при глибокому диханні. Вертикальне переміщення (екскурсія) діафрагми в умовах інтенсивної фізичної роботи сягає 12 см. Щодо печінки і інших черевних органів діафрагма виконує масажну функцію. Тому людям, хворим жовчнокам'яною хворобою, а також тим, у кого видалений жовчний міхур, доцільно займатись фізичною культурою і дихальною гімнастикою.

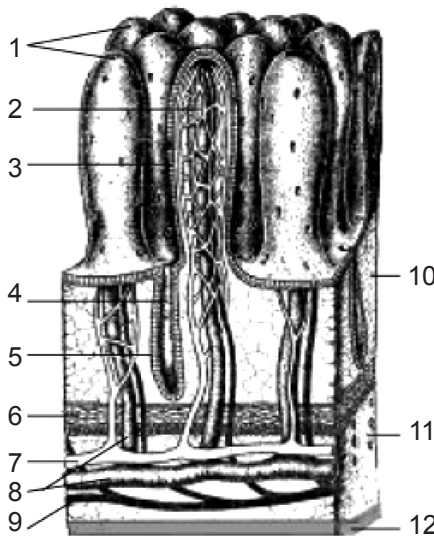
У більшості чоловіків дихальний акт здійснюється переважно за рахунок скорочення м'язів живота і діафрагми – черевний тип дихання. Такі скорочення сприяють масажу органів черевної порожнини, створюють сприятливі умови для відтоку жовчі з печінки і жовчного міхура. Жінкам характерний грудний тип дихання з малою активністю діафрагми, а отже, більш сприятливими умовами для розвитку жовчнокам'яної хвороби. Тому у жінок жовчнокам'яна хвороба зустрічається значно частіше, ніж у чоловіків.

#### ***46. Які особливості будови слизової оболонки тонкого кишечника забезпечують пристінкове травлення?***

Для ферментативного гідролізу харчових продуктів важливе значення має їх контакт з слизовою оболонкою кишечника. Перетравлення поживних речовин їжі на поверхні епітеліальних клітин

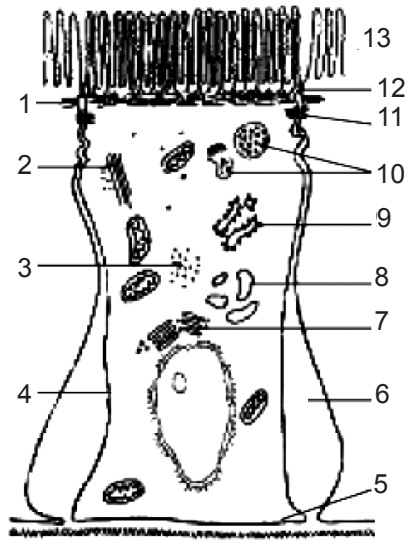
тонкого кишечника (ентероцитів), називають **пристінковим (мембранним) травленням**.

Пристінкове травлення можливе завдяки особливій будові слизової оболонки тонкого кишечника (рис. 2.15). На клітинах війкового епітелію, який вкриває ворсинки стінки кишечника, розташована велика кількість мікрворсинок (3-4 тис на одну клітину). Мікрворсинки утворюють так звану «**війкову щітку**» (рис. 2.16).



**Рис. 2.15. Будова стінки тонкого кишечника:**

1 – ворсинки; 2 – молочна судина; 3 – бокаловидні клітини; 4 – ліберкінова залоза; 5 – залозисті клітини; 6 – м'язовий шар слизової оболонки; 7 – вена; 8 – лімфатичні судини; 9 – артерія; 10 – слизова оболонка; 11 – підслизова оболонка; 12 – серозна оболонка



**Рис. 2.16. Схема будови кишкової клітини:**

1 – термінальна сітка; 2 – мікротрубочки; 3 – вільні рибосоми; 4 – латеральна мембрана; 5 – базальна мембрана; 6 – міжклітинний простір; 7 – комплекс Гольджі; 8 – гладенький ретикулум; 9 – гранулярний ендоплазматичний ретикулум; 10 – лізосоми; 11 – дезмосома; 12 – щільний контакт; 13 – мікрворсинки

Завдяки їй активна поверхня кишки збільшується в 30 разів (400-500 м<sup>2</sup>). Поверхня війкової щітки покрита мукополісахаридною сіткою (глікокалікс) товщиною до 0,1 мм, на якій фіксовані високоактивні ферменти. Наявність війкової щітки і фіксованих на ній ферментів значно прискорює кінцевий гідроліз поживних речовин хімусу і, окрім того, попереджує можливість проникнення бактерій в міжворсинкові простори та використання ними кінцевих продуктів травлення в якості поживних речовин.

Завдяки моториці кишечника частинки хімусу час від часу торкаються поверхні війкової щітки. Частинки, менші розмірів міжмікророслинкових просторів, надходять на глікокалікс і тут піддаються пристінковому травленню. Більш великі частинки хімусу і бактерії не можуть потрапити в зону пристінкового травлення і продовжують знаходитись у зоні порожнинного травлення. За даними О.М.Уголева, завдяки порожнинному травленню в тонких кишках перетравлюється близько 30%, а за допомогою пристінкового – 65% поживних речовин хімуса.

**47. У пробірку №1 налито 1 мл підшлункового соку і 3 мл 0,2% розчину HCl, в пробірку № 2 – 3 мл дистильованої води, в пробірку №3 – 1 мл підшлункового соку і 3 мл 0,2% розчину NaHCO<sub>3</sub>, у четверту пробірку – 1 мл прокип'яченого підшлункового соку і 3 мл води. В усі пробірки додали по кусочку білка фібрину і поставили у водяну баню з температурою 37°C. Що відбудуватиметься у кожній з пробірок?**

Оскільки оптимальним середовищем для дії панкреатичних ферментів є лужне, то розщеплення фібрину відбудеться в пробірці №3. рН кишкового соку коливається від 7,2 до 9,0. Чим інтенсивніша секреція, тим більш лужний сік. Значно повільніше відбудуватиметься перетравлення фібрину в пробірці №1 (соляна кислота сприяє набухання білка і збільшує таким чином площу контакту ферментів з білком). У пробірках №2 і №4 перетравлення не відбудуватиметься, оскільки тут відсутні ферменти, необхідні для перетравлення білків.



**48. Якими механізмами здійснюється регуляція функціональної активності підшлункової залози?**

Функціональна активність підшлункової залози регулюється блукаючим нервом, гормонами гастроентеропанкреатичної системи: секретином, серотоніном, гастрином. Секретин виділяється у вигляді неактивного просекретину, активується соляною кислотою. Стимуляція роботи підшлункової залози активованим секретином здійснюється через кров.

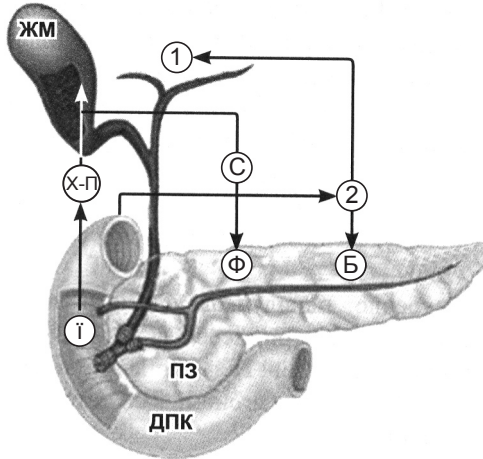
**49. Які є фази панкреатичної секреції?**

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 підкріплення (подразнення смакових рецепторів) 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 розпочинається з моменту надходження в кишечник соляної кислоти і продуктів гідролізу харчових речовин. В цьому процесі особлива роль належить кишковим гормонам – секретину і холецистокініну. Передчасна активація протеаз підшлункової залози спричиняє самоперетравлення залози (панкреатит). Після її хірургічного видалення для забезпечення кишкового травлення хворій людині необхідно постійно приймати підшлунковий сік. Загальна схема механізмів регуляції утворення і виділення соку підшлункової залози і жовчі подана на рис. 2.17 (В.І. Філімонов).



**Рис. 2.17. Механізми регуляції утворення і виділення соку підшлункової залози і жовчі:**

1 – жовчоутворення, 2 – всмоктані жовчні кислоти, І – їжа, Ф – ферменти, Б – бікарбонати, ПЗ – підшлункова залоза, ЖМ – жовчний міхур, Х-П – холецистокінін-панкреозимін, ДПК – дванадцятипала кишка, С – секретин

**50. Яке значення моторної функції кишок для перетравлення поживних речовин хімуса? Різновиди моторики кишечника.**

Скороченням м'язів стінок тонкого кишечника забезпечується перемішування хімуса з травним соком (**маятникомподібні і ритмічно-сегментовані рухи**), а також їх переміщення в низхідному (перистальтичні рухи) та висхідному (антиперистальтичні рухи) напрямках. Вказані види моторики кишечника можливі завдяки направленим скороченням гладеньких м'язів стінок тонких кишок.

**Маятникомподібні рухи** кишок 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 кишка видовжується і звужується, харчові маси в ній переміщуються то в одному, то в іншому напрямку.

**Ритмічна сегментація** виникає внаслідок скорочення циркулярних (кільцевих) м'язів на невеликих ділянках кишки. При цьому формується велика кількість кільцевих звужень, які поділяють відрізок кишки на окремі сегменти. Згодом у розширеній частині кожного сегмента додатково виникають скорочення кільцевих м'язів і

сегмент поділяється навпіл, половинки двох сусідніх сегментів формують нові сегменти (рис. 2.18).

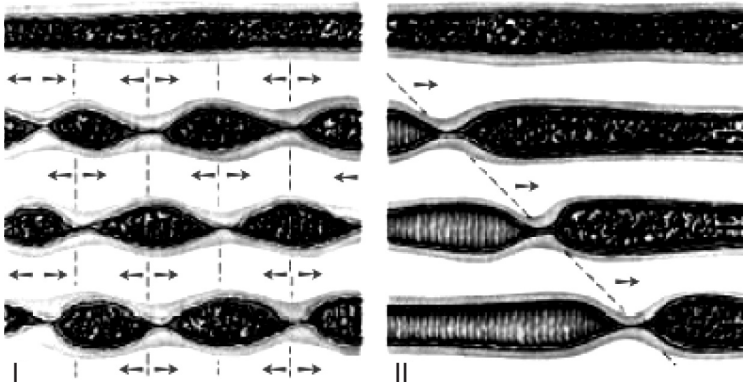


Рис. 2.18. Моторика кишечника: I – маятникові рухи (ритмічна сегментація); II – перистальтичні рухи

**Перистальтичні рухи** – 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. Після цього скорочення кільцевих м'язів поширюється на наступну ділянку кишки. Краніальне направлення кільцевих звужень формують антиперистальтичні рухи. Завдяки цим рухам шлунково-кишкового тракту, а також потужним рефлекторним скороченням м'язів черевного пресу і діафрагми, хімус із верхніх відділів кишечника може повертатися в шлунок, а через стравохід і порожнину рота назовні (блювота).

### 51. Які особливості травлення хімуса в товстому кишечнику?

Майже позбавлений поживних речовин, хімус тонких кишок невеликими порціями переходить в початкову ділянку товстої кишки – сліпу кишку. Цей перехід відбувається через **ілеоцекальний сфінктер**, який пропускає хімус лише в одному напрямку – з тонкого кишечника в товстий. При відсутності процесів травлення і при переповненні сліпої кишки сфінктер закритий. Сік товстої кишки складається з слизових грудочок, злушених епітеліальних клітин,

невеликої кількості ферментів (лужна фосфатаза, пептидаза, катепсин, амілаза, ліпаза, нуклеаза), які надходять сюди з тонких кишок. Основне призначення соку полягає в захисті слизової оболонки від механічних і хімічних пошкоджень і забезпеченні слаболужної реакції.

Ферменти травних соків товстого кишечника малоактивні. Розщеплення неперетравлених решток їжі (бродіння вуглеводів і гниття білків) тут здійснюється за допомогою бактерій. До 90% всієї мікрофлори кишечника складають безспорові анаероби, інші 10% – молочнокислі бактерії, кишечна паличка, стрептококи і спорозносні анаероби. Кишкова мікрофлора добре розвинута в худій, підклубовій тонких кишках і в товстих кишках. У 12-типалій кишці мікроорганізмів майже немає.

#### **52. Яку роль відіграє мікрофлора кишечника у процесах травлення?**

У новонароджених товстий кишечник стерильний. Заселення травного тракту кишковою мікрофлорою відбувається упродовж перших днів життя дитини. Внаслідок мікробного розщеплення вуглеводів (зокрема клітковини) утворюються кислі продукти (молочна і оцтова кислоти), алкоголь, вуглекислий газ і вода.

Під дією бактерій гниття з неперетравлених білкових решток утворюються газоподібні (сірководень, вуглекислий газ, метан), токсичні (індол, скатол, крезол, фенол) і біологічно активні (гістамін, тирамін) речовини. При збалансованому харчуванні у здорових людей процеси бродіння і гниття взаємно врівноважені (кислі продукти бродіння гальмують активність бактерій гниття).

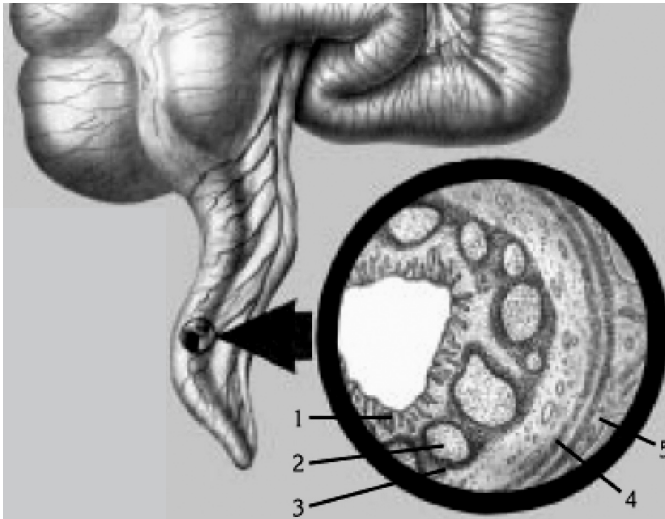
Кишкові бактерії сприяють розщепленню жовчних пігментів. На стінках товстих кишок є також бактерії, які синтезують вітамін К та вітаміни групи В. Нормальна мікрофлора кишечника впливає на швидкість об'єднання епітелію кишечника, бере участь у метаболізмі ліпідів, жовчних кислот, активізує механізми клітинного і гуморального імунітету, стимулює розвиток імунної системи. Проте під впливом різноманітних несприятливих чинників (характер харчування, безконтрольне прийняття антибіотиків тощо), все частіше виникає *харчовий дисбактеріоз*.

**53. Які фактори сприяють симбіотному травленню в товстому кишечнику?**

Симбіотному травленню (оптимальні взаємовідношення між мікробами) сприяє збалансоване за калорійністю і поживними речовинами харчування, включення в раціон великої кількості рослинних продуктів, недопущення закріпів. Затримка харчових мас в кишечнику призводить до самоотруєння продуктами гниття білків і передчасного старіння (І.І. Мечников). Щоб обмежити розвиток гнилісних мікробів в товстому кишечнику, дієтологи пропонують регулярно споживати молочнокислі продукти. Під дією молочнокислих бактерій, що містяться в цих продуктах утворюється молочна кислота, яка пригнічує розвиток гнилісних мікробів.

**54. Яке значення апендикса для організму?**

У ділянці дна сліпої кишки знаходиться черв'якоподібної форми відросток – **апендикс** (рис. 2.19). Лімфоїдні фолікули апендикса беруть участь в механізмах гуморального імунітету. Тут розмножується і постійно функціонує, виробляючи вітаміни групи В, кишкова паличка.

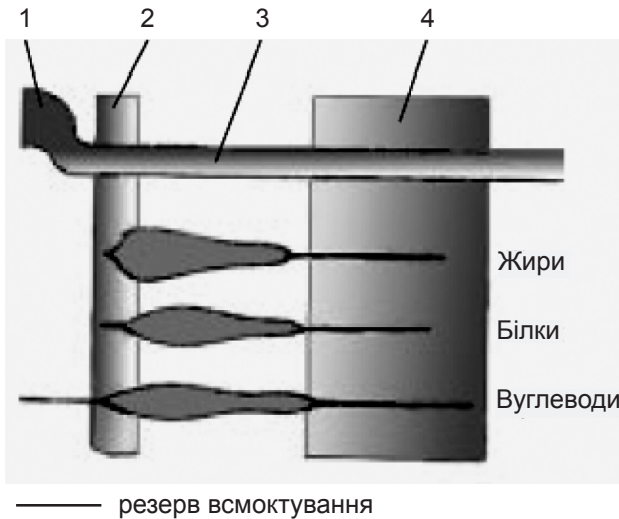


**Рис. 2.19.**  
**Будова стінки апендикса:**  
1 – слизова оболонка;  
2 – лімфоїдні фолікули;  
3 – підслизова основа;  
4 – м'язова оболонка;  
5 – серозна оболонка

## 2.5. ВСМОКТУВАННЯ ПРОДУКТІВ ТРАВЛЕННЯ

### 55. Які особливості всмоктування кінцевих продуктів травлення в окремих відділах ШКТ?

**Всмоктування** – активний фізіологічний процес переходу води і розчинених у ній харчових речовин з зовнішнього середовища (з порожнини ШКТ) через клітини слизової оболонки кишечника в кров і лімфу. Всмоктування відбувається на всій протяжності травного тракту, проте морфологічно і функціонально найбільш пристосований до цього процесу епітелій тонких кишок (рис. 2.20), які мають довжину близько 3 м. Прісна вода найліпше всмоктується в прямій кишці.



**Рис. 2.20.**  
*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

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.

Всмоктування в кишечнику активізується завдяки ритмічним скороченням ворсинок. У ворсинках розташована лімфатична суди-

на з клапанами, які відкриваються лише в напрямку внутрішнього середовища. Періодичні скорочення гладеньких м'язів кишкових ворсинок обумовлюють механічне витискування 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 хімічних речовин з порожнини кишок в кров (*власне всмоктування*) і одночасно з крові в кишечник (*секреція або екскреція*).

У товстому кишечнику переважно всмоктується вода, в незначній кількості глюкоза, амінокислоти. На інтенсивному всмоктуванні води в товстому кишечнику ґрунтується використання в медичній практиці клізм.

Зі слизової оболонки шлунка, тонкого і товстого кишечника кров з поживними речовинами надходить у печінку, а звідти в загальний кровообіг; з порожнини рота і прямої кишки кінцеві продукти травлення, відвари, настої, ліки тощо можуть всмоктуватися через слизову оболонку прямо в кров системних судин.

Загальна схема гідролізу і всмоктування кінцевих продуктів травлення подана на рис. 2.21 (В. І. Філімонов).

### ***56. Яку роль відіграють процеси дифузії і осмосу в переході води та кінцевих продуктів травлення в кров і лімфу?***

Всмоктування кінцевих продуктів травлення та інших речовин у ШКТ здійснюється шляхом *дифузії* та *осмосу* за механізмом пасивного транспорту (за концентраційним градієнтом), тобто з області більших концентрацій в область менших, без затрат енергії АТФ. Процеси дифузії забезпечують всмоктування розчинених у воді речовин, а процеси осмосу – води.

Транспорт речовин проти концентраційного градієнту здійснюється завдяки активній діяльності білковоліпідної мембрани і проходить з чималими затратами енергії. Транспортуванню речовин через клітинні мембрани допомагають спеціальні переносники, які знаходяться на зовнішній поверхні клітинної оболонки. З'єднуючись

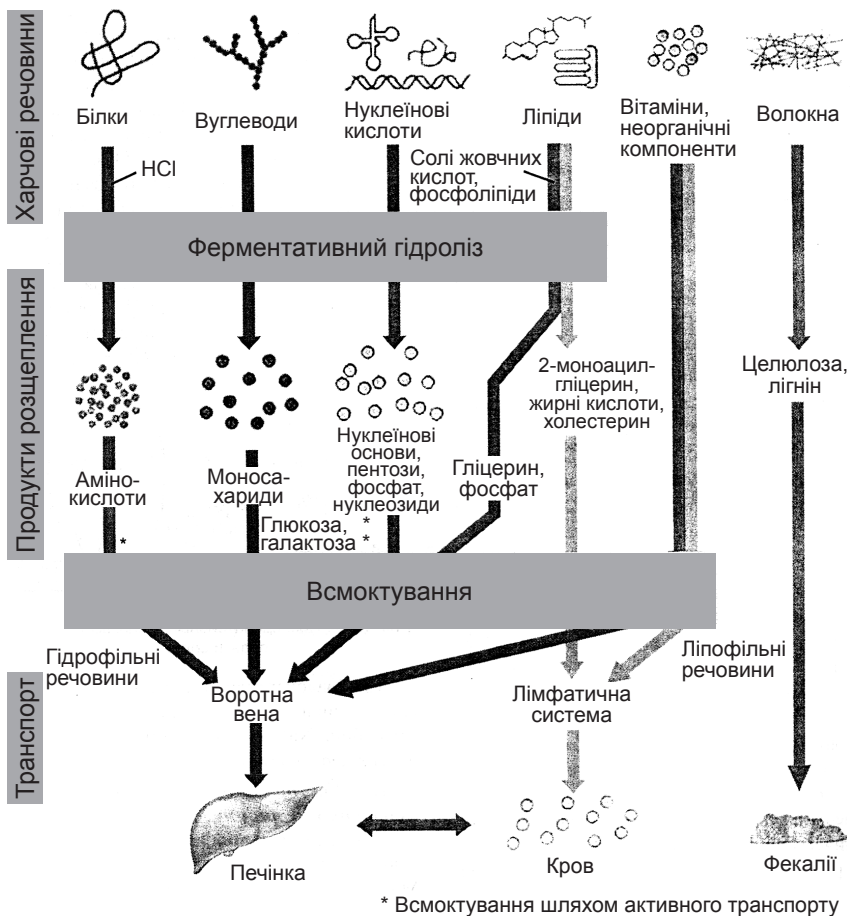


Рис. 2.21. Гідроліз і всмоктування кінцевих продуктів травлення

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). За допомогою цих процесів здійснюється всмоктування мікромолекул і їх



агрегатів. Деякі речовини можуть транспортуватись по міжклітинних просторах (*персорбція*).

**57. Яку роль відіграє діафрагма в процесах всмоктування?**

Важлива роль в процесах всмоктування кінцевих продуктів травлення через стінки травного тракту належить ритмічній роботі діафрагми. Створюючи перепади внутрішньочеревного тиску, 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 поперекової ділянки тіла. Мала екскурсія діафрагми є однією з причин застійних явищ у печінці і жовчному міхурі.

**58. В якому вигляді всмоктуються в травному тракті продукти гідролізу білків?**

У дорослої людини білки всмоктуються переважно 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 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 та всмоктування білків подана на рис. 2.22.

**59. Де і як в ШКТ відбувається 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 йони Натрію з клітини.

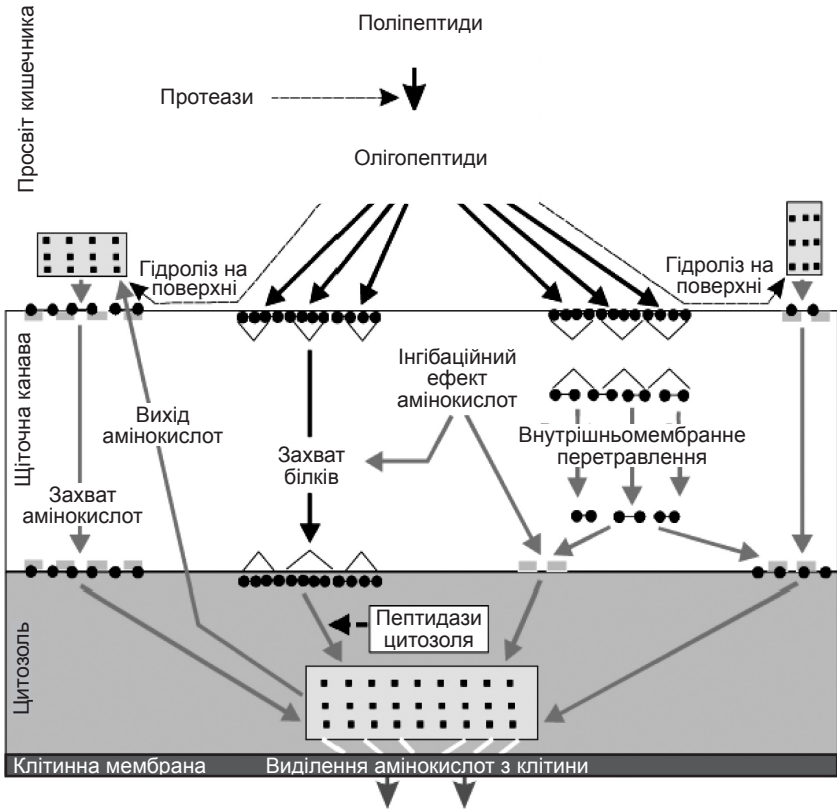


Рис. 2.22. Схема перетравлення та всмоктування білків

Більш швидке надходження глюкози в кров здійснюється шляхом її фосфорилювання (утворення комплексних сполук із фосфорною кислотою). Цей процес відбувається в слизовій оболонці кишечника. Він значно активізується при надходженні в кров інсуліну – гормону підшлункової залози. Парасимпатичні нервові імпульси посиляють всмоктування вуглеводів, симпатичні – гальмують. Всмоктування глюкози активується гормонами наднирників, гіпофізу, щитоподібної і підшлункової залоз, серотоніном, ацетилхоліном. Гальмують всмоктування глюкоза, гістамін і соматостатин.

Більша частина моноцукрів, що надходить з крові до печінки, перетворюється в глікоген, інша, значно менша, розноситься по всьому організму і використовується як джерело енергії, необхідної для підтримання на належному рівні процесів життєдіяльності клітин організму.

### ***60. Які особливості всмоктування в травному тракті жирів?***

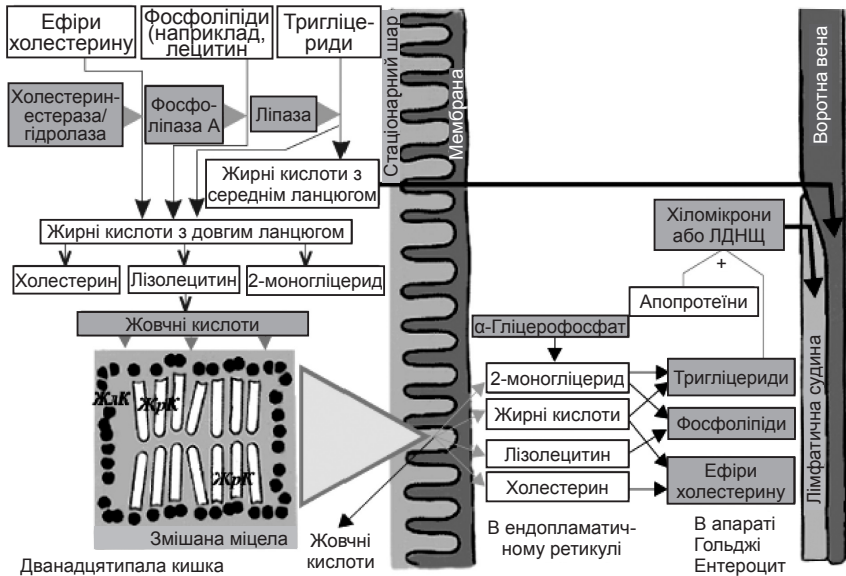
Жири всмоктуються в кров і лімфу у вигляді гліцерину і жирних кислот. Гліцерин добре розчиняється у воді, а тому швидко всмоктується без участі додаткових чинників. Для всмоктування нерозчинних у воді жирних кислот необхідна присутність в порожнині кишечника жовчних кислот (гліко- і таурохолевої). Частина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

В ентероцитах оболонки кишок з продуктів розпаду жирів знову синтезуються тригліцериди, холестерин, фосфоліпіди. Частина жирів з'єднується з різними апопротеїнами, утворюючи хіломікрони і ліпопротеїни 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. 2.23). В кишках людини за добу може всмоктатися до 150 г жиру. Засвоюваність ліпідів досить висока – для тригліцеридів 95%, для холестерину – 20-50%.

### ***61. Яким чином відбувається всмоктування в ШКТ вітамінів?***

Одночасно з всмоктуванням жирів всмоктуються жиророзчинні вітаміни А, D, E, K, більшість водорозчинних вітамінів всмоктуються шляхом дифузії. Для всмоктування ціанкобаламіну необхідна присутність внутрішнього чинника, який утворюється в стінках дна і тіла шлунку; всмоктування відбувається в основному в підклубовій кишці. Вітамін А утворює ефіри з жирними кислотами і надходять у лімфу в складі хіломікронів.



**Рис. 2.23. Схема перетравлення та всмоктування жирів.**

До складу змішаної міцели входять жовчні кислоти (ЖК), моногліцериди, лецитин і холестерин, гідрофільні групи (Ф. Вальдег)

Більшість жирів, що всмоктуються в лімфу і кров, відкладаються в жирових депо, переважно в підшкірній клітковині. Звідси жири використовуються для енергетичних і пластичних цілей. Збудження симпатичних нервів гальмують всмоктування жирів, парасимпатичні імпульси, гормони кори наднирників, щитоподібної залози та гіпофізу посилюють всмоктування жирів.

## **62. Які особливості всмоктування в травному тракті води і мінеральних солей?**

Разом з їжею і травними соками в порожнину кишок упродовж доби надходить близько 7-8 л води (1 л слини, 1,5-2 л шлункового соку, 1 л жовчі, 0,5 л підшлункового соку, 1 л кишкового соку, 2 л питної води). Незначна частина її (близько 150 мл) виводиться назовні з калом, решта – всмоктуються в кров.

Вода і електроліти можуть вільно дифундувати через стінку кишечника. Цим забезпечується ізотонічність вмісту кишечника щодо

плазми крові. Всмоктування води і електrolітів проходить частково в шлунку, більш інтенсивно – в тонких і товстих кишках. Деяка кількість води всмоктується за осмотичним градієнтом, основна ж роль в цьому процесі належить йонам Натрію і Хлору. Найбільш інтенсивно йони Натрію і води всмоктуються в кишках при рН 6,8. Всмоктування Натрію відбувається шляхом активного транспорту з допомогою натрій-калієвої помпи.

Ізотонічність хімусу тонкого кишечника щодо плазми крові підтримується завдяки транспорту еквівалентної кількості Калію. Створений активним транспортом Натрію осмотичний градієнт обумовлює транспорт води через ентероцити і по міжклітинних каналах.

Всмоктування Кальцію здійснюється переважно шляхом полегшеної і простої дифузії, а також з допомогою кальцієвої помпи, яка забезпечує надходження Кальцію в кров проти концентраційного градієнту. Стимулюючий вплив на всмоктування Кальцію має жовч. Залізо засвоюється у вигляді окисних і закисних солей, при цьому всмоктування закисних солей іде швидше, ніж окисних.

### **63. Який механізм послаблючої дії сірчаноокислих солей?**

Такі солі, як сірчаноокисла магnezія, сірчаноокислий натрій (англійська сіль), дуже погано всмоктуються в кишечнику. Після їх прийняття значно зростає осмотичний тиск хімусу і вода з крові надходить в кишечник, переполюючи його. Цим пояснюється послаблююча дія сірчаноокислих солей.

### **64. Яке значення відчуттів голоду, насичення, апетиту і спраги в підтриманні гомеостазу?**

Відчуття голоду, насичення, апетиту і спраги належать до **загальних відчуттів**. Їх виникнення не пов'язане з функцією одного конкретного органу або частини тіла. Формування цих відчуттів викликається дією стимулів (одного або декількох), які виникають в самому організмі. Подразнюючи відповідні інтерорецептори, ці стимули не лише формують відчуття голоду чи спраги, а й обумовлюють виникнення мотивацій, направлених на пошуки і прийняття їжі та води (рис. 2.24).

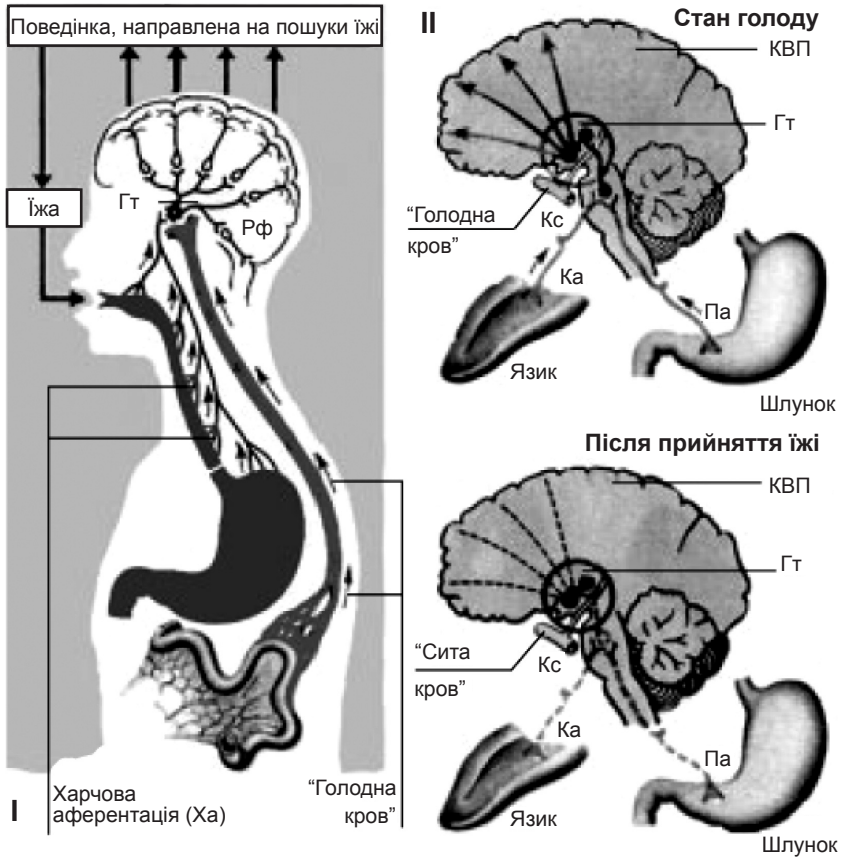


Рис. 2.24. Схема механізму сенсорного насичення (за П. К. Анохіним):

І – подразнення рецепторів ротової порожнини і шлунка;

II – функціональні взаємовідношення медіального і латерального відділів гіпоталамуса в стані голоду і після прийняття їжі

Обов'язковою умовою нормальної життєдіяльності людини є забезпечення організму необхідною кількістю поживних речовин (основна функція системи травлення). Зменшення поживних речовин в організмі є сигналом до пошуків і прийняття їжі (**відчуття голоду**). Для поведінкових реакцій організму, які направлені на від-

новлення нормативного рівня поживних речовин, характерним є перебіг такого комплексу взаємозв'язаних процесів:

- активний вплив харчового центру гіпоталамуса на кору мозку, що спонукає людину (тварину) до пошуків та прийняття їжі;
- надходження їжі в ШКТ, розщеплення її до компонентів, які можуть всмоктуватись у внутрішнє середовище організму;
- надходження інформації у харчовий центр про задоволення потреби (*відчуття ситості*).

Загальне відчуття протилежне голоду, називається **насиченням**. Воно виникає задовго до повного всмоктування поживних речовин із травного тракту і проявляється у відчутті повноти шлунка. Розрізняють *передабсорбтивний* і *післяабсорбтивний* види насичення.

**Передабсорбтивне насичення** (сенсорне або первинне насичення) настає ще до того, як продукти перетравлення їжі надходять в кров. Його виникнення пов'язане з подразненням компонентами їжі нюхових, смакових і механорецепторів порожнини рота, глотки, стравоходу, шлунка і 12-типалої кишки в період прийняття їжі. Сприяє сенсорному насиченню розтягнення шлунка та 12-типалої кишки їжею із значним вмістом глюкози і амінокислот. Для осіб, які їдять швидко, первинне насичення є основою переїдання. Тому щоб не переїсти, людина повинна приймати їжу повільно (близько 1 год), ретельно її пережовуючи. Це сприятиме виникненню вторинного насичення.

**Післяабсорбтивне насичення** ще називають обмінним або вторинним. Воно формується після всмоктування продуктів гідролізу харчових речовин в кров. У виникненні обмінного насичення беруть участь глюко-, ліпо- і термостатичні механізми регуляції споживання їжі та харчової поведінки. Ці механізми знаходяться у зворотному зв'язку з механізмами, які формують відчуття голоду.

### **65. Що таке апетит? Від чого залежить апетитність їжі?**

Кількість їжі, яку споживає людина, визначається не лише відчуттям голоду, а і рядом психологічних чинників. Емоційне відчуття, пов'язане з бажанням людини споживати дану їжу, називають **апетитом**. Це відчуття може бути складовим компонентом відчут-

тя голоду, а може виникати і самостійно (індивідуальна схильність до даного харчового продукту), не залежно від потреб людини в поживних речовинах. Апетит часто проявляється як наслідок звички приймати їжу в один і той же час доби. *Апетитність* їжі визначається її смаковими якостями, запахом, консистенцією, температурою, способом приготування, сервірівкою стола тощо.

**66. Як впливає м'язова робота на функціональний стан органів травлення?**

Система травлення не бере безпосередньої участі в забезпеченні роботи скелетних м'язів. Проте активність процесів травлення і всмоктування поживних речовин, моторна функція ШКТ, суттєво змінюються при виконанні фізичної роботи. Вираженість цих змін залежить від характеру роботи (динамічна, статична) та її інтенсивності (втомлюваності) – чим більш інтенсивна рухова діяльність, тим більш виражена її гальмівна дія на секреторну, моторну і всмоктувальну функцію травної системи. Наявність такої закономірності пояснюється гальмівним впливом на харчовий центр імпульсації від пропріорецепторів працюючих м'язів, а також особливостями перерозподілу крові під час виконання фізичної роботи.

При м'язовій діяльності відбувається значне посилення кровообігу в працюючих м'язах з компенсаторним його зменшенням в другорядних щодо даної функціональної системи органах, в тому числі і в травних органах. Наслідком зменшеного кровопостачання органів травлення є послаблення секреторної функції травних залоз і зниження ферментної активності травних соків, затримання харчових мас в шлунку, посилення активності гнильних мікроорганізмів.

Послаблення роботи органів травлення при виконанні людиною фізичної роботи зумовлені також підвищенням активності симпатичної нервової системи. Разом з тим, прийняття їжі безпосередньо перед виконанням фізичної роботи може негативно вплинути на ефективність діяльності. Причиною цього є перевитрати енергії на роботу дихальних м'язів (піднята переповненим шлунком діафрагма працює менш ефективно), а також дещо послаблене кровопостачання м'язів.



Виконання фізичної роботи активує масажну функцію діафрагми і черевного пресу. Сприяючи посиленню крово- і лімфообігу, глибоке дихання (висока активність діафрагми) попереджує відкладання жиру в поперековій ділянці тіла.

Вказані зміни функціонального стану системи травлення при фізичних навантаженнях лежать в основі практичних рекомендацій недоцільності виконання фізичної роботи безпосередньо після прийняття їжі. До активної рухової діяльності слід приступати не раніше, ніж через 2-3 години після сніданку чи обіду.

**67. Як впливає гіпокінезія на перебіг процесів перетравлення їжі?**

Наслідком гіпокінезії є зниження секреторної і моторної функції шлунка і кишечника, в'ялість травної системи, збільшення вмісту гнилісних мікроорганізмів у товстому кишечнику. Їх отруйні продукти життєдіяльності спричиняють самоотруєння і передчасне старіння людини. Вважається, що малоруховий спосіб життя сприяє розвитку виразок шлунку і 12-типалої кишки.

**68. Чому людині, яка знаходиться в стані пригнічення та страху приймати їжу не варто?**

В умовах стресу гальмується моторна функція ШКТ, пригнічується секреція і виділення травних соків, порушуються процеси перетравлення поживних речовин і всмоктування кінцевих продуктів травлення. Надмірне споживання їжі (*булімія*), або повна відмова від неї (*анорексія*) інколи проявляється у людей, які попадають в скрутні життєві ситуації, при дії стресових подразників надмірної сили. *Нервова анорексія* часто проявляється у дівчат в період їх статевого дозрівання.

Прийняття їжі в стані стресу є одним з чинників, які сприяють розвитку виразок і навіть злоякісних пухлин в шлунку та кишечнику. Пропагандисти аюрведи (давньоіндійської науки про надзвичайний вплив свідомості на тіло) особливо підкреслюють шкідливість таких емоцій як гнів, страх і апатія на функціональний стан травного тракту і печінки (*хворі тварини завжди відмовляються від їжі!*).

**69. Які ознаки вказують на наявність закрепів? Профілактика закрепів.**

У людини може бути щодобове випорожнення кишечника і в той же час вона може мати забиті каловими масами товсті кишки (*закреп*). Частіше закрепи формуються на ділянці сигмоподібного згину товстої кишки або в ділянці сліпої кишки. Часті закрепи є причиною геморою. Симптоми закрепів: темні, зеленуватого кольору фекальні маси, анемія, жовтуватість лица, мутність очей, прищуватість, обкладеність язика тощо.

У боротьбі з закрепами йоги не радять користуватися послаблюючими речовинами. Вважається, що вони не сприяють повному очищенню кишечника при дефекації. Для внутрішнього промивання товстого кишечника і стимулювання роботи нирок спочатку рекомендується вводити в пряму кишку 0,5 л води, поступово збільшуючи її до 2-3 л. Клізму ставлять в положенні на колінах або лежачи на правому боці. Температура води для клізми – 36-37°C. Після введення води деякий час залишаються в положенні лежачи на спині, роблячи масаж живота руками справа наліво.

**70. Що необхідно знати кожній людині про особливості надання першої домедичної допомоги при гострому болю в животі?**

Біль в животі може бути викликаний місцевим патологічним процесом в органах черевної порожнини або іррадіювати із інших органів. Патологія органів черевної порожнини може викликати біль двох типів: вісцеральний і очеревинний. Причиною *вісцерального болю* може бути спазм або розтягнення порожнистих органів. Як правило, він носить приступоподібний характер типу кольки. Біль, що виходить із кишечника, як правило, дифузний. Вісцеральний біль, що виходить із шлунку, сечового міхура і матки локалізований в проекції відповідного органу.

*Очеревинний біль* обумовлений подразненням закінчень спинно-мозкових нервів, розташованих в пристінковій очеревині. В порівнянні з вісцеральним болем очеревинний біль носить більш постійний характер, він, як правило, різучий, при рухах посилюється. Нерідко причиною болю є розлад моторики жовчних шляхів і жовчного міхура.

### **71. Які ознаки дискінезій жовчних шляхів?**

Основним симптомом дискінезій жовчних шляхів є біль у правому підребер'ї. При **дискінезії гіпертонічної форми** біль буває гострим, переймоподібним, але короткочасним; при **дискінезії гіпотонічної форми** – тупим, ниючим і тривалим. Біль може виникати і при захворюваннях жовчного міхура. Поряд із механічною причиною (защемлення каменя при жовчнокам'яній хворобі) приступ жовчної кольки може виникнути при гострому холециститі (раптовий, дуже різкий біль ріжучого характеру в правому підребер'ї). Біль віддає вгору, вправо, назад – у ділянку правої лопатки, часто супроводжується нудотою, повторним блюванням з домішками в блювотних масах жовчі, здуттям живота.

**Перша допомога:** прийняти гарячу ванну, випити теплий чай. Коли хворий має повторні приступи і впевнений у захворюванні, можна прийняти но-шпу, папаверин, платифілін.

### **72. Які ознаки вказують на виразкову хворобу і панкреатит?**

**Виразкова хвороба** – захворювання, яке розвивається на основі порушень механізмів рефлекторної регуляції внутрішніх органів. Разом з тим в останній час все більшої популярності набуває гіпотеза бактеріального походження виразкової хвороби. При виразці шлунку біль виникає безпосередньо після прийняття їжі, а при виразці 12-типалої кишки – через 1-2 години. Больові відчуття посилюються після вживання грубої і гострої їжі. Виразкову хворобу часто супроводжує гастрит, дуоденіт, які спричиняють нудоту, відрижку, печію. При ускладненні виразки перфорацією (розривом) виникає дуже сильний біль у животі, розвивається картина шоку. Для виразкової хвороби характерні сезонні загострення болю.

До приходу лікаря слід утриматися від їжі, зайняти таке положення, при якому біль зменшується. Можна поставити на живіт компрес із холодної води або льоду.

**Панкреатит** – запалення підшлункової залози, яке проявляється оперізуючим болем вище пупка. Біль різкий, з'являється раптово, супроводжується блювотою. На гострі панкреатити хворіють особи, які зловживають алкоголем та вживанням жирних страв. При

хронічних панкреатитах біль виникає при загостренні процесу, що супроводжується проносами і захворюваннями кишечника.

При сильному болю хворий повинен лягти, по можливості заспокоїтись, не їсти, на живіт – холодний компрес. При виразних болювих відчуттях у ділянці серця, зниженні кров'яного тиску, прискоренні серцебиття, хворого негайно слід відправити на стаціонарне лікування.

### ***73. Які основні принципи лежать в основі раціонального харчування людини?***

Раціональним вважається таке харчування, яке забезпечує нормальне функціонування усіх органів і систем організму упродовж усіх періодів постнатального онтогенезу, міцне здоров'я, добре самопочуття і високу працездатність. Виходячи з цього, харчовий раціон людини повинен відповідати конкретним потребам організму з урахуванням його віку, статі, характеру й інтенсивності праці, температурних умов тощо. Проте при складанні харчових раціонів враховується перш за все калорійність їжі (вона має відповідати енергозатратам), достатність білків, жирів і вуглеводів, а також нормативність вітамінів, макро- і мікроелементів, оскільки їх надлишок так само небезпечний для здоров'я, як і нестача.

З урахуванням вище викладеного, більшість дієтологів вважають, що в добовому раціоні має бути:

- білків – 1,0 г/кг, в тому числі не менше 30 г тваринного походження;
- жирів – близько 30% від загальної енерговартості добового раціону, в тому числі не менше 15% ненасичених жирних кислот;
- вуглеводів – близько 60 г/кг, тобто вони мають покривати решту енергетичної потреби організму з урахуванням його витрат на професійну діяльність.

### ***74. Які можливі наслідки незбалансованого харчування?***

В останній час серед українців поширеними стали різноманітні оздоровчі дієти, роздільне харчування, вегетаріанство тощо. Не заперечуючи наявності позитивних моментів в кожній з вище зазначе-

них особливостей харчування, варто пам'ятати, що при невеликих відхиленнях від нормального збалансованого раціону істотних порушень в організмі може і не бути. Проте при значному зниженні надходження необхідних для організму речовин можуть виникати патологічні стани. Так, недостатнє вживання білків може спричинити зниження імунної реактивності організму, порушення сексуальної і репродуктивної функції, зниження працездатності; недостатній вміст у раціоні жирів може призвести до порушень відновлення фосфоліпідів мембран клітин (розвиток атеросклерозу), порушень процесів всмоктування вітамінів із ШКТ.

Небезпечним для здоров'я людини може бути і тривале вегетаріанське або «м'ясоїдне» харчування. Таке однобічне харчування може призвести до змін кислотно-лужної рівноваги крові. Адже переважна більшість продуктів рослинного походження залужнюють організм, а тваринного – закислюють. Про зміни кислотно-лужної рівноваги в організмі можна судити за змінами рН сечі.

### **РОЗДІЛ III ОБМІН РЕЧОВИН ТА ЕНЕРГІЇ**

Процеси обміну речовин і енергії в організмі проходять в три етапи. Перший з них пов'язаний з травленням, в процесі якого харчові речовини у вигляді високомолекулярних білків, жирів і вуглеводів розщеплюються до більш простих сполук, здатних переходити через стінку ШКТ у кров і лімфу.

Другий етап обміну речовин настає з моменту надходження кінцевих продуктів травлення з травного тракту до клітин організму. Частина продуктів обміну першого етапу використовується в якості будівельного матеріалу (пластична функція харчових речовин їжі), з іншої, – внаслідок складних біохімічних перетворень, з допомогою окисних 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 (рис. 3.1).

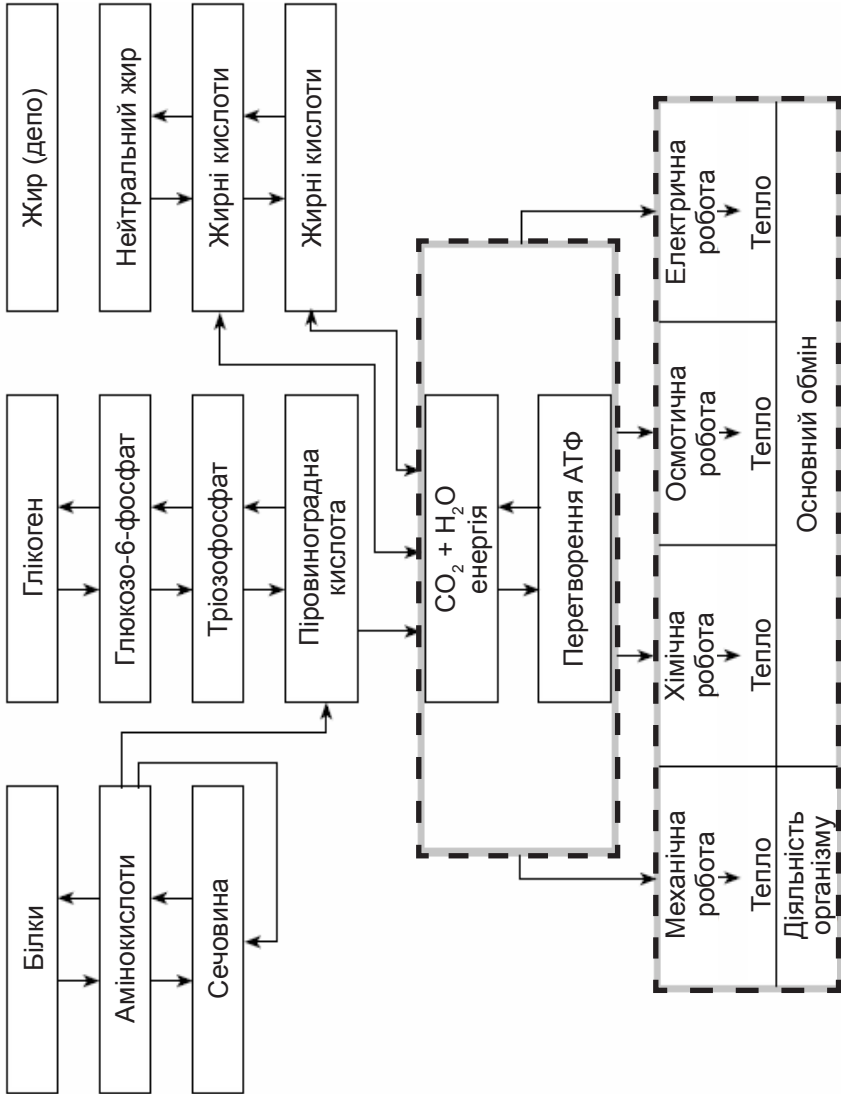


Рис. 3.1. Схема перетворень речовин і енергії в організмі

Завдяки ферментативному розщепленню у ШКТ до клітин організму надходять продукти розпаду білків, жирів, вуглеводів, ну-

клеїнових кислот, які вже позбавлені видової специфічності й антигенних властивостей.

Третій, кінцевий етап обміну речовин, полягає у виділенні з організму продуктів обміну через нирки, легені, потові залози і шлунково-кишковий тракт. Окрім енергії, кінцевими продуктами обміну білків є вода, вуглекислий газ, аміак, сечовина, – вуглеводів і жирів – вода і вуглекислий газ.

### 3.1. ОБМІН БІЛКІВ

#### *1. Що таке асиміляція, дисиміляція, анаболізм, катаболізм, метаболізм?*

Обмін речовин в організмі – це єдність двох тісно пов'язаних і взаємообумовлених процесів – асиміляції і дисиміляції. Сутність *асиміляції (анаболізму)* полягає у перебігу таких основних процесів:

- надходження з зовнішнього середовища необхідних організму речовин;
- перетворення речовин у сполуки, характерні певним тканинам організму;
- синтез структурних одиниць клітин, ферментів, заміна відпрацьованих структур;
- синтез більш складних сполук із простих;
- відкладання запасів.

Процеси *дисиміляції (катаболізму)* включають в себе:

- виділення продуктів розпаду з організму;
- розщеплення енергосубстратів з виділенням енергії;
- розпад застарілих тканинних елементів;
- розщеплення більш складних сполук до найпростіших;
- мобілізація запасів з виділенням кінцевих продуктів обміну в довкілля.

Обмін речовин включає в себе не лише процеси взаємодії із довкіллям, а й процеси взаємодії обміну речовин в самому організмі – *метаболізм*. Таке більш вузьке розуміння процесів асиміляції називають *анаболізмом*, а дисиміляції – *катаболізмом*.

**2. Як змінюється перебіг процесів асиміляції і дисиміляції з віком і у зв'язку з виконанням фізичної роботи?**

Асиміляція і дисиміляція тісно зв'язані між собою, проте не завжди взаємноврівноважені процеси. В молодому і зрілому віці спостерігається значна 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 – *закон суперкомпенсації* або надвідновлення. Ця особливість обміну речовин лежить в основі зростання обсягу морфофункціональних резервів організму – розвитку фізичних здібностей і підвищення фізичної працездатності людини.

**3. Які речовини беруть участь в процесах обміну?**

В процесах обміну 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 каталізаторам). Саме завдяки їм реалізується дія генів, направлена на структурні зміни в руховому апараті (робоча гіпертрофія), відбуваються процеси ефективного забезпечення діяльності тощо.

**4. Які методи використовують для вивчення процесів обміну?**

Для вивчення обміну речовин використовують різні методи. *Ангіостомічний метод* полягає в отриманні крові для аналізу з допомогою бужування (хірургічне порушення цілісності судин) великих кровеносних судин. 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 ви-



вченні 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 вивчається, вводять атоми радіоактивних ізотопів. Випромінювальна активність цих ізотопів в окремих органах і тканинах легко виявляється з допомогою спеціального обладнання.

### **5. З чого складаються білки?**

Серед органічних сполук, що входять до складу організму людини, особлива роль належить білкам (складним біополімерам), які становлять більше 15% тіла. Білки є основним пластичним матеріалом для побудови клітин організму. Пластична роль білків тісно пов'язана з їх функціональними властивостями. Так, процес скорочення поперечносмугастого м'яза полягає в зміні конфігурації молекулярних ланцюгів білків актину і міозину.

Структурною одиницею будь-якої білкової молекули є амінокислоти, їх відомо понад 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, (колагени, еластини та інші білки сполучної тканини), глобулярні (альбуміни, глобуліни крові) і білки проміжного типу (фібриноген крові, міозин м'язів).

На відміну від вуглеводів і жирів до складу білків, поряд з Карбоном, Гідрогеном і Оксигеном, входять Нітроген, Сульфур, а іноді і Фосфор. Так, найбільш поширені білки альбуміни і глобуліни крові містять у собі приблизно 54% Карбону, 7% Гідрогену, 16% Нітрогену, 7% Сульфуру і 0,22% Оксигену.

Синтез білків з амінокислот відбувається на рибосомах цитоплазми. Основним місцем синтезу білків крові і багатьох ферментів є печінка. Енергію для синтезу необхідних сполук клітини отримують при розщепленні АТФ. Послідовність з'єднання окремих амінокислот при синтезі білків визначається специфічними рибонуклеїновими (РНК) і дезоксирибонуклеїновими (ДНК) кислотами,

так званим генетичним апаратом клітинного ядра. Загальна схема білкового обміну подана на рис. 3.2.

### 6. Які функції виконують білки?

Білки виконують ряд життєво важливих функцій. Завдяки високій специфічності імуноглобулінів зберігається індивідуальність

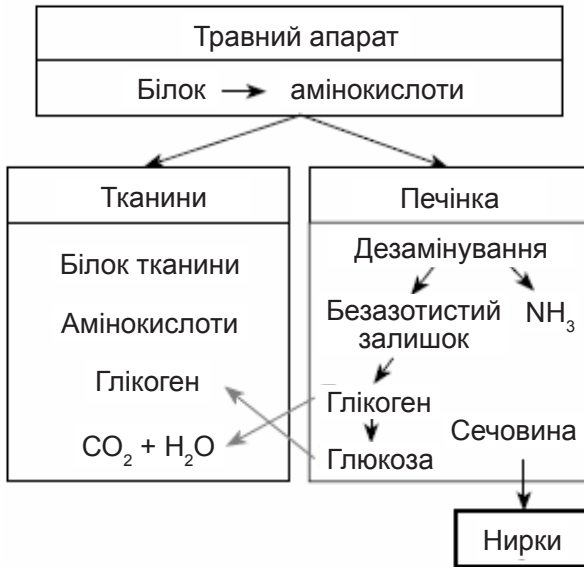


Рис. 3.2. Загальна схема білкового обміну

тканин, органів і організму в цілому, білки беруть безпосередню участь в передачі генетичної інформації, ними представлена більшість ферментів і гормонів. Фібриноген крові забезпечує її згортання, гемоглобін – бере участь в транспорті кров'ю дихальних газів, білки м'язів забезпечують їх швидку функцію,

біта- і гаммаглобуліни крові використовуються для синтезу антитіл – специфічних факторів імунітету. Важливою функцією білків є пластична (будівельна).

### 7. За яких умов білки організму використовуються в якості енергосубстрату?

Функцію енергосубстратів в організмі білки починають виконувати при вичерпанні запасів вуглеводів і жирів. При розщепленні білка з безазотистої частини його молекули утворюються вуглеводи; подальше розщеплення вуглеводів забезпечує виділення енергії.

При окисненні 1 г білка в організмі виділяється 4,1 ккал енергії. Окиснення білків в організмі закінчується на проміжних продуктах (аміак, сечова кислота, сечовина тощо), які ще містять в собі певну кількість енергії. Повне окиснення білків (згорання білків в калориметрах) дає 5,3 ккал енергії.

### **8. Який період напіврозпаду білків в організмі?**

Період напіврозпаду більшості білків організму в середньому становить 80 діб; період напіврозпаду пептидних гормонів – декілька хвилин, білків плази крові і печінки – близько 10 діб, скелетних м'язів – до 180 діб.

### **9. Яку роль виконує печінка в складних перетвореннях амінокислот і білків?**

Кінцеві продукти перетравлення (гідролізу) білків, жирів і вуглеводів з кишечника надходять в печінку. Печінка органічно пов'язана з жовчовивідними шляхами, що дозволяє виводити шкідливі кінцеві продукти азотного обміну (жовчні пігменти, солі важких металів тощо) безпосередньо в кишечник. Печінкові клітини містять в собі весь набір ферментів, які беруть участь в обміні амінокислот (гліконеогенез). У печінці проходять процеси утворення замісних амінокислот і основ нуклеїнових кислот з простих попередників, тут відбувається знезараження аміаку й інших кінцевих продуктів метаболізму (сечовини, сечової кислоти, жовчних пігментів тощо), синтезуються білки плазми крові та позаклітинні ферменти, які виявляють вплив на обмін речовин в організмі. Деякі білки печінки здатні швидко розпадатись, забезпечуючи мобільний резерв амінокислот в період голодування. Роль печінки в складних перетвореннях білків подана на рис. 3.3.

### **10. Що таке білковий коефіцієнт і азотиста рівновага?**

Про те, яка кількість білка розпалася в організмі за добу, можна дізнатися за кількістю виведеного азоту. Оскільки в 100 г білку міститься 16 г азоту, то виділення 1 г азоту вказуватиме на розпад 6,25 г білку (**білковий коефіцієнт**).

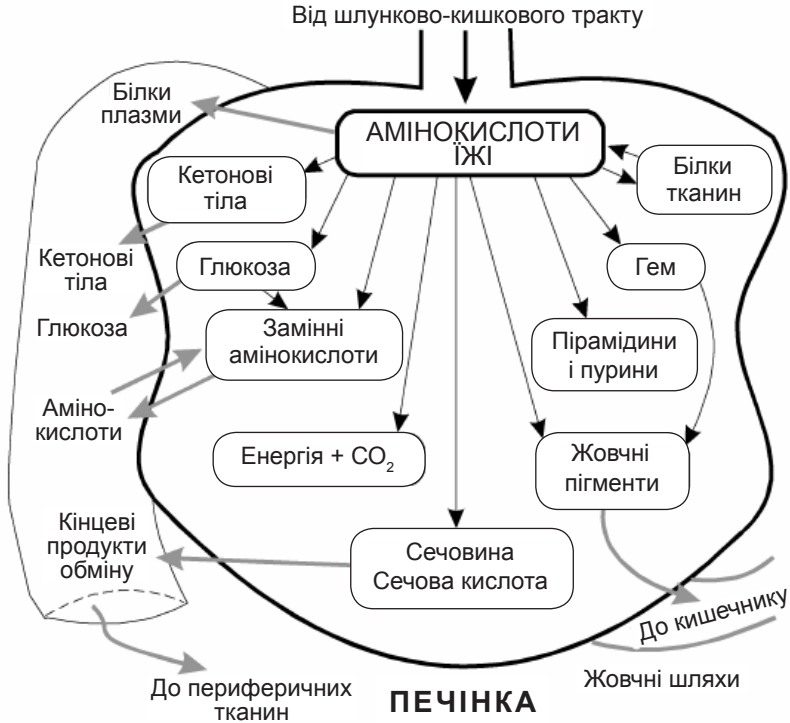


Рис. 3.3. Роль печінки в азотному обміні

Упродовж доби з організму «середньої» людини (70 кг) виділяється близько 3,7 г азоту, тобто розпадається 23 г білку.

Якщо кількість азоту, що надійшов в організм, рівна величині виведеного азоту, говорять про *азотисту рівновагу*. Азотиста рівновага може бути істотно змінена при зміні фізіологічного стану організму (вагітність, фізичні тренування тощо) і при захворюваннях.

**11. Яку кількість білку прийняв юнак з їжею, якщо вміст азоту в його харчовому раціоні – 25 г?**

У білках міститься 16% азоту. Отже 1 г азоту міститься в 6,25 г білка (100:16). Оскільки в харчовому раціоні юнака міститься 25 г азоту, то вміст білку в прийнятій їжі становитиме 156 г (25 г · 6,25 г).

**12. При наявності в їжі якої кількості білку (за умов звичайного харчування) в організмі встановлюється азотна рівновага?**

Розпад білків в організмі залежить від величини його надходження з харчовими продуктами. Чим більше білків в їжі, тим більша величина їх розпаду, і навпаки, при зменшенні кількості отриманого білка з їжею зменшується і величина розпаду білка. Таким чином весь час підтримується **азотна рівновага**. При звичайному харчуванні азотна рівновага встановлюється при наявності в харчової раціоні людини близько 100 г білку.

**13. Що таке білковий мінімум, – позитивний і негативний азотистий баланс?**

Найменша кількість білка, яка повинна бути в прийнятій їжі і при якій ще підтримується азотна рівновага, називається **білковим мінімумом**. Його величина для людини вагою 70 кг – 50 г білку на добу.

Оскільки не весь білок їжі використовується організмом, і не всі білки містять в собі необхідний мінімум незамінних амінокислот, нормальним для людини є харчовий раціон, в якому білків значно більше.

**Азотистий баланс** – це співвідношення азоту, а отже і білку, який надійшов в організм з їжею, до азоту, який виведений з організму органами виділення. Він буває **позитивний**, якщо кількість азоту, що надійшла в організм з їжею, більше кількості виведеного азоту через нирки і потові залози, або **негативний**, коли кількість виведеного з організму азоту більша, ніж його надійшло з їжею. Якщо ж кількість виведеного через видільні органи азоту дорівнює кількості азоту, який надійшов з їжею (без врахування азоту, що не засвоївся), говорять про **азотисту рівновагу**. Стан азотистої рівноваги характерний для дорослих здорових осіб, позитивний азотистий баланс – для дітей, які ростуть, а також для осіб у період після тривалого голодування або після перенесення хвороби. Негативний азотистий баланс спостерігається під час голодування, при розпаді тканинних білків, викликаних дією великих доз іонізуючого опромінення.

**14. Чим визначається повноцінність білка?**

Повноцінність білків визначається наявністю в них незамінних амінокислот. Адже з усіх відомих амінокислот лише половина вважається замінятними, решта – незамінні, вони не можуть утворюватися в організмі, а тому обов’язково мають бути присутні в харчовому раціоні людини. Для людини незамінними є валін, лейцин, ізолейцин, метіонін, лізин, триптофан, треонін, фенілаланін, норлейцин, гістидин.

**15. Яка повноцінність білків тваринного і рослинного походження?**

Переважає більшість тваринних білків (м’ясо, риба, молочні продукти, яйця) є повноцінними. До неповноцінних тваринних білків належать желатина, в якій відсутні триптофан і тирозин, з рослинних білків неповноцінним є білок кукурудзи – зеїн, в якому мала кількість триптофану і лізину. Багаті незамінними амінокислотами рис, гречка, бобові. При різноманітному вегетаріанському харчуванні навіть без м’яса і риби організм людини може отримати усі незамінні амінокислоти в необхідній кількості.

**16. Що означає біологічна цінність білків?**

**Біологічна цінність білка** (засвоюваність) – кількість білка, яка синтезується в організмі з 100 г білка їжі. Біологічна цінність білків тваринного походження (м’ясо, яєць, риби, молока) – 80-100%, рослинних – 60-70%. Біологічна цінність білків житнього хліба і кукурудзи – 60%, картоплі та дріжджів – 67%. Білки харчових продуктів, які містять в собі окрім білків, жири і вуглеводи, засвоюються дещо краще (на 90%). Повільно засвоюються поживні речовини рослинної їжі, до складу якої входить клітковина.

Засвоюваність їжі зростає при її відповідній кулінарній обробці, ретельному пережовуванні, дотриманні певного режиму харчування.

**17. До складу добового харчового раціону юнака входить 100 г білка, з сечею за цей же період виведено – 10 г азоту, транзитом через ШКТ прийшло 6 г азоту. Оцініть азотистий баланс. Скільки білку засвоєно організмом?**

Оскільки в білках міститься 16% азоту, то 1 г азоту міститься в 6,25 білку ( $100:16$  – білковий коефіцієнт). Знаючи вміст азоту в сечі розраховують кількість білка, що розпався в організмі:  $10 \text{ г} \cdot 6,25 \text{ г} = 62,5 \text{ г}$  білку. Знаючи рівень азоту, що пройшов через травний канал не засвоївшись (6 г), визначають кількість незасвоєного білку:  $6 \text{ г} \cdot 6,25 \text{ г} = 37,5 \text{ г}$  білку.

Різниця кількості білку, який надійшов з їжею і кількістю білку, який пройшов через травний тракт не засвоївшись, становитиме показник засвоєного білку:  $100 \text{ г} - 37,5 \text{ г} = 62,5 \text{ г}$  білку. Отже, для даного досліджуваного характерна азотна рівновага. Для отримання бажаного позитивного азотистого балансу юнаку необхідно збільшити споживання білку з їжею.

**18. Вагітна жінка за добу з їжею прийняла 120 г білку. За цей же період з сечею виведено 7 г азоту; 6 г азоту пройшло транзитом через ШКТ (не засвоїлось). Оцініть азотистий баланс.**

Знаючи білковий коефіцієнт (1 г азоту, міститься в 6,25 г білка), за азотом сечі визначають кількість білку, що розпався в організмі жінки:  $7 \text{ г} \cdot 6,25 = 63,75 \text{ г}$  білку; тоді визначають кількість білку, яка не засвоїлась:  $6 \text{ г} \cdot 6,25 = 37,5 \text{ г}$  білку. Показник різниці кількості білку, який надійшов з їжею і кількістю білку, який пройшов через кишечник не засвоївшись, становить величину засвоєного організмом білку:  $120 \text{ г} - 37,5 \text{ г} = 82,5 \text{ г}$  білку. Отже, у вагітної жінки позитивний азотний баланс. Значна частина засвоєного білку іде на розвиток плоду.

**19. Як впливає на розпад білків в організмі наявність в харчовому раціоні інших поживних речовин, голодування?**

Дослідження білкового обміну з використанням ізотопних методів показали, що в деяких тканинах упродовж 2-3-х діб розпадається близько половини усіх білків і стільки ж білків синтезуються заново (ресинтез). Звичайно, в кожній тканині, як і в організмі в цілому, синтезуються лише специфічні білки, які відрізняються від білків, прийнятих з їжею.

Розпад білка і виведення азоту з організму відбувається постійно і залежить від складу харчового раціону та характеру харчування.

Найменші витрати білків спостерігаються при харчуванні вуглеводами і білковому голодуванні. При надмірному надходженні в організм вуглеводів і при відсутності в їжі білків виведення азоту може бути значно меншим, ніж при повному голодуванні. Вуглеводи в цьому випадку сприяють економному витрачання білків організмом.

## **20. Що таке коефіцієнт зношення? Кінцеві продукти обміну білків.**

Розпад білків в організмі за умови відсутності їх у їжі є мірою мінімальних білкових втрат на основні процеси життєдіяльності організму. Ці найменші втрати білка, у розрахунку на 1 кг маси тіла, називають *коефіцієнтом зношення*. Його середня величину для дорослої людини 0,3-0,6 г азоту на 1 кг маси тіла за добу (приблизно 30 г білка для людини масою тіла 70 кг).

Кінцевими продуктами розпаду білків, які виділяються з організму через нирки і частково через потові залози, є аміак, сечовина, сечова кислота, пуринові речовини (аденін, гуанін та їх похідні – ксантин, гіпоксантин, креатин тощо).

## **21. Які величини споживання білків для дітей і дорослих є нормативними?**

При складанні харчового раціону за основу береться не білковий мінімум і не білковий максимум, а *білковий оптимум*, який повинен забезпечити комфортне самопочуття, високу працездатність і достатню опірність щодо інфекцій. Вважається, що такою оптимальною щодобовою нормою білка для дорослої людини, яка знаходиться в звичайних умовах і виконує легку фізичну роботу, є величина 1 г на 1 кг маси тіла.

За масою добова норма білків повинна становити 17% від загальної кількості їжі, а за енергетичною вартістю – 14%. Не менше 30%, від загальної кількості білків харчового раціону, має приходитися на білки тваринного походження.

Білкова недостатність спричиняє затримку росту і розвитку дітей та підлітків, зниження опірності організму щодо інфекційних захворювань. Надмірне вживання їжі багатой на білок, може спричинити перезбудження нервової системи, сприяти розвитку харчової

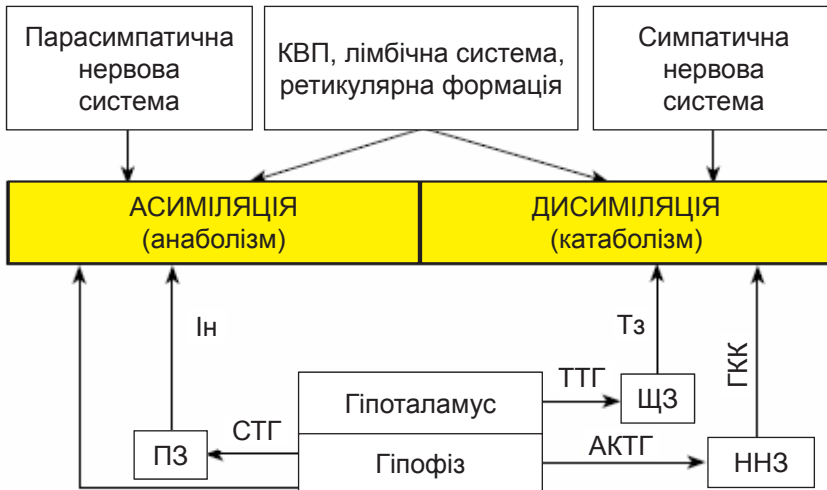


алергії (висипання на шкірі, запалення слизових оболонок тощо), самоотруєння токсинами, що утворюються в процесі гниття білкових решток в товстому кишечнику. Вміст білку в раціоні дітей повинен бути в два рази більшим, ніж у раціоні дорослих (2 г на 1 кг маси тіла).

При виконанні напруженої фізичної роботи добову норму білка збільшують до 2 г на 1 кг маси тіла, а при виконанні напруженої фізичної роботи в умовах тривалої дії холоду або інших стресових подразників – 2,5 г.

## **22. Як здійснюється 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 і інших залоз; по симпатичних і парасимпатичних нервах – до печінки, нирок, інших внутрішніх органів.



**Рис. 3.4. Схема регуляції білкового обміну:** КВП – кора великих півкуль; СТГ – соматотропний гормон; Ін – інсулін підшлункової залози (ПЗ); АКТГ – адренокортикотропний гормон; ГКК – глікокортикоїди наднирників (ННЗ); ТТГ – тиреотропний гормон гіпофізу; Тз – трийодтиронін щитоподібної залози (ЩЗ)

Стимулюють синтез білків соматотропний гормон гіпофізу, тироксин і трийодтиронін щитоподібної залози, чоловічий статевий гормон – тестостерон. Загальна схема нейрогуморальної регуляції обміну білків представлена на рис. 3.4.

### **23. Які порушення обміну білків сприяють розвитку подагри?**

Постійний надлишок сечової кислоти в крові осіб, які зловживають споживанням продуктів із злакових і м'яса, є однією з причин розвитку **подагри**. Захворювання подагрою частіше зустрічається у чоловіків, при цьому з віком важкість проявів і частота приступів зростають.

Запальні процеси в суглобах дуже часто супроводжуються ураженням нирок. Це обумовлено відкладанням в тканинах кристалів моносольної солі сечової кислоти. Згодом ці поклади уратів натрію перетворюються у вузлові потовщення суглобів рук і ніг; поряд з цим з'являється каміння в нирках.

При змішаному харчуванні із значним вмістом в раціоні білків злакових і м'яса, концентрація солей сечової кислоти у внутрішньому середовищі організму наближається до межі розчинності. В крові осіб хворих подагрою урати містяться в кількості, яка значно перевищує теоретичну межу розчинності (перенасичений розчин). І хоч білки сироватки стабілізують такий перенасичений розчин на тривалий період, будь-яке місцеве зниження рН (наприклад, в нирках та сечовому міхурі) або ж руйнація чинників попереджуючих відкладення солей в сполучній тканині суглобів, може призводити до появи вогнищ кристалізації сечової кислоти або її солей.

Метаболічні порушення при подагрі є мультифакторними. Початковим чинником, що спричиняє розвиток гіперурікемії є, звичайно, утворення надлишку сечової кислоти в процесі метаболічних реакцій. Сприяють цьому процесу захворювання нирок (зменшення екскреції сечової кислоти), зловживання алкоголем або отруєння солями важких металів.

Для усунення гіперурікемії і полегшення багатьох проявів цієї хвороби ефективними є засоби, які посилюють виведення сечової кислоти нирками.

## 3.2. ОБМІН ВУГЛЕВОДІВ

### 24. З чого складаються вуглеводи і які функції вони виконують?

**Вуглеводи** – органічні сполуки, що мають у своєму складі альдегідну і спиртову групи. Розрізняють **прості** (моноцукри – глюкоза, фруктоза, рибоза) і **складні** (оліго- і поліцукри) **вуглеводи**. З олігоцукрів для людини найбільш значимими є дисахариди сахароза, мальтоза і лактоза, з поліцукрів – крохмаль (запасний вуглевод рослин) і глікоген (резервний вуглевод печінки і м'язів), а також неперетравні целюлоза і пектинові речовини.

Основним джерелом харчового крохмалю є продукти переробки злаків (вироби з борошна, крупи тощо) і овочі (картопля). Глікоген надходить в організм людини з м'ясом і рибою. Надлишок вуглеводів, які надходять з їжею, перетворюється в глікоген, який відкладається про запас в м'язах і печінці. При голодуванні повне використання глікогену закінчується вже через 12-18 годин. З цього моменту різко активізуються процеси окиснення жирів.

До складу вуглеводів входить Карбон, Гідроген і Оксиген. Загальна їх кількість – 1% від маси тіла, основна роль – енергозабезпечення діяльності. При окисненні 1 г вуглеводів вивільняється 4,1 ккал енергії. Вуглеводи виконують також пластичну функцію. Недостатня кількість вуглеводів може зумовити порушення обміну білків і жирів. Надмірне вживання вуглеводів, особливо рафінованих, призводить до ожиріння, сприяє розвитку карієсу зубів, посилює алергічні реакції.

**Полісахариди і дисахариди** (сахароза, лактоза, мальтоза) в ротовій порожнині і в 12-палій кишці, під впливом карбоангідраз (амілази, мальтази), розщеплюються до **моносахаридів** (глюкоза, фруктоза, галактоза), які всмоктуються через стінку кишечника в кров. Фермент лактаза в кишечнику розщеплює лактозу молока до глюкози та галактози. Галактоза після всмоктування в кров легко перетворюється в глюкозу. При відсутності ферменту, необхідного для перетворення галактози в глюкозу, розвивається хвороба **галактоземія** (спадкова олігофренія). Загальна схема вуглеводного обміну подана на рис. 3.5.

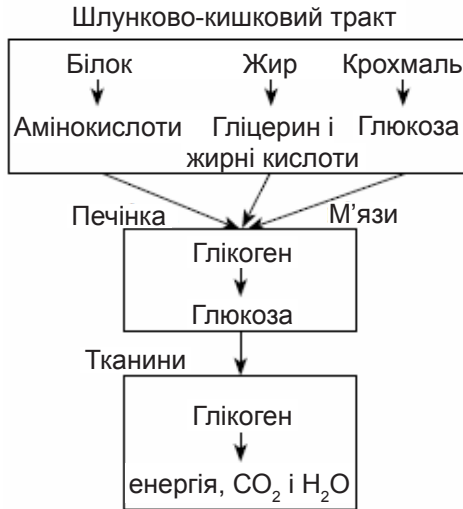


Рис. 3.5. Загальна схема вуглеводного обміну

**25. Яку роль відіграють неперетравні вуглеводи в харчуванні людини?**

**Неперетравні вуглеводи** (баластні речовини або рослинні волокна) – целюлоза (клітковина), геміцелюлоза і пектинові речовини входять до складу оболонки клітин рослин. Рослинні волокна не перетравлюються шлунково-кишковим трактом, але відіграють важливу роль в регуляції моторної функції кишечника і жовчовивідних шляхів.

Дефіцит баластних речовин в харчовому раціоні людини є однією з причин розвитку кишкової непрохідності, апендициту, геморою, холециститу, пухлинних новоутворень товстого кишечника. Неперетравні цукри сприяють адсорбуванню і виведенню з організму токсинів, солей важких металів, радіонуклідів, канцерогенів, холестерину тощо. В присутності органічних кислот і цукру пектинові речовини утворюють желе. Цю їх властивість використовують для приготування джемів, мармеладу, пастил тощо. Багато пектинових речовин в яблуках, сливах, чорній смородині, столових буряках тощо.

**26. Похідною вуглеводів є аскорбінова кислота. Чим зумовлена необхідність додаткового споживання цієї речовини людиною?**

Людина не виявляє потреби в певних вуглеводах, проте в збалансованій дієті приблизно 50% енергопотреб організм повинен отримувати за рахунок вуглеводів.

Єдиною похідною вуглеводів, яка обов'язково повинна бути в харчовому раціоні людини є **аскорбінова кислота** (вітамін С). Майже усі представники тваринного світу здатні синтезувати цю сполуку шляхом певних ферментативних перетворень глюкози. Проте у людини, як і у інших приматів, в організмі відсутні ферменти, які беруть участь в таких перетвореннях. Це явище є особливим типом вродженого порушення обміну речовин, яке виникло внаслідок мутацій в ході еволюції приматів. Інші важливі вуглеводи (галактоза, пентоза) синтезуються в організмі, і їх надходження з їжею не обов'язкове.

**27. В якому вигляді, де і в якій кількості депонуються вуглеводи в організмі людини?**

Вуглеводи в організмі можуть відкладатися про запас. Складні поліцукри їжі (крохмаль і полісахариди) розщеплюються травними ферментами і всмоктуються в кров переважно у вигляді глюкози. В печінці з глюкози синтезується **глікоген**. Його кількість у фізично натренованих осіб може досягати 200 г і більше. Приблизно стільки ж глікогену депонується в скелетних м'язах, близько 20 г глікогену знаходиться в крові і інших рідинах організму.

В організмі людей важкої фізичної праці глікогену на 40-50% більше, ніж в організмі людей розумової праці. Кількість глікогену в м'язах значно зростає за умови виконання інтенсивних і тривалих циклічних навантажень та надмірного споживання харчових продуктів, багатих вуглеводами.

**28. Які особливості розпаду вуглеводів характерні для людини, що виконує напружену фізичну роботу?**

В залежності від інтенсивності фізичної роботи розпад вуглеводів може проходити як аеробним, так і анаеробним шляхом. Анаеробний розпад вуглеводів відбувається при виконанні макси-

мально напруженої роботи. Його наслідком є нагромадження в організмі великої кількості молочної кислоти (до 350 мг% і більше).

Кінцевими продуктами розщеплення глюкози є вуглекислий газ

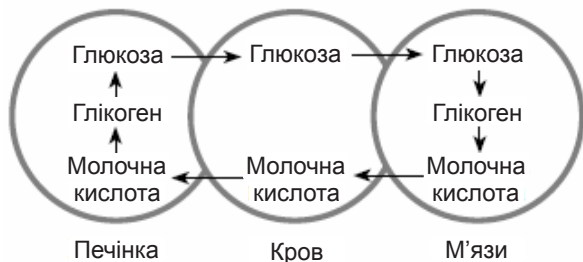


Рис. 3.6. Схема відновлення глікогену в печінці

і вода. Синтез глікогену в печінці може відбуватись як за рахунок молочної кислоти та жирних кислот, так і з продуктів розпаду амінокислот (рис. 3.6). Цей процес називається

**неоглікогенезом**. Особливо інтенсивно неоглікогенез проходить при виконанні фізичних навантажень.

### 29. Яка потреба організму у вуглеводах їжі?

Мінімальна добова потреба людини у вуглеводах – 150-200 г, в умовах активного способу життя – 400-500 г, при виконанні інтенсивної м'язової роботи – 700-1000 г. Норма вуглеводів за вагою – 60%, а за енергією 50-60% від загальної кількості прийнятої їжі. Моносахариди і дисахариди повинні складати не більше 20% від загальної кількості вуглеводів, які надходять в організм з їжею. Моноцукри меду – фруктоза і глюкоза не вимагають перетравлення і швидко всмоктуються в кров.

### 30. За яких умов можливе значне зниження концентрації глюкози в крові?

У нормі вміст глюкози в крові – 80-120 мг%. Зниження концентрації глюкози в крові нижче нормативного рівня носить назву **гіпоглікемії**. Вона виникає при голодуванні та при виконанні напруженої і тривалої роботи. У висококваліфікованих спортсменів, які беруть участь в кросових забігах на довгі дистанції, рівень глюкози в крові може знижуватись до 40 мг%. Це є однією з ознак натренованості спортсмена. Фізично не підготовлена людина при вказаному знижен-

ні рівня глюкози втрачає свідомість. Дефіцит глюкози в крові проявляється відчуттям стомлення; у людини починають підкошуватися ноги, тремтять руки, з'являється загальна слабкість, апатія тощо.

**31. Яка біологічна цінність вуглеводів, що входять до складу харчових продуктів зернових і овочів?**

Переважає більшість поліцукрів надходить в організм у вигляді продуктів із зернових і овочів. Пшеничні і житні зерна містять в собі багато вітамінів групи В, мінералів і білків. Вітамінів значно більше в продуктах з борошна грубого помолу та у висівках, значно менше – у першосортному борошні. Висівки з великим вмістом клітковини є необхідним харчовим компонентом для нормального функціонування кишечника, вони сприяють видаленню з організму токсичних речовин, попереджують розвиток запалень товстого кишечника і раку прямої кишки.

Багато вітамінів, мінеральних солей і клітковини в таких овочах як морква, капуста, буряк. Картопля містить в собі багато крохмалю, але мало клітковини, тому її доцільно споживати у поєднанні з іншими овочами. Цибуля містить мало вуглеводів, але корисна завдяки своїй бактерицидній дії. Крім того, вона стимулює виділення травних соків і активізує перетравлення білків та жирів.

**32. Які механізми забезпечують регуляцію вуглеводного обміну?**

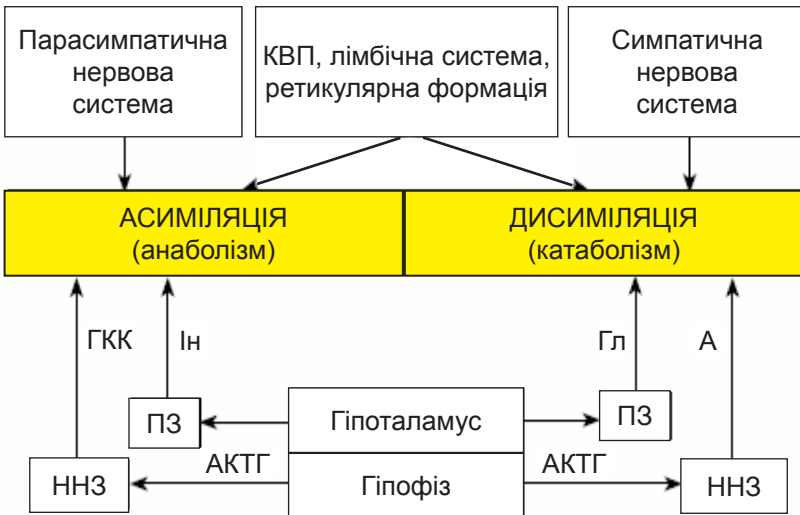
У регуляції вуглеводного обміну перш за все беруть участь глікорцептори, розташовані в печінці, підшлунковій залозі, кровоносних судинах, гіпоталамусі. Нервові центри, розташовані в довгастому і проміжному відділах головного мозку, лімбічній системі, ретикулярній формації і корі великих півкуль. Доказом участі кори великих півкуль і підкоркових систем в регуляції обміну вуглеводів є виявлений вченими факт збільшення вмісту глюкози в крові студентів перед складанням іспиту.

Гуморальна регуляція вуглеводного обміну забезпечується адреналіном, який виділяється наднирниками при збудженні симпатичної нервової системи, і гормонами підшлункової залози – інсуліном та глюкагоном. Адреналін стимулює розпад глікогену в пе-

чінці і м'язах, інсулін посилює транспорт глюкози через мембрани м'язових волокон і клітин печінки, що сприяє синтезу глікогену в м'язах та печінці. Окрім того, інсулін стимулює відкладання жиру в жирових депо. Глюкагон підшлункової залози є антагоністом інсуліну. Збільшення його секреції приводить до швидкого зростання рівня глюкози в крові.

Порушення секреторної функції підшлункової залози (посилений синтез глюкагону і зменшений синтез інсуліну) призводить до збільшення рівня глюкози в крові, сприяє виникненню **цукрового діабету**. При цьому захворюванні глюкоза з'являється в сечі. У такого хворого упродовж дня з сечею може виділитись до 500 г глюкози.

У регуляції вуглеводного обміну беруть участь гормони гіпофізу (сомато-, тирео-, адренокортикотропні гормони), щитоподібної залози (тироксин, трийодтиронін), а також глікокортикоїди наднирників – кортизон, гідрокортизон, кортикостерон, дегідрокортикостерон (рис. 3.7). Кортизон і гідрокортизон регулюють утворення



**Рис. 3.7. Схема регуляції вуглеводного обміну:**

КВП – кора великих півкуль; ПЗ – підшлункова залоза; Ін – інсулін;

Гл – глюкагон; АКТГ – адренокортикотропний гормон;

ННЗ – наднирники; А – адреналін; ГКК – глікокортикоїди



глікогену, затримують розпад вуглеводів і синтез жиру; кортико-стерон і дегідрокортикостерон підвищують рівень глюкози в крові. **Гліокортикоїди** – це адаптогенні гормони, вони стимулюють енергозабезпечення м'язів при виконанні фізичної роботи, сповільнюють настання втоми, стимулюють глікогенез.

### 33. Які гуморально-гормональні механізми забезпечують підтримання нормативного рівня глюкози в крові?

Основним завданням системи регуляції вуглеводного обміну є підтримання нормативного рівня глюкози в крові – від 3,3 до 5,5 ммоль/л (80-120 мг%). Загальна схема регуляції рівня глюкози в крові подана на рис. 3.8.



Рис. 3.8. Схема регуляції рівня глюкози в крові (за Г. Дришелем)

### 3.3. ОБМІН ЛІПІДІВ

#### **34. Які органічні сполуки належать до ліпідів? Нормативи жири-рових запасів в організмі людини.**

До ліпідів відносять дві групи нерозчинних у воді органічних сполук: **прості ліпіди (нейтральні жири)** і **складні – гліко- і фосфоліпіди**. Фосфоліпіди містять в собі висомолекулярні спирти, жирні кислоти, фосфорну кислоту і азотну основу. До них належить лецитин, що входить до складу нервових клітин (з лецитину утворюється холін, який складає основу ацетилхоліну). До стеринів належить холестерин, статеві гормони, гормони кори наднирників, вітаміни А і D. Нейтральні жири складаються з гліцерину і жирних кислот (олеїнової, пальмітинової і ін.).

Жирові запаси зосереджені переважно в підшкірній клітковині, жировій тканині (сальнику), навколо нирок і інших внутрішніх органів, а також в печінці та м'язах.

Жирова тканина складається з жирових клітин (адіпоцитів). Їх кількість у кожної людини різна і в значній мірі спадково обумовлена. **Адіпоцити** – це модифіковані фібробласти, які на 85% свого об'єму заповнені тригліцеридами. Близько 65% маси жирової тканини припадає на долю депонованих в ній нейтральних жирів (95% усіх тригліцеридів організму). Жир локалізований в підшкірній клітковині, окрім енергетичної функції виконує функцію теплоізоляції. Вивільнені при ліполізі вільні жирні кислоти є основним енергетичним матеріалом. Тут же проходять реакції реестерифікації тригліцеридів з жирних кислот, які надходять в жирові депо з крові.

#### **35. Який рівень жири-рових запасів в організмі слід вважати нормативним?**

У нормі жиру в організмі повинно бути не менше 6-10% від маси тіла; оптимальною вважається величина – 12-18% для чоловіків і 15-25% для жінок. Надлишок жиру (перевищення ідеальної маси на 5%) негативно впливає на стан здоров'я, сприяє розвитку атеросклерозу, гіпертонічної хвороби, знижує імунну реактивність,

спричиняє розвиток дистрофічних процесів в скелетних і серцевому м'язах.

**36. Яка загальна схема обміну жирів? Роль легень в обміні ліпідів.**

Першим органом, в який надходять з течією лімфи та крові продукти розщеплення жирів з шлунково-кишкового тракту, є легені. В них знаходяться особливі клітини – гістіоцити, які мають здатність фіксувати надлишки жиру з артеріальної крові, чим попереджують активізацію механізмів згортання крові та відкладання жиру в жирових депо. Незначна частина затриманого легенями жиру окиснюється, інша – надходить в жирові депо і до печінки, де перетворюється в глікоген, а також з'єднується з білками, утворюючи ліпопротеїди.

Надходячи з депо в кров, нейтральні жири розщеплюються до гліцерину і жирних кислот, з яких в печінці синтезується глікоген. Згодом глікоген розпадається на глюкозу, а глюкоза окиснюється до вуглекислого газу і води з утворенням енергії (рис. 3.9).

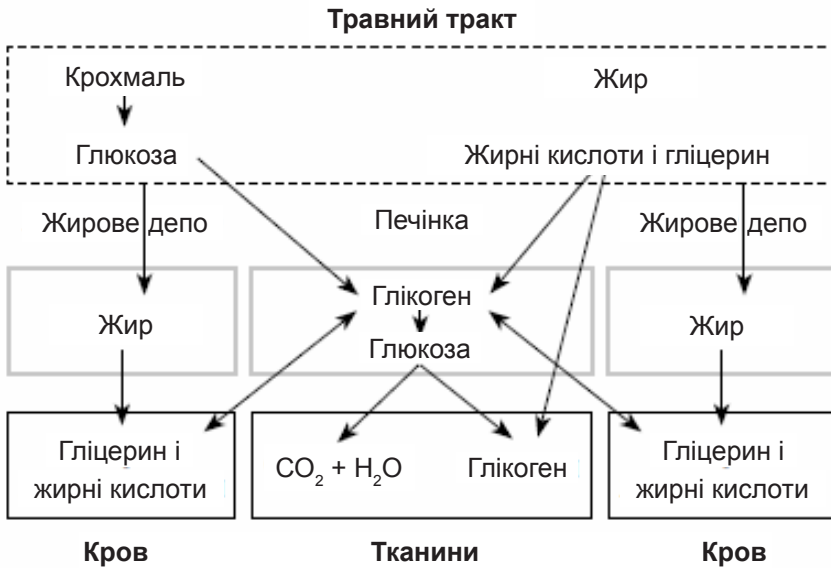


Рис. 3.9. Схема жирового обміну

**37. Яка енерговартість жирів?**

Найбільш висококалорійним з жирів є нейтральні жири (тригліцериди). При повному окисненні 1 г тригліцеридів утворюється 9,5 ккал (1 г вуглеводів дає 4,2 ккал, а білків 4,3 ккал). Проте при розрахунках енергетичної вартості харчових продуктів враховується енергетична цінність жирів – 9,0 ккал/г, а білків і вуглеводів – по 4 ккал/г.

**38. За яких умов спостерігається найбільш повне використання жирів в якості енергосубстрату?**

В якості енергосубстрату жир використовується переважно в стані спокою, а також при виконанні тривалої (тривалістю більше 30 хв) м'язової роботи з незначним споживанням кисню. З ростом фізичної підготовленості людини, активізуються механізми, спрямовані на збереження запасів вуглеводів за рахунок посиленого використання жирів.

**39. У чому полягає пластична, корсетна і теплоізоляційна функції жирів?**

Значна частина ліпідів використовується в якості пластичного матеріалу – для побудови клітинних структур цитоплазми і оболонки. Особливо багато ліпідів у клітинах нервової системи і наднирників. Жирова тканина забезпечує фіксацію внутрішніх органів і захищає їх від надмірних механічних та термічних впливів – **корсетна функція жирів**.

Погано проводячи тепло, підшкірна жирова клітковина сприяє збереженню тепла в організмі – **теплоізоляційна функція**. Жир входить до складу секретів сальних залоз, який захищає шкіру від висихання та надмірного змочування при контакті з водою. В жирах розчиняються вітаміни А, D, Е, К, що є важливою передумовою їх засвоєння організмом.

**40. Яку роль в організмі людини виконують поліненасичені жирні кислоти?**

При організації харчування людини слід забезпечити обов'язкову наявність в харчовому раціоні **поліненасичених жирних кислот** (НЖК): **олеїнової, лінолевої, ліноленової і арахідонової**. Ці кислоти не можуть синтезуватися в організмі, а тому обов'язково мають бути присутні в харчовому раціоні. У зв'язку з цим, при визначенні мінімальної потреби людини в жирах враховується наявність в їжі вище вказаних незамінних жирних кислот. Їх багато в рослинних оліях.

НЖК забезпечують нормальний ріст і розвиток організму, беруть участь в окисно-відновних процесах, є попередниками синтезу простагладинів, утворюючи з холестерином розчинні сполуки, прискорюють його перетворення печінкою в жирні кислоти. Окрім того, НЖК підвищують еластичність стінок кровоносних судин, стимулюють жовчовиділення і перистальтику кишечника, сприяють виведенню холестерину з організму (профілактика атеросклерозу, відкладання солей тощо), сприяють синтезу холіну. При недостатці в харчовому раціоні НЖК розвиваються дерматити, порушується репродуктивна функція.

Добову потребу в НЖК людина може забезпечити споживанням 20-30 г рослинної олії, яку належить вживати з овочевими салатами.

#### **41. Які функції виконують фосфоліпіди в організмі людини?**

**Фосфоліпіди** належать до складних ліпідів. В залежності від азотистих основ, які містяться в їхньому складі, фосфоліпіди поділяються на шість груп: холінфосфоліпіди (лецитини), коламінфосфоліпіди (кефаліни), серинфосфоліпіди, ацетальфосфоліпіди (плазмалогени), інозитфосфоліпіди, сфінгозинфосфоліпіди (сфінгомієліни). Найбільше фосфоліпідів міститься в нервовій тканині (до 30%), печінці (16%), нирках (11%), серці (10%).

Функції фосфоліпідів багатогранні, вони входять до складу різних мембран, беруть участь у проведенні нервових імпульсів, у процесах згортання крові, клітинної проліферації, імунних реакціях тощо. Неестерифікований холестерин, що входить до складу мемб-

ран клітин, разом з фосфоліпідами і жирами виявляє регулюючий вплив на стан мембрани і на активність мембранних ензимів.

Надмірне відкладення холестерину на стінках кровоносних судин є причиною атеросклерозу, а в печінці – жовчнокам'яної хвороби.

При обміні холестерину утворюється багато біологічно активних речовин. У шкірі з холестерину утворюється 7-дегідрохолестерин (провітамін вітаміну D<sub>3</sub>); в корі наднирників – мінерало- і глікокортикоїди; в печінці – холанова кислота, а з неї – жовчні кислоти; в статевих залозах чоловіків – андрогени (жінок – естрогени).

В організм людини холестерин надходить з продуктами харчування: жирне м'ясо, шкіра, печінка, нирки, інші внутрішні органи, масло, жовтки яєць. Значна частина холестерину синтезується в організмі (1 г за добу), переважно у печінці. Нормативним вважається вміст холестерину у крові людини – 150-200 мг/л. Виводиться холестерин з організму з жовчю в складі калу у вигляді копростерину.

#### ***42. Які величини споживання тваринних і рослинних жирів є нормативними для осіб різного рівня рухової активності?***

Норма жирів для дорослих за калоріями – 30% добового раціону (1,3-1,5 г на 1 кг маси тіла), за вагою – близько 17% від загальної маси їжі. Особам похилого віку з надмірною масою тіла споживання жирів необхідно зменшити в два рази; особам важкої фізичної праці кількість жиру в харчовому раціоні повинна становити до 35% від загальних енергопотреб.

У тваринних жирах (вершкове масло, сметана, жирне молоко) є багато вітамінів А, D і К, які добре засвоюються. Рослинні олії (соняшникова, кукурудзяна, оливкова) містять вітамін Е і поліненасичені жирні кислоти. Людина повинна споживати суміш тваринних (70%) і рослинних (30%) жирів.

#### ***43. Як залежить засвоюваність окремих жирів від температури їх плавлення?***

Засвоюваність жирів залежить від температури їх плавлення. Добре засвоюються рослинні і тваринні жири, які плавляться при

температурі нижчій +37°C. З підвищенням температури плавлення засвоюваність жирів знижується. Температура плавлення гусячого жиру +26-33°C, вершкового масла +28-33°C, маргарину +28-40°C, свинячого і яловичого сала +36-40°C, овечого сала +44-51°C.

**44. Як можна визначити вміст жиру в організмі людини за товщиною складок шкіри? Поняття «ідеальної» ваги.**

Користуючись каліпером (або штангельциркулем), вимірюють товщину шкіряних складок в таких чотирьох ділянках тіла: 1) над двоголовим м'язом плеча; 2) над трьохголовим м'язом плеча; 3) в ділянці під лопаткою; 4) в ділянці живота (на рівні пупка, відступаючи 5 см вправо). Отримані величини додають і визначають вміст жиру в організмі, користуючись даними таблиці 3.1:

**Таблиця 3.1**

**Визначення вмісту жиру в організмі людини за товщиною шкіряних складок (I.Durnin, I.Body)**

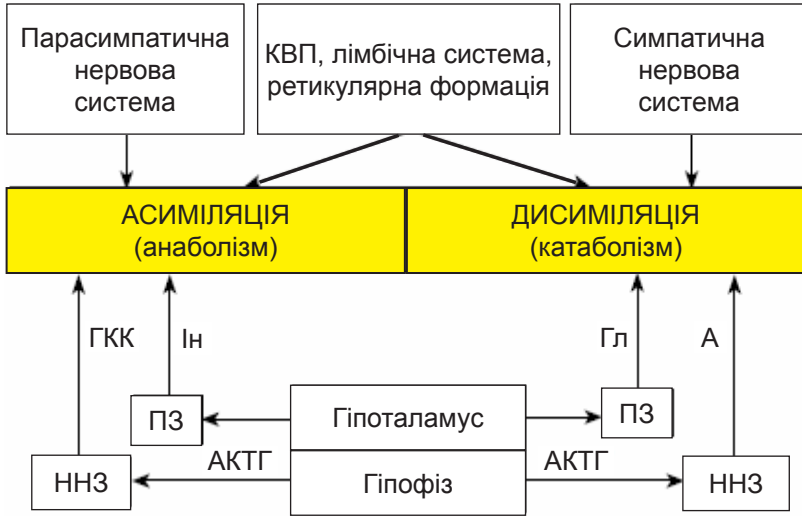
Вік, років	Жінки		Чоловіки	
	Товщина складок шкіри, мм	% жиру	Товщина складок шкіри, мм	% жиру
25	48	26	31	13
35	62	31	36	18
45	70	35	42	22
55	77	39	49	26

Ідеальною вагою слід вважати таку, яка для людини даного віку і зросту найбільш повно корелює з добрим станом здоров'я. Найбільш простою формулою для визначення ідеальної ваги є індекс маси тіла (індекс Кетле):  $IMT = \text{вага тіла (кг)} : \text{зріст тіла (м}^2\text{)}$ . Нормативні величини ІМТ – від 18 до 24.

**45. Які механізми забезпечують регуляцію жирового обміну?**

Регуляція жирового обміну забезпечується нервовим і гуморальним шляхами. Серед механізмів нервової регуляції обміну жирів особлива роль належить підзгірній частині проміжного мозку

(руйнування ядер гіпоталамуса приводить до ожиріння). Із залоз внутрішньої секреції в регуляції жирового обміну активну роль відіграють гормони передньої частки гіпофіза, щитоподібної і статевих залоз (рис. 3.10).



**Рис. 3.10.** *Схема регуляції жирового обміну: КВП – кора великих півкуль; ГКК – глікокортикоїди; АКТГ – аденокортикотропний гормон; ННЗ – наднирники; К – кортикоїди; СЗ – статеві залози; СГ – статеві гормони; СТГ – соматотропний гормон; ПЗ – підшлункова залоза; Ін – інсулін*



### **3.4. ОБМІН ВОДИ І МІНЕРАЛЬНИХ СОЛЕЙ**

#### ***46. Яке значення для організму людини мають вода і мінеральні солі? Перспективи розвитку водної медицини.***

Обмін води і мінеральних солей – тісно взаємозв'язані процеси, адже вода в організмі знаходиться переважно у вигляді сольових розчинів. Концентрацією мінеральних солей, розчинних у воді, зумовлена величина осмотичного тиску крові і тканинної рідини. Неорганічні речовини відіграють важливу роль в підтриманні кислотно-лужної рівноваги і в збереженні відносної сталості активної реакції крові, беруть участь в процесах всмоктування продуктів травлення з шлунково-кишкового тракту в кров і лімфу, – в процесах виведення кінцевих продуктів обміну з організму. В присутності води, а часто і з приєднанням молекули води, проходять окисні процеси та інші хімічні реакції пов'язані із вивільненням енергії. Вода бере участь у регуляції температури тіла (виділення з потом 1 г води пов'язане з втратою 0,58 ккал енергії), знижує величину тертя між окремими органами (в суглобах і внутрішніх органах), разом з мінеральними солями вода входить до складу травних соків.

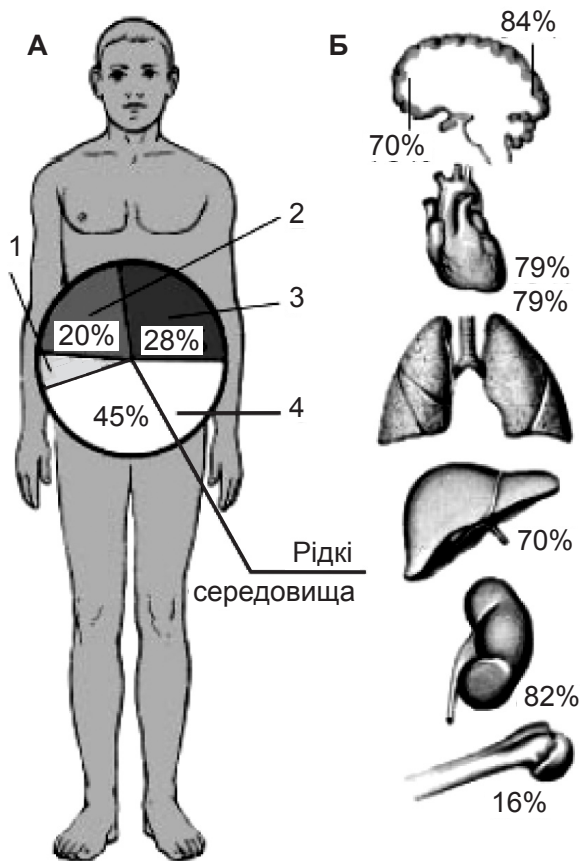
Для повноцінного існування людина повинна мати достатню кількість води і, особливо, питної. Сьогодні вченими встановлена залежність між якістю питної води і рівнем захворюваності людей різних регіонів планети. В ряді випадків вода є джерелом розповсюдження радіонуклідів, накопичення яких в залозах внутрішньої секреції сприяє підвищенню рівня онкозахворюваності.

Особлива увага вчених приділяється обробці води як носія інформації. Вода структурована чи деструктурована може згодом використовуватись для профілактики захворювань, активізації обміну речовин, для біологічної регенерації, реабілітації та «омолодження», підвищення імунної реактивності організму. Спеціальне біоенергетичне програмування води сприятиме захисту організму від дії алергенів, електромагнітних полів та випромінювання Землі.

#### 47. Скільки води міститься в організмі дорослих і дітей?

В організмі дорослої людини близько 70% води (у дітей до 80% і більше від маси тіла): в кістках близько 20%, в плазмі крові – понад 90%, в клітинах головного мозку – 80%, в м'язах – 75% (рис. 3.11). В організмі жінок води приблизно на 6-10% менше, що пояснюється більшим вмістом жиру. В організмі худорлявих людей більше води, ніж в огрядних. Пояснюється це тим, що з жировою тканиною зв'язується 20% води. Загальний вміст води в організмі огрядної людини – близько 45-50%. Навіть незначні втрати води приводять до помітного погіршення стану здоров'я людини, а втрати більше 20%

води спричиняють смерть. Без води людина не може прожити більше 8-10 днів.



**Рис. 3.11.**  
**Вода в організмі людини:**

*A – розподілення рідин в організмі (% від маси тіла):*

*1 – кров і лімфа (7%),*

*2 – позаклітинна рідина,*

*3 – внутрішньоклітинна вода,*

*4 – щільні тканини;*

*Б – вміст води в різних органах*

**48. В яких станах знаходиться вода в організмі людини?**

Основна частина води в організмі знаходиться у **вільному стані**, вона є розчинником різноманітних речовин. Інша частина води зв'язана з колоїдами клітин – **гідратаційна вода протоплазми** (внутрішньоклітинна вода). Вода, що знаходиться між клітинами, називається **інтерстиціальною**. Чимало води входить до складу молекул білків, жирів і вуглеводів – **структурована вода**, яка вивільняється при окисненні поживних речовин. При окисненні 1 г білка утворюється 0,41 г води, вуглеводів – 0,55 г, жирів – 1,07 г. Інтенсивним окисненням жирів пояснюється здатність верблюдів упродовж тривалого часу рухатися в пустелі без води.

Значна частина води знаходиться в системі крово- та лімфообігу (**внутрішньосудинна**), усередині суглобів, у серцевій сумці, плевральній та інших порожнинах (**рідина закритих порожнин**), в шлунково-кишковому тракті, сечових шляхах, потових та ендокринних залозах.

**49. Як змінюються властивості води під дією магнітних полів?**

Встановлено різнонаправлений вплив на властивості води магнітних полів. Так, при дії північного полюсу вода структурується і набуває антибактеріальних властивостей, попереджує інфекції та ріст пухлин. Під дією південного полюсу вода набуває протилежних властивостей – активізує як інфекційний, так і пухлинний ріст. Відомі біоенергоінформаційні властивості води.

**50. Що таке водний баланс?**

Відношення кількості прийнятої упродовж доби води, до кількості води виділеної через нирки і потові залози, складає **водний баланс** (близько 2,5 л). Шляхи надходження води до організму: споживання рідкої їжі – 1,2 л; споживання води (включаючи чаї, соки, каву тощо) – 1 л; утворення води в тканинах внаслідок окиснення жирів, білків і вуглеводів – 300 мл. Шляхи виведення води з організму: через нирки – 1,5 л; з потом – 0,5 л; з видихуваним повітрям

– 0,3 л; через травний канал – 0,2 л. В екстремальних умовах через нирки за добу може виділятися до 20 л води, через потові залози – до 2 л і більше.

Вся вода організму оновлюється приблизно за 30 діб, інтерстиціальна – за тиждень.

Добова потреба у воді зростає при високій температурі довкілля та при порушенні регуляції водного обміну, зокрема при зміні характеру їжі (наприклад, після споживання солоної їжі).

### **51. Резервні можливості нирок щодо «опріснення» солоної води.**

Здорові нирки мають досить великі резервні можливості щодо «опріснення» солоної води. При відсутності прісної води солону воду належить споживати малими порціями (до 1 л на добу) і не довше, ніж 7-8 діб. Подальше вживання солоної води призводить до захворювання нирок. При цьому упродовж доби організм зневоднюється на 20-25% і гине. Дводенного споживання прісної води ниркам достатньо для того, щоб вони повністю відновили свою «опріснювальну» функцію.

### **52. Яким чином відбувається проникнення води через різні роздільні мембрани?**

Між окремими водними середовищами в клітині, між клітиною і інтерстиціальним простором, обмін води відбувається безпосередньо через ліпідний бішар. Обмін води, що знаходиться в судинах (кров, лімфа, інші рідини) з міжклітинною (позасудинною) відбувається як через ліпідний бішар мембран клітин, так і по міжклітинних щілинах. Переміщення води відбувається під дією сил осмотичного або трансурального тисків, а також пасивно.

Завдяки осмосу розчинник переміщується через напівпроникну мембрану з області меншої концентрації розчиненої речовини в область більшої. Сила, яка забезпечує рух розчинника (води), називається **осмотичним тиском**.

Та частина осмотичного тиску, яку створюють білки (біомембрани погано або зовсім не пропускають великі білкові молекули), називається **онкотичним тиском**.

В обміні води, окрім осмотичного і онкотичного тисків, бере участь і **трансмуральний тиск** (тиск крові на стінки судин і тиск рідини на неї ззовні).

У забезпеченні обміну води усі три різновиди тисків тісно взаємодіють. Трансмуральний тиск виштовхує воду з судин, а онкотичний – утримує. Вплив осмотичного тиску на рух води залежить від активності обміну речовин і хімічних речовин, які при цьому утворюються.

**53. Які механізми забезпечують рух води між капілярами і тканинами?**

Вихід води з судинного русла забезпечується дифузією і фільтрацією, а зворотнє надходження – реабсорбцією. Перебігу процесів дифузії в капілярах сприяє наявність в ньому вузьких щілин між ендотеліоцитами стінки. Окрім того, у клітинній мембрані ендотеліоцитів є велика кількість найдрібніших пор. У стані фізіологічного спокою через стінки всіх капілярів проходить 60 л води за 1 хв.

Згідно з теорією Старлінга, процеси фільтрації і реабсорбції здійснюються без витрат енергії, тобто пасивно. Перебіг цих процесів тісно пов'язаний із зміною показників онкотичного, гідродинамічного і фільтраційного тисків (див. «Фізіологію кровообігу»).

**54. Як довго людина може жити без води? Рекомендації дієтологів і йогоїв щодо прийняття води.**

Максимальна тривалість перебування людини без води в значній мірі залежить від температури повітря і режиму рухової активності. Так, знаходячись в стані спокою при температурі 16-23°C людина може не пити упродовж 10 діб, при температурі повітря 33°C – до п'яти діб, при 39°C – до двох діб. При виконанні фізичної роботи вказані терміни збереження життя без води істотно скорочуються.

При надмірному споживанні води виникає так зване «**водне отруєння**». Його симптоми: блювота, м'язова слабкість, загальне погіршення самопочуття (пригнічення), гематурія, м'язове тремтіння. Разом з тим поступове збільшення споживання води до 5-10 л і більше на добу в поєднанні з клізмами і періодичним голодуванням,

в ряді випадків є ефективним засобом оздоровлення, зокрема лікування остеохондрозу.

Для того, щоб бути здоровим дієтологи рекомендують:

- кожного ранку за 20-30 хв до їди випивати склянку води;
- не пити воду в час прийняття їжі і упродовж 1 години після вживання їжі;
- пити воду між сніданком і обідом (близько 2 склянок), між обідом і вечерею;
- людям, схильним до повноти, пити воду тоді, коли хочеться їсти;
- пити воду при депресії і дратівливості.

Йоги вважають, що життєва енергія (прана) різної води різна. Найбільше прани в свіжій проточній (джерельній) воді, – дуже мало в кип'яченій і дистильованій. Проте її можна збагатити праною шляхом аерації – переливаючи з однієї посудини в іншу. Взагалі будь-яку **воду перед споживанням доцільно «пранувати» переливанням.**

### **55. Які фізіологічні механізми забезпечують підтримання постійності вмісту води в організмі?**

Вміст води в організмі людини коливається в незначних межах. Для середньої людини ці коливання без відчуття дискомфорту становлять 0,22% маси тіла, або 150 мл. Коли втрати води (з потом, сечею, видихуваними водяними парами) становлять більше 150 мл, виникає бажання напиться води, а при втратах води більше 0,5% маси тіла (350 мл для людини вагою 70 кг) виникає відчуття **спраги.**

Фізіологічний механізм виникнення спраги пов'язаний із зменшенням вмісту води в позаклітинних просторах і клітинах. Втрата води призводить до підвищення осмотичного тиску у вказаних рідинах і зменшення секреції слини слинними залозами. Людина відчуває сухість в роті і глотці.

Зменшення обсягу клітин, зниження обсягу позаклітинної рідини, сухість слизової оболонки порожнини рота – усе це фактори (подразники), що сприймаються відповідними внутрішньоклітинними

рецепторами, розташованими в зоровому горбі проміжного мозку. Рецептори, що сприймають зменшення обсягу позаклітинної рідини, чутливі до розтягнення стінок великих вен.

Нервовий центр регуляції обміну речовин представлений сукупністю нейронів, розташованих в стовбурі мозку, підзгір'ї і корі. Саме функціональний стан цього центру і обумовлює виникнення спраги та наступну мотиваційну діяльність, спрямовану на усунення причин дискомфорту, – на пошуки і прийняття води.

**56. Які мінеральні речовини належать до мікро-, а які до макроелементів?**

За кількісним вмістом в організмі усі мінеральні речовини поділяють на дві групи – макро- і мікроелементи. До макроелементів належать Кальцій, Калій, Натрій, Фосфор, Хлор, Сульфур, до мікроелементів – Фтор, Алюміній, Купрум, Манган, Молібден та інші. Загальна кількість макроелементів в організмі людини – близько 1 кг, мікроелементів – менше одного грама. Проміжне положення між цими двома групами займають Магній (його в організмі близько 20 г) і Ферум (близько 3 г).

**57. Яке фізіологічне значення для організму людини має Ферум?**

Ферум (залізо) входить до складу гемоглобіну еритроцитів, міоглобіну м'язів, відіграє важливу роль в кровотворенні. Добова потреба цього мінералу для дорослих – 15-20 г, для людей важкої фізичної праці – 30-40 г. При недостатності в харчовому раціоні заліза розвивається анемія (малокрів'я), знижується киснева ємність крові. Для відновлення вмісту заліза в організмі необхідно споживати продукти, багаті цим мінералом – печінку, яйця, яблука, страви з гречки, гречаний мед, або ж приймати аптечні препарати заліза.

**58. Яке фізіологічне значення для організму має Натрій і Калій?**

Натрій є основним чинником підтримання осмотичного тиску крові, лімфи і тканинної рідини. Його споживають додатково у вигляді натрій хлориду (кухонної солі) в кількості 6-12 г на добу. При значному потовиділенні потреба в цьому мінералі зростає до 30-35 г.

Надмірне споживання солі може спричинити порушення мінерального обміну із затримкою рідини в тканинах (набряки), підвищення артеріального тиску тощо.

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. Норми Калію для дорослих – 2-3 г, для спортсменів 4-6 г.

Багаті Калієм сухофрукти, бобові, картопля, 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. Калієві дієти використовують при гіпертонії, ниркових і серцево-судинних захворюваннях, набряках.

### ***59. Яке фізіологічне значення для організму людини має Кальцій і Фосфор?***

Кальцій відіграє важливу роль в забезпеченні збудження м'язових і нервових волокон, він входить до складу зубів, необхідний для згортання крові. Багато цього мінералу в молочних продуктах, в листках капусти, шпинату. Добова норма Кальцію для дорослих – 0,8 г, для дітей – 1 г, для підлітків – 1,5 г, для спортсменів – 2,0-2,5 г.

Фосфор є складовим компонентом кісткової, м'язової і нервової тканин, він входить до складу аденозинтрифосфорної кислоти (АТФ) і креатинфосфату. 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 – 3-4 г.

### ***60. Які чинники належить враховувати при визначенні добової потреби людини в мінеральних речовинах?***

Добова потреба людини в мінеральних речовинах залежить від її віку, функціонального стану (при вагітності потреба в мінераль-



них речовинах зростає) і режиму рухової активності. В середньому добова потреба дорослої людини в Натрії – 4-6 г, Калії – 2-4 г, Фосфорі – 1-2 г, Сульфурі – 1 г, Магнії – 0,5 г, Ферумі – 20 г, Цинку – 15 г, Купрумi – 3 г.

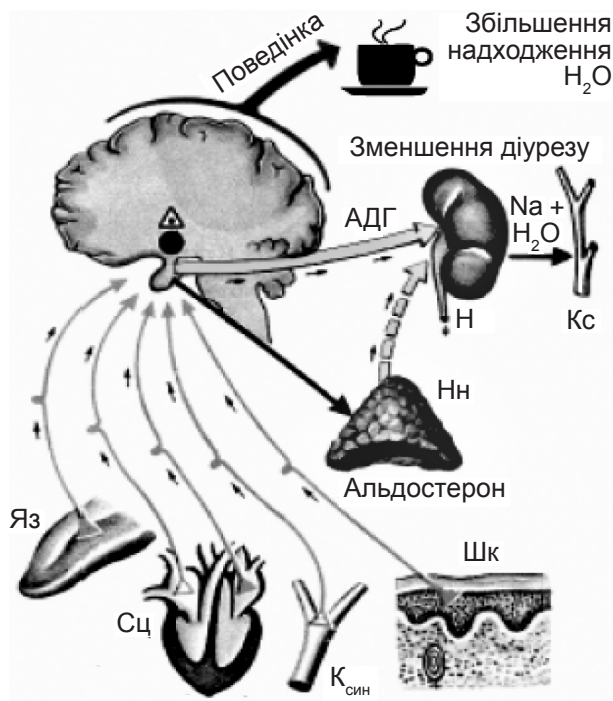
При звичайному харчуванні рослинними і тваринними продуктами організм людини отримує достатню кількість мінеральних солей, і лише звичка підсолювати їжу вимушує нас постійно додавати до харчових продуктів кухонну сіль. Збільшеною є норма споживання мінеральних речовин дітьми, які потребують додаткову кількість багатьох макро- і мікроелементів. Так, для повноцінного розвитку кісток і нервової тканини, в харчовий раціон дітей та підлітків 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 осіб, які виконують інтенсивну фізичну роботу, значна кількість солей (особливо Натрію, Калію, Фосфору) виходить з потом (до 2 г на 1 л поту). Тому у відновному періоді їм слід додатково споживати водні розчини солей або збагачені цими солями харчові продукти.

Потреба організму людини в мікроелементах невелика, проте вони відіграють важливу роль в забезпеченні оптимального функціонування організму. Так, Йод входить до складу щитоподібної залози, Кобальт – складова частина вітаміну В<sub>12</sub>, Купрум, Цинк і інші мікроелементи є необхідними компонентами ферментів – каталізаторів біохімічних процесів. Мікроелементів багато в овочах, яйцях, рибі, печінці, молоці, горіхах.

### ***61. Які механізми забезпечують регуляцію водно-сольового обміну?***

Регуляція виведення води і солей з організму здійснюється шляхом нервових впливів на нирки і потові залози. При цьому потреба людини у воді проявляється відчуттям *спраги*, а потреба у солях обумовлює формування відчуття *сольового апетиту*.



**Рис. 3.12. Регуляція водно-сольового обміну при гіпогідратації:** Шк – шкіра; Нн – наднирники; Н – нирка; Кс – каротидний синус; Яз – язик (ротова порожнина); Сц – серце; Кс – кровоносні судини; АДГ – антидіуретичний гормон гіпофізу

Нервовий центр, який регулює водно-сольовий обмін розташований в проміжному мозку (рис. 3.12). Тут є спеціальні осморорецептори, чутливі до зміни осмотичного тиску в крові і в тканинній рідині. Подразнення цих рецепторів зумовлює направлений рух води і солей в організмі: всмоктування їх з травного тракту, перерозподіл між окремими тканинами і органами, виведення у довкілля через нирки, по-

тові залози, шлунково-кишковий тракт.

Важлива роль в регуляції водно-сольового обміну належить гормонам наднирників, параситоподібної, щитоподібної та інших залоз внутрішньої секреції. Так, вазопресин задньої частки гіпофіза зменшує виділення води нирками, мінералокортикоїди кори наднирників забезпечують затримку Натрію в організмі, гормон параситоподібної залози – паратгормон регулює обмін Фосфору і Кальцію (рис. 3.13).

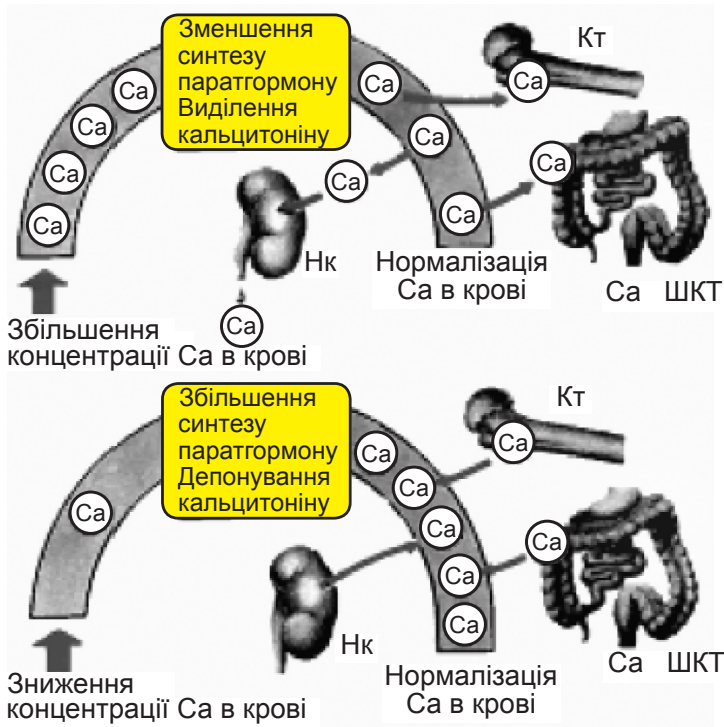


Рис. 3.13. Взаємодія гормонів, які регулюють баланс Кальцію в організмі: Нк – нирка; Кт – кістки; ШКТ – травний канал

62. Упродовж робочої зміни працівник витратив з потом 1 л води, працівник іншого цеху за цей же період витратив 3 л поту. Якого питтєвого режиму необхідно дотримуватись обом працівникам, щоб відновити порушений водно-сольовий баланс організму?

Відновлення водно-сольового балансу після значних втрат води та солей необхідно проводити поступово, упродовж тривалого часу. Як недостатнє так і надмірне споживання води шкідливе організму. Надлишок прийнятої води призводить до збільшення обсягу плазми крові, що, в свою чергу, збільшує навантаження на серце.

Якщо втрати поту працівником не перевищують 1 л за добу (перший працівник), то відновлення втрачених солей (Натрію, Хлору,

Калію) повністю забезпечується звичайним харчовим раціоном. При більш значних добових витратах поту (другий працівник) необхідно додатково приймати 5-15 г солей. При цьому сольові добавки необхідно приймати з відповідною, щодо вмісту солей, величиною води.

Ефективним засобом відновлення органічних солей є споживання розведених водою овочево-фруктових соків. Використання таких соків швидко вгамовує спрагу, попереджує виникнення м'язових судом, прискорює перебіг відновних процесів в організмі людина після припинення роботи.

### 3.5. ОБМІН ЕНЕРГІЇ

#### ***63. Що є основним джерелом енергії на нашій планеті? Значення фотосинтезу для утворення органічної речовини.***

Людина як відкрита енергетична система потребує надходження енергії із зовнішнього середовища. У зв'язку з цим вона, як і інші живі організми, вступає у взаємодію з навколишнім середовищем.

Організм людини, як і тварин, не здатний до фотосинтезу, а тому не має можливості безпосередньо засвоювати сонячну енергію для підтримання процесів життя.

Для здійснення біохімічних процесів необхідне надходження поживних речовини з природного середовища. У результаті постійного і безперервного обміну з довкіллям, різні хімічні елементи надходять в організм, можуть у ньому накопичуватися і зберігатися упродовж усього життя, або виходити в навколишнє середовище через певний час.

Надходження енергії в організм людини проходить у вигляді енергії хімічних зв'язків харчових продуктів (жирів, білків та вуглеводів). Крім того людина використовує з природного середовища, такі різновиди енергії як електричну (електроенергію), теплову (палива), механічну та інші види енергії.

Основним джерелом енергії планети Земля є сонячна енергія. Сонце виділяє 131023 кілокалорій енергії на рік. Частина цієї енер-

гії затримується у верхніх шарах атмосфери, інша частина, відбиваючись від поверхні, розсіюється у вигляді тепла і лише 1% її завдяки процесам фотосинтезу перетворюється в енергію хімічних зв'язків органічних сполук.

Шляхом фотосинтезу щорічно на Землі утворюється близько 160 млрд т сухої органічної речовини, з якої близько 1/3 синтезується біогеоценозами Світового океану і 2/3 біогеоценозами суходолу.

#### **64. Що таке енергетичний баланс?**

Обмін енергії є складовою частиною обміну речовин. Відношення кількості енергії, яка надходить в організм з їжею, до величини енергії, витраченої організмом, називається **енергетичним балансом**.

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

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 енергобаланс**.

#### **65. Які є рівні метаболічної активності окремих клітин і організму в цілому?**

Виділяють три рівні метаболічної активності клітин: активності, готовності і підтримання цілісності. **Рівень активності** пов'язаний з інтенсивністю перебігу процесів обміну при виконанні специфічної функції клітини (скорочення м'язових волокон, секреція, виділення тощо). **Рівень готовності** – рівень перебігу процесів метаболізму, який підтримується неактивною в даний момент часу клітиною, готовою до початку інтенсивної активності. **Рівень підтримання цілісності** – це той мінімум, який необхідний для збереження клітинної структури (не менше 15% рівня активності). Подальше його зниження призводить до того, що клітина гине.

Подібні рівні активності характерні і для цілісного організму. Перевикористання енергорезервів організмом призводить до неможливості відновлення і смерті (загнаних коней пристрілюють). Спортсмени, які для мобілізації енергетичних ресурсів організму використовують допінги, ризикують втратити не лише здоров'я, а й життя.

При припиненні надходження енергії до клітин того чи іншого органу збереження життєздатності порушується й орган гине. В клітинах кори головного мозку такі незворотні зміни настають через 3-8 хв, а в серці – і нирках – через 30-40 хв, в скелетних м'язах – 1-2 год.

***66. Які фактори належить враховувати при визначенні потреб людини в енергії?***

Потреба людини в енергії залежить від конституції, ваги, зросту, віку людини, виду діяльності та інших чинників. За усіх інших рівних умов, зниження калорійності харчового раціону необхідно проводити в основному за рахунок продуктів багатих вуглеводами (солодощів, виробів з борошна, картоплі тощо). Не менш ефективним методом зниження надмірної маси тіла є збільшення енерговитрат шляхом виконання фізичних вправ. Для того щоб втрачати жирові запаси, енергетична вартість харчового раціону повинна бути меншою від енерговитрат.

У стані спокою та при виконанні легкої роботи енергозабезпечення на 50% здійснюється за рахунок жирів і на 50% за рахунок 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.

Коли функціонування органів і систем забезпечуються переважно за рахунок енергії жирів, в організмі нагромаджується чимало шкідливих речовини, зокрема ацетону. Це призводить до зниження фізичної працездатності та отруєння продуктами жирового обміну. Найбільш ефективним є енергозабезпеченням м'язової діяльності за умови одночасного окиснення жирів і вуглеводів.

**67. Які методи використовуються для визначення обміну енергії?**

Енергія, яка вивільняється в процесі окиснення 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, то для визначення загальних енерговитрат вимірюють кількість тепла, яке виділяється організмом в довкілля за певний проміжок часу. Для цього використовують калориметри.

**Калориметр** – закрита з теплоізоляційними стінками камера, в якій по трубах циркулює вода. Кількість тепла, виділеного організмом, який знаходиться в камері, визначають за величиною приросту температури води, що пройшла через камеру.

Величину виділеного організмом тепла можна розрахувати шляхом аналізу динаміки дихального газообміну (**непряма калориметрія**), – за величиною використаного кисню і виділеного вуглекислого газу.

Наближено про баланс енергії можна судити за зміною маси тіла. Сталість маси тіла свідчить про баланс між надходженням енергії в організм і її використанням.

**68. Що таке калоричний еквівалент кисню?**

Кількість тепла, яке виділяється при використанні на процеси окиснення енергосубстратів (вуглеводів і жирів) 1 л кисню, називається **калоричним еквівалентом кисню** ( $KEO_2$ ). Для окиснення 1 г вуглеводів, витрачається 0,83 л кисню і при цьому виділяється 4,1 ккал енергії ( $KEO_2$  – 5,05 ккал). Стільки ж енергії утворюється при окисненні в організмі 1 г білків, проте використання кисню у цьому випадку значно більше (0,97 л), а  $KEO_2$  менший (4,46 ккал). Середня величина  $KEO_2$  – 4,8 ккал.

**69. Яка ефективність використання енергії організмом?**

Перебіг усіх процесів життєдіяльності організму проходить з використанням енергії. Вона використовується на підтримання біо-

синтетичних процесів, цілісності клітинних структур, іонних градієнтів, таких специфічних форм клітинної активності як проведення нервових імпульсів, скорочення, секреція. Частина енергії макроергів зразу ж виділяється у вигляді тепла (*первинне тепло*), інша частина, після використання АТФ, трансформується в так зване *вторинне тепло*.

Ефективність використання енергії (ККД) оцінюють, враховуючи величину загальних енерговитрат (ЗЕ) і величину витрат енергії на виконувану роботу (корисна механічна енергія – КМЕ):

$$\text{ККД} = \frac{\text{КМЕ}}{\text{ЗЕ}} \cdot 100\%.$$

Коефіцієнт корисної дії (ККД) більшості видів м'язової діяльності людини становить близько 20% (для ізольованого м'язу – 30% і більше).

#### **70. Що таке дихальний коефіцієнт? Як змінюється його величина в умовах виконання фізичної роботи?**

Для того, щоб визначити, який енергосубстрат використовується для окиснення (вуглевод чи жир), розраховують *дихальний коефіцієнт* (ДК) – відношення обсягу виділеного через легені вуглекислого газу до обсягу спожитого кисню. При окисненні вуглеводів ДК дорівнює 1 (обсяг виділеного CO<sub>2</sub> рівний обсягу використаного кисню), білків – 0,8, жирів – 0,7. В жирах мало внутрішньомолекулярного кисню, а тому для окиснення жирів його споживається більше, ніж виділяється вуглекислого газу.

Конкретному ДК відповідає певний показник КЕО<sub>2</sub> (чисельник – ДК, знаменник – КЕО<sub>2</sub>): 0,70/4,70; 0,75/4,74; 0,80/4,80; 0,90/4,92; 0,95/4,98; 1,00/5,05.

У 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.

ДК при окисненні білків – 0,8; при змішаному харчуванні – 0,85. При виконанні фізичної роботи ДК зростає, після роботи – знижується.



**71. Величина легеневої вентиляції при виконанні досліджуваним фізичної роботи становила 50 л/хв. Вміст кисню у видихуваному повітрі – 16,3%, вуглекислого газу – 4,3%. Яку кількість енергії витрачав досліджувальний за 1 хв роботи?  $KEO_2$  при ДК 0,9 – 4,92 ккал.**

Споживання кисню досліджуваним складає 4,7% (21% – 16,3%), а виділення вуглекислого газу – 4,27% (4,3% – 0,03%), або 2350 мл кисню і 2135 мл вуглекислого газу від величини легеневої вентиляції (від 50 л/хв). Дихальний коефіцієнт при цьому рівний 0,9 (2135:2350).  $KEO_2$  – кількість енергії, яка утворюється в організмі при використанні на процеси окиснення енергосубстрату 1 л кисню. Оскільки  $KEO_2$  при ДК 0,9 рівний 4,92 ккал, то за 1 хв роботи досліджуваним витрачено 11,6 ккал енергії (4,92 ккал • 2,35 л).

**72. Скільки днів необхідно бігати людині масою тіла 70 кг по 1 годині на день, щоб позбутися зайвих 5 кг жирової маси тіла? Відомо, що виділення енергії з окиснених в організмі жирів становить 65% від величини, визначеної фізичною калориметрією. За 1 год повільного бігу на 1 кг маси тіла витрачається 6,7 ккал. Енергетична вартість 1 г жиру – 9,3 ккал.**

Витрати енергії за 1 год роботи 469 ккал (70 кг • 6,7 ккал). 5 кг жирових запасів містять в собі 46500 ккал енергії (5000 г • 9,3 ккал). Витрачаючи упродовж доби 469 ккал енергії, досліджуваному необхідно виконувати щогодинні тренування упродовж 100 днів (46500 ккал : 469 ккал). Оскільки енергозабезпечення бігу за рахунок жирів становить 65% (решта її енергії утворюється за рахунок окиснення вуглеводів), то тривалість окиснення 5 кг жиру при виконанні даної роботи буде більшою на 52 дні (65% від 469-303 ккал; 46500 : 303 = 153 дні). Отже, через 153 доби досліджуваний втратить близько 5 кг жирових запасів за умови, якщо щодобові надходження енергії в організм з їжею повністю відповідатимуть витратам енергії на підтримання життєдіяльності (основний обмін) і на професійну діяльність.

**73. Що таке основний обмін?**

Рівень енергообміну конкретної людини знаходиться в прямій залежності від її активності. У зв'язку з цим, виділяють два рівні

енергетичного обміну – основний і робочий. **Основний обмін** (ОО) або нерегульовані енерговитрати, включає в себе величини енерговитрат, які йдуть на підтримання необхідного для життєдіяльності клітин рівня окисних 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. Таким чином, основний обмін – це сумарна інтенсивність процесів обміну в умовах спокою.

Найбільший внесок у величину ОО вносять скелетні м'язи (25%), печінка і органи травлення (20%). Найменші витрати енергії у людини під час сну – близько 0,9 ккал/хв.

#### **74. Яких умов належить дотримуватись для визначення основного обміну?**

Визначення основного обміну проводять в стані спокою (лежачи з розслабленими м'язами), натще (через 12 год після прийняття їжі), при комфортній температурі оточуючого середовища (температура повітря і стін приміщення – 25-26°C), через досить тривалий проміжок часу після значних фізичних, розумових і емоційних навантажень, тобто в умовах повного відновлення і ліквідації слідових процесів в корі головного мозку від попередньої діяльності.

Інтенсивність ОО має добовий ритм коливань – поступове зростання після пробудження і зниження під час пасивного відпочинку. Тому ОО визначається в стані неспанья. Під час сну рівень окисних процесів, а отже і енерговитрат на 8-10% нижчий, ніж у людини, що не спить. Це пояснюється перш за все більш повним розслабленням м'язів під час сну. Значно нижчі величини ОО у осіб, які володіють аутотренінгом, що зумовлено їх спроможністю максимально повно розслаблювати скелетні м'язи.

При визначенні ОО з допомогою непрямой калориметрії використовується величина  $KEO_2 = 4,825$ , яка відповідає дихальному коефіцієнту – 0,82 (окиснення вуглеводів і жирів).

**75. Яка залежність величини основного обміну від маси тіла і площі поверхні тіла?**

Рівень ОО залежить від індивідуальних особливостей людини, її віку, статі, стану ендокринної системи, маси тіла і площі поверхні тіла. Тому її виражають у перерахунку на 1 кг маси тіла, або на 1 м<sup>2</sup> площі поверхні тіла. Середня величина ОО для дорослих осіб – 1 ккал на 1 кг маси тіла за 1 год.

Інтенсивність обміну речовин обернено пропорційна масі і прямо пропорційна поверхні тіла – закон поверхні тіла (М.Рубнер). Отже, чим більша площа поверхні тіла, тим більші витрати тепла. Проте у чоловіків і жінок, що мають однакову поверхню шкіри, рівень ОО неоднаковий, у жінок він на 15% нижчий. Це пояснюється тим, що у жінок менш інтенсивно проходять процеси обміну і в них менша м'язова маса.

**76. Які особливості рівня ОО характерні для дітей і осіб похилого віку?**

Рівень ОО у дітей більш високий, ніж у дорослих. Це пояснюється тим, що у дітей більш висока інтенсивність окисних процесів і більш високі затрати енергії на процеси росту і розвитку.

Із настанням зрілого віку рівень ОО знижується на 5% упродовж кожних 10 років життя, що зумовлено зниженням інтенсивності процесів відновного біосинтезу, на які витрачається багато енергії.

Нормативною величиною рівня ОО є величина 1300-1700 ккал на добу (1 ккал/кг/год або 42 кДж/кг/год). З віком ОО знижується; у людей похилого віку він на 5-10% нижчий ніж у молодих осіб.

**77. Що таке загальний обмін? На які процеси витрачається енергія загального обміну?**

При виконанні розумової і фізичної роботи, при зміні пози тіла, при емоційному збудженні, після прийняття їжі, захворюваннях тощо рівень енерговитрат стає більшим, ніж в умовах ОО. Це зумовлено додатковими витратами енергії на підтримання життєдіяльності в умовах звичного життєвого ритму. Рівень обміну в умовах при-

родного життя людини називається **загальним обміном** (додаткові енерговитрати).

При низькій температурі навколишнього повітря процеси окиснення м'язів у 3-4 рази перевищують рівень основного обміну. В положенні сидячи витрати енергії більші на 10%, а в положенні стоячи на 20-25%, ніж в положенні лежачи. Найбільш внесок в загальний обмін вносять працюючі скелетні м'язи. Значна активізація процесів обміну спостерігається в умовах емоційно напруженої розумової роботи, що пояснюється збільшеним синтезом гормонів, які посилюють процеси енергообміну.

### **78. Що таке специфічна динамічна дія їжі?**

Упродовж тривалого часу після прийняття їжі (до 10 год і більше) спостерігається підвищення рівня ОО. Ці додаткові витрати енергії пов'язані з перетравленням білків, жирів і вуглеводів (секреція, моторика, всмоктування). Споживання звичайної їжі посилює витрати енергії на 150-200 ккал, при споживанні білкової їжі основний обмін зростає до 30%, при харчуванні жирами – до 15%, вуглеводами – до 10%. Таке посилення енергообміну, зумовлене перетравленням даного виду харчових продуктів, називається **специфічною динамічною дією їжі**. Вона досягає свого максимуму через 3 год після вживання їжі. При змішаному харчуванні ОО зростає на 10-15%. Це необхідно враховувати при підрахунку добових витрат енергії.

**79. Витрати енергії ОО спортсмена високої кваліфікації масою тіла 70 кг становить 1 ккал на 1 кг маси тіла за 1 год; додаткові витрати енергії на професійну діяльність – 1200 ккал на добу. Розрахуйте величину загальних енерговитрат для даної людини.**

Добові витрати енергії ОО становлять 1680 ккал (1 ккал • 24 год • 70 кг). Додаткові енерговитрати – 1200 ккал. Загальні енерговитрати – 2880 ккал (1200 ккал + 1680 ккал) на добу.

Менші витрати енергії висококваліфікованим спортсменом у стані спокою (на 10-20%) спричинені високою економістю перебігу фізіологічних процесів, здатністю до більш повного розслаблення м'язів, адже близько 25% енергії ОО використовується на

підтримання тону м'язів. Ефективне розслаблення скелетної мускулатури висококваліфікованими спортсменами зумовлене високою досконалістю центрально-нервових механізмів внутрішньом'язової (регуляція числа активних рухових одиниць і режиму їх роботи) та міжм'язової (виключення з діяльності «зайвих» груп м'язів) координації.

**80. Добовий харчовий раціон досліджуваного містить в собі: 105 г білків, 100 г жирів і 400 г вуглеводів. Розрахуйте енергетичну вартість даного харчового раціону і дайте йому оцінку з врахуванням того, що енерговитрати на професійну діяльність досліджуваного складають 1500 ккал, витрати основного обміну – 1700 ккал.**

Енергетична вартість харчового раціону – 3000 ккал ( $105 \text{ г} \cdot 4,1 + 100 \text{ г} \cdot 9,3 + 400 \text{ г} \cdot 4,1$ ); величина добових енерговитрат – 3200 ккал (1500 ккал + 1700 ккал). Для забезпечення енергобалансу (попередження втрати маси тіла) досліджуваному належить збільшити енергетичну вартість харчового раціону на 200 ккал (3200 – 3000 ккал).

**81. У чому перевага ліпідів перед вуглеводами при їх використанні як енергосубстратів?**

Наявність між ліпідами і вуглеводами тісного метаболічного взаємозв'язку зумовлює їх легку взаємозамінність в енергозабезпеченні організму. Надлишкове надходження вуглеводів в організм використовується для їхнього перетворення в жири. Нагромадження жирів в організмі не має меж (ожиріння).

Нейтральні жири резервуються в жировій тканині в зневодненій формі. Тому кількість енергії, що містить в собі 1 г жиру, значно перевищує кількість енергії, фіксованої в 1 г гідратованого глікогену.

Запасів глікогену в організмі дорослої людини близько 0,35 кг (1400 ккал). Щоб забезпечити природний запас енергії людини (128000 ккал) у вигляді глікогену, її необхідно було б депонувати більше 80 кг цього енергосубстрату. Така ж кількість енергії може депонуватися в 20 кг жиру. Якщо людина витрачає упродовж доби 3000 ккал (працівники інтелектуальної праці), то 13,5 кг нейтраль-

ного жиру теоретично було б достатньо для забезпечення 42-денної потреби організму (128000 ккал : 3000 ккал).

### **82. Як змінюється обмін речовин і енергії з віком людини?**

Існують певні вікові особливості обміну речовин. До 18-29 років, внаслідок високої інтенсивності процесів росту і фізичного розвитку, процеси анаболізму продовжують переважати над процесами катаболізму; з 40 років, а особливо після 50, розвиваються процеси, коли катаболізм поступово починає переважати над анаболізмом (таблиця 3.2).

**Таблиця 3.2**

#### **Вікова динаміка загального та основного обміну**

<b>Вік</b>	<b>Загальний обмін</b>	<b>Основний обмін</b>		
	<b>ккал/добу</b>	<b>ккал/добу</b>	<b>ккал/м<sup>2</sup>/добу</b>	<b>ккал/кг/добу</b>
1 день	160	122	580	1,5
1 місяць	293	205	860	2,0
1 рік	853	580	1318	2,4
3 роки	1202	750	1240	2,1
5 років	1420	840	1164	2,0
10 років	1854	1120	1096	1,6
14 років	2550	1360	1028	1,4
Дорослі	3000	1700	1000	1,0

### **83. Які величини загального енергообміну характерні для працюючої людини?**

Потреба організму в енергії розраховується з урахуванням ідеальної маси тіла, яка для населення від 18 до 60 років умовно складає 70 кг (чоловіки) і 60 кг (жінки).

Оскільки в звичайних умовах життя рівень процесів обміну перш за все залежить від фізичної активності людини, все доросле населення країни за рівнем загального обміну поділяється на 5 груп.

Перша група – працівники переважно розумової праці; друга – працівники, зайняті легкою фізичною працею; третя – працівники середньої важкості праці; четверта – працівники важкої фізичної праці; п'ята – працівники, зайняті особливо важкою фізичною працею.

Середні величини добової потреби в енергії для дорослого працездатного населення, з урахуванням віку й інтенсивності праці, подані в табл. 3.3.

**Таблиця 3.3**

**Середні величини витрат енергії для дорослого працездатного населення з урахуванням віку й інтенсивності праці**

Група інтенсивності праці	Вік, років	Потреба в енергії			
		Чоловіки		Жінки	
		кДж	ккал	кДж	ккал
1. Розумова праця	18-29	11715	2800	10042	2409
	30-39	11297	2700	9623	2300
	40-59	10669	2500	9205	2200
2. Легка фізична праця	18-29	12552	3000	10669	2550
	30-39	12133	2900	10950	2450
	40-59	11506	2750	9832	2350
3. Праця середньої важкості	18-29	13388	3200	11296	2700
	30-39	12970	3100	10878	2600
	40-59	12342	2950	10460	2500
4. Важка фізична праця	18-29	15480	3700	13179	3150
	30-39	15062	3600	12761	3050
	40-59	14434	3450	12133	2900
5. Особливо важка фізична праця	18-29	17991	4300	-	-
	30-39	16154	4100	-	-
	40-59	16317	3900	-	-

## РОЗДІЛ IV ФІЗІОЛОГІЯ ТЕПЛООБМІНУ

### 4.1. ТЕМПЕРАТУРА ЯДРА І ОБОЛОНКИ ТІЛА

#### *1. Яке значення має температурний чинник довкілля для людини?*

Енергія не може бути створена з нічого, не може бути знищена, вона може лише перетворюватись з одного виду в інший. Споживаючи з навколишнього природного середовища енергію, живі організми перетворюють одну її різновидність в іншу, повертаючи в довкілля 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 сповільнити приріст функціональних ефектів адаптації, призвести до порушень нормального перебігу основних фізіологічних процесів, а при збільшенні або зменшенні температури тіла за межі біологічної норми – спричинити смерть.

#### *2. Яке значення показників теплообміну в житті людини?*

Показники теплообміну належить враховувати в практиці оздоровчого тренування, для попередження негативного впливу надмірних величин фізичних навантажень на організм, для оптимізації тренувального процесу і температурного контролю за станом фізичної підготовленості людини. Температурний подразник широко використовується і як засіб підвищення фізіологічної резистентності організму (оздоровча дія холодого загартування).

Ефективність виконання фізичної роботи в значній мірі визначається напруженістю функціонування рухового апарату і систем енергозабезпечення. При інтенсивній і напруженій роботі температура працюючих м'язів нерідко зростає до 40-42°C. Оскільки величина теплопродукції визначається метаболічною активністю організму



(при великих фізичних навантаженнях утворення тепла в м'язах може сягати більше 95% від усієї енергопродукції в організмі), то інтенсивність утворення тепла може бути непрямим показником напруженості та ефективності фізичної діяльності людини. Показник температури тіла може бути використаний в якості тестового при оцінці готовності людини до основної роботи.

### **3. Що таке ізо- і пойкилотермія?**

Температура тіла людини є гомеостатичним показником. В звичайних умовах у здорової людини вона не залежить від температури повітря. Така сталість температури тіла носить назву *ізотермії*. Ізотермія характерна лише гомойотермним (теплокровним) організмам.

Температура холоднокровних тварин непостійна і мало відрізняється від температури природнього навколишнього середовища (*пойкілотермія*). Пойкілотермність організмів досить умовна, оскільки температура їхніх органів, за рахунок постійного перебігу процесів теплоутворення, дещо вища, ніж оточуючого середовища.

До гомойотермних організмів належать ссавці і птахи; усі інші види тварин від найпростіших до плазунів – пойкилотермні. Формування механізмів терморегуляції забезпечило теплокровним тваринам значне зростання еволюційного потенціалу.

### **4. Які причини філогенетичного виникнення теплокровності?**

Виникнення теплокровності вчені пов'язують з настанням льодникового періоду, формуванням реакцій організму на охолодження і переходом ссавців на тверду опору. Як наслідок збільшилася маса скелетних м'язів. Це призвело до збільшення енерговитрат і підвищення рівня енергообміну. Збільшення енерговитрат на м'язову роботу сприяло розвитку систем дихання і кровообігу, основна функція яких – транспорт дихальних газів і тепла в організмі.

### **5. Яка температурна зона для людини є термонейтральною?**

Температурна зона, в якій людина в стані спокою не відчуває ні спеки ні холоду, називається *термонейтральною зоною середови-*

*ща* (зона температурного комфорту). Для дорослої людини в легкому домашньому одязі нейтральною вважається температура повітря 19-22°C, для роздягнутої людини – 28-31°C.

#### **6. Які ознаки характеризують гіпо-, а які гіпертермію?**

Тривале перебування людини в умовах підвищеної температури доквілля призводить до перегрівання організму (*гіпертермія*), а в умовах пониженої – до переохолодження (*гіпотермія*). Як при гіпо-, так і при гіпертермії спостерігається початкове підвищення обміну речовин в організмі.

Характерною ознакою гіпотермії є зниження температури в пахвовій западині нижче 35°C. Початкове підвищення обміну речовин при гіпотермії направлено на компенсацію підвищених витрат тепла. Згодом інтенсивність обміну речовин знижується, сповільнюється дихання, зменшується ЧСС, оптимізується кров'яний тиск і збудливість нервових центрів. Усі ці ознаки нагадують стан людини при наркозі.

Стан гіпертермії характеризується зростанням температури в пахвовій западині вище 41°C. Виражена гіпертермія в умовах підвищеної вологості повітря і зниженого потовиділення може призвести до значного зростання температури тіла. Підвищення обміну речовин при гіпертермії відбувається вимушено, внаслідок компенсаторного посилення механізмів тепловиділення.

#### **7. Які температурні зони характерні для тіла людини?**

У тілі людини виділяють *дві температурні зони* – *зовнішню* (оболоночну) і *внутрішню* – ядерну (рис. 4.1). До ядра, яке характеризується інтенсивною теплопродукцією і високостабільною температурою, належить мозок, органи грудної клітки, черевної порожнини і малого тазу. Температурне ядро тіла оточене більш холодною (пойкілотермною) оболонкою з поверхнево розташованих тканин.

Температурні коливання оболонки направлені на підтримання постійності температури ядра. В комфортних умовах спокою різниця (градієнт) між температурою шкіри і центральними частинами тіла становить 0,5°C. Найбільш точно середню температуру тіла ха-

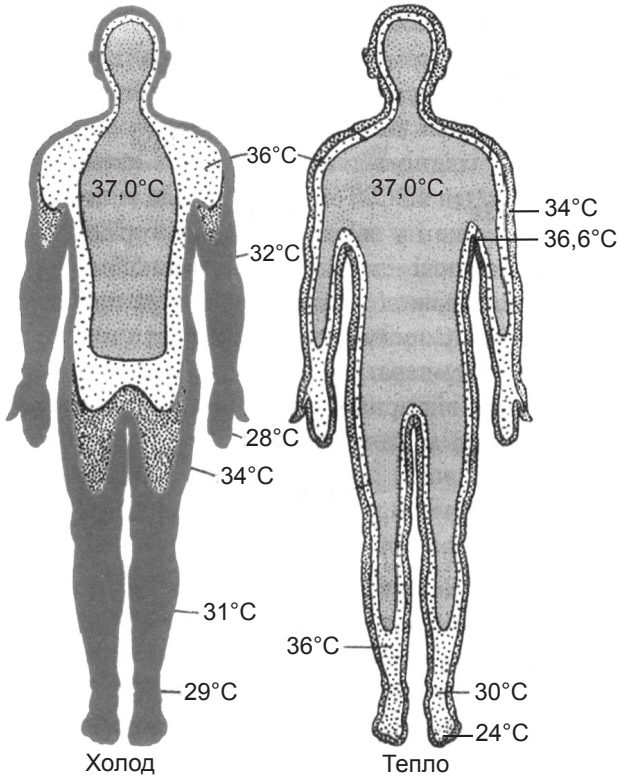


Рис. 4.1. Топографія температури оболонки і ядра тіла людини

рактизує температура крові в порожнинах серця або у великих судинах, що ідуть від серця. В стані спокою в умовах температурного комфорту температура ядра становить 37,0°C.

#### 8. Від чого залежить товщина температурної оболонки?

Товщина температурної оболонки залежить від об'ємної швидкості кровообігу в поверхневих шарах тіла (**циркуляторна конвекція**). Збереження тепла в умовах тривалого перебування на холоді досягається шляхом інтенсивного звуження периферичних судин. Обсяг оболонки при цьому може збільшитись до половини усєї маси тіла. При підвищенні температури повітря, внаслідок розши-

рення кровоносних судин шкіри, зовнішня межа ядра може знаходитись біля самої поверхні тіла (рис. 4.1).

Температура поверхні тіла має проміжну величину між температурою ядра і температурою довкілля. При збільшенні периферичного кровообігу надходження тепла від ядра до поверхні тіла зростає, температура шкіри підвищується до температури ядра.

### **9. Як можна визначити температуру ядра і оболонки тіла?**

Про температуру ядра судять, вимірюючи її медичним термометром в прямій кишці (*ректальна температура*), поблизу барабанної перетинки середнього вуха (*тампінальна температура*), у стравоході (*езофагальна температура*), в ротовій порожнині (*оральна температура*) та в пахових западинах. Нормальною у паховій западині вважається температура 36,6-36,9°C, вона майже на 0,5°C нижча від температури ядра (ректальна та оральна температура – 37°C). Деякі внутрішні органи, наприклад печінка, мають більш високу температуру (37,8°C).

### **10. Що таке середня температура шкіри?**

Згідно методики Н.К. Вітте, середня температура шкіри (СТШ) визначається в п'яти точках шкіри (в ділянці лоба – Тл, грудей – Тгр, шкіри стегна – Тст, шкіри гомілки – Тгм, шкіри кисті – Тк) за формулою:  $СТШ = 0,07 Тл + 0,51 Тгр + 0,18 Тст + 0,21 Тгм + 0,05 Тк$ .

Величина СТШ залежить від інтенсивності рухового режиму, тривалості відпочинку, періоду доби, місця виробничої діяльності тощо. В теплому приміщенні показники СТШ більші ніж за його межами.

Для оперативної оцінки інтенсивності теплоутворення, направленості перерозподілу температури в організмі людини, яка виконує фізичну роботу, доцільним є визначення середньої (закритої) температури шкіри (СЗТШ; П.Д. Плахтій, 1987). СЗТШ – це показник середньої арифметичної температури семи ділянок тіла: 1) за мочкою вуха, 2) в паховій западині, 3) в області ліктьового згину, 4) між вказівним і великим пальцями правої руки, 5) в ділянці паху, 6) в області підколінного згину, 7) між пальцями правої ноги. При

реєстрації температури необхідно уважно стежити за тим, щоб електрод електротермометра упродовж 1 хв знаходився в «закритому» поряд з розташованими покривами шкіри положенні. СЗТШ людини в умовах температурного комфорту – 33-35°C.

***11. Як змінюється температури тіла людини упродовж доби?***

Упродовж доби температура тіла коливається в межах 0,8-1,2°C – максимальна (до 37°C) о 16-18-ій годині вечора, мінімальна (36,0°C) – о 3-4-ій годині ранку. Динаміка цих коливань відображає циркадний (добовий) ритм коливань функціональної активності організму людини, пов'язаний із зміною дня і ночі. Допустимими відхиленнями температури ядра, при яких істотно не змінюється самопочуття і працездатність людини, є температура в межах 33-41°C.

***12. Які є вікові та статеві особливості терморегуляційних реакцій?***

У нормі температура тіла, виміряна в пахвовій западині, становить 36-37°C. У дітей температура тіла на 0,3-0,4°C вища, ніж у дорослих, а у осіб похилого віку вона знижується до 35-36°C.

Існують статеві особливості терморегуляторних реакцій. У чоловіків інтенсивніша діяльність серця і виділення поту, як у нейтральному (+25°C) так і в теплому (+32°C), та гарячому (+40°C) середовищах. Метаболічні зміни в організмі чоловіків під впливом температурного чинника також більш виразні, ніж у жінок. Температура тіла жінок під впливом гормонів змінюється і впродовж менструального циклу. В першій половині циклу вона приблизно на 0,5°C нижча, ніж у другій (післявуляційній).

Приблизно у 10% здорових осіб температура тіла може бути на 0,5°C вищою або нижчою від нормативної. У більшості людей температура у пахвових западинах зліва і справа також різна – зліва на 0,1-0,2°C вища, ніж справа.

***13. Визначте температуру тіла людини не маючи термометра, якщо відомо, що ЧСС спокою у даного досліджуваного – 60 ск/хв, в умовах погіршеного самопочуття – 78 ск/хв.***

Зміна температури тіла викликає суттєві зміни функціонального стану вегетативних систем і особливо серцево-судинної. Встановлено, що зростання температури тіла на 1°C викликає прискорення серцебиття на 9 ск/хв. В нашому випадку ЧСС зросла на 18 ск/хв, отже температура тіла досліджуваного зросла на 2°C (до 38,6°C).

**14. Енерговитрати досліджуваного, який виконав велоергометричну роботу упродовж 6 хв становили 124 ккал, коефіцієнт корисної дії роботи (ККД) – 30%. На скільки градусів підвищиться температура досліджуваного за даних умов? Відомо, що витрати 58,1 ккал енергії упродовж одногодинної роботи призводять до підвищення температури тіла на 1°C.**

При ККД 30% утворюється 70% тепла, тобто 86,8 ккал (70% від 124 ккал). Оскільки кожні 58,1 ккал енергії підвищують температуру тіла досліджуваного під кінець годинної роботи на 1°C, то загальне зростання температури тіла при виконанні велоергометричного навантаження становитиме 1,5°C (86,8 ккал : 58,1 ккал). За 6 хв роботи температура тіла спортсмена підвищиться на 0,15°C (6 хв • 1,5°C : 60 хв).

**15. Які особливості перебігу температурної лихоманки характерні для інфікованого організму?**

Підвищення температури тіла вище 37°C є реакцією організму на інфекції (бактерії, грибки, віруси та їх токсини) або ж на будь-які інші шкідливі агенти (отрути, продукти білкового обміну, наявні запальні процеси тощо) – *лихоманка*.

Підвищення температури тіла інфікованого організму для більшості збудників захворювань є чинником пригнічення їхнього розмноження. Лихоманка є не пасивним перегріванням, а активною реакцією організму на інфекцію.

Запуск механізмів лихоманки пов'язаний з пірогенними (жаротворюючими) речовинами, які входять до складу різних бактерій, а також клітин тіла людини. Вивільнені з клітин пірогенні речовини діють на специфічні нервові закінчення тканин і органів. Як наслідок, змінюється тонус нервових центрів терморегуляції. Спочатку різко

пригнічується тепловіддача і зростає теплоутворення. Температура тіла зростає або повільно або різко (**перша стадія лихоманки**), що пояснюється неоднаковою кількістю нервових закінчень в окремих органах.

Після початкового підняття температури іде фаза її стабілізації (**друга стадія лихоманки**). В цей період процеси теплоутворення і тепловіддачі врівноважуються, активізуються біохімічні, імунологічні і фізіологічні процеси, підвищується рухова активність.

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, надмірно високе зростання температури може негативно впливати на перебіг захворювання. Межею, коли негативний вплив лихоманки починає переважати позитивний, вважається величина близько 38°C. Цей показник досить індивідуальний і вирішувати питання щодо прийняття препаратів, які знижують температуру тіла повинен лише лікар.

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

**16. Якою має бути перша домедична допомога людині, яка знаходиться в стані теплового перегрівання?**

Організм людини наділений складною і тонкою системою терморегуляції, яка до певного часу попереджує його перегрівання і переохолодження. Проте, при сильному перегріванні (в надто спекотних виробничих приміщеннях, в спекотну пору року, при відсутності руху повітря і високій вологості тощо) тепловіддача організму порушується – **тепловий удар**. Початок захворювання, як правило, гострий. Розвивається загальна кволість, головний біль, нудота, блювання, частішають пульс і дихання, червоніє шкіра обличчя, можлива втрата свідомості.

Перша допомога потерпілому, що знаходиться в стані теплового удару, полягає в терміновому виведенні хворого із зони перегрівання. Після цього змочити холодною водою обличчя, протерти тіло мокрим рушником, до голови і ділянки серця прикласти холод, дати випити холодної води. При втраті свідомості до носових ходів потерпілого підносять вату, змочену нашатирним спиртом.

### ***17. За яких умов виникають сонячні опіки і сонячний удар?***

Великої шкоди здоров'ю завдають **сонячні опіки**. Повторні сонячні опіки створюють основу для виникнення пухлинних захворювань шкіри, сприяють руйнуванню сальних залоз, знижують еластичність шкіри (передчасне старіння шкіри). Тривале та інтенсивне сонячне опромінення призводить до порушень формування колагенових волокон в шкірі, до втрати її еластичності (атрофія шкіри, утворення зморшок, сухість шкіри). Належить пам'ятати, що основною функцією загару шкіри є захист організму від ультрафіолетових променів, а тому зловживати цим загартувальним чинником не варто. Надмірне сонячне опромінення голови може призвести до подразнення оболонки мозку з порушенням мозкового кровообігу (сонячний удар).

**Сонячний удар** – важке перегрівання голови сонячним промінням. Коли людина тривалий час знаходиться на сонці без головного убору, це призводить до посиленого припливу крові до мозку, що викликає підвищення внутрішньочерепного тиску. Як наслідок виникає головний біль, головокружіння, шум у вухах, нудота і блювання. Температура тіла підвищується до 40°C і більше, різко прискорюється серцебиття і дихання, посилюється потовиділення.

Людину, що отримала сонячний удар, необхідно негайно перенести у прохолодне місце, в тінь дерев або будівель, положити обличчям доверху, звільнити від одягу, на голову і ділянку серця покласти холод, при потребі викликати «швидку допомогу».



## 4.2. ФІЗІОЛОГІЧНІ МЕХАНІЗМИ ПІДТРИМАННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ГОМЕОСТАЗУ

### 18. Які реакції метаболізму забезпечують підтримання постійності температури тіла?

Підтримання постійності температури тіла досягається завдяки перебігу двох взаємозв'язаних процесів – теплоутворення і тепловіддачі (рис. 4.2). **Теплоутворення в організмі** відбувається головним чином внаслідок хімічних реакцій метаболізму. Вважається, що в умовах спокою окиснюється 2/3 жирів і 1/3 вуглеводів (дихальний коефіцієнт 0,8, калоричний еквівалент кисню – 4,8 ккал). За таких

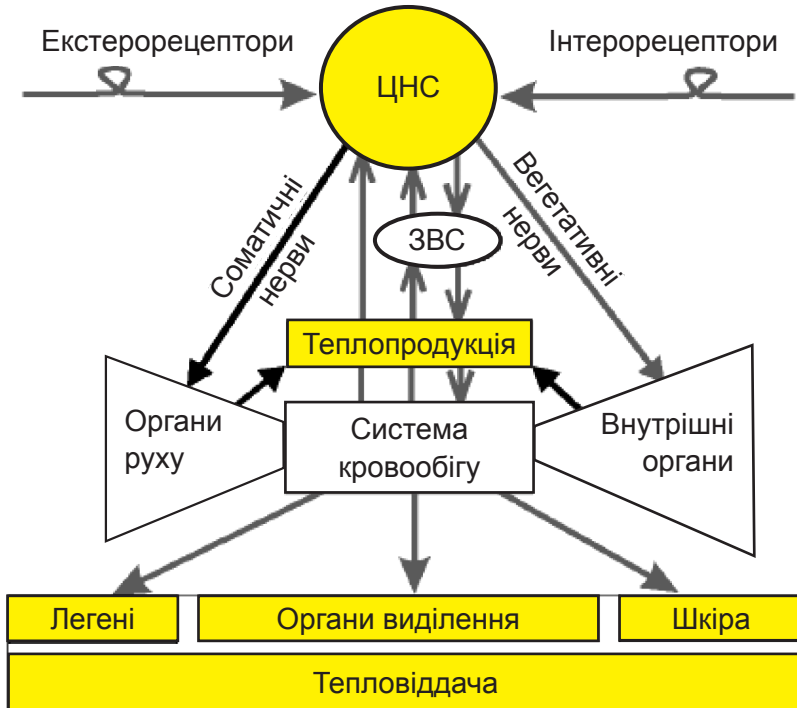


Рис. 4.2. Схема регуляції температури тіла: ЦНС – центральна нервова система, ЗВС – залози внутрішньої секреції (за К. Кулланде)

умов величина теплопродукції чоловіка масою тіла 70 кг, при споживанні кисню 0,3 л за 1 хв, становитиме 1,44 ккал/хв.

### **19. Які механізми забезпечують віддачу тепла?**

**Тепловідача** через шкіру здійснюється шляхом **теплопроведення, випромінювання і потовиділення**. Коли температура навколишнього середовища і предметів нижча, ніж шкіри, то тепло віддається випромінюванням і проведенням (кондукція і конвекція). Якщо ж температура навколишнього середовища вища, ніж температура шкіри, то охолодження організму здійснюється шляхом випаровування поту.

При кімнатній температурі організм роздягнутої людини віддає за рахунок радіації близько 60% тепла, за рахунок випаровування поту – 20-22%, за рахунок кондукції і конвекції – 12-15%.

Ефективність віддачі тепла значно знижується, якщо не відбувається випаровування поту, оскільки при виділенні поту на поверхню шкіри (біологічний процес) тепла виділяється небагато. Тепловідача різко знижуватиметься при знаходженні людини в гарячій воді або при носінні щільного одягу. За таких умов організм вимушено активізує механізми потовиділення.

### **20. Які особливості нерозподілу тепла в організмі в умовах спокою і при виконанні фізичної роботи?**

В стані спокою тепло розподіляється по органах і тканинах тіла нерівномірно: м'язи – 20%, печінка – 20%, головний мозок – 18%, серце – 11%, нирки – 7%, шкіра – 5%, інші тканини разом – 19%.

При виконанні фізичної роботи утворення тепла зростає. Механічна ефективність роботи при цьому коливається від нуля (при статичній роботі) до 30% (при динамічних навантаженнях). Таким чином, близько 70% тепла, що утворюється у працюючих м'язах перетворюється в тепло. При важкій роботі кількість тепла, що утворюється в м'язах може становити 95% від усієї теплопродукції організму. Температура тіла при цьому зростає до 42°C.

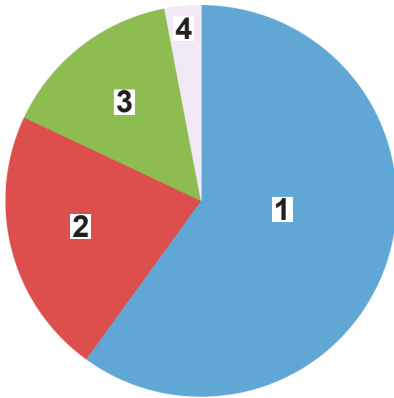
### **21. Визначте величину теплопродукції обстежуваного в ккал за 1 хв, за 1 год і за добу, якщо упродовж кожної хвилини він споживав**

0,3 л кисню. Відомо, що в умовах спокою окиснюється 2/3 жирів і 1/3 вуглеводів (ДК – 0,8; КЕО<sub>2</sub> – 4,8 ккал).

КЕО<sub>2</sub> показує, яка кількість енергії виділяється при окисненні даних енергосубстратів за умови використання 1 л кисню. Досліджуваний спожив 0,3 л кисню за 1 хв, отже витрати енергії становитимуть 1,44 ккал/хв (0,3 • 4,8) або 86,4 ккал/год, або ж 2070 ккал за добу.

**22. Що таке кондукція? За яких умов вона забезпечує тепловіддачу?**

**Кондукція** – передача тепла від більш нагрітого тіла до менш нагрітого повітря, або навколишніх предметів, з якими тіло знаходиться в безпосередньому контакті. В загальному обсязі тепловіддачі на його долю приходить всього 3% (рис. 4.3).



**Рис. 4.3. Шляхи і обсяг тепловіддачі:** 1 – випромінювання (60%); 2 – випаровування (22%); 3 – конвекція (15%); 4 – проведення (3%)

його торкаються, то теплообмін шляхом кондукції не проходитьиме.

Кондукція є малоефективним способом тепловіддачі. Це пояснюється тим, що шар повітря, який знаходиться в безпосередньому контакті з тілом, швидко нагрівається і для подальшого тепловиділення повинен бути замінений іншим шаром повітря (*перехід кондукції в конвекцію*). Віддача тепла тільки шляхом кондукції відбуватиметься лише в тому випадку, коли температура поверхні тіла вища від температури навколишнього повітря. Якщо ж тіло має однакову температуру з навколишніми предметами, які

**23. Чому у виробничому приміщенні з холодними стінами добре одягнена людина замерзає значно швидше, ніж на морозному повітрі вулиці?**

Таке явище пояснюється значною активізацією механізмів тепловипромінювання (*радіації*). Поверхня тіла випромінює електромагнітну енергію у вигляді теплових фотонів. Розповсюджуючись у довкіллі із швидкістю світла, фотони адсорбуються більш холодними предметами на відстані, в даному випадку – холодними стінами виробничого приміщення.

Величина тепловтрат випроміненням залежить не лише від різниці температур поверхні тіла і предметів, які його оточують, а й від величини поверхні тіла, температури, вологості і руху повітря. В умовах температурного комфорту організм роздягнутої людини віддає в довкілля шляхом радіації 60% і більше тепла.

**24. Тренуючись на відкритому повітрі в спекотний літній день, спортсмен втратив упродовж трьох годин 2 л поту. Розрахуйте енерговитрати досліджуваного, якщо вважати, що основним механізмом тепловіддачі було випаровування поту.**

Віддача тепла з організму спортсмена в довкілля тепловипроміненням і теплопроведенням не суттєва, оскільки різниця температур тіла і навколишнього повітря не велика. Відомо, що для випаровування 1 мл поту витрачається 0,58 ккал енергії. Оскільки виконуючи роботу спортсмен втратив 2000 мл поту, то на процеси випаровування поту витрачено 1160 ккал енергії ( $2000\text{мл} \cdot 0,58 \text{ ккал}$ ).

Для підтримання водно-сольового балансу доцільно пити мінеральну воду, овочеві або фруктові соки. Одяг повинен добре поглинати вологу і пропускати повітря, голова має бути захищена від дії прямих сонячних променів легким головним убором світлого кольору.

**25. Величина теплопродукції організмом людини, що знаходиться в сауні – 10 ккал/хв. Умови в термокамері були такими, що сприяли віддачі тепла лише випаровуванням поту. Яку кількість поту виділив організм упродовж 10-хвилинного перебування в термокамері сауни?**

Витрати тепла досліджуваного за 1 хв перебування в термокамері сауни становили 10 ккал, а за 10 хв – 100 ккал. Оскільки ви-

паровування 1 мл поту пов'язане з виділенням 0,58 ккал енергії, то виділення 100 ккал енергії спричинить випаровування 172 мл поту (100 ккал: 0,58 ккал). Отже, десятихвилинне перебування людини в термокамері сауни зумовило виділення 172 мл поту.

**26. Як змінюватиметься віддача тепла організмом в умовах різної рухової активності, в термокамерах російської і фінської лазнь?**

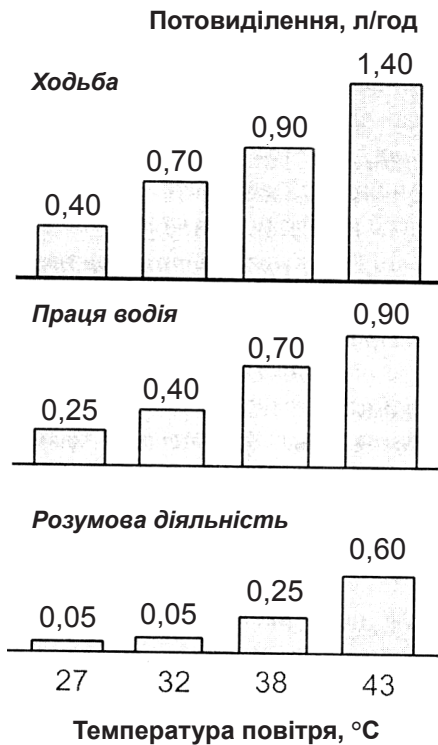


Рис. 4.4. Схема віддачі тепла шляхом випаровування поту

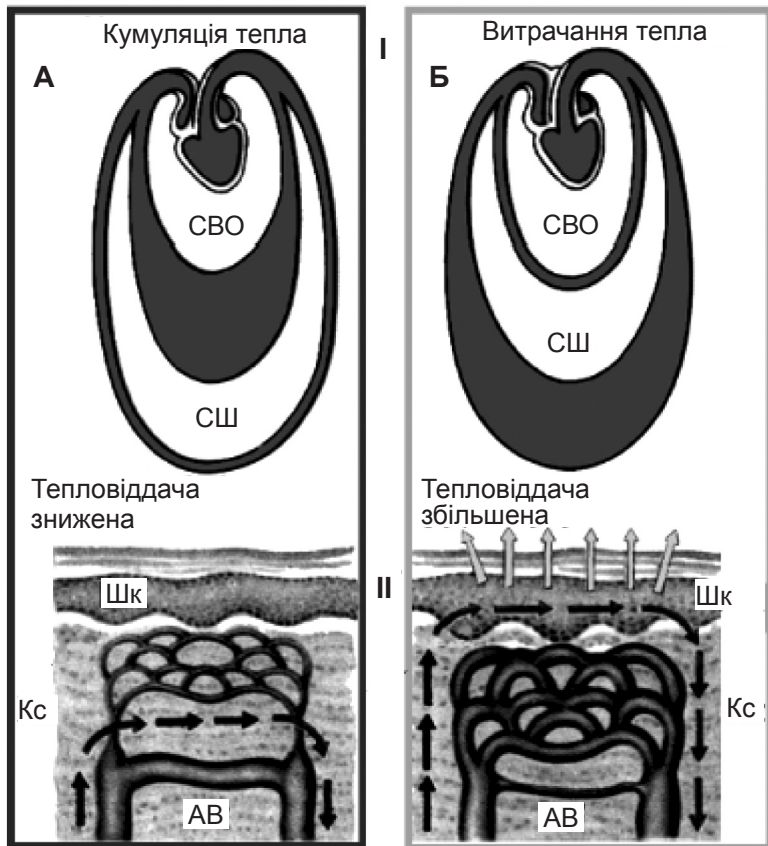
Інтенсивність віддачі тепла шляхом випаровування поту залежить від рівня рухової активності людини та особливостей професійної діяльності (рис. 4.4).

У сауні при низькій вологості температура повітря значно вища температури тіла людини. Віддача тепла тут здійснюється лише випаровуванням поту (за умови, що піт не стікає краплями, а випаровується). В термокамері російської лазні температура повітря не набагато вища від температури тіла і тепловіддача здійснюється теплопровідністю і теплопроменінням. Висока вологість повітря істотно зменшує можливість тепловіддачі шляхом випаровування поту.

**27. Чому на холоді шкіра стає блідою, а в спекотну погоду набуває червоного кольору?**

Посилення тепловіддачі, при знаходженні людини в приміщенні з високою температурою повітря, здійснюється шляхом активі-

зації потовиділення і периферичного кровообігу. За таких умов багата киснем кров іде від серця, через глибоко розташовані артерії, до тканин. Повертається до серця бідна киснем кров через відкриті в теплі поверхневі вени. В умовах високої зовнішньої температури ближні до поверхні тіла вени добре видно, а шкіра набуває червонокуватого кольору.



**Рис. 4.5. Механізми тепловіддачі організму в умовах холоду (А) і спеки (Б):** I – перерозподіл крові між судинами внутрішніх органів (СВО) і судинами поверхні шкіри (СШ); II – перерозподіл крові у судинах шкіри; АВ – артеріовенозні анастомози; Кс – кровonosні судини; чорними стрілками позначено рух крові, сірими – шляхи тепловіддачі

На холоді відбувається звуження вен шкіри, вона стає блідою. Венозна кров тепер іде по глибоко розташованим венам і забирає тепло від зустрічних артерій, які ідуть поряд. Таким чином, відбувається обмін тепла між артеріями і венами. Надходячи до шкіри, артеріальна кров втрачає тепло і охолоджується. Це призводить до зниження температури шкіри, а отже і до зменшення тепловіддачі (рис. 4.5).

**28. У хворого із запаленням легень підвищена температура тіла до 39°C, шкіра бліда і суха, з'явилася «гусяча шкіра». Вкажіть на особливості перебігу хімічної і фізичної терморегуляції за даних умов.**

Вказані симптоми свідчать про перевагу процесів теплоутворення над процесами тепловіддачі. Причиною посиленого теплоутворення за даних умов є порушення процесів обміну, спричинені інтоксикацією організму, мимовільні скорочення м'язових волокон (тремтіння). Тепловіддача зменшена за рахунок звуження периферійних судин і мінімального потовиділення. І хоч в організмі надмірна кількість тепла, суб'єктивно людина відчуває холод. Це пояснюється зменшенням периферійного кровообігу, що призводить до зниження температури шкіри. За таких умов інформація від холодних рецепторів надходить до відповідних нервових центрів кори мозку, де і формується відчуття «несправжнього» холоду.

**29. Людина з теплого півдня прибула на північ європейського континенту. Які механізми терморегуляції забезпечуватимуть адаптацію до нових температурних умов?**

Для підтримання температурного гомеостазу за даних умов включатимуться такі терморегуляційні механізми адаптації:

- підвищення обміну речовин;
- посилення теплоутворення;
- зниження температури шкіри шляхом звуження периферійних судин;
- зменшення тепловіддачі випроміненням, теплопроведенням і через легені;

- додаткове зростання теплоутворення за рахунок включення механізмів «м'язового тремтіння».

Основою адаптації людини до тривалої дії температурного чинника є перш за все зміна функціонального стану центрів теплообміну, яка завершується через півтора-два тижні. В процесі адаптації збільшується загальний обсяг циркулюючої крові, знижується температура тіла і ЧСС, послаблюється потовиділення. Збільшення різниці температури ядра і оболонки призводить до зменшення кровотоку в шкірі. Дотримання строків адаптації, водного режиму і дозування температурних навантажень з врахуванням періоду адаптації – необхідна передумова збереження і зростання високої працездатності людини в умовах низької температури навколишнього повітря.

### **4.3. ФІЗІОЛОГІЧНІ МЕХАНІЗМИ НЕЙРОГУМОРАЛЬНОЇ РЕГУЛЯЦІЇ ТЕПЛООБМІНУ**

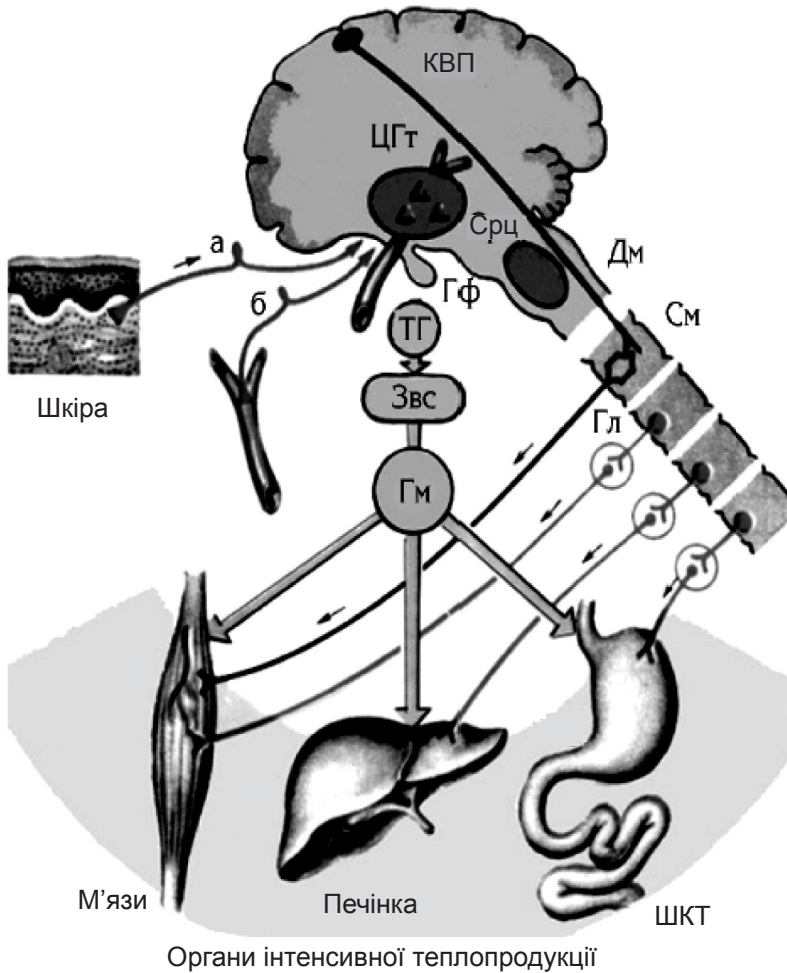
*30. Яку роль відіграє гіпоталамус у підтриманні температурного гомеостазу при зміні температури тіла (крові) за межі норми?*

У забезпеченні температурного гомеостазу організму людини першочергова роль належить гіпоталамусу. В передній частці гіпоталамуса знаходиться центр регуляції тепловіддачі, а в задній – центр регуляції теплоутворення (рис. 4.6, рис. 4.7). Передня частка гіпоталамуса зв'язана з парасимпатичним відділом вегетативної нервової системи, а задня – з симпатичною вегетативною системою.

При підвищенні температури тіла кров, яка протікає через чутливу до змін температури зону гіпоталамуса, стимулює передній гіпоталамічний центр регуляції тепловіддачі. Одночасно (за механізмом реципрокної іннервації) відбувається гальмування теплоутворення і посилення тепловіддачі, зниження інтенсивності обміну речовин і розширення кровоносних судин шкіри.

При зниженні температури тіла (крові) активується задній гіпоталамічний центр теплопродукції і гальмується передній центр тепловіддачі. Обмін речовин підвищується, судини шкіри звужуються, тепловіддача зменшується.





**Рис. 4.6. Регуляція теплопродукції:** а – нерви, які передають імпульси від рецепторів шкіри; б – нерви, які передають імпульси від рецепторів судин; КВП – 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; Гл – симпатичні ганглії; См – спинний мозок



При дії на організм холоду, посилення теплопродукції здійснюється шляхом активізації холодового тремтіння та надходження в кров норадреналіну. За таких умов енергообмін може зрости в 2-3 рази. Норадреналін наднирників забезпечує перерозподіл енергії, яка утворюється в м'язах, печінці і жирових депо.

Навіть якщо людина лежить нерухомо, але з напруженими м'язами, то процеси окиснення (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 – на 300-400% і більше.

### ***31. Яке значення периферійних і центральних терморецепторів у підтриманні температурного гомеостазу?***

Людина свідомо підбирає (створює) для себе той мікроклімат, який їй найбільше підходить. Цим індивідуально регулюється діяльність терморегуляційних механізмів і виключається можливість переохолоджень і перегрівань. Таким чином, поведінкову терморегуляцію належить розглядати як систему, яка контролює температурний гомеостаз.

***Система терморегуляції*** включає в себе три основних ланки:

- терморецептори, які сприймають температуру тіла;
- аферентні шляхи, по яких термоінформація надходить у відповідні нервові центри;
- нервові центри, які аналізують і синтезують інформацію, що надходить від терморецепторів;
- ефекторні шляхи, які координують діяльність механізмів теплоутворення і тепловіддачі.

У тілі людини є дві терморецепторні зони – центральна (гіпоталамічна) і периферична. Обидві зони містять два типи рецепторів – теплові, чутливі до тепла, і холодкові, чутливі до холоду. ***Центральні терморецептори*** – це група нейронів, розташованих у передній частині гіпоталамуса. Ці нейрони надзвичайно чутливі до найменших змін температури артеріальної крові, яка проходить через гіпоталамус.

**Периферійні терморцептори** – вільні нервові закінчення, локалізовані в шкірі по всій поверхні тіла. Холодових рецепторів в шкірі більше, ніж теплових. Найбільш висока і стійка частота імпульсації від теплових рецепторів досягається при температурах між 38 і 43°C, від холодкових – між 15 і 34°C. При температурі вище 45°C холодкові рецептори активуються вдруге. Саме цим пояснюється парадоксальне відчуття холоду в перший момент контакту з гарячою водою.

Зв'язок периферійних і центральних терморцепторів з КВП головного мозку забезпечує усвідомлені відчуття тепла або холоду, що впливає на довільну поведінку людини (підбір одягу, регуляція температури приміщення, посилення рухової активності тощо). Регуляція температури тіла, в основі якої лежать рефлекторні впливи від терморцепторів на гіпоталамус, є мимовільною.

### **32. Яку роль відіграють рефлекси і залози внутрішньої секреції в регуляції температури тіла?**

Кортикальна (умовно-рефлекторна) регуляція температурного гомеостазу здійснюється за участю нейронів кори мозку і направлена на завчасну підготовку організму до наступних ерготермічних впливів. Серед умовних рефлексів особлива роль належить **натуральним умовним термореклексам**. Основними стимулами (подразниками) утворення цих рефлексів є фізична робота і обстановка що їй передуює.

У регуляції температури тіла беруть участь залози внутрішньої секреції: щитоподібна, наднирники, підшлункова та інші. Їх гормони змінюють направленість окисних процесів в організмі людини при дії на нього холоду або спеки.

### **33. Які механізми забезпечують підтримання термогемостатичності організму?**

**Термогемостатичність** організму – це його здатність протидіяти змінам термічної сталості внутрішнього середовища. Її оцінюють за величиною швидкості приросту температури тіла при заданих ерготермічних впливах.

Забезпечення термостатичності здійснюється шляхом активізації механізмів терморегуляції (процесів теплоутворення і теплообміну із зовнішнім середовищем), зв'язаних з економічністю реакцій термогенезу, характером обміну речовин, теплопровідністю тканин, тепловою конвекцією з кровотоком, потовиділенням і випаровуванням поту (рис. 4.8).

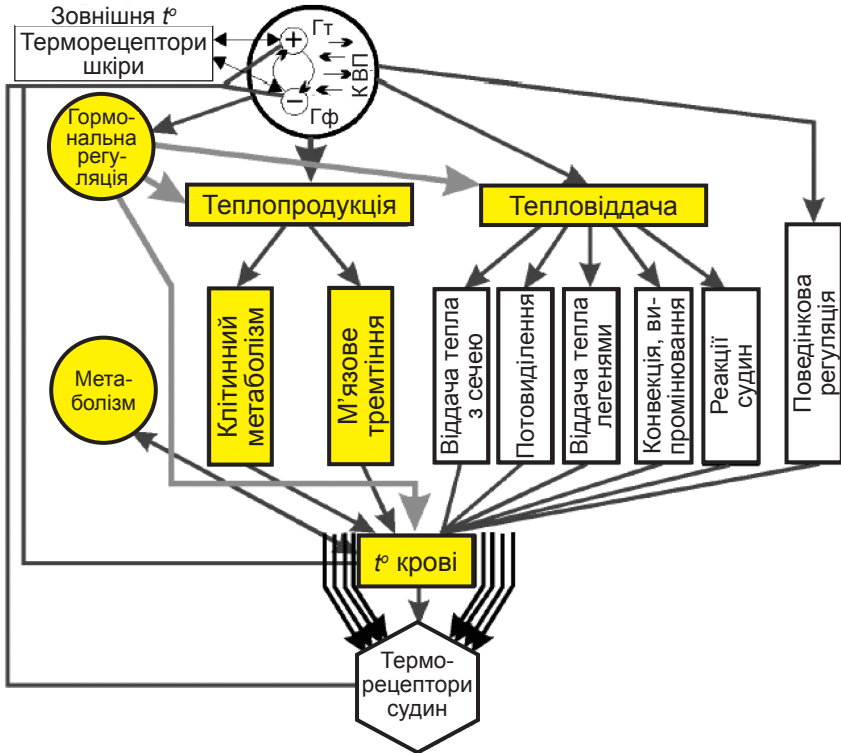


Рис. 4.8. Схема функціональної системи, яка підтримує температуру тіла (за К. Судаковим): Гт – гіпоталамус; Гф – гіпофіз; КВП – кора великих півкуль

В екстримальних ерготермічних ситуаціях (виробнича діяльність в умовах високої температури і вологості повітря) встановлення термічного гомеостазу стає неможливим і термостатичність

порушується. Вираженість цих порушень залежить від величини максимальної термогомеостатичності організму людини.

Підтримання високої працездатності і збереження здоров'я в несприятливих температурних умовах можливе лише при високій фізіологічній стійкості організму до ерготермічних впливів та наявності великого обсягу резервів підтримання термогомеостатичності.

### **34. Від чого залежить термоадаптивність організму працівників спекотних виробництв?**

Збільшення стійкості організму проти перегрівання (*термоадаптивність*) забезпечується вдосконаленням механізмів терморегуляції. Підтвердженням цього є більш високий рівень терморезистентності еритроцитів і менш виразна реакція фізіологічних систем на гіпертермію. Вдосконалення ерготермічної стійкості організму працівників спекотних виробництв досягається зниженням власного тепловироблення внаслідок меншої участі ліпідів в обмінних процесах і більшої економічності робочих рухів, а також зменшенням хвилинного обсягу кровообігу (ХОК), як показника, який зумовлює ефективність надходження тепла від поверхні тіла до його внутрішніх органів.

### **35. Які особливості теплообміну характерні для людини, що виконує напружену фізичну роботу?**

Посилене теплоутворення в умовах виконання фізичної роботи відбувається переважно за рахунок активізації процесів окисного метаболізму в м'язах, а також внаслідок виконання самої механічної роботи. Величина теплопродукції 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.

Тепло мобілізує механізми гіпоксичного захисту. Зростання температури за межі 38-39°C, особливо на фоні дегідратації, призводить до погіршення прояву окремих рухових здібностей і зниження рівня фізичної працездатності.

Величина збільшення температури тіла при м'язовій діяльності залежить від потужності навантажень: при помірних навантаженнях вона зростає на 0,3-0,5°C, при інтенсивних – на 2-3°C. У кваліфікованих спортсменів при виконанні максимальних навантажень збільшення температури тіла може бути більшим, ніж у початківців.

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, направленої, з одного боку, на підтримання температурного гомеостазу, а з другого – на забезпечення оптимальних умов діяльності.

### ***36. Як змінюється периферійний кровообіг в умовах спекотного клімату?***

В умовах температурного комфорту периферійний кровообіг у дорослої людини в стані спокою становить 0,16 л/м<sup>2</sup> за 1 хв, під час роботи – зростає до 1 л/м<sup>2</sup>, а при надмірно високій температурі навколишнього повітря – до 2,6 л/м<sup>2</sup> за 1 хв і більше.

Таким чином, в дуже спекотних умовах, для попередження перегрівання тіла, значна частина крові (до 20%), що виштовхується серцем в кровообіг, може направлятися в судини шкіри. При виконанні такої ж роботи в комфортних умовах в судини шкіри направляється всього 5% крові.

Тривале перебування в умовах спекотного клімату зумовлює адаптацію до дії даного чинника. За таких умов фізична працездатність значно зростає. Це досягається перш за все шляхом адаптивного збільшення загального обсягу циркулюючої крові. Як наслідок, до серця надходить більше венозної крові, зростає величина систолічного обсягу крові.

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

**37. Що таке енергопотужність і енергоємність фізичної роботи?**

Для енергетичної характеристики фізичної роботи використовують поняття енергопотужності і енергоємності. Та кількість енергії, яка витрачається працівником упродовж 1 хв на виконання даної роботи, називається **енергопотужністю роботи**. Її фізична одиниця вимірювання – ват, ккал/хв, кДж/хв; фізіологічна – швидкість споживання кисню (мл  $O_2$  за 1 хв) або в МЕТах (метаболічний еквівалент кисню). МЕТ – це кількість кисню, що споживається людиною за 1 хв в розрахунку на 1 кг маси тіла в умовах основного обміну. Один МЕТ дорівнює 3,5 мл  $O_2$ /кг за 1 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 роботи. Загальна енерговартість роботи може бути визначена як добуток середньої енергопотужності на час виконання роботи.

**38. Яка енерговартість подолання однієї і тієї ж дистанції бігом і ходьбою?**

При швидкості руху 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.

**39. Від чого залежить енергооцінка навантаженості фізичної роботи? Що таке «відносна» фізіологічна потужність?**

Енергооцінка навантаженості (енергопотужності) фізичної роботи залежить від характеру виконання роботи і зовнішніх умов, в яких вона виконується, маси тіла, статі, рівня фізичної підготовленості тощо. Усі ці чинники належить врахувати при нормуванні фізичних навантажень. Так, дуже важка глобальна робота для жінок старшого віку (витрати енергії більше 5 ккал/хв) є помірною для переважної більшості молодих чоловіків. Жінки цю роботу, без зниження інтенсивності, можуть підтримувати всього декілька хвилин,



а чоловіки – десятки хвилин. Тому для функціональної оцінки фізичної роботи варто використовувати показник **відносної фізіологічної потужності** – відношення рівня фізіологічних зрушень ведучих фізіологічних систем організму в даних умовах діяльності до максимально можливих. Наприклад, якщо в одного досліджуваного рівень  $\text{MCO}_2$  – 6 л/хв, а в другого – 5 л/хв, то при фізичному навантаженні з споживанням кисню 3 л/хв фізіологічне навантаження на кардіореспіраторну систему у першого досліджуваного буде меншим, ніж у другого.

Таким чином, щоб енергооцінка фізичної роботи була більш повною і більш об'єктивною, при її тестуванні необхідно врахувати якнайбільшу кількість фізіологічних показників.

**40. Яку кількість енергії повинні витратити на м'язову діяльність працівники розумової і фізичної праці, щоб забезпечити здоров'я і високу працездатність?**

Щоб забезпечити добре самопочуття і високу працездатність, людина зрілого віку повинна витрачати на м'язову діяльність упродовж доби 1200-2000 ккал. Сюди входять виробничі, побутові та спеціально підібрані фізичні вправи. Виділити із загального обсягу ту частину, яка повинна приходиться на фізичні тренування досить важко. Проте такі узагальнені дані є і їх належить використовувати в практиці оздоровчого тренування людини.

Доросла людина на оздоровчі фізичні вправи повинна витрачати 1-2 тис ккал енергії упродовж тижня (1000 ккал для працівників фізичної праці і 2000 ккал для працівників творчих форм діяльності). Менші витрати енергії спричиняють розвиток детренованості із зниженням резервних можливостей організму. Більше 6 тис ккал на добу без шкоди для здоров'я можуть витрачати лише фізично підготовлені люди молодого і середнього віку.

При добових енерговитратах 8-10 тис ккал людина не спроможна засвоїти необхідну для компенсації витраченої енергії їжу і упродовж доби втрачає близько 500 г маси тіла. Звичайно, що висококваліфіковані спортсмени виконують і більші навантаження, але вони, як правило, пов'язані з використанням різноманітних засобів,

які прискорюють перебіг відновних процесів. Люди які регулярно займаються в групах здоров'я і витрачають на оздоровчі тренування нормативну кількість енергії, за загальним станом здоров'я та за показниками фізіологічних резервів значно молодші від тих, хто нехтує фізичною активністю.

#### 4.4. ЗАГАРТУВАННЯ ЛЮДИНИ

##### *41. Що таке загартування?*

*Загартування* – пристосування організму до дії метеорологічних чинників: холоду, тепла, змін вологості і руху повітря, атмосферного тиску, розрідженого повітря тощо. Найчастіше із загартувальних чинників використовують холод. Переохолодження загартованою людиною рідко завершується простудою.

У процесі загартування організму удосконалюються механізми нервової і гуморальної регуляції функцій, змінюється активність клітинних ферментів, хімічний склад і фізико-хімічні властивості клітин. Проте, охолодження неадаптованих до холоду окремих ділянок тіла, особливо стоп ніг, на фоні загального температурного комфорту, може бути причиною виникнення застудних захворювань.

##### *42. Які фізіологічні механізми забезпечують виникнення застудних захворювань?*

Під впливом холододових подразників виникає звуження кровоносних судин подразнених холодом ділянок тіла, рефлекторно розширюються судини в інших органах організму. За таких умов відбувається збільшення витрат тепла (переохолодження), зниження опірності організму щодо патогенних мікробів, що сприяє виникненню застудних захворювань. При цьому слабкі охолодження частіше спричиняють застудні захворювання ніж значні. Це пояснюється тим, що при слабких холододових впливах рецептори встигають адаптуватися до них і не реагують на перепади температури. Як наслідок, порушується функція центрів терморегуляції, своєчасно не мобілізуються механізми неспецифічного та імунного захисту.

**43. Які механізми лежать в основі акліматизації до холодного клімату?**

Тривала акліматизація до холодного клімату полягає у формуванні специфічних адаптаційних механізмів на клітинному і субклітинному рівнях. При холодовій акліматизації в печінці, м'язах, інших органах та тканинах теплоутворення стає більш економним, зменшується споживання кисню і використання енергосубстратів, припиняється м'язове тремтіння, зникає «гусяча шкіра», зменшується тепловіддача радіацією і теплопроведенням за рахунок зниження температури шкіри (звуження периферійних судин призводить до зменшення кровообігу).

**44. Які є фази реакції організму на дію холодового подразника?**

У реакції організму на дію холодового подразника виділяють три фази.

У **першій фазі** цієї реакції активуються механізми направленні на підтримання температури тіла. Зменшення віддачі тепла досягається звуженням дрібних артерій (артеріол) шкіри.

**Друга фаза** реакції організму на холод проявляється рефлекторним посиленням обміну речовин, підвищенням теплоутворенням в м'язах, печінці та інших внутрішніх органах; розширюються судини шкіри, збільшується кількість функціонуючих капілярів в шкірі. Загартування в цій фазі пов'язане із удосконаленням механізмів підтримання температурного гомеостазу тіла шляхом більш інтенсивного утворення тепла. Кожна загартувальна процедура повинна завершуватись саме цією фазою.

**Третя фаза** дії холоду на організм пов'язана з перенапруженням і руйнуванням регуляторно-захисних механізмів. Внаслідок сповільнення течії крові шкіра набуває синюшного вигляду, з'являється «гусяча» шкіра, людина відчуває неприємний холод.

**45. Які наслідки холодового загартування?**

Тривалий вплив постійної комфортної температури повністю детренує фізіологічні механізми терморегуляції, зводячи на ніщо ефект від дії будь-яких короткотривалих за часом загартувальних

процедур. В процесі систематичного холодого загартування розширення судин на неохолоджених ділянках тіла стає менш виразним, потовщується роговий шар шкіри, збільшується міцність стінок капілярів, значно зменшується ймовірність застудних захворювань.

Наслідком холодого загартування є збільшення обсягу функціональних резервів органів і систем (особливо системи терморегуляції), підвищення розумової і фізичної працездатності, зростання стійкості до інфекцій, алергічних захворювань, злякисних новоутворень, діабету, атеросклерозу, ожиріння. Загартування дає можливість людині більш швидко адаптуватись до будь-яких випробувань.

***46. Яких принципів належить дотримуватися при загартуванні?***

Загальноприйнятими дидактичними принципами загартування є:

- адекватність – точне дозування величини загартовуючих чинників;
- систематичність дії загартовуючих чинників;
- поступовість збільшення величини загартовуючого подразника;
- індивідуальність підбору загартовуючих чинників із врахуванням віку, статі, стану здоров'я, рівня загартованості тощо.

При частих порушеннях основних принципів загартування можуть розвиватись хронічні захворювання верхніх дихальних шляхів (гайморит, бронхіт, тонзиліт), нефрит нирок, артрит суглобів, інші захворювання.

***47. Чому замерзлими на холоді пальцями людині важко виконати точні рухи?***

На холоді пальці погано згинаються і розгинаються, в них немає необхідної сили. Причиною цього є порушення рецепторної чутливості пальців. У нормальних температурних умовах від збуджених пропріорецепторів м'язів і сухожилок до ЦНС ідуть імпульси по аферентних нервах, а звідти по еферентних нейронах до м'язів,

зумовлюючи їх точну і швидку роботу. На холоді чутливість проприорецепторів знижується, вони перестають посилати імпульси в рухові нервові центри, м'язи не отримують необхідних імпульсів, а тому не можуть скорочуватися, не дивлячись на те, що їх функціональний стан не порушений.

Оптимальне підвищення температури працюючих м'язів сприяє незначному збільшенню показників фізичної сили, витривалості і швидкості реакції. На цьому ґрунтується виконання розминки перед основною роботою (змаганням).

***48. Що належить знати туристу, щоб попередити обмороження шкіри в холодний і вітряний зимовий день в горах?***

Митись і голитись належить звечора, а не вранці. Природній жир шкіри, який попереджує переохолодження, не повинен змиватись. Одягатись необхідно так, щоб кров могла вільно циркулювати. Не слід використовувати жорсткого одягу з шнурівками. В горах необхідно весь час рухатись, щоб підтримувати теплопродукцію на високому рівні. Туристам (альпіністам) належить час від часу поглядати один на одного, щоб своєчасно виявити локальне обмороження у вигляді білих плям на обличчі.

***49. Якою має бути перша домедична допомога при локальних обмороженнях?***

При локальних обмороженнях на ділянку тіла, що змерзла, необхідно покласти теплу долоню і тримати її до тих пір, доки шкіра не набуде нормального кольору і не відновиться чутливість. Ефективним за даних умов, може бути обережний масаж шкіри сухою, м'якою шерстяною тканиною, або лише рукою. Не слід терти відморожену ділянку шкіри снігом. Це може призвести до порушень цілісності шкіри і її інфікування. Окрім того, танучи, сніг відбирає тепло з шкіри, ще більше понижуючи її температуру та посилюючи обмороження.

***50. Яких гігієнічних правил належить дотримуватись при загартуванні водою?***

Загартування водою поєднують із особистою гігієною і, звичайно, із загартуванням повітрям та сонцем. Обтирання тіла після ранкової гімнастики проводять лляною рукавичкою. Температура води для перших обтирань – не нижче 28°C; упродовж наступних 2-3 днів її знижують на 1°C, доводячи до 18-13°C. Після холодного обтирання тіло витирають насухо рушником.

Ефективним засобом загартування є обливання водою в поєднанні з самонавіюванням, купанням (моржуванням) в холодній воді тощо. Звичайно, до таких процедур належить підходити обережно, постійно турбуючись про дотримання головних загартувальних принципів – поступовості і індивідуалізації, а щодо моржування – короткотривалості.

Обливання може бути місцевим (рук, шиї, спини, грудей, ніг тощо) і загальним, коли воду ллють на голову і на плечі з відра або іншої ємності. Початкова температура води для обливання – 34°C, через кожні 3-5 днів температуру води знижують на 1° (до 15°), тривалість процедури – від 30 с до 2-3 хв.

Купання проводять при температурі не нижчій 18°C. Найкращий час купання – з 10 до 13 год. Тривалість першого купання 1-2 хв. З метою адаптації організму до холоду, перед купанням, належить змочити кінцівки, тоді груди, шию і нарешті усе тіло. Добре перед купанням зігріти тіло виконанням 3-5-хвилинного комплексу гімнастичних вправ. Купання протипоказане тим, у кого є хронічні запальні процеси внутрішнього вуха, активна фаза ревматизму, хронічний нефрит.

З метою профілактики карієсу ефективним є прополіскування порожнини рота після їжі. Температура води при перших прополіскуваннях повинна бути не нижчою як 30°C; згодом її поступово знижують до 13-14°C.

### ***51. Яких порад С. Кнейпа належить дотримуватися людям, що вирішили загартуватися водою за його методикою?***

Ефективним методом холодного загартування є місцеве загартування ніг. Саме С.Кнейпу належать такі крилаті фрази як: «Найліпше взуття – це відсутність взуття», «Кожний крок босоніж –

додаткова хвилина життя» тощо. Ходьба босоніж по так званій «контрастній доріжці» (трав'яна, з піску, гравію тощо) широко практикується сьогодні в оздоровницях багатьох країн світу.

Займаючись загартуванням варто враховувати такі поради С. Кнейпа:

- чим холодніша вода, тим ефективніший результат;
- дія холодної води має бути максимально короткою, одягання і роздягання – максимально швидким;
- після холодного купання не потрібно витирати тіло насухо. На мокре тіло швидко одягають сухий одяг. Цим досягається ефективне, рівномірне і швидке встановлення природнього тепла;
- після купання необхідно рухатись (швидка ходьба, біг, присідання тощо) до того часу, поки тіло не висохне і не досягне нормальної температури;
- ефективним методом загартування є ходьба босоніж по мокрій траві, по мокрому камінню, снігу. Не варто ходити по снігу, коли тіло мерзне, потрібно спочатку зігрітися;
- добрий загартувально-оздоровчий ефект дає ходьба по воді. Така процедура нормалізує функцію нирок, легень і органів травлення, ліквідує головні болі. 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 та ніг. Для цього їх занурюють у холодну воду, не більше ніж на 1 хв;
- для посилення кровообігу в судинах ніг і нормалізації росту нігтів доцільно систематично обливати коліна водою.

## ***52. Яких гігієнічних правил належить дотримуватись при загартуванні зимовим купанням?***

Зимове купання (моржування) пов'язане з дуже інтенсивним холодовим подразненням, а тому воно повинно бути суворо регламентованим і проводитись під наглядом лікаря. До моржування належить завчасно і ретельно готуватись. Тривалість купання в перший сезон – не більше 20 с, у другий – 40-50 с, третій – 60-70 с. Перед купанням належить зробити легку розминку, у воді – побільше ру-

хів, після виходу з води – швидке одягання і виконання фізичних вправ.

У осіб, які займаються моржуванням, істотно зростає споживання кисню, знижується температура тіла (до 34°C). Після купання включаються механізми «м'язового тремтіння», знижується ЧСС і частота дихань. Відсутність обморожень за таких умов пояснюється значною активізацією процесів теплоутворення і тепловиділення. Тонізуючи нервову систему, моржування знайшло успішне примінення в медичній практиці для лікування неврастенії, артеріальної гіпертензії та інших захворювань.

Спричиняючи значне напруження нейроендокринної системи організму (стрес), зимові купання за певних обставин (навіть незначних порушень режиму загартування, ослабленні організму) можуть призвести до небажаних дистресових наслідків, зокрема запальних захворювань легень, передміхурової залози тощо. Тому моржування варто рекомендувати лише тим, хто пройшов достатню підготовку звичайними засобами загартування, і володіє великим обсягом функціональних резервів. Оскільки при такому загартуванні можливі ускладнення (судоми, обморок, слабкість) моржувати належить в присутності лікаря, тренера або просто присутніх, які при потребі можуть надати першу домедичну допомогу.

### ***53. Яких гігієнічних правил (норм) належить дотримуватись при загартуванні повітрям?***

Найбільшого значення має охолодження тих частин тіла, які закриті одягом. Повітряні ванни належить проводити в час активного відпочинку, денного сну, перед купанням. Температура перших повітряних ванн – не менше 18°C, тривалість – 1-3 хв. Згодом тривалість повітряних ванн збільшують до 5 хв, а температуру знижують до -12-14°C.

Високоєфективним способом загартування є поєднання дії повітряних ванн з гімнастикою, легким бігом, ігровими видами спорту. При температурі до +10°C і слабкому вітрі фізичні вправи на повітрі розпочинають в трикотажному костюмі, а після 10-15 хв занять одяг знімають. Після такої підготовки заняття варто продовжити без



костюма (в трусах) і при більш низьких температурах (до 0°C). При мінусових температурах (до -15°C) заняття фізичними вправами належить проводити в шерстяному або напівшерстяному костюмі, доповнюючи його шерстяним головним убором і рукавицями. У сиру вітряну погоду одягають вітро- і водозахисний костюм.

Під час повітряних ванн добре проводити самомасаж (поглажування, розтирання, розминання), поступово масажуючи верхню частину голови, вушні раковини, шию, руки, грудну клітку, живіт, спину, попереk, ноги. Добрий загартовувальний ефект дає сон на відкритому повітрі.

#### ***54. Що таке пульсуючий мікроклімат в приміщенні? Методичні особливості використання його для загартування.***

Суть методу полягає в постійній зміні температури повітря в помешканні (від +16 і менше до +22°C і більше). Потреба постійно реагувати на часту зміну температури сприятиме вдосконаленню фізіологічних механізмів терморегуляції. Попереджуючи ірадіацію процесів гальмування по відповідним центрам кори мозку, пульсуючий мікроклімат сприяє підтриманню тонусу працюючих структур та підвищенню їх працездатності.

На перших порах використання пульсуючого мікроклімату амплітуда коливань температури для загартування не повинна перевищувати 4-5°C. Через 10-15 днів її збільшують до 6-8°C, а через 2-3 тижні – до 9-10°C. Найбільш доступним методом створення пульсуючого мікроклімату зимою є провітрювання приміщення через кожні 2-3 години. Для отримання належного загартовувального ефекту практикують перехід з прохолодного приміщення в тепле (з приміщення на вулицю і навпаки), чергують одягання більш або менш теплого одягу тощо.

Щоб загартовувальний ефект був виразним, термічний подразник повинен забезпечити достатнє збудження терморецепторів. З цією метою широко використовують метод контрастного загартування – холодні і гарячі ванни або душі, високу температуру термокамер лазень і холодну воду басейна, моржування.

**55. Який механізм оздоровчого впливу на організм загартовувальних процедур, поєднаних з виконанням фізичних вправ?**

Механізми оздоровчої дії загартування на субклітинному рівні ідентичний механізму дії фізичних тренувань. Такі чинники, як холод, гіпоксія і фізичні навантаження, спричиняючи дефіцит АТФ і креатинфосфату, активують генетичний апарат клітин, підвищують потужність їх мітохондрій (збільшення синтезу АТФ на одиницю маси тканини) і таким чином сприяють розвитку специфічної адаптації.

Фізично натреновані особи більш швидко і ефективно адаптуються до несприятливих умов довкілля, що, звичайно, є проявом неспецифічного загартування. Взаємно підвищуючи ефект один одного, загартування і фізичні тренування сприяють підвищенню стійкості до гіпоксії, проникаючої радіації, впливу токсинів тощо.

Існує ряд особливостей розвитку адаптаційних реакцій при поєднанні загартовувальних процедур з фізичними вправами. Зміни температури ядра тіла при м'язовій роботі діють подібно термічним впливом ззовні. Оскільки охолодження завжди характеризується збільшеною теплопродукцією, то зігрівання організму виконанням фізичної роботи дає не менш виразний загартовувальний ефект ніж охолодження.

У процесі виконання фізичного навантаження теплопродукція збільшується, надалі, при незмінній інтенсивності роботи, теплоутворення стабілізується, а після роботи зменшується. Ці зміни теплоутворення при м'язовій діяльності підсилюють дію холодового подразника. При вираженій втомі, спричиненій фізичним перенапруженням, внаслідок порушення терморегуляції, спостерігається зниження температури тіла за межі норми. Загартовувальний ефект фізичних вправ, виконуваних на фоні вираженої втоми, знижений. Ймовірно, саме тому люди, які знаходяться в стані хронічної втоми, часто хворіють простудними захворюваннями.

## **РОЗДІЛ V ФІЗІОЛОГІЯ СИСТЕМИ ВИДІЛЕННЯ**

### **5.1. ОСОБЛИВОСТІ БУДОВИ І ФУНКЦІЇ НИРОК**

#### ***1. Які органи в організмі людини виконують видільну функцію? Функції 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 порушується гомеостаз, організм самоотруюється і гине.

Розрізняють видільну функцію окремих клітин і організму в цілому. Клітини виділяють продукти кінцевого і проміжного обміну в міжтканинну рідину, звідси вони надходять в кров. При проходженні крові через спеціалізовані видільні системи, шкідливі для організму продукти обміну відбираються і виводяться в довкілля.

Крім власне кінцевих продуктів обміну (вуглекислий газ, вода, аміак, сечовина, сечова кислота та ін.), органами виділення виводяться з організму речовини, які утворюються при розпаді клітин, що відмирають, випадкові або постійні домішки до їжі, інші речовини, які не мають фізіологічного значення для організму. Важливими функціями системи виділення є підтримання концентрації йонів (Натрію, Калію, Кальцію, Гідрогену, Хлору тощо), об'єму тканин тіла і осмотичного тиску крові.

Функцію виділення в організмі людини виконують нирки, легені, печінка, кишечник, шкіра, травні залози (рис. 5.1). Через легені і шкіру з організму виділяється вуглекислий газ, вода, ефір, ацетон, хлороформ. Кількість води, яка виділяється легеньми і шкірою, приблизно однакова (разом близько 1000 мл за добу), через печінку і кишечник виводяться солі важких металів, кальцій, холестерин, жовчні пігменти, сечовина, креатинин тощо. Підшлункова залоза виводить сечовину, сечову кислоту, солі Кальцію, Цинку, Феруму, сульфаніламідів тощо. Завдяки видільній функції вище згаданих органів в організмі підтримується гомеостаз.

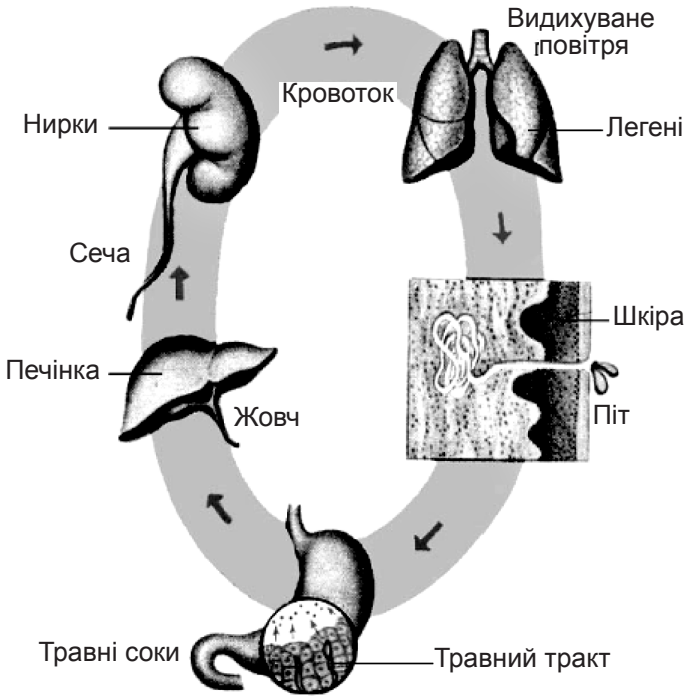


Рис. 5.1. Органи, які беруть участь в очищенні крові від продуктів метаболізму

## 2. Які морфофункціональні особливості характерні для нирок людини?

**Нирки** (їх дві) розташовані в поперековому відділі на задній стінці черевної порожнини. Кожна нирка складається з двох шарів: коркового і мозкового (рис. 5.2). **Корковий** (зовнішній) **шар** нирки утворений великою кількістю мікроскопічної величини нефронів. **Нефрон** – це основна структурна і функціональна одиниця нирки, їх загальна кількість в обох нирках близько 2 млн. Між нефронами знаходиться сполучна тканина. Нефрон починається капсулою Шумлянського-Боумена, стінки якої складаються з одношарового плоского епітелію. В середині капсули розміщені два клубочки капілярів, які називаються **мальпігієвими**. Кожний клубочок склада-

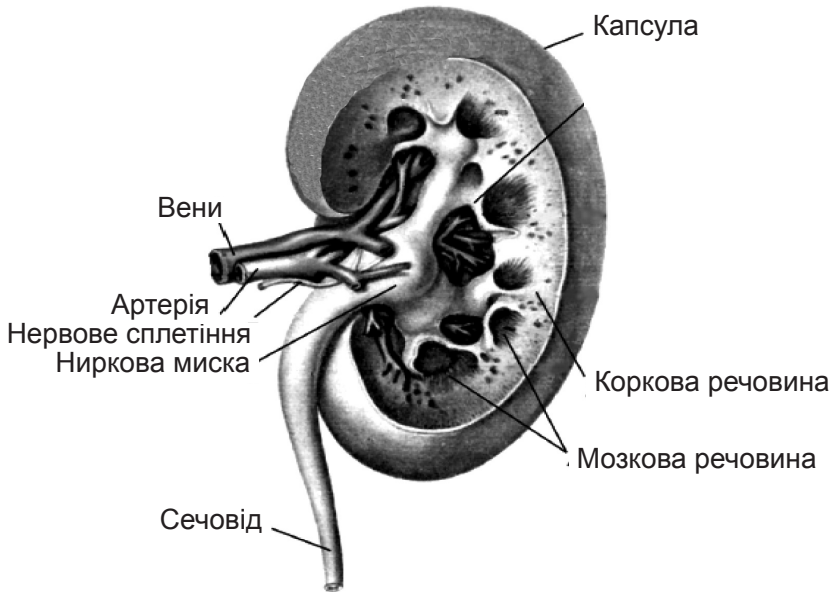


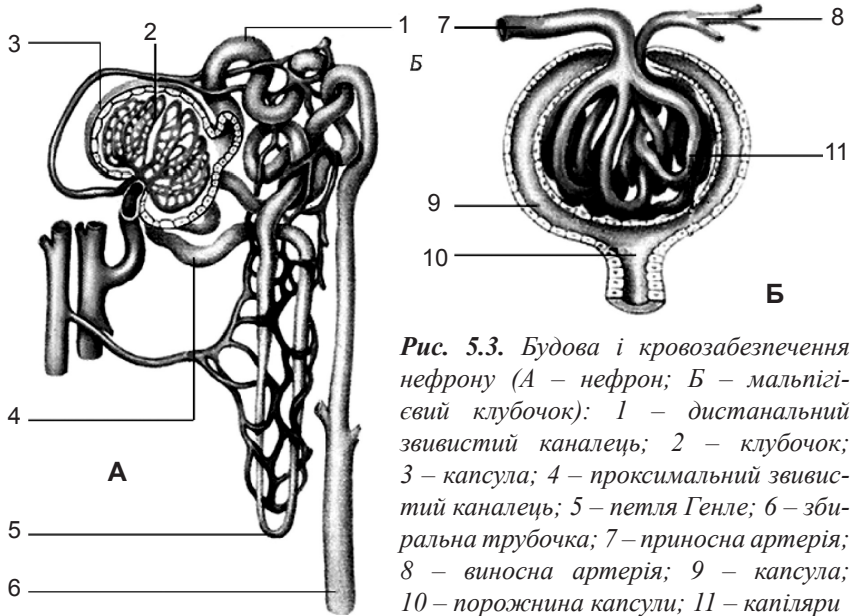
Рис. 5.2. Загальна схема будови нирки людини

ється із великої кількості капілярних петель, утворених артеріолою. В порожнині капсули артеріола одразу ж галузиться на капілярні петлі, які згодом зливаються у венозну артеріолу, що знову утворює капілярну сітку навколо каналців (рис. 5.3).

Кров, що притікає по капілярних трубочках, від фільтрату, що знаходиться в порожнині між двома листками капсули, відділяє **ниркова мембрана**. Фільтруюча функція ниркової мембрани тісно пов'язана з її трьохшаровою будовою (ендотелій кровноносних капілярів, базальна мембрана, епітеліальні клітини капсули).

Діаметр кожної капсули Шумлянського-Боумена близько 0,2 мм, загальна довжина каналців одного нефрона – 35-50 мм, довжина усіх каналців нирок близько 100 см, площа поверхні капсул клубочків – 1,5-2 м<sup>2</sup>.

Від порожнини капсули нефрона відходить сечовий каналець – **звивистий каналець першого порядку**. Доходячи до межі між корковим і мозковим шаром, звитий каналець звужується і випрямля-



*Рис. 5.3. Будова і кровозабезпечення нефрону (А – нефрон; Б – мальпігієвий клубочок): 1 – дистальний звивистий каналець; 2 – клубочок; 3 – капсула; 4 – проксимальний звивистий каналець; 5 – петля Генле; 6 – збиральна трубочка; 7 – приносяна артерія; 8 – виносна артерія; 9 – капсула; 10 – порожнина капсули; 11 – капіляри*

ється. В мозковому шарі він утворює **петлю Генле** і повертається в корковий шар нирки. Таким чином, петля Генле складається з проксимальної та дистальної частин.

У корковому шарі нирки, або на межі коркового і мозкового шарів прямий каналець знов набуває звивисту форму, утворюючи **звивистий каналець другого порядку**. Останній впадає у вивідну протоку – **збиральну трубочку**. 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 **сечовід**, по якому сеча надходить в **сечовий міхур**.

**3. Які особливості кровообігу характерні для нирок? Значення біляклубочкового комплексу.**

Кровоносна 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, яка циркулює в системі кровообігу нирки.

Іншою важливою особливістю кровообігу нирок є те, що кров проходить по них через подвійну сітку капілярів (чудесну сітку): перший раз в капсулі клубочка, другий – в звивистих каналцях (рис. 5.4). Тільки після цього капіляри утворюють вени, які впадають в ниркову вену, а далі в нижню порожнисту вену.

У стінці провідної артеріоли, в місці її входження у клубочок, є потовщення, утворенне міоепітеліальними клітинами – **юстагломерулярний** (біляклубочковий) **комплекс** (рис. 5.5). При зменшенні ниркового кровотоку клітини цього комплексу виділяють біологічно активну речовину – **ренін** (ендокринна функція нирок), який бере

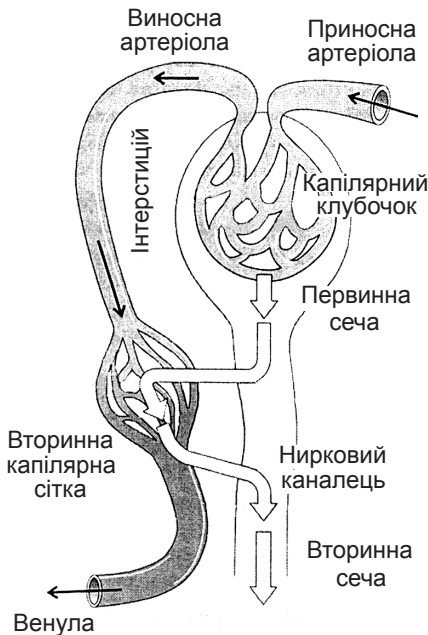


Рис. 5.4. Схема будови капілярної сітки каналцевого апарату нирки

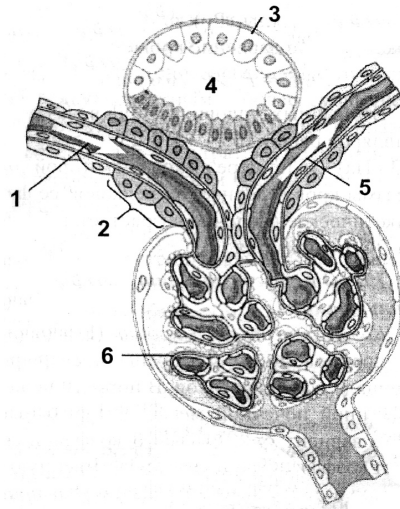


Рис. 5.5. Схема будови юстагломерулярного комплексу нирки:

- 1 – приносяча артеріола,
- 2 – юстагломерулярні клітини,
- 3 – клітини дистального каналця,
- 4 – густа пляма,
- 5 – виносяча артеріола,
- 6 – клубочок

активну участь у регуляції рівня артеріального тиску і запускає гормональну регуляцію процесів кровотоку, фільтрації і реабсорбції в нирках.

**4. У хворого видалили одну нирку. Вкажіть на особливості компенсаторної гіпертрофії клубочків і канальців здорової нирки за даних умов.**

Висока інтенсивність перебігу фізіологічних (біохімічних) процесів в нирках зумовлює високий рівень споживання ними кисню. Маючи невелику масу (122 частина від маси тіла), нирки споживають 11 частину кисню, яку організм споживає в цілому за одиницю часу.

Після видалення хворої нирки маса нирки, що залишилась, збільшується майже у двічі. Це спричиняє відповідне зростання швидкості клубочкової фільтрації і ниркового кровообігу. Виникнення ниркової недостатності спостерігається лише тоді, коли число функціонуючих нефронів менше 30% від їх нормативної величини. За таких умов виникає затримка в організмі азотовмісних речовин (сечовини, сечової кислоти, креатину і креатиніну), які у здорової людини виводяться із сечею назовні, порушується виконання нирками інших її функцій.

#### **5. Які основні функції нирок?**

Основними функціями нирок є:

- підтримання концентрації води, солей, глюкози та інших кристалогідів в організмі;
- регулювання кислотно-лужної рівноваги і кислотності крові;
- підтримання необхідного осмотичного тиску в тканинах;
- участь в метаболізмі білків, жирів, вуглеводів;
- участь в регуляції кровообігу;
- регуляція еритропоезу;
- виведення з організму кінцевих продуктів обміну речовин;
- ендокринна функція (рис. 5.6).



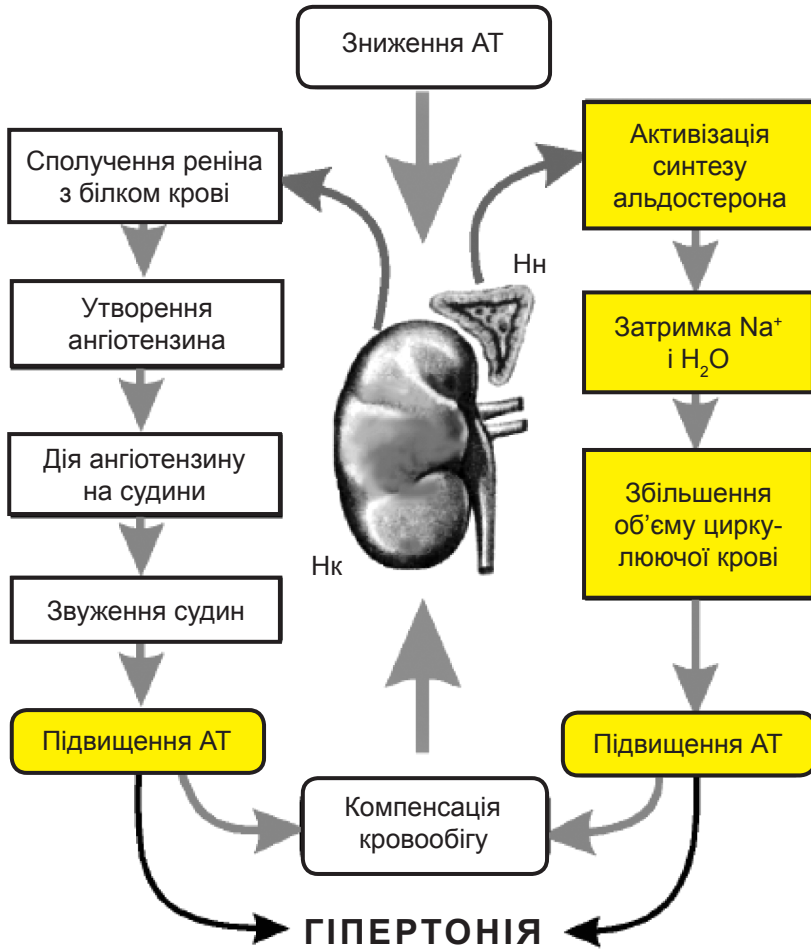


Рис. 5.6. Ендокринна функція нирки (роль реніну та альдостерону в підтриманні артеріального тиску – АТ): Нк – нирка; Нн – наднирники

## 5.2. ФІЗІОЛОГІЧНІ МЕХАНІЗМИ УТВОРЕННЯ СЕЧІ

### 6. Який фізіологічний механізм утворення первинної сечі?

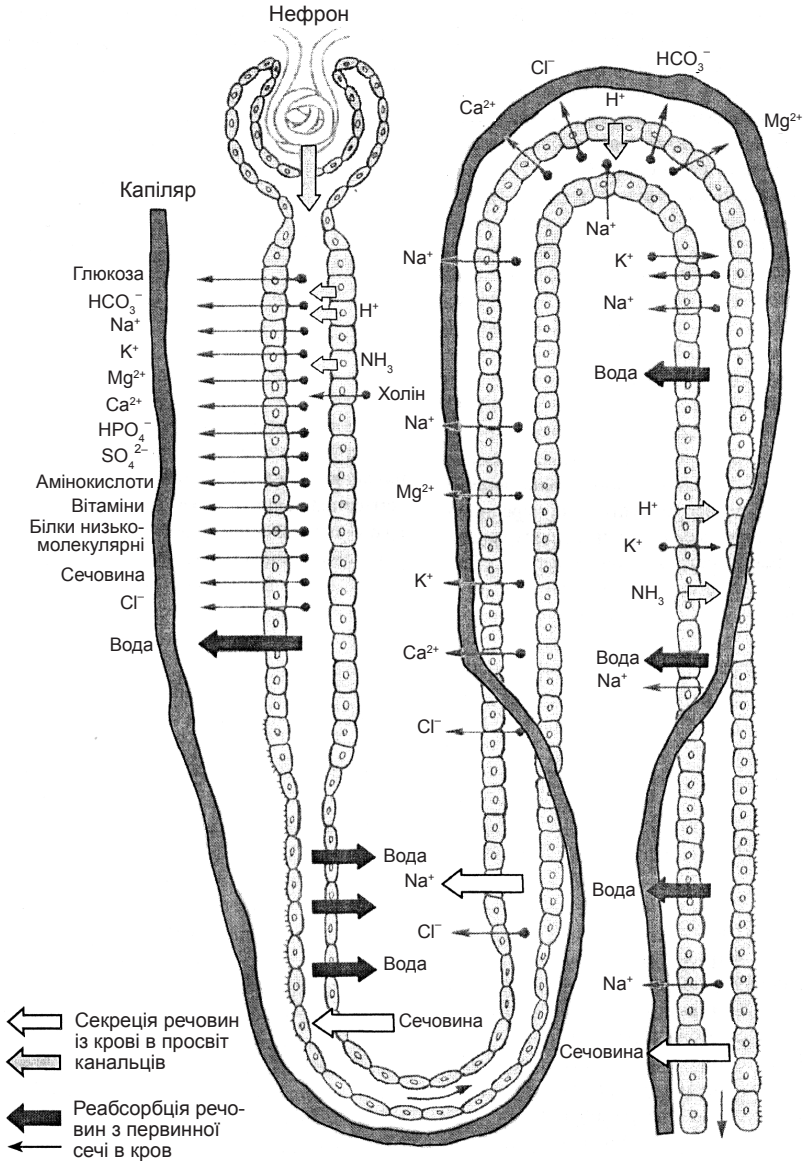
Згідно з фільтраційно-реабсорбційною теорією, сечоутворення в нирках є наслідком ультрафільтрації, реабсорбції і секреції. Цей складний процес проходить в два етапи. Результатом **першого етапу (клубочкова ультрафільтрація)** є утворення первинної сечі, **другого (реабсорбційний)** – утворення кінцевої сечі.

Ультрафільтрація крові з капілярів клубочка в порожнину капсули нефрона (**утворення первинної сечі**) є результатом взаємодії тиску крові капіляра клубочка нирки ( $P_k$ ), онкотичного тиску колоїдів крові ( $P_o$ ) і гідростатичного тиску рідини в просвіті капсули клубочка ( $P_{гк}$ ). Ефективний фільтраційний тиск (ЕФТ) визначається за формулою: **ЕФТ =  $P_k$  – ( $P_o$  –  $P_{гк}$ )**. Загальна схема процесів фільтрації, реабсорбції і секреції подана на рис. 5.7 (В.І. Філімонов, 2010).

### 7. У чому відмінність первинної сечі і плазми крові?

Первинна сеча відрізняється від плазми крові перш за все відсутністю білків. Це обумовлено сітчастою структурою основної перетинки капсули, яка складається з тонких колагенових волокон розташованих на відстані 3,5-7,0 нм одна від одної (**молекулярне «сито»**). Оскільки діаметр молекул білків більший ніж розміри щілин молекулярного «сита», вони не проходять у первинну сечу. Усі інші речовини плазми крові з меншим діаметром молекул (молекулярною масою 5500 і менше) вільно проходять в первинну сечу. З 1400 л крові, що упродовж доби протікає через нирки утворюється 158 л первинної сечі. З цього обсягу первинної сечі утворюються приблизно 1,5 л кінцевої сечі (добовий діурез).

**8. Тиск крові у капілярах клубочка нирки ( $P_k$ ) – 70 мм рт. ст., онкотичний тиск колоїдів крові ( $P_o$ ) – 30 мм рт.ст., гідростатичний тиск в просвіті капсули клубочка ( $P_{гк}$ ) – 20 мм рт. ст. Визначіть ефективний фільтраційний тиск (ЕФТ).**



**Рис. 5.7. Локалізація транспортних процесів (фільтрація, реабсорбція, секреція) в нефроні**

$EFT = P_k - (P_o - P_{гк}) = 70 \text{ мм рт. ст.} - (30 \text{ мм рт. ст.} - 20 \text{ мм рт. ст.}) = 60 \text{ мм рт. ст.}$  Отже, за даних умов, ефективний тиск, що забезпечує ультрафільтрацію плазми крові в клубочках нефрона становить 60 мм рт. ст. З формули видно, що усі ті фактори, які підвищують тиск крові, посилюють фільтрацію, а ті, які збільшують онкотичний тиск, – сповільнюють її.

**9. Від чого залежить зворотнє всмоктування речовин з первинної сечі ниркових каналців в кров?**

Зворотнє всмоктування речовин з первинної сечі залежить від їхньої 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 нирки визначається їхньою концентрацією в крові. Концентрація даної речовини в крові, при якій вона не може бути повністю реабсорбована в каналцях і надходить в кінцеву сечу, називається *порогом виведення*.

**10. Які речовини первинної сечі належать до порогових, а які до непорогових?**

Всі речовини, що всмоктуються в кров з первинної сечі, називаються *пороговими*. До них належать глюкоза, амінокислоти, а також значна частина йонів та інших речовин. Речовини, які не піддаються зворотному всмоктуванню і повністю виводяться з кінцевою сечею, називаються *непороговими*. Це переважно кінцеві продукти обміну білків: аміак, сечовина, креатинін, сульфати тощо.

**11. Відомо, що за одну хвилину через нирки здорової людини проходить 1 л крові, добовий діурез при дотриманні звичайного водно-сольового режиму – 1,5 л. Яка кількість первинної сечі утвориться в організмі людини упродовж доби? Скільки реабсорбується води?**

За 1 хв через нирки проходить 1 л крові, за добу 1440 л, з них плазма складає 55 %, тобто 792 л, 20 % її фільтрується з утворенням первинної сечі. Отже, добовий обсяг первинної сечі становитиме

1584 л (792 л • 20 % : 100 %), а обсяг реабсорбованої води – 156,9 л (158,4 – 1,5 л).

**12. Які особливості зворотного всмоктування речовин з первинної сечі? Механізм роботи зворотно-протитечної системи.**

Друга фаза сечоутворення – реабсорбційна, це **фаза зворотно-го всмоктування**. Зворотнє всмоктування з первинної сечі води та інших необхідних організму речовин, відбувається в звивистих каналцях і 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 області 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 мікрворсинками. Це збільшує загальну площу поверхні каналців до 50 м<sup>2</sup>. Така велика сумарна поверхня каналців забезпечує великий обсяг реабсорбції. Мікрворсинки знаходяться також в області петлі Генле.

Механізми зворотного всмоктування різних речовин з первинної сечі різні (рис. 5.8). Так, всмоктування Натрію, глюкози, амінокислот та деяких інших речовин проходять за участю активних процесів транспорту. В реабсорбції йонів Натрію через епітелій каналців важлива роль належить ферменту янтарної кислоти – дегідрогеназі. У великих кількостях в каналцях, під дією законів дифузії і осмосу проходить всмоктування води.

Всмоктування глюкози, Натрію, Кальцію, Калію та інших речовин з первинної сечі в тканинну рідину нирок і в кров призводить до підвищення осмотичного тиску 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 з первинної сечі в кров вирівнює осмотичний тиск сечі в звивистих каналцях першого порядку до рівня осмотичного тиску тканинної рідини в крові, тобто сеча в цих каналцях стає ізотонічною щодо крові.

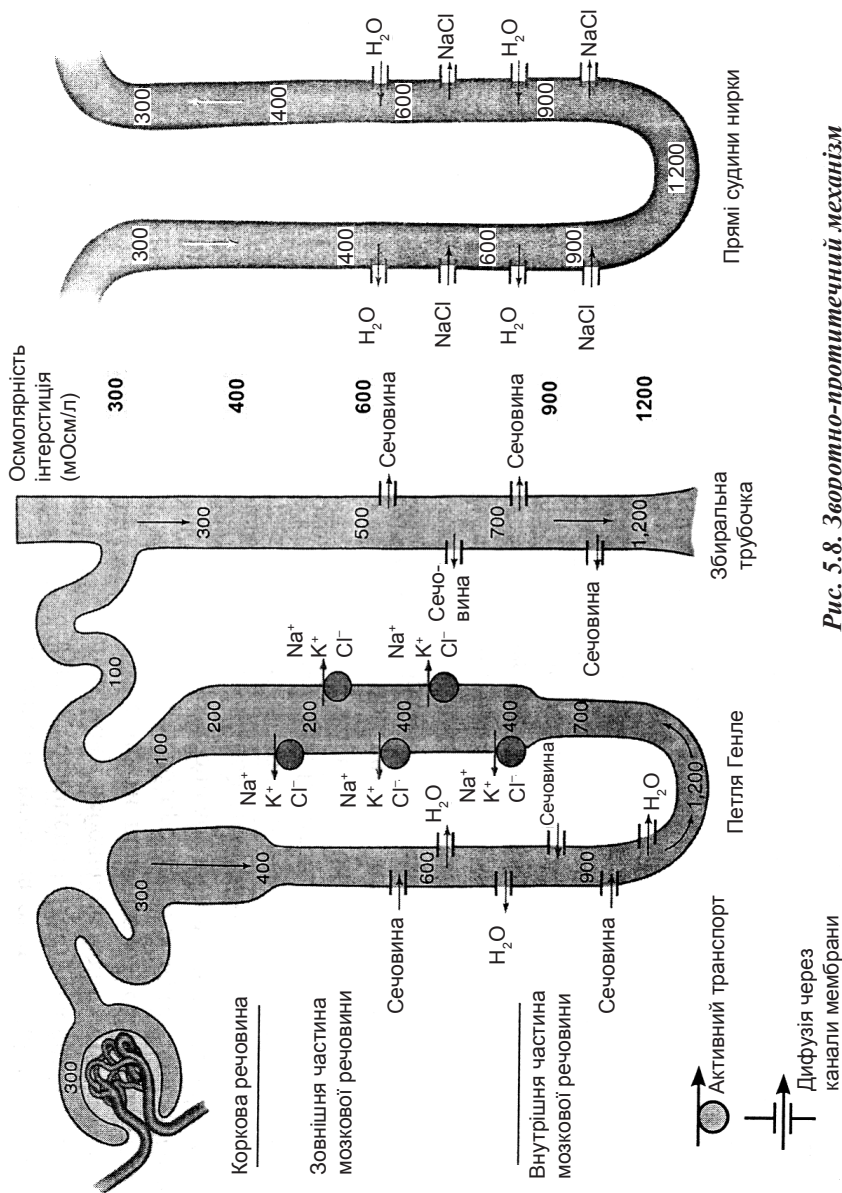


Рис. 5.8. Зворотно-протитичний механізм

У петлі Генле ізотонічність сечі порушується внаслідок функціонування особливого механізму – **зворотньо-протитечної системи** (рис. 5.8). Суть роботи цієї системи полягає в тому, що два коліна петлі Генле (нисхідне і висхідне), тісно торкаючись одне одного, функціонують взаємозв'язано як єдиний механізм.

Епітелій проксимального відділу петлі Генле пропускає воду, але не пропускає йони Натрію, а епітелій дистального відділу петлі Генле володіє здатністю активно пропускати йони Натрію і в той же час не пропускає воду з просвіту каналців в тканинну рідину.

При проходженні сечі через низхідні шляхи петлі Генле, внаслідок переходу води в тканинну рідину, сеча стає більш концентрованою. Перехід води – пасивний процес, обумовлений тим, що епітелій розміщеного поруч висхідного (дистального) відділу петлі Генле, активно реабсорбуючи йони 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 біля вершини петлі вона стає найбільш концентрованою. Подальше всмоктування йонів Натрію, Калію, води та інших корисних організму речовин проходить в звивистих каналцях другого порядку.

### **13. Що входить до складу твердого залишку сечі?**

**Сеча** – прозора рідина світло-жовтого кольору з вмістом 95% води та 5% твердих речовин. Основними складовими компонентами твердого залишку сечі є сечовина (2%), аміак (3,4%), сечова кислота (0,5%), креатинін (0,1%), який утворюється з фосфокреатиніну, що розпадається в м'язах при їх скороченні. В сечі також знаходяться продукти гниття білків (індол, скатол, фенол), які утворюються в кишечнику під дією бактерій. Знешкоджуючись в печінці, ці речовини виділяються з сечею у вигляді індоксилсульфатної, скатоксилсульфатної, оксифенолпропіонової кислот. В сечі наявні сульфатно-фосфорнокислі солі, хлористий Натрій, хлористий Калій тощо.

Реакція (рН) сечі залежить від виду їжі, яку приймає людина. При харчуванні переважно білковою їжею сеча слабокисла, або нейтральна, при вегетеріанській дієті – слаболужна.

В умовах високої температури навколишнього повітря, внаслідок активізації потовиділення, сечоутворення гальмується. Зменшується сечоутворення і в час виконання фізичних вправ, а також тоді, коли людина спить, особливо коли сон глибокий.

**14. На що вказує поява білка в сечі людини?**

Білок не проходить через стінки капілярів, а тому в нормальній сечі відсутній. Поява білка в сечі (*альбумінурія*) вказує на захворювання нирок. На короткий час білок може з'явитись в сечі здорової людини при виконанні тривалої і напруженої фізичної роботи (біг на довгі дистанції). Потрапляння білка в сечу є результатом тимчасових структурних змін судинної системи нирок. Згодом нормальна робота нирок відновлюється і білок з сечі таких осіб зникає. При крововиливах в порожнинах нирок чи сечовивідних шляхах у сечі з'являється кров – *гематурія*.

**15. Які компоненти сечі зумовлюють її колір?**

Жовтий колір сечі зумовлений пігментами, які утворюються з білірубіну жовчі в кишечнику, де він перетворюється в уробілін і урохром. Частково всмоктуючись в кров з кишечника, ці пігменти переходять в кінцеву сечу і виділяються у довілля. Поряд з цим нирки і самі здатні окиснювати продукти розпаду гемоглобіну, перетворюючи їх в пігменти сечі. Сеча, яка утворюється під час сну людини, за кольором більш темна, ніж денна. Причиною цього є те, що вночі за одиницю часу виділяється сечі менше, ніж вдень, і концентрація пігментів в нічній сечі вища.

**16. В якому періоді внутрішньоутробного розвитку плода розпочинають функціонувати нирки?**

Діяльність нирок у плода розпочинається з п'ятого місяця внутрішньоутробного розвитку. Вченими встановлено, що в сечовому міхурі плоду віком п'ять і більше місяців є висококонцентрована сеча. Це вказує на переважаючу роль секреторних процесів сечоутворення над фільтраційно-реабсорбційними.



**17. Чому у новонародженої дитини питома вага сечі нижча, ніж у дорослих?**

Питома вага сечі дорослої людини 1,015-1,025, – новонародженої дитини – 1,004-1,008. Низька питома вага сечі новонародженої дитини пояснюється функціональною незрілістю каналцевого апарату нирок, недостатньою досконалістю механізмів, які регулюють реабсорбцію води. Окрім того, задньою часткою гіпофізу у новонароджених виробляється недостатня кількість антидіуретичного гормону.

### **5.3. РЕГУЛЯЦІЯ ПРОЦЕСІВ СЕЧОУТВОРЕННЯ І СЕЧОВИВЕДЕННЯ**

**18. Які фізіологічні механізми регулюють процеси сечоутворення і сечовиведення?**

Регуляція функції нирок здійснюється нейрогуморальним шляхом (рис. 5.9, В.І. Філімонов, 2010). 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 яким кров надходить до клубочків нефрона, то внаслідок зменшення фільтраційного тиску тут зменшується і фільтрація первинної сечі. Якщо ж звужені артеріоли, по яким кров виходить з клубочків, то внаслідок підвищення в них тиску сечоутворення посилюється.

Рефлекторні зміни сечовиведення проходять при подразненні внутрішніх органів. Так, закупорка сечовивідного каналу нирковим камінням рефлекторно викликає припинення сечовиведення не тільки в тій нирці, від якої відходить цей сечовід, але й у другій нирці.

Безумовнорефлекторний підкорковий механізм регуляції сечоутворення підпорядкований вищому кортикальному управлінню, яке здійснюється умовнорефлекторним шляхом через гіпоталамус і задню частку гіпофіза.

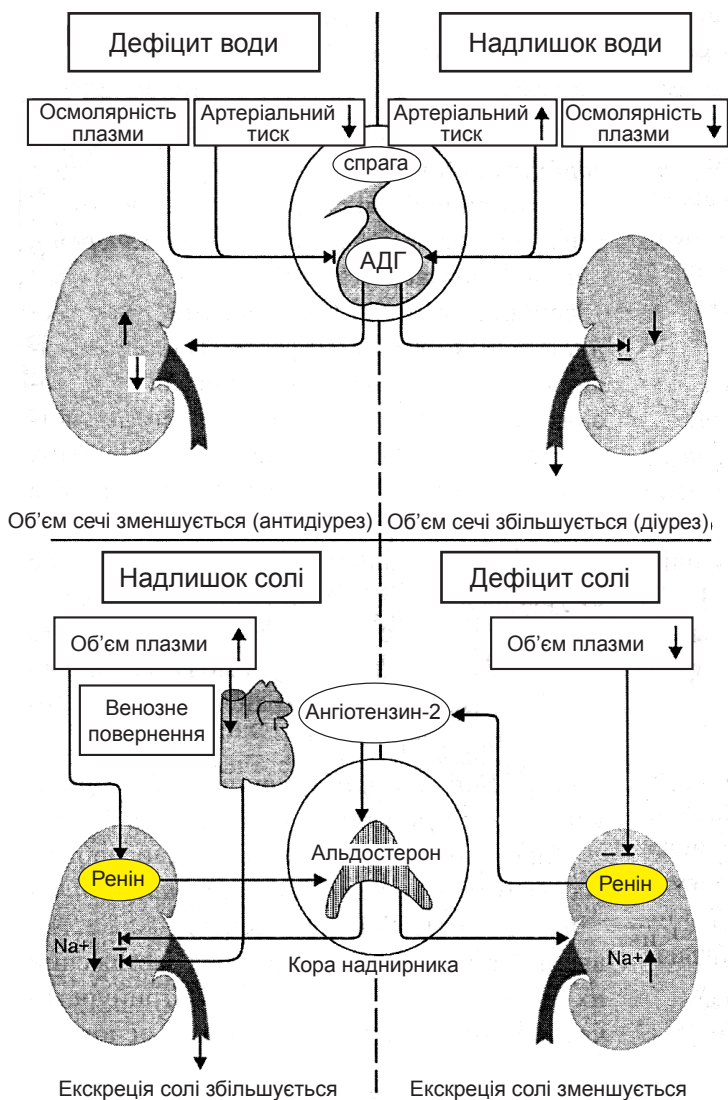


Рис. 5.9. Схема регуляції функцій нирки

### 19. У чому полягає гуморальна регуляція функцій нирок?

У регулюванні артеріального тиску крові в ниркових судинах беруть участь ренін нирок, альдостерон наднирників, а також гормони гіпофізу. Такий зокрема механізм больової анурії – припинення сечоутворення при механічних подразненнях больових рецепторів шкіри. За таких умов центри гіпоталамуса посилюють секрецію антидіуретатного гормону гіпофізом, що призводить до звуження ниркових судин і зменшення діурезу. Загальна схема регуляції функцій нирок подана на рис. 5.10.

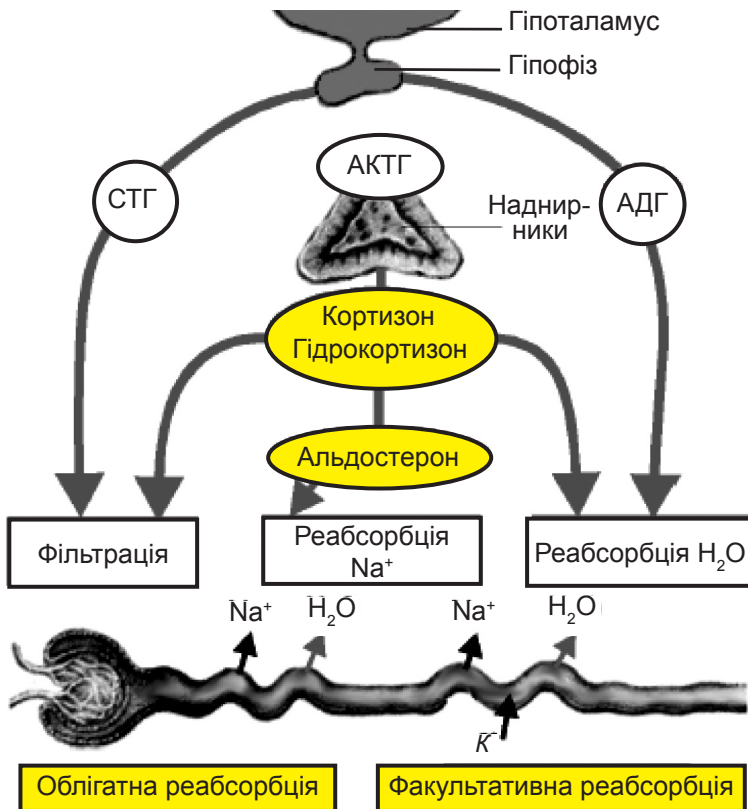


Рис. 5.10. Роль гормонів гіпофіза і наднирників в регуляції діурезу: АКТГ – адренотропний гормон; СТГ – соматотропний гормон; АДГ – антидіуретичний гормон

Активує 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 гальмування процесів сечоутворення, викликане збільшеним виділенням адреналіну в кров, спостерігається у спортсменів перед початком змагань, у студентів перед іспитом тощо. Активізує сечоутворення гормон щитоподібної залози – тироксин, сечовина, кофеїн та інші сечогінні речовини.

***20. Як впливає на перебіг процесів сечоутворення антидіуретичний та адренокортикотропний гормони?***

У регуляції видільної функції нирок важливу роль відіграє антидіуретичний (АДГ) та адренокортикотропний (АКТГ) гормони. АДГ синтезується гіпоталамусом і виділяється у внутрішнє середовище організму задньою часткою гіпофіза. Виділення АДГ гормону в кров проходить під впливом імпульсів від осморорецепторів, що 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 АДГ. Це сприяє реабсорбції води із каналців нирок в капіляри. Як наслідок, утворення сечі зменшується. При підвищеному вмісті води в кровоносному руслі секреторна функція задньої частки гіпофіза гальмується, АДГ не виділяється, сечоутворення посилюється і надлишок води виводиться із організму.

АКТГ синтезується передньою часткою гіпофіза. Він виявляє стимулюючий вплив на синтез мінералокортикоїдів, зокрема альдостерону, який володіє антидіуретичним ефектом. Посилюючи реабсорбцію натрію з первинної сечі, мінералокортикоїди затримують воду в тканинах.

***21. Як змінюється сечоутворення в організмі людини, що виконує інтенсивну фізичну роботу в спекотних умовах?***

Під час виконання інтенсивної м'язової роботи в спекотних умовах відбувається компенсаторний перерозподіл кровообігу – по-

силене кровопостачання працюючих органів і зменшене – непрацюючих. За таких умов внаслідок зменшеного надходження крові до нирок сповільнюється утворення сечі. Зменшення ниркового кровообігу і швидкості сечоутворення при роботі в спекотних умовах сповільнює перебіг процесів фільтрації води нирками (*антидіурез*). Цьому сприяє підвищене вироблення гіпофізом антидіуретичного гормону.

Втрати електролітів з сечею в час м'язової роботи досить мізерні. Причиною цього є сповільнення перебігу процесів утворення сечі, а також підвищена реабсорбція натрію в ниркових канальцях. Затримці натрію в організмі за умов активної м'язової діяльності сприяє процес підвищення активності реніну і альдостерону в крові.

## **22. Які особливості будови характерні для сечового міхура людини?**

Утворена в нирках вторинна (кінцева) сеча з ниркових мисочок по сечоводу надходить в сечовий міхур. Стінка цього порожнистого органу 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 сфінктер сечовивідного каналу. Його тонус може змінюватися під впливом вольових зусиль людини.

## **23. Який механізм виведення сечі з сечового міхура?**

М'язи вільного від сечі сечового міхура знаходяться в стані деякого напруження (тонусу). В міру наповнення сечового міхура сечею він розтягується, проте тиск в ньому при цьому зростає не суттєво. Випорожнення сечового міхура відбувається рефлекторно завдяки еферентним імпульсам, які надходять від барорецепторів до центру сечовиведення (попереково-крижовий відділ спинного мозку) при наповненні міхура (250-300 мл), коли тиск в ньому досягає 12-15 мм рт. ст. Еферентні імпульси від центру сечовиведення до м'язів міхура ідуть по парасимпатичним нервам. При скороченні

м'язів міхура, його сфінктери рефлекторно розслаблюються і сеча виходить по сечовивідному каналі назовні. В акті сечовиведення беруть участь м'язи живота. Відносно тривале перебування сечі в сечовому міхурі супроводжується всмоктуванням із неї деяких речовин, зокрема води,  $\text{Na}^+$ , сечовини. При утрудненому відтоку сечі, зокрема при аденомі передміхурової залози, може розвиватися *азотемія*.

**24. Які гормони кори наднирників і рослинні засоби використовуються в якості сечогінних?**

У медичній практиці в якості сечогінних засобів широко використовують препарати кори наднирників – глікокортикоїди. Їх дія щодо нирок проявляється перш за все в каналцях другого порядку і в з'єднувальних трубочках. Зменшуючи реабсорбцію води, глікокортикоїди спричиняють діуретичний ефект. Рослинними сечогінними засобами є кавун звичайний, приймочки і стовпчики кукурудзи, петрушка посівна, нирковий чай, спориш звичайний, хвощ польовий.

**25. Який механізм довільного сечовипускання? Частота сечовиведень.**

У новонароджених дітей довільна затримка сечовиведення відсутня. Вона починає формуватися лише в кінці першого року життя і закріплюється в двохрічному віці, коли умовнорефлекторна затримка сечовипускань автоматизується. Вищі центри регуляції сечовиведення знаходяться в лобних долях кори великих півкуль головного мозку. Кірковий контроль щодо видільної функції нирок проявляється в затриманні, підсиленні та довільному викликанні сечовипускання.

Частота сечовипускання новонародженої дитини близько 20 разів на добу. Для новонароджених характерна недостатність синтезу задньою часткою гіпофіза антидіуретичного гормону і структурно-функціональна незрілість кальцієвого апарата нирки. Ці фактори і спричиняють неповноцінність процесів зворотного всмоктування води у звивистих каналцях другого порядку і у з'єднувальних трубочках. За таких умов значно зростає і посилюється частота сечовипускань.

**26. Якою є нормативна частота сечовипускань?**

Частота сечовиведень дорослої людини – 4-7 разів на добу. Вона залежить від добового балансу води і температури довкілля. Збільшена кількість сечовипускань у чоловіків, особливо в нічний період доби, може бути симптомом, який вказує на наявність запальних процесів у передміхуровій залозі.

## **5.4. ВИДІЛЬНА ФУНКЦІЯ ШКІРИ**

**27. Які морфофункціональні особливості характерні для шкіри людини?**

**Шкіра** – це покривний орган. Її будова і функції тісно пов'язані з безпосереднім впливом на неї чинників довкілля: спеки, холоду, вологи тощо. Шкіра складається з епідермісу (зовнішнього шару), власне шкіри (внутрішнього сполучнотканинного 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 (рис. 5.11). Пігмент меланін епітеліоцитів зумовлює колір шкіри, захищає її від шкідливого впливу ультрафіолетового проміння. Рогові лусочки поверхнього рогового шару постійно злущуються і замінюються новими, які надходять з нижче розташованих шарів епідермісу. Повна заміна клітин епідерміса шкіри триває 10-30 днів.

Товщина власне шкіри – 1-2,5 мм, загальна площа поверхні шкіри – 1,5-2 м<sup>2</sup>, маса – 5% від маси тіла.

**28. Що собою являють придатки шкіри?**

Шкіра має придатки: потові і сальні залози, волосся, а на пальцях ніг і рук – нігті (рогові пластини). Сальні залози шкіри за добу виділяють до 20 г секрету, в якому містяться холестерин, аналоги казеїну, продукти обміну кортикостероїдів, вітамінів, ферментів, статевих гормонів. Шкірне сало забезпечує змашування волосся і епідермісу, регулює випаровування води шкірою, виявляє антигрибковий і антимікробний ефект.

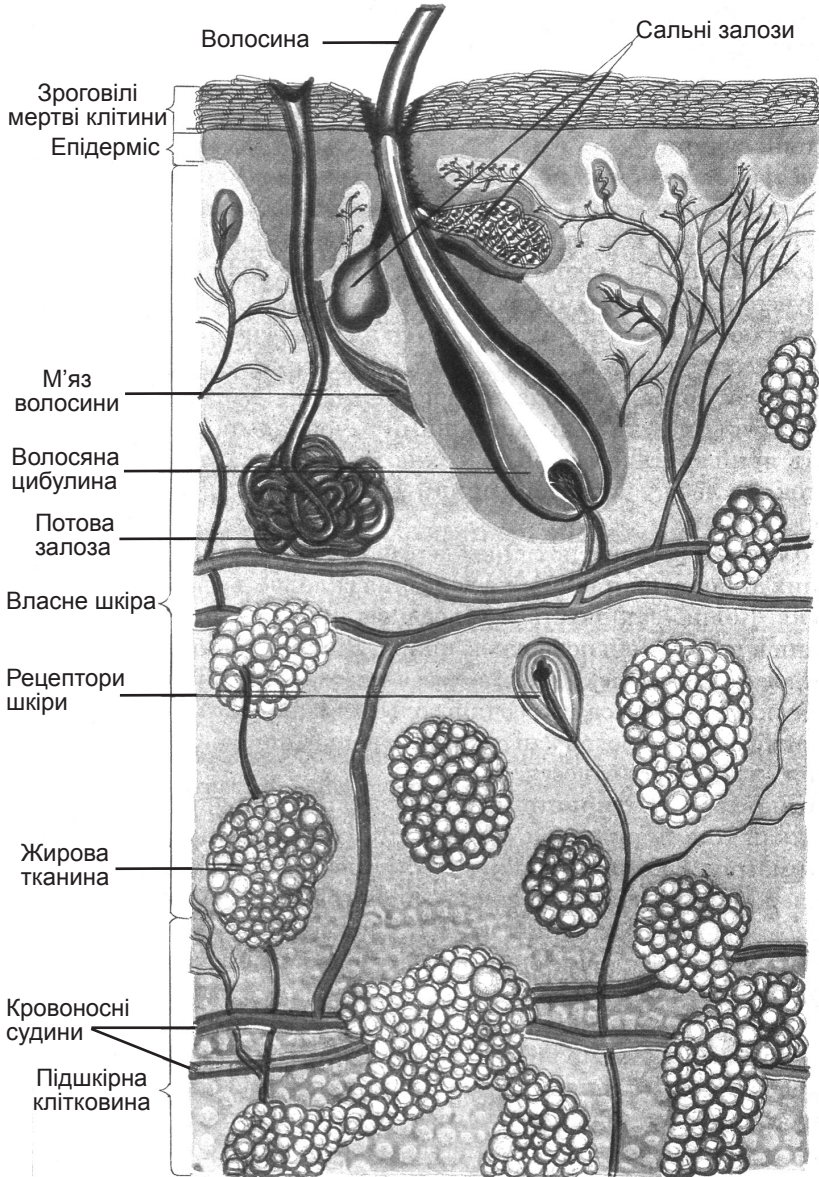


Рис. 5.11. Будова шкіри



Рожевий колір шкіри зумовлений розгалуженням в ній численних дрібних кровоносних судин (капілярів), поряд з якими виділяються венозні судини.

Товщина шкіри на різних ділянках тіла різна, що зумовлено різною величиною жирових клітин в шкірі. Над добре розвиненими (гіпертрофованими) м'язами шкіра завжди тонша ніж під слабо розвиненими, а особливо атрофованими м'язами.

### **29. Які функції виконує шкіра?**

Основними функціями шкіри є бар'єрна (**функція неспецифічного захисту**), терморегуляторна, видільна і дихальна. Разом з тим шкіра функціонує як депо крові, води і мінеральних речовин, бере участь в імунних і судинних реакціях, обміні речовин та енергії. Шкіра є великим рецептивним полем, з допомогою якого здійснюється зв'язок організму із зовнішнім середовищем (**рецепторна функція**). Багатогранною є **захисна (бар'єрна) функція** шкіри. Вона забезпечує механічний захист від зовнішніх подразників, захищає організм від хімічних чинників, мікроорганізмів, проникнення води, електролітів і неелектролітів. Шкіра майже повністю затримує проходження в організм інфрачервоних променів, частково затримує ультрафіолетові промені.

З потом в доквілля виводиться сечовина, аміак, гіпурова кислота, фосфати, ацетон, амінокислоти, жовчні кислоти тощо. Щодооби 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  $N_2$  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 жиру, слабокисла (рН 5,0-6,5). Щодо крові піт є гіпотонічним розчином, а тому при значному пототовиділенні організм втрачає більше води, ніж солей. При ураженні нирок або печінки через шкіру починають активно виділятися сечовина, ацетон, жовчні кислоти тощо.

**30. Які особливості функціонування шкіри в умовах дії теплового подразника?**

На шкіру, як на загальний покрив тіла людини, безпосередньо впливають різноманітні подразники з довкілля, зокрема температурні. Під впливом теплового подразника (наприклад в умовах термокамери сауни) температура шкіри зростає до 40-42°C. Внаслідок посиленого кровообігу її колір стає червонуватим, покращується рецепторна чутливість, активізуються окисно-відновні процеси. При цьому покращується видільна, захисна, дихальна, тактильна та терморегуляційна функції шкіри. Оскільки шкіра знаходиться в тісних взаємозв'язках з іншими органами, то покращення її стану автоматично поліпшує функціональний стан інших органів, сприяє гартовуванню організму, підвищує його стійкість до захворювань.

Видільна функція потових залоз шкіри суттєво доповнює видільну функцію нирок. Компенсаційна діяльність потових залоз проходить не тільки у випадку недостатності нирок, а і при їх захворюванні і при виконанні фізичної роботи. За таких умов потові залози виділяють в два-три рази більше поту, в ньому міститься більше сечовини, ніж у поті термічного потовиділення.

**31. Що собою представляють потові залози?**

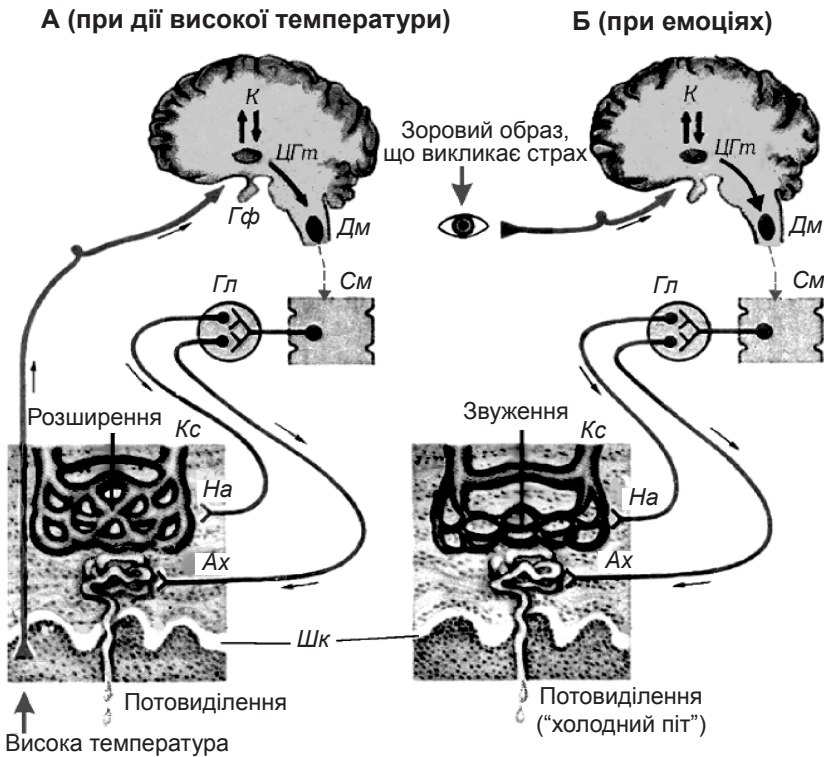
Піт є продуктом секреції потових залоз, розташованих в підшкірній клітковині. Потові залози відносяться до трубчастих залоз і мають форму клубочків. Їхні вивідні протоки відкриваються на поверхні шкіри в так звані потові пори або волосяні сумки.

У шкірі людини близько 2 млн потових залоз. Є люди, в шкірі яких потових залоз дуже мало, або вони відсутні взагалі. Найбільша кількість потових залоз (400-500 на 1 см<sup>2</sup> шкіри) на долонях рук, підшвах ніг, в пахових западинах. Вони відсутні на губах, голові і прутня, кліторі і малих статевих губах.

**32. Які особливості секреторної діяльності характерні для еккринових і апокринових потових залоз?**

Існує два типи потових залоз – еккринові і апокринові. **Еккринові залози** розміщені на усій поверхні тіла. Вони секретують звичай-

ний піт (**термічне потовиділення**, рис. 5.12, А), іннервуються холінергічними симпатичними нервами, медіатором яких є ацетилхолін. **Апокрінові залози** розташовані на долонях рук, підшвах ніг, ділянці лобка. Вони іннервуються адренергічними симпатичними волокнами і виділяють піт, багатий органічними компонентами. Секреторна діяльність апокрінових залоз активізується переважно при емоційному збудженні людини – **психогенне потовиділення** (рис. 5.12, Б).



**Рис. 5.12. Регуляція потовиділення:** Ах – холінергічні впливи; К – кора мозку; ЦГт – центр терморегуляції з терморецепторами в гіпоталамусі; Гф – гіпофіз; Дм – довгастий мозок; См – спинний мозок; Кс – кровоносні судини; Шк – шкіра; Гл – симпатичні ганглії; На – норадреналін

Причинами психогенного потовиділення є емоційні переживання (гнів, страх, біль), розумове перенапруження, дія неадекватних подразників, які самі по собі не впливають на температуру тіла людини.

Психогенне потовиділення характеризується коротким латентним періодом активізації потових залоз («від страху виступив холодний піт»). Емоційний піт більш холодний. Це пояснюється звуженням кровоносних судин шкіри в умовах емоційних переживань. При цьому зменшується кровопостачання і знижується температура шкіри. Поєднання термічного і психічного потовиділення спостерігається при виконанні фізичної роботи.

Термічне потовиділення завжди активується при підвищенні температури навколишнього повітря і після надходження в організм великої кількості рідини, особливо гарячих напоїв. Упродовж доби утворюється від 300 до 1000 мл поту, в умовах спеки і напруженої фізичної роботи – 6-7 л і більше.

### **33. Який механізм секреції поту?**

Потова залоза складається з власне залози, яка розташована в субдермальному шарі шкіри, і вивідної протоки. В залозі проходять процеси первинної секреції поту, а у вивідній протоці – процеси адсорбції і виведення поту на поверхню шкіри. Секрет потових залоз має склад, подібний до складу плазми крові, проте в ньому відсутні білки. В первинному поті знаходиться близько 140 мЕ/л Натрію і 105 мЕ/л Хлору. Проходячи по вивідній протоці, ці іони, як і вода, активно адсорбуються.

Рівень йонів  $\text{Na}^+$  і  $\text{Cl}^-$  в кінцевому поті залежить від інтенсивності потоутворення. При інтенсивному потовиділенні піт містить в собі збільшену кількість не лише Натрію і Хлору, а й сечовини (до 4-ох разів більше, ніж у плазмі) і Калію (до 1,2 рази більше, ніж у плазмі). В спекотних умовах упродовж доби організм може втратити до 10 л води, 20-30 г  $\text{NaCl}$  і значну кількість Калію. Недостатнє надходження вказаних йонів з їжею може спричинити їх дефіцит в організмі з непередбачуваними наслідками.

#### **34. Які є типи шкіри?**

Шкіра може бути нормальною, сухою або жирною. Для визначення типу шкіри, завчасно заготовлені серветки ретельно притискають до лоба, висків, носа, щік та інших ділянок тіла. Отриманий відбиток розглядають під лупою. Навіть у однієї і тієї ж людини, на різних ділянках обличчя, шкіра може бути віднесена до різних типів.

**Суха шкіра** – лущиться, оскільки сальні залози виділяють недостатню кількість шкірного жиру. **Жирна шкіра** має великі пори та виділяє надмірну кількість шкірного жиру. Через епідерміс шкіри можуть всмоктуватися жиророзчинні речовини, через волосяні фолікули – водорозчинні, що використовується косметологами для покращення живлення шкіри (креми, маски тощо).

#### **35. Чому жир, який виробляється шкірними залозами, час від часу належить видаляти?**

Щоб видалити жир, жирну шкіру миють частіше. Разом з жиром видаляється бруд, що пристав до шкіри. Бруд закриває шкірні пори, при цьому внаслідок нагромадження продуктів сальних і потових залоз змінюється кислотно-лужна рівновага шкіри (вона стає менш кислою), створюються сприятливі умови для розмноження патогенних мікробів. Після миття шкіри з милом, шкіра втрачає жир, проте не на довгий час, оскільки миття стимулює роботу сальних залоз. Свіжі порції жиру мають кислу реакцію, це сприяє розвитку корисних мікробів (білий стафілокок), які є антагоністами гнильних мікробів.

#### **36. Які механізми забезпечують регуляцію потовиділення?**

У регуляції потовиділення безпосередню участь бере спинний мозок (потові залози окремих ділянок тіла іннервуються відповідними сегментами спинного мозку). Термопоздрознення невеликої ділянки шкіри (правої руки) викликає секрецію потових залоз не лише цієї руки, але і всього тіла. Це вказує на поширення збудження в ЦНС при потовидільному рефлексі, як в межах даного сегменту спинного мозку, який іннервує дану ділянку шкіри, так і в межах інших, поряд розташованих, сегментів.

## **5.5. ВОДНО-СОЛЬОВИЙ БАЛАНС І ПИТНИЙ РЕЖИМ ЛЮДИНИ В УМОВАХ ФІЗИЧНИХ І ТЕПЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ**

**37. Як впливає температурний чинник на підтримання динамічної рівноваги процесів обміну між інтерстиціальним і судинним просторами?**

Найменшою молекулою білка, що знаходиться в значних концентраціях у крові і в значно менших – у тканинній рідині, є молекула альбуміну (молекулярна маса 65000). В нормі стінка капілярів малопроникна для альбуміну, тому концентрація цього білка в крові є найбільш важливим фактором, який протистоїть загальному гідростатичному тиску. В артеріальному відділі капілярів загальний тиск крові становить близько 30 мм рт.ст. Він складається із суми гідростатичного і колоїдно-онкотичного (КОТ) тисків, при чому на частину КОТ припадає близько 20 мм рт. ст. Переважаючий «фільтраційний» тиск (різниця між загальним тиском крові і КОТ) буде позитивним (10 мм рт. ст.) і направленим із просвіту капіляра, що покращує інфільтрацію води і кристалоїдів.

У венозному сегменті капілярів гідростатичний тиск знижується, а КОТ залишається попереднім, в результаті відбувається зворотня фільтрація кристалоїдів в плазму. Таким чином, у комфортних фізіологічних умовах підтримується динамічна рівновага щодо обміну рідини між інтерстиціальним і судинним просторами, яка може зсуватись в той чи інший бік в залежності від температури навколишнього середовища.

**38. Які фізіологічні механізми забезпечують підтримання водно-сольового балансу організму людини в умовах виконання фізичної роботи?**

Одним з найбільш істотних наслідків надмірного потовиділення, викликаного м'язовою роботою в умовах підвищеної температури і вологості повітря, є порушення водно-сольового балансу організму. Перш за все спостерігається розвиток гострої дегідратації

(зневоднення), та змінюється вміст електролітів у внутрішньому середовищі організму.

Фізіологічні механізми підтримання нормального водно-сольового балансу в організмі багатогранні. Зменшення вмісту води в крові при виконанні фізичних навантажень призводить до підвищення в ній концентрації електролітів та інших речовин. Як наслідок, зростає осмотичний тиск плазми крові. Осмолярність плазми крові зростає також завдяки виходу в кров низькомолекулярних продуктів обміну та йонів Калію з активних м'язових клітин. При цьому, частина рідини переміщується з міжклітинних просторів в судини. В міру розвитку термічної дегідратації (на відміну від робочої) обсяг плазми невпинно зменшується.

Виконання людиною тривалих фізичних навантажень в умовах високої температури повітря може призвести до виражених порушень водно-сольового обміну і терморегуляцій з небажаними наслідками (виникнення судом, втрата свідомості тощо).

**39. Розрахуйте величину утвореної в організмі ендогенної води, якщо на виконану роботу було витрачено 100 г м'язового і 50 г печінкового глікогену.**

Додатковим джерелом води для людини, яка виконує інтенсивну фізичну роботу в спекотних умовах є так звана ендогенна вода. Оскільки при розпаді 1 г глікогену виділяється 2,7 мл ендогенної води, то при розпаді 150 г глікогену (50 г + 100 г) утвориться 405 мл води (150 г • 2,7 мл).

**40. Які є різновиди дегідратацій організму людини?**

Розрізняють термічну, робочу і терморобочу дегідратацію (зневоднення). **Термічна дегідратація** обумовлена перебуванням людини в умовах підвищеної температури навколишнього повітря; **робоча дегідратація** виникає внаслідок виконання тривалої та інтенсивної м'язової роботи; **терморобоча дегідратація** є наслідком виконання фізичної роботи в спекотних умовах. Різні форми дегідратації викликають неоднакові зміни функціонального стану окремих тканин і систем організму.

Значна робоча дегідратація (втрати води 6-8% від маси тіла) розвивається лише при виконанні тривалої і досить інтенсивної фізичної роботи, особливо якщо ця робота виконується в умовах підвищених температур і вологості повітря – перехід робочої дегідратації в терморобочу). При такому зневодненні особливо виразно знижується фізична працездатність.

Вчені вважають, що підтримання температури в межах норми для організму більш важливе, ніж збереження води. В умовах дегідратації, внаслідок порушень механізмів терморегуляції, відбувається зростання температури тіла до 40-41°C. За таких умов, при виконанні дозованого навантаження у зневоднених осіб (втрата 3-4% маси тіла) зростання температури тіла завжди більш високе, ніж у осіб з меншим відсотком дегідратації. Таким чином, чим вищий рівень дегідратації, тим більш виразне зростання температури тіла під час роботи.

#### ***41. Які можливі негативні наслідки терморобочої дегідратації?***

Негативним наслідком дегідратації є виразне зменшення обсягу плазми крові. При робочій дегідратації з втратою 4% маси тіла обсяг плазми крові зменшується на 16-18%. Відповідно знижується обсяг циркулюючої крові. Як наслідок, зменшується надходження венозної крові до серця, знижується систолічний обсяг кровообігу, зростає ЧСС. Іншим наслідком зменшення обсягу плазми крові є гемоконцентрація із зростанням гематокриту і в'язкості крові. Усі ці чинники призводять до збільшення навантаження на серце і знижують продуктивність його роботи.

#### ***42. Яким повинен бути водно-сольовий режим людини, що виконує інтенсивну фізичну роботу в спекотних умовах?***

Питний режим людини повинен регулюватись з врахуванням характеру роботи, складу харчового раціону та температурних умов діяльності. Необхідно пам'ятати, що як недостатнє так і надмірне споживання води шкідливе для здоров'я. Потреба організму у воді значно зменшується, якщо замість звичайної води приймати натуральні овочеві або фруктові соки розбавлені водою. В такій, збагачений біологічно активними речовинами, мікро- і макроелементами



рідині, присутні усі речовини, необхідні для нормального перебігу процесів обміну. Використання розбавлених рослинних соків знижує відчуття спраги, попереджує виникнення м'язових судом, прискорює перебіг відновних процесів після напруженої роботи. Доцільність споживання рослинних соків, розбавлених водою, значно зростає після виконання інтенсивних і тривалих навантажень із значним потовиділенням.

Надмірне споживання води значно збільшує навантаження на серце, посилює потовиділення і відчуття спраги через втрату NaCl, який затримує воду в тканинах. Після фізичної роботи розбавлені соки необхідно пити невеликими порціями, адже велика кількість випитої за один прийом води, сприятиме зменшенню осмотичного тиску крові. Відновлення водно-сольового балансу, після значних втрат води та солей, повинно проходити поступово, упродовж тривалого часу.

Якщо втрати поту людиною в спекотних умовах упродовж доби не перевищують 3 л, то відновлення втрат Натрію, Хлору, Калію повністю забезпечується звичайним харчовим раціоном. При більш значних добових втратах поту (4-6 л) необхідно додатково приймати 5-15 г натрій хлориду. В умовах інтенсивної роботи з рясним потовиділенням потреба організму у негайному відновленні води більша, ніж у відновленні електролітів.

#### ***43. Що необхідно знати людині, яка вирішила позбутися зайвої маси тіла методом форсованої термічної дегідратації?***

Фізіологічний механізм позбавлення зайвої маси тіла з допомогою форсованої термічної дегідратації (лазні) полягає у активізації окисних процесів, значному посиленні потовиділення. Висока ефективність дегідратуючої терапії для повних людей зумовлена її специфічною дією на водно-електролітний обмін.

Недостатнє прийняття води в умовах значної дегідратації організму (після сауни, інтенсивних фізичних навантажень) може викликати затримку кінцевих продуктів білкового обміну в організмі, сприяти утворенню каміння в нирках, активізувати процеси згортання крові (тромбоутворення). Досить часто наднормове відновлення

втраченої води, зумовлюючи посилене виведення солей з організму, призводить до порушень діяльності нервової системи, дратівливості, судом литкових м'язів і навіть приступів «тропічного психозу». За таких умов зменшується сечоутворення і сечовиведення, збільшується питома вага сечі.

Таким чином, оскільки форсована дегідратація призводить до порушень обміну речовин, необхідно практикувати поступову і м'яку дегідратаційну терапію, при якій зміни процесів обміну менш виразні. Використання сауни як засобу дегідратації і оздоровлення необхідно регламентувати, не допускаючи надмірних втрат води, особливо особам, які користуються саунотерапією вперше.

З метою посилення дегідратаційного ефекту, що сприяє позбавленню від зайвої маси тіла, після термокамери лазні не слід охолоджуватись в басейні або під холодним душем. Холодові процедури рефлекторно гальмуватимуть потовиділення.

Щоб посилити потовиділення після термокамери, бажано облитись теплою (гарячою), а не холодною водою, одягти халат або тепло вкритись, 20-30 хвилин пасивно відпочити. Перед наступним відвідуванням термокамери приймають теплий душ і витираються насухо. Для більш глибокого прогрівання доцільно користуватися віником з берези, дуба тощо. Враховуючі інерцію процесів теплорегуляції, відвідування термокамери лазні повинно бути обмежене в кількості і тривалості. Це дозволить без особливих вольових напружень і перевантажень на серце досягти естетично-оздоровчого ефекту.

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, лимонником китайським тощо. Корисно додавати в чай м'яту, звіробій, листя смородини, плоди шипшини. Замість чаю можна випити мінеральну воду, хлібний квас, розведений водою овочевий або фруктовий сік тощо.

Незначне зниження маси тіла з допомогою чинників лазні проходить для людини без негативних наслідків. До більш великих втрат маси тіла необхідно підходити обережно і ретельно готуватись.

## РОЗДІЛ VI

### ФІЗІОЛОГІЯ СИСТЕМИ КРОВІ

#### ТЕМА 1. ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПЛАЗМИ І ФОРМЕНІХ ЕЛЕМЕНТІВ КРОВІ

##### 1.1. ПОНЯТТЯ ПРО ВНУТРІШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ ОРГАНІЗМУ І ЙОГО ПОСТІЙНІСТЬ. ФУНКЦІЇ КРОВІ

*1. Що входить до складу внутрішнього середовища організму? Гомеостаз – обов'язкова умова повноцінної життєдіяльності організму.*

Існування живого організму неможливе без зовнішнього середовища. Разом з тим, живий організм має своє внутрішнє середовище, яке істотно відрізняється від зовнішнього. При зміні зовнішніх умов внутрішнє середовище завжди залишається відносно постійним. Збереження цієї постійності – обов'язкова умова повноцінної життєдіяльності організму.

Для організму людини внутрішнім середовищем є кров, лімфа, тканинна (міжклітинна) і спинномозкова рідини. Від цих рідин до клітин організму надходять білки, жири, вуглеводи, кисень, гормони та інші речовини; у внутрішнє середовище клітини тканин і органів виділяють продукти своєї життєдіяльності.

Відносна динамічна постійність складу і фізико-хімічних властивостей внутрішнього середовища, як і постійність основних фізіологічних функцій організму в цілому, називається *гомеостазом* (К. Бернар, У. Кеннон).

Підтримання постійності внутрішнього середовища (осмотичного і онкотичного тисків, концентрації іонів Натрію, Калію, Кальцію, Хлору, глюкози, концентрації йонів Гідрогену тощо), забезпечується регуляторною діяльністю нервової і гуморальної систем, механізмами саморегуляції обміну речовин, діяльністю систем кровообігу, дихання і виділення. Важлива роль в підтриманні гомеостазу відіграє імунна система організму. До її складу входить селе-

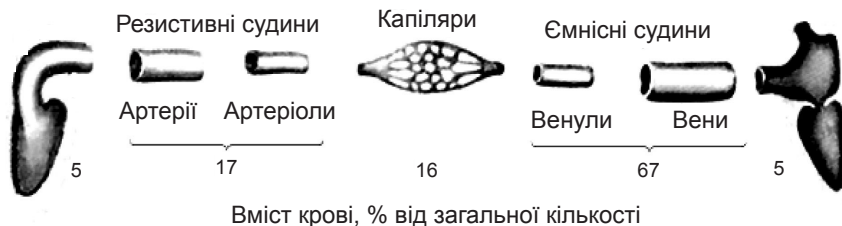
зінка, тімус, кістковий мозок, лімфатичні вузли, а також спеціальні клітини, розташовані по всьому організму.

**2. Загальна кількість крові в організмі юнака – 7% від маси тіла. Скільки літрів крові циркулює в кровеносних судинах юнака вагою 70 кг в стані спокою і при виконанні інтенсивного фізичного навантаження?**

В умовах спокою тільки частина крові циркулює в кровеносних судинах, решта знаходиться в депо (селезінка, шкіра, легені, печінка). Депонування крові забезпечує економність діяльності серця в умовах спокою.

Обсяг циркулюючої в судинах крові (ОЦК) є однією з констант організму. Разом з тим ОЦК залежить від віку, статі, функціональних особливостей конкретної людини. Так, у дорослих чоловіків ОЦК становить близько 7% маси тіла, у жінок – 6%, у спортсменів – до 10% маси тіла.

Загальна кількість крові в організмі юнака – 7% від маси тіла, тобто 4,9 л ( $70 \text{ кг} \cdot 7\% : 100\%$ ). В стані спокою в кровеносних судинах юнака циркулює близько 45% крові від загальної її кількості, що становитиме 2,46 л ( $4,9 \text{ л} \cdot 45\% : 100\%$ ). Депонування крові є важливим механізмом, який забезпечує економну роботу серця в умовах спокою. При виконанні напруженої фізичної роботи майже вся депонована кров стає циркулюючою. Цим досягається значна активізація функцій киснезабезпечуючих систем. Таким чином, в умовах фізичної роботи кількість циркулюючої по кровеносним судинам крові, може зростати на 55% ( $100\% - 45\%$ ). Загальна схема розподілення крові в системі кровообігу подано на рис. 6.1.



**Рис. 6.1. Розподілення крові в системі кровообігу**

3. Яке співвідношення плазми і формених елементів в крові 17-річного юнака (гематокріт – 45%), і у дівчини такого ж віку (гематокріт – 40%)? Зміни гематокріту при фізичних навантаженнях.

Кров – непрозора червона рідина. Вона складається з плазми і формених елементів – еритроцитів, тромбоцитів, лейкоцитів (рис. 6.2).

**Гематокріт** – відношення обсягу формених елементів крові (в %)

до її загального обсягу. Отже, при гематокріті 45%, співвідношення формених елементів і плазми крові у юнака – 45% і 55%, при гематокріті 40 (у дівчини) – 40% і 60% відповідно. Величина гематокріта майже повністю залежить від концентрації в крові еритроцитів, обсяг яких близько 99% усіх формених елементів крові.

Під час виконання фізичної роботи частина плазми крові переходить через стінки капілярів судинного русла в міжклітинну рідину

працюючих м'язів. За таких умов об'єм циркулюючої крові зменшується – **гіповолемія**. Оскільки формені елементи залишаються у кровоносному руслі, гематокріт підвищується. Це явище називають **робочою гемоконцентрацією**.

4. Які інгредієнти належать до сухого залишку плазми крові людини? Функції білків плазми і небілкових азотовмісних сполук.

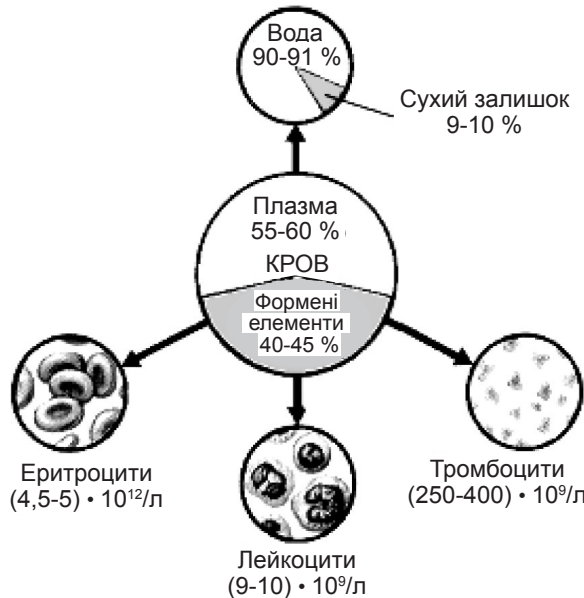


Рис. 6.2. Склад крові людини

Плазма крові – напівпрозора рідина, жовтуватого кольору з питомою вагою 1025. Плазма крові містить близько 91% води і 9% сухого залишку. Вода плазми, поряд з іншими інгредієнтами, постійно обновлюється (за 1 хв обмінюється близько 70% всієї води плазми). Обмін води між плазмою і міжклітинною рідиною проходить в мікроциркуляторному відділі судинної системи; міжклітинна вода, в свою чергу, інтенсивно обмінюється з внутрішньоклітинною.

Основним компонентом сухого залишку плазми є білки, в крові дорослої людини їх близько 8%. Більше половини білків плазми приходить на альбуміни (4,5-5,0 г%). Ці резервні білки крові виконують 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%). Їхні функції багатогранні: з гама- і бета-глобулінів, у відповідь на проникнення в організм чужорідних білків (антигенів), синтезуються специфічні речовини імунітету – антитіла; фібриноген, протромбін і антигемофільний глобулін (фактор VIII) – глобуліни плазми, що беруть участь у згортанні 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 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, підтримують активну реакцію крові, забезпечують регулювання 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.

У плазмі знаходиться близько 20-40 мг% небілкових азотовмісних сполук білкового обміну (амінокислоти, сечовина, сечова кислота, креатин тощо), 1 г% мінеральних речовин (переважно катіонів Натрію, Калію, Кальцію, аніонів Хлору, бікарбонату та ін.), які забезпечують відносну постійність осмотичного тиску і активну реакцію крові, 100-120 мг% глюкози, близько 0,1-1% жирів і жиरो-

подібних речовин, 200-250 мг% холестерину, 10-30 мг% молочної кислоти, ряд катіонів. Є тут також значна кількість ферментів, що беруть участь в окисно-відновних процесах (оксидази, пероксидази), в процесах згортання крові (протромбін), розчинення згустку крові (фібринолізин), розщеплення вуглеводів і жирів.

### **5. У чому відмінність плазми крові від сироватки крові?**

Плазма з якої видалений фібриноген, називається **сироваткою**. Цільна кров без фібриногену, називається **дефібринованою**. До їх складу входять формені елементи і сироватка. Отже плазма крові відрізняється від сироватки тим, що в ній є розчинний фібриноген, а в сироватці його немає.

### **6. Які функції виконує кров?**

Переважна більшість функцій крові пов'язана з її рухом в системі кровоносних судин. Складовими транспортної функції крові є: 1) дихальна – перенесення кисню від альвеол легень до тканин, а вуглекислого газу – від тканин до легень; 2) живильна – транспорт поживних речовин до тканин організму; 3) екскреторна – транспорт продуктів обміну (аміаку, сечовини та ін.), надлишку солей і води до органів виділення (нирок, легень, кишечника); 4) регуляторна – транспорт гормонів та інших біологічно активних речовин, з допомогою яких забезпечується гуморальна регуляція функцій; 5) терморегуляторна – розподіл тепла, що утворюється в процесі метаболізму, і його виділення в довкілля через поверхню шкіри та легень; 6) гомеостатична – завдяки руху крові досягається динамічна постійність внутрішнього середовища і стабільність основних фізіологічних функцій; 7) захисна – пов'язана з фагоцитарною активністю лейкоцитів та синтезом специфічних антитіл лімфоцитами.

У забезпеченні транспортної функції крові важливу роль відіграють її реологічні властивості – текучість (здатність до руху). Текучість в значній мірі залежить від в'язкості крові. Зниження в'язкості крові людей важкої фізичної праці, пов'язаної із загальною витривалістю є необхідною передумовою ефективного киснезабезпечення клітин. Основні гомеостатичні константи крові людини подані в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

## Основні гомеостатичні константи крові людини

Кількість крові	1% маси тіла
Вода	90-91%
Щільність	1,056-1,060 г/см <sup>3</sup>
В'язкість	4-5 ум. од. (щодо води)
pH	7,35-7,45
Загальний білок (альбуміни, глобуліни, фібриноген)	65-85 г/л
Катіони: Na <sup>+</sup>	1,8-2,2 г/л
K <sup>+</sup>	1,5-2,2 г/л
Ca <sup>2+</sup>	0,04-0,08 г/л
Осмотичний тиск	7,6-8,1 атм. (768,2-818,7 гПа)
Онкотичний тиск	25-30 мм рт. ст. (3,325-3,99 гПа)
Показник депресії	-0,56°C

**7. Поняття онкотичного тиску. Чому при повному голодуванні, як і при тривалому недоїданні, особливо білковому, у людей виникають набряки?**

Концентрація електролітів в плазмі крові і тканинній рідині в умовах спокою однакова. Це обумовлено легкістю проходження електролітів 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 концентрації білків в плазмі крові і в тканинній рідині. Та частина колоїдно-осмотичного тиску плазми крові, що зумовлена наявним вмістом в ній білків, переважно альбумінів, називається **онкотичним тиском**. Його величина близько 25 мм рт. ст.

Неоднакова концентрація білків в плазмі крові і в тканинній рідині створює ту різницю колоїдно-осмотичного тиску, яка визна-



чає дифузію молекул води з міжклітинної рідини в капілярне русло. Тому вміст білків у крові є визначальним чинником загального обсягу плазми крові.

Зменшення (відсутність) надходження білків в організм, з яких синтезуються білки плазми крові, призводить до зниження онкотичного тиску крові. Білки крові утримують воду в кровоносному руслі і сприяють надходженню води з тканин в кров. В умовах білкового голодування, внаслідок зменшення онкотичного тиску крові, значна частина рідини переходить в тканини, що і спричиняє утворення набряків.

**8. Які штучні розчини називаються ізотонічними, гіпер- і гіпотонічними? Поняття осмотичного тиску крові.**

Важливою гомеостатичною константою крові є постійність її осмотичного тиску. Якщо два розчини різної концентрації розділити напівпроникною мембраною, яка здатна пропускати тільки розчинник (воду), то він буде проникати з менш концентрованого розчину в більш концентрований. Сила, яка обумовлює рух води через напівпроникну мембрану, називається **осмотичним тиском**.

Осмотичний тиск крові, лімфи і міжклітинної рідини є важливим чинником, що забезпечує обмін води між кров'ю і клітинами. Середня величина осмотичного тиску крові людини – 7,3 атм. Близько 95% його величини, від загальної величини осмотичного тиску, припадає на долю неорганічних електролітів і перш за все натрій хлориду. Величина осмотичного тиску цитоплазми еритроцитів й інших клітин тіла така ж, як і оточуючих їх рідин. В підтриманні постійності 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. Розчин, який має більший осмотичний тиск, ніж кров, називають **гіпертонічним**. Розчин, концентрація солей в якому менша, ніж в крові, називається **гіпотонічним**. Ізотонічним розчином щодо крові людини є 0,9% розчин натрій хлориду.

**9. Що належить розуміти під кислотно-лужним гомеостазом? Які величини активної реакції (рН) характерні для артеріальної крові, венозної крові і міжклітинної рідини?**

Як і всі водні розчини, кров містить в собі водневий ( $H^+$ ) і гідроксильний ( $OH^-$ ) йони. Співвідношення концентрацій цих йонів визначає активну реакцію крові (рН). Постійність рН крові має важливе значення для перебігу ферментативних реакцій і є однією з найбільш важливих гомеостатичних констант внутрішнього середовища організму.

Показник активної реакції (рН) артеріальної крові в нормі – 7,40, венозної – 7,35, міжклітинної рідини – 7,20. Відмінності показників активної реакції артеріальної і венозної крові зумовлені постійним перебігом в клітинах організму окисно-відновних реакцій та виділенням у внутрішнє та зовнішнє середовище кислих продуктів обміну, зокрема вуглекислоти, молочної, піровиноградної та інших кислот. У міжклітинній рідині кислих продуктів обміну найбільше, а тому і кислотність тут найвища (7,20), кислотність артеріальної крові, звільненої в легенях від вуглекислоти, дещо нижча – 7,40.

**10. Як змінюється кислотність крові при виконанні фізичних навантажень?**

У процесі життєдіяльності організму в кров постійно надходять речовини, які можуть істотно змінювати її активну реакцію. Це молочна і піровиноградна кислоти (продукти анаеробного гліколізу в клітинах), фосфорна і сірчана кислоти (продукти окиснення 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 зростає до 350 мг%, при цьому рН крові нерідко може знижуватися до 6,8. У фізично натренованих осіб, в порівнянні з ненатренованими, при виконанні стандартної роботи циклічного характеру зрушення кислотно-лужної рівноваги крові завжди менш виразні, а при виконанні максимально напруженої і тривалої роботи – більш виразні. При тривалій роботі зниження рН крові (*метаболічний ацидоз*) у фізично підготовлених осіб розви-

вається значно пізніше, що є наслідком більшої буферної ємності їхньої крові.

**11. Які механізми крові забезпечують підтримання її активної реакції? Чому людям, які втратили значну кількість крові, не варто зловживати споживанням кислої їжі?**

Підтримання активної реакції крові на відносно постійному рівні досягається завдяки дії буферних систем крові, а також діяльності легень (виділення вуглекислоти), нирок і шлунково-кишкового тракту, через які з організму видаляються надлишки кислот і лугів.

Буферні властивості притаманні розчинам, що містять в собі слабку кислоту та 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 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 крові в кислий або в лужний бік зменшується.

У крові функціонує чотири основні буферні системи: **бікарбонатна** ( $\text{H}_2\text{CO}_3 - \text{NaHCO}_3$ ), **фосфатна** ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4 - \text{Na}_2\text{HPO}_4$ ), **гемоглобінова** і буферна система білків плазми крові. Найбільш важливою із буферних систем є бікарбонатна і гемоглобінова.

Здатність буферних систем нейтралізувати кислі продукти метаболізму зумовлена **лужним резервом крові** (ЛРК). У фізично підготовлених осіб ЛРК значно більший, ніж у не підготовлених. ЛРК значно зростає у осіб, що виконують навантаження витривалісного характеру.

Споживання переважно кислої їжі сприяє зниженню ємності буферних систем крові, особливо гемоглобінової. Вичерпання лужного резерву за таких умов може спричинити підвищення концентрації водневих йонів з наступним підвищенням кислотності крові.

**12. Які особливості складу і фізико-хімічних властивостей крові характерні для дітей?**

Однією з найважливіших особливостей системи кровотворення у дітей раннього віку є функціонування майже всього кісткового

мозку. Починаючи з четвертого року життя відбувається поступове переродження кісткового мозку в жировий. Повністю цей процес завершується у віці 14-15 років. У періоді статевого дозрівання кровотворення відбувається лише в червоному кістковому мозку губчастої речовини тіл хребців, ребер і грудини.

Кількісні і якісні вікові відмінності крові добре виражені лише в перші роки постнатального розвитку; у дітей віком старших року величини більшості гематологічних показників такі ж, як і у дорослих осіб. Найпізніше в підлітковому періоді встановлюється кінцева (характерна для дорослих) величина співвідношення окремих форм лейкоцитів. У крові дітей віком до 5-6 років міститься менше нейтрофілів, ніж у крові дорослих.

У плазмі крові дітей менший вміст білків, ніж у дорослих. Починаючи з другого місяця життя, кількість білків плазми крові починає неухильно зростає, досягаючи нормативних величин дорослих у віці 3-4-ох років.

Існують певні відмінні особливості співвідношення окремих білкових фракцій у дітей і підлітків, у порівнянні з дорослими. Так, у новонароджених спостерігається більш високий рівень гамаглобулінів і альбумінів, що, ймовірно, зумовлено здатністю гамаглобулінів проникати через плацентарний бар'єр. Рівня дорослих гамаглобуліни досягають у віці 2-3-ох років.

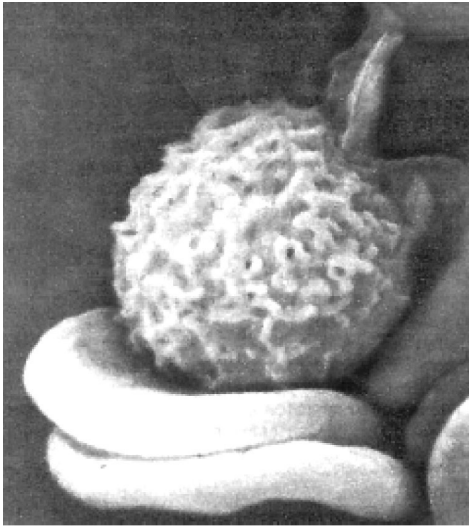
## **1.2. ФУНКЦІОНАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЕРИТРОЦИТІВ І ГЕМОГЛОБІНУ. ЗМІНИ КИСНЕВОЇ ЄМНОСТІ КРОВІ ПРИ ФІЗИЧНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ**

*13. Які морфофункціональні особливості характерні для еритроцитів людини? Нормативні величини вмісту еритроцитів у крові чоловіків та жінок.*

**Еритроцити** – це високоспеціалізовані без'ядерні клітини, головною функцією яких є 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 (рис. 6.3). Така форма еритроцитів збільшує площу їх поверхні в порівнянні з круглою в 1,63 рази. Сумарна поверхня усіх еритроцитів крові близько 3800 м<sup>2</sup>, що в 1500 разів перевищує площу поверхні тіла.

У структурі еритроцитів розрізняють строму (остов) клітини і оболонку, яка складається з чотирьох шарів – два шари білку і



*Рис. 6.3. Лейкоцит і два еритроцити в полі зору скануючого мікроскопа*

два фосфоліпідів. Оболонка еритроцитів володіє вибірковою проникністю щодо колоїдів, йонів і аніонів. Через неї легко проходять аніони  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , йони  $\text{H}^+$  і  $\text{OH}^-$  і не проходять колоїди, йони  $\text{K}^+$  і  $\text{Na}^+$ . Завдяки високій еластичності еритроцит здатний легко змінювати свою форму, що дозволяє йому легко проходити через капіляри, діаметр яких значно менший його власного діаметру.

У нормі в 1 мм<sup>3</sup> крові чоловіків міститься близько 5 млн еритроцитів, у крові

**14. При підрахунку в 80 малих квадратах сітки Горяєва знайдено 500 еритроцитів. Кров розведена в 200 разів. Розрахуйте вміст еритроцитів в даній крові.**

Розрахунок загальної кількості еритроцитів (ЗКЕ) в 1 мм<sup>3</sup> крові проводять за формулою:

$$\text{ЗКЕ} = E \cdot 400 \cdot 200 : 80,$$

де: Е – число еритроцитів в п'яти великих (80 малих) квадратах камери Горяєва; 200 – ступінь розведення крові; 400 – фактор перерахування вмісту еритроцитів з розрахунку на 1 мм<sup>3</sup> крові. Отже:

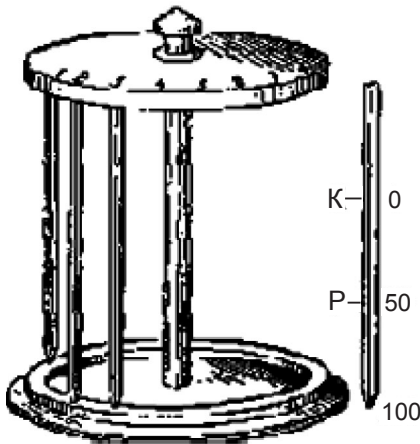
$$\text{ЗКЕ} = 500 \cdot 400 \cdot 200 : 80 = 5 \text{ млн/мм}^3.$$

**15. Які чинники впливають на швидкість осідання еритроцитів (ШОЕ)? Фізіологічні нормативи ШОЕ для осіб різного віку і статі.**

При стоянній крові в пробірці з антикоагулянтном спостерігається осідання формених елементів крові. При цьому утворюються два шари – верхній прозорий (плазма) і нижній непрозорий, темно-червоний (формені елементи). Визначення показника ШОЕ проводять у капілярах приладу Панченкова (рис. 6.4). 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.

Швидкість осідання формених елементів крові залежить від дії сил земного тяжіння, сил електростатичного відштовхування, інтенсивності накладання окремих еритроцитів один на одного

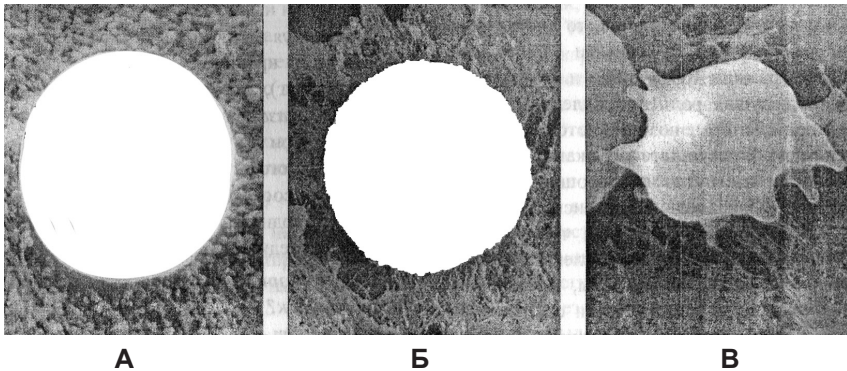
тощо. Величина електричного заряду окремих еритроцитів, а отже і швидкість їх осідання, зумовлена адсорбцією на їх поверхні білків плазми крові. Показник ШОЕ крові зростає при збільшенні в крові кількості альбумінів, фібриногену, гаммаглобулінів, еритроцитів. Значно прискорюється осідання еритроцитів при інфекційних захворюваннях, запальних процесах, вагітності (до 50 мм/год), що має важливе діагностичне значення. Зростає показник ШОЕ і при виконанні інтенсивної та тривалої м'язової роботи.



**Рис. 6.4. Прилад Панченкова для визначення швидкості осідання еритроцитів (ШОЕ)**

**16. Що станеться з еритроцитами людини, якщо їх помістити в 0,1% і 10% розчини натрій хлориду? Різновиди гемолізу.**

Якщо еритроцити помістити в 0,1% розчин натрій хлориду (гіпотонічний розчин), то вода переходить з розчину в еритроцити, вони набухатимуть і руйнуватимуться – **осмотичний гемоліз**. При внесенні еритроцитів в 10% розчин натрій хлориду (гіпертонічний розчин), вода переходить з еритроцитів в розчин і вони зморщуватимуться – **плазмоліз** (рис. 6.5). У людей високого півня фізичної підготовленості стійкість еритроцитів щодо гіпотонічних розчинів більш висока, ніж у тих, хто не займається фізичною культурою.



**Рис. 6.5. Еритроцит (скануюча мікроскопія):**

*А – еритроцит в гіпотонічному розчині; Б – інтактний еритроцит;*

*В – еритроцит в гіпертонічному розчині*

Гемоліз еритроцитів спричинений дією ефіру, хлороформу, алкоголю і інших хімічних сполук, називається **хімічним гемолізом**. Гемоліз еритроцитів, зумовлений дією отрут (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.

**17. Які особливості метаболізму гемоглобіну крові і міоглобіну м'язів характерні для осіб фізичної праці і спортсменів?**

В організмі постійно відбувається синтез і розпад гемоглобіну. Розпад еритроцитів в печінці супроводжується відщепленням заліза від простетичної групи – гему. Частина заліза після розпаду перетворюється в білірубін і стеркобілін (рис. 6.6).

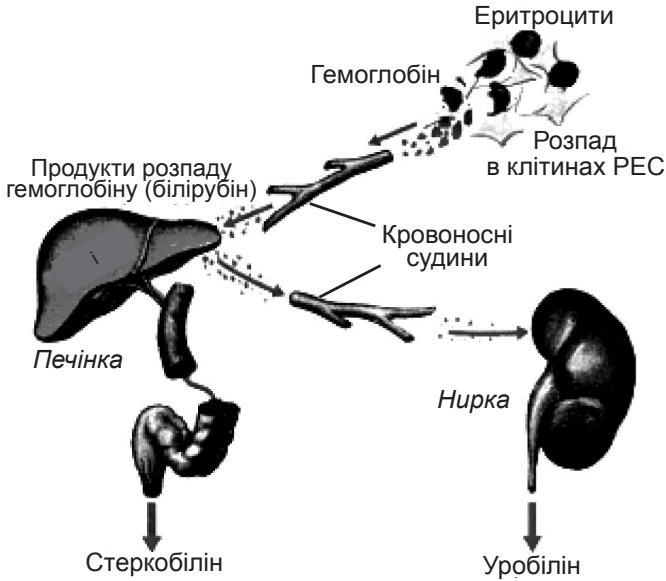


Рис. 6.6. Розпад гемоглобіну (схема)

Друга частина заліза в складі білків феритину і сидерофіліну йде в кістковий мозок для синтезу нових молекул гемоглобіну і в тканини – для дихальних ферментів. Невелика частина заліза депонується в печінці (рис. 6.7).

Концентрація гемоглобіну в крові людини, при інших рівних умовах, є непрямим показником аеробних можливостей організму. Існує тісний взаємозв'язок між загальним вмістом гемоглобіну в циркулюючій крові і максимальним споживанням кисню ( $MSO_2$ ). Він характерний як для працівників фізичної праці, так і для осіб розумових видів діяльності. Проте у перших забезпечення організму киснем досягається перш за все за рахунок збільшення обсягу крові і загального вмісту в ній гемоглобіну. Це, в значній мірі, спри-



яє збільшенню хвилинного обсягу крові без суттєвого зростання її в'язкості.

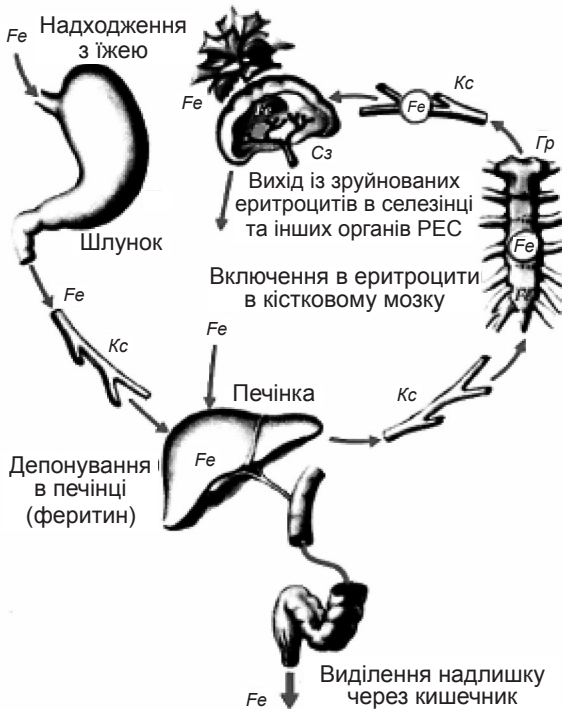


Рис. 6.7. Обмін заліза, що входить до складу гемоглобіну: Кс – кровonosні судини; Пч – печінка; Сз – селезінка; Гр – грудина; Fe – феритин

У 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. Зв'язуючи близько 14% загальної кількості кисню, який може бути присутній в організмі, міоглобін відіграє важливу роль в забезпеченні м'язів киснем, а також при напруженні, коли внаслідок великого внутрішньом'язового тиску перетискаються капіляри і порушується кровообіг в працюючих м'язах. У працівників фізичної праці вміст гемоглобіну в крові і міоглобіну в м'язах більш високий.

◇ 18. *Визначіть загальну кисневу ємність крові (КЄК) і коефіцієнт використання кисню (КВО<sub>2</sub>) у людини 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%.*

Оскільки обсяг крові досліджуваної людини становить близько 7% від маси тіла, то загальна кількість крові в її організмі – 4,9 л (7% від 70 кг). Вміст гемоглобіну в 4,9 л крові – 656,6 г (13,4 г% · 4,9 л : 0,1 л), а загальна киснева ємність – 379,80 об% (656,6 г · 1,34 мл). Коефіцієнт використання кисню (КВО<sub>2</sub>) з артеріальної крові визначається за формулою:

$$\text{КВО}_2 = \text{O}_2\text{АК} - \text{O}_2\text{ВК} : \text{O}_2\text{АК} \cdot 100,$$

де: O<sub>2</sub>АК – вміст кисню в артеріальній крові, г%; O<sub>2</sub>ВК – вміст кисню в венозній крові, г%.

КВО<sub>2</sub> = 20 об% – 10 об% : 20 об% · 100% = 50%. Отже, з артеріальної крові обстежуваної людини використовується близько 50% кисню.

19. *Які чинники впливають на зв'язування кисню гемоглобіном? Крива дисоціації оксигемоглобіну.*

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 відсоткового вмісту відновленого гемоглобіну. Крива дисоціації гемоглобіну має S-подібну форму. Плоска, верхня її частина забезпечує зв'язок кисню з гемоглобіном в легеневій тканині (в капілярах альвеол), крута – в капілярах інших тканин (звільнення гемоглобіну від кисню і перехід його з крові в тканини). Нестачу кисню в крові називають *гіпоксемією*, а в тканинах – *гіпоксією*.

Ефективність зв'язування кисню гемоглобіном залежить від рН середовища і концентрації вуглекислого газу (*ефект Бора*), що виразно проявляється в переході кисню з крові в м'язи при фізичних навантаженнях. Посилене утворення оксигеноглобіну відбувається під впливом вуглекислого газу 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 тіла на 2°C підвищує дифузію кисню на 2%. У зв'язку з цим, клітини, метаболізм яких більш високий, отримують більше кисню (споживання кисню клітинами холодних кінцівок менше, ніж клітинами працюючих органів, які мають більш високу температуру).

**20. Чому при передчасному закритті димоходу (у приміщеннях з пічним опаленням) виникає загроза отруєння мешканців будинку? Який фізіологічний механізм такого отруєння?**

При закритті димоходу різко зменшується надходження до пічки кисню. Внаслідок неповного згоряння палива утворюється чадний газ (СО). Дихання повітрям з вмістом 0,15% цього газу приводить до утворення в крові карбоксигемоглобіну. Ця стійка сполука зв'язує близько 50% гемоглобіну крові. Порушення дихальної функції крові за таких умов може спричинити летальний кінець.

Перша допомога при отруєнні чадним газом полягає у забезпеченні потерпілого чистим повітрям з достатнім вмістом кисню (використання кисневих подушок). При цьому СО поступово відокремлюється від гемоглобіну і залишає організм. При потребі (коли потерпілий не дихає і в нього не працює серце) роблять штучне дихання і закритий масаж серця.

**21. У клінічній практиці користуються показником відносного вмісту гемоглобіну в крові – відсоток гемоглобіну даної крові щодо вищої межі норми – 16,8 г%, яка приймається за 100%. Розрахуйте величину відносного вмісту гемоглобіну в крові, якщо абсолютна величина цього показника визначена методом Салі, становить 14 г%.**

Оскільки відсоток гемоглобіну даної крові, щодо вищої норми (16,8 г%), приймається за 100, то 1 г гемоглобіну відповідає 6 одиницям (100 : 16,8). Отже, відносна величина гемоглобіну при абсолютній 14 г%, становитиме 84% (14 г% · 6%).

◇ 22. Людина скаржиться на задишку, запаморочення, шум у вухах, “бігання мушок перед очима”. Дані аналізу крові були та-

**кими: вміст еритроцитів – 3,5 млн/мм<sup>3</sup>, концентрація гемоглобіну – 10 г%. Вкажіть на ймовірну причину погіршення самопочуття людини.**

Дані гематологічні показники є ознакою анемії. Зменшення в крові досліджуваного вмісту еритроцитів і гемоглобіну, зумовлюючи зниження кисневої ємності крові, спричиняє розвиток **анемічної гіпоксії** з характерними для неї ознаками: запаморочення, задуха, шум у вухах тощо. Фізіологічна норма еритроцитів крові дорослих осіб – 4,5-5 млн в 1 мм<sup>3</sup> крові, гемоглобіну – 12-14 г%, ШОЕ – 2-9 мм/год.

**23. У стані спокою в крові дорослої людини міститься 14 г% гемоглобіну, при виконанні напруженої циклічної роботи 16 г%. Розрахуйте кисневу ємність крові (КЄК) досліджуваного за даних умов і поясніть природу збільшення кисневої ємності крові при виконанні фізичної роботи.**

Один грам гемоглобіну здатний приєднати 1,34 мл кисню. Киснева ємність крові досліджуваного з вмістом 16 г% гемоглобіну становитиме 21,4 об% (16 г% · 1,34 мл), тобто внаслідок виконання фізичного навантаження КЄК зростала на 2,4 об% (21,4 об% – 19 об%). Збільшення КЄК в організмі за даних умов зумовлено переходом більш багатой еритроцитами депонованої крові в кровоносне русло.

**24. Чому кров людини червона, деяких морських черв'яків – зелена, скорпіонів, павуків і спрутів – голуба?**

Червоний колір крові людини зумовлений наявністю в еритроцитах гемоглобіну. В його складі одна молекула білка глобіну з'єднана з чотирма молекулами простетичної залізовмісної групи – гему. Відбиваючи промені червоного кольору сонячного спектра, гемоглобін, до складу якого входить двохвалентне окисне залізо, забарвлює кров у червоний колір. У деяких морських черв'яків замість гемоглобіну в крові міститься хлорокруонін з закисним залізом. Така кров має зелене забарвлення. Скорпіони, павуки, спрути мають голубий колір крові. Функцію гемоглобіну в їх крові виконує гемоціанін, що містить в собі мідь.

**25. Як впливають на гемоглобін еритроцитів сильні окисники? Особливості гемоглобіну ембріона і новонароджених.**

При дії на кров сильних окисників (бертолетова сіль, марганцевокислий калій та ін.) утворюється стійка сполука, що містить окисне трьохвалентне залізо – **метгемоглобін**. При утворенні в організмі значної кількості метгемоглобіну забезпечення тканин киснем припиняється і людина вмирає.

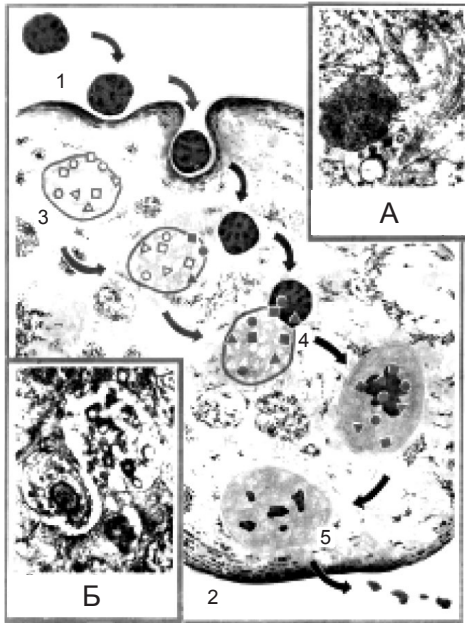
Гемоглобін ембріону і новонародженої дитини називається **фетальним гемоглобіном**. Він швидше і повніше з'єднується з киснем. У крові новонароджених кількість гемоглобіну більша, ніж у дорослих (17-24 г%), до віку одного року його вміст в крові знижується (11-12 г%) з наступним поступовим збільшенням в онтогенезі до норми дорослих (12-14 г%).

### **1.3. ФУНКЦІОНАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЛЕЙКОЦИТІВ І ТРОМБОЦИТІВ. РЕГУЛЯЦІЯ ФУНКЦІЙ СИСТЕМИ КРОВІ**

**26. Які основні функції виконують лейкоцити? Різновиди лейкоцитозу.**

Лейкоцити – безколірні ядерні клітини розміром 8-10 мкм (рис. 6.3). В 1 мм<sup>3</sup> крові людини їх міститься від 4 до 10 тисяч. Більше 50% лейкоцитів знаходиться за межами кровоносних судин. Кількість лейкоцитів в крові зростає (**лейкоцитоз**) при прийнятті їжі, особливо з великим вмістом білків (**травний лейкоцитоз**), при сильному емоційному збудженні, виконанні фізичних вправ (**міогенний лейкоцитоз**), вагітності, прийнятті гарячих і холодних ванн, а також при хронічних та інфекційних захворюваннях, лейкозах – злоякісній проліферації лейкоцитів, які втрачають здатність виконувати захисну функцію. Зменшення кількості лейкоцитів в крові (до 3-4 тис в 1 мм<sup>3</sup> крові), називається **лейкопенією**. Загальна схема гетерофагоцитозу лейкоцитів показані на рис. 6.8.

Окрім захисної функції (**фагоцитозу і синтезу антитіл**), лейкоцити стимулюють регенеративні процеси в організмі, прискорюючи тим самим загоєння ран, беруть участь в процесах руйнування



відмираючих клітин, токсинів білкового походження, мутантних клітин.

**Рис. 6.8. Схема гетерофагоцитозу:**

*А – первинна лізоосома під електронним мікроскопом (збільшена в 32000 раз); Б – вторинна лізоосома під електронним мікроскопом (збільшена в 50000 раз); 1 – збудник хвороби; 2 – лейкоцит; 3 – лізоосома з набором високоактивних ферментів; 4 – процес лізису збудника хвороби із знищенням його антигенних властивостей; 5 – виведення кінцевих продуктів лізису збудника хвороби з лейкоцита*

## **27. Що таке лейкоцитарна формула? Її діагностичне значення.**

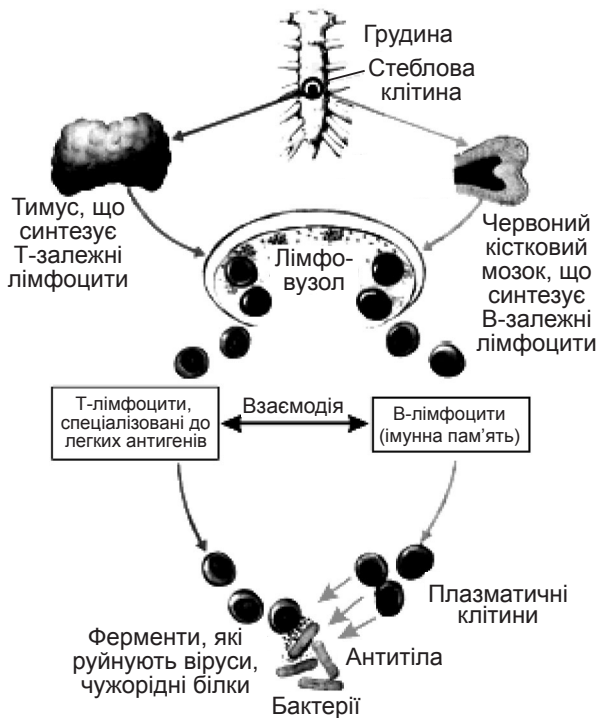
Розрізняють зернисті (гранулоцити) і незернисті (агранулоцити) лейкоцити. До гранулоцитів відносяться нейтрофіли, еозинофіли і базофіли, до агранулоцитів – лімфоцити і моноцити. Відсоткове співвідношення окремих форм лейкоцитів, називається **лейкоцитарною формулою**.

Найчисельнішими серед гранулоцитів є **нейтрофіли** – 65-75%. В залежності від фази зрілості розрізняють юні, паличкоядерні і сегментоядерні нейтрофіли. Юні нейтрофіли в крові здорових людей практично не зустрічаються, кількість паличкоядерних нейтрофілів в нормі – 3-6%, сегментоядерних – 51-67%. В кровноносних судинах нейтрофіли довго не затримуються (6-8 год) і швидко мігрують в слизові оболонки, виконуючи тут свою неспецифічну захисну функцію – руйнують бактеріальні клітини, а також продукти розпаду тканин. Основна функція **еозинофілів** (1-4%) – фагоцитоз і руйнування токсинів білкового походження. **Базофіли** (0,5% всіх лейкоцитів крові)

функціонують в кровоносних судинах близько 12 годин. Гранули базофілів містять в собі гепарин і гістамін.

До агранулоцитів крові належать лімфоцити і моноцити. На відміну від гранулоцитів, **лімфоцити** (25-30%) і **моноцити** (4-8%) не мають в собі гранулоподібних включень. Багато моноцитів у лімфатичних судинах, стінках альвеол, синусах печінки і кісткового мозку. Моноцити часто приходять на зміну нейтрофілам, активність яких в кислому середовищі зони запалення знижується.

У крові дорослої людини лімфоцитів близько 25-30% загальної кількості усіх лейкоцитів. Розрізняють **T- і B-лімфоцити**. T-лімфоцити виробляються в тимусі, B-лімфоцити – переважно в кістковому мозку, а також в лімфовузлах, мигдалинах, селезінці, апендиксі. T-лімфоцити мають здатність після першого контакту з антигеном



запам'ятовувати його на тривалий час. Взаємодіючи з B-лімфоцитами, T-лімфоцити сприяють перетворенню їх в плазматичні клітини, які починають активно виробляти специфічні імуноглобуліни – **антитіла** (рис. 6.9).

У крові підтримується відносна постійність кількісного співвідношення усіх вищезгаданих форм лейкоцитів. Кількість лейко-

Рис. 6.9. Роль лімфоцитів в реакціях імунітету

цитів та їх співвідношення змінюється при прийнятті їжі, сильних емоційних реакціях, виконанні фізичної роботи, деяких захворюваннях (діагностичне значення лейкоцитарної формули).

**28. Як змінюється лейкограма крові при запаленні? Фазовий характер перебігу запального процесу.**

На місці проникнення в організм чужорідного агента (збудника хвороби) утворюється вогнище запалення – основне місце роботи лейкоцитів. У перебігу запального процесу виділяють три фази. Спочатку розвивається **ексудативна фаза запалення**. У ній беруть участь лімфоцити і моноцити, які присутні в інфікованій ділянці тіла, а також молекули “нормальних антитіл”, переважно імуноглобуліни Е. Внаслідок дегрануляції моноцитів з виходом гістаміну, серотоніну та інших біологічно активних речовин підвищується проникність імуноглобулінів плазми крові, посилюється надходження до запального вогнища додаткових “нормальних антитіл”, лейкоцитів, білків системи комплементу. Більш швидкому проникненню лейкоцитів у вогнище збудження сприяє значне розширення судин. При нормальному перебігу запального процесу живі чужорідні клітини не проникають у лімфовузли. Якщо ж таке проникнення відбулось, то запальний процес поширюється і на лімфовузли – **лімфоденіт**.

Нагромадження у вогнищі запалення нейтрофілів, які фагоцитуючи гинуть, спричиняють утворення гною та сприяють руйнуванню тканин навколо рани.

Під час другої (**продуктивної**) фази запалення в зоні запального процесу збільшується кількість макрофагів і прискорюється утворення (проліферації) зруйнованих тканин. Гній, який не вийшов назовні, капсулюється.

У час **третьої фази запалення** проходить подальша активізація регенеративних процесів. Мікрофаги і лімфоцити знищують дефектні ділянки тканини. Наслідком незавершеності цього процесу є утворення рубця.

За сприятливих умов (при швидкому знищенні збудника хвороби) процес запалення може завершитися на початковій фазі. Якщо процес запалення йде неінтенсивно і не почалось руйнування на-



вколишньої тканини, гнійник і рубець може не утворитись. Коли процес пригашений, але не завершений, запалення може набути хронічної форми.

### 29. Які функції виконують нейтрофільні лейкоцити?

Більшість лейкоцитів крові (40-70%) належать до клітин із сегментарним ядром – це нейтрофіли. Їх діаметр близько 12 мкм. У гранулах цитоплазми нейтрофілів великий вміст високоактивних ферментів, які забезпечують високу фагоцитарну активність. Ядро складається з 3-5 сегментів, з'єднаних тонкими перешийками. В цитоплазмі, окрім органел, багато гранул глікогену. Окрім того, ней-

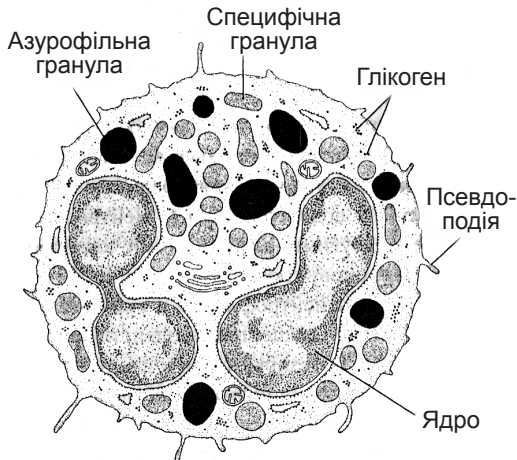


Рис. 6.10. Нейтрофіл

трофіл містить невелику кількість азурофільних гранул (спеціалізованих лізосом) і багаточисельні більш дрібні специфічні гранули (рис. 6.10).

У кровоносному руслі циркулює невелика кількість зрілих клітин. Основна їх кількість знаходиться в депо (кістковий мозок, селезінка, печінка, капіляри легень). Після утворення зрілі нейтрофіли ще

упродовж тижня залишаються в кістковому мозку. Звідси вони можуть легко виходити в кров, концентруючись навколо місця пошкодження (вогнища запалення).

Нейтрофіл, що вийшов із кісткового мозку в кров, знаходиться тут недовго – 6-8 год, тоді впродовж декількох днів знаходиться серед сполучнотканинних елементів майже всіх органів.

### 30. Що собою являють базофіли й еозинофіли? Їх функції.

**Базофіли** (0,5% лейкоцитів крові) – клітини з сегментарним ядром (рис. 6.11), діаметром 10-12 мкм. Містять в собі велику

кількість таких біологічно активних речовин, як гепарин і гістамін, брадикінін і серотонін, а також лізосомальні ферменти. Гепарин володіє протизгортальною функцією, а гістамін підвищує проникність стінок капілярів і є антагоністом гепарину щодо дії на перебіг

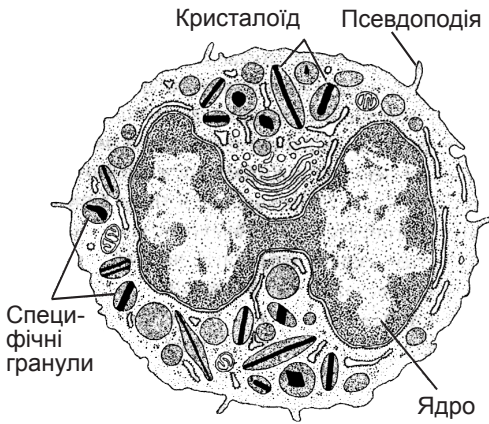


Рис. 6.11. Базофіл

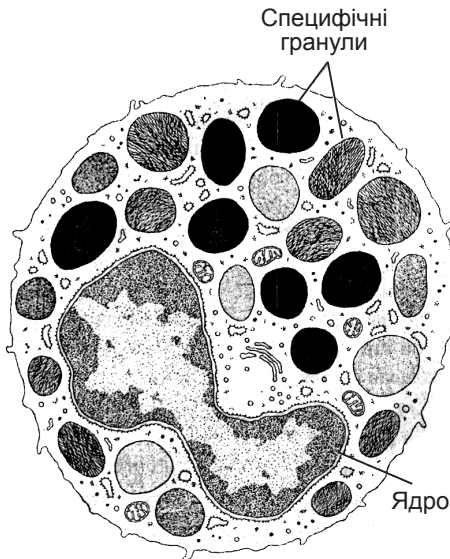


Рис. 6.12. Еозинофіл

процесів згортання крові. Окрім того, гістамін стимулює фагоцитоз, виявляє протизапальну дію на тканини.

Основна функція базофітів пов'язана з підтриманням току крові в дрібних судинах та регуляції процесів росту нових капілярів. Вони також беруть безпосередню участь в забезпеченні міграції інших лейкоцитів до місця запалення.

**Еозинофіли** складають 1-5% лейкоцитів крові. Вони мають дволопасне ядро і діаметр близько 15 мкм. Функціонально еозинофіли – це мікрофаги, проте їхня фагоцитарна активність нижча, ніж у нейтрофілів.

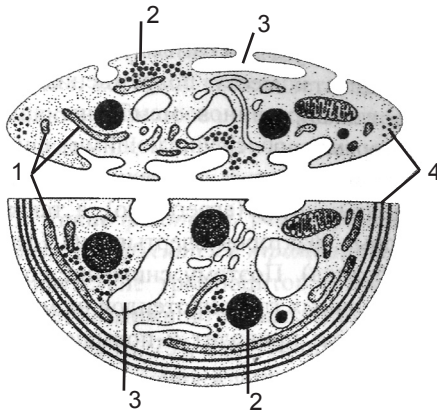
У процесі дозрівання в цитоплазмі еозинофілів утворюється два типи ферментовмісних гранул – малі і великі. Ядро еозинофіла утворює два великих сегменти, з'єднані тонким перешийком (рис. 6.12).

Специфічні функції еозинофілів пов'язані з наявністю в них хемотоксичних факторів, під впливом яких вони мігрують до місця появи невеликої кількості антигену, де проходить реакція “антиген–антитіло”.

**31. Які основні функції виконують тромбоцити крові? Їх кількість, місце утворення і руйнування.**

Тромбоцити – без'ядерні клітини діаметром 2-4 мкм. В нормі в 1 мм<sup>3</sup> крові їх близько 200-400 тис. Утворюються тромбоцити з мегакаріоцитів кісткового мозку, функціонують упродовж одного-двох тижнів, тоді руйнуються в печінці і селезінці. Володіючи здатністю прилипати до неадекватної (чужорідної) поверхні (*адгезивність*) і один до одного (*агрегація*), тромбоцити започатковують перебіг складних процесів згортання крові, утворення кров'яного згустка і його стягування (*ретракцію*). Відома також захисна (фагоцитарна) функція тромбоцитів. Зменшення в крові тромбоцитів (**тромбopenія**) веде до дрібних крововиливів в тканинах. Інколи з тієї ж

причини кров з'являється в слюзах. Загальна схема цитоскелету тромбоцита, що знаходиться в стані спокою, подана на рис. 6.13.



**Рис. 6.13. Схема цитоскелету тромбоцита, що знаходиться в стані спокою:**

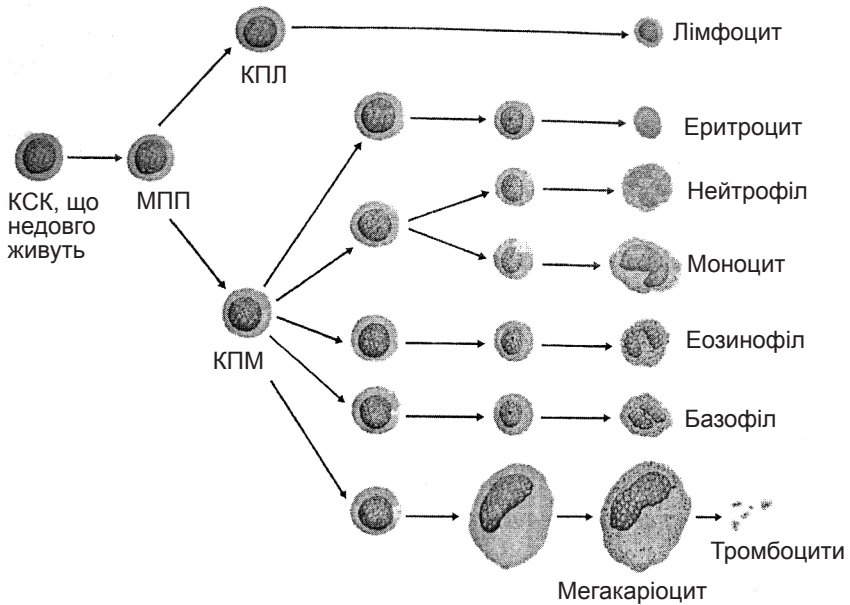
1 – трубочки густої тубулярної системи; 2 – крайові мембранні канальці; 3 – глікоген; 4 – кругові пучки мікротрубочок

**32. Що таке гемопоєз? Нейрогуморальні механізми регуляції системи крові.**

Процес утворення і розвитку клітин крові називають кровотворенням (*гемопоєзом*), утворення еритроцитів – *еритропоєзом*,

утворення лейкоцитів і тромбоцитів – *лейкопоезом і тромбопоезом*, відповідно.

Місцем кровотворення є кістковий мозок. Тут є спеціальні ділянки, в яких знаходяться мультипотентні стовбурові кровотворні клітини здатні до самовідтворення. Якщо одна клітина виходить на диференціювання, то сусідня клітина негайно ділиться, заповнюючи звільнений 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 лімфодних органах. Загальна схема розвитку клітин крові подана на рис. 6.14.



**Рис. 6.14.** *Схема розвитку клітин крові: КСК – кровотворні стовбурові клітини; МПП – мультипотентний попередник; КПЛ – клітина-попередник лімопоезу; КПМ – клітина-попередник мілопоезу*

При старінні еритроцити руйнуються (фагоцитуються) ретикулярними клітинами, гістіоцитами, мікрофагами і полінуклеарними

лейкоцитами. Еритрофагоцитоз проходить в кістковому мозку, селезінці, печінці і безпосередньо в кров'янім руслі.

Середня тривалість функціонування еритроцитів у дорослих осіб – 110-120 днів (щодоби руйнується 0,8-0,9% еритроцитів), у новонароджених – 60-80 днів. Упродовж доби у дітей руйнується близько 1,4% усіх еритроцитів. Продукти розпаду старих еритроцитів стимулюють утворення нових.

У регуляції системи крові важливу роль відіграє вегетативна нервова система. Так, при збудженні симпатичної нервової системи посилюється вихід крові з кров'яних депо, активізується гемопоєз, імпульси парасимпатичної автономної нервової системи гальмують кровотворення.

Потужним стимулятором еритропоєзу є зниження парціального тиску кисню в крові. При цьому нирки виділяють в кров нирковий фактор еритропоєзу – *еритропоєтин*. Ефективність утворення еритроцитів значно посилюється при достатньому забезпеченні організму залізом і вітамінами В<sub>2</sub>, В<sub>6</sub>, В<sub>12</sub>, аскорбіною і фолієвою кислотою. Чинниками, що стимулюють лейкопоєз є продукти розпаду лейкоцитів, тканин, мікробів, токсинів, чужорідних білків – *лейкопоєтин*. Загальна схема функціональної системи гомеостазу формених елементів крові представлена на рис. 6.15.

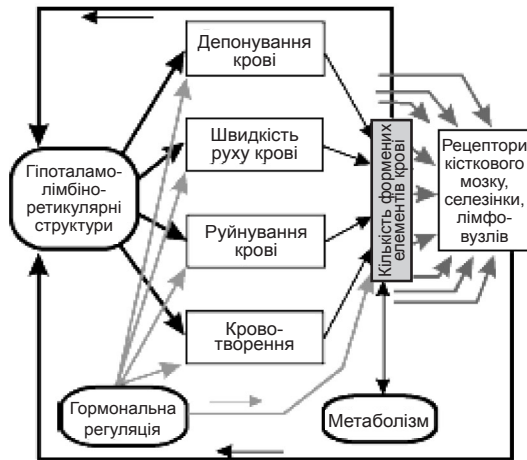


Рис. 6.15. Функціональна система підтримання кількості формених елементів крові (за К. Судаковим)

#### 1.4. ОСОБЛИВОСТІ ЗМІН СКЛАДУ І ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КРОВІ В УМОВАХ ВИКОНАННЯ ФІЗИЧНОЇ РОБОТИ

**33. Яка направленність змін кількості еритроцитів у крові людини в умовах виконання фізичних навантажень?**

При фізичних навантаженнях, а також при переміщенні людини у високі гірні райони, природжених та набутих пороках серця, опіках, сильно виражених проносах, блювоті тощо, спостерігається збільшення кількості еритроцитів в крові – *еритроцитоз*.

При недостатчі в організмі заліза, вітаміну В<sub>12</sub>, кровотечах, гемолізі, жировому переродженні печінки кількість еритроцитів в крові зменшується – *еритропенія*.

Суттєво змінюється кількість еритроцитів в крові 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 щодо еритроцитів депонованої крові. При виконанні тривалих навантажень динамічного характеру, зношуючись, еритроцити руйнуються. При цьому інтенсивність розпаду еритроцитів переважає інтенсивність їх утворення клітинами ретикуло-ендотеліальної системи. За таких умов рівень еритроцитів в крові знижується.

◇ **34. Вкажіть на кількісні і якісні зміни лейкоцитів крові людини, що виконує фізичну роботу.**

У більшості випадків, під час фізичного навантаження, кількість лейкоцитів значно зростає – *міогенний лейкоцитоз*. Його рівень визначається інтенсивністю і тривалістю роботи і протікає в три фази.

Перша фаза міогенного лейкоцитозу (*лімфоцитарна*) спостерігається при виконанні малоінтенсивних короткотривалих фізичних навантажень. Характерною особливістю цієї фази є незначний лейкоцитоз (до 10-12 тис/мм<sup>3</sup>) за рахунок збільшення кількості лімфоцитів при деякому зменшенні кількості молодих форм нейтрофілів. Друга (*нейтрофільна*) фаза лейкоцитозу виникає за умови виконання важкої тривалої роботи. Збільшення лейкоцитів у цій фазі

(до 16-18 тис/мм<sup>3</sup>) відбувається в основному за рахунок нейтрофілів при незначному зменшенні лімфоцитів (до 10-12%). Третя (**інтоксикаційна**) фаза спостерігається під час виконання довготривалої роботи великої інтенсивності. Кількість лейкоцитів у цій фазі нерідко зростає до 30-50 тис/мм<sup>3</sup>; збільшується кількість юних і паличкоядерних нейтрофілів, зникають еозинофіли, знижується вміст лімфоцитів. Робочий лейкоцитоз є наслідком активізації механізмів лейкопоезу з активним “вимиванням” лейкоцитів із їх депо – кісткового мозку, селезінки, печінки, легень).

Через лейкоцити, як через “рецепторне поле”, запускається складний механізм структурного відновлення: маркування і лізис відпрацьованих структур, утворення аутоантитіл, здатних змінювати проникність клітинних мембран і активізувати ферменти клітин тощо. Такі зміни є важливою передумовою зростання фізичної працездатності людини. Відновлення лейкоцитів після фізичного навантаження залежить від інтенсивності і тривалості виконаної роботи і може тривати до 6 діб.

**35. Виконуючи наднормативний обсяг фізичних навантажень, спортсмен скаржиться на погіршення самопочуття, підвищену втомлюваність, нестабільність настрою, порушення сну, втрату апетиту, головні болі, неприсмні відчуття в ділянці серця. Результати гематологічних досліджень були такими: вміст еритроцитів – 4 млн/мм<sup>3</sup>, кольоровий показник – 0,75, вміст гемоглобіну 10 г%. На що вказують вище зазначені показники?**

Нормативними для здоров'я людини вважаються такі гематологічні показники: вміст еритроцитів – 4,5-5,0 млн в 1 мм<sup>3</sup>, кольоровий показник – 0,9-1,1, вміст гемоглобіну 12-14 г%. Гематологічні показники обстежуваного нижчі від нормативних, що в поєднанні з суб'єктивними показниками здоров'я (погіршення самопочуття, порушення сну, втрата апетиту, зниження працездатності) вказують на розвиток стану перенатренованості, спричиненого систематичними перенапруженнями. Спортсмену належить негайно знизити інтенсивність і обсяг фізичних навантажень, більше уваги приділяти засобам, які прискорюють перебіг відновних процесів в організмі після тренувань, і, звичайно, звернутись до лікаря.

**36. Для ідентифікування крові в судово-медичній практиці користуються рядом специфічних методів. Що це за методи?**

Для виявлення крові роблять тест з утворення солянокислого гематину (до крові додають соляну кислоту). Кристали соляного гематину мають форму брусків (бісквітів). Для визначення видової приналежності крові ставлять пробу з утворенням кристалів гемоглобіну. Кров різних видів тварин має свою специфічну форму кристалів. Кристали гемоглобіну людини мають форму ромбічних призм.

**37. Відомі випадки, коли спортсменам перед відповідальними змаганнями вводили еритроцити, насичені киснем (кров'яний допінг). Які можливі негативні наслідки такого штучного збільшення кисневої ємності крові?**

Збагачення крові спортсмена перед змаганням завчасно консервованими еритроцитами сприяє зростанню кисневої ємності крові, а отже, за усіх інших рівних умов, сприятиме зростанню резервів аеробного енергозабезпечення роботи м'язів. Разом з тим, при цьому зростає обсяг крові, збільшується її в'язкість, а отже і опір руху крові по кровоносним судинам. Це може призвести до перенапруження серця з непередбаченими наслідками порушень його функцій.

**38. Яких умов треба дотримуватися людині, що має здавати кров для гематологічних досліджень?**

Кров для гематологічних досліджень необхідно здавати натще (через 12 год після прийняття їжі), за умови відсутності попереднього емоційного перезбудження, фізичного перенапруження (відновлення формених елементів крові триває 4-6 діб), прийняття збуджуючих напоїв (кави, чаю, алкоголю тощо). Після сніданку концентрація лейкоцитів в крові рефлекторно зростає (аліментарний лейкоцитоз).

**39. Показники функціонального стану системи крові у фізично підготовленої людини в стані спокою (чисельник) і після виконання максимально напруженої фізичної роботи (знаменник) були такими: киснева ємність крові (об%) – 19/25, концентрація молочної**



**кислоти в крові (мг%) – 10/300. Розрахуйте обсяг функціональних резервів у даного досліджуваного за вказаними показниками.**

Обсяг функціональних резервів (коефіцієнт резерву або рівень здоров'я) – це відношення величини досліджуваного показника при виконанні максимальної напруженої фізичної роботи до його рівня в стані спокою. Отже, коефіцієнт резерву за кисневою ємністю крові становитиме 1,3 (25:19), а за концентрацією молочної кислоти в крові – 30 (300:10) умовних одиниць.

## **ТЕМА 2. ЗАХИСНА ФУНКЦІЯ КРОВІ ТА ЇЇ АНТИГЕННІ ВЛАСТИВОСТІ**

### **2.1. СПЕЦИФІЧНІ І НЕСПЕЦИФІЧНІ МЕХАНІЗМИ ЗАХИСТУ ОРГАНІЗМУ ВІД ЗБУДНИКІВ ІНФЕКЦІЙНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ**

**1. Що таке патогенність? Які мікроби належать до патогенних?**

Усі мікроорганізми епідеміологи поділяють на три групи – сапрофіти, умовно патогенні і патогенні. **Сапрофіти** – це мікроби, які не спричиняють заразних хвороб. **Умовно патогенні мікроби** – завжди присутні в організмі, але спричиняють хворобу лише за певних умов (переохолодження, порушення санітарно-гігієнічного режиму, зниження імунної реактивності організму тощо). **Патогенні мікроби** здатні викликати інфекційні хвороби. **Патогенність** – це властивість мікробів спричинити захворювання та виділяти особливі отруйні речовини – токсини. Патогенні мікроорганізми поділяють на бактерії, віруси, рикетсії, грибки та ін.

Бактерії мають рослинну природу, вони спричиняють такі захворювання, як холера, дифтерія, чума, сибірка тощо. Рикетсії мають властивості бактерій і вірусів. Ці внутрішньоклітинні паразити здатні викликати важкі захворювання – рикетсіози (висипний тиф та інші).

**2. Що таке епідемія, пандемія і ендемія? Що вивчає наука епідеміологія?**

Процес надходження патогенних мікробів в організм і їх розмноження з наступним виникненням хвороби, називається **інфекцією**. Основною особливістю інфекційних захворювань є їхня здатність швидко розповсюджуватись серед людей. Якщо інфекційним захворюванням охоплюються великі групи людей, пов'язаних між собою ланкою зараження, говорять про **епідемію**. Розповсюдження інфекційних захворювань на цілі континенти або на всю земну кулю називається **пандемією**. Систематичне виникнення яких-небудь інфекційних захворювань на даній місцевості позначається терміном **ендемія**. Поодинокі захворювання, які виникають від випадку до випадку, називають **спорадичними**.

**Епідеміологія** – медична наука, яка вивчає причини виникнення і шляхи розповсюдження інфекційних захворювань серед населення. Її завданням є розробка заходів, направлених на попередження та лікування окремих захворювань аж до повного їх зникнення на планеті. Такою була тривала цілеспрямована боротьба лікарів усіх країн світу із збудником віспи. Потреба в щепленні проти віспи за таких умов відпала; з 1980 року в нашій країні вона не проводиться.

### **3. Які захворювання називаються спадковими і неспадковими, гострими і хронічними?**

Причиною хворобливих змін в організмі можуть бути як природні чинники довкілля (фізичні, хімічні і біологічні чинники), так і соціальні – незадовільні умови життя, праці та відпочинку. Усі вони сприяють виникненню захворювань неспадкового характеру, перебіг яких зумовлений індивідуальними особливостями (властивостями) організму. Неспадковими захворюваннями є інфекції, травми, дефекти розвитку неспадкового характеру, зокрема ті, що виникають внаслідок захворювання матері під час вагітності.

**Спадкові захворювання** пов'язані з пошкодженнями спадкового апарату клітини, вони передаються наступним поколінням. Відомо понад 1,5 тис спадкових хвороб: вроджена глухонімота, заяча губа, хвороба Дауна (поседнання розумової відсталості з грубими дефектами фізичного розвитку) та інші. Окремо виділяють **захворювання із спадковою схильністю**. Їх розвиток залежить як від спадкового

фону, так і від умов довкілля (артеріальна гіпертензія, атеросклероз, цукровий діабет, алкоголізм тощо).

Такі захворювання як кір, гострий бронхіт, гостре респіраторне захворювання, опік шкіри, переломи кісток, називають **гострими**. Вони виникають раптово і тривають відносно недовго. При неповному виліковуванні гостре захворювання може перейти в тривале – **хронічне** (інфекційний гепатит переходить в хронічне захворювання печінки, гострий бронхіт – в хронічний бронхіт тощо). Хронічними захворюваннями, як наслідок дії постійно діючих несприятливих чинників, є вади постави, короткозорість тощо.

#### **4. Які компоненти є складовими епідемічного процесу? Основні джерела інфекції і періоди перебігу інфекційних захворювань.**

Складовими компонентами епідемічного процесу є джерело інфекції, механізм передачі інфекції і сприятливе до даного захворювання населення. Джерелом тієї чи іншої заразної хвороби можуть бути хворі люди або тварини. Заразні хвороби, джерелом інфекції яких є людина, називають **антропонозами**; хвороби, джерелом інфекції яких є тварини – **зоонозами**. Джерелом інфекції можуть бути і люди і тварини, в такому випадку говорять про **антропозоонози**. Деякі заразні хвороби (черевний тиф) можуть передаватися не лише через хворих осіб, а й через осіб, які одужали, але в їхньому організмі ще є хвороботворні мікроби. Джерелом таких інфекційних захворювань як чума, туляремія, кліщовий енцефаліт є гризуни.

Виділяють такі періоди перебігу інфекційної хвороби: інкубаційний, продромальний, період активних проявів, реконвалесценції.

**Інкубаційний (прихований) період** – від проникнення збудника в організм до появи перших ознак хвороби. Його тривалість – від кількох годин до кількох діб. **Продромальний період** характеризується появою перших ознак хвороби загального характеру – нездування, температура, головний біль. У **період активних проявів** стають помітними ознаки, типові для даної хвороби. В **період реконвалесценції** спостерігається зменшення інтоксикації, знижується виразність та прояв специфічних ознак, організм звільнюється від мікробів, одужує. Проте можливі і рецидиви – перехід в хронічну форму або ж настає летальний кінець.

**5. Які способи передачі збудників хвороби найбільш поширені серед людей? Фази розповсюдження інфекції.**

Існують такі основні способи розповсюдження інфекції: контактний, повітряно-крапельний, фекально-оральний, трансмісивний. Шляхом прямого контакту передаються венеричні захворювання, СНІД, короста, деякі грибкові захворювання шкіри, лентоспіроз, ящур, туляремія тощо. Досить часто збудник передається через руки хворої людини, яка, торкаючись тих, чи інших предметів, залишає на них мікроби. Найчастіше таким контактно-побутовим шляхом передаються кишкові інфекції. Повітряно-крапельним шляхом передаються збудники грипу, вітрянки, коклюшу, туберкульозу; фекально-оральним – дизентерія, черевний тиф, паратиф. Трансмісивний спосіб передачі збудників здійснюється за допомогою членистоногих.

Виділяють механічні і біологічні переносники збудників захворювань. Механічними переносниками патогенних мікроорганізмів досить часто є різноманітні комахи (комарі, мухи, таргани, клопи, воші). Інфікуючись від людей чи тварин, комахи як біологічні переносники хвороби, залишаються носіями інфекції на тривалий період.

Досить часто збудник захворювання проходить в організмі комах певний шлях розвитку. Інфікування сприйнятливою до даної хвороби організму відбувається при укусах (кровосмоктанні) або з виділеннями переносника хвороби через ранки на шкірі. Таким чином комарі спричиняють інфікування малярією, жовтою лихоманкою, лейшманіозами, блохи – чумою і тифом.

У механізмі передачі інфекції виділяють три фази. Перша фаза механізму розповсюдження інфекції – виділення збудника з інфікованого організму, друга – надходження збудника в довкіллі або в організмі тварини, яка є переносниками збудників, третя – проникнення збудника в сприйнятливий організм.

Виведення збудника з інфікованого організму залежить від його локалізації в організмі. Якщо збудник знаходиться в органах дихання, то він виводиться з видихуванним повітря і краплинами слини. При локалізації збудника в крові інфікування здорових осіб відбувається комахами або при переливанні крові. У випадку, коли

збудник знаходиться в травному тракті, він розповсюджується через калові або блювотні виділення.

**6. У чім сутність поняття “сприйнятливість до захворювання”? Основні чинники зміцнення неспецифічної фізіологічної резистентності організму.**

Виникнення інфекційних захворювань тісно пов'язано із сприйнятливістю організму до нього. **Сприйнятливість до захворювань** – здатність організму реагувати на проникнення у внутрішнє середовище збудників інфекцій виникненням хвороби. Несприйнятливість людини до збудників інфекційних захворювань забезпечується чинниками специфічної несприйнятливості (**імунітет**) і **неспецифічної фізіологічної резистентності** (НФР), – **неспецифічний імунітет**.

До чинників НФР як таких, що перешкоджають проникненню бактерій і вірусів в організм та діють бактерицидно, належать:

- здорова непошкоджена шкіра і слизові оболонки, як механічні бар'єри для мікробів;
- лімфатичні вузли;
- бактерицидні властивості секретів (молочна та жирні кислоти) сальних та потових залоз шкіри;
- миготливий війчастий епітелій дихальних шляхів;
- лізоцим сліз, слини, крові, міжклітинної рідини, клітин;
- гуморальні фактори неспецифічного захисту;
- бактерицидні речовини травного каналу, сечовивідних шляхів;
- кисле середовище шлунку;
- біологічно активні речовини травних соків, жовчі, крові, лімфи тощо;
- непроникний гематоенцефалітний бар'єр;
- видільна функція нирок, кишок, печінки, лімфовузлів;
- фагоцитоз лейкоцитів.

НФР організму можна зміцнити. Для цього необхідно раціонально харчуватися, систематично загартовуватися, дотримуватися раціонального режиму праці і відпочинку, виконувати нормативний обсяг фізичних навантажень тощо. У представників фізичної праці, спортсменів у порівнянні з людьми, які ведуть гіподинамічний спо-

сіб життя, фагоцитарна активність лейкоцитів підвищена, більш висока в них і лізоцимна активність.

В умовах фізичних навантажень спостерігається більш виражене збільшення в сироватці крові глобулінових білків, з яких синтезуються антитіла. Збільшення синтезу специфічних антитіл, переважно  $\beta$ -глобулінової природи, викликаних фізичним тренуванням лабораторних тварин в умовах експериментальної імунізації білковим антигеном, є свідченням його неспецифічного впливу на імунобіологічну реактивність організму, передумовою профілактики захворювань (П.Д. Плахтій, 1990).

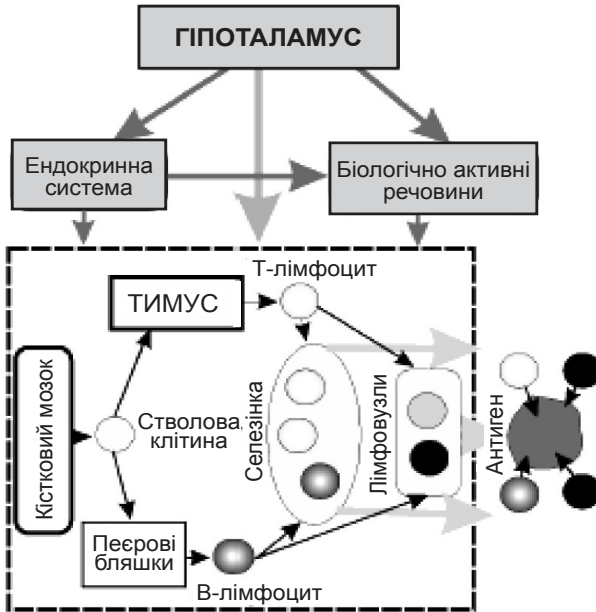
### **7. Поняття імунітету, імунного процесу. Наслідки порушення імунітету.**

Властивість захисту організму від мікроорганізмів та речовин, які несуть у собі чужорідну (генетичну сторонню) інформацію, називається **імунітетом**. Основою протиінфекційного імунітету є несприйнятливність до мікробів та продуктів їх життєдіяльності. Імунітет завжди специфічний, тобто діє лише щодо того збудника хвороби, на який він вироблений.

Імунітет тісно пов'язаний із спадковими і набутими механізмами, які запобігають проникненню в організм і розмноженню в ньому збудників захворювань та продуктів їхньої життєдіяльності (токсинів). Імунітет можливий завдяки наявності імунної системи (лімфоїдних органів) – лімфовузлів, селезінки, кісткового мозку, вилочкової залози. Імунна система не лише захищає організм від збудників захворювань, а й від злоякісних клітин, бере участь у відторгненні пересаджених органів, стежить за нормальним розвитком плода, руйнує (діалізує) відмерлі структури тканин тощо. Загальна схема нейрогуморальної регуляції діяльності імунної системи подана на рис. 6.16.

**Імунний процес** – утворення в організмі специфічних антитіл у відповідь на проникнення в нього збудників хвороб (антигенів). Особливістю антитіл є їх спроможність специфічно взаємодіяти з відповідними антигенами. Антитіла здатні нейтралізувати токсини (антитоксини), розчиняти мікроби (бактеріолізини), викликати

осадження білкових решток, що утворились внаслідок руйнування мікробів (преципітини), склеювати мікроби (аглоутиніни) тощо.



*Рис. 6.16. Нейрогуморальна регуляція діяльності імунної системи організму*

Порушення імунітету призводить до таких явищ:

- пригнічення захисту від ракових клітин;
- зниження протимікробної резистентності;
- аутоімунні реакції і розлади;
- розвиток імунодефіцитних станів.

### **8. Які проблеми можуть виникати у людини при порушеннях функцій імунної системи?**

Можливі три типи порушень функцій системи імунітету:

- первинні та вторинні імунодефіцитні стани (порушення одного із ланцюгів імунної системи);
- аутоагресія щодо нормальних компонентів організму людини (аутоімунні захворювання, підвищення накопичення компонентів антиген-антитіло);

- дисфункції, при яких один ланцюг імунної системи в стані гіперплазії, а інший – у пригніченому стані (злякисні захворювання).

Серед спадкових форм імунодефіцитних станів (2 : 1000), на дефект В-системи приходиться – 50-75%, на дефект Т-системи – 5-10%.

Хворі з дефіцитом Т-системи схильні до вірусних, грибкових захворювань та бактеріальних інфекцій (туберкульоз, сальмонельоз та інші); у них розвиваються системні реакції у відповідь навіть на живі вірусні вакцини і БЦЖ. Хворі з дефіцитом В-системи імунітету схильні до тяжких гнійно-бактеріальних інфекцій дихальних шляхів і шкіри. Частими наслідками гіпоплазії загрудинної залози є природжені імунодефіцитні стани.

Проблеми хворих, які пов'язані з розвитком вторинного імунодефіциту, виявляються в разі:

- таких вірусних захворювань як кір, грип, бактеріальних процесів (дизентерія, сальмонельоз, холера), грибкових інфекцій та гельмінтів;
- патологічних процесів, які супроводжуються втратою білка (нефротичний синурит, опіки);
- дистрофій, авітамінозів;
- деяких методів лікування (терапія кортикостероїдами та цитостатиками) та важких хірургічних операцій;
- злякисних захворювань.

### **9. Різновиди імунітету. Що таке материнський імунітет?**

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 (**природньо набутий імунітет**), або після щеплення вакцинами, до складу яких входять мертві або ослаблені збудники даного захворювання (**штучно набутий імунітет**).

Ще виділяють **активний і пасивний імунітет**. Активний імунітет утворюється при безпосередньому перенесенні організмом



даної хвороби; пасивний – при введені в організм готових антитіл (сироватки крові, отриманої з організму, який перехворів на дану хворобу). Активний імунітет довготривалий, пасивний – триває кілька тижнів.

Діти до трьохмісячного віку володіють **“материнським” імунітетом**. Цей вид імунітету зумовлений наявністю у новонароджених антитіл, які передаються від матері через плаценту а також з молоком (молозивом). Материнський імунітет проявляється за умови наявності імунітету матері до даного збудника хвороби.

### ***10. Яку роль в реакціях місцевого імунітету відіграє лізоцим?***

Лізоцим – білок, який спричиняє лізіс (розчинення) мукополісахаридів бактеріальних оболонки. Його дія активізується під впливом імуноглобулінів. Вміст лізоциму в різних клітинах і рідинах організму різна: лейкоцитах – 10 г на 1 кг маси тіла; слюзах – 7 г, слині – 0,2 г; плазмі крові – 0,2 г. Чимало лізоциму в грудному молоці, особливо молозиві, печінці, серці, на слизових оболонках дихальних шляхів.

Існують вікові особливості вмісту лізоциму в окремих органах і рідинах організму. У новонароджених дітей лізоциму найбільше (3-4 ОД/мл), з віком дитини рівень його зменшується до 2-3 ОД/мл; середня величина вмісту лізоциму в організмі осіб віком 20-25 років – 1,7 ОД/мл.

### ***11. Які заходи сприяють профілактиці інфекційних захворювань? Що таке дезинфекція, дезінсекція, дератизація, вакцинація?***

**Державні загальносанітарні заходи** в Україні передбачають поліпшення умов праці і побуту населення з метою попередження будь-яких захворювань, будівництво різноманітних споруд з врахуванням санітарних і протиепідемічних вимог. На боротьбу з інфекційними хворобами направлені і такі заходи як благоустрій міст і сіл, спорудження водоводів, каналізацій тощо.

Друга група заходів – це **медичні заходи**. Вони проводяться цілеспрямовано з врахуванням основних ланок епідемічного процесу (джерело інфекції, механізм її передачі і сприйнятлива частина на-

селення). Заражену людину як джерело інфекції ізолюють від оточуючих людей і лікують; інфікованих тварин, як правило, знищують.

З метою попередження розповсюдження інфекції за межі епідемічного вогнища використовується **карантин** – комплекс адміністративних і санітарно-гігієнічних заходів, направлених на виявлення хворих і осіб, які підлягають ізоляції або нагляду. Відповідальність за проведення карантинних заходів несуть санітарно-карантинні відділи і пункти в міжнародних морських і річкових портах, аеропортах, залізничних і автовокзалах.

Для усунення шляхів передачі інфекції проводять дезинфекцію, дезинсекцію і дератизацію. **Дезинфекція** – знищення збудників хвороби в приміщеннях, де виявленні хворі. **Дезинсекція** – знищення комах, які можуть передавати інфекцію, **дератизація** – знищення гризунів – переносників хвороб, наприклад чуми.

Для формування імунітету щодо окремих інфекційних захворювань людей вакцинують, для підвищення неспецифічної фізіологічної реактивності рекомендується вести **здоровий спосіб життя**: раціональне харчування, загартування, раціональний режим праці і відпочинку, оптимальний руховий режим тощо.

Третя група заходів щодо профілактики інфекційних захворювань пов'язана з підвищенням рівня **санітарної освіти населення**. З цією метою використовують різноманітні засоби пропаганди (масової інформації): бесіди, лекції, радіопередачі, телебачення тощо.

## ***12. Алергічні захворювання. Якою має бути перша медична допомога при анафілактичному шокові і утрудненому диханні?***

**Алергія** – специфічна реакція організму на деякі речовини – алергени, що супроводжується пошкодженням структури і порушенням функцій клітин, тканин і органів. При алергічних реакціях різного типу взаємодія “антиген–антитіло” спричиняє утворення цілого комплексу біологічно активних речовин, які й обумовлюють пошкоджуючий ефект.

Сьогодні, як ніколи раніше, алергічні реакції набули значного поширення. Виділяють декілька типів імунної алергічної реакції –

відповіді на алерген: алергічний шок, гіперчутливість організму до пилку різних рослин, респіраторні алергічні захворювання.

Найбільш небезпечною формою алергічного захворювання є **анафілактичний шок** – реакція швидкого типу, що розвиваються перш за все на введення медикаментів, а також на укуси (ужалення) комах або різне охолодження тіла у осіб з холодовою алергією.

Існує багато нозологічних форм алергічних захворювань, що спричиняються гіперчутливістю організму до пилку різних рослин (пилинози): з ураженням ЛОР-органів, очей, шкіри (кропив'янка, екзема, набряк Квінке), дихальних шляхів (трахеїт, бронхіт, бронхіальна астма), нервової та інших систем і органів. За етіологічною оцінкою виділяють харчову, медикаментозну, побутову та інші форми алергій.

Без допомоги алерголога пацієнтам із проявами алергічних реакцій не справитися. Ефективну діагностику у ранні терміни захворювання можна провести лише в спеціалізованих алергологічних кабінетах.

Перша медична допомога у разі гострої алергічної реакції (анафілактичного шоку) має бути спрямована на припинення впливу і дії алергену, на зупинку перебігу гострої алергічної реакції. Для цього медсестра має негайно ввести хворому під шкіру 0,1 мл 0,1% розчину адреналіну. До виведення з алергічного шоку необхідно зробити три – п'ять таких ін'єкцій кожних 15 хв. До місця ін'єкції або ужалення комахи прикласти холод. Місце ін'єкції або ужалення обколоти 0,1% розчином адреналіну в розведенні 1:10000 (0,1 мл 0,1% розчину адреналіну і 0,9 мл ізотонічного розчину натрій хлориду).

Згідно з показаннями ввести внутрішньом'язово або внутрішньовенно кортикоїди: преднізолон – 2-3 мг на 1 кг маси, гідрокортизон – 5-10 мг на 1 кг маси, провести штучну вентиляцію легень, закритий масаж серця, хворого терміново госпіталізувати.

### ***13. Що повинен знати вчитель фізкультури, тренер, спортсмен про правила профілактики і боротьби з інфекційними хворобами?***

Розповсюдження епідемічних захворювань можливе і серед фізкультурників та спортсменів, які тісно спілкуються між собою

під час поєдинку (одноборці, боксери), проживають в одному приміщенні. Тому вчителі фізвиховання, тренери і спортсмени повинні добре знати причини і особливості розповсюдження інфекцій, вміти проводити профілактичні заходи. Особливо ретельно спортсмени повинні дотримуватись правил особистої гігієни, підтримувати належні санітарно-гігієнічні умови тренування і побуту.

У випадку виникнення інфекційних захворювань, щоб не допустити розповсюдження хвороби на здорових осіб, належить негайно звернутись до медичних працівників і ретельно виконувати усі їх вказівки.

## 2.2. ФІЗІОЛОГІЧНІ МЕХАНІЗМИ ЗГОРТАННЯ КРОВІ

### *14. Які механізми забезпечують припинення кровотечі з малих, середніх і великих кровоносних судин?*

Сукупність фізіологічних процесів, пов'язаних із згортанням 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** (МГ) забезпечує припинення кровотечі з малих кровоносних судин. Він досягається завдяки судинним спазмам та агрегації тромбоцитів з утворенням і затвердінням тромбоцитарного згустку. Спазми малих кровоносних судин при больових реакціях обумовлені підвищенням тонуусу 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 твердне і закриває рану, кровотеча призупиняється.

Згортання крові у випадку пошкодження середніх та великих кровоносних судин (**гемакоагуляція**), згідно ферментативної теорії О. Шмідта, проходить в три фази. В цьому процесі беруть участь різні речовини, що містяться у плазмі крові (фактори плазми), а також речовини, що сюди надходять при пораненні із зруйнованих клітин і тромбоцитів.

У першій фазі згортання крові, внаслідок руйнування тромбоцитів при їх торканні до рани як неадекватної поверхні, виділяється неактивний тромбопластин, який, взаємодіючи з факторами плазми крові, перетворюється в **активний тромбопластин**.

У другій фазі згортання крові протромбін плазми, взаємодіючи з тромбопластином, перетворюється в **тромбін**. Для нормального перебігу цієї реакції необхідні йони Кальцію і ряд факторів плазми, що виконують роль прискорювачів. Для синтезу протромбіну печінкою необхідна наявність вітаміну К.

Під впливом тромбіну розчинний в плазмі **фібриноген** перетворюється в нерозчинний **фібрин** (третья фаза згортання крові). В густих сплетіннях тонких фібринових ниток фіксуються формені елементи крові – утворюється згусток – **тромб** (рис. 6.17). За короткий час тромб стягується і ущільнюється (**ретракція згустка**). Цей процес забезпечується **ректратозином**, який виділяється з тромбоцитів при їх трісканні. Виконавши свою функцію (припинивши кровотечу), згусток розчиняється з допомогою ферменту плазми – **фібринолізину**.

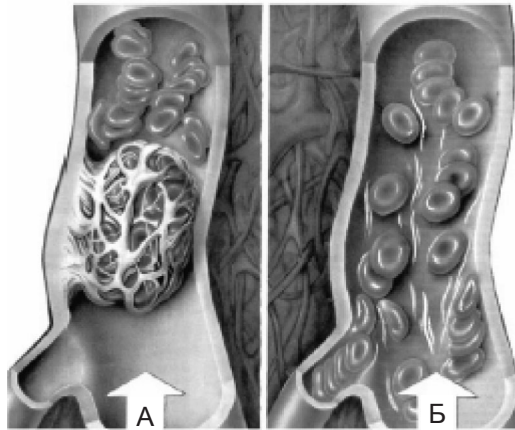


Рис. 6.17. Тромбоутворення: А – кровносна судина з тромбом; Б – нормальна судина

Каскадно-комплексна схема згортання крові подана на рис. 6.18 (за В. І. Філімоновим, 2009).

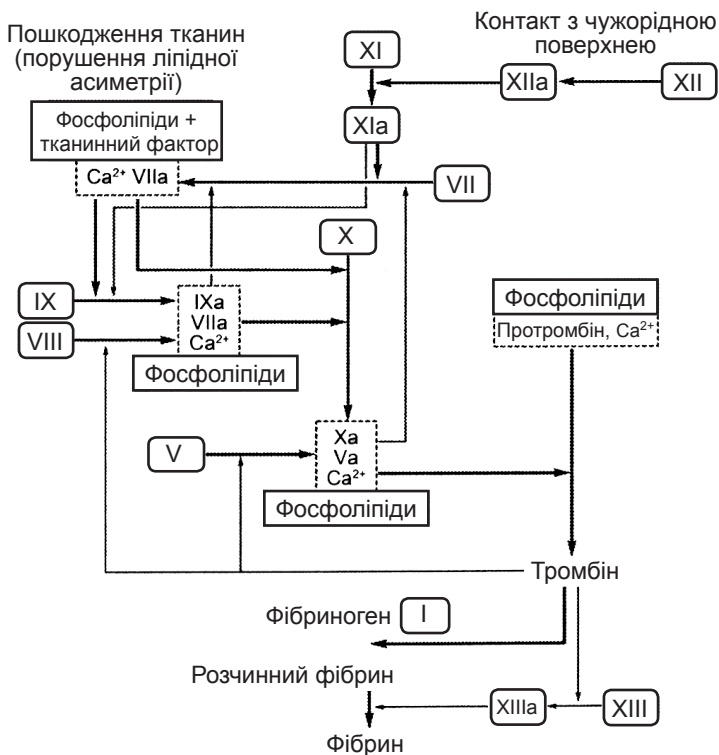


Рис. 6.18. Каскадно-комплексна схема згортання крові

15. У звичайній пробірці кров згортається значно швидше, ніж в пробірці, стінки якої обліті розплавленим парафіном або воском. Чому? Як можна попередити (сповільнити) згортання крові?

Обов'язковою умовою для включення механізмів згортання крові є контакт тромбоцитів з неадекватною (відмінною від стінок кровоносних судин) поверхнею. Стінки звичайної пробірки в порівнянні з стінками кровоносних судин значно жорсткіші (неадекватна поверхня), стінки пробірки обліті парафіном такі ж гладенькі, як і стінки кровоносних судин. Щоб кров не згорталась, її декальцинують, дефібринують, додають гепарин, виділений з легеневої тканини, печінки і базофілів крові або гірудін – секрет слинних залоз п'явок.

**16. Чому консервована донорська кров (в ампулах) не згортається? Які чинники прискорюють згортання крові?**

У консервованій крові йони Кальцію як обов'язкового компоненту для згортання крові, осажені цитратом натрію. Щоб така кров згорталась (для прискорення ферментативних процесів) до неї додають розчин кальцій хлориду. До чинників, які прискорюють згортання крові, належать: тромбін, багаті тромбопластином вивязки із мозку і м'язів, сечова і жовчні кислоти, желатин та інші речовини. Прискорюється згортання крові і при незначному підвищенні її температури.

**17. Який механізм дії системи крові, що попереджує її згортання? Гемофілія.**

Для збереження рідкого стану крові в організмі існує система, яка попереджує згортання крові, – **протизгортальна система**. За звичайних умов вона домінує над системою, яка забезпечує згортання крові. Утворення тромбів у судинах попереджується шляхом розчинення (лізису) утворених згустків. Складовою частиною протизгортальної системи крові є особливий білок крові – **генарин**. Він синтезується клітинами, які знаходяться в тканинах, що оточують судини. При пошкодженні кровоносних судин створюється тимчасова перевага системи, яка спричиняє згортання крові. Саме завдяки захисній реакції системи збереження рідкого стану крові, утворення згустку не поширюється за межі місця пошкодження.

Попереджує згортання крові і **антитромбін**. Після утворення кров'яного згустку тромбін адсорбується фібрином і нейтралізується антитромбіном. Таким чином, утворення тромбу і його нейтралізація в крові проходять одночасно. Важливим механізмом збереження рідкого стану крові є відштовхування тромбоцитів від стінок кровоносних судин – **репульсія**. Репульсія можлива завдяки мінусовому заряду стінки судин і оболонки тромбоцитів.

**Гемофілія** – спадкове захворювання, обумовлене порушенням згортання крові. Виділяють три форми гемофілії – А, В, С. При гемофілії А відсутній фактор VIII згортання крові, при гемофілії В – фактор XI, при гемофілії С – фактор IX. Хворіють переважно хлопчики (гемофілія С зустрічається у дівчаток).

◇ 18. Згортання крові після пробного проколювання пальця дорослої людини – 3,5 хв, час згортання крові цього ж досліджуваного у спеціальній трубочці – 6 хв. Дайте оцінку стану системи згортання крові та системи, яка попереджує згортання крові досліджуваного.

На взаємодію системи згортання крові і системи, яка протидіє згортанню крові людини, вказують такі дані. У нормі час згортання крові після пробного проколювання пальця – 2-5 хв, час згортання проби крові у спеціальній трубочці – близько 6 хв. Отже, ефективність дії вище згаданих систем крові досліджуваного відповідає величинам фізіологічної норми.

Тривалість згортання крові за методом Бюркера визначається реєстрацією швидкості утворення фібринових ниток. Для цього краплю крові з пальця наносять на годинникове скло, або предметне скло з заглибиною, яке кладуть на долоню (для підтримання температури тіла). Через кожні 30 с скляною паличкою з витягнутим кінцем піднімають краплю крові. Поява першої ниточки фібрину на кінці палички свідчатиме про початок згортання крові. Час від моменту взяття крові з пальця до появи ниток фібрину і становитиме шукану тривалість згортання крові. Норма згортання крові визначена з допомогою даного методу – 2-5 хв.

**19. Як змінюється швидкість згортання крові у людини, що виконує фізичну роботу?**

У період виконання фізичних навантажень швидкість згортання крові зростає, збільшується в ній і концентрація тромбоцитів (*міогенний тромбоцитоз*). Разом з тим посилюється активність системи, яка попереджує згортання крові, зростає активність фібринолізу в крові. Усе це сприяє підтриманню рідкого стану крові і попереджує підвищення її в'язкості.



## 2.3. ГРУПИ КРОВІ ТА ЇХ УСПАДКУВАННЯ. РЕЗУС-ФАКТОР

### 20. Присутність яких речовин крові покладено в основу її поділу на чотири групи?

Кров усіх людей, незалежно від їх расової належності, віку і статі, ділять на чотири групи. Цей поділ став можливим завдяки К. Ландштейнеру, який у 1901 р. описав наявність в крові людей природних антигенів (аглоутинінів) –  $\alpha$  і  $\beta$  антигенів (аглоутиногенів) – А, В, О. Сьогодні відомо близько 400 антигенів, розташованих у мембрані еритроцитів. Проте антигенні властивості більшої частини їх виражені слабо, а тому при переливанні крові ними нехтують. Найбільшого значення для практики має система АВО і система резус.

**Аглоутиногени типу А, В і О** знаходяться в еритроцитах, а **аглоутиніни** (білки глобулінової фракції)  $\alpha$  і  $\beta$  – в плазмі крові. Процес аглоутинації (склеювання) і гемолізу еритроцитів відбувається лише в тому випадку, коли зустрічаються однойменні аглоутиніни і аглоутиногени:  $\alpha$  і А, або  $\beta$  і В. Наслідком аглоутинації і гемолізу еритроцитів є їх **гемотрансфузійний шок**, який може спричинити смерть. Наявність тієї чи іншої групи крові – індивідуальна біологічна особливість даної людини. Група крові починає формуватися на початку пренатального періоду і не змінюється упродовж всього життя.

У крові новонароджених, як правило, немає аглоутинінів  $\alpha$  і  $\beta$ . Лише упродовж першого року життя у дітей утворюються антитіла до тих антигенів, яких немає в їхніх власних еритроцитах. Найбільша кількість антитіл спостерігається у дітей 5-10-річного віку, в осіб зрілого віку концентрація аглоутинінів підтримується на постійному рівні, а в старості поступово знижується.

Групи крові людини (фенотип) зумовлені її генотипом – відповідними генами. Гени забезпечують синтез аглоутиногенів еритроцитів. В еритроцитах людини можуть бути присутні аглоутиногени О, або А, або В або обидва разом – АВ. Якщо в еритроцитах є аглоутиноген О, а відсутні аглоутиногени А і В, то це I (О) група, наявність аглоутиногена А визначає II (А) групу, наявність аглоутиногена В – III (В) групу, присутність А і В аглоутиногенів обумовлює IV (АВ) групу крові.

**21. Успадкування груп крові. Чи може чоловік з четвертою (AB) групою крові бути батьком дитини, у якої перша (O) група крові?**

Кожний аглютиноген синтезується під контролем відповідного гена. Гени А і В – домінантні, ген О рецесивний. Із цих трьох генів у людини може бути тільки два гени (два алеля) – один від батька, другий від матері. В залежності від комбінації цих генів у процесі запліднення успадковується та чи інша група крові. Як відомо, в гаметах – у зрілих статевих клітинах (сперматозоїдах і яйцеклітинах), тобто в гаплоїдному наборі хромосом, із двох парних генів буває тільки один ген (А або В, або О). При з'єднанні сперматозоїда з яйцеклітиною знов утворюється диплоїдна клітина – зигота. При цьому в заплідненій яйцеклітині, яка дає початок розвитку нового організму, в диплоїдному наборі хромосом можуть бути такі комбінації генів: ОО, АА, АО, ВВ, ВО, АВ.

Якщо О ген сперматозоїда сполучається з О геном яйцеклітини, то успадковується тільки перша група крові (О) з генотипом ОО. Якщо А ген чоловіка сполучається з А або О геном жінки, то успадковується друга (А) група з генотипом АА або АО. Аналогічні комбінації утворюються і тоді, коли в успадкуванні бере участь ген В (діти будуть мати генотип ВВ або ВО). У батьків, які мають другу і третю групи крові, діти можуть мати будь-яку з чотирьох груп крові:  $A + B = AB$  (четверта група),  $A + O = AO$  (друга група),  $O + B = OB$  (третя 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 крові, а мати (чи батько) – четверту, то 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 АА, ВВ, АВ, тобто можуть мати будь яку групу крові, окрім першої (табл. 6.2).

У судово-медичній практиці прийнято вважати, що чоловік з четвертою (AB) групою крові не може бути батьком дитини з групою О, хоч при використанні лише одного цього критерію ймовірність похибки складає 10%. Чим більше враховується групових факторів, тим з більшою вірогідністю може бути виключено батьківство.

Таблиця 6.2

Можливі варіанти успадкування груп крові дітьми від батьків

Генотип батька	Генотип матері					
	I	II		III		IV
	OO	AA	AO	BB	BO	AB
I <sup>OO</sup>	OO-I	AO-II	AO-II OO-I	BO-III	BO-III OO-I	AO-II BO-III
II <sup>AA</sup>	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 <sup>BB</sup>	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 <sup>AB</sup>	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

**22. Як визначається група крові?**

Фарфорову (скляну) 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 αβ-, β- і α-аглютиніни. З проколу пальця досліджуваного, 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 досліджувану кров переносять в сироватку III групи. Кожен раз кров старанно змішують з краплею сироватки. Періодич-

но похитуючи пластинку, спостерігають за реакцією аглютинації (склеювання) еритроцитів. Через 5 хвилин читають результат. При відсутності аглютинації крапля залишається рівномірно забарвленою, при її наявності – в краплі з’являються дрібні крупинки червоного кольору, що поступово збільшуються на світліючому фоні.

Для попередження “холодової аглютинації” до краплі сироватки з кров’ю додають 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 за умови коли взято велику кількість крові і малу – сироватки.

Група крові встановлюється в залежності від наявності чи відсутності аглютинації еритроцитів за схемою:

Аглютиногени еритроцитів	Аглютиніни сироватки			Група крові
	I ( $\alpha\beta$ )	II ( $\beta$ )	III ( $\alpha$ )	
O	–	–	–	I (O)
A	+	–	+	II (A)
B	+	+	–	III (B)
AB	+	+	+	IV (AB)

*Примітка:* знак “+” – наявність аглютинації, знак “–” – відсутність аглютинації.

**23. При визначенні групи крові аглютинація еритроцитів спостерігалась з сироватками I, II, III груп крові. Яка група досліджуваної крові? До якої групи крові слід віднести кров досліджуваної людини, якщо аглютинація відбулась з сироватками I і II груп?**

Якщо аглютинація еритроцитів досліджуваної крові спостерігається з сироватками I, II і III групами крові, то така кров IV (AB) групи, якщо ж аглютинація відбулась з сироватками I і II групи, то така кров III групи.

**24. При визначенні групи крові аглютинація не виявлена у жодній із крапель стандартних сироваток. Яка група крові досліджу-**

**ваної людини? До якої групи крові слід віднести кров, якщо аглютинація відбулася з сироватками I і III груп?**

Якщо аглютинація досліджуваної крові відсутня в усіх стандартних сироватках, то це вказує на I групу крові, якщо ж аглютинація відбулась з сироватками I і III груп крові – досліджувана кров II групи.

**25. Яких людей називають донорами? Значення донорства для медичної практики.**

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 та відділенням лікарень. Використання донорської крові дозволяє значно продовжити життя важко хворим з апластичними анеміями (з неякісним малокрів'ям). Гемотрансфузії часто використовують при лікуванні виразок шлунка і кишок. Для забезпечення річної потреби лікарень необхідно мати близько 0,8 л донорської крові на одне лікарняне ліжко.

Отримання крові у донорів і її консервування проводять на станціях переливання крові. На основі попереднього медичного обстеження майбутнього донора спеціалісти визначають придатність його крові для переливання (зокрема, відсутність інфекційних 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 упродовж місяця і не відбиваються на здоров'ї донора.

Донорам в нашій країні даються певні пільги – додатковий день відпустки за кожен дозу крові, спеціальне харчування (обід) в день отримання крові і грошова компенсація. Активні донори нагороджуються нагрудним знаком “Почесний донор”, іншими орденами і медалями.

**26. Внаслідок отриманої травми працівник втратив багато крові (більше 1 л). Потрібно негайно забезпечити поновлення втра-**

***ченої крові. Потерпілий має другу резус-негативну групу крові. Люди з якою групою крові можуть бути використані в якості донорів?***

Людину з першою групою крові (в ній відсутні аглютиногени А і В, а є лише аглютиніни  $\alpha$  і  $\beta$ ) називають універсальним донором. Відсутність аглютиногенів А і В в еритроцитах крові людей цієї групи крові дозволяє успішно переливати невеликі її кількості в організм осіб іншої групової приналежності, в еритроцитах крові яких присутні антигени А (II група крові), В (III група крові), А і В (IV група крові). При переливанні невеликої дози крові першої групи аглютиніни  $\alpha$  і  $\beta$  донорської крові розбавляються великою кількістю (4-6 л) крові реципієнта і втрачають здатність до аглютинації ідентичних А і В антигенів. При переливанні значних доз крові першої групи (більше 1 л) в організм осіб іншої групової приналежності, антитіла донора (аглютиніни), склеюючи ідентичні антигени, можуть призвести до стану, несумісного з життям. Отже, для негайного поновлення втраченої людиною крові в якості донора можуть бути використані особи з ідентичною щодо реципієнта групою крові, тобто з другою, обов'язково резус-негативною, групою крові.

***27. Вкажіть на кількісне співвідношення громадян різних країн світу щодо групової приналежності. Чи існує залежність характеру людини і рівня її здоров'я від групової приналежності?***

У людей різних національностей співвідношення груп крові різне. Більше 40% людей, які проживають в Центральній Європі, мають першу групу крові, близько 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.

Від групи крові в певній 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, відношенням до окремих харчових продуктів. Так, серед вегетаріанців значно

більше осіб з другою групою крові, серед «м'ясоїдів» більшість мають першу групу крові.

### **28. Що таке резус-система крові? Як вона успадковується?**

Резус-система включає в себе більше 20 ізоантигенів і наявна в еритроцитах 85% осіб як чоловічої так і жіночої статі (резус-позитивні люди), у решти осіб (15%) резус-система відсутня. Це – 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+) домінує над резус негативним (Rh-), який є рецесивним. Таким чином, у людини, яка має резус-негативну кров генотип може бути лише Rh-Rh-. У осіб з резус-позитивною групою крові можуть бути такі два поєднання генів – або обоє резус-позитивні (Rh+Rh+), отримані від обох батьків, або ж позитивний і негативний (Rh+Rh-). Проте негативний ген, як рецесивний, завжди пригнічується домінуючим позитивним, 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.

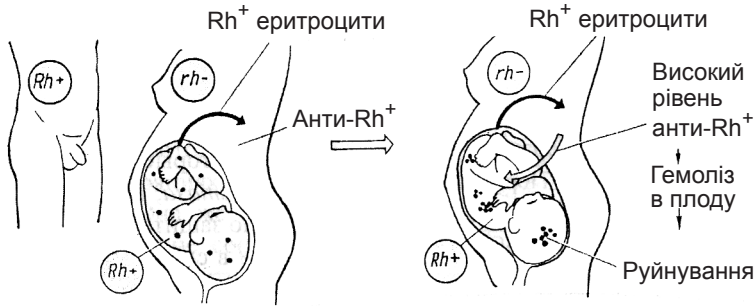
### **❖ 29. Методичні особливості визначення резус-фактора крові за допомогою антирезусної сироватки.**

На фарфорову пластину наносять дві краплі: одна – антирезусної стандартної сироватки, друга крапля – контрольна (без резусних антитіл). Поряд із сироватками поміщають в два рази менші краплі досліджуваної крові. Скляною паличкою перемішують си-

роватки з кров'ю. Для попередження неспецифічної аглютинації через 3-4 хв в обидві досліджувані краплі додають по одній краплі фізіологічного розчину. Результат реакції оцінюють через 5 хв. Відсутність аглютинації в обох досліджуваних краплях свідчить про те, що кров резус-негативна (Rh-). Якщо ж аглютинація відбулася з стандартною антирезусною сироваткою, то така кров вважається резус-позитивною (Rh+).

**30. Доцільність врахування резусної несумісності при вагітності. Що необхідно знати батькам для попередження резус-конфлікту?**

Резусну несумісність слід враховувати при трансфузії і при вагітності, особливо у випадку якщо резус-позитивний плід розвивається в організмі резус-негативної матері (рис. 6.19).



**Рис. 6.19. Rh-фактор при вагітності і трансфузії**

При порушенні цілісності генітальних бар'єрів, еритроцити плода з резусним антигеном можуть потрапити в організм резус-негативної матері, спричиняючи утворення резусних антитіл. Імунізація проходить повільно, а тому перша дитина може народитися здоровою. При повторній вагітності концентрація (титр) антитіл може досягти високого рівня. Резусні аглютиніни (неповні антитіла), на відміну від  $\alpha$ - і  $\beta$ -аглютинінів, дуже малі і, проходячи через плацентарний бар'єр, спричиняють 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 (кров чоловіка резус-позитивна) повинна зберегти стільки вагітностей підряд, скільки заплановано мати дітей. Штучне припинення вагітності збільшуватиме ймовірність виникнення резус-конфлікту при наступній вагітності.

**31. Мати з I (O) резус-негативною групою крові народила дитину, хвору гемолітичною жовтухою. Група крові дитини III (B) резус-позитивна. Що потрібно робити в даній ситуації для збереження життя дитини?**

Для збереження життя дитині належить негайно зробити повне обмінне переливання крові. Для переливання використовують кров III групи, резус-позитивну або резус-негативну (без резусних анти-тіл).

**32. При хронічних кровотечах в організм людини час від часу вводять невеликі кількості донорської крові. У хворого IV (AB) резус-позитивна група крові. Яку групу донорської крові можна вводити хворому?**

Хворому належить вливати IV (AB) резус-позитивну або резус-негативну групу крові. При її відсутності можливе введення невеликих доз крові першої групи. Перед переливанням крові, як правило, не обмежуються визначенням групи крові системи ABO і резус-фактора. Обов'язковість визначення сумісності крові реципієнта і донора перед переливанням крові зумовлена пересторогою можливих помилок при визначенні груп крові та резус-фактора.

**33. Кров матері, що народила хвору на гемолітичну жовтуху дитину, резус-негативна. При пологах мати втратила значну кількість крові. Група крові II. Навіть одноразове переливання матері резус-позитивної крові II групи в цій ситуації протипоказане. Чому?**

У крові матері можуть бути присутні резусні антитіла, вироблені на резусний білок еритроцитів резус-позитивного плоду. Введення в організм такої матері резус-позитивної крові спричинить резус-конфлікт з руйнуванням введених еритроцитів.

## РОЗДІЛ VII ФІЗІОЛОГІЯ СИСТЕМИ ДИХАННЯ

### ТЕМА 1. ГАЗООБМІН МІЖ ЛЕГЕНЯМИ І ДОВКІЛЛЯМ

#### 1.1. ПОНЯТТЯ ПРО ДИХАННЯ, ЙОГО ЗНАЧЕННЯ В ПІДТРИМАННІ ОСНОВНИХ ПРОЦЕСІВ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ОРГАНІЗМУ

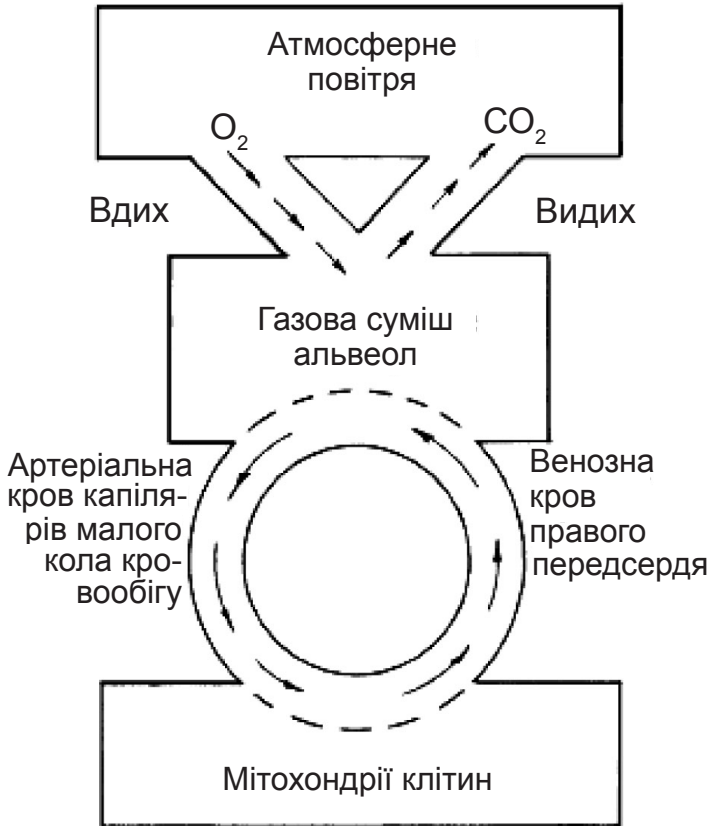
*1. У чому полягає сутність дихання? Етапи переміщення дихальних газів у процесі дихання.*

Нормальна життєдіяльність організму людини 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 діб, а без кисню – всього декілька хвилин.

*Дихання* – це сукупність фізіологічних процесів, що забезпечують надходження в організм із зовнішнього середовища кисню, використання його клітинами для окиснення 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 навколишнє середовище (рис. 7.1). Такі переміщення дихальних газів у процесі дихання умовно можна поділити на п'ять етапів:

- обмін газів між зовнішнім середовищем і альвеолами легень (зовнішнє дихання або легенева вентиляція);
- обмін газів між альвеолярним повітрям і кров'ю капілярів легень (дифузія газів через альвеолярно – капілярні мембрани);
- транспортування кисню і вуглекислого газу кров'ю;
- обмін газів між кров'ю капілярів і тканинами (дифузія газів через капілярно-тканинні мембрани);

- споживання кисню клітинами і виділення ними вуглекислого газу (тканинне дихання).



*Рис. 7.1. Схема функціональної системи транспорту газів: дихальні шляхи, легені, серцево-судинна система, кров*

**2. Які морфофункціональні особливості дихальної системи забезпечують ефективний газообмін в легенях? Загальна площа поверхні усіх альвеол.**

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 носоглотку, звідси через гортань – у трахею і бронхи; правий бронх іде до правої легені, лівий – до лівої. За діаметром розрізняються 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 (діаметр кожної альвеол – 0,2 мм, площа поверхні – 0,125 мм<sup>2</sup>), загальною площею поверхні 75,5 м<sup>2</sup> (700 млн · 0,125).

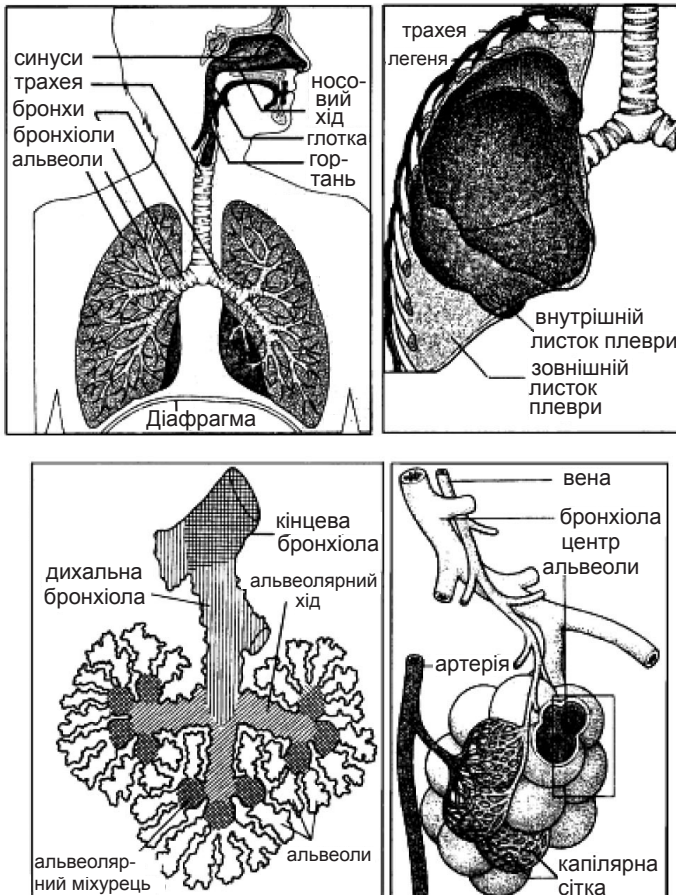
Розрізняють праву і ліву легені. Вони заповнюють обидві половини грудної клітки і знаходяться над діафрагмою. Діафрагма – широкий плоский м'яз з дещо піднятою куполоподібною серединою, що відділяє грудну порожнину від черевної. Загальна схема будови дихального апарату людини подана на рис. 7.2.

### **3. Чому альвеоли не спадаються в час видиху? Функціональне значення міжплевральної щілини.**

Внутрішня поверхня альвеол покрита нерозчинною у воді тонкою плівкою поверхнево активної речовини – *сурфактантом*. Ця багата фосфоліпідами і ліпопротеїдами речовина синтезується клітинами альвеолярного епітелію. Володіючи малим поверхневим натягом, сурфактант попереджує спадання альвеол у фазу видиху.

Кожна легеня покрита тонкою оболонкою – плеврою, яка складається з двох листків – вісцерального і парієтального. Вісцеральний листок плеври зрощений з легеневою тканиною, по краях легень він завертається назовні і переходить в парієтальний листок,

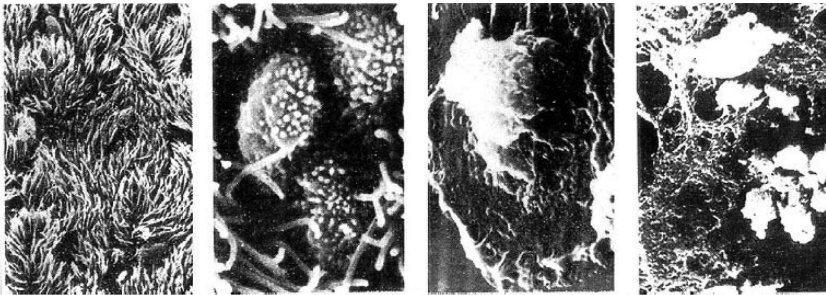
вистилаючи внутрішню поверхню грудної клітки. Між листками плеври є плевральна порожнина (щілина), заповнена серозною рідиною, яка попереджує тертя між листками плеври при дихальних рухах. Назва “плевральна порожнина” досить умовна. Механічно вісцеральний і парієтальний листки плеври з'єднані між собою, 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.



*Рис. 7.2. Схема будови дихального апарату людини*

**4. Які механізми забезпечують очищення, зігрівання і зволоження повітря при його проходженні через дихальні шляхи? Небезпеки здоров'ю дітей з утрудненим носовим диханням.**

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. Контактуючи із слизовою оболонкою носової порожнини повітря зігрівається, зволожується і очищається від часинок пилу, мікробів та отруйних газоподібних домішок. Сторонні мікроби значною мірою знешкоджуються (вбиваються) дією носового слизу і лізоциму, а також захоплюються і руйнуються лейкоцитами (фагоцитоз). Частинки, які пройшли цю перепону, осідають на стінках гортані, трахеї, бронхів, бронхіол. Їх внутрішня поверхня складається з миготливого епітелію і спеціальних клітин, які виробляють слиз, що покриває кінці війок цього епітелію. Війки постійно рухаються (подібно до гребців у човні) – швидко в напрямку до глотки і повільно в зворотному напрямі. Такі узгоджені рухи війок забезпечують повільне (1 см за хвилину) переміщення слизового шару з фіксованими на ньому механічними частинками до глотки. При проникненні чужорідних частинок в альвеоли легень вони захоплюються і перетравлюються альвеолярними макрофагами (рис. 7.3).



1

2

3

4

**Рис. 7.3. Захисні бар'єри дихальних шляхів:**

1 – війкові клітини епітелію; 2 – бокалоподібні клітини епітелію, які виробляють різні компоненти трахіобронхіального секрету; 3 – активний альвеолярний макрофаг; 4 – сурфактант стінки альвеол

Швидке виділення механічних частинок з дихальних шляхів забезпечується рефлекторними актами чхання і кашлю. Рефлекс **чхання** виникає при подразненні 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 чхання інколи є передвісниками і супутниками запалення органів дихання.

У аденоїдних дітей носове дихання утруднене і вони дихають переважно ротом. Такі діти відстають у своєму фізичному і розумовому розвитку від ровесників, у них знижена імунна реактивність організму. Через подразнення рецепторів носових ходів носове дихання, ймовірно, сприяє активізації функцій ЦНС, а через неї оптимізує діяльність легень, серця, інших органів та систем організму.

### **5. Який механізм шкідливого впливу нікотину на систему дихання?**

З метою підвищення стійкості органів дихання до застудних захворювань та інфекцій необхідно проводити загартування організму, виконувати спеціальні дихальні вправи, рішуче боротись з вживанням алкоголю і курінням. Адже, крім загальної шкідливої дії на організм, нервову систему, печінку тощо, алкоголь згубно діє на легеневу тканину і слизову оболонку дихальних шляхів, через які він виводиться з організму.

Особливо шкідливо впливає на систему дихання куріння. Куріння гальмує продукцію сурфактанту стінками альвеол. Це призводить до збільшення поверхневого натягу альвеол. За таких умов в людини, що курить, в порівнянні з тими, що не курять, виникає потреба докласти більше зусиль на вдиху для наповнення легень однаковим об'ємом 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. У курців в два-три рази підвищений опір верхніх дихальних шляхів руху повітря. Це призводить до істотного зниження ефективності легеневої вентиляції.

Зараженість бактеріями повітря в різних місцях різна (рис. 7.4). Вдихання забрудненого міського повітря призводить до зниження як фізичної, так і розумової працездатності. Дихання забрудненим повітрям особливо шкідливе для людей фізичної праці. Це зумовлено великими обсягами легеневої вентиляції при значних фізичних напруженнях.



*повітря службових і жилих приміщень*



*повітря великих міст*



*повітря лісу і парків*



*повітря біля моря, озер і річок*

*Рис. 7.4. Інтенсивність зараження бактеріями повітря різних місць*



**6. Чому людині так легко дихається на березі моря або в лісі? Який механізм позитивного впливу на організм людини глибокого дихання?**

У нижніх шарах атмосфери під дією електричних розрядів і ультрафіолетових променів в процесі випаровування води утворюється озон ( $O_3$ ). Озон діє як сильний окисник, його високі бактерицидні властивості широко використовуються для знезараження води. З метою руйнації неприсмних запахів в туалетах і курильних приміщеннях встановлюють озонатори. Озон руйнується швидко, тому в повітрі великих міст, житлових та виробничих приміщень його майже немає. Наявність озону в повітрі – ознака його чистоти.

В окисно-відновних реакціях організму беруть участь не всі молекули кисню, а лише негативно зарядженні (їх значно більше в сосновому лісі і на березі моря). Додаткова іонізація молекул кисню забезпечується спеціалізованими клітинами, знайденими в миготливому епітелії дихальних шляхів.

Довільно змінюючи обсяг і характер зовнішнього дихання, а отже, змінюючи рівень надходження в організм кисню, можна направлено змінювати функціональний стан організму, збільшувати його функціональні резерви. Так, глибоке довільне дихання, посилюючи масажну функцію діафрагми, стимулює центральний кровообіг і лімфотік, активізує обмін жирів, попереджуючи їх відкладання в жирових депо, сприяє шлунковому травленню і виведенню жовчі з печінки та жовчного міхура в 12-палу кишку.

**7. У чому полягає біологічна роль вуглекислого газу для організму людини? При виконанні яких фізичних вправ затримка дихання є обов'язковою?**

Для підтримання основних процесів життєдіяльності людині необхідний не лише кисень, а й вуглекислий газ. Затримуючи дихання, а отже, збільшуючи вміст вуглекислого газу в крові, людина може направлено змінювати рівень функціонування окремих органів і систем організму: тонус нервових центрів регуляції дихання, роботу серця, просвіт церебральних судин, обсяг кровообігу головного мозку тощо.

Біологічна роль вуглекислого газу багатогранна. Беручи участь в розподіленні йонів Натрію, вуглекислий газ регулює збудливість нервових клітин, змінює проникність клітинних мембран, інтенсивність секреції гормонів залозами внутрішньої секреції, активність окисних ферментів. Вуглекислий газ впливає на процеси зв'язування білками йонів Кальцію і Феруму, на процеси синтезу білків в організмі. Підтвердженням цього є факт більш швидкої регенерації пошкоджених тканин у вегетаріанців (при окисненні вуглеводів утворюється більше вуглекислого газу, ніж при окисненні жирів і білків) в порівнянні з людьми, в раціоні яких переважають продукти тваринного походження. Відома роль вуглекислого газу і як активатора функціональної активності залоз слизової оболонки шлунка, які виробляють соляну кислоту.

Затримка дихання практикується в плаванні, зокрема, при швидкісному проходженні дистанції під водою, гімнастиці, акробатиці, при стрільбі. Систематичні затримки дихання є ефективним методом вдосконалення механізмів анаеробного енергозабезпечення м'язової діяльності.

◇ **8. Сутність дихання за методикою А. Стрельнікової, К. Бутейко, йогівською системою дихання. Значення гіперкапнії для активізації функцій киснезабезпечуючих систем спортсменів.**

Згідно з йогівською системою дихання спочатку робиться вдих через ніс упродовж 8 с, тоді – затримка на вдиху – 8-32 с і, нарешті, видих через рот упродовж 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  $\text{CO}_2$ , призводить до розширення кровоносних судин серця, покращення його живлення.

На відміну від вправ йогів, А. Стрельнікова рекомендує поєднувати м'язові зусилля не з видихом, а з вдихом (довільну гіпервентиляцію з роботою різних груп м'язів). Така парадоксальна гімнастика спрямована на розвиток дихальних м'язів та більш по-

вне забезпечення клітин киснем, вона сприяє вдосконаленню механізмів нейрогуморальної регуляції дихання. Дихальна гімнастика А. Стрельнікової успішно використовується при лікуванні захворювань, симптомами яких є дихальна недостатність.

Тренування дихальних м'язів за системою А.Стрельнікової здійснюється зворотною узгодженістю рухів з диханням: при вдиху руки зводяться, стискаючи грудну клітку, при видиху руки розводяться і грудна клітка розширюється. Таким чином, збільшуючи навантаження на дихальні м'язи, направлені рухи рук і грудної клітки сприяють розвитку їх сили і витривалості. Регуляцію дихання слід починати на вдиху. Він (вдох) повинен бути активним, коротким, різким, ритмічним і бажано емоційним.

Ефективним методом зниження дефіциту  $\text{CO}_2$  в організмі є метод довільної гіповентиляції, запропонований К. Бутейко. Вчений вважає, що для зниження хвилинного об'єму дихання необхідно передусім зменшувати не частоту, а глибину дихання, практикувати часті високоенергоекономні затримки дихання (на 1-2 і більше хвилин). Поверхневе дихання К. Бутейко рекомендує використовувати для лікування бронхіальної астми, стенокардії, гіпертонічної хвороби тощо.

Накопичення в організмі  $\text{CO}_2$  та інших біологічно активних речовин, за допомогою довільної регуляції дихання, викликає в організмі зміни, подібні до таких, що мають місце при виконанні фізичних навантажень. За своїм позитивним наслідком штучно створену рухову гіпоксемію можна порівнювати з тренування в умовах високогір'я.

У процесі виконання фізичного навантаження гіпоксемія і гіпоксія поєднується з гіперкапнією (збільшення парціальної напруги вуглекислого газу в артеріальній крові вище норми). Активізуючи діяльність кардіореспіраторної системи, гіперкапнія прискорює відновлення енергосубстратів. Гіпоксемія, що виникає у відсутності належної рухової активності, не супроводжується гіперкапнією. Отже дихальні вправи, спрямовані на зменшення дефіциту вуглекислого газу в організмі, завжди бажано поєднувати з руховою активністю.

## 1.2. ЗОВНІШНЄ ДИХАННЯ ТА ОСНОВНІ КРИТЕРІЇ ЙОГО ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИ ВИКОНАННІ ФІЗИЧНОЇ РОБОТИ

9. Яка направленість змін функціонального стану міжреберних м'язів і діафрагми при вдиху і видиху?

**Зовнішнє дихання** (легенева вентиляція) – сукупність процесів, що забезпечують надходження атмосферного повітря в легені, а легеневого – в довір'їлля. Вентиляція легень можлива завдяки ритмічним скороченням і розслабленням дихальних м'язів, які зумовлюють періодичну зміну об'єму грудної клітки, а отже, і тиску всередині легень. Дихальні м'язи належать до поспумгованих м'язів, а тому довільне управління диханням практично не відрізняється від управління рухами.

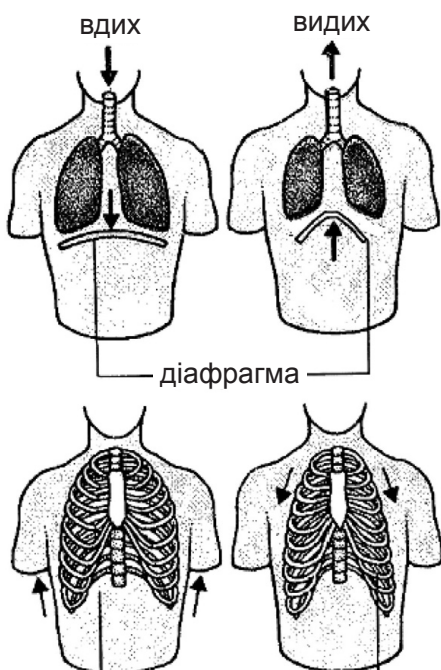


Рис. 7.5. Зміна положення грудної клітки та діафрагми в процесі вдиху і видиху

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. 7.5).

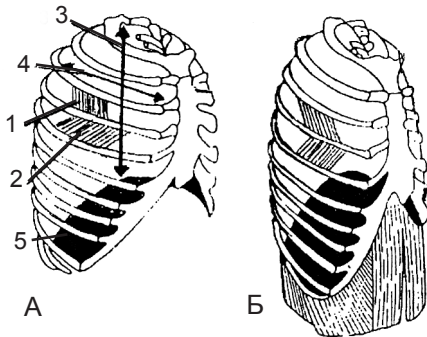
При скороченні діафрагми її купол випрямляється, займаючи майже горизонтальне положення. Опускаючись приблизно на 1,5 см вниз, діафрагма зміщує в цьому напрямку органи черевної порожнини. При глибокому диханні вертикальні переміщення діафрагми можуть сягати 10 см і більше. Наслідком опускання діафрагми 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, опір самої легеневої тканини, ваги грудної клітки, опір черевних органів і стінок живота, які відтісняються діафрагмою при її скороченні.

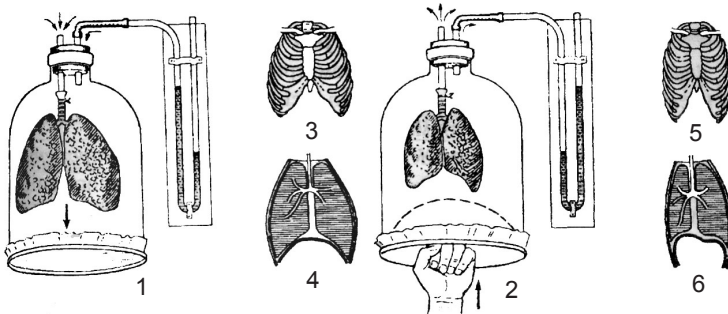
Акт видиху (*експірація*) розпочинається розслабленням м'язів видиху. Внаслідок своєї ваги і еластичності реберних хрящів ребра повертаються у вихідне положення, а купол діафрагми знову стає випуклим. Все це веде до зменшення обсягу грудної порожнини.

При збільшенні легеневої вентиляції (в умовах фізичних навантажень) 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 виштовхування діафрагми в напрямку грудної порожнини. Скорочення міжреберних м'язів сприяє опусканню ребер, що також зменшує обсяг грудної клітки, збільшуючи глибину видиху (рис. 7.6).



**Рис. 7.6.** *Схема дихальних рухів під час скорочення основних дихальних м'язів:*  
**А** – у положенні вдиху:  
1 – зовнішні міжреберні м'язи;  
2 – внутрішні міжреберні м'язи;  
3 – збільшення вертикальних і  
4 – передньо-задніх розмірів  
грудної клітки;  
**Б** – положення видиху

Демонстрування дихальних рухів діафрагми і грудної клітки на лабораторних заняттях з учнями та студентами проводять за допомогою моделі Доплера (рис. 7.7).



**Рис. 7.7. 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

**10. Як змінюватиметься ефективність дихання у людини при виконанні тривалих інтенсивних навантажень? Засоби підвищення витривалості дихальних м'язів.**

Виконання тривалих інтенсивних навантажень динамічного характеру часто призводить до втоми дихальних м'язів, особливо м'язів видиху. Ефективність дихання при цьому знижується. Для розвитку витривалості дихальних м'язів рекомендується виконання глибоких вдихів за допомогою кисневої маски під водою, видихи у воду, посилене форсоване дихання в умовах незручної статичної пози, гра на духових інструментах.

Іншими засобами тренування дихальних м'язів є використання еластичного поясу, що накладається на нижню третину грудної клітки, парадоксальне дихання за системою А. Стрельнікової. Співвідношення інтенсивності і тривалості навантажень на дихальні м'язи при цьому можуть бути близькими до максимально можливих. Зменшуючи 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.

**11. Який тип дихання переважатиме у юнака, що підняв вантаж? Переважаючий тип дихання вагітних жінок.**

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 – **діафрагмальний** (черевний) **тип дихання**. У чоловіків переважаним є черевний тип дихання, у жінок – грудний. Тип дихання не є суворо сталим, він може змінюватись залежно від умов діяльності. Так, у спортсмена, що підняв штангу, внаслідок фіксування міжреберних м'язів грудної клітки, дихання виконується виключно за рахунок руху діафрагми. У вагітних жінок зміщення діафрагми униз утруднене, а тому переважаним стає реберний тип дихання.

**12. Динамометричними дослідженнями у людини визначена сила скелетних м'язів на вдиху, видиху і при затриманні дихання. Отримані показники сили були різними. Чому? Механізм виникнення вставних вдихів (аритмія дихання).**

В умовах спокою і при виконанні малоінтенсивних фізичних навантажень дихання характеризується ритмічністю. При виконанні незвичної й інтенсивної роботи ритм дихання порушується. При стимуляції дихання в умовах зворотного дихання вуглекислим газом кількість вставних вдихів може значно зростати (до п'яти за одну хвилину). Глибина таких вдихів і загальне їх число у фізично підготовлених осіб вище, ніж у непідготовлених. Це створює певну аритмію дихання. Механізм формування глибоких вставних вдихів пов'язаний з поступовим нагромадженням стимулюючих дихання аферентних імпульсів в інспіраторних нервових центрах. Внаслідок кумулятивно відставленої в часі реакції на вуглекислий газ саморегуляція дихання послаблюється.

Максимальні м'язові зусилля працівниками важкої фізичної праці, спортсменами-важкоатлетами завжди виконуються при затриманні дихання і натуженні. Короткотривала (10-20 с) фіксація грудної клітки в цих умовах створює більш сприятливіші біомеханічні умови для виконання рухового акту, а підвищення внутрішньогрудного тиску сприяє збільшенню сили скелетних м'язів –

**пульмомускулярний рефлекс.** Динамометричними дослідженнями встановлено, що при затриманні дихання скелетні м'язи здатні розвивати більшу м'язову силу, ніж під час видиху і вдиху.

Участь м'язів грудної клітки, плечового пояса, черевного преса в дихальних актах знижує ефективність рухових дій. Так, скорочення м'язів верхніх кінцівок, плечового пояса і тулуба обмежують реберне дихання, а скорочення м'язів нижніх кінцівок – діафрагмальне. З підвищенням фізичної підготовленості людини ритми дихання стають більш узгодженими за руховими діями; ефективність виконуваної роботи з таких умов зростає.

### **13. Від чого залежить ефективність зовнішнього дихання при виконанні фізичної роботи динамічного характеру?**

Основними критеріями ефективності зовнішнього дихання при виконанні циклічної роботи є:

- досягнення такої величини альвеолярної вентиляції, яка дозволяє забезпечити насичення артеріальної крові киснем на рівні 95-100% від максимального;
- економічне функціонування апарата зовнішнього дихання (високий ККД дихальних м'язів);
- оптимальне співвідношення частоти і глибини дихання;
- оптимальні синхронні і кратні співвідношення числа дихальних і рухових циклів.

Правильна оцінка ефективності дихання можлива лише при врахуванні усіх вище відмічених критеріїв.

### **14. Величини внутрішньолегенового і внутрішньоплеврального тисків в час вдиху і видиху. На яку глибину під воду може зануритись людина, дихаючи через трубку? Відомо, що на глибині 1 м тиск води на грудну клітку – 0,1 атм.**

Завдяки непіддатливості грудної клітки легені знаходяться в грудній порожнині під одностороннім тиском. Таким чином атмосферний тиск діє на легені лише зсередини, через дихальні шляхи. Розтягуючи легені, цей тиск щільно притискує їх до грудної стінки, і будь-які зміни обсягу грудної порожнини повторюються в обсязі легень.



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. У міру того, як легені заповнюються повітрям, легеневий тиск під час вдиху може стати на 80 мм рт. ст. нижчим від атмосферного. Саме на цю понаднормативну величину тиску і здатні інспіраторні м'язи переборювати зовнішній тиск на грудну клітку. А тому при диханні атмосферним повітрям у воді через трубку глибина занурення не може бути більшою 1-1,5 м, оскільки на цій глибині внаслідок великого тиску води на грудну клітку (на глибині 1 м тиск води на грудну клітку становить 0,1 атм.), вдихнути атмосферне повітря практично неможливо.

У час видиху внаслідок збільшення тиску грудної клітки на легені і зменшення їх обсягу 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 йтиме з легень назовні.

Внутрішньоплевральний тиск завжди нижчий від внутрішньолегеневого. Упродовж дихального циклу внутрішньоплевральний тиск змінюється паралельно внутрішньолегеневому тиску. При спокійному диханні в час вдиху тиск повітря в легнях становить мінус 3 мм рт. ст., а в плевральній щілині – мінус 8 мм рт. ст.; під час видиху і (внутрішньолегеневий і внутрішньоплевральний) тиск збільшується на 6 мм рт. ст. (рис. 7.8).

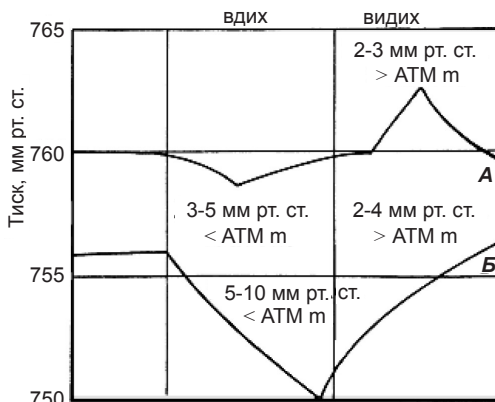


Рис. 7.8. Зміни внутрішньолегеневого (А) і внутрішньоплеврального (Б) тисків під час вдиху і видиху

тиск змінюється паралельно внутрішньолегеневому тиску. При спокійному диханні в час вдиху тиск повітря в легнях становить мінус 3 мм рт. ст., а в плевральній щілині – мінус 8 мм рт. ст.; під час видиху і (внутрішньолегеневий і внутрішньоплевральний) тиск збільшується на 6 мм рт. ст. (рис. 7.8).

Наявність негативного тиску в міжплевральній порожнині зумовлена пружними силами легень і пружними силами грудної клітки, які діють в напрямку її розширення. Цей тиск можна визначити введенням в міжплевральну щілину порожнистої голки, з'єднаної з манометром.

**15. Сутність поняття «пневмоторакс», його різновиди. Які наслідки однічного і двобічного поранення легень?**

При порушенні цілісності грудної клітки (при пораненнях) повітря надходить в міжплевральну щілину – **відкритий пневмоторакс**. Врівноваження тиску плевральної щілини з атмосферним призводить до спадання легень. При двобічному пневмотораксі (порушенні цілісності правої і лівої легень) надходження повітря в легені припиняється і людина помирає. З метою зниження легеневого напруження при запальних процесах у легенях, туберкульозі та деяких інших захворюваннях в міжплевральну щілину хворого спеціальною голкою вводять невелику кількість повітря (**закритий пневмоторакс**).

**16. За допомогою спірометра в досліджуваній людині масою тіла 60 кг визначено дихальний обсяг (600 мл), резервний обсяг вдиху (1500 мл) і резервний обсяг видиху (1000 мл). Розрахуйте величини життєвої ємності легень та життєвого показника для даного обстежуваного. Дайте оцінку отриманим показникам.**

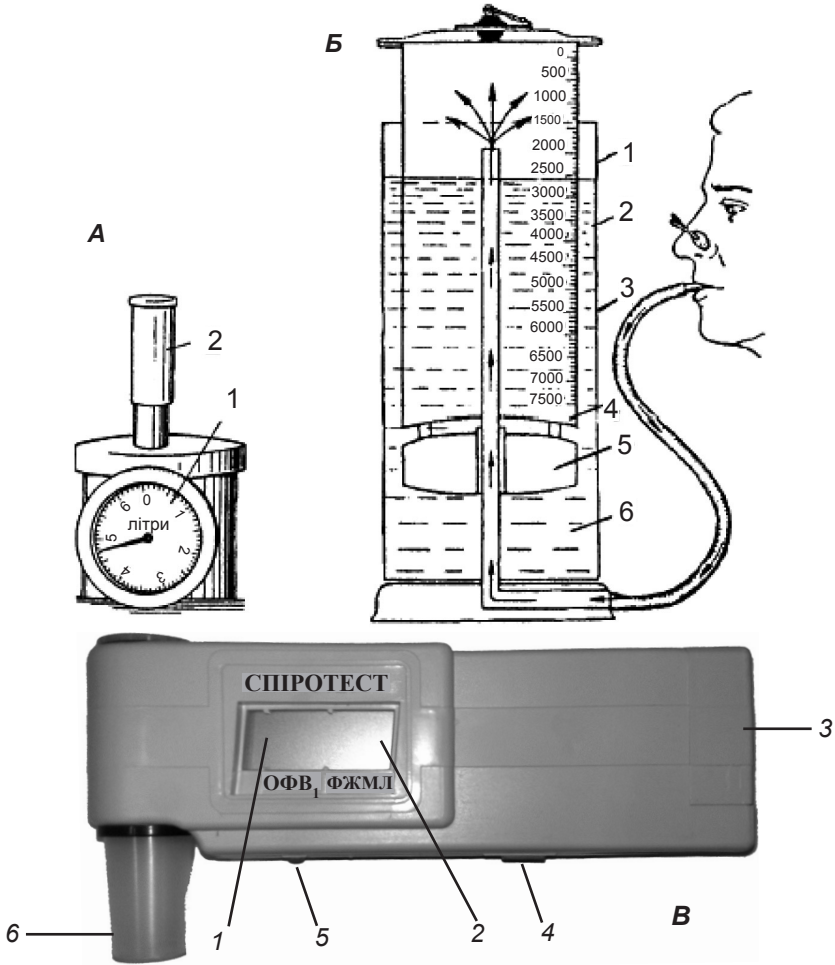
**Життєва ємність легень** (ЖЄЛ) визначається за допомогою спірометрів (рис. 7.9) – сума обсягів повітря спокійного вдиху, резервних обсягів вдиху і видиху:

$$600 \text{ мл} + 1500 \text{ мл} + 1000 \text{ мл} = 3100 \text{ мл.}$$

**Життєвий показник** (ЖП) – відношення ЖЄЛ до маси тіла:

$$3100 \text{ мл} : 60 \text{ кг} = 51 \text{ мл/кг.}$$

У нормі ЖЄЛ у дорослих – 3500-5500 мл, ЖП – 65-75 мл на 1 кг маси тіла. Отже, функціональний стан легень досліджуваного за даними показниками незадовільний. Загальна схема легеневих обсягів і ємностей людини подано на рис. 7.10.



**Рис. 7.9. 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; В – спіротест для визначення обсягу форсованого видиху за першу секунду тестування, л (ОФВ<sub>1</sub> – 1); показника форсованої життєвої місткості легень, л (ФЖМЛ – 2); 3 – блок живлення; 4 – вкл./викл.; 5 – датчик готовності приладу до роботи; 6 – мундштук

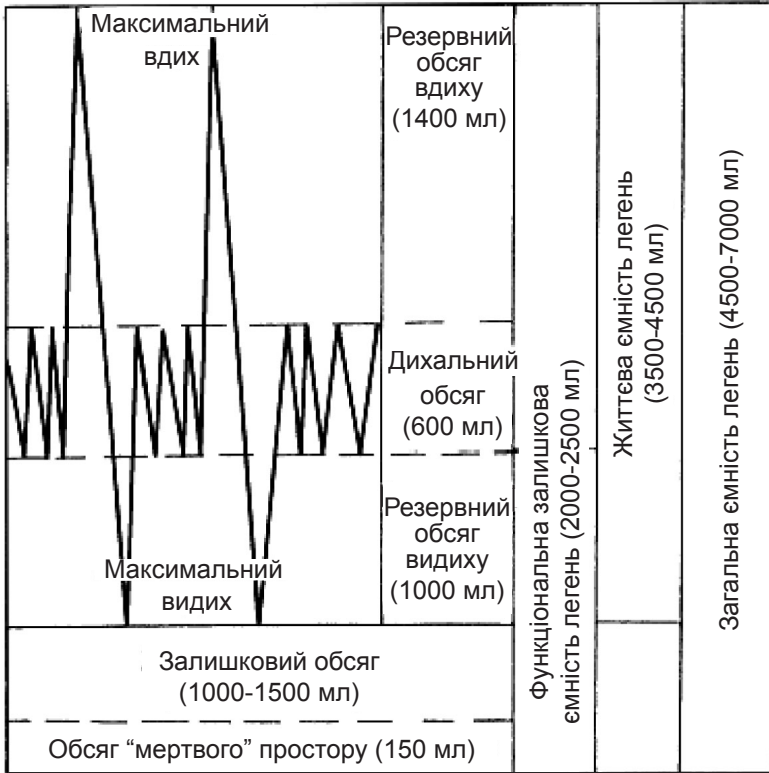


Рис. 7.10. Легеневі обсяги (дихальний обсяг, резервний обсяг вдиху, залишковий обсяг) і ємності (життєва ємність легень, функціональна залишкова ємність, загальна ємність легень)

◇ 17. Спірометричним дослідженням у людини визначена життєва ємність легень (ЖЄЛ) – 4000 мл дихальний обсяг – 500 мл резервний обсяг видиху – 1500 мл. Розрахуйте величину резервного обсягу вдиху (додаткового обсягу).

Резервний обсяг вдиху (Ровд) – це різниця між показником ЖЄЛ і резервним обсягом видиху (Ровид), до якого додається дихальний обсяг:  $Ровд = ЖЄЛ - (Ровид + ДО) = 4000 \text{ мл} - (1500 + 500) = 2000 \text{ мл}$ .

**18. Визначіть загальну ємність легень у двох досліджуваних осіб, 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 досліджуваного становила 3100 мл, залишковий обсяг повітря – 1200 мл.**

Загальна ємність легень (ЗЄЛ) першого обстежуваного – 4300 мл (600 мл + 1000 мл + 1500 мл + 1200 мл), другого – 4300 мл (3100 + 1200).

Отже, ЗЄЛ обох досліджуваних однакова – 4,3 л.

◇ **19. У досліджуваного віком 40 років (зріст 170 см, маса тіла 73 кг), ЖЄЛ становить 5000 мл. Визначіть належну життєву ємність легень (НЖЄЛ) досліджуваного, користуючись формулою Шика і Канаєва ( $\text{НЖЄЛ} = 0,523 - 0,028 \cdot \text{вік} - 3,20$ ). Дайте оцінку функціонального стану дихальної системи обстежуваного.**

$\text{НЖЄЛ} = 0,523 - 0,028 \cdot 40 - 3,20 = 4,52$  л. В нормі величина ЖЄЛ коливаються в межах 15-20% від належної величини. В даному випадку ЖЄЛ (5 л) перевищує нормативну величину (4,52 л) на 17%, що свідчить про достатній (добрий) розвиток дихальної системи обстежуваного.

◇ **20. Вкажіть на методичні особливості визначення сили дихальних м'язів за допомогою сфігмоманометра або пневмотонометра. Дайте оцінку стану дихальних м'язів (м'язів видиху) людини, якщо показник пневмотонометрії становив 150 мм рт. ст.**

Для вимірювання сили дихальних м'язів можна використати ртутний сфігмоманометр або мембранний пневмотонометр без манжетки і груші. До гумової трубки, що йде до манометра, прикріплюють лійку 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 створеного напруження дихальних м'язів внутрішньогрудного тиску, який візуально реєструється за шкалою сфінгоманометра в мм рт. ст. Для вимірювання сили м'язів вдиху після глибокого видиху, беруть у

рот мундштук і, виконуючи вдих, опускають якнайнижче ртуть на шкалі приладу.

Функціональний стан дихальних м'язів вдиху у юнаків вважається добрим, якщо вони розвивають зусилля – 50-80 мм рт. ст., нормативи сили видиху для дівчат – 40-70 мм рт. ст. Сила м'язів видиху ненаренованих молодих чоловіків – 80-120 мм рт. ст. (у спортсменів – 100-240 мм рт. ст. і більше), у жінок – 70-100 мм рт. ст. При втомі сила дихальних м'язів зменшується.

Показник пневмотонометрії досліджуваного – 150 мм рт. ст. Отже, функціональний стан його дихальних м'язів вищий від нормативних величин, характерних особам даної вікової категорії (80-120 мм рт. ст.).

◇ 21. *Дайте оцінку функціонального стану дихальної системи юнака, якщо показники п'ятиразового спірометричного тестування були такими: 3500, 3500, 3900, 3500, 3500 мл.*

Згідно тесту Розенталя, у здорових людей показники п'ятиразових вимірювань ЖЄЛ суттєво не повинні відрізнятися один від одного або ж спостерігається незначне збільшення кожного наступного показника. У досліджуваного показник ЖЄЛ третього вимірювання був вищим від попереднього на 400 мл. Отже функціональний стан дихальної системи досліджуваного, стан його дихальних м'язів і тонус дихального центра не відповідає нормативним величинам (до 300 мл).

Суттєва різниця показників повторних вимірювань ЖЄЛ в тесті Розенталя може бути спричинена погіршенням функціонального стану кардіореспіраторної системи досліджуваного, наявністю залишкової втоми дихальних м'язів (ознаки перевтоми і перенапруження).

### 1.3. ЛЕГЕНЕВА ВЕНТИЛЯЦІЯ ТА ЇЇ ЕФЕКТИВНІСТЬ. АЛЬВЕОЛЯРНА ВЕНТИЛЯЦІЯ

**22. Які показники системи дихання обумовлюють легеневу вентиляцію? Нормативні величини частоти і глибини дихання. Фази дихального циклу.**

Основним кількісним показником легеневої вентиляції є показник *хвилинного об'єму дихання* (ХОД) – кількість повітря, що проходить через легені за 1 хв (добуток частоти дихальних актів і глибини дихання). Частота дихання (ЧД) – кількість дихальних рухів (дихальних циклів) за 1 хв. У нормі ЧД для дорослих людей в стані спокою становить 11-20 циклів за 1 хв (у чоловіків – 11-14, у жінок – 15-18).

ЧД більша від нормативної, називається *тахіпноє*, менша – *брадіпноє*. Глибина дихання у дорослої людини в стані спокою становить 12-17% ЖЄЛ, а під час напруженої циклічної роботи – 25-50% ЖЄЛ.

*Дихальний цикл* (ДЦ) складається з трьох фаз: вдих – видих – дихальна пауза. Тривалість фаз ДЦ залежить від ЧД. В середньому тривалість вдиху становить 2,3 с, а видиху – 2,7 с. Для визначення тривалості ДЦ необхідно 60 с поділити на показник ЧД за 1 хв.

Через кожні 40-80 дихальних циклів спостерігається вдих вищої амплітуди – *вставний вдих*. За ним іде триваліша дихальна пауза. Посилюючи вентиляцію недостатньо вентильованих альвеол, вставні вдихи сприяють виділенню сурфактанту з клітинних структур легень. Відсутність вставних вдихів (монотонність дихання) є ознакою порушення діяльності дихального центру.

**23. Визначіть легеневу вентиляцію у досліджуваного працівника, який дихає з частотою 10 дихальних циклів за 1 хв; глибина дихання – 500 мл. Які чинники впливають на величину легеневої вентиляції?**

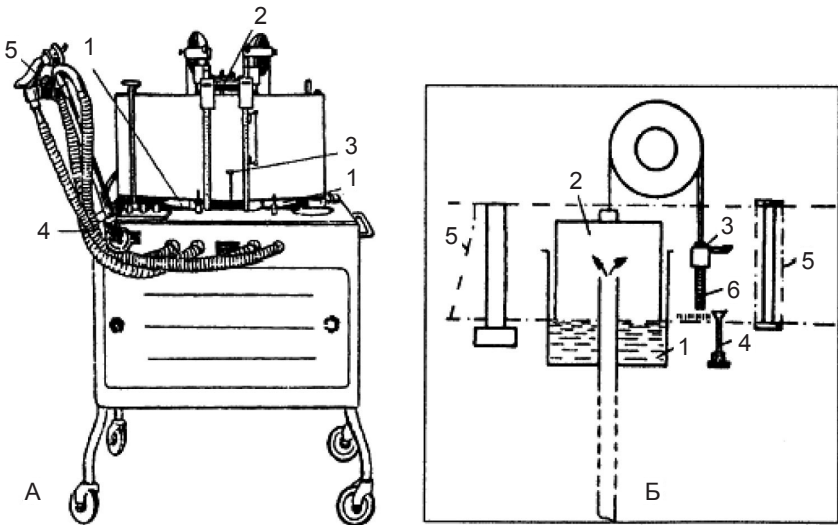
В умовах спокою ХОД становить 5-8 л/хв. Найменші величини ХОД (4 л/хв) у людини, що спить, найбільші (150-200 л/хв) – у людини, що виконують максимально напружену фізичну роботу. Величина показника ХОД залежить від положення тіла досліджуваного – у вертикальному положенні, внаслідок зростання антигра-

вітаційного тону су скелетних м'язів, він дещо більший, ніж у горизонтальному; від рівня основного обміну і енергопотреб організму. Рівень ХОД залежить також від віку, статі, зросту і поверхні тіла людини.

Легенева вентиляція (хвилинний обсяг дихання) досліджувано-го – 5000 мл за 1 хв (10 дих. циклів за 1 хв · 500 мл).

◇ 24. За допомогою спірографа у людини визначили максимальну довільну частоту (80 дих. циклів за 1 хв.) і глибину (3 л) дихання. Розрахуйте максимальну вентиляцію легень (МВЛ) досліджуваного, якщо належна життєва ємність легень у нього – 6 л. Користуючись формулою ( $МВЛ = НЖЄЛ \cdot 25$ ) розрахуйте належну МВЛ.

Спірографію проводять з допомогою спірографа, який складається з спірографа і реєструючого пристрою (рис. 7.11).



**Рис. 7.11. 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



Для визначення МВЛ обстежуваному дають пораду дихати упродовж 5 с максимально часто і максимально глибоко. Під час довільної гіпервентиляції ЧД у фізично підготовлених осіб може збільшуватись до 60-80 дихальних актів за 1 хв, а дихальний об'єм до 3-4 л. Величина МВЛ за таких умов досягає 150 л/хв і більше (рис. 7.12). В нормі МВЛ становить 70-150 л/хв.

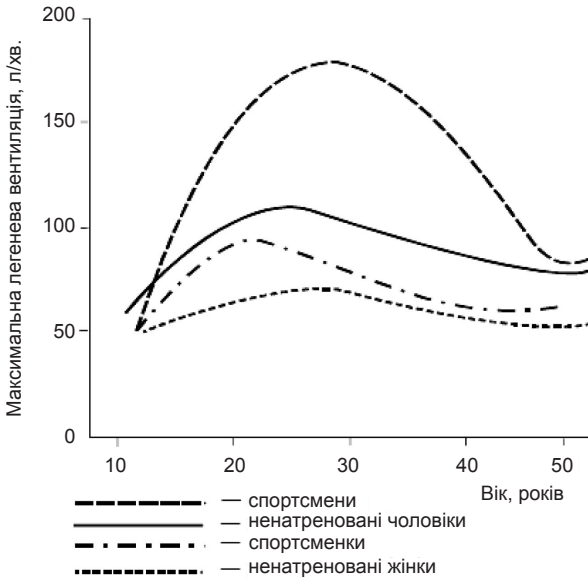


Рис. 7.12. Максимальна легенева вентиляція у спортсменок і спортсменів різного віку, які спеціалізуються з витривалісних видів спорту

Тестування функціональних можливостей апарата зовнішнього дихання за показником МВЛ використовується у виробничій і спортивній практиці, зокрема при вивченні біомеханіки дихання і визначенні резервних можливостей дихальної системи у працівників і спортсменів.  $MВЛ = 80 \text{ дих. циклів за } 1 \text{ хв} \cdot 3 \text{ л} = 240 \text{ л/хв}$ ;  $НМВЛ = 6 \text{ л} \cdot 25 = 150 \text{ л/хв}$ .

◇ 25. Частота дихання досліджуваного становить 12 за 1 хв, дихальний обсяг – 500 мл. Розрахуйте величину альвеолярної і легеневої вентиляції.

Аналіз легеневої вентиляції варто проводити з врахуванням величин, що її зумовлюють, тобто ЧД і ДО. Та частина повітря, яка надходить в альвеоли і бере безпосередню участь в газообміні, називається **ефективним дихальним об'ємом** (ЕДО). Він дорівнює ДО без об'єму повітря “мертвого” простору (повітря дихальних шляхів, яке не бере безпосередньої участі в газообміні) – 140 мл.

Добуток ефективного дихального об'єму на частоту дихання становить величину **альвеолярної вентиляції** (АВ). При частоті дихання 12 за 1 хв і ДО – 500 мл АВ становитиме 4,3 л/хв (500 мл – 140 мл · 12), що становить 70% від легеневої вентиляції.

**26. Частота дихання (ЧД) досліджуваного в стані спокою становить 10 дих. циклів за 1 хв, глибина дихання (ГД) – 500 мл. Розрахуйте величину ефективного дихального обсягу (ЕДО), рівень альвеолярної і легеневої вентиляції.**

ЕДО = дих. об'єм – об'єм повітря “мертвого” простору =  
500 мл. – 140 мл = 360 мл.

Альвеолярна вентиляція = ЧД : ЕДО =  
10 дих. цикл. за 1 хв · 360 мл. = 3600 мл.

Легенева вентиляція = ЧД : ГД = 10 дих. цикл за 1 хв · 500 мл =  
5000 мл/хв.

**27. Яке дихання щодо вентиляції альвеол легенів більш ефективна: рідке але глибоке, чи часте але поверхнєве. Підтвердіть висновок розрахунками альвеолярної вентиляції двох осіб з однаковою величиною хвилинного обсягу дихання (ХОД) – 6 л/хв: у першого досліджуваного дихальний обсяг (ДО) – 600 мл, частота дихання (ЧД) – 10 за 1 хв, у другого – ДО – 300 мл, ЧД – 20 за 1 хв.**

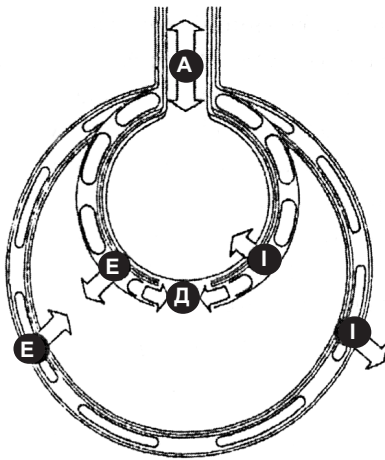
Одна і та ж величина ХОД (6 л) при глибокому і рідкому диханні (ДО – 600 мл, ЧД – 10 за 1 хв) і при частому, але поверхнєвому диханні (ЧД – 20 за 1 хв, ДО – 300 мл) зумовлює різні величини альвеолярної вентиляції (АВ). У першому випадку АВ становитиме 4,5 л/хв (10 : 600 – 150), а в другому – всього 3,0 л (20 : 300 – 150). Таким чином, рідке, але глибоке дихання значно ефективніше щодо вентиляції альвеол, ніж частіше і поверхнєве дихання.

## ТЕМА 2. СПОЖИВАННЯ КИСНЮ ОРГАНІЗМОМ У СТАНІ СПОКОЮ І В УМОВАХ ВИКОНАННЯ ФІЗИЧНОЇ РОБОТИ

### 2.1. ГАЗООБМІН МІЖ АЛЬВЕОЛЯРНИМ ПОВІТР'ЯМ І КРОВ'Ю КАПІЛЯРІВ ЛЕГЕНЬ. ДИФУЗІЙНА СПРОМОЖНІСТЬ ЛЕГЕНЬ

*1. З яких компонентів складаються енерговитрати роботи дихання? Скільки кисню споживають дихальні м'язи в стані спокою і при виконанні інтенсивної фізичної роботи?*

Енерговитрати роботи дихання складаються з енерговитрат, які йдуть на переборення опору легеневої тканини і грудної клітки (еластичний опір) і таких, що пов'язані з динамічним нееластичним опором розтягнення легень – опір руху повітря в дихальних шляхах і опір, що виникає в самих легенях, зумовлений тертям тканин дихального апарату, а також у тканинах стінок і органів грудної і че-



**Рис. 7.13.** Компоненти опору диханню:

*A* – аеродинамічний опір;

*E* – еластичний опір;

*Д* – деформаційний опір тканин;

*I* – інерційний опір

ревної порожнини при їх деформації. Виділяють два різновиди опору: в'язкий (нееластичний) опір і еластичний (пружний) опір легень і тканин (рис. 7.13).

У стані спокою споживання кисню дихальними м'язами – 4-8 мл за 1 хв, а при інтенсивній роботі (при вентиляції легень більше 150 л/хв) – до 500 мл/хв. За таких умов майже весь приріст кисню, що надходить в організм за рахунок активізації дихання, споживається працюючими дихальними м'язами. Межа ефективного збільшення вентиляції – 60-70% обсягу максимальної вентиляції.

**2. Розрахуйте парціальний тиск кисню і вуглекислого газу в атмосферному повітрі з вмістом кисню 21% і вуглекислого газу 0,03%.**

Газообмін між альвеолами і кров'ю капілярів легень відбувається за законами 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* (ПТ). ПТ газу – це та частина загального тиску, яка припадає на долю даного газу в суміші газів. Оскільки загальний атмосферний тиск на рівні моря становить 760 мм рт. ст., то парціальний тиск кисню, якого в повітрі 21%, становитиме 159,6 мм рт. ст. ( $760 \text{ мм рт. ст.} \cdot 21\% : 100\%$ ), а вуглекислого газу – 0,2 мм рт. ст. ( $760 \text{ мм рт. ст.} \cdot 0,03\% : 100\%$ ) – табл. 7.1.

**Таблиця 7.1**

**Середні дані парціальних тисків, напруги і вмісту газів у видихуваному повітрі, венозній та артеріальній крові**

	Відсотковий вміст, %		Парціальний тиск і напруга газів, мм рт. ст.	
	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
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	12,2	5,7	40	48
Міжклітинна рідина			20-40	70-46
Клітина			0	60-70

**3. Розрахуйте величину альвеоло-венозного градієнта кисню у людини в стані спокою і при виконанні фізичних навантажень. Парціальна напруга кисню в венозній крові досліджуваного 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.**

Дифузія газів між альвеолярним повітрям і кров'ю капілярів легень здійснюється через альвеолярно-капілярну мембрану – **аерогематичний бар'єр**, товщиною близько 1 мкм (рис. 7.14).

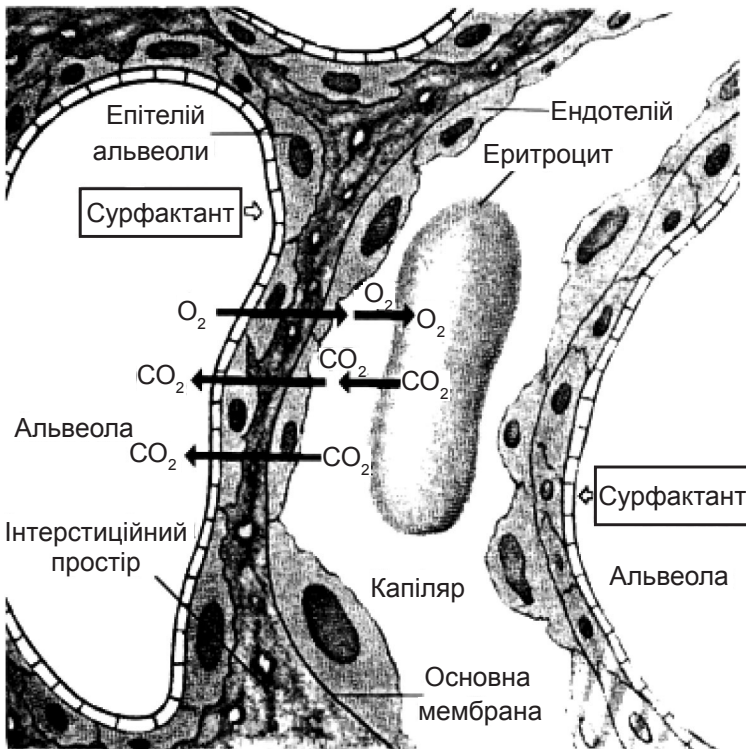


Рис. 7.14. Простір між кров'ю і альвеолярним повітрям (аерогематичний бар'єр)

Перехід газів 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. 7.15). АВГ щодо кисню в стані спокою – 60 мм рт. ст. (100 мм рт. ст. – 40 мм рт. ст.), при фізичній роботі – 90 мм рт. ст. (130 мм рт. ст. – 40 мм рт. ст.).

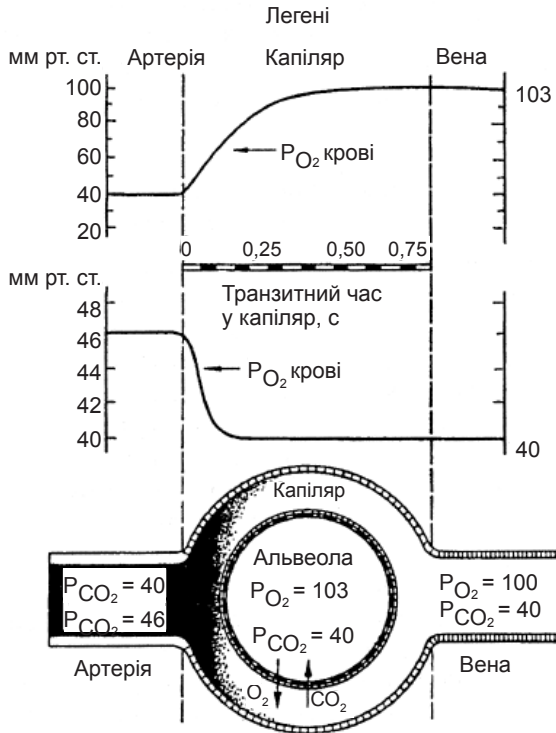


Рис. 7.15. Обмін газів між альвеолярним повітрям і кров'ю капілярів легень

**4. Визначте дифузійну спроможність легень (ДСЛ) досліджуваного за киснем. Об'єм кисню, що дифундує через легеневу мембрану – 240 мл/хв, альвеоло-венозний градієнт за киснем – 60 мм рт. ст. Які чинники впливають на величину ДСЛ?**

Проникність легеневої мембрани для газів визначається ДСЛ – об'єм газу (в мл), який дифундує через легеневу мембрану. ДСЛ щодо кисню визначається за формулою:

$$ДСЛ = \frac{Q_{O_2}}{АВГ} = \frac{240 \text{ мл } O_2}{60 \text{ мм рт. ст.}} = 4,0 \text{ л/хв на } 1 \text{ мм рт. ст.},$$

де:  $Q_{O_2}$  – об'єм кисню, який дифундує через легеневу мембрану, мл/хв; АВГ – альвеолярно-венозний градієнт за киснем, мм рт. ст.

На величину ДСЛ виявляють вплив такі чинники:

- різниця парціальних тисків газу з обох боків мембрани;
- площа альвеолярно-капілярної поверхні, доступної для газообміну;
- стан альвеолярних мембран;
- об'ємна швидкість течії крові;
- вміст 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 аерогематичного бар'єру.

ДСЛ найбільша у людей зрілого віку; у підлітків і людей старшого та похилого віку вона майже вдвічі нижча. ДСЛ в положенні стоячи на 15-20% менша, ніж в положенні сидячи.

**5. Розрахуйте величину альвеоло-артеріального градієнта для кисню у людини, яка знаходиться в стані спокою і при виконанні фізичної роботи. Відомо, що парціальний тиск кисню в альвеолах досліджуваного в стані спокою становить 100 мм рт. ст., а при фізичних навантаженнях – 130 мм рт. ст.: в артеріальній крові – 90 і 100 мм рт. ст. відповідно.**

Альвеоло-артеріальний градієнт (ААГ) щодо кисню в стані спокою – 10 мм рт. ст. (100 мм рт. ст. – 90 мм рт. ст.), при фізичних навантаженнях – 30 мм рт. ст. (130 мм рт. ст. – 100 мм рт. ст.).

Вентиляція газообміну і рівень кровообігу у різних ділянках легень проходить неоднаково інтенсивно. Це, ймовірно, і є однією з причин частіших запалень верхівок легень, де вентиляція і кровообіг значно менший, ніж в ділянках нижніх горизонтальних шарів легень.

## **2.2. ТРАНСПОРТУВАННЯ ДИХАЛЬНИХ ГАЗІВ КРОВ'Ю. ГАЗООБМІН МІЖ КРОВ'Ю КАПІЛЯРІВ І ТКАНИНАМИ. КОЕФІЦІЄНТ ВИКОРИСТАННЯ КИСНЮ**

**6. Фізіологічні механізми насичення артеріальної крові киснем. За яких умов насичення крові киснем сягає максимальних величин?**

Дихальні гази можуть бути фізично розчинені в крові (адсорбція) або знаходитися у вигляді відповідних хімічних сполук. Розчинність газів в крові залежить від концентрації даного газу і від температури крові. Чим більший тиск газу і чим нижча температура крові, тим більше газу розчиняється в ній. Із зростанням температури крові розчинність газів знижується. В 100 мл артеріальної крові у фізично розчиненому стані міститься 0,30 об% (відсотки – кількість газу, розчиненого в 100 мл рідини) кисню, 2,5 об% вуглекислого газу і 0,95 об% азоту.

Важливими показниками ефективної діяльності дихальної системи є показник газового складу артеріальної крові, її насиченість киснем. Інтенсивність поглинання кисню організмом є показником, за яким оцінюють ефективність системи транспортування газів та інтенсивність тканинного метаболізму.

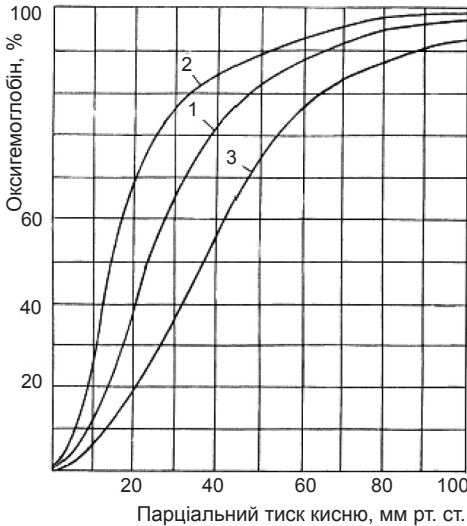
Максимальне насичення артеріальної крові киснем може бути досягнуте лише за таких умов:

- безперервна вентиляція альвеол, спрямована для підтримання нормального газового складу альвеолярного повітря;
- дифузія газів через альвеолярно-капілярну мембрану зі швидкістю, достатньою для досягнення рівноваги парціальних тисків в альвеолярному повітрі і крові легеневих капілярів;
- безперервний рух крові в кровеносних судинах легень з інтенсивністю, необхідною для ефективного газообміну в окремих зонах легень.

### **7. Фізіологічні механізми транспортування кисню і вуглекислого газу кров'ю. На що вказує крива дисоціації оксигемоглобіну?**

Кисень транспортується кров'ю в сполуці з гемоглобіном. Ця сполука (оксигемоглобін) нестійка, при зниженні парціальної напруги кисню вона розпадається, віддаючи кисень клітинам організму. На утворення оксигемоглобіну і його розпад виявляє вплив парціальна напруга кисню (ПНО<sub>2</sub>) крові. Співвідношення між ПНО<sub>2</sub> і кількістю утвореного оксигемоглобіну оцінюється **кривою дисоціації оксигемоглобіну** (рис. 7.16). Для її отримання на осі абсцис від-





**Рис. 7.16.** Крива дисоціації оксигемоглобіну в нормі (1), при зменшенні (2) і збільшенні (3) вмісту вуглекислого газу в крові

кладають показник парціальної напруги кисню, а на осі ординат відсоток насичення гемоглобіну киснем. Отримана крива дисоціації оксигемоглобіну має форму гіперболи. Вона показує, що між парціальним тиском кисню і кількістю утвореного оксигемоглобіну немає прямої залежності: там, де парціальна напруга кисню висока (в альвеолах), майже весь гемоглобін крові, що знаходиться в капілярах легень, перетворюється в оксигемоглобін і, навпаки, при низькій напрузі кисню (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. Тому надходження вуглекислого газу із тканин в кров полегшує звільнення кисню із оксигемоглобіну і перехід його до тканин.

З 50 об%  $\text{CO}_2$  венозної крові близько 2,5 об% розчинено в плазмі, 4,5 об% знаходяться в сполуках з гемоглобіном у вигляді карбгемоглобіну: основна ж частина  $\text{CO}_2$  знаходиться в плазмі і еритроцитах у вигляді натрієвих і калієвих солей вуглекислоти.

◇ 8. У стані спокою в крові досліджуваного міститься 15 г% гемоглобіну, при фізичній роботі – 16 г%. Розрахуйте кисневу ємність крові досліджуваного за цих умов.

Відомо, що 1 г гемоглобіну здатний приєднати 1,34 мл кисню. Отже, киснева ємність крові, в якій міститься 15 г% гемоглобіну, становитиме 20 об% (1,34 мл · 15 г%). При виконанні короткотривалої інтенсивної роботи вміст гемоглобіну в крові зростає до 26 г%, а киснева ємність крові до 21,4 об% (1,34 мл · 16 об%). Це відбувається за рахунок переходу в кровообіг більш концентрованої крові з депо, яка містить більше еритроцитів, а отже, і гемоглобіну.

**9. Розрахуйте величину тканинно-капілярного градієнта для  $CO_2$  і артеріально-тканинного градієнта (АТГ) для  $O_2$ , якщо парціальна напруга  $CO_2$  в тканинній рідині досліджуваного – 46 мм рт. ст., а в артеріальних капілярах – 40 мм рт. ст., парціальна напруга  $O_2$  в тканинній рідині і артеріальній крові – 35 і 100 мм рт. ст. відповідно.**

Тканинно-капілярний градієнт (ТКГ) за вуглекислим газом – 6 мм рт. ст. (46 мм рт. ст. мінус 40 мм рт. ст.), АТГ за киснем – 75 мм рт. ст. (100 мм рт. ст. мінус 35 мм рт. ст.). Утворення вугільної кислоти з вуглекислого газу відбувається в еритроцитах при участі сильного каталізатора карбоангідрази:  $CO_2 + H_2O = H_2CO_3$  (рис. 7.17).

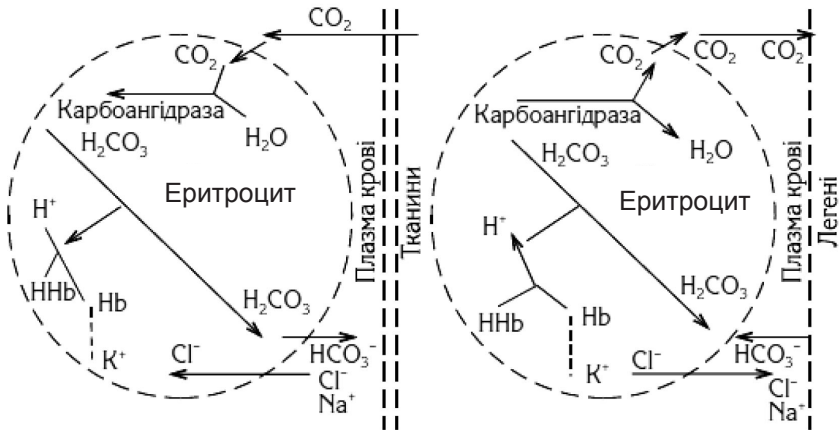


Рис. 7.17. Схема обміну вуглекислого газу між тканинами, кров'ю і альвеолярним повітрям

**10. Визначте величину споживання кисню з артеріальної крові (коефіцієнт використання кисню) людини, якщо відомо, що вміст гемоглобіну в крові досліджуваного 15 г%, а вміст кисню в венозній крові – 12 г%.**

Киснева ємність артеріальної крові з вмістом 15 г% гемоглобіну – 20 об% (1,34 мл · 15 г%); 1,34 – кількість мл кисню, яка може бути зв'язана 1 г% гемоглобіну. Коефіцієнт використання кисню (КВО<sub>2</sub>):

$$\text{КВО}_2 = \frac{20 \text{ об \%} - 12 \text{ об \%}}{20 \text{ об \%}} \cdot 100 = 40\%.$$

**11. При виконанні напруженої фізичної роботи використання кисню з артеріальної крові зростає до 60% і більше. Які фізіологічні механізми сприяють цьому?**

У 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 шляхом:

- розкриття нефункціонуючих капілярів працюючих тканин;
- посиленого утворення кислих продуктів обміну (молочної кислоти і вуглекислоти), які сприяють розпаду оксигемоглобіну і дифузії кисню до тканин;
- підвищення температури в працюючих м'язах;
- підвищення активності окисних ферментів і активізація ферментативних і енергетичних процесів в клітинах.

**12. Розрахуйте величину споживання кисню з артеріальної крові людини, яка виконує інтенсивну м'язову роботу. Вміст гемоглобіну в крові досліджуваного – 16 г%, вміст кисню в венозній крові – 7,0 об%.**

Киснева ємність артеріальної крові з вмістом 16 г% гемоглобіну – 21,4 об% (1,34 мл · 16 г%). Коефіцієнт використання кисню ( $KVO_2$ ):

$$KVO_2 = \frac{21,4 \text{ об \%} - 7 \text{ об \%}}{21,4 \text{ об \%}} \cdot 100 = 67\%.$$

**13. Які фізіологічні механізми лежать в основі виникнення гіпоксичної, анемічної, циркуляторної і гістотоксичної типів гіпоксії?**

Неповне забезпечення тканин киснем називається **гіпоксією**. В залежності від того, які фізіологічні механізми лежать в основі її виникнення, розрізняють чотири основних типи тканинної гіпоксії: гіпотоксична, анемічна, циркуляторна, гістотоксична.

**Гіпотоксична гіпоксія** виникає в умовах дихання повітря зі 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** – зі зменшенням надходження крові до тканин. **Гістотоксична гіпоксія** є наслідком неспроможності клітин використати весь кисень, що до них надходить.

### 2.3. ПОКАЗНИКИ ДОСКОНАЛОСТІ МЕХАНІЗМІВ АЕРОБНОГО І АНАЕРОБНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДІЯЛЬНОСТІ ЛЮДИНИ

**14. Які особливості функціонального стану системи дихання характерні для осіб з високим і низьким рівнем фізичної підготовленості?**

Систематичне виконання фізичної роботи сприяє суттєвому зростанню функціональних резервів усіх систем організму, а особливо системи дихання. Для об'єктивної оцінки цих резервів порівнюють величини основних показників системи дихання у фізично підготовлених осіб і не підготовлених в стані спокою і при виконанні фізичної роботи (табл. 7.2).

Таблиця 7.2

**Обсяг функціональних резервів системи дихання в осіб різного рівня фізичної підготовленості**

Фізіологічні показники	Фізично не підготовлені особи		Фізично добре підготовлені особи	
	Стан спокою	При максимальному навантаженні	Стан спокою	При максимальному навантаженні
1. Частота дихання, дих. циклів за 1 хв	13-16	50-60	10-12	70-100
2. Дихальний об'єм, мл	500-700	1000-1300	300-500	1500-2000
3. Хвилинний об'єм дихання, л/хв	6-11	50-80	3-9	130-200
4. Споживання кисню, л/хв	0,3	2,5-3,5	0,2	6,0-7,0
5. Кисневий борг, л	–	10-15	–	20-25

*15. Споживання кисню людиною, яка упродовж 6 хв виконує степергометричну роботу – 4 л/хв; споживання кисню упродовж першої і другої хвилини відновного періоду – 2 л/хв; третьої-четвертої – 1 л/хв; п'ятої-шостої – 0,5 л/хв. На сьомій хвилині відновного періоду споживання кисню було таким же, як і в стані спокою – 0,3 л/хв. Визначте величину загального кисневого запиту.*

Кількість кисню, яка необхідна для перебігу процесів окиснення, спрямованих на енергозабезпечення даної роботи, називається **загальним кисневим запитом**. Та кількість кисню, що необхідна організму для виконання конкретної роботи упродовж 1 хв, називається **хвилинним кисневим запитом** (ХКЗ). При виконанні максимально напруженої роботи ХКЗ може сягати – 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, при інших рівних умовах, мав би йти на підтримання основних процесів життєдіяльності організму за період роботи і відновлення (споживання кисню в стані спокою).

Споживання кисню за 6 хв роботи – 24 л (4 л/хв · 6 хв); споживання кисню у відновному періоді 7 л (за 1-2 хв – 4; за 3-4 хв – 2 л, за 5-6 хв – 1 л); загальне споживання кисню за 6 хв. роботи і 6 хв відновного періоду на основні процеси життєдіяльності в стані спокою – 3,6 л (12 хв · 0,3 л/хв); загальний кисневий запит – 27,4 л (31,0 л – 3,6 л).

**16. Які фізіологічні системи і які показники функціонального стану цих систем перш за все лімітують досягнення високих величин максимального споживання кисню людини важкої фізичної праці?**

Основні системи, що лімітують досягнення максимального споживання кисню (МСК), представлені в табл. 7.3.

**Таблиця 7.3**

**Факторний аналіз систем, що лімітують МСК**

Системи, що лімітують МСК	Основні показники цих систем
1. Зовнішнє дихання	ХОД, АВ/ХОК, дифузійна спроможність альвеол, швидкість утворення оксигемоглобіну
2. Центральна циркуляція і транспортування кисню	Загальний гемоглобін крові, оксигемоглобін, артеріальний тиск крові, обсяг крові, ХОК (ЧСС і СОК), загальний периферійний опір
3. Периферійна циркуляція	Компенсаторний перерозподіл кровообігу, щільність м'язових капілярів, судиннодифузійна спроможність капілярів, коефіцієнт використання кисню
4. Метаболізм	Швидкість транспортування енергосубстратів для окиснення, розміри і кількість м'язових волокон, наявність енергоресурсів, міоглобіну, мітохондрій, окисних ферментів

**17. Визначте величину споживання кисню у досліджуваного, який упродовж 30 с виконав 20 присідань. Виконання роботи супроводжувалось зростанням ЧСС до 150 ск/хв і систолічного обсягу кровообігу до 120 мл; артеріально-венозна різниця щодо кисню становила 10 об% (10 мл кисню на 100 мл крові або 100 мл кисню на 1 л ХОК).**

Хвилиний обсяг кровообігу (ХОК) = 150 ск/хв · 120 мл = 18 л/хв. Споживання кисню (СпО<sub>2</sub>) є добуток ХОК і артеріально-венозної різниці за киснем:

$$\text{СпО}_2 = 100 \text{ мл О}_2/\text{л} \cdot 18 \text{ л/хв} = 1800 \text{ мл О}_2 \text{ за } 1 \text{ хв.}$$

**18. Визначте величину енерговитрат юного спортсмена, який працюючи упродовж 6 хвилин на велоергометрі споживав кожної хвилини 4,2 л кисню. Дихальний коефіцієнт (ДК) при роботі – 0,9, калоричний еквівалент кисню при даному ДК – 4,92 ккал.**

За 1 хв роботи досліджуваний споживав 4,2 л кисню, а за 6 хв – 25,2 л (4,2 л/хв · 6 хв). Оскільки використання 1 л кисню на окиснення енергосубстратів забезпечує виділення 4,92 ккал енергії, то з 25,2 л кисню вивільниться 124 ккал (25,2 · 4,92) енергії.

**19. Для непрямого визначення МСК за допомогою ергометричного степ-тесту користуються емпіричною формулою:**

$$\text{МСК} = \text{ПЕН} \cdot 1,78 + 10,5 \cdot \text{МТ.}$$

**Вкажіть на значення наведених у формулі показників і визначте величину МСК досліджуваного масою тіла 70 кг, перші ознаки декомпенсації у якого виникли при частоті сходження на двосходинкову доріжку, висотою 0,5 м, – 33 за 1 хв.**

Потужність степ-ергометричного навантаження (ПЕН) визначається за формулою  $\text{ПЕН} = 1,3 (\text{МТ} \cdot \text{ВС} \cdot \text{ЧК})$ , де: МТ – маса тіла досліджуваного (кг), ЧК – частота степ-ергометричного крокування (кількість сходжень за 1 хв.); ВС – висота сходження в метрах; 1,3 – коефіцієнт обліку від'ємної роботи, яка виконується при сходженні з доріжки вниз.

$$\text{ПЕН} = 1,3 \cdot (70 \cdot 0,5 \cdot 33) + 2360 \text{ кгм/хв};$$

$$\text{МСК} = (\text{ПЕН} \cdot 1,78) + 10,5 \cdot \text{МТ},$$

де: 1,78 – кількість кисню ( в мл), яка витрачається на виконання 1 кгм роботи; 10,5 – додатковий запит кисню (10,5 мл/хв), який витрачається у зв'язку з виконанням горизонтальних рухів (вперед-назад) при сходженні на степ-ергометр; МТ – маса тіла досліджуваного (кг). Отже:

$$\text{МСК} = (2360 \cdot 1,78) + 10,5 \cdot 70 = 4935 \text{ мл/хв.}$$

**20. Міоглобіном, що міститься в 1 кг м'язової маси, може бути зв'язано 11 мл  $O_2$ . Розрахуйте загальний резерв "м'язового" кисню (кисневу ємність скелетних м'язів) в організмі людини вагою 70 кг. Рівень м'язової маси досліджуваного – 30% від маси тіла.**

Загальна величина м'язової маси досліджуваного ( $70 \text{ кг} \cdot 30\% : 100\%$ ) – 21 кг. Оскільки міоглобін, що міститься в 1 кг м'язів, може зв'язати 11 мл кисню, то міоглобін 21 кг м'язів може утримувати 231 мл кисню ( $21 \text{ кг} \cdot 11 \text{ мл } O_2$ ). Отже, загальна киснева ємність скелетних м'язів досліджуваного – 0,231 л кисню.

**21. Кисневий борг є важливим показником досконалості механізмів анаеробного енергозабезпечення. На які фізіологічні процеси витрачається кисень КБ? Величину КБ у осіб різного рівня фізичної підготовленості.**

У випадку, коли кисневий запит перевищує МСК, м'язи працюють при недостатчі кисню, тобто в борг. **Кисневий борг** (КБ) – це та кількість кисню, яка споживається людиною після роботи у відновному періоді без врахування споживання кисню в стані спокою. При діяльності, яка проходить в умовах неповного завершення процесів впрацювання, КБ може виникати в перші хвилини роботи. В цілому рівень величини кисневого боргу залежить від потужності аеробної роботи (рис. 7.18).

Кисень кисневого боргу використовується на:

- окисні реакції, направлені на ресинтез АТФ і синтез вуглеводів;
- поповнення кисневого резерву повітря легень, крові (відновлення кисневої ємності крові) і м'язів (відновлення запасів кисню, зв'язаного з міоглобіном);
- покриття "кисневої" вартості самого відновного періоду після роботи, який характеризується поступовою зміною рівня високої (робочої) активності організму, рівнем спокою. Адже у відновному періоді системи киснезабезпечення ще знаходяться в стані підвищеного збудження, а, отже, підвищеного енергоспоживання.

Існує пряма залежність між величинами КБ і рівнем фізичної підготовленості людини – чим підготовленість вища, тим можли-



вості організму працювати в умовах високих величин КБ вищі. Відновлення кисневого боргу у фізично підготовлених осіб проходить значно швидше, ніж у не підготовлених.

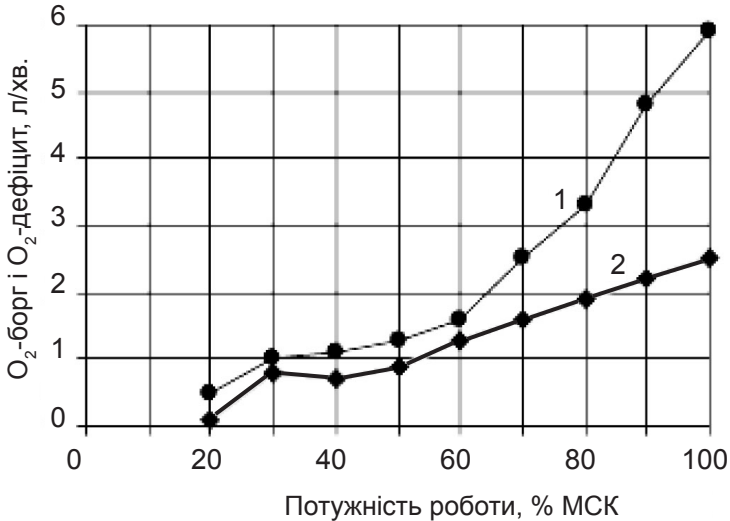


Рис. 7.18.  $O_2$ -борг (1) і  $O_2$ -дефіцит (2) при виконанні вправ різної відносної аеробної потужності

### ТЕМА 3. РЕЗЕРВИ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ СИСТЕМИ ДИХАННЯ В УМОВАХ ФІЗИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ, ПОНИЖЕНОГО І ПІДВИЩЕНОГО АТМОСФЕРНИХ ТИСКІВ

#### 3.1. РЕГУЛЯЦІЯ ДИХАННЯ. ДОВІЛЬНІ РЕЖИМИ ЗОВНІШНЬОГО ДИХАННЯ СПОРТСМЕНІВ

1. Після бігу юнака запитали: “Як ви дихали?” – Він відповів: “Дихав, як дихалось”. Інший юнак на таке ж питання відповів: “Свідомо дихання не контролював”. Про яке дихання (довільне чи мимовільне) йдеться в цих двох випадках?

У звичайних умовах дихальні рухи здійснюються автоматично, без участі свідомості. Разом з тим людина може свідомо досить суттєво змінювати дихання. Пристосування дихальної системи до постійно змінних умов діяльності можливі завдяки механізмам нервової і гуморальної регуляції дихальної функції (рис. 7.19).

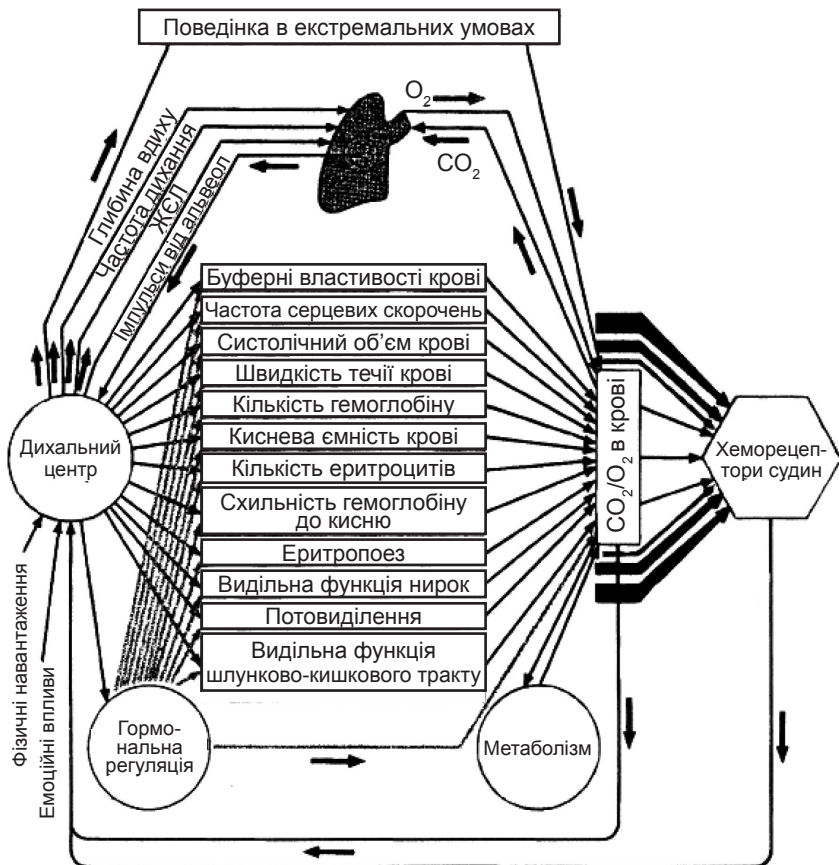


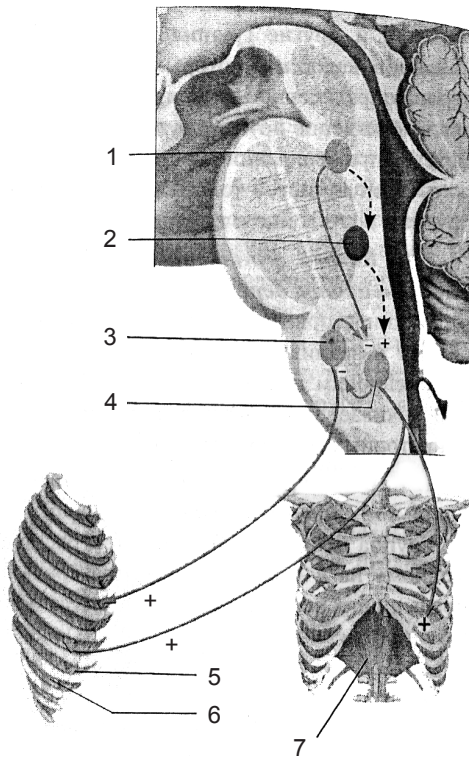
Рис. 7.19. Функціональна система підтримання газового складу внутрішнього середовища організму (за К. Судаковим)

Розрізняють довільне і мимовільне дихання. Поняття “*довільне дихання*” має відношення до зовнішнього дихання. Воно здійсню-

ється 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”. Отже, в обох випадках йдеться про мимовільне дихання, яке здійснюється без активної участі свідомості.

## 2. Які механізми забезпечують нервову регуляцію дихання в стані спокою і в умовах м'язової діяльності?

У регуляції дихання безпосередню участь бере дихальний центр, який 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.



Дихальний центр являє собою дві групи нервових клітин ретикулярної формації: інспіраторні і експіраторні. Відповідно виділяють і два центри: **центр вдиху** (інспірації) і **центр видиху** – експірації (рис. 7.20).

**Рис. 7.20. Схема локалізації дихального центру в стовбурі мозку:**

1 – пневмотоксичний центр;  
2 – апнейстичний центр;  
3 – вентральне ядро (видих і вдих); 4 – дорсальне ядро (вдих); 5 – внутрішні міжреберні м'язи; 6 – зовнішні міжреберні м'язи; 7 – діафрагма;  
(+) – збудження;  
(-) – гальмування

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 **реципронних 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 активів вдиху і видиху). Проте основна роль в забезпеченні саморегуляції належить дихальному центру довгастого мозку, який, володіючи автоматизмом, в той же час чутливо реагує на імпульси, що надходять від рецепторів легень, судинних рефлексогенних зон і вище розташованих відділів ЦНС.

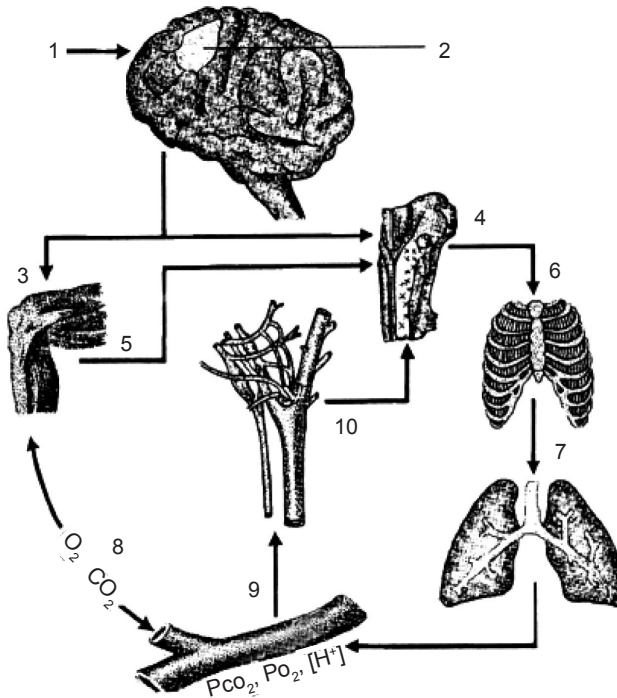
У регуляції дихання бере участь спеціалізована група нервових клітин варолієвого мосту (**пневмотоксичний центр**), а також нервові клітини, які сприймають зміни функціонального стану міжреберних м'язів і діафрагми.

Рефлекторно, з участю рецепторів рухового апарату (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. Сприяючи формуванню синхронних співвідношень темпу рухів і частоти дихання в період циклічної роботи, цей зв'язок може перешкоджати формуванню відповідних асинхронних дій. Загальна схема регуляції дихання в умовах виконання м'язової роботи подана на рис. 7.21.

**3. Дихання собаки із зруйнованою корою великих півкуль в стані спокою і в стандартних умовах не має суттєвих відхилень від норми, при виконанні навіть незначної роботи (ходьба) дихання різко посилюється. Чому?**

Дані дослідження вказують на те, що пристосувальні можливості дихання до змін умов довкілля і діяльності здійснюються з обов'язковою участю кори великих півкуль.

Умовні дихальні рефлекси (посилення дихання у студента перед будь-яким випробуванням) є важливим механізмом “настрой-



**Рис. 7.21. 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 пропріорецепторів 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

ки” системи дихання на наступну м'язову діяльність. Людина здатна розрізнати ступінь кисневого голодування і рівень концентрації вуглекислого газу у вдихуваному повітрі. Цю здатність можна розвивати систематичними тренуваннями, що має велике значення для регулювання поведінки людей в складних умовах діяльності – при пірнанні, підводному плаванні, сходженні в гору. Направлено змінюючи тонус дихального центру довільною зміною частоти і глибини 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.

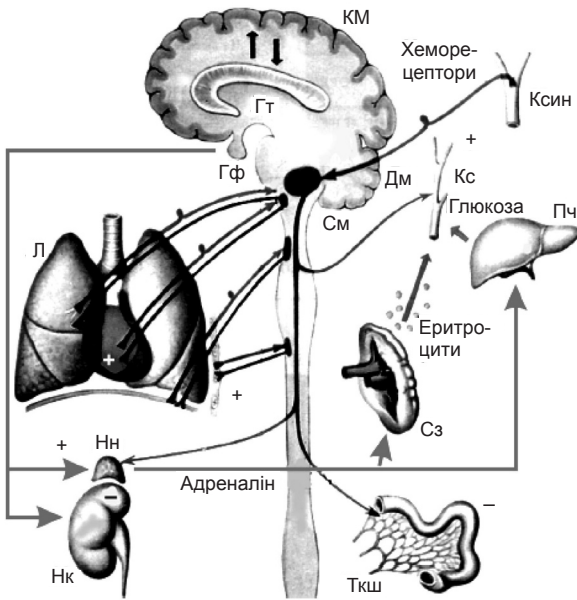
Довільне управління дихальним актом широко використовується у спортивній практиці для зростання резервів системи дихання спортсменів. Систематичні тренування з направленим довільним регулюванням частоти, глибини, типу і ритму дихання зумовлюють їх автоматизацію і включення в рухову навичку, що вивчається. Завдяки цьому досягається збільшення легеневої вентиляції, підвищується ефективність тренування.

***4. У досліді Фрідеріка сонні артерії двох собак з'єднують за допомогою трубок навхрест так, щоб голова першої собаки постачалася кров'ю від другої, і навпаки. Як змінюватиметься дихання в обох собак, якщо першій із них перетиснувши трахею, викликати гіпоксемію?***

Якщо одній із досліджуваних собак перетиснути трахею, то внаслідок підвищення концентрації вуглекислоти в її крові, спостерігатиметься посилення дихання у другої собаки, якій не перетиснуто трахею. Оскільки нервовий зв'язок між собаками відсутній, то в даному випадку подразнююча дія вуглекислого газу (як і нестача кисню) здійснюється гуморально, тобто через кров.

Окрім безпосереднього впливу вуглекислого газу і кисню на дихальний центр (при зміні їх концентрації в крові), на нього також впливають імпульси з рефлексогенних зон синусів сонної артерії і дуги аорти. Розташовані тут хеморецептори сприймають зміни концентрації вуглекислого газу і кисню в крові, передають їх на дихальний центр, змінюючи (прискорюючи чи гальмуючи) дихання. Подібно вуглекислому газу діє на дихальний центр молочна кислота і, взагалі, будь-які відхилення активної реакції крові в бік закиснення (рис. 7.22).

Зниження парціальної напруги кисню і вуглекислого газу в крові неоднозначно змінює частоту і глибину дихання: нестача кисню в крові переважно збільшує частоту дихання, а надлишок вуглекислого газу – глибину.



**Рис. 7.22. Рефлекторні реакції, що виникають при збудженні каротидних хеморецепторів (за С. Аничковим і М. Беленьким):**

(+) і (-) – стимулюючі і гальмівні впливи; КМ – кора мозку; Гф – гіпофіз; Гт – гіпоталамус; Кс – кровоносні судини; Ксин – каротидний синус; Дм – довгастий мозок; См – спинний мозок; Л – легені; Нн – наднирники; Нк – нирка; Тки – тонкий кишечник; Сз – селезінка; Пч – печінка

### 5. Чи доцільно навчати дітей правильному диханню? Роль емоцій в забезпеченні ефективного дихання.

Дитину навчають як потрібно ходити, бігати, плавати, їсти, пити, але майже ніхто не вчить її правильному диханню. Важливо пам'ятати і наукові дані про те, що повернення ссавців (тюленів, моржів, китів) з повітряного середовища у водне не йшло по шляху вдосконалення жаберного типу дихання, в них вдосконалювались механізми економізації використання кисню. Тому здатність направленим тренуванням вдосконалювати механізми забезпечення клітин організму киснем повинна розвивати кожна людина. Прикладом цього можуть бути успіхи йогів, окремих спортсменів, тих хто володіє основами тибетської народної медицини.

Чимало захворювань цивілізованої людини є наслідком поширеної звички дихати через рот. Діти, які виростили з такою звичкою, як правило, розумово і фізично слабозвинуті. Дихання через рот часто є причиною виникнення застудних захворювань верхніх дихальних шляхів.

Батьки повинні з дитинства привчати дітей дихати лише через ніс. Коли дитина спить з відкритим ротом, необхідно нахилити її голову вперед, що сприяє переходу до носового дихання (див. тема 1, завдання 4).

Невміння “правильно” дихати в значній мірі зумовлене впливом емоцій на людину. Усе починається з неправильного виховання дітей у дитинстві. Постійна заборона з боку батьків дітям виявляти свої емоції (“перестань кричати”) призводить до стримання дихання. Щоб не кричати, стримуючи образ, дитина опускає плечі, напружує м’язи грудей і шиї. Таким чином, пригнічення виразних почуттів та емоцій призводить до напруження м’язів, що обмежує дихання. З віком піддаючись дії все більш сильних стресів, пригнічення дихання посилюється. Приховуючи свої почуття, людина втратила вроджене вміння дихати вільно і глибоко, а замість того навчилися стримувати дихання. Стан духовного здоров’я негайно відображається на диханні. Тому при багатьох емоційних розладах правильне дихання є ефективним засобом боротьби з дистресами. Так, для шизоїдних особистостей переважаючим є дихання верхньою частиною грудної клітки, для осіб невротичного типу характерним є поверхнєве діафрагмальне дихання.

Відновлення правильного дихання (повне дихання за системою йогів) є важливим засобом лікування таких хвороб. І хоч більшість людей не страждають невротенією чи шизофренією, це не виключає негативного впливу неправильного дихання на їх психічний стан і здоров’я.

**6. Спортсмен виконує циклічну роботу з всезростаючою інтенсивністю. При цьому перші 2-3 хв роботи легенева вентиляція становила 16-20 л/хв, другі 2-3 хв – 50 л/хв, треті 2-3 хв – 100 л/хв. Який тип дихання (ротовий, носовий, змішаний) буде ефективнішим при виконанні вказаних (різних за інтенсивністю) навантажень?**

У практиці фізичної культури і спорту досить часто використовуються вправи з довільною зміною глибини дихання. При цьому в час виникнення інтенсивних фізичних вправ вдихати повітря доцільно через ніс, а видихати через зменшену ротову щілину. Тренувати таке глибоке дихання слід за допомогою вправ невеликої



потужності, постійно акцентуючи увагу на виконанні глибокого видиху. Зумовлюючи зниження функціональної залишкової ємності легень, інтенсивний видих сприяє збільшенню вентиляції альвеол.

У стані спокою і при виконанні легких вправ (ХОД до 30 л за 1 хв) найдоцільнішим вважається носове дихання; при виконанні вправ середньої інтенсивності (ХОД 50 л/хв) – змішане (носоворотове: вдих через ніс, видих через рот). При виконанні інтенсивних навантажень (ХОД 75 л/хв і більше) тривалістю більше 2-3 хв, ефективним вважається змішане дихання, при якому 70-95% вдихуваного і видихуваного повітря проходить через ротову порожнину.

### **◇ 7. Методи підвищення потужності зовнішнього дихання спортсменами.**

Для розвитку дихальних м'язів, а отже підвищення потужності зовнішнього дихання, в спортивній практиці використовують такі методи:

- довільне дихання в стані спокою з максимальною глибиною;
- глибоке, штучно утруднене довільне дихання в умовах фіксації нижньої частини грудної клітки еластичним ремінцем, дихання з назубною шиною, дихання через стиснуті зуби тощо;
- довільне дихання під час м'язової роботи (при ходьбі, бігові, їзді на велосипеді, бігові на лижах тощо) з глибиною дихання 60-80% ЖЄЛ;
- використання гімнастичних вправ з глибоким диханням (нахили тулуба вперед і в боки, імітація рухів рук під час бігу на лижах, синхронізація дихання з темпом рухів);
- дихання через маску з гофрованою трубкою.

Зростання ХОД при диханні через маску відбувається переважно за рахунок збільшення глибини дихання. Попередження гіпокапнії за таких умов досягається завдяки наявності високої концентрації вуглекислоти в першій порції вдихуваного через трубку повітря.

Необхідність формування “правильного” дихання відсутня під час ходьби, бігу, при їзді на велосипеді, бігові на ковзанах. Механізми, що забезпечують мимовільне дихання, в цих видах спорту досить ефективні. Довільні корекції глибини і частоти дихань є доцільними в греблі, плаванні, рідше – в лижному спорті.

**8. Які основні режими дихання використовуються з метою підвищення ефективності роботи?**

Використання довільного дихання з врахуванням специфіки рухів сприяє підвищенню продуктивності фізичної роботи. У виробничій практиці, а особливо практиці фізичного виховання і спорту, знайшли примінення такі основні режими дихання:

- довільна зміна співвідношення частоти і глибини дихання;
- синхронізація частоти дихань з частотою рухів;
- довільна тимчасова затримка дихання;
- довільне збільшення об'єму легеневої вентиляції;
- довільна зміна фаз рухів і дихальних циклів, направлених на підвищення біомеханічної ефективності виконуваної вправи;
- довільне посилення грудного типу дихання щодо черевного, і навпаки;
- довільна зміна дихання через ніс і через рот.

**9. Якою має бути довільна гіпервентиляція легень перед пірнанням людини у воду?**

Форсоване дихання упродовж однієї хвилини може вдвічі знизити парціальне напруження вуглекислого газу в артеріальній крові (з 40 до 20 мм рт. ст). Затримка дихання за таких умов призводить до швидкого використання резервів кисню і зниження його напруги в крові. Оскільки нервова система людини менш чутлива до нестачі кисню, ніж до нестачі вуглекислого газу, напруга кисню може знизитись до такого рівня, що людина втратить свідомість раніше, ніж парціальна напруга вуглекислого газу в крові зросте до такого рівня, щоб активізувати діяльність дихального центру. Ймовірність втрати свідомості значно зростає (внаслідок швидкого зниження напруги кисню в крові) при піднятті на поверхню з великих глибин.

Таким чином, перед плаванням під водою належить робити не більше 5-10 глибоких вдихів. Це продовжить час пірнання без ризику втрати свідомості. Проте осіб, що плавають під водою, завжди необхідно страхувати; при найменшій підозрі (більш тривале від нормативного знаходження під водою) належить негайно приступити до рятувальних дій.

### 3.2. ФІЗІОЛОГІЧНІ МЕХАНІЗМИ КИСНЕЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В УМОВАХ ПОНИЖЕНОГО І ПІДВИЩЕНОГО АТМОСФЕРНИХ ТИСКІВ

**10. У чому полягає актуальність проблеми впливу пониженого атмосферного тиску (інших факторів гірського клімату) на організм людини?**

Актуальність проблеми впливу атмосферного тиску на організм людини визначається постійним пошуком все нових, більш ефективних методів зміцнення здоров'я, розвитком альпінізму, туризму, проведенням змагань в умовах середньо- і високогір'я, лікуванням анемії, деяких психічних захворювань тощо.

Оскільки атмосфера тисне на людину однаково з усіх сторін і рівноважується зсередини рідинами і газами, які мають однакову з повітрям величину тиску (пружності), то здорова людина цей тиск не відчуває. Не відчуває вона і добових (4-5 мм рт. ст.) та річних (+20-30 мм рт. ст.) коливань атмосферного тиску. Хворі люди, зокрема ревматики, ті що мають зарубцьовані рани, відчувають біль в уражених місцях. Чутливі до змін атмосферного тиску люди з підвищеною нервовою збудливістю, гіпертоніки тощо.

Розширення резервних можливостей адаптації організму людини до дії екстремальних чинників довкілля за допомогою гірського клімату пов'язано передусім з дією пониженого парціального тиску кисню атмосферного повітря. З підняттям в гори величина атмосферного тиску зменшується, а відсотковий склад газів зберігається сталим. Всезростаюче зниження парціального тиску кисню у вдихуваному повітрі з підняттям в гори призводить до зниження парціальної напруги кисню в крові і кисневого голодування. Лише дотримуючись принципів сходинкові гірської адаптації, людина може акліматизуватися до цих умов і не захворіти "*гірською хворобою*".

Якщо в умовах низькогір'я (до 1000 м над рівнем моря) атмосферний тиск істотно не впливає на фізичну працездатність, то в умовах середньогір'я (від 1000 до 3000 м) і високогір'я (3000 м і більше) цей вплив значний, він зумовлює суттєві додаткові навантаження на організм, особливо на його киснезабезпечуючі системи. Окрім атмосферного тиску на організм людини, в умовах середньо-

і високогір'я, виявляють вплив такі чинники, як посилена сонячна радіація, підвищена іонізація повітря, різка зміна вологості повітря та інші.

**11. Як залежить рівень насичення організму киснем від величини парціального тиску даного газу при пониженні барометричного тиску? Наслідки гіпокапнії і гіпоксемії.**

Рівень насичення організму киснем в основному визначається його парціальним тиском в альвеолярному повітрі – **чим вищий парціальний тиск, тим швидше і повніше йде процес насичення** (рис. 7.23). Оскільки із збільшенням висоти над рівнем моря (в горах) парціальний тиск кисню у вдихуваному повітрі зменшується, то і рівень насичення крові киснем зменшується (табл. 7.4). Зниження парціального тиску кисню в альвеолярному повітрі при зниженні барометричного тиску призводить до гіпервентиляції легень та “вимивання” вуглекислого газу з крові – **гіпокапнія**.

**Таблиця 7.4**

**Барометричний тиск, парціальний тиск O<sub>2</sub> в атмосферному і альвеолярному повітрі на різних висотах (Я. М. Коц, 1986)**

Висота, м	Барометричний тиск		Парціальний тиск O <sub>2</sub> в атмосферному повітрі, мм рт. ст.	Парціальний тиск O <sub>2</sub> в альвеолярному повітрі в умовах спокою, мм рт. ст.
	мм рт. ст.	атм.		
0	760	1,0	149	105
1000	680	0,9	142	94
2000	600	0,8	125	78
3100	530	0,7	111	62
4300	450	0,6	94	51
5600	380	0,5	75	42
7000	305	0,4	64	31
9000	230	0,3	48	19

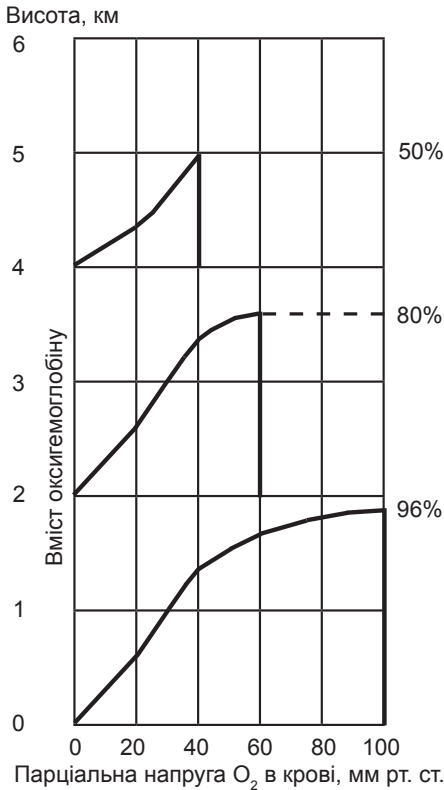


Рис. 7.23. Зміна рівня оксигемоглобіну в крові людини при підніманні в гору

Як наслідок, знижується збудливість дихального центру, виникає **гіпоксемія** – понижене насичення крові киснем. За таких умов зменшується різниця парціальних тисків кисню між кров'ю капілярів і тканинною рідиною, сповільнюється перехід кисню в тканини, знижується швидкість окисних реакцій.

Наслідком висотної гіпоксемії є порушення функціонального стану аналізаторів, особливо зорового, знижується тактильна і підвищується больова чутливість, порушуються механізми диференціювального гальмування в корі великих півкуль.

## 12. Якими ознаками характеризується виражена форма гострого кисневого голодування, що виникла в

умовах високогір'я? Перша домедична допомога особам з гострою формою "гірської хвороби".

Першими ознаками слабовираженого кисневого голодування є піднесення настрою, сміх з малозначних причин, балакучість, метушливість, підвищена рухова активність. Такі зміни стану людини зумовлені початковою збуджуючою дією недостатності кисню на клітини головного мозку. Для попередження подальшого прогресування гірської хвороби необхідно припинити сходження і забезпечити дихання з оптимальним парціальним тиском кисню.

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, при виконанні напруженої фізичної роботи та при перегріванні організму. Сприяючи покращенню реактивності організму до дії даних екстремальних чинників, гірська адаптація включається в тренувальні програми підготовки спортсменів, льотчиків, космонавтів.

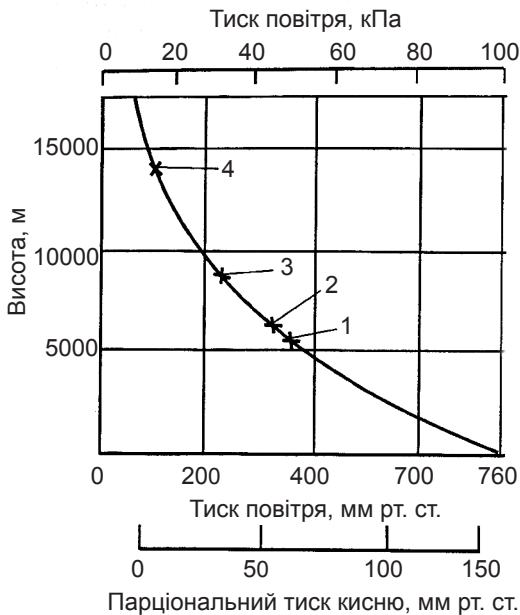
Перша допомога особам з гострою формою гірської хвороби полягає в ліквідації або ослабленні кисневого голодування. Для відновлення діяльності судиннорухового і дихального центрів необхідно забезпечити штучне дихання з обов'язковим введенням в легені стимулятора дихального центру – карбогену (суміш 5% вуглекислого газу і 95% кисню). При потребі потерпілому роблять масаж серця.

***13. Що повинен робити льотчик при розгерметизації кабіни літака на висотах більше 10 км? Які особливості легеневого газообміну матимуть місце за таких умов?***

Для забезпечення необхідного парціального тиску кисню в альвеолярному повітрі та насичення ним венозної 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 у венозній. Незважаючи на посилене дихання, замість того, щоб надходити в організм, кисень навпаки, виходить з нього. Тому при розгерметизації кабіни літака на великих висотах льотчику необхідно негайно затримати дихання і надіти кисневу маску.

**14. Які механізми лежать в основі акліматизації людини до нестачі кисню в умовах пониженого атмосферного тиску? Зміни працездатності людини в умовах високогірної акліматизації.**

Приспособування організму людини до нестачі кисню в умовах пониженого атмосферного тиску називається **акліматизацією**. Процес акліматизації здійснюється шляхом вдосконалення механізмів доставки кисню до тканин і адаптації самих тканин до гіпоксемії (рис. 7.24). Одним з механізмів такого приспособування є перехід організму на безкисневий шлях енергозабезпечення. На більш пізніх етапах акліматизації вдосконалюються механізми тканинної адаптації, збільшується використання кисню з артеріальної крові, більший відсоток кисню використовується безпосередньо на м'язову діяльність.



**Рис. 7.24. Залежність атмосферного тиску і парціального тиску кисню від висоти:**

1 – висота, на якій більшість неакліматизованих людей втрачає свідомість від нестачі кисню; 2 – найбільша висота постійних поселень людини; 3 – найбільша висота, на якій акліматизовані люди можуть виживати декілька годин під час дихання атмосферним повітрям; 4 – найбільша висота, яка доступна для людей під час дихання чистим киснем

У перші дні гірської акліматизації працездатність знижується. Перехід осіб, які тривалий час працюють в умовах середньогір'я до умов низькогір'я сприяє підвищенню їх працездатності. Успішній акліматизації сприяє поступове (сходинкове) підняття на великі висоти з відповідними за величиною м'язовими навантаженнями, повноцінне і раціональне харчування.

Повна високогірна акліматизація характеризується такими змінами в організмі:

- зниження рівня вентиляції легень щодо її початкових величин (глибоке дихання);
- збільшення продуктивності роботи серця (зростання хвилинного обсягу крові), підвищення рівня середнього артеріального тиску, збільшення швидкості руху крові, гіпертрофія правого шлуночка серця;
- значне збільшення концентрації еритроцитів (до 7-8 млн в 1 мм<sup>3</sup> крові) і гемоглобіну (до 17-18 об%) крові;
- збільшення запасів глікогену в м'язах і в печінці;
- збільшення вмісту міоглобіну в м'язах;
- підвищення активності окисно-відновних ферментів;
- підвищення стійкості тканин до гіпоксії;
- зростання реактивності імунної системи організму.

Під час перебування в умовах середньогір'я для підтримання необхідного рівня працездатності необхідно зменшити споживання жирів, оскільки на їх окиснення витрачається більше кисню, ніж на окиснення вуглеводів. Для отримання одиниці енергії при окисненні вуглеводів витрачається на 10-15% менше кисню, ніж при окисненні жирів і на 15-20% менше, ніж при окисненні білків.

◇ **15. Вкажіть на методичні особливості проведення штучного дихання потерпілому, який не дихає.**

При рятуванні утопленика, при задушенні, враженні електричним струмом, тепловим або сонячним ударом, при деяких отруєннях, потерпілому необхідно негайно провести штучне дихання (ШД). Існує три основних способи ШД (рис. 7.25).

**Спосіб 1.** Цим способом користуються тоді, коли немає можливості провести ШД способом 3 (при пораненні обличчя). Потерпілого кладуть на спину. Той, хто надає допомогу, стає на коліна біля голови потерпілого, бере його руки за передпліччя (біля ліктів), піднімає і закладає їх за голову на 2-3 с (вдих). Тоді руки обстежуваного опускають і стискають ними його грудну клітку упродовж 2-3 с (видих). Такі рухи повторюють до того часу, поки не відновиться самостійне дихання. Щоб язик потерпілого не западав, його трохи



втягують (це робить помічник) і утримують упродовж всього періоду проведення ШД.



1. З допомогою рук потерпілого



2. Спосіб «з рота в ніс»



3. Почерговий  
непрямий масаж серця  
і штучне дихання «з рота в рот»

*Рис. 7.25. Способи штучного дихання*

**Спосіб 2.** ШД 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 на бік, 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 стискає їх (видих), тоді 2-3 с пауза (вдих) і стискання повторюють.

**Спосіб 3.** “З рота в ніс” або “з рота в рот”. Стають на коліна біля голови потерпілого, закидають його голову назад, при цьому підборіддя потерпілого максимально відводиться до грудей, а рот відкривається. Однією рукою тримають голову потерпілого (одночасно закривши пальцями ніс), а другою рукою за підборіддя підтримують напіввідкритий рот. ШД “з рота в рот” роблять через марлю, носову хусточку або гумову трубочку, але частіше це робиться

без будь-яких засобів, просто «губи до губ». Після глибокого вдиху рятівник щільно приставляє свої губи до губ потерпілого і енергійно з деякими зусиллями робить видих (вдих потерпілого). Після цього грудна клітка потерпілого спадає, відбувається пасивний видих. Вдування повітря проводять ритмічно з звичайною частотою дихання – 12-14 дихальних циклів за 1 хв.

При способі ШД “з рота в ніс” той, хто надає допомогу, однією рукою утримує голову потерпілого за тім’я, а другою, піднявши за підборіддя нижню щелепу вверх, закриває рот. Після цього рятувальник робить глибокий вдих і, притиснувши губи до носових ходів потерпілого, видихає повітря в ніс.

***16. Як змінюватиметься функціональний стан організму людини в умовах підвищеного атмосферного тиску? Засоби попередження кесонного захворювання.***

Актуальність питань, пов’язаних з впливом на організм підвищеного атмосферного тиску, зумовлена добуванням під водою корисних копалин, розвитком підводного спорту, туризму, мисливства, фото- і кіномистецтва.

Для занурювання у воду водолази використовують спеціальні апарати (скафандри), які захищають тіло від тиску води і забезпечують дихання за рахунок подачі в шолом 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 захворювання, отруєння високими концентраціями кисню (bronхопневмонія), вуглекислого газу або азоту (азотний наркоз) тощо.

При знаходженні людини в умовах високого атмосферного тиску в крові і тканинах організму розчиняється значна кількість газів повітря, зокрема азоту. При швидкому переході організму людини з зони високого атмосферного тиску в зону малого, розчинність газів в крові, особливо азоту, знижується. Не встигаючи виділятися з організму, азот утворює невеликі міхурці, які можуть викликати заку-

порку судин – **кесонна хвороба**. Розчинний у жирах 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 людей з морських глибин чи шахт, обмежують швидкість підймання. Найбільш ефективним методом лікування кесонного захворювання є повторне опускання хворого під воду або переведенням їх в спеціальні декомпресійні камери до того часу, поки повністю не розчиняться усі міхурці азоту. Щоб зменшити час декомпресії, для дихання використовують чистий кисень або суміш кисню з гелієм (1 об'єм кисню і 4 об'єми гелію – “штучне повітря”), аргоном чи іншим індиферентним газом.

### **3.3. ФІЗІОЛОГІЧНІ МЕХАНІЗМИ КИСНЕЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В УМОВАХ ФІЗИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ**

*17. Дайте оцінку функціонального стану дихальної системи юнака за тестом Штанге; відомо, що тривалість затримки дихання досліджуваного за даним тестом – 50 с.*

Тести із затримкою дихання використовуються в спортивно-медичній практиці переважно для оцінки функціонального стану дихальної і серцево-судинної системи, а також для аналізу психологічної стійкості (вольової підготовленості) досліджуваних.

Тривалість затримки дихання досить індивідуальна, вона залежить від вольових якостей людини (вольовий компонент затримки дихання), досконалості механізмів анаеробного енергозабезпечення і, звичайно, економічності споживання кисню клітинами організму.

Оцінка тесту Штанге: менше 39 с – незадовільно; 40-49 с – задовільно, більше 50 с – добре. Отже, функціональний стан дихальної системи досліджуваного оцінюється оцінкою «добре». При втомі, перенапруженні, захворюванні органів кровообігу та дихання, при

анемії, тривалість затримки дихання зменшується. Це обумовлено підвищенням збудливості дихального центру, зміною інтенсивності процесів обміну в тканинах.

**18. Які особливості функціонування системи дихання характерні для підлітків при виконанні дозованого навантаження?**

Виконання підлітками дозованого навантаження приводить до більшої інтенсифікації дихальної функції, меншого використання кисню з альвеолярного повітря. Проте впрацювання дихальної системи у підлітків проходить більш швидко, ніж у дорослих. Зростання легеневої вентиляції у юних спортсменів (11-15 років), що виконують напружену фізичну роботу, пов'язане перш за все із збільшенням частоти дихання і менш виразним зростанням глибини дихання. Задишка, як і утруднене дихання, викликає у підлітків зростаючу гіпоксемію, а тому навчання правильному диханню повинно займати важливе місце в програмі їхнього фізичного вдосконалення.

**19. Розрахуйте коефіцієнт резерву (рівень здоров'я) у досліджуваного юнака за показником хвилинного об'єму дихання (ХОД). Частота дихання у досліджуваного в стані спокою – 14 дихальних циклів за 1 хв, дихальний обсяг (ДО) – 0,6 л; ЧД при виконанні максимально напруженої фізичної роботи – 60 за 1 хв, ДО – 2000 мл.**

Коефіцієнт резерву або рівень здоров'я за М. Амосовим – це величина, яка вказує на можливість максимального посилення функцій даної фізіологічної системи щодо рівня її функціонування в стані спокою.

ХОД є добуток ЧД і ДО. ХОД досліджуваного юнака в спокої – 8,4 л/хв ( $14 \cdot 0,6$ ), при фізичному навантаженні – 120 л/ ( $60 \cdot 2,0$ ). Коефіцієнт резерву – 15,4 ( $150 : 8,4$ ). Отже, ХОД у обстежуваного юнака в екстремальних умовах може бути збільшеним у 15,4 рази, що і вказує на рівень його здоров'я за даним показником системи дихання.

**20. Якою має бути перша медична допомога при гострих розладах дихання? Поняття асфіксії, задишки, гострої дихальної недостатності.**

**Задишка** – збільшення частоти, порушення ритму і глибини дихання. Суб'єктивно задишка проявляється відчуттям недостачі кисню.

**Асфіксія** – патологічний стан, обумовлений виразним кисневим голодуванням і підвищеним вмістом оксиду вуглецю, що проявляється важкими розладами діяльності нервової системи, дихання і кровообігу. При утрудненні вдиху виникає інспіраторна задишка, при утрудненні видиху – експіраторна, при одночасному утрудненні вдиху і видиху – змішана. Задишка після фізичного навантаження є фізіологічною, при захворюваннях легень, серця, головного мозку – патологічною. Вона може бути викликана наявністю в дихальних шляхах перепони для нормального проходження повітря, зниженням еластичності легень, атеросклеротичними змінами стінок кровоносних судин серця, тощо.

Різко виражена задишка, називається **задухою**. Задуха, що має характер приступу, називається **астмою**. Виділяють бронхіальну астму з утрудненням і тривалим видихом, як наслідок спазмів дрібних бронхів, і серцеву астму – з різким утрудненням вдиху, що виникає внаслідок ослаблення діяльності лівої половини серця.

Стан організму, при якому порушення киснезабезпечуючих систем такі глибокі, що максимальної мобілізації усіх резервів організму недостатньо для нормального газообігу, називають **гострою дихальною недостатністю**. Основними причинами її розвитку є ураження дихального центру, легенів, дихальних шляхів, дихальної мускулатури (**первинна дихальна недостатність**), серцево-судинні захворювання, анемії, інтосикація тощо (**вторинна дихальна недостатність**).

Клінічно гостра дихальна недостатність проявляється відчуттям недостачі повітря. Шкірні покриви вологі, бліді, губи і нігтьові ложа ціанотичні, задишка (частота дихання 25-40 дихань за 1 хв), тахікардія (ЧСС – 120-140 ск/хв), артеріальна гіпертензія. При швидкому розвитку дихальної недостатності можуть спостерігатися судоми, зіниці розширені, обличчя – синюшне, шкірні покриви землянистого кольору, п'ятнистий ціаноз. Причиною дихальної недостатності може бути бронхоспазм (звуження просвіту дрібних

бронхів і бронхіол), захворювання гортані (запальні процеси, пухлини), травми, сторонні тіла, при яких може спостерігатися звуження просвіту гортані – при гострих респіраторних захворюваннях, при дифтерії.

При гострих формах дихальної недостатності до хворого негайно викликають швидку допомогу і госпіталізують. Лікування хворих з гострою дихальною недостатністю залежить від причин, які її викликають, і передбачає симптоматичну терапію, а також заходи, спрямовані на ліквідацію причин, які призвели до порушення дихання. При значних болях хворому вводять анальгетики або використовують наркоз. Хворому забезпечують доступ свіжого повітря, дають тепле лужне пиття, наприклад, молоко з содою, грілки до ніг, гарячі ніжні ванни, медикаментозні засоби (но-шпа, еуфілін, димедрол, гідрокортизон тощо).

***21. Надходження в організм додаткових обсягів кисню позитивно відбивається на самопочуття і працездатність осіб похилого віку. Який фізіологічний механізм цього феномену?***

Коли людину похилого віку помістити в приміщення з дещо підвищеним вмістом кисню в повітрі, в неї відмічається значне покращення самопочуття, нормалізується сон, зростає розумова і фізична працездатність. З віком втрачається еластичність артерій головного мозку. Погіршення мозкового кровообігу за таких умов призводить до зменшення надходження кисню до клітин мозку. Подібні зміни можуть відбуватись і у здорової людини, дихання якої поверхневе. Причиною цього є те, що при поверхневому диханні в легені надходить недостатня кількість кисню, а отже, менше кисню попадає у клітини організму. Невміння правильно дихати відчутно проявляється на пам'яті, здатності зосередитись на функціях органів чуття. В умовах дефіциту кисню людина швидко збуджується і легко впадає в депресію, важко переносить почуття провини. Таким чином, наслідки неправильного дихання очевидні, а тому не варто жаліти часу і енергії на навчання правильному диханню.

## РОЗДІЛ VIII ФІЗІОЛОГІЯ СИСТЕМИ КРОВООБІГУ

Важливою умовою підтримання постійності внутрішнього середовища організму є забезпечення руху крові по кровоносних судинах великого і малого кіл кровообігу. Завдяки руху крові стає можливою реалізація усіх тих функцій, які притаманні крові: дихальна, захисна, транспортна, терморегуляційна тощо. Окрім серця і кровоносних судин до системи кровообігу входять і лімфатичні судини. Система кровообігу разом з системою крові і дихання утворюють *функціональну систему киснезабезпечення організму*.

Дослідження функціонального стану системи киснезабезпечення організму широко використовується в медичній практиці для діагностики захворювань людини, у виробничій і в спортивній практиці – для тестування професійної і функціональної підготовленості працівників і спортсменів, цілеспрямованого регулювання фізичних навантажень.

Відомо, що за показниками функції однієї фізіологічної системи не можна об'єктивно судити про функціональний стан і рівень працездатності організму в цілому. Проте серцево-судинна система є виключенням з цього правила. З усіх вегетативних систем організму, які забезпечують працюючі м'язи енергією та пластичним матеріалом, система кровообігу найбільш чутливо і повно реагує на фізичні навантаження. Серцево-судинна система в значній мірі визначає можливість аеробного енергозабезпечення діяльності. Разом з тим, серце є також найбільш вразливою ланкою організму, що виконує значний обсяг інтенсивних фізичних навантажень. Усе це обумовлює широке використання основних показників роботи серця у виробничій діяльності, а також в практиці оздоровчого тренування, зокрема для цілеспрямованого регулювання обсягу і інтенсивності фізичних навантажень.

## ТЕМА 1. ФІЗІОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СЕРЦЕВОГО М'ЯЗА І ПОКАЗНИКИ РОБОТИ СЕРЦЯ

### 1.1. АНАТОМО-ФІЗІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ СЕРЦЯ. СЕРЦЕВИЙ ЦИКЛ

#### *1. Які морфофункціональні особливості характерні для серця людини?*

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, м'язові волокна якої займають проміжне місце між поперечносмугастими (скелетними) і гладенькими м'язами.

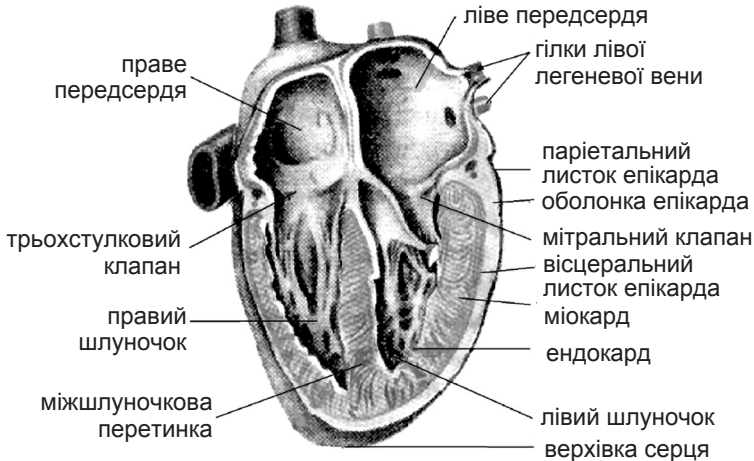
До складу м'язової тканини міокарда входить два типи волокон – волокна робочого міокарда передсердь і шлуночків, які виконують функцію помпи, і волокна провідної системи серця, яка забезпечує генерацію збудження і його проведення до клітин робочого міокарда. В міокарді розрізняють два відділи: менш виражену мускулатуру передсердь товщиною 2-3 мм і потужну мускулатуру шлуночків (товщина правого шлуночка – 5-8 мм, лівого – 15-20 мм).

Товщина міокарда, розташування волокон (кардіоцитів) і навіть самі волокна в різних відділах різні. Міокард передсердь тонший, ніж шлуночків, а волокна в ньому розташовані в два шари – циркулярно і поздовжньо. Циркулярні волокна, оточуючи судини, що входять в передсердя, при своєму скороченні перетискають їх, попереджуючи тим самим закидання крові у вени при систолі передсердь.

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 розтягнення кров'ю при діастолі.



Поздовжньою перегородкою серце людини розділене на дві не з'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 – правий і лівий шлуночки. Загальна схема будови серця людини подана на рис. 8.1.



*Рис. 8.1. Будова серця (поперечний розріз)*

**2. Як позначається на роботі серцевого м'яза нагромадження жиру в організмі і, зокрема, навколо серця?**

Нагромадження жиру в організмі, зокрема на серці, створює навколо серця об'ємну міцну оболонку, яка призводить до зниження його резервних можливостей: скорочення стають поверхневими, порушується серцевий ритм, зменшується тривалість діастолі серцевого циклу тощо.

**3. 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 від товщини міокарда правого шлуночка?**

Робота серця по нагнітання крові у велике і мале кола кровообігу перш за все залежить від величини периферійного опору, який зумовлений тертям частинок крові між собою і щодо стінок крово-

носних судин. Довжина кровоносного русла (площа поверхні стінок кровоносних судин) великого кола кровообігу, а, отже, і величина периферійного опору, значно більша, ніж малого кола кровообігу. Тому міокарду лівого шлуночка доводиться виконувати значно більший обсяг роботи, ніж міокарду правого шлуночка, який нагнітає кров в мале коло кровообігу. Виконуючи більшу величину роботи, міокард лівого шлуночка більш гіпертрофований, тобто має значно більший діаметр м'язових волокон, а отже і більшу товщину стінок.

**4. Як з'єднуються порожнини серця між собою і з кровоносними судинами, які відходять від серця? Які чинники обумовлюють розміри серця?**

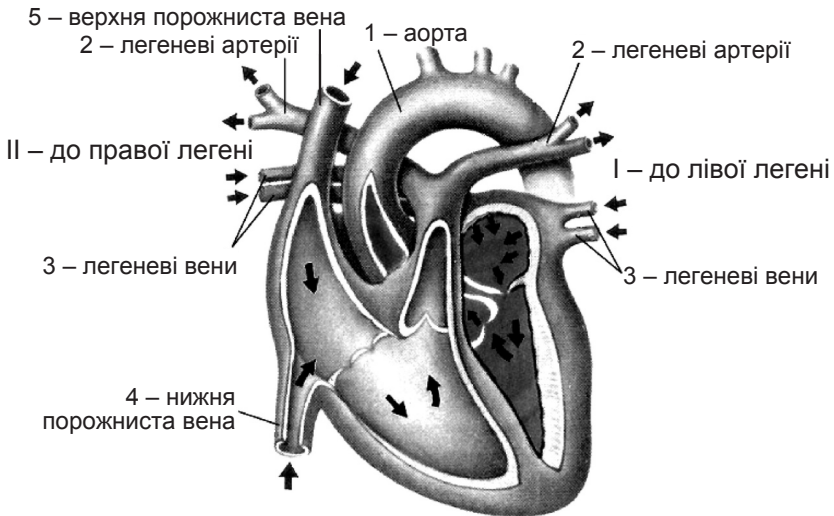
Серце людини має чотири камери – два передсердя і два шлуночки. Кожне передсердя з'єднується з відповідним шлуночком через передсердно-шлуночковий отвір, який закривається стулковим (атріо-вентрикулярним, від лат. atrium – передсердя, ventriculus – шлуночок) клапаном. Клапан між правим передсердям і 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 **півмісяцеві клапани** у вигляді трьох кишень. Вони відкриваються в напрямку руху крові в цих судинах.

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 конкретної людини відповідають розмірам складеної в кулак кисті її руки. Загальний об'єм серця у чоловіків – 700-900 см<sup>3</sup>, у жінок – 500-600 см<sup>3</sup>, у осіб важкої фізичної праці і у спортсменів він на 100-300 см<sup>3</sup> більший, ніж у працівників розумової праці і у неспортсменів.

У серці в два рази більше капілярів, ніж в скелетних м'язах. Збагачену киснем кров серце отримує 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 хв. При виконанні інтенсивної роботи кровопостачання серця збільшується до 1 л/хв. Збіднена киснем венозна кров збирається з серця у вінцеву пазуху, а звідти в праве передсердя; лише незначна кількість малих вен самостійно впадає в праве передсердя або шлуночки.

**5. Під час систоли передсердь тиск крові в них стає значно вищим, ніж в порожнистих і легневих венах. Чому ж тоді кров надходить лише в шлуночки і не повертається у вени? Особливості скорочень шлуночків.**

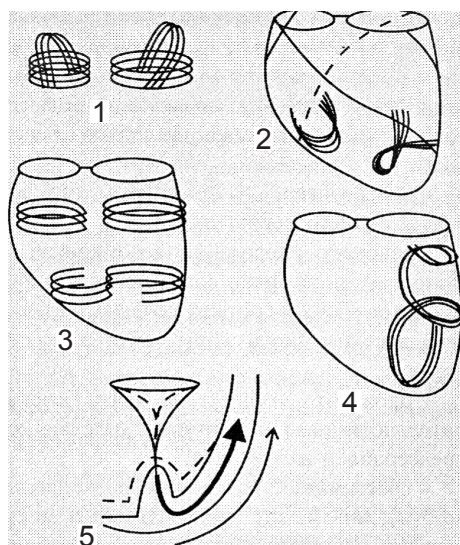
Робота серця характеризується безперервною ритмічною зміною скорочень (*систола*) і розслаблень (*діастола*). Передсердя виконують роль резервуара, який в період систоли шлуночків депонує кров, що надходить з вен; шлуночки виконують помпувально-розпридільну функцію, вони перекачують кров з венозної системи в артеріальну (рис. 8.2). Під час скорочення шлуночків (перша фаза



**Рис. 8.2. Рух крові через серце**

серцевого циклу) кров під великим тиском виштовхується з лівого шлуночка в аорту, а з правого – в легеневу артерію; під час діастоли шлуночків розслаблені і передсердя, і шлуночки – друга фаза серцевого циклу.

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.



**Рис. 8.3. Схема напрямку м'язових волокон у відділах серця:**

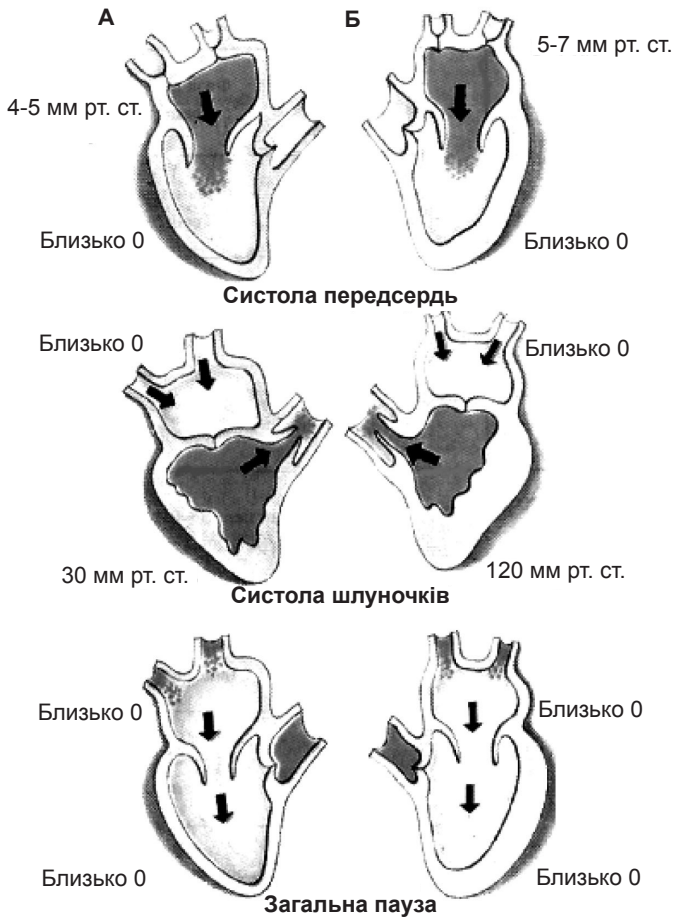
1 – передсердя; 2 – поверхневий шар шлуночків; 3 – середній шар шлуночків; 4 – “спіральна головка” Маккаляна; 5 – передсерцево-шлуночковий клапан

При систолі передсердь кров не повертається у вени тому, що першими в передсердях скорочуються циркулярні м'язові волокна, розташовані в гирлі порожнистих і легеневих вен (рис. 8.3).

Скорочення шлуночків більш складне. Спочатку скорочуються найбільш збудливі м'язові волокна, дещо пізніше – менш збудливі. Виштовхування крові із шлуночків у кровообіг відбувається лише тоді, коли тиск в правому шлуночкові 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. 8.4). 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. Цьому сприяє:

– залишкова сила, яка була надана крові попереднім скороченням серця;



**Рис. 8.4.** 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)*

– аспірація – присмоктувальна дія грудної клітки, особливо в період вдиху;

– зміщення атріо-вентрикулярної перепонки в напрямку до верхівки серця в період виштовхування крові з шлуночків в аорту і легеневу артерію.

◇ 6. Розрахуйте загальну тривалість серцевого циклу досліджуваного юнака, ЧСС у якого становить 75 ск/хв. Вкажіть на тривалість скорочень передсердь, шлуночків і загальної діастоли при даній ЧСС.

Тривалість серцевого циклу залежить від ЧСС. При ЧСС – 75 ск/хв серцевий цикл триває 0,8 с (60 с : 75 ск/хв), 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 (табл. 8.1).

Таблиця 8.1

**Характеристика окремих фаз серцевого циклу при ЧСС – 75 ск/хв**

Відділи серця	Скорочення передсердь		Скорочення шлуночків		Загальна діастола серця	
	що відбувається	Тривалість, с	що відбувається	Тривалість, с	що відбувається	тривалість, с
Передсердя	скорочення	0,1	розслаблення	0,3	розслаблення	0,4
Шлуночки	розслаблення	0,1	скорочення	0,3	розслаблення	0,4
Стулкові клапани	відкриваються	0,1	закриваються	0,3	відкриваються	0,4
Півмісяцеві клапани	закриваються	0,1	відкриваються	0,3	закриваються	0,4

◇ 7. Визначіть загальну тривалість діастоли (відпочинку) серця у двох досліджуваних осіб за 1 рік життя; ЧСС у першого досліджуваного – 60 ск/хв, у другого – 75 ск/хв.

Загальна тривалість серцевого циклу у першого досліджуваного – 1 с (60 с : 60 ск/хв), у другого – 0,8 с (60 с : 75 ск/хв). Середня тривалість загальної діастоли становить 50% від загальної тривалості серцевого циклу, тобто 0,5 с (1 с · 50% : 100%) у першого досліджуваного і 0,4 с (0,8 · 50% : 100%) у другого. Упродовж 1 хв серце першого досліджуваного відпочиває 30 с (0,5 с · 60 ск/хв), другого – 30 с (0,4 · 75 ск/хв); за 1 год – 30 хв і 30 хв. Отже, загальна величина

тривалості відпочинку, при інших рівних умовах, у досліджуваного, що має менший показник ЧСС в стані спокою така ж як і у того, хто має більшу величину ЧСС.

**8. 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?**

Тривалість серцевого циклу (ТСЦ) у досліджуваного в стані спокою 0,8 с ( $0,4 \cdot 2$ ).  $ТСЦ = 60 \text{ с} : ЧСС$ , звідси ЧСС в стані спокою становитиме 75 ск/хв ( $60 : 0,8$ ), а при фізичному навантаженні – 150 ск/хв ( $60 : 0,4$ ). Таким чином, виконання досліджуваним фізичного навантаження (20 присідань за 30 с) призвело до збільшення ЧСС на 200% ( $150 \text{ ск/хв} \cdot 100\% : 75 \text{ ск/хв}$ ).

## **1.2. ФІЗІОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СЕРЦЕВОГО М'ЯЗА. ЗОВНІШНІ ПРОЯВИ СЕРЦЕВИХ СКОРОЧЕНЬ**

**9. Які особливості збудливості характерні для м'язових волокон серця? Сутність закону Боудича – “все або нічого”.**

Збудливість – це здатність (властивість) м'язових волокон серця 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. Збудженням охоплюються всі без винятку волокна передсердь і окремо волокна шлуночків, що обумовлено їх морфофункціональним об'єднанням (функціональний синцитій передсердь і функціональний синцитій шлуночків). Тому сила скорочень пересердь і шлуночків не залежить від сили подразнення: вони відповідають на подразнення або збудженням усіх своїх волокон, або ж (якщо подразник допороговий) не реагують на нього взагалі (закон Боудича – “все або нічого”). Слід зауважити, що даний закон проявляє свою дію лише за певних умов, – “все” змінюється в залежності від зміни рівня обміну речовин, температури, рівня розтягнення м'язових волокон пересердь і шлуночків, їх втоми і інших чинників.

Тривалість потенціалу дії серцевого м'яза змінюється в залежності від ЧСС: вона вкорочується при зростанні ЧСС і стає більшою при сповільненні серцевого ритму. Це явище лежить в основі здатності серцевого м'яза засвоювати (відтворювати) різний ритм збуджень, що генерується в синоатріальному вузлі.

**10. У період збудження і скорочення серцевий м'яз не відповідає на нові подразнення. Чому? Чи відповідатиме міокард на додаткове подразнення, якщо воно надходить до серця на початку його розслаблення?**

У період збудження міокард не відповідає на нові подразнення тому, що знаходиться у фазі **абсолютної рефрактерності**. Її тривалість рівна тривалості систоли серцевого циклу. Якщо ж нове подразнення надходить до серця на початку його розслаблення, тобто в кінці фази абсолютної рефрактерності (**фаза відносної рефрактерності**), то спостерігатиметься позачергове скорочення – **екстрасистола**. Після екстрасистоли виникає **компенсаторна пауза** – більш тривалий період відпочинку. Компенсаторна пауза співпадає з фазою абсолютної рефрактерності.

Завдяки тривалій абсолютній 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 помпувальної функції.

**11. Сила скорочень м'язових волокон серця залежить від величини їх початкового розтягнення – “закон серця”. В чому сутність цього закону? Які чинники обмежують дію “закону серця”?**

**Скоротливість** – здатність збудженого серцевого м'яза скорочуватись. При цьому зростає напруженість м'язових волокон і відбувається їх вкорочення.

Скорочення міофібрил серця, як і волокон скелетних м'язів, запускається потенціалом дії, який через систему саркоплазматичного ретикулулу 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.

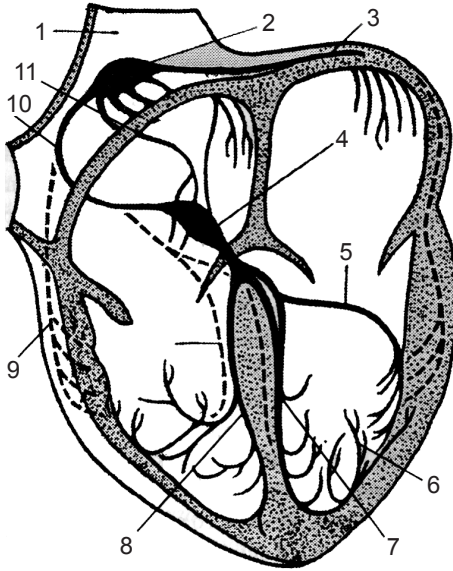
«**Закон серця**» сформульований Старлінгом гласить: сила скорочення серця, а отже і величина систолічного об'єму крові, знаходиться в прямій залежності від початкового розтягнення міокардіальних волокон кров'ю, що надходить до серця. Дію цього закону обмежують такі чинники: товщина стінок міокарда, функціональний стан міокарда, розміри перикарда і наявність жирової оболонки навколо серця.

## **12. Які структури серця забезпечують провідність? Лігатури (перев'язки) Станіуса.**

**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, на відміну від м'язових волокон серця і скелетних м'язів, не мають поперекової смугастості, більші за розміром, мають менше міофібрил, мітохондрій, рибосом, більше нервових волокон.

До провідної системи серця людини входить синусо-атріальний вузол (в області впадання порожнистих вен у праве передсердя), атріо-вентрикулярний вузол (на перегородці між передсердцями і шлуночками), пучок Гіса, який ділиться на дві ніжки, що спускаються до верхівки серця, розгалужуючись у вигляді волокон Пуркінє (рис. 8.5).

У 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 вузлі швидкість проведення збудження сильно сповільнюється, передсердя встигають закінчити скорочення раніше, ніж розпочнеться систола шлуночків. Таким чином, неоднакова швидкість проходження збудження по провідній системі серця обумовлює послідовність скорочень його передсердь і шлуночків.



**Рис. 8.5. Елементи провідної системи серця:**

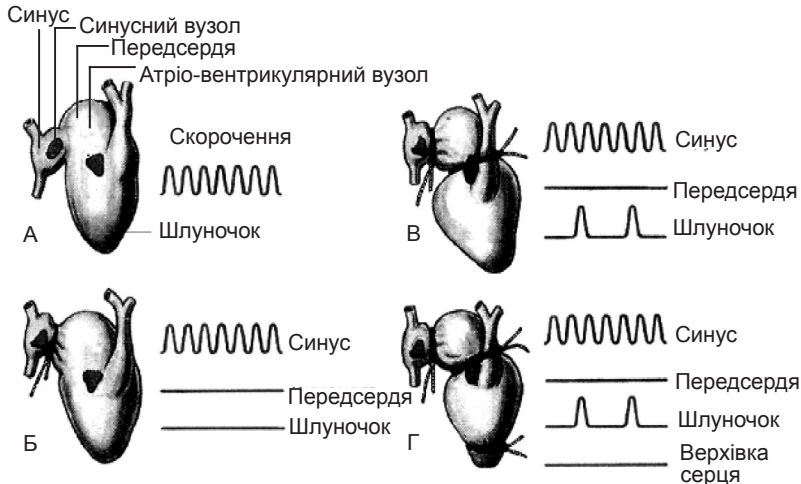
1 – верхня порожниста вена; 2 – синоатріальний вузол; 3 – тракт Бахмана; 4 – атріовентрикулярний вузол; 5 – передня гілка лівої ніжки пучка Гіса; 6 – волокна Пуркінє; 7 – ліва ніжка пучка Гіса; 8 – права ніжка пучка Гіса; 9 – пучок Кента; 10 – тракт Венкенбаха; 11 – тракт Торела

При накладенні першої перев'язки (лігатури) Станіуса – на межі пазухи синуса та передсердя – венозний синус жаби зберігає попередній ритм скорочення, шлуночок зупиняється. Після накладення другої лігатури (між перед-

сердям і шлуночком) – венозний синус скорочується в попередньому ритмі, передсердя і шлуночок відновлюють скорочення, проте, в більш рідкому ритмі, ніж синус. При накладанні третьої лігатури (на низинну третину серця) частота скорочень венозного синуса не змінюється, верхівка шлуночка не скорочується (рис. 8.6).

### **13. Поняття автоматії. Як можна відновити роботу серця, яке в силу тих чи інших причин зупинилось?**

**Автоматія** – здатність серця до ритмічного скорочення при відсутності дії на нього збуджуючих подразників. Періодична самогенерація мембранного потенціалу дії обумовлена періодичністю зміни проникності мембрани для йонів 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°C фізіологічний розчин, збагачений поживними речовинами і киснем, або дефібриновану кров.



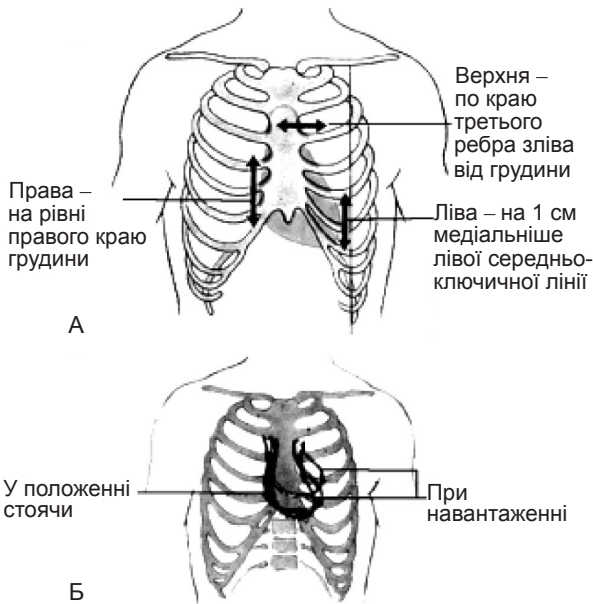
**Рис. 8.6. Виявлення рівня автоматії різних відділів серця (за Станіусом):**  
**A – відділи серця жаби; Б – накладення I лігатури;**  
**В – накладення II лігатури; Г – накладення III лігатури**

Роботу серця можна відновити: 1) непрямим і прямим масажем серця; 2) внутрішньовенним або внутрішньосерцевим введенням адреналіну; 3) внутрішньоартеріальним (проти течії крові) нагнітанням крові; 4) електростимуляцією серця; 5) високовольтним розрядом; 6) за допомогою дефібрилятора.

**14. Які зовнішні прояви серцевих скорочень можна зареєструвати з допомогою кардіографа і фонокардіографа? Причини виникнення тонів серця.**

У момент скорочення серця в п'ятому міжребер'ї на 1-1,5 см до середини від лівої соскової або середньоключичної 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 розташування серця в цілому, і переміщенням його верхівки, зокрема (рис. 8.7).

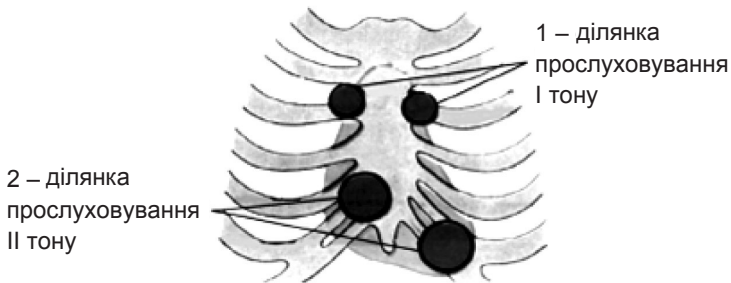
Крива лінія запису верхівкового поштовху з допомогою кардіографа, називається **кардіограмою**. Вона характеризує співвідношення у часі періодів скорочення і розслаблення лівого шлуночка.



**Рис. 8.7. Межі серця (А) та проекція серця на передню поверхню тіла в положенні стоячи і при фізичному навантаженні (Б)**

Звукові явища, що виникають при роботі серця, називають **тонами серця**. При вислуховуванні (аускультації) серця за допомогою **фонендоскопа** розрізняють два тони: перший (систолічний) – низький, протяжний і глухий, другий (діастолічний) – більш високий, короткий, дзвінкий. Систолічний тон виникає внаслідок коливань

атріовентрикулярних клапанів і прикріплених до них сухожильних ниток в період систоли шлуночків, діастолічний – закриттям півмісяцевих клапанів. Проекція місця прослуховування тактів серця подана на рис. 8.8.



**Рис. 8.8. Проекція місць прослуховування тонів серця**

Крім прослуховування, звукові явища, що виникають під час роботи серця, ресструють 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 пов'язаний з скороченням передсердь (рис 8.9).

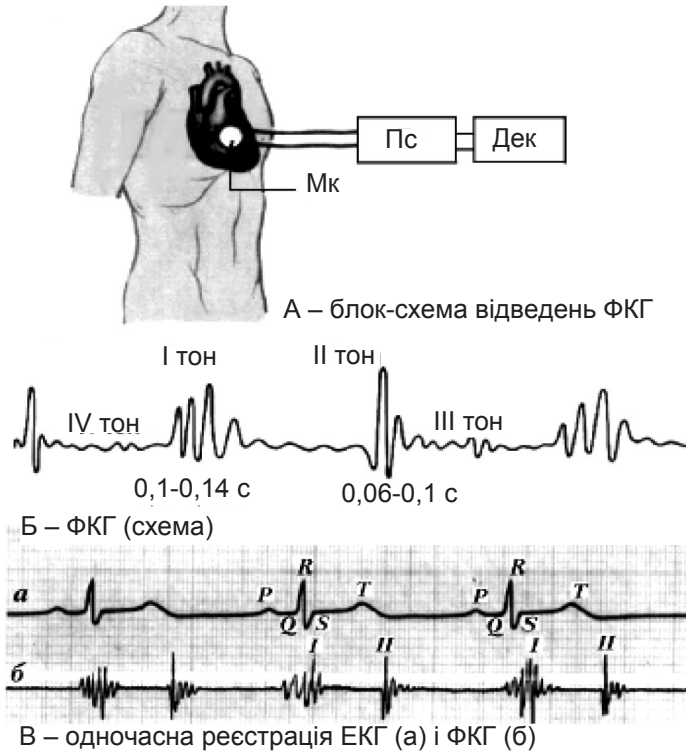


Рис. 8.9. Фонокардіографія (ФКГ): Мк – мікрофон, Дек – двохканальний електрокардіограф, Пс – підсилювач

**15. Які фізіологічні механізми лежать в основі виникнення артеріального пульсу?**

**Артеріальний пульс** – ритмічні коливання артеріальної стінки, спричинені систолічним зростанням тиску в артерії. Пульсацію легко можна пропальпувати на тих артеріях, які лежать на кістці (променева артерія, поверхнева скронева, тильна артерія стопи і 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 пульсова хвиля розповаджується швидше, 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.

**16. Якими показниками характеризується пульс?**

Пульс характеризується:

- частотою – кількість ударів пульсу за 1 хвилину (вона рівна ЧСС);
- швидкістю – тривалість пульсової хвилі;
- величиною – висота амплітуди коливань стінки кровеносної судини;
- напругою – сила, з якою необхідно стиснути артерію до зникнення пульсу;
- ритмом – тривалість інтервалів часу між пульсовими хвилями.

**17. У досліджуваного виміряли частоту пульсу за десятисекундними інтервалами упродовж 1 хв. Результати дослідження, були такими: 11, 10, 10, 10, 12, 12. Яку характеристику можна дати такому пульсу?**

Пульс вважається ритмічним, якщо відхилення його величини, визначене за 10-секундними інтервалами упродовж 1 хв не перевищує одного удару за 10 с. В даному випадку відхилення пульсу

більше двох ударів за (10-12 с), отже пульс **аритмічний**. Більш точно рівень аритмії серця можна визначити за **коефіцієнтом аритмії** (КА) – визначення показника найбільшої величини ЧСС зареєстрованого електрокардіографом до показника мінімальної величини ЧСС. У випадку ритмічної роботи серця КА становитиме менше 1,090, якщо ж показник КА буде більшим вказаної величини, то це свідчатиме про аритмію. Чим більша величина КА, тим більше виражена аритмія. У нашому випадку КА становить 1,091 (72 : 66).

**18. Які зовнішні прояви скорочень серця реєструють з допомогою флебографа і плетизмографа?**

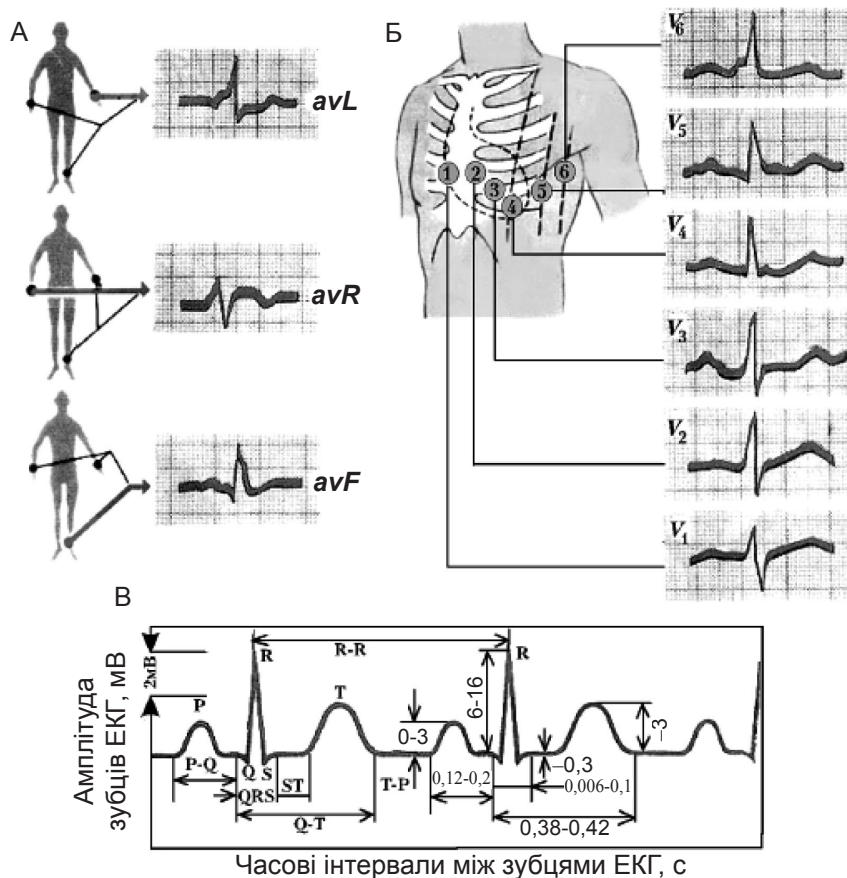
Пульс виникає також і в великих венах, що впадають в серце (**венозний пульс**). Його походження обумовлено ритмічною (циклічною) роботою пересердь, – періодичним закриттям і відкриттям передсердних клапанів. Графічна реєстрація коливань яремної вени (**флебограма**) є важливим показником діяльності правого передсердя.

Незначні коливання об'єму органу в звичайних умовах обумовлені збільшенням течії крові в ньому в період систоли і зменшенням – в період діастоли. Графічну реєстрацію коливань об'єму органу (наприклад, руки) проводяться з допомогою спеціального приладу – **плетизмографа**. Аналіз **плетизмограм** показує, що коливання об'єму органів пов'язані не лише з роботою серця, а і з дихальними рухами грудної клітки. Ці коливання значно збільшуються при емоціях, змінах тонуусу судин і температури тіла, виконанні м'язової роботи.

**19. Яке функціональне значення окремих зубців та інтервалів електрокардіограми?**

Біопотенціали серця, що виникають в сино-атріальному вузлі, поширюються не лише провідною системою серця, а й поряд розташованими тканинами і досягають поверхні тіла. Звідси ці біоструми серця можна реєструвати з допомогою **електрокардіографа**, приєднавши до різних ділянок тіла людини спеціальні електроди. Реєстрація **електрокардіограми** (ЕКГ) проводиться в трьох стандартних відведеннях від кінцівок (перше відведення – права рука, ліва рука, друге – права рука, ліва нога, третє – ліва рука, ліва нога),

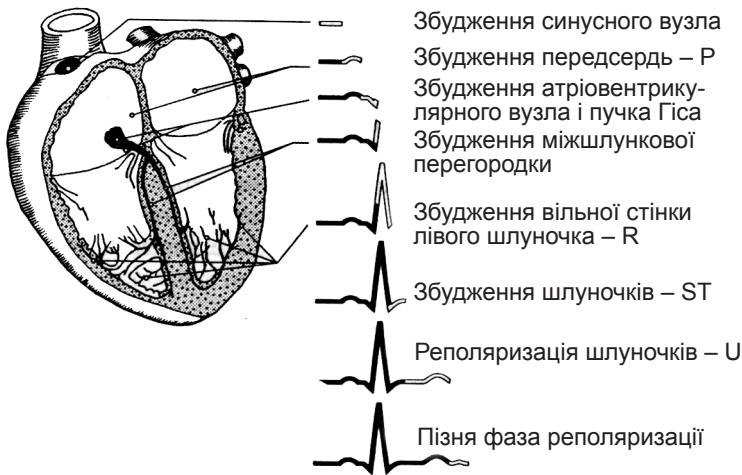
трьох підсилених однополюсних відведень з кінцівок на вдиху і семи однополюсних грудних відведень (рис. 8.10). Звичайно, в залежності від точок відведення біопотенціалів серця вольтаж зубців ЕКГ буде різним. Це обумовлено несиметричністю положення серця в грудній клітці і своєрідністю форми тіла людини. Для реєстрації ЕКГ на віддалі (у спортсмена в період тренувань, у космонавтів під час космічного польоту тощо) використовують **телеелектрокардіограф**.



**Рис. 8.10. Електрокардіографія (уніполярні відведення):**  
 А – відведення від кінцівок; Б – грудні відведення; В – ЕКГ (схема)



Електрокардіографія є ефективним методом аналізу серцевого ритму, діагностики порушень роботи серця і оцінки його функціонального стану. При аналізі ЕКГ визначають висоту зубців (у мілівольтах), тривалість інтервалів між ними (в долях секунди), напрямки і форму зубців. Висота зубців характеризує збудливість міокарда, тривалість зубців і інтервалів між ними – швидкість проведення імпульсів по міокарду передсердь і шлуночків (рис. 8.11).



*Рис. 8.11. Формування зубців ЕКГ при послідовному збудженні міокарда*

У 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 реполіаризації 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 (період проходження імпульса через атріовентрикулярний вузол); інтервал

S-T відображає швидкість поширення збудження по верхівці міокарда шлуночків; інтервал T-P – загальна пауза (відсутність різниці потенціалів у серці); інтервал Q-T – весь період збудження шлуночків.

Виконання фізичних навантажень призводить до вкорочення серцевого циклу і змін ЕКГ. Зубець P при цьому збільшується, а вольтаж зубців QRS дещо знижується, часто спостерігається зміщення 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.

### 1.3. ПРЯМІ І НЕПРЯМІ ПОКАЗНИКИ РОБОТИ СЕРЦЯ

**20. Які показники характеризують зовнішню (механічну) роботу серця? Як залежить ефективність роботи серця від ЧСС?**

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, формула механічної роботи серця (W) матиме вигляд:

$$W = P \cdot Q + \frac{m \cdot V^2}{2},$$

де: Q – систолічний об'єм крові (мл); P – середній тиск крові в аорті (мм рт. ст.); m – маса крові (г); V – швидкість руху крові (мм/с).

У стані спокою середній показник роботи серця людини становить 12 кгм/хв, а при виконанні інтенсивної фізичної роботи – 60-70 кгм/хв. Зростання ЧСС призводить до збільшення кількості 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 ЧСС.

**21. В яких випадках артеріальний пульс не відповідає рівню ЧСС?**

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. Підрахунок пульсових ударів проводять упродовж 10 с з наступним перерахунком за 1 хв (отриману частоту пульсу за 10 с множать на 6). Поділивши 60 с (кількість секунд у хвилині) на показник частоти пульсу, визначають тривалість серцевого циклу.

При відсутності порушень структури кровоносних судин, артеріальний пульс відтворює величину показника ЧСС. При деяких захворюваннях серця і кровоносних судин (артеріальна гіпертензія) артеріальний пульс не відповідає ЧСС. У цих випадках, для визначення показника ЧСС, підраховується число серцевих поштовхів. Більш точно ЧСС визначається шляхом реєстрації ЕКГ.

## **22. Які чинники виявляють вплив на величину ЧСС? Поняття тахі- і брадікардії.**

ЧСС змінюється під впливом дії самих різноманітних чинників: емоцій, фізичних і хімічних подразників довкілля, м'язової і розумової праці. Висока інформативність і значна простота визначення ЧСС обумовили широке використання цього показника в медичній практиці (тестування функціонального складу серця і судин), в практиці оздоровчого і спортивного тренування для тестування 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 ск/хв (скорочень за хвилину). ЧСС менше 60 ск/хв називається *брадикардією*, а більше 90 – *тахікардією*. У жінок показник ЧСС більш високий, ніж у чоловіків. Зростає ЧСС при збільшенні температури оточуючого середовища, при тривалій дії на організм сильних звукових подразників, при емоціях (страх, гнів, радість і ін.). ЧСС залежить від положення тіла: у положенні сидячи вона на 10%, а в положенні стоячи – на 20% більша ніж у по-

ложенні лежачи. Існують добові коливання ЧСС: найменша частота пульсу о 5-6 годині ранку, найбільша – в післяобідню пору. Найбільш суттєво змінюється ЧСС у зв'язку з виконанням інтенсивної фізичної роботи.

**23. Звичайний пульс досліджуваного – 70 ск/хв, в умовах погіршення самопочуття – 86 ск/хв. Як зміниться температура тіла досліджуваного (хворого) за таких умов?**

У стані спокою збільшення температури тіла на 1°C призводить до прискорення ЧСС на 8 ск/хв. Різниця ЧСС у людини, що захворіла (щодо величини даного показника в стані доброго самопочуття) 16 ск/хв. (86 – 70). Отже, температура тіла у досліджуваного зросла на 2°C (16 : 8), тобто становить 38,6°C.

**24. Які резервні можливості збільшення систолічного і хвилинного обсягів крові у людини в умовах виконання фізичної роботи?**

Обсяг крові, який знаходиться у шлуночку в кінці діастолі (**діастолічна ємність шлуночка**) включає в себе три складові. Перша з них – **сistolічний обсяг крові** (СОК) – 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 обсяг**. Разом із резервним обсягом ці дві фракції становлять так звану **резидуальну ємність шлуночка**. Резервний обсяг крові забезпечує збільшення систолічного обсягу при виконанні фізичної роботи, залишковий – залишається в шлуночку навіть при максимальних скороченнях серця. Резидуальна ємність шлуночка становить близько 60% від його діастолічної ємності. Кров резидуальної ємності шлуночків бере безпосередню участь в механізмах термінової адаптації організму в умовах фізичних навантажень і обумовлює можливість максимального зростання хвилинного обсягу кровообігу за рахунок систолічного обсягу крові.

**Хвилинний обсяг кровообігу (ХОК)** – кількість крові, що виштовхується правим або лівим шлуночком в систему кровообігу за 1хв. Він визначається як добуток ЧСС і СОК. У стані спокою величина ХОК складає 3-5 л/хв, при фізичній роботі – 30-40 л/хв.

**25. Розрахуйте тип кровообігу юнака в стані спокою за величиною серцевого індексу (СІ). ЧСС досліджуваного – 60 ск/хв, систолічний обсяг крові (СОК) – 70 мл, площа поверхні тіла – 1,7 м<sup>2</sup>.**

Показники систолічного і хвилинного обсягів 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.

Виділяють три типи кровообігу: гіпо-, еу- і гіперкінетичний (Н.Н. Савицький). При еукінетичному типі кровообігу серцевий індекс становить 2,75–3,5 л/хв на 1 м<sup>2</sup> площі поверхні тіла, при гіперкінетичному – більше 3,5, а при гіпокінетичному – нижче 2,75. Особи з гіперкінетичним типом кровообігу володіють більш високою активністю симпато-адреналової системи, значною економічністю роботи серця і більш високою працездатністю.

$$CI = \frac{ХОК}{ППТ} = \frac{ЧСС \cdot СОК}{ППТ} = \frac{60 \text{ ск/хв} \cdot 70 \text{ мл}}{1,7 \text{ м}^2} = \frac{4,2 \text{ л/хв}}{1,7 \text{ м}^2} = 2,47.$$

СІ – 2,47 л/хв на 1 м<sup>2</sup> площі поверхні тіла, отже у досліджуваного юнака гіпокінетичний тип кровообігу.

◇ **26. Споживання кисню досліджуваним в стані спокою – 300 мл/хв, ЧСС – 70 ск/хв. Проходячи через легеневі капіляри кожні 100 мл венозної крові збагачуються киснем на 5 мл. Розрахуйте величину систолічного об'єму крові.**

Проходячи через легені кожні 100 мл венозної крові збагачуються киснем на 5 мл. Отже, артеріально-венозна різниця (АВР) кисню – 5 мл на 100 мл крові, або 50 мл/л. Хвилинний обсяг кровообігу (ХОК) – відношення величини споживання кисню (СПО<sub>2</sub>) до показника АВР: ХОК = СПО<sub>2</sub> : АВР = 300 мл/хв : 50 мл/л = 6 л/хв або 6000 мл/хв. Систолічний обсяг крові (СОК) – відношення ХОК до ЧСС. СОК = ХОК : ЧСС = 6000 мл/хв : 70 ск/хв = 87 мл.

◇ 27. *Визначіть величину хвилинного обсягу крові (ХОК) юнака, якщо відомо, що споживання кисню (СПО<sub>2</sub>) в стані спокою – 300 мл/хв, вміст кисню в артеріальній крові – 20 об%, у венозній – 12 об%.*

Артеріально-венозна різниця за киснем (АВО<sub>2</sub>) становить 8 об% (20 об% – 12 об%), або 8 мл кисню на 100 мл крові, або 80 мл кисню на 1 л крові. Отже

$$\text{ХОК} = \frac{\text{СПО}_2}{\text{АВО}_2} = \frac{300 \text{ мл/хв}}{80 \text{ мл/хв}} = 3,7 \text{ л/хв.}$$

28. *При наявності яких ознак щодо серцевої діяльності потерпілому необхідно негайно провести закритий масаж серця? Особливості проведення такого масажу.*

При відсутності ознак серцевої діяльності потерпілому (при рятуванні утопленика, при задушенні, враженні електричним струмом, тепловим або сонячним ударом) роблять закритий масаж серця. Його варто проводити одночасно з штучним диханням. При цьому той, хто надає долікарську допомогу стає зліва від потерпілого, долоні його рук розміщуються на нижній третині грудини. Натискання роблять поштовхами (частково переносючи на руки вагу тіла), зміщуючи грудину на 3-4 см. При масажі серця дітей і підлітків зміщення грудини не повинно перевищувати 2-3 см, при цьому для масажу достатньо зусилля однієї руки. Частота натискувань на грудину – 50-60 за 1 хв (чотири натискання на один вдих при штучному диханні).

29. *Якою має бути перша домедична допомога при болю в ділянці серця (при стенокардії й інфаркті міокарда)?*

Біль в ділянці серця (*кардіалгія*) є симптомом багатьох захворювань, інколи і таких, які не мають безпосереднього відношення до серцевої патології. Причиною болю в ділянці серця можуть бути стенокардія, інфаркт міокарда, міокардит, ревматизм, ендокардит, вади серця, гіпертонічна хвороба, невроз та ін. Особливо небезпечним є біль при стенокардії та інфаркті міокарда. Найбільш часта причина стенокардії – атеросклероз коронарної артерії. Приступи

стенокардії можуть виникати також внаслідок порушення нервової регуляції тонуусу коронарних артерій.

В основі нападу стенокардії є гіпоксія (ішемія) міокарда, що розвивається в умовах недостатності коронарного кровообігу (кисневе голодування міокарда). Клінічні симптоми: за грудний біль, блідність, прискорення ЧСС (тахікардія). Хворі відчувають стиснення в ділянці серця, печучість, інколи гострий біль, який віддає у ліву руку між лопатки, у ліву половину шиї і голови. Біль посилюється при виконанні фізичних навантажень (ходьбі, бігові тощо), при хвилюванні, після прийняття їжі і навіть вночі під час сну. Біль спочатку легкий, потім поступово посилюється, супроводжуючись онімінням або слабкістю в лівій руці. Хворий відчуває нестачу повітря, прагне спокою. Тривалість приступів болю – від декількох секунд до 20-30 хв. Біль швидко припиняється після прийняття нітрогліцерину.

Перша домедична допомога при стенокардії: забезпечення повного фізичного і психічного спокою; нормалізація температури тіла; грілки до ніг; гарячі ванночки до ніг і лівої руки. Хворому необхідно негайно дати нітрогліцерин (1 пігулку під язик). Через деякий час, при необхідності, прийом нітрогліцерину повторити. При відсутності нітрогліцерину, хворому дають пігулку валідолу під язик, валокардін (до 30 крапель).

### ***30. Які особливості надання першої домедичної допомоги при інфаркті міокарда, міокардиті, кардіоневрозах?***

***Інфаркт міокарда*** – захворювання, спричинене виникненням вогнища ішемічного неврозу у серцевому м'язі. Основною причиною розвитку захворювання є атеросклероз коронарних артерій, сприятливими чинниками – перевтома, нервові потрясіння, фізичні і розумові перенавантаження тощо.

Первинним симптомом інфаркту міокарда є біль, який виникає раптово за грудиною або зліва від грудини. Біль (стискаючий, роздираючий, іноді печучий) переважно іррадіює в ліве плече, руку, лопатку. Тривалість больового приступу – від 20-30 хв до кількох годин або діб. У деяких хворих, особливо у людей похилого віку,

больовий синдром слабовиражений, а ведучим клінічним проявом хвороби є приступ ядухи, серцевої астми – астматичний варіант інфаркту міокарда; хворий старається прийняти підвищене положення, його шкіра набуває синюшного відтінку і покривається краплями поту, частота дихання зростає до 30-40 за 1 хв.

Рідше трапляється гастролгічний або абдомінальний, варіант інфаркту міокарда. Він проявляється болем у надчеревній ділянці, блюванням, здуттям живота. Іноді у хворих виявляються лише симптоми загального нездужання, немотивованої слабкості. В подібних випадках правильний діагноз можна поставити лише за допомогою ЕКГ. Перша домедична допомога при інфаркті міокарда – повний фізичний спокій і відсутність емоцій. Хворому забороняється рухатись. З місця, де виник больовий напад, до ліжка в лікарні хворого транспортують на одних і тих же ношах і без переодягання. Великих зусиль потребує боротьба з больовим синдромом. Нітрогліцерин і валідол при цьому мало ефективні. У випадку підозри на інфаркт до хворого треба негайно викликати “швидко допомогу” і доставити в лікувальний заклад.

**Міокардит** – запальне ураження серцевого м’яза. Найбільш часто міокардити зустрічаються при ревматизмі, рідше – при дифтерії, скарлатині, вірусних інфекціях. Міокардити можуть виникати при сенсibiliзації організму щодо лікарських препаратів (наприклад, антибіотиків) – алергічні міокардити. Хворі скаржаться на ядуху, кволість, серцебиття, перебої, тупий ниючий або приступоподібний біль в ділянці серця. Лікування міокардитів потребує суворого постільного режиму.

Причиною болю в ділянці серця може бути і **кардіоневроз**, зокрема невроз періоду статевого дозрівання. Він характеризується вегетативною нестійкістю підлітків (пубертатне серце), пітливістю, легко виникаючою гіперемією обличчя, шиї, тахікардією, екstrasистолією, болями в ділянці серця. Короточасні поколювання, ниючі болі в ділянці верхівки серця, відчуття “завмирання”, перебої в роботі серця – усе це суб’єктивний набір ознак неврозу періоду статевого дозрівання. З віком цей невроз серця проходить, хоч окремі його ознаки зберігаються до 20-30 років.



У лікуванні невротичних порушень серцевої діяльності досить ефективними є транквілізатори і заспокійливі засоби (препарати валеріани, собачої кропиви) і, звичайно, дотримання правил розміреного здорового способу життя без значних емоційних і фізичних напружень.

### ***31. Якою має бути перша домедична допомога при гіпертонічній хворобі серцево-судинної системи?***

Гіпертонічна хвороба серцево-судинної системи – захворювання, провідним симптомом якого є підвищення артеріального тиску. Головною причиною виникнення хвороби є перенапруження ЦНС, викликане тривалими або сильними хвилюваннями, розумовим перевантаженням, емоційним потрясінням.

Характерні ознаки гіпертонічної хвороби: загальна кволість, зниження працездатності, головний біль, тахікардія, інколи біль в ділянці серця, головокружіння, шум у вухах, безсоння, задишка при піднятті на гору та під час бігу. Інформативною об'єктивною ознакою хвороби є підвищення систолічного (вище 140 мм рт. ст.) і діастолічного (більше 90 мм рт. ст.) артеріального тиску. Для гіпертонічної хвороби характерні періодичні короткочасні підвищення артеріального тиску – гіпертонічні кризи (ГК). ГК – проявляється раптовим підвищенням артеріального тиску, який супроводжується різким головним болем, запамороченням, серцебиттям, колючими болями в ділянці серця, інколи порушенням зору, нудотою, блюванням, носовими кровотечами. Під час ГК можуть виникати важкі ускладнення, зокрема інсульт, гостра серцева недостатність (серцева астма), стенокардія.

Перша домедична допомога при ГК полягає у забезпеченні повного фізичного і емоційного спокою. Рекомендується прикласти гірчичники на ліктьові м'язи, холод до голови. При серцебитті – валокардін до 30 крапель на прийом. При болях в ділянці серця – валідол, або нітроглицерин під язик. Можна також зробити горячі або гірчичні ванни для ніг.

## ТЕМА 2. РУХ КРОВІ В КРОВОНОСНИХ І ЛІМФАТИЧНИХ СУДИНАХ. МЕХАНІЗМИ РЕГУЛЯЦІЇ СИСТЕМИ КРОВО- І ЛІМФООБІГУ

### 2.1. МОРФОФУНКЦІОНАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА КРОВОНОСНИХ СУДИН. ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ГЕМОДИНАМІКИ

◇ *1. Морфофункціональні особливості кровоносних судин великого і малого кіл кровообігу.*

У центрі системи кровообігу знаходиться серце. Від нього беруть початок і в ньому закінчуються велике і мале кола кровообігу. **Мале коло кровообігу** (легеневий кровообіг) починається легеневою артерією, яка відходить від правого шлуночка. По цій артерії кров доставляється в систему легеневих капілярів, збагачується киснем і по чотирьох венах впадає в ліве передсердя.

**Велике коло кровообігу** (системний кровообіг) бере початок від лівого шлуночка. Звідси кров надходить в аорту, далі в систему артерій і капілярів органів і тканин всього тіла. До правого передсердя, де закінчується велике коло кровообігу, насичена вуглекислим газом кров надходить по двох порожнистих венах (рис. 8.12).

Кровоносні судини поділяються на артерії, артеріоли, капіляри і вени. По артеріях кров рухається від серця до тканин. З течією крові артерії деревоподібно галузяться на все більш дрібні судини – артеріоли, які, в свою чергу, галузяться на більш дрібні капіляри діаметром 4-10 мк, довжиною 0,3-1 мм.

На ділянці переходу артеріол в капіляри знаходяться **передкапілярні сфінктери**. Їх тонус визначає число відкритих капілярів. Від капілярів беруть початок дрібні вени (венули). Поступово зливаючись і збільшуючись, вони закінчуються верхньою і нижньою порожнистими венами. Таким чином, по артеріям кров надходить до тканин, а по венах відходить від них.

Артерії мають три оболонки: зовнішню з сполучної тканини, середню з м'язової тканини і внутрішню з одношарового плоского ендотелію. Артерії діляться на артерії еластичного типу (аорта, легенева артерія), в середній оболонці яких переважають еластич-

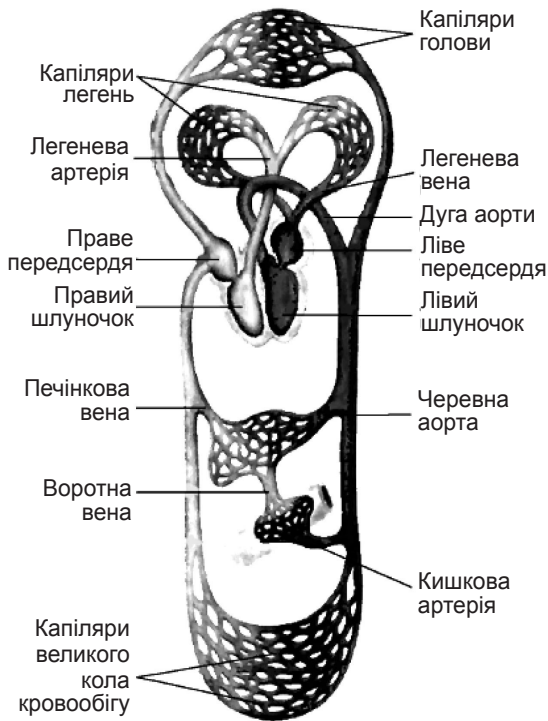


Рис. 8.12. Схема кровообігу

ні волокна сполучної тканини, та артерії м'язового типу (всі інші артерії). Будова вен подібна до будови артерій, проте їх середня оболонка значно тонша. Крім того у венах є клапани, які забезпечують односторонній рух крові до серця. Вени ширші від артерій. В системному кровообігу збагачена киснем кров тече по артеріях, а в легенево-му – по венах.

**2. Які кровonosні судини і чому І. Сеченов називав “кранами кровonosної системи”?**

Кількість крові, що проходить через орган, регулюється артеріолами. Маючи добре розвинену м'язову оболонку, артеріоли даного органу, в залежності від потреб клітин у живленні, можуть звужуватись і розширюватись, змінюючи тим самим рівень кровопостачання (рис. 8.13).

У капілярах, завдяки високій проникливості їх стінок, відбувається обмін речовин між кров'ю і тканинами. Цьому в значній мірі сприяє той факт, що стінки капілярів представлені одним шаром ендотеліаль-

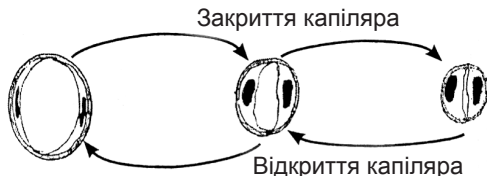


Рис. 8.13. Схема переходу функціонуючого капіляра в закритий

них клітин, скріплених між собою мукополісахаридною речовиною – “цементом”, в якому є багато щілин; їх число і розмір визначають проникність капілярів для окремих речовин.

Загальна характеристика різних типів кровоносних судин людини подана в таблиці 8.2.

**Таблиця 8.2**

**Характеристика різних типів кровоносних судин**

Судина	Діаметр провіту	Середня лінійна швидкість кровотоку, см/с	Середній тиск, мм рт. ст.	Товщина стінки	Всі судини кожного типу	
					Наближена загальна площа поперечного перерізу, см <sup>2</sup>	Вміст крові, %
Аорта	2,5 см	20	100	2 мм	4,5	2
Артерії	0,4 см	10-15	95	1 мм	20	8
Артеріоли	30 мкм	0,2-0,3	70-35	20 мкм	400	1
Капіляри	5 мкм	0,03	35-15	1 мкм	4500	5
Венули	20 мкм	0,5-1,0	15-10	2 мкм	4000	54
Дрібні і середні вени	0,5 см	1-5	<15	0,5 мм	40	
Порожні вени	3 см	10-15	<5	1,5 мм	18	

**3. Від чого залежить кількість капілярів в окремих тканинах?**

Кількість капілярів у різних тканинах різна, вона зумовлена їхньою максимальною метаболічною активністю. Так, у фізично натренованої людини загальною масою тіла 70 кг і м'язовою масою 35-40 кг, площа поверхні капілярних стінок в усіх м'язах складає 60 м<sup>2</sup>. На кожний см<sup>3</sup> швидкого м'яза, в якому переважають так звані «швидкі» м'язові волокна, приходить в середньому 350 капілярів, в м'язах з повільними волокнами – 1000. Проте в стані спокою функціонує всього близько 30-50% капілярів.

◇ 4. З урахуванням коріолісового прискорення й асиметричності розташування артеріальної і венозної систем людини дайте фізіологічне обґрунтування доцільності бігу спортсмена по колу в певному напрямку.

У минулому столітті французький вчений Коріоліс вперше виявив вплив додаткової сили інерції, що діє при русі тіла у системі відліку, яка обертається: відцентрова сила проявляється відхиленням тіла, що рухається в бік, протилежний напрямку його відносного руху на даний момент. Коріолісовим прискоренням (вчення про відцентрову силу) вчені пояснюють асиметричний розвиток півкуль головного мозку, асиметричне розташування артеріальної та венозної системи тощо.

Серце у людини, як і у тварин, розташоване зліва, дуга аорти має напрямок спереду-справа назад і вліво, грудинний та черевний відділи аорти розташовані зліва від сагітальної площини тіла, великі порожнисті вени (верхня та нижня) і основна гілка воротної вени знаходяться справа від сагітальної площини. Таке розташування кровоносних судин, ймовірно, зумовлене асиметрією розвитку і формування судинної системи, що у свою чергу спричинене обертанням Землі та коріолісовим прискоренням.

До висновку щодо доцільності того чи іншого напрямку руху (тобто від симетричного, рівнонаправленого до асиметричного), люди, ймовірно, прийшли через багатовіковий досвід. З урахуванням коріолісового прискорення, тобто в напрямку, протилежному руху годинникової стрілки, проводять легкоатлетичні забіги, змагання на ковзанах, гонки на автомобілях, мотоциклах, конях тощо. Під час забігу проти годинникової стрілки, особливо по малому колу, створюється певний нахил тіла справа наліво. При цьому кут нахилу відкритий до центру кола. Чим швидше біг, тим більша кривизна нахилу тулуба і менший радіус кола. Біг спортсмена при такому нахилі тіла більш фізіологічний, він полегшує вихід артеріальної крові з серця в аорту та рух крові по венозним судинам серця, сприяє відтоку крові з порожнистих вен. Біг по колу в напрямку годинникової стрілки менш фізіологічний, оскільки утруднює вихід крові з серця в аорту та затримує надходження її із порожнистих вен у серце.

**5. Які чинники забезпечують рух крові по кровоносних судинах?**

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 руху крові ( $R$ ). Величина опору в свою чергу залежить від в'язкості та тертя частинок крові між собою і між стінками 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 крові направляється до органів з високою метаболічною активністю (головний мозок, скелетні м'язи) або специфічною функцією (печінка, нирки). Перерозподіл течії крові досягається зміною діаметра артерійол.

**6. Яка лінійна швидкість руху крові в окремих кровоносних судинах?**

Безперервний рух крові по судинах, перш за все, відбувається завдяки пружним властивостям артеріальних стінок. В період діастолі серця рух крові по судинах забезпечується потенціальною енергією серцевого м'яза, нагромадженою в стінках розтягнутих великих кровоносних судин у період систолі. Під час систолі шлуночка кров розтягує початкові еластичні судини. При цьому кінетична енергія серця, що скорочується, ділиться на дві частини (рис. 8.14). Частина енергії (кінетична) використовується зразу ж на прискорення руху крові, інша частина переходить в енергію розтягнення стінки судини. Ця потенційна енергія деформації аорти пере-

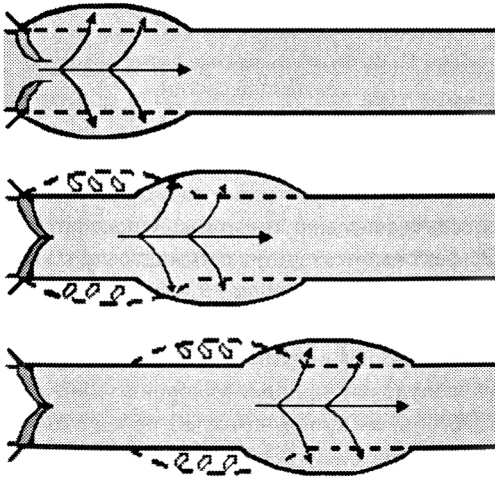


Рис. 8.14. Динаміка зміни "об'єм-тиск" у початковому відділі аорти

ходить в кінетичну енергію руху крові в період діастоли серця. Таким чином підтримується необхідний для постійного кровотоку градієнт тиску між аортою і розташованими нижче артеріями.

Знаючи об'ємну швидкість течії крові, легко розрахувати **лінійну швидкість руху** 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. 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. У середніх і порожнистих венах швидкість течії крові зростає до 50-100 мм/с.

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. Лінійна швидкість течії крові більша в судинах, загальний діаметр яких менший, і навпаки. Показник радіусів капілярів у 60-80 разів більший радіуса аорти (рис. 8.15). У цьому розумінні аорта – саме вузьке місце кровоносної системи.

### ◇ 7. Величини кругообігу крові в стані спокою і при м'язовій роботі.

При ЧСС 70-80 ск/хв частина крові проходить через велике і мале коло кругообігу за 27 серцевих скорочень – 20-23 с (час кругообігу крові). При м'язовій роботі величина цього показника нерід-

ко знижується до 8 с. Циклічний характер роботи серця обумовлює постійну зміну швидкості течії крові: вона найбільша в аорті і легеневій артерії в період систоли шлуночків і найменша – в період діастоли. В капілярах і венах швидкість руху крові більш стабільна (рис. 8.15).

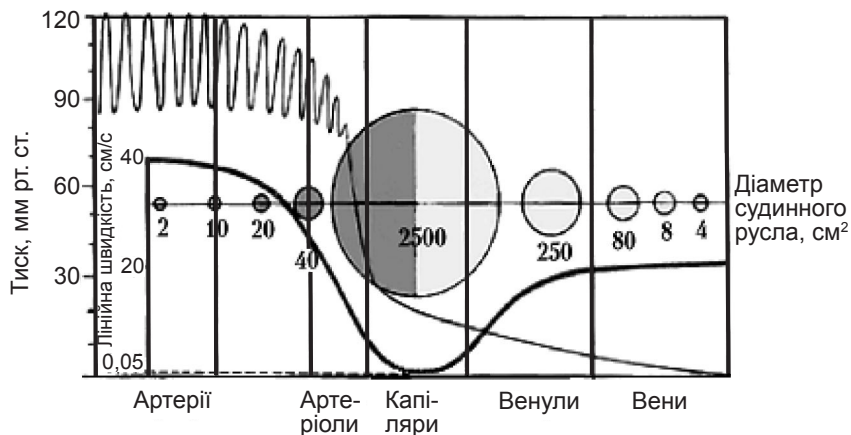


Рис. 8.15. Показники гемодинаміки в різних відділах судинного русла

### ◇ 8. Чинники ризику серцево-судинних захворювань.

Однією з головних причин атеросклерозу судин є надмірний вміст жирів і холестерину в їжі. Проте чітко визначених проявів цієї хвороби не виявляється до тих пір, поки діаметр судин не звужиться до критичної величини (стенокардія, інфаркт міокарда, а тоді раптова смерть). Чоловіки зрілого віку з вмістом холестерину більше 290 мг% в 10 разів більше ризикують захворіти атеросклерозом, ніж чоловіки такого ж віку з рівнем холестерину менше 200 мг%.

У гіпертоніків в три рази більше ризик вмерти від інфаркту, ніж у людини з нормальним тиском крові. Чинниками ризику щодо захворювань кровоносних судин є надмірність жирової маси тіла (опасистість) і куріння. Ймовірність смертельних наслідків від захворювання серця у повних осіб 60-річного віку в 5 разів вища, ніж у чоловіків з нормальною масою тіла. Ймовірність смерті осіб зрі-



лого віку, які зловживають курінням, від захворювань серця в 10 разів більша, ніж тих, що не палять.

До інших чинників ризику щодо серцево-судинних захворювань, належать такі як діабет, підвищений вміст тригліцеринів в крові, гіподинамія, стреси, спадковість, вік і стать (чоловіки частіше хворіють серцево-судинними недугами, ніж жінки).

### ***9. Які фізіологічні механізми розвитку інсульту? Чи можна прогнозувати можливість виникнення цього захворювання?***

Серед громадян України, які страждають захворюваннями системи кровообігу, близько 35% осіб вмирають від інсультів (гостре порушення мозкового кровообігу). Найбільш частою причиною цього захворювання є атеросклероз артерій, які несуть клітинам мозку поживні речовини і кисень. Атеросклеротичні зміни можуть розвиватись в артеріях самого мозку. Пошкоджена (склерозована) внутрішня поверхня судин є сприятливим середовищем для формування тромбів і утворення атеросклеротичних бляшок. Інколи кусочки бляшок або тромбу, утворені в інших місцях організму, відриваються, і надходячи з током крові в дрібні артерії мозку, спричиняють їх закупорку. Решта інсультів (20%) спричинена крововиливами – витікання крові з пошкоджених артерій під дією високого кров'яного тиску. Інколи наслідком крововиливів є порушення цілісності (тріскання) аневризм – ділянок надмірно розширених артерій. Чим менша ділянка мозку вражена крововиливом, тим менше виражені симптоми інсульту.

Більшість інсультів пов'язані з високим кров'яним тиском. Сприяють виникненню інсульту усі ті чинники, які спричиняють атеросклеротичні зміни в стінках кровоносних судин головного мозку і які сприяють зростанню кров'яного тиску (куріння, вживання алкоголю, гіподинамія, надмірне споживання жиру і солі тощо).

## 2.2. ТИСК КРОВІ В КРОВОНОСНИХ СУДИНАХ. ОРТОСТАТИЧНІ РЕАКЦІЇ

### 10. Які чинники обумовлюють тиск крові в судинах і величину опору течії крові?

Тиск крові у судинах (P) залежить від об'єму крові, яка надходить до них (Q) і від опору стінок судин рухові крові (R):  $P = Q \cdot R$ .

Тиск крові в усій системі кровообігу позитивний. Це обумовлено тим, що в кровоносному руслі знаходиться крові більше, ніж її можуть вмістити нерозтягнуті судини. Величина тиску стінок кровоносних судин на кров зумовлена еластичністю і тонусом м'язових волокон завжди дещо розтягнених стінок судин.

На величину опору течії крові виявляють вплив такі чинники:

- довжина кровоносних судин – чим судини довші, тим більша їх площа поверхні, а отже, більше тертя між кров'ю і стінками судин;
- діаметр кровоносних судин – зменшення діаметра судин в два рази збільшує опір течії крові в 16 разів;
- в'язкість 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, – чим вона вища, тим в'язкість крові нижча.

### 11. Як змінюється величина тиску крові на стінки кровоносних судин упродовж серцевого циклу?

Тиск крові на стінки кровоносних судин найбільший в період систоли – максимальний або **систоличний 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 даліше 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 підвищуєть-

ся ПТ в артеріях) і еластичності артеріальних судин – чим більша еластичність артерій, тим більше крові вона може вмістити без суттєвого підвищення артеріального тиску.

◇ 12. *Нормативні величини артеріального тиску у дорослих осіб.*

У 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 140 мм рт. ст. і більше, називають *гіпертонічним*, нижчий 100 мм рт. ст. – *гіпотонічним*. *Середній тиск* (середня величина систолічного і діастолічного тисків упродовж одного серцевого циклу) в нормі становить 80-90 мм рт. ст. 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%. Середня величина систолічного тиску в крові в аорті – 110-130 мм рт. ст., у великих артеріях (діаметром 0,1-0,2 мм) – 100-120 мм рт. ст., в малих артеріях – 70-90, в капілярах – 10-30, у венах – 10-15 мм рт. ст., у порожнистих венах – близько нуля.

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, який перевищує 159/94 мм рт. ст.). При пограничній формі гіпертензії АТ може коливатись від нормальних величин до рівня межі пограничної зони – 159/94 мм рт. ст. При цьому нормалізація АТ відбувається самостійно без втручання лікарів.

◇ 13. *Методика вимірювання артеріального тиску крові.*

Для вимірювання артеріального тиску (АТ) користуються ртутним сфігмоманометром. Крім ртутних сфігмоманометрів, сьогодні 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 гумові

трубки. Поширеними є також електронні манометри. З їхньою допомогою визначають не лише АТ, а і ЧСС.

Для вимірювання АТ крові на звільнене від одягу плече лівої руки досліджуваного накладають манжетку (звертають увагу, щоб її нижній край був на 2 см вище ліктьової ямки). В період вимірювання АТ піддослідний не повинен бачити шкали манометра. Закривають краник груші і створюють тиск в манжетці вище максимального. Після чого випускають повітря з манжетки і з допомогою фонендоскопа слухають появу тонів серця в плечовій артерії (в ділянці ліктьової ямки). Момент появи першого тону відповідає максимальному (систолічному) тиску, момент їх зникнення – діастолічному тиску.

Виникнення звукових явищ в артерії обумовлене ритмічною зміною швидкості руху крові в різні фази серцевого циклу, а також наявністю колової компресії, створеної манжеткою. Проходження крові через стиснену артерію в період систоли серця обумовлює систолічний тиск, а період зникнення тонів, спричинене зниженням в манжетці тиску до його величини в судинах, відповідає діастолічному тиску.

Прослуховування тонів артерії 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 звукових явищ.

#### ***14. Які чинники впливають на величину артеріального тиску крові?***

Основними показниками роботи серця є сила і частота серцевих скорочень. Зростання сили скорочень серця переважно спричиняє зростання систолічного тиску, а, отже, і пульсового тиску. При збільшенні ЧСС діастолічний тиск зростає, а пульсовий тиск зменшується.

Показник кров'яного тиску неоднаковий у людей різного віку і статі. Він залежить також від умов, в яких знаходиться досліджуваний

на час вимірювання АТ. У людей похилого віку, у зв'язку із зниженням еластичності стінок артеріальних судин, АТ 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 АТ дещо нижчий, ніж у чоловіків. Суттєво зростає АТ при виконанні фізичних навантажень і емоційному збудженні (страх, біль, радість, гнів тощо), які завжди супроводжуються підвищенням тонуусу симпатичної нервової системи та мобілізацією енергоресурсів. Під дією іонізуючого опромінення капіляри розширюються і кров'яний тиск знижується. Існують певні коливання кров'яного тиску упродовж доби: найменші його величини характерні для пероду з 2 до 4 год ночі, найбільші – з 16 до 18 год.

Величина АТ змінюється із зміною 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. При тривалому стоянні, посилюючи фільтрацію плазми крові з капілярів кінцівок в міжклітинні простори, гідростатичний тиск сприяє виникненню набряків.

***15. Які показники артеріального тиску характерні для спортсменів в стані спокою і в умовах виконання дозованих фізичних навантажень?***

Частота гіпотонії у спортсменів більш висока (27%), ніж у неспортсменів (14%). Серед спортсменів осіб з гіпотонією значно менше, ніж серед спортсменок.

Існує певна залежність між рівнем АТ крові і фізичною працездатністю спортсменів, визначеною за показником ФП170. Високим показникам тесту ФП170 відповідали більш високі величини пульсового тиску. Отже, величина пульсового тиску може служити непрямим показником фізичної підготовленості спортсменів (табл. 8.3).

Зміни артеріального тиску, викликані виконанням дозованих навантажень, у спортсменів менш виразні, ніж у ненаренованих осіб. З ростом спортивної майстерності підвищення артеріального тиску, викликане виконанням стандартного навантаження, стає не-

суттєвим, що свідчить про більш раціональний перерозподіл кровообігу, – про економічність функціонування серцево-судинної системи.

Таблиця 8.3

**Артеріальний тиск і фізична працездатність спортсменів різної спеціалізації і кваліфікації**

№ п/п	Групи досліджуваних	АТ, мм рт. ст.			ФП <sub>170</sub> кгм/хв
		Рmax	Рmax	ПТ	
1.	Гімнастика, важка атлетика				
1.1.	Масові розряди (n = 24)	114 ± 1,8	68 ± 1,8	46	1055 ± 14,2
1.2.	Спортсмени високої кваліфікації (n = 11)	115 ± 2,6	64 ± 1,4 P < 0.05	57	1020 ± 40,5 P > 0,05
2.	Спортивні ігри				
2.1.	Масові розряди (n = 20)	114 ± 1,8	67 ± 1,7	47	1026 ± 26,8
2.2.	Спортсмени високої кваліфікації (n = 14)	115 ± 3,1	64 ± 3,1 P > 0.05	51	1316 ± 32,6 P < 0,01
3.	Одноборство				
3.1.	Масові розряди (n = 15)	114 ± 3,0	66 ± 2.0	48	1313 ± 16,4
3.2.	Спортсмени високої кваліфікації (n = 30)	116 ± 2,7	64 ± 1.4	52	1416 ± 11,5
4.	Гребля, велоспорт, лижний спорт, легка атлетика				
4.1.	Масові розряди (n = 16)	114 ± 3,4	64 ± 3,3	50	1426 ± 30,4
4.2.	Спортсмени високої кваліфікації (n = 25)	117 ± 1,8 P < 0,05	63 ± 2,7	54	1540 ± 17,4 P < 0,01

Таким чином, за направленістю змін АТ в стані спокою і після виконання дозованих навантажень можна судити про рівень резервів серцево-судинної системи та фізичну підготовленість спортсменів.

**16. У юнака в стані спокою артеріальний тиск – 120/80 мм рт. ст. Після холодого тесту величина артеріального тиску зростає до 140/70 мм рт. ст. Тривалість повернення артеріального тиску**

**до норми –5 хв. Якій рівень судинної реактивності організму у даного досліджуваного?**

Для здорових осіб зниження випадкового артеріального тиску до рівня залишкового під дією холодового тесту відбувається упродовж 6-9 хв, зниження величин систолічного і діастолічного тисків – не більше 10 мм рт. ст. Отже, судинна реактивність (холодова стійкість) обстежуваного юнака відповідає верхній межі норми (різниця тисків 10 мм рт. ст., тривалість відновного періоду – 5 хв).

**15. Які чинники сприяють виникненню і прогресуванню артеріальної гіпертензії? Валеологічні заходи попередження гіпертонічного захворювання.**

Чимало підлітків та дорослих осіб страждають таким серцево-судинним захворюванням як **артеріальна гіпертензія** (АГ). АГ – стан серцево-судинної системи, коли систолічний кров'яний тиск постійно утримується на рівні вище 140 мм рт. ст., а діастолічний – на рівні вище 90 мм рт. ст. У гіпертоніків в три рази більше ризик інфаркту міокарда, в п'ять разів більше ризик розвитку серцевої недостатності і у вісім разів більш висока ймовірність інсульту, ніж у осіб з нормальним кров'яним тиском.

Розвитку АГ сприяють такі чинники як надмірна маса тіла, атеросклеротичні зміни стінок артерій (вимушене зростання тиску, внаслідок звуження діаметру судин), вживання алкоголю, надмірне споживання солі, прийняття естрогенних препаратів. Гормон естроген знаходиться в протизаплідних пігулках, а також використовується жінками для полегшення перебігу клімактеричного періоду. Разом з тим, затримуючи в організмі натрій хлориду, естрогенні препарати сприяють нагромадженню надмірної кількості рідини, а це, в свою чергу, сприяє зростанню кров'яного тиску. Загальна схема розвитку гіпертонічної хвороби показана на рис. 8.16.

Малоефективними щодо гіпертонії є фармацевтичні препарати, вони лише на певний час знижують високий кров'яний тиск, часто спричиняють побічні ефекти (швидке послаблення втоми, депресії, зниження сексуального потягу тощо). Високоєфективними засобами нормалізації кров'яного тиску є зменшення споживання солі і

жирів, дотримання дієти з більш високим вмістом клітковини, оптимізація маси тіла, повна відмова від алкогольних напоїв і куріння, оптимальна рухова активність.

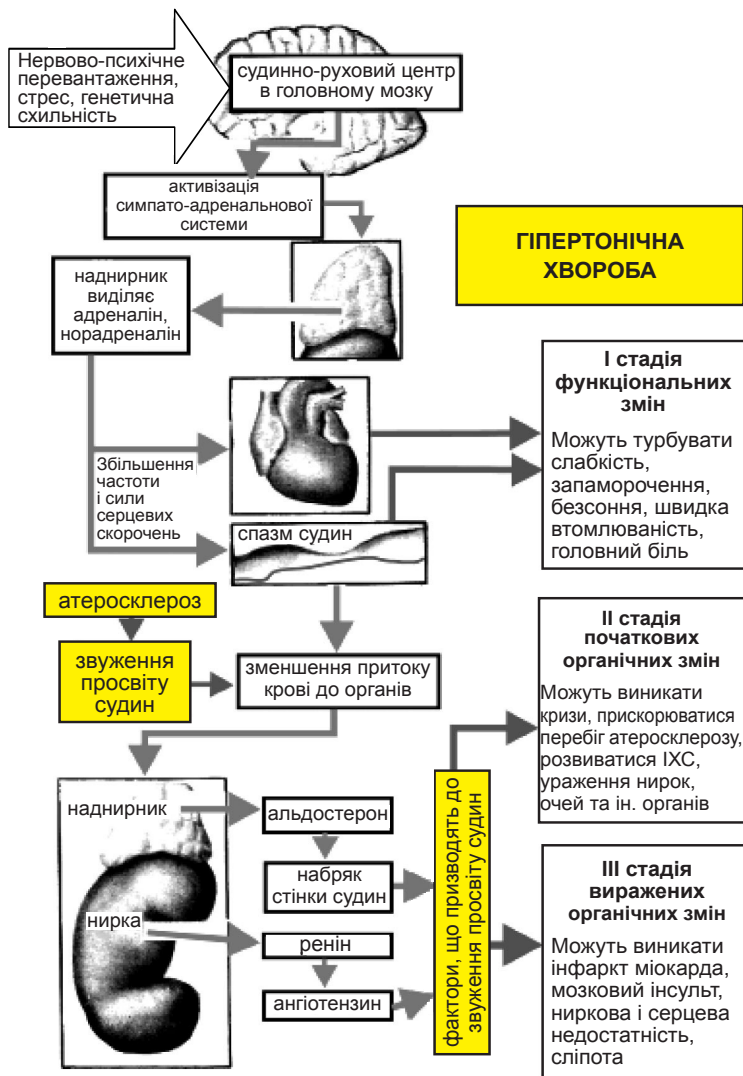


Рис. 8.16. Схема механізму розвитку гіпертонічної хвороби



### **18. Як впливає чинник земного тяжіння на кровообіг?**

Рух крові по кровоносних судинах залежить від дії сил земного тяжіння, особливо виражено ця залежність проявляється при знаходженні людини у вертикальному положенні. В цій позі кров проявляє тенденцію збиратися в нижній частині тіла. При недостатності компенсаторних антигравітаційних механізмів серцево-судинної системи, а особливо при раптовому зупиненні динамічної роботи (зупинка людини після інтенсивного бігу) можуть виникати порушення мозкового кровообігу з втратою свідомості – **гравітаційний шок**.

Дія гравітації на кровообіг значно зростає при зміні положення тіла: з горизонтального у вертикальне – ортостатичні реакції, і з вертикального у горизонтальне – клино-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 тонузу великих вен при вставанні, зменшуючи надходження венозної крові до серця, призводить до погіршення кровопостачання мозку. Непритомний стан, викликаний низьким тонусом великих вен, може виникати не лише при вставанні, а й при тривалому стоянні (**ортостатичний колапс**).

### **19. Як можна оцінити функціональний стан системи кровообігу і механізми її регуляції за даними ортостатичних і клино-ортостатичних тестів?**

Тестування функціонального стану системи кровообігу з допомогою ортостатичних тестів здійснюється дослідженням змін ЧСС і АТ на зміну положення тіла в просторі. Дані ортостатичних тестів використовуються для оцінки функціональної підготовки осіб, робота яких пов'язана з частою зміною положення тіла в просторі. Чим вищий рівень фізичної підготовленості людини, тим кращий результат ортостатичного тесту. Ортостатичні тести мають важливе значення для диференційної діагностики систолічних шумів серця.

Найбільш характерною реакцією на *ортостатичну пробу Шеллонга* (ЧСС лежачи – ЧСС стоячи) є збільшення ЧСС. У фізично підготовлених осіб це збільшення на 5-15 ск/хв менше, ніж у не підготовлених.

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 фізичної підготовленості людини показники ортостатичної проби поліпшуються.

Зміна ЧСС після вставання в значній мірі визначається тонусом симпатичної нервової системи. Якщо збільшення ЧСС після вставання не більше 27% від його величини в стані спокою, то збудливість симпатичної нервової системи вважається нормальною. Збільшення ЧСС після вставання більш ніж 27% свідчить про підвищену збудливість симпатичної нервової системи досліджуваного. Такий стан часто спостерігається у працівників упродовж перших годин після виконання напруженої фізичної роботи.

При переході організму людини з вертикального положення в горизонтальне відбувається підвищення тону парасимпатичної нервової системи і уповільнення ЧСС (не більше 6 за 1 хв) – *кліно-ортостатичний тест*.

Зміни серцевої діяльності при зміні положення тіла зумовлені проявом механізму Франка-Старлінга – збільшення венозного притоку до серця і його наповнення кров'ю в горизонтальному положенні супроводжується зростанням ЧСС. Зменшення наповнення серця кров'ю у вертикальному положенні є основною причиною послаблення скоротливої функції серця, а отже зниження ЧСС.

### 2.3. КРОВООБІГ І ОБМІН РЕЧОВИН В КАПІЛЯРАХ. РУХ КРОВІ У ВЕНАХ І ЛІМФАТИЧНИХ СУДИНАХ

❖ 20. Роль механізмів дифузії, фільтрації і абсорбції в забезпеченні транскапілярного обміну.

**Капіляри** – центральна ділянка в системі кровообігу. В капілярах проходять процеси надходження поживних речовин і кисню до клітин організму і виведення від них продуктів обміну (**мікроциркуляція**, або транскапілярний 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 уся організація серцево-судинної системи (рис. 8.17).

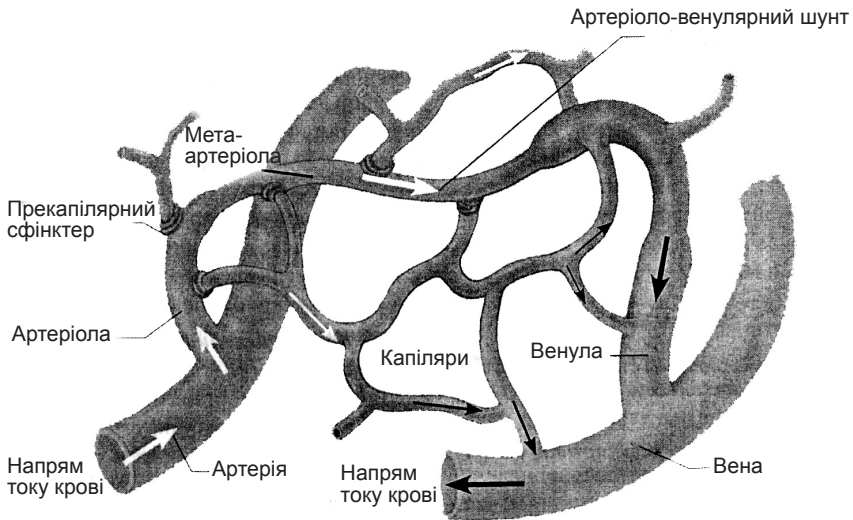


Рис. 8.17. Схема будови мікроциркуляторного русла

Транскапілярний обмін речовин через капілярну стінку (рис. 8.18) забезпечується з допомогою механізмів дифузії, фільтрації і абсорбції (реабсорбції). **Дифузія** обумовлює направлений рух

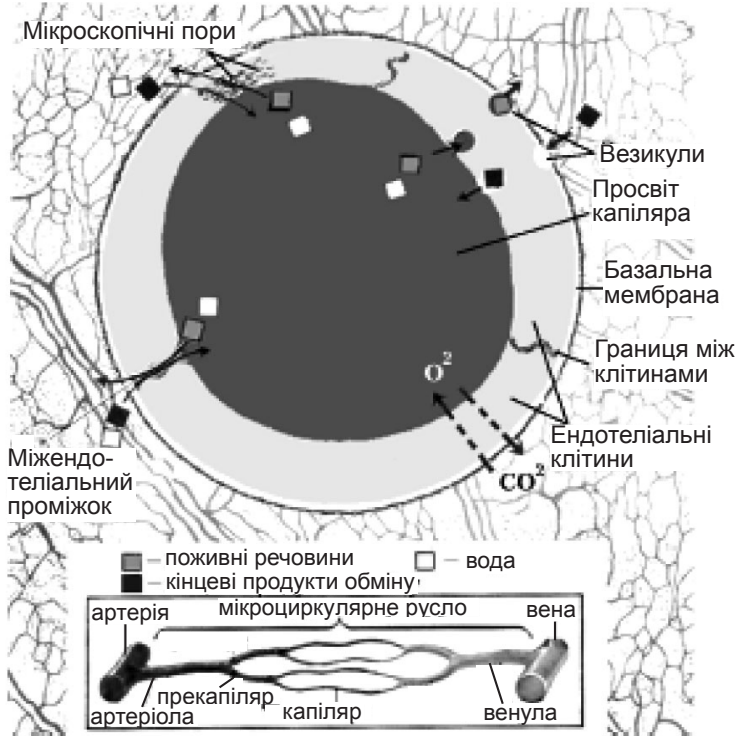


Рис. 8.18. Обмін речовин у межах мікроциркуляторного русла

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  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ , глюкози,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$  між кров'ю і міжклітинною рідиною.

**Фільтрація** – 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. Завдя-

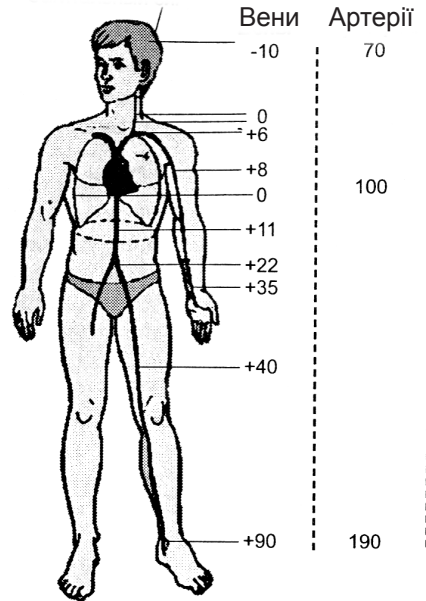
ки цим процесам підтримується постійність об'ємів плазми, міжклітинної і внутріклітинної рідин. Величина і напрямок фільтрації рідини між капілярами і клітинами забезпечується різницею між гідростатичним тиском крові (ГСТк) і гідростатичним тиском тканинної рідини (ГСТт); перебіг процесів абсорбції перш за все визначається різницею між колоїдно-осмотичним (онкотичним) тиском плазми крові (КОТк) і КОТ тканинної рідини (КОТт).

На перебіг процесів фільтрації впливає онкотичний тиск тканинної рідини (4,5-6,0 мм рт. ст.), який сумується з величиною гідростатичного тиску крові.

### 21. Як впливає гідростатичний тиск на зміну трансмурального тиску по ходу судинного русла?

По ходу судинного русла в людини, яка знаходиться в стані

Сагітальний синус Тиск, мм рт. ст.



спокою, виникає ефект зміни тиску на стінках судини (трансмуральний тиск). Це обумовлено впливом стовпа крові в судинах, які розташовуються вздовж тулуба (рис. 8.19).

В артеріях над серцем під впливом сил гравітації стовпа крові тиск поступово знижується. Нижче рівня серця артеріальний тиск навпаки, зростає (до 190 мм рт. ст. на рівні стопи).

Певні особливості характерні для венозного тиску. У людини, що стоїть, тиск крові перед правим передсердям близький до 0 мм рт. ст. В середині черепа в синусах твердої мозкової оболонки тиск від'ємний. Це зумовлено тим,

Рис. 8.19. Вплив гідростатичного тиску на зміну трансмурального тиску по ходу судинного русла

що структури стінки синусів перешкоджають їх спаданню, яке могло б відбуватися під впливом сил гравітації.

Нижче рівня серця під дією ваги крові венозний тиск пропорційно зростає і в ділянці стоп досягає 90 мм рт. ст. Враховуючи еластичність стінок вен, при такому рівні тиску створюються передумови до депонування крові. За таких умов, при тривалому вертикальному положенні і недостатності функцій судинних клапанів, це може спричинити варикозні розширення вен.

**22. Відомо, що в умовах спокою середній гідростатичний тиск крові людини в капілярах – 18 мм рт. ст., гідростатичний тиск тканинної рідини нижчий від атмосферного – мінус 6 мм рт. ст. Яка сила обумовлює фільтрацію рідини з капілярів в міжтканинні простори?**

Фільтрація (перехід) капілярної рідини в міжклітинну відбувається внаслідок різниці гідростатичного тиску по обидва боки капіляра (24 мм рт. ст.): гідростатичний тиск крові (18 мм рт. ст.) мінус гідростатичний тиск тканинної рідини (– 6 мм рт. ст.). На 100 г тканини через капілярну стінку за 1 хв фільтрується, на кожний 1 мм рт. ст. різниці тисків, близько 0,04 мл рідини (**коефіцієнт капілярної фільтрації** – ККФ). Величина ККФ залежить від площі дифузійної 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.

**23. 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 абсорбцію рідини з тканинних просторів у кров`яне русло?**

Абсорбція (перехід) рідини з міжклітинних просторів у кров капілярів здійснюється завдяки різниці колоїдно-осмотичного тиску крові (КОТк – 30 мм рт. ст) і колоїдно-осмотичного тиску тканинної рідини (КОТт – 6 мм рт. ст.). Ця різниця між КОТк і КОТт становить 24 мм рт. ст. (30 мм рт. ст. – 6 мм рт. ст.).

**24. Яке співвідношення процесів фільтрації і абсорбції рідини між кров'ю судин і тканинною рідиною в організмі людини, що виконує інтенсивну фізичну роботу?**

У стані спокою величина фільтрації на артеріальному кінці капіляра рівна величині на її венозному кінці. Близько 3 л рідини, що фільтрується упродовж доби через стінки капілярів, переходить із тканинних просторів в лімфатичні судини. Стільки ж лімфи за цей же період часу повертається в кровообіг. Постійна рівновага між фільтрацією і абсорбцією рідини ("*старлінгова рівновага*") – важлива передумова підтримання постійності об'єму циркулюючої крові. На початку фізичної роботи процеси фільтрації починають переважати процеси абсорбції. Цьому сприяє:

- зростання капілярного гідростатичного тиску, внаслідок підвищення системного артеріального тиску;
- зниження тонусу прекапілярних резистивних судин у працюючих м'язах;
- створення позитивного осмотичного тиску тканинної рідини.

Як наслідок, збільшується об'єм міжклітинної рідини і зменшується об'єм циркулюючої крові. Згодом встановлюється нова динамічна рівновага процесів фільтрації і абсорбції. Тривале виконання роботи в спекотних умовах може призвести до компенсаторного зменшення об'єму циркулюючої крові (дегідратація), зростання ЧСС і зниження систолічного об'єму крові.

**25. Які особливості депонування крові характерні для венозних судин? Тиск крові у венах.**

В умовах спокою близько половини всього об'єму циркулюючої крові знаходиться у венозних (ємнісних) судинах – в системних венах і венах легеневого кола кровообігу. Кров депонується 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 скелетних поперечно-смугастих м'язів, а також гладеньких м'язів стінок венозних судин.

Тиск крові у венах, розташованих за межами грудної порожнини – 5-10 мм рт. ст., у венах, що знаходяться поблизу грудної порожнини – близький до атмосферного, з коливаннями, які залежать від фаз дихання: при вдиху стає нижчим атмосферного, при видиху зростає до 2-5 мм рт. ст. Лінійна швидкість руху крові у венах менша, ніж в артеріях.

**26. Тиск крові у венах, що знаходяться поблизу грудної клітки, при вдиху стає нижчим атмосферного. Які фактори обумовлюють рух крові по венах за даних умов?**

Рухові крові у венах за даних умов сприяють такі чинники: 1) позитивний тиск крові (10-15 мм рт. ст.) в дрібних венозних судинах; 2) присмоктувальна дія серця при діастолі передсердь; 3) присмоктувальна дія грудної клітки, особливо при вдиху; 4) наявність клапанів у великих і середніх венах, які забезпечують рух крові лише в напрямку до серця; 5) дія скелетних м'язів як внутрішньом'язових периферійних сердець (М.І. Арінчин).

Скорочуючись і розслаблюючись, м'язи спричиняють почергове стискання і розправлення вен, посилюючи тим самим рух крові в напрямку до серця (руху крові в протилежному від серця напрямку перешкоджають венозні клапани). Позитивний вплив скелетних м'язів на рух крові по венам найбільш виразний за умови роботи м'язів в оптимальному режимі, особливо при ходьбі та бігові.

**27. Вкажіть на можливі наслідки порушень функціонального стану венозних клапанів. Якими хворобами венозних судин і чому все частіше почали хворіти молоді люди?**

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 – відсутність навантажень на ноги (сидячий спосіб життя) або навпаки, надмірні навантаження на ноги (тривала робота стоячи).



**28. Який фізіологічний механізм виникнення венозного пульсу?**

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 крові на стінки венозних судин зростає, що і спричиняє коливання їх стінок. Крива графічного запису венозного пульсу за допомогою спеціального приладу – *флебографа*, називається *флебограмою*.

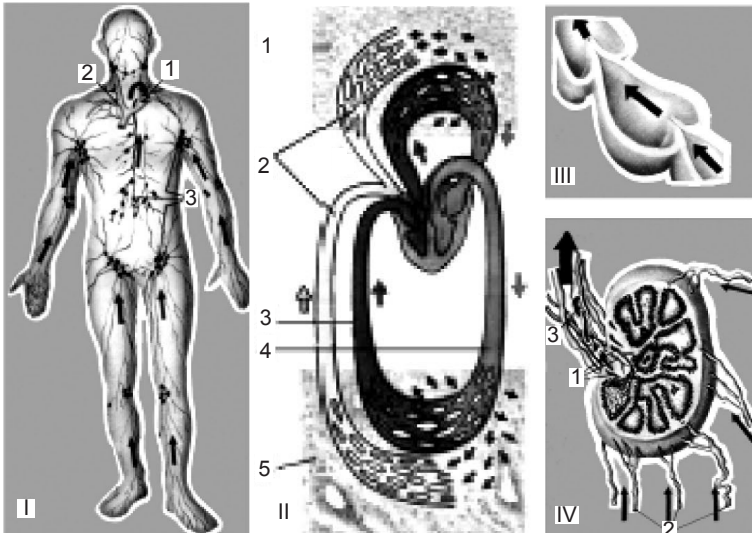
**29. Які функції в організмі людини виконують лімфатичні судини? Особливості будови лімфатичної системи.**

Лімфатичні судини виконують дренажну функцію: через них відбувається відтік тканинної (інтерстиціальної) рідини в кров'яне русло. Цим попереджується розвиток набряків. Таким чином, лімфатична система попереджує нагромадження рідини в інтерстиціальних просторах при підвищенні капілярної фільтрації. Окрім цього з допомогою лімфатичної системи забезпечується виведення з інтерстиціальних просторів білків (близько 100 г за добу) та інших речовин, які не реабсорбуються в кров кровоносних капілярів. Для великих білкових молекул шлях у венозний капіляр закритий не випадково. Адже ці білки можуть виявитись шкідливими для організму мікробами або токсинами. В лімфовузлах з 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.

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 розчини 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 (рис. 8.20).



**Рис. 8.20. 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)*

По ходу лімфатичних судин знаходиться близько 500 лімфатичних вузлів розміром від 1-3 мм до 1-3 см. При запальних процесах розміри лімфовузлів збільшуються.

### **30. Що входить до складу лімфи?**

Лімфа утворюється із тканинної рідини. Це напівпрозора з жовтуватим відтінком рідина, близька за складом до плазми крові і інтерстиціальної рідини. Проте в лімфі менше білків, ніж у плазмі.

Лімфа може згортатись. Це обумовлено наявністю в ній фібриногену і протромбіну. В 1 мм<sup>3</sup> лімфи від 2 до 20 тисяч формених елементів (лімфоцити, моноцити, еозинофіли – 50-60%), глюкози – 0,1%, мінеральних солей – 0,8-0,9%, рН лімфи 8,0 – 9,0 (табл. 8.4).

**Таблиця 8.4**

**Основні складові компоненти лімфи**

Щільність, г/см <sup>3</sup>	1,017-1,026
В'язкість, ум. од.	1,7-2,0
рН	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 <sup>+</sup>	1,0-2,0
K <sup>+</sup>	0,8-2,0
Ca <sup>+</sup>	0,01-0,1

Склад лімфи не постійний, він весь час 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; в лімфі, що відходить від печінки багато білків.

**31. Які фізіологічні механізми забезпечують лімфоутворення і рух лімфи? Регуляція просвіту лімфовузлів.**

У нормі за добу утворюється близько двох літрів лімфи. Це відповідає тим 10% рідини, яка не реабсорбується в кров 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 капілярах. Оскільки тканинна рідина і лімфа м'язів та шкіри містить в собі незначну кількість білків, то і лімфоутворення тут, внаслідок невеликої різниці колоїдно-осмотичного тиску крові, також незначне. В печінці

різниця колоїдно-осмотичних тисків крові і лімфи більш суттєва, а тому і лімфоутворення більш інтенсивне.

Лімфоутворенню сприяють такі чинники: посилене надходження до тканин і органів артеріальної крові, венозний застій, збільшення загальної маси крові, продукти розпаду білків, курячий білок, екстракт з м'яса, настій з лісової суниці, розчини солей, цукру і сечовини. Сприяючи переходу води з тканин в кров усі ці речовини підвищують кров'яний тиск.

Руху лімфи по лімфатичних судинах сприяють ритмічні скорочення гладеньких м'язів стінок лімфатичних судин (10-20 ск/хв), негативний тиск у грудній порожнині, наявність клапанів у лімфатичних судинах, збільшення обсягу грудної клітки при вдиху, а також скорочення скелетних м'язів, які забезпечують стискання лімфатичних судин.

Просвіт лімфовузлів регулюється симпатичною нервовою системою, збудження якої викликає скорочення великих лімфовузлів. Рефлекторно змінюється рух лімфи при больових подразненнях, при зростанні тиску в каротидному синусі і при подразненні хемата барорецепторів внутрішніх органів. Посилюють лімфообіг фізична праця і масаж.

## 2.4. НЕЙРОГУМОРАЛЬНІ МЕХАНІЗМИ РЕГУЛЯЦІЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ СЕРЦЯ І КРОВОНОСНИХ СУДИН

### 32. Які фізіологічні механізми забезпечують ауторегуляцію 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 в роботі серця досягаються завдяки наявності складних регуляторних механізмів, а також хронотропними та інотропними властивостями міокарда. **Хронотропні властивості міокарда** визначають частоту скорочень серця, **інотропні** – його силу, а отже, величину систолічного об'єму крові. Розрізняють позитивний іно- і хронотропний ефекти, пов'язані із зростанням сили і ЧСС, і негативні – ті, що обумовлюють зменшення активності

серця. Іно- і хронотропні властивості міокарда серця регулюються нервовою і гуморальною системами, а також внутрішньосерцевими механізмами саморегуляції (*ауторегуляція*),

Механізми ауторегуляції забезпечують зміни сили скорочень міокардіальних волокон, Розрізняють гетеро- і гомеометричну ауторегуляцію серцевої діяльності. *Гетерометрична ауторегуляція* сили серцевих скорочень здійснюється шляхом зміни об'ємів порожнин серця, а, отже зміною довжини міокардіальних волокон: чим більше розтягнуті м'язові волокна серця, тим з більшою силою вони скорочуються.

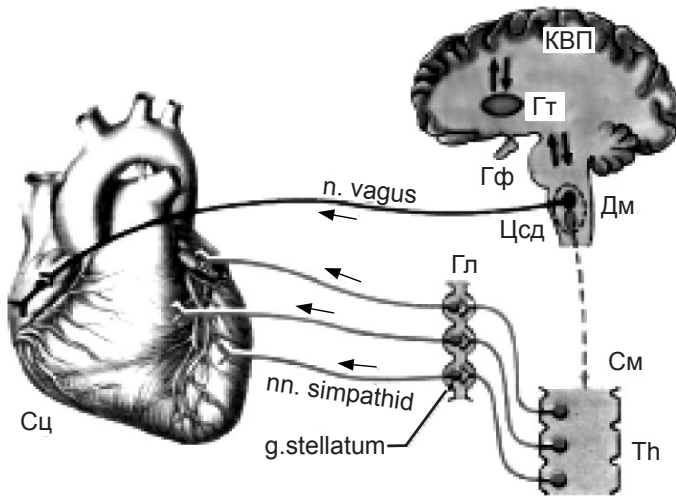
Автоматична зміна сили скорочень міокарда при незмінному об'ємі серця забезпечується *гомеометричною ауторегуляцією*, шляхом зміни зростання ЧСС і аортального тиску – “феномен” східців Боудича і ефект Анрепа. *Феномен Боудича* полягає в поступовому збільшенні сили скорочення ізольованого міокарда із 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 виконання фізичної роботи.

### **33. Які механізми забезпечують посилення роботи серця при зростаючому надходженні до нього венозної крові?**

При зростаючому надходженні до серця венозної крові сила його скорочень автоматично зростає. Посилення роботи серця за даних умов забезпечується гетерометричною ауторегуляцією сили серцевих скорочень (*механізм Франка-Старлінга*): чим більше розтягнуті м'язові волокна серця, що надходить з вен, тим більша сила серцевого скорочення (“*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).

### **◇ 34. Особливості нервової регуляції роботи серця. Нервові центри симпатичної і парасимпатичної іннервації серця.**

Нервова регуляція роботи серця здійснюється імпульсами, які надходять до нього по парасимпатичних (блукаючий нерв) і симпатичних нервах (рис. 8.21). Еферентні шляхи рефлекторних дуг, до складу яких входять ці нерви, мають двонейронну структуру. Перший нейрон блукаючого нерва бере початок в довгастому мозку і закінчується в інтрамуральних гангаліях серця, відростки другого нейрона йдуть до м'язових волокон передсердь, синоатріального і атріо-вентрикулярного вузлів. Шлуночки серця іннервуються блукаючим нервом.



**Рис. 8.21. Симпатична і парасимпатична іннервація серця:**  
Сц – серце; Гф – гілофіз; Дм – довгастий мозок; См – спинний мозок;  
Гт – гіпоталамус; КВП – кора великих півкуль

Центри симпатичної іннервації серця знаходяться в бокових рогах п'яти верхніх сегментів грудного відділу спинного мозку. Перші нейрони симпатичної нервової системи закінчуються в шийних і верхніх грудних симпатичних вузлах, від них йдуть другі нейрони, що закінчуються густою сіткою відростків в області синоатріального вузла і в міокарді шлуночків.

Стимуляція симпатичних нервових волокон підвищує силу і частоту серцевих скорочень, посилює збудливість серця і покра-

щує 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 інотропний ефекти).

Нервові центри серцевої діяльності знаходяться в стані постійного збудження – тону. Перерізання усіх нервів, що йдуть до серця, посилює його роботу. Отже, тону центрів блукаючого нерва більш високий, ніж симпатичного. Проте між обома нервовими центрами серця існують відношення не антагонізму, а взаємодії. Підвищенням активності центрів симпатичних нервів і зниженням тону центрів парасимпатичних нервів забезпечується посилення роботи серця; зниженням тону центрів симпатичних нервів і зростанням активності гальмівних парасимпатичних нервів забезпечується послаблення активності серця.

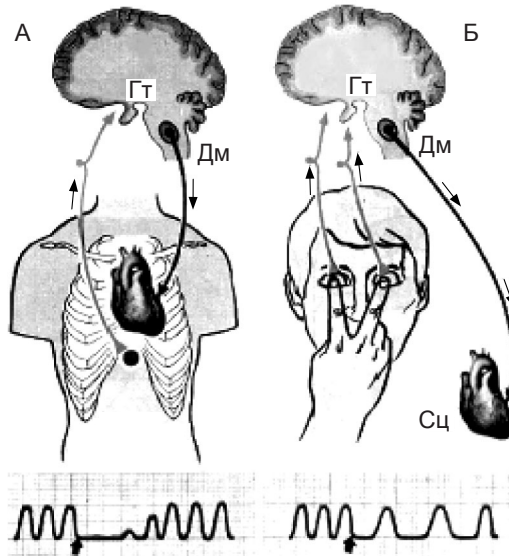
### ***35. Які фізіологічні механізми лежать в основі рефлекторної регуляції роботи серця?***

У регуляції роботи серця важлива роль належить безумовним рефлексам. Нервові центри цих рефлексів знаходяться в нейронах довгастого і спинного мозку, гіпоталамуса, мозочка і кори великих півкуль. Звідси нервові імпульси надходять до нижчих центрів вегетативної нервової системи.

Рефлекторні реакції серця в значній мірі залежать від імпульсів, які виникають при подразненні баро- і хеморецепторів судинних рефлексогенних зон (ділянка дуги аорти, розгалуження сонних артерій, гирла порожнистих вен) відповідними подразниками. Так, підвищення кров'яного тиску в аорті або сонних артеріях, активізуючи центри парасимпатичної іннервації серця, гальмують його роботу. При збільшенні в крові концентрації молочної кислоти та вуглекислого газу, зменшенні кисню, збуджуються хеморецептори рефлексогенних зон, зростає тону симпатичного центра серцевої діяльності, робота серця посилюється і склад крові нормалізується.

**36. Чому при нанесенні сильного удару в зону сонячного сплетіння людина втрачає свідомість?**

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 ділянку сонячного сплетіння) гальмують роботу серця – рефлекс Гольца. Рефлекторна дія цього рефлексу замикається через ядра блукаючого нерва, а тому може спричинити тимчасову втрату свідомості (рис. 8.22).



*Рис. 8.22. 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*

**37. Який механізм рефлекторного посилення роботи серця імпульсами від пропріорецепторів м'язів (моторно-вісцеральні рефлекси)? Біологічне значення цих рефлексів.**

Мобілізація активності серця знаходиться в прямій залежності від подразнення пропріорецепторів скелетних м'язів. Напружена фізична робота в більшій мірі активізує пропріорецептивну аферен-



тацію, яка через ЦНС обумовлює і більш істотно посилення роботи серця, зокрема більш високе зростання ЧСС, необхідне для виконання даної роботи. Саме цим можна пояснити той факт, що вправи з підніманням вантажів сприяють зростанню ЧСС, як і інтенсивний біг з високим кисневим запитом.

Моторно-вісцеральні рефлекси лежать в основі механізмів, які забезпечують зростання резервів систем енергозабезпечення діяльності. Адже без м'язових скорочень не можна створити належних умов для тренування серцевого м'яза і, звичайно, кардіо-респіраторної системи в цілому.

**38. При натисканні пальцями на очні яблука спостерігаються відповідні зміни роботи серця. В чому сутність цих змін?**

При натисканні на очні яблука спостерігається зменшення ЧСС на 8-10 ск/хв – *рефлекс Даніні-Ашнера* (рис. 8.22). При низькому тонусі блукаючого нерва ЧСС не змінюється, при підвищеному – істотно зростає. Припинення натискання на очні яблука спричиняє компенсаторне прискорення ЧСС.

**39. У студента перед іспитом спостерігається посилення серцевої діяльності і підвищення кров'яного тиску. Яка фізіологічна природа цих змін?**

Посилення серцевої діяльності у студента перед іспитом направлене на підготовку організму до наступної розумової діяльності. За своєю природою такі зміни є умовнорефлекторними. Вони здійснюються з обов'язковою участю кори великих півкуль. Умовними подразниками цих вегетативних рефлексів є все те, що так чи інакше пов'язано з майбутньою діяльністю, безумовнорефлекторним підкріпленням – думка про іспит, бачення екзаменатора, студентів, які гарячково дошукують необхідну інформацію тощо, імпульси від різних сенсорних систем, які завжди виникають при складанні іспиту.

**40. Як впливають на роботу серця гормони залоз внутрішньої секреції, йони Кальцію і Калію? Які зміни функціонального стану серця спостерігатимуться у хворого гіперфункцією щитоподібної залози?**

Робота серця змінюється під впливом багаточисельних хімічних речовин, що циркулюють з кров'ю по судинах. Активність серця значно зростає під впливом гормонів адреналіну, норадреналіну, тироксину, йонів Кальцію. Ацетилхолін і йони Калію гальмують активність серця.

Наслідком гіперфункції щитоподібної залози є значне посилення синтезу тироксину. Підвищуючи тонус центрів симпатичної іннервації серця, тироксин, таким чином, посилює серцеву діяльність.

#### **41. Що таке “судинний тонус” і “базальний тонус”? Які фізіологічні механізми забезпечують автоматичне підтримання базального тонусу кровоносних судин?**

Стінки кровоносних судин (за винятком капілярів) мають шар гладеньких м'язів. Скорочуючись або розслабляючись, 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 тонусу завжди приводить до звуження судин (**вазоконстрикція**) і зменшення течії крові через них. Наслідком пониження тонусу судин є їх розширення (**вазодилатація**) з посиленням кровопостачання. Судинний тонус, що забезпечує підтримання даного діаметра судин без участі нервових та гуморальних механізмів, називається **базальним тонусом**.

Регуляція функціонального стану кровоносних судин забезпечується з допомогою ауторегуляції, нервових і гуморальних механізмів. **Ауторегуляція** забезпечує автоматичне підтримання базального тонусу судин, нервові і гуморальні механізми лежать в основі регуляції судинної системи в умовах постійних змін внутрішнього середовища і довкілля.

Розрізняють механічну і хімічну ауторегуляцію базального судинного тонусу. **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 ву-

гільної кислот тощо. Особливо чутливі до зміни концентрації метаболітів прекапілярні судини і сфінктери.

#### 42. Які фізіологічні механізми забезпечують нервову регуляцію тону судин?

Нервова регуляція тону судин забезпечується судиноруховим центром довгастого мозку (В.Р. Овсянников). Цей центр складається з двох відділів – *судинозвужуючого* (пресорного) і *судинорозширюючого* (депресорного), рис. 8.23.

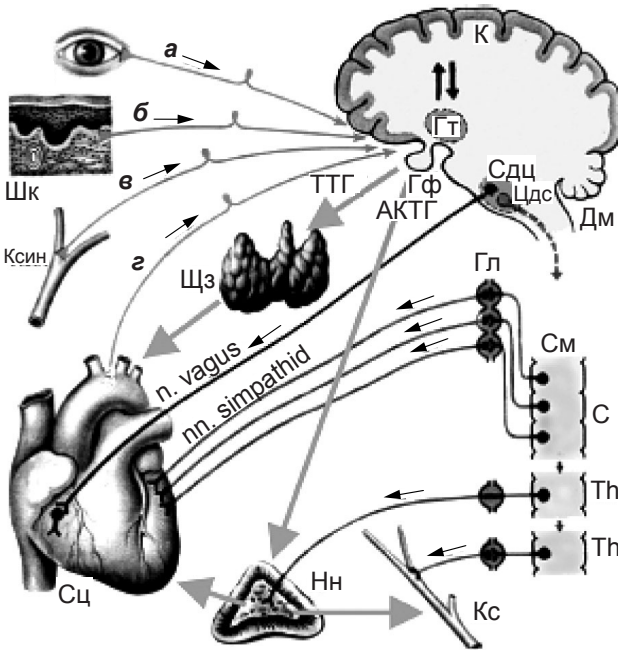


Рис. 8.23. Регуляція кровообігу:

а, б – імпульси, що йдуть в ЦНС від екстерорецепторів; в, г – імпульси, що йдуть в ЦНС від інтерорецепторів сонної артерії і аорти.

Шк – шкіра; Гф – гіпофіз; Дм – довгастий мозок; Ксин – каротидний синус; Гл – симпатичний ганглій; См – спинний мозок (С – шийний відділ, Th – грудний відділ); Щз – щитоподібна залоза; Сц – серце; Нн – наднирники; ТТГ – тиреотропний гормон; АКТГ – адренкортикотропний гормон

При подразненні пресорного центру спостерігається звуження судин і зростання кров'яного тиску, при подразненні депресорного центру – розширення судин і зниження тиску. Передача імпульсів від пресорного центру до м'язових волокон кровоносних судин здійснюється через симпатичну нервову систему (**вазоконстрикторні нерви**). Депресорний центр довгостого мозку 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. Тонус судинорухового центра довгостого мозку залежить від імпульсів, що надходять від баро- і хеморецепторів судинних рефлексогенних зон і від впливу гуморальних подразників, які безпосередньо діють на нервовий центр.

Подібно до симпатичних нервів діють на серце нікотин та інші хімічні речовини, тобто прискорюють ЧСС. Кровоносні судини при цьому звужуються, кров'яний тиск зростає. До кінцівок надходить менше крові, а, отже, і тепла. Це призводить до тимчасового зниження температури пальців рук і ніг на 2-3°C.

У регуляції гемодинаміки активну участь бере кора великих півкуль головного мозку (рис. 8.23). Кортикальні судинні реакції (умовнорефлекторне посилення серцевої діяльності і підвищення кров'яного тиску) виникають у спортсменів перед стартом, у студента перед іспитом тощо.

#### **43. Які фізіологічні механізми забезпечують нормалізацію кров'яного тиску при його підвищенні в гирлі порожнистих вен і в легеневій артерії?**

При підвищенні кров'яного тиску в гирлі порожнистих вен внаслідок подразнення барорецепторів стінок цих судин (**рефлекс Бейнбріджа**) рефлекторно підвищується тонус нервів, посилюється серцева діяльність, нормалізується тиск у порожнистих венах. Підвищення кров'яного тиску в легеневій артерії спричиняє подразнення власних пресорецепторів. Як наслідок, підвищується тонус блукаючого нерва, пригнічується серцева діяльність, розширюються артеріоли, внаслідок депонування зменшується кількість циркулюючої крові. Загальна схема регуляції кров'яного тиску подана на рис. 8.24.

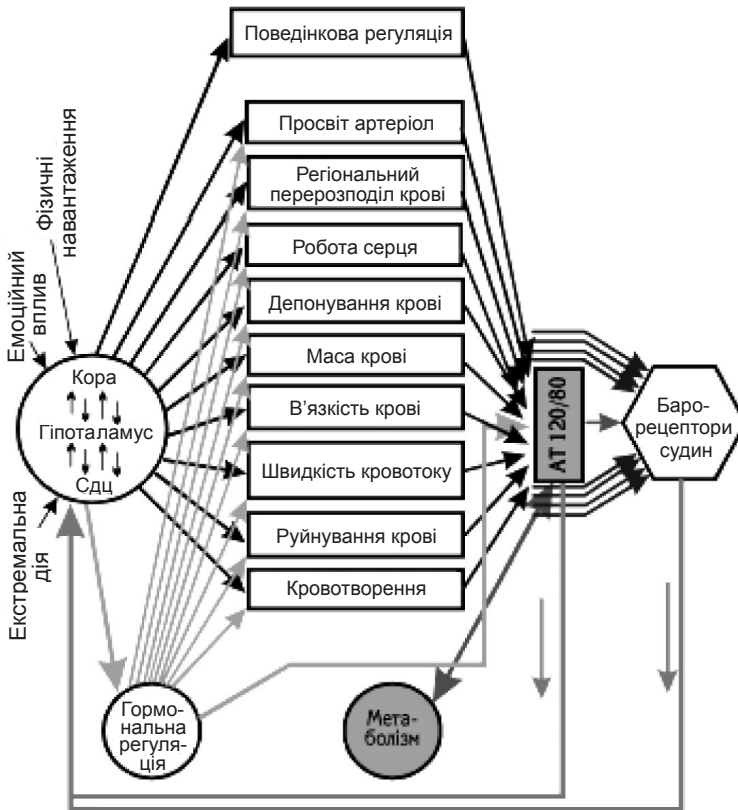


Рис. 8.24. Функціональна система підтримання артеріального тиску (за К. Судаковим)

44. Собаці зробили пересадку серця від іншої собаки. Після одужання виявилось, що початкова швидкість бігу собаки (в експерименті за зайцем в тредбані) була значно нижчою, ніж в доопераційному періоді. Через 1-2 хв бігу швидкість руху собаки зростала до величини, характерної даній собаці раніше (до операції). Поясніть суть даного явища.

Причиною зниження ефективності бігу (відставання в бігові) прооперованої собаки є порушення (відсутність) рефлексорної регуляції роботи серця. Нормалізація рухової діяльності (відновлення

швидкості бігу) собаки через 1-2 хв бігу пояснюється підключенням в час бігу місцевих інтракардіальних рефлексів, а також активізації механізмів гормональної регуляції функцій.

**45. Які фізіологічні механізми забезпечують гуморальну регуляцію тонусу судин?**

Вплив різноманітних біологічно-активних речовин, у тому числі гормонів, на стінки судин здійснюється рефлекторно (з рецепторів) і через судиннозвужуючий центр довгастого мозку. Крім того, біологічно активні речовини здатні безпосередньо впливати на стінки кровоносних судин.

До судиннозвужуючих речовин належать вазопресин задньої частки гіпофіза, катехоламіни мозкової частки наднирників – норадреналін і адреналін. Звужуючи артеріоли шкіри, органів черевної порожнини і легень, адреналін розширює судини серця і мозку (в малих концентраціях адреналін розширює судини м'язів, а у великих звужує).

Важлива роль в регуляції судинного тонусу належить ниркам. Їх фермент ренін сприяє утворенню в крові гіпотензину, який звужує судини і підвищує кров'яний тиск.

Судиннорозширювальну дію мають серотонін тромбоцитів, ацетилхолін, гістамін стінок шлунка, кишечника, шкіри і працюючих м'язів, молочна і вугільна кислоти, брадикінін слинних і підшлункової залоз.

**46. Які особливості надання першої домедичної допомоги при кровотечах?**

Кровотеча – це вихід крові з кровоносних судин в результаті порушення цілісності судинної стінки. Розрізняють травматичні і нетравматичні кровотечі. **Травматичні кровотечі** виникають внаслідок механічного пошкодження стінки судини або внаслідок її руйнування паталогічним процесом, підвищеним кров'яним тиском. **Нетравматичні кровотечі** – спричинені порушенням процесів згортання крові (гемофілія тощо).

Характерним клінічним симптомом гемофілій є кровотеча, яку важко зупинити. Крововиливи у шкіру, підшкірну клітковину і м'я-

зи носять характер виражених синяків. Найбільш характерні крововиливи у суглоби, що супроводжуються їх болючістю, підвищенням температури тіла.

Лікувальні заходи при гемофілії направлені в основному на зміну дефіциту антигемофільних факторів, що досягається введенням антигемофільної плазми і крові.

Загальними симптомами для всіх видів кровотеч є гостра анемія: блідність шкірних покривів і слизових оболонок, наявність холодного липкого поту, ціаноз кінчиків пальців, носа і вушних раковин, мерехтіння “мушок” перед очима, тахікардія, короткочасні втрати свідомості, зниження артеріального тиску, зменшення рівня гемоглобіну.

**Носова кровотеча.** Основними причинами її є травми слизової оболонки носових ходів, гіпертонічна хвороба, захворювання системи крові і кровоносних судин.

При значних носових кровотечах кров потрапляє у носоглотку, заковтується хворим і виділяється з блювотними масами або при кашлі. За таких умов може скластися помилкове враження про наявність легеневої або шлункової кровотечі.

Для зупинки носової кровотечі хворому надають напівсидячого положення і притискують відповідне крило носа до його перегородки на 3-5 хв. На ніс накладають компрес із холодною водою. При відсутності ефекту проводять передню тампонаду носа. У носові ходи пінцетом на максимальну глибину вводять вузькі смужки стерильного бинта, змочені 3%-ним розчином перекису водню. Тампони можна залишити в порожнині носа на тривалий час.

#### ***47. Якою має бути перша домедична допомога при шлункових, легневих і маткових кровотечах?***

У 85% випадків кровотечі бувають із стравоходу і шлунку, в 14% – із товстї кишки, в 1% – із тонкої кишки. Найбільш частою причиною гастродуоденальних кровотеч є виразкова хвороба. Кровотеча проявляється загальною слабкістю, запамороченням, блідністю шкіри. Хворий може блювати масою, яка містить кров (“кавовою гущею”). Хворі з гастродуоденальними кровотечами повинні

дотримуватися суворого постільного режиму і не їсти. На надчрепну ділянку тіла кладуть холод, внутрішньом'язово вводять 5 мл 1%-го розчину вікасолу, внутрішньовенно – 10 мл 10%-го розчину кальцій хлориду. Хворого необхідно негайно госпіталізувати.

**Легенева кровотеча** спостерігається при туберкульозі легень, раку бронхів, гангрені легень тощо. Основним симптомом легеневої кровотечі є поява прожилків крові у відхаркуванні – мокроті. Легенева кровотеча супроводжується кашлем, яскраво-червоними, пінистими виділеннями крові. При масивній кровотечі попадання крові у верхні дихальні шляхи може спричинити асфіксію. Кількість виділеної крові з мокротою при більшості захворювань буває незначною. Кровохаркання не загрожує хворому смертю від крововтрати, проте попадання крові в нижні відділи легень нерідко призводить до аспіраційної пневмонії. При значній легеневій кровотечі хворі покриваються холодним потом, пульс стає частим, артеріальний тиск знижується, колір шкіри блідий.

При кровохарканні хворого необхідно перш за все заспокоїти (хвилювання, так само як і фізичне напруження, може посилити кровотечу), надати йому напівсидячого положення (це полегшить відхаркування), заборонити розмовляти і приймати будь – яку їжу, на грудну клітку прикласти холод, негайно госпіталізувати.

При порушенні продукції статевих гормонів яєчниками виникають **дифузні маткові кровотечі**. У дівчаток вони спричинені порушенням функціональних взаємовідношень між таламусом, гіпофізом і яєчниками. У жінок дітородного віку дисфункціональні маткові кровотечі найчастіше обумовлені загальними захворюваннями статевих органів, наявністю клімактеричного періоду, який характеризується дисфункцією систем, регулюючих менструальний цикл.

За захворювання характеризується чергуванням менструації і кровотеч різної сили і тривалості. При тривалих кровотечах розвивається анемія. Лікування маткових кровотеч полягає у зупинці кровотечі і проведенні заходів, направлених на профілактику повторних кровотеч. З цією метою широко використовують гормональні препарати, проводять симптоматичне лікування (окситоцин, вітаміни, переливання крові тощо).



## **ТЕМА 3. ФУНКЦІОНАЛЬНІ ЕФЕКТИ АДАПТАЦІЇ СИСТЕМИ КРОВООБІГУ ДО ФІЗИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ІНШИХ СТРЕСОВИХ ПОДРАЗНИКІВ**

### **3.1. ПОКАЗНИКИ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ СИСТЕМИ КРОВООБІГУ ФІЗИЧНО ПІДГОТОВЛЕНИХ ОСІБ В СТАНІ СПОКОЮ ТА В УМОВАХ ВИКОНАННЯ ДОЗОВАНИХ ФІЗИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ**

*1. Які морфофункціональні особливості системи кровообігу характерні для фізично підготовлених осіб в стані спокою?*

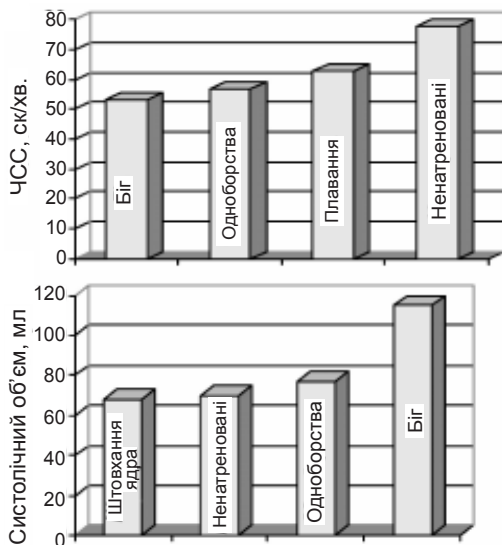
Великий обсяг функціональних резервів системи кровообігу в стані спокою проявляється високою економічністю її функціонування – перший функціональний ефект адаптації організму до фізичних тренувань. Це зумовлено відповідними морфофункціональними особливостями пристосування серцево-судинної системи до систематичних навантажень.

Серце фізично працюючої людини має збільшені до 1000 см<sup>3</sup> порожнини (*тоногенна дилатація*) і сильно розвинену капілярну сітку, помірно гіпертрофоване. Розвиток гіпертрофії міокарда в умовах підвищеного функціонування серцевого м'яза відбувається внаслідок активізації генетичного апарату клітин, який активізує процеси синтезу білків.

У стані спокою для натренованого (спортивного) серця характерна *гіподинамія міокарда* – зменшення сили скорочень, що зумовлено посиленням впливом на серце блукаючого нерва. Як наслідок, зменшуються величини систолічного об'єму крові (до 60 мл) та хвилинного об'єму кровообігу (до 3 л/хв). Усе це ознаки економічності роботи серця в спокої – більш ефективного використання ним кисню. В цілому серце фізично підготовленої людини в стані спокою працює на 15-20% економічніше, ніж серце фізично не підготовлених осіб.

*2. Фізіологічні механізми брадикардії. Чи завжди брадикардія є свідченням високої натренованості спортсменів?*

Для фізично підготовлених осіб, а особливо спортсменів витривалісних видів спорту (лижників, марафонців тощо), в стані спокою характерна **брадикардія** – зниження ЧСС до 45-50 ск/хв (рис. 8.25). Брадикардія, як правило, розвивається в перші два-три роки заняття спортом, надалі встановлюється на відносно сталому рівні, майже не змінюючись упродовж річного тренувального циклу.



**Рис. 8.25.** ЧСС і систолічний об'єм крові в спокої у нентренованих осіб і у спортсменів різної спеціалізації (за Я. М. Коцом)

спокою. Зменшення ЧСС при зменшенні надходження імпульсів в ЦНС від пропріорецепторів реалізується через механізми моторно-кардіальних рефлексів. Проте брадикардія не завжди є свідченням високого рівня 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.

Брадикардія добре помітна при обстеженні спортсменів в умовах основного обміну. При дослідженні спортсменів упродовж дня згадана закономірність часто не проявляється, що є наслідком попередніх інтенсивних тренувальних навантажень (наявність залишкової втоми).

Виникнення спортивної брадикардії в значній мірі зумовлене зниженням тонуусу скелетної мускулатури, а отже, пропріорецептивної аферентації в стані

**3. Підрахуйте, який об'єм роботи (за показниками кількості серцевих скорочень) виконує серце фізично натренованої (ЧСС в**

**спокої 50 ск/хв) і натренованої (ЧСС 75 ск/хв) людини упродовж години, дня, року.**

Серце фізично натренованої людини (ЧСС у спокої 50 ск/хв) упродовж години скорочується 3000 разів (50 ск · 60 хв), упродовж доби – 72000 разів (3000 ск · 24 год), упродовж року – 26180000 разів (72000 ск · 365 днів). Серце людини, яка не займається фізичною культурою і спортом (ЧСС в спокої 75 ск/хв) скорочується 4500, 108000, і 39420000 разів відповідно упродовж години, доби і року. Отже, серце натренованої людини в стані спокою працює більш економно, ніж не натренованої (табл. 8.5).

**Таблиця 8.5**

**Величини об'єму роботи, виконаної спортивним і звичайним серцем людини впродовж життя (за показником ЧСС, ск/хв)**

	Спортивне серце	Звичайне серце	Різниця
1 хвилина	50	75	25
1 година	3000	4500	1500
1 день	72000	108000	26000
1 місяць	2160000	3240000	1080000
1 рік	25920000	38880000	12960000
Упродовж 72 років життя	1866240000	2799360000	933120000

**4. Які особливості біоелектричної активності серця і артеріального тиску характерні фізично натренованій людині в стані спокою?**

У осіб фізичної праці в стані спокою спостерігається ряд особливостей біоелектричної активності серця (наявність синусової брадикардії і аритмії, зміщення сегмента S-T електрокардіограми вище ізолінії, високий вольтаж зубців Р і Т, низький – зубця R), зменшена продуктивність роботи міокарда (до скелетних м'язів надходить близько 20% крові серцевого викиду), більш жорсткі стінки кровеносних судин (особливо артеріальні судини ніг у бігунів на довгі дистанції), дещо знижені величини артеріального тиску, особливо мінімального.

Гіпотонія у осіб фізичної праці зустрічається в два рази частіше, ніж у працівників інших форм праці. Серед юнаків число осіб з гіпотонією значно менше, ніж серед дівчат. Крім фізіологічної рухової 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 фізичної підготовленості рівень пульсового тиску зростає, величина діастолічного тиску знижується, а систолічного не змінюється або дещо збільшується.

◇ 5. У першого досліджуваного ЧСС становить 60 ск/хв, систолічний об'єм крові (СОК) – 60 мл, у другого ЧСС – 80 ск/хв, СОК – 75 мл. Розрахуйте величину роботи (кількість перекачуваної крові), виконаної серцем кожного із досліджуваних упродовж доби.

Серце першого досліджуваного за 1 хв виштовхує в кровообіг 3,6 л крові ( $60 \text{ ск/хв} \cdot 60 \text{ мл}$ ), другого – 6,0 л ( $80 \text{ ск/хв} \cdot 75 \text{ мл}$ ); за 1 год – 216 л ( $3,6 \text{ л/хв} \cdot 60 \text{ хв}$ ) і 360 л ( $6 \text{ л/хв} \cdot 60 \text{ хв}$ ), за добу – 5184 л ( $216 \text{ л} \cdot 24 \text{ год}$ ) і 8640 л ( $360 \text{ л} \cdot 24 \text{ год}$ ) відповідно.

Серце другого досліджуваного в стані спокою виконує значно більшу роботу, ніж першого (упродовж доби серце другого досліджуваного перекачує на 3,456 л крові більше, ніж першого). Отже, більш низькі показники ЧСС і СОК у першого досліджуваного, в порівнянні з другим досліджуваним, вказують на те, що у нього більш високий рівень функціональних резервів системи кровообігу, – на економність діяльності цієї системи в стані спокою.

◇ 6. ЧСС у стані спокою у досліджуваного юнака – 65 ск/хв, артеріальний тиск – 120/80 мм рт. ст. Визначіть коефіцієнт витривалості і дайте оцінку економності функціонування системи кровообігу досліджуваного.

Коефіцієнт витривалості (КВ) є інтегральним показником функціонального стану серцево-судинної системи. Він об'єднує в собі величини ЧСС, систолічного і діастолічного тисків. КВ визначається за формулою А.Квааса:

$$KB = \frac{ЧСС \cdot 10}{\text{пульсовий тиск}} = \frac{65 \cdot 10}{120 - 80} = \frac{650}{40} = 16,2.$$

У нормі KB становить 16. Отже, величина KB для даного досліджуваного знаходяться в межах норми. При зменшенні об'єму функціональних резервів системи кровообігу KB підвищується, при їх збільшенні – знижується. Із зростанням фізичної підготовленості людини економічність функціонування системи кровообігу в стані спокою підвищується. Її непрямим показником є брадикардія і зниження KB.

◇ 7. *Інформаційним тестом функціонального стану системи кровообігу є так званий “вранішній” тест (індекс Руффе):*

$$IP = (ЧП_1 + ЧП_2 + ЧП_3 - 200) : 10.$$

*Розшифруйте показники, наведені в даній формулі, і дайте оцінку функціонального стану серцево-судинної системи досліджуваного, якщо ЧСС у нього лежачи – 65 ск/хв, сидячи – 70 ск/хв, стоячи – 75 ск/хв.*

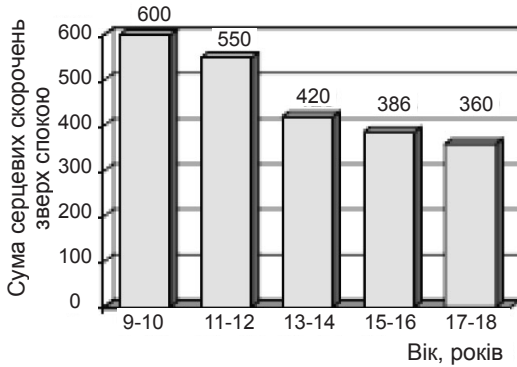
ЧП<sub>1</sub> – частота пульсу лежачи, ск/хв; ЧП<sub>2</sub> – частота пульсу сидячи (ск/хв); ЧП<sub>3</sub> – частота пульсу стоячи (ск/хв).

$$IP = (65 + 70 + 75 - 200) : 10 = 1.$$

Оцінку функціонального стану серцево-судинної системи за IP проводять за шкалою: 0-5 – відмінно, 6-10 – добре, 11-15 – задовільно, більше 15 – незадовільно. Отже, функціональний стан системи кровообігу досліджуваного оцінюється оцінкою “відмінно”.

**8. Які особливості функціонування серцево-судинної системи характерні для фізично підготовлених осіб в умовах виконання дозованих навантажень?**

Серцево-судинна система фізично натренованих осіб, в порівнянні з непередготовленими, при виконанні дозованих навантажень функціонує більш економічно – **другий функціональний ефект тренування** (рис. 8.26). 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, відновлен-



**Рис. 8.26.** Сума серцевих скорочень зверх спокою (ордината) при виконанні дозованого навантаження у школярів різного віку (за В. М. Волковим)

ня завжди проходить більш швидко.

Частота пульсу, систолічний і хвилинний обсяг крові при стандартному навантаженні у натренованих осіб нижчі, ніж у непідготовлених. Збільшення хвилинного обсягу кровообігу у фізично підготовлених осіб відбувається переважно за рахунок збільшення систолічного обсягу

❖ **9. Нормативні величини змін ЧСС на тест з 20-ма присіданнями за 30 с.**

Нормальною реакцією на тест з двадцятьма присіданнями за 30 с вважається зростання частоти пульсу не більше 75% від його величини пульсу в стані спокою. Більш виразне зростання ЧСС після дозованого навантаження (більше 75%) свідчить про неадекватну реакцію серця на навантаження. Причиною цього може бути недостатня натренованість або неповне відновлення вихідного стану людини після виконання попереднього фізичного навантаження. Незначні величини зростання частоти пульсу після дозованих навантажень свідчать про великий обсяг функціональних резервів серця, про більш високу досконалість механізмів регуляції серцевої діяльності.

❖ **10. У 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.**

Складаємо пропорцію:

$$\begin{aligned} &70 \text{ ск/хв} - 100\% \\ &(140-70) \text{ ск/хв} - x \\ x &= \frac{140 - 70 \cdot 100}{70} = 100\% \end{aligned}$$

Отже, приріст ЧСС в умовах виконання дозованого навантаження – 100%.

Оцінку тесту приросту ЧСС після дозованого навантаження проводять за шкалою: 25% і менше – відмінно, 26-50% – добре, 51-75% – задовільно, більше ніж на 76% і більше – незадовільно. Таким чином, функціональний стан системи кровообігу юнака, оцінений за тестом з 20 присіданнями за 30 с, “незадовільний”.

◇ 11. *Вкажіть на нормативні величини змін артеріального тиску при виконанні дозованого навантаження (20 присідань за 30 с). Нормативи швидкості відновлення артеріального тиску і пульсу після дозованого навантаження.*

Найбільш адекватною реакцією артеріального тиску на дозоване навантаження (20 присідань за 30 с) 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 АТ. Раціональною вважається така реакція: відсоток прискорення пульсу відповідає відсотку збільшення пульсового тиску, рідше відсоток прискорення ЧСС дещо менший величини збільшення пульсового тиску. Нормотонічна реакція – відсоток прискорення ЧСС відповідає відсотку 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.

При доброму функціональному стані серцево-судинної системи відновлення АТ після функціональної проби з 20-ма присіданнями за 30 с завершується до кінця третьої хвилини відновного періоду, відновлення ЧСС – упродовж 2-4 хвилин. На перших 2-3 хвилинах відновного періоду пульс стає рідшим в порівнянні з робочим на

1-3 скорочення за 10 с – ”від’ємна фаза” пульсу. Таке сповільнення ЧСС триває близько 30 с, після чого пульс знову прискорюється, поступово приходячи до норми. Від’ємна фаза пульсу є наслідком підвищення тонузу блукаючого нерва.

**12. У досліджуваного віком 17 років ЧСС в спокої – 50 ск/хв, артеріальний тиск – 120/80 мм рт. ст.; після виконання дозованої циклічної роботи ЧСС – 170 ск/хв, артеріальний тиск – 160/60 мм рт. ст. Визначіть величину приросту (в %) систолічного та хвилинного обсягів кровообігу у зв’язку з виконанням фізичного навантаження. Якої інтенсивності була дана робота для досліджуваного?**

Знаючи вік досліджуваного, величини систолічного і діастолічного тисків, користуючись формулою Старра, розраховують систолічний об’єм крові (СОК):

$$\text{СОК} = 100 + 0,5 \cdot \text{ПТ} - 0,6 \cdot \text{ДТ} - 0,6 \cdot \text{В},$$

де: ПТ – пульсовий тиск, мм рт. ст., ДТ – діастолічний тиск, мм рт. ст.; В – вік, років.

У стані спокою  $\text{СОК} = 100 + 0,5 \cdot 40 - 0,6 \cdot 80 - 0,6 \cdot 17 = 62$  мл. Хвилинний об’єм кровообігу (ХОК) – добуток СОК і ЧСС:

$$\text{ХОК} = \text{СОК} \cdot \text{ЧСС} = 62 \cdot 50 = 3,10 \text{ л/хв.}$$

Після виконання роботи:

$$\text{СОК} = 100 + 0,5 \cdot 100 - 0,6 \cdot 60 - 0,6 \cdot 17 = 104 \text{ мл.}$$

$$\text{ХОК} = 104 \cdot 170 = 17,7 \text{ л/хв.}$$

Приріст ХОК у зв’язку з виконанням фізичного навантаження – 48,6% ( $17,7 \cdot 100 : 3,10$ ), що свідчить про середню інтенсивність виконаної роботи.

◇ **13. Пульс спокою у досліджуваного – 70 ск/хв. Після дозованого навантаження (20 присідань за 30 с) – 98 ск/хв, тривалість відновлення пульсу – 3 хв. Дайте оцінку реакції серцево-судинної системи досліджуваного на дозоване навантаження.**

Прискорення пульсу на 50-75% від вихідної (початкової) величини; відновлення пульсу – 4-5 хв – задовільна реакція системи кровообігу на дозоване навантаження; прискорення ЧСС – менше 50%, час відновлення пульсу менше 4 хв – добра реакція. При незадовільній реакції пульс прискорюється більш ніж на 75%, а період відновлення триває понад 5 хв.



У досліджуваного величина приросту пульсу після дозованого навантаження становить 40% ( $28 \cdot 100 : 70$ ), тривалість відновлення пульсу – 3 хв. Це свідчить про добру реакцію серцево-судинної системи на дозоване навантаження.

### **3.2. ЗМІНИ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ СИСТЕМИ КРОВООБІГУ, СПРИЧИНЕНІ ВИКОНАННЯМ МАКСИМАЛЬНИХ ДИНАМІЧНИХ І СТАТИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ**

#### ***14. Як змінюється функціональна активність серця 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.

Активізація системи кровообігу при м'язовій роботі обумовлена підвищенням кисневим запитом працюючих м'язів та інших активних органів і тканин. Систематичне виконання фізичної роботи сприяє зростанню функціональних резервів системи кровообігу, забезпечуючи економічність витрат енергії на роботу серця в стані спокою та при виконанні дозованих навантажень.

При виконанні інтенсивних навантажень спостерігається максимальна мобілізація резервів серцево-судинної системи. 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.

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. Внаслідок цього, тиск крові в шлуночках в період фази напруження зростає з такою швидкістю, що практично одноразово із закриттям стулкових клапанів відбувається відкриття півмісяцевих клапанів (Є.П. Ільїн). Важливим механізмом, що попереджує зменшення наповнення кров'ю порожнин серця, а отже, 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 призвести до помітного зниження продуктивності роботи серця. Граничні величини змін основних показників кровообігу в умовах максимальних фізичних навантажень приведені в табл. 8.6.

**Таблиця 8.6**

**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, мл	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

**15. Виконання людиною фізичної роботи зумовлює зростання систолічного і зниження діастолічного тисків. Який механізм цих змін?**

Виконання напруженої фізичної роботи призводить до збільшення систолічного тиску крові. 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, діастоліч-

ний тиск – або підвищується, або знижується. Різко виражені зміни цього показника є свідченням недостатньої адаптації циркуляційного апарата щодо виконуваної роботи.

Зростання систолічного тиску зумовлено рефлекторним прискоренням ЧСС, а також надходженням в кров катехоламінів, які активізують роботу серця. Зниження діастолічного тиску крові після фізичного навантаження є наслідком розширення артерій, оскільки при накопиченні молочної кислоти в міжклітинній рідині та в крові адреналін не виявляє своєї судиннозвужуючої дії.

◇ 16. *Систолічний об'єм крові досліджуваного – 60 мл, 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.*

ХОК в стані спокою  $3,6 \text{ л/хв}$  ( $60 \text{ ск/хв} \cdot 60 \text{ мл}$ ). При виконанні фізичного навантаження систолічний об'єм крові зростає за рахунок резервного об'єму крові до  $130 \text{ мл}$  ( $60 \text{ мл} + 70 \text{ мл}$ ), а ХОК до  $26000 \text{ мл}$  ( $200 \text{ ск/хв} \cdot 130 \text{ мл}$ ). Максимальна величина ХОК у фізично підготовлених осіб –  $35\text{-}40 \text{ л/хв}$ .

**17. Як зміниться функціональний стан системи кровообігу людини в умовах виконання напруженої роботи із значним потовиділенням?**

Великі втрати води з потом при виконанні напруженої фізичної роботи є однією з причин зменшення води в крові (*гіповолемія*). За таких умов, внаслідок збільшення в'язкості крові, збільшується опір руху крові в системі кровообігу і зростає навантаження на серце. Як наслідок, компенсаторно зростає сила серцевих скорочень і підвищується артеріальний тиск, особливо діастолічний. Це зумовлено утрудненим відтоком крові від серця в період діастолі. При цьому хвилинний обсяг кровообігу виявляється зменшеним.

◇ 18. *Особливості перерозподілу крові в організмі людини, яка виконує напружену м'язову роботу.*

У забезпеченні кисневого запиту при максимальних фізичних навантаженнях важлива роль належить перерозподілу крові: кровообіг органів черевної по-

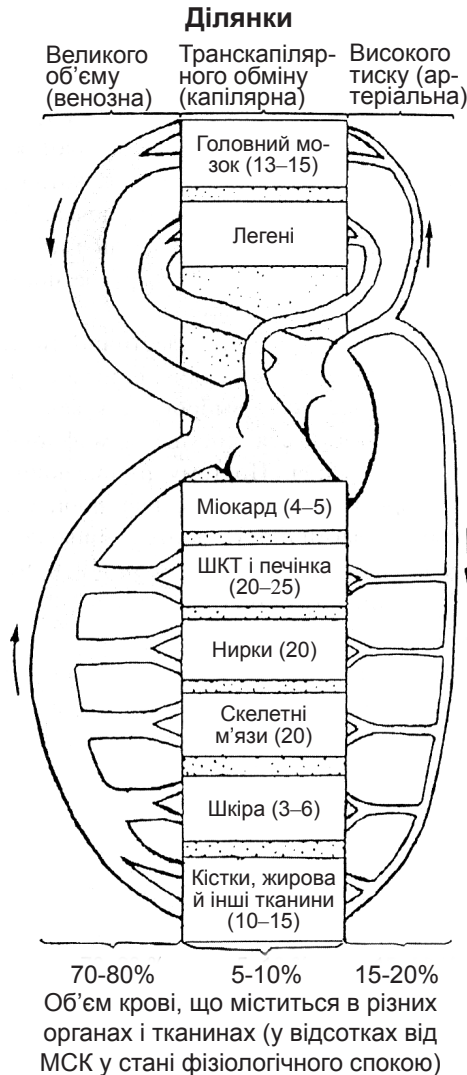


Рис. 8.27. Функціональна схема серцево-судинної системи

рожнини зменшується до 1% (24% в стані спокою), а кровообіг інтенсивно працюючих м'язів зростає з 32% в стані спокою до 90% (рис. 8.27, табл. 8.7). Причиною робочої гіперемії є нагромадження 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 кровеносних судин непрацюючих частин тіла, викликаючи їх звуження (**явище компенсаторної вазоконстрикції**). У фізично підготовлених осіб, в порівнянні з не підготовленими, судинні реакції перерозподілу крові, при максимальних навантаженнях, більш ефективні. Вони сприяють забезпеченню працюючих м'язів киснем і поживними речовинами, зумовлюють виведення з організму продуктів обміну.

Таблиця 8.7

**Особливості перерозподілу кровообігу в стані спокою і при максимальних фізичних навантаженнях (за К. Андерсеном)**

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

◇ 19. Розрахуйте коефіцієнт резерву (рівень здоров'я) у людини віком 17 років за показником хвилинного об'єму кровообігу. ЧСС обстежуваного 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.

Знаючи вік обстежуваного і АТ, розраховують систолічний обсяг крові (СОК) за формулою Старра:

$СОК = 100 + 0,5 \cdot ПТ - 0,6 \cdot ДТ - 0,6 \cdot В$ , де: ПТ – пульсовий тиск, мм рт. ст; ДТ – діастолічний тиск, мм рт. ст; В – вік, років.

У стані спокою  $СОК = 100 + 0,5 \cdot 40 - 0,6 \cdot 80 - 0,6 \cdot 17 = 62$  мл.

Хвилинний об'єм кровообігу (ХОК):

$ХОК = СОК \cdot ЧСС = 60 \cdot 62 = 3,72$  л/хв.

При тестуванні МДРФА  $СОК = 100 + 0,5 \cdot 140 - 0,6 \cdot 40 - 0,6 \cdot 17 = 136$  мл;  $ХОК = 200 \cdot 136 = 27,2$  л/хв.

Коефіцієнт резерву (КР), або рівень здоров'я, це величина, яка вказує на рівень зростання функціональної активності даної фізіологічної системи в умовах виконання максимально напруженої роботи.

У даному випадку КР за ХОК =  $27,2 : 3,7 = 7,03$ . Отже, рівень здоров'я обстежуваного за показником ХОК становить 7,0 умовних одиниць. Тобто в екстремальних умовах величина цього показника може бути збільшена у сім разів.

**20. Загальновідомо, що безпосередньо після прийняття їжі не бажано (небезпечно для здоров'я) займатись фізичною роботою. Чому? Обґрунтуйте відповідь, враховуючи особливості перерозподілу крові при виконанні фізичних навантажень.**

При виконанні фізичної роботи відбувається значне зменшення кровообігу органів черевної порожнини та непрацюючих скелетних м'язів і збільшення кровообігу інтенсивно працюючих м'язів (табл. 8.7). За таких умов перетравлення їжі, що її прийняла людина перед фізичною роботою, порушується, поживні речовини їжі піддаються дії гнильних і інших мікроорганізмів (хімус загниває, бродить, руйнує слизову оболонку шлунка та кишечника). Інтенсивну фізичну роботу (тренування) після прийняття їжі доцільно проводити не раніше ніж через 1,5-2 год.

**21. Різно зупинившись після інтенсивного бігу, спортсмен відчуває запаморочення в голові. Що може бути причиною цього?**

Припинення роботи скелетних м'язів спричиняє бездіяльність периферійних м'язових помп, які в умовах скорочень м'язів допомагають серцю проштовхувати кров по судинах. Зосередженню значної частини крові в розширених капілярах нижніх кінцівок сприяє чинник земного тяжіння, оскільки серце не може перемістити необхідну кількість крові вгору по судинах, кровозабезпечення, а отже, і живлення мозку погіршується, рівень кров'яного тиску різко падає і людина втрачає свідомість (**гравітаційний шок**).

Для попередження виникнення гравітаційного шоку після напруженої роботи динамічного характеру необхідно продовжити біг, поступово зменшуючи його інтенсивність (заминка). Це сприятиме переходу частини циркулюючої крові в кров'яні депо, нормалізуватиме мозковий кровообіг і функцію серцево-судинної системи в цілому. У випадку виявлення перших ознак гравітаційного шоку

спортсмену належить прийняти горизонтальне положення, підняти ноги вгору, зробити масаж, направлений на забезпечення руху крові до серця.

**22. Як змінюватиметься функціональний стан серцево-судинної системи людини при виконанні статичного навантаження? Сутність феномену статичних напружень.**

Статична робота при тонічному напруженні м'язів може виконуватись упродовж 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, то вони не можуть продовжуватись довго, оскільки такі скорочення викликають швидку втому. Це зумовлено значними змінами 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 внутрішньом'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 тонус нервового центру кровообігу в умовах анаеробного метаболізму. Разом з тим СОК при статичному зусиллі зменшується. 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.

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 для забезпечення руху крові серцю необхідно долати дію сил гравітації, то для розвитку статичної витривалості спортсменам варто виконувати відповідні комплекси вправ саме в такому положенні.

**23. Хвилинний об'єм кровообігу (ХОК) у першого досліджуваного, який виконав напружену динамічну роботу – 30000 мл/хв, у другого – 20000 мл/хв. Обоє досліджуваних є працівники фізичної праці. Які показники роботи серця належать працівнику, робота якого пов'язана з статичними напруженнями, а які працівнику з динамічною формою праці?**

Виконання тривалих циклічних (динамічних) навантажень працівником сприяє вдосконаленню механізмів аеробного енергозабезпечення (розвиток загальної витривалості), а отже систем, які забезпечують досягнення високих величин споживання кисню – дихальної і серцево-судинної. Фізична робота із значним обсягом статичних зусиль сприяє розвитку механізмів анаеробного енергозабезпечення і не зв'язана з високою досконалістю функцій киснезабезпечуючих систем. Отже, для першого досліджуваного характерним буде більша величина ХОК (30 л/хв), і він є представником динамічної форми праці, а для другого – менша величина ХОК (20 л/хв), і його робота пов'язана з статичними напруженнями.

### **3.3. ВІКОВІ ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ КРОВООБІГУ. ЗМІНИ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ СЕРЦЕВО-СУДИННОЇ СИСТЕМИ У ШКОЛЯРІВ І СТУДЕНТІВ В УМОВАХ ЕМОЦІЙНОГО СТРЕСУ**

**24. Які особливості функціонування системи кровообігу характерні для дітей і підлітків?**

У дітей, в порівнянні з дорослими, більша маса серця і загальний діаметр кровоносних судин, що значно полегшує кровообіг. Частота серцевих скорочень у новонароджених 120-140 ск/хв, у молодших школярів – 85-90 (у дорослих 65-75 ск/хв). У дівчаток пульс на 456

---

---



5-10 ск/хв частіший, ніж у хлопчиків. Артеріальний тиск (АТ) крові у дітей віком 7–8 років – 100/65 мм рт. ст, у 12-річних – 105/70, у 15-річних – 110/75 мм рт. ст. У хлопчиків 5-9 років АТ вищий, ніж у дівчаток. Надалі, до початку періоду статевого дозрівання АТ стає більш високим у дівчаток, а з настанням періоду статевого дозрівання знову стає вищим у хлопчиків. У підлітків рівень АТ майже не відрізняється від величин, характерних для дорослих.

На рівень АТ виявляють вплив такі чинники як вік, зріст, стать, наявність місячних (у жінок), ЧСС, характер харчування, жирова маса, рухова активність тощо. У 90% людей з надмірною жировою масою тіла АТ підвищений, серед сухошавих артеріальна гіпертензія зареєстрована лише у 10% випадків, у вегетаріанців АТ нижчий, ніж у м'ясоїдів. Кількість осіб з підвищеним АТ збільшується з віком.

Середній приріст АТ з 7 до 20 років становить 23,3 мм рт. ст. (1,79 мм рт. ст. упродовж року) для систолічного тиску і 20,3 мм рт. ст. (1,56 мм рт. ст. упродовж року) для діастолічного. Деяко 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 відсоток дітей з гіпер- і гіпотензивним станом зростає відповідно на 5 і 3% (гіпертензія – тимчасове підвищення АТ, гіпотензія – тимчасове пониження АТ).

***25. 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?***

У дітей раннього віку значно переважає тонус симпатичних нервів над тонусом парасимпатичних нервів. Симпатичний нерв, що іннервує серце, збільшує ЧСС, парасимпатичний (блукаючий) нерв, навпаки, зменшує ЧСС. Тонус нервових центрів блукаючого нерва у дітей з віком поступово підвищується, що і спричиняє відмічене сповільнення серцевої діяльності. Із зростанням фізичної

підготовленості людини, яка систематично займається фізичною культурою і спортом, тонус блукаючого нерва зростає (спортивна брадикардія), а отже рефлекторно сповільнюється і ЧСС.

◇ 26. Для визначення систолічного обсягу крові (СОК) у дітей користуються формулою:

$$\text{СОК} = 40 + 0,5 \cdot \text{ПТ} - 0,6 \cdot \text{ДТ} - 3,2 \cdot \text{В}$$

Розшифруйте показники, наведені в даній формулі, і визначте СОК у учня віком 10 років, величина артеріального тиску у якого – 100/60 мм рт. ст.

ПТ – пульсовий тиск (100–60) – 40 мм рт. ст.;

ДТ – діастолічний тиск – 60 мм рт. ст.;

В – вік – 10 років.

$$\text{СОК} = 40 + 0,5 \cdot 40 - 0,6 \cdot 60 - 0,32 \cdot 10 = 20,8 \text{ мл.}$$

Отже, СОК у досліджуваного учня становить 20,8 мл.

27. Які чинники сприяють розвитку артеріальної гіпертензії у школярів?

Однією з причин підвищення АТ у дітей є психічні перенапруження, викликані навчальними навантаженнями, різними позакласними заняттями, малоруховий спосіб життя, значні витрати часу на перегляд телепередач, читання книг тощо. Підтвердженням психічної теорії артеріальної гіпертензії школярів є той факт, що у учнів фізико-математичних, математичних 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 у школі та вдома. Чинниками, що спричиняють розвиток артеріальної гіпертензії є гіпокінезія, порушення раціонального режиму дня, надмірна вага дітей, споживання солоної їжі, солодоців, хронічні захворювання нирок, печінки, жовчного міхура, тонзиліти тощо.

◇ 28. Користуючись формулами А.Т. Синякова ( $AT_{\text{сист}} = 1,7 \cdot \text{вік} + 83$ ;  $AT_{\text{діаст}} = 1,6 \cdot \text{вік} + 42$ ), розрахуйте нормативну (належну) величину артеріального тиску учня третього класу.

$$AT_{\text{сист.}} = 1,7 \cdot 10 + 83 = 100 \text{ мм рт. ст.};$$

$$AT_{\text{діаст.}} = 1,6 \cdot 10 + 42 = 58 \text{ мм рт. ст.}$$

Якщо фактична величина систолічного АТ вище нормативної (розрахованої за наведеними 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.

**29. Внаслідок травми учень втратив до 500 мл крові. Які компенсаторні зміни гемодинаміки активізуватимуться за даних умов?**

Втрата крові активізуватиме такі компенсаторні механізми гемодинаміки:

- вихід крові із депо;
- прискорення ЧСС;
- зростання сили серцевих скорочень;
- прискорення течії крові;
- звуження артеріол;
- перехід міжклітинної рідини в кров;
- посилення процесів кровотворення.

**30. Як впливають психоемоційні (екзаменаційні) стреси на функціональний стан системи кровообігу учнів та їхню працездатність?**

Надзвичайна напруженість навчальної та позанавчальної роботи, соціальна незрілість студентів, низька фізична підготовленість, невміння організувати свою працю – усе це чинники, що створюють умови для перевтоми студентів, нервових, серцево-судинних захворювань, зниження захисних функцій організму, загострень захворювань які раніше не проявлялись. Емоційні перевантаження особливо шкідливі за умов зменшення рухової активності учнів (студентів), зловживанні алкоголем, курінні.

Внаслідок неправильної гігієнічної організації навчального процесу у вузі погіршується стан здоров'я студентів. У кінці першого та другого семестрів навчання у 30% обстежуваних студентів виявлено підвищення тиску крові, у 60% зареєстровані невротичні ознаки, у 40% – погіршення зору, у 20% – загострення хронічних хвороб.

Відсутність адекватних реакцій системи кровообігу на емоційні подразники спричиняє такі серцево-судинні захворювання як гіпертонічна хвороба, коронарна недостатність тощо. Однією з причин формування коронарної недостатності у студентів є екзаменаційний стрес і пов'язане з ним нервово-емоційне напруження, збільшення вмісту холестерину в крові. Встановлено, що вміст холестерину, жирів і жироподібних речовин в крові студентів в період першої половини екзаменаційної сесії різко підвищується, а під кінець сесії істотно знижується. Сильне хвилювання, страх, образливе слово нерідко зумовлюють приступи стенокардії, особливо у осіб, які мають зміни в серцевих артеріях, викликані атеросклерозом.

Активізація функцій системи кровообігу у студентів в умовах екзаменаційного стресу нерідко досягає величин, характерних для спортсменів в передстартовому періоді. Проте у спортсменів такі напруження і викликані ним зміни внутрішнього середовища за умови виконання тренувальних чи змагальних навантажень швидко нормалізуються. У студентів, які не мають такої фізичної розрядки, дане напруження може призвести, особливо під кінець сесії, до порушень діяльності серця, зниження працездатності, небажання вчитися.

◇ 31. *Оцініть функціональну стійкість системи кровообігу студента, за допомогою психоемоційного тесту. Відомо, що після 30-секундної роботи на розв'язання математичних задач ЧСС у досліджуваного збільшилось на 20%, а артеріальний тиск на 15%.*

У досліджуваного в стані спокою вимірюють частоту пульсу і артеріальний тиск. Тоді дається завдання – вголос впродовж 30 с віднімати від цілих непарних чисел (наприклад, 333) непарні цілі числа (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. Отже, функціональна стійкість серцево-судинної системи досліджуваного, за даними психоемоційного тесту (збільшення ЧСС на 20%, а АТ – на 15%), оцінюється оцінкою “добре”.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Амосов Н. М. Сердце и физические упражнения / Н. М. Амосов, И. В. Мурахов. – К. : Здоров'я, 1985. – 80 с.
2. Анохин П. К. Очерки по физиологии функциональных систем. – М. : Медицина, 1975. – 243 с.
3. Анохин П. К. Узловые вопросы теории функциональных систем / П. К. Анохин. – М. : Наука, 1980. – 197 с.
4. Аринчин Н. И. Внутримышечные периферические “сердца” и гипокинезия / Н. И. Аринчин. – Минск, 1983. – 146 с.
5. Булич С.Г., Мурахов І.І. Валеологія. Теоретичні основи валеології. Навч. посібник. – К. : ІЗМН, 1997. – 224 с.
6. Бэршоу К. Мышечное сокращение / К. Бэршоу ; [пер. с англ.]. – М. : Мир, 1985. – 128 с.
7. Ганонг В. Ф. Фізіологія людини / В. Ф. Ганонг ; [пер. з англ.]. – Львів : БаК, 2002. – 755 с.
8. Душанин Р.А., Шигалевский В.В. Функция сердца у юных спортсменов. – К.: Здоров'я, 1988.
9. Кассиль Г. Н. Внутренняя среда организма / Г. Н. Кассиль. – М. : Наука, 1983.
10. Коньшев В. А. Питание и регулирующие системы организма / В. А. Коньшев. – М. : Медицина, 1985. – 224 с.
11. Коробков А. В. Атлас по нормальной физиологии / А. В. Коробков, С. А. Чеснокова ; [под ред. Н. А. Агаджаняна]. – М. : Высш. шк., 1986. – 398 с.
12. Коц Я.М. Кровь (гемоглобин и мышечная активность). – М. : ГЦОЛИФК, 1980. – 86 с.
13. Кучеров І. С. Фізіологія людини / І. С. Кучеров, М. Н. Шабатура, І. М. Давиденко. – К. : Вища школа, 1981. – 408 с.
14. Кучеров І. С. Фізіологія людини і тварини : навч. посібник / І. С. Кучеров. – К. : Здоров'я, 1986. – 214 с.
15. Медико-біологічні основи валеології : навч. посіб. / [за ред. П. Д. Плахтія]. – Кам'янець-Подільський : Кам'янець-Подільський державний педагогічний університет, інформаційно-видавничий відділ, 2000. – 408 с.

16. Меерсон Ф. З. Адаптация к стрессовым ситуациям и физическим нагрузкам / Ф. З. Меерсон, М. Г. Пшенникова. – М. : Медицина, 1988. – 256 с.
17. Нефрология / [под ред. И. Е. Тареевой]. – Т. II. – М. : Медицина, 1995. – 750 с.
18. Нормальная физиология / Под ред. А.Б. Коробкова. – М.: Высш. школа, 1980. – 560 с.
19. Общий курс физиологии человека и животных : в 2 кн. / [под ред. А. Д. Ноздричева]. – М. : Высш. шк., 1991. – Кн. 1-2.
20. Основы физиологии функциональных систем / [под ред. К. В. Судакова]. – М. : Медицина, 1983. – 272 с.
21. Павлов И. П. Лекции о работе главных пищеварительных желез : полн. собр. соч. / И. П. Павлов. – М.-Л. : Изд. АН СССР, 1951. – Т. II, кн. 2. – 592 с.
22. \Плахтій П.Д. Обмін речовин та енергії: Навч. посіб. / П.Д. Плахтій, Т.В. Коваль, М.С. Гончаренко. – Кам'янець-Подільський : ПП Буйницький О.А., 2009. – 336 с.
23. Плахтій П.Д. Тестування, оцінка та корекція функціонального стану школярів. – Кам'янець-Подільський: К-ПДПУ, інформ.-видав. відділ, 1997. – 112 с.
24. Плахтій П.Д. Фізіологія і біохімія м'язів та м'язової діяльності. / П.Д. Плахтій, Т.В. Коваль. – Кам'янець-Подільський : ПП Буйницький О.А., 2010. – 212 с.
25. Плахтій П. Д. Фізіологія киснезабезпечуючих систем в запитаннях, завданнях і відповідях : навч. посіб. / П. Д. Плахтій. – Кам'янець-Подільський : ПП “Медобори-2006”, 2012. – 256 с.
26. Плахтій П. Д. Фізіологія людини. В 3-х част. Ч. II. Практикум : навч. посіб. / П. Д. Плахтій. – Кам'янець-Подільський : ПП Мошак М. І., 2005. – 240 с.
27. Плахтій П. Д. Фізіологія людини. В 3-х част. Ч. III. Тести залікових модулів : навч. посіб. / П. Д. Плахтій. – Кам'янець-Подільський : ПП Мошак М. І., 2005. – 176 с.
28. Плахтій П. Д. Фізіологія людини. Нейрогуморальна регуляція функцій : навч. посіб. / П. Плахтій, О. Кучерук ; [вид. 2-ге, допов. і переробл.]. – К. : Професіонал, 2007. – 336 с.

29. Плахтій П. Д. Фізіологія людини. Обмін речовин і енергозабезпечення м'язової діяльності : навч. посіб. / П. Д. Плахтій ; [вид. 2-ге, допов. і переробл.]. – К. : Професіонал, 2006. – 464 с.
30. Практикум по нормальной физиологии / Под ред. Н.А. Агаджаняна и А.В. Коробкова. – М.: Высшая школа, 1983. – 328 с.
31. Скок В. К. Нервно-мышечная физиология / В. К. Скок, М. Ф. Шуба. – К. : Вища шк., 1986. – 224 с.
32. Теппермен Д. Физиология обмена веществ и эндокринной системы / Д. Теппермен, Х. Теппермен ; [пер. с англ.]. – М. : Мир, 1989. – 656 с.
33. Уголев А. М. Мембранное пищеварение / А. М. Уголев. – Л. : Наука, 1972. – 358 с.
34. Фарбер Д. А. Физиология школьника / Д. А. Фарбер, И. М. Корниенко, В. Д. Сонькин. – М. : Просвещение, 1990. – 64 с.
35. Фарфель В.С., Коц Я.М. Физиология человека. – М.: Физкультура и спорт, 1970. – 342 с.
36. Физиология человека / [под ред. Р. Шмидт, Г. Тевса ; пер. с англ.]. – М. : Мир, 1996. – Т. I-III.
37. Філімонов В. І. Фізіологія людини в запитаннях і відповідях : навч. посіб. / В. І. Філімонов. – Вінниця : Нова Книга, 2009. – 488 с.

Навчальне видання

**Петро Данилович Плахтій,  
Данило Петрович Плахтій**

**ФІЗІОЛОГІЯ ЛЮДИНИ. ОБМІН  
РЕЧОВИН ТА ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
М'ЯЗОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ  
в запитаннях, завданнях і відповідях**

Оригінал-макет – Грозний А. Б.  
Дизайн обкладинки – Зарицька У. М.

Підписано до друку 22.02.2013. Формат 60x84/16.  
Гарнітура Times. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 27,06.  
Наклад 500 прим. Зам. № 2.

**Підготовлено до друку у видавництві ПП «Медобори-2006»**  
32343, Хмельницька обл., Кам'янець-Подільський р-н,  
с. Довжок, пров. Радянський, ба. Тел./факс (03849) 9-09-45.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №3025 від 09.11.2007 р.  
[www.drukarnya.com](http://www.drukarnya.com), e-mail: [medobory@i.ua](mailto:medobory@i.ua)

**Надруковано у друкарні ПП Мошак М. І.**  
32300, Хмельницька обл., м. Кам'янець-Подільський,  
вул. Іоанно-Предтечинська, 2. Тел./факс (03849) 2-72-01.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №867 від 22.03.2002 р.