

## Тема 4. ТРАНСПОРТУВАННЯ РЕЧОВИН

Постійність внутрішнього середовища є умовою вільного і незалежного життя.

*Клод Бернар,  
французький фізіолог XIX ст.*

### § 17. Внутрішнє середовище організму людини. Кров, її склад та функції

*Як здійснюється транспортування речовин у тварин? Які функції виконує гемолімфа, а які — кров?*

**Роль внутрішнього середовища в життєдіяльності організму.** Внутрішнє середовище організму утворюють його рідини — *кров, лімфа і тканинна рідина*. Ці рідини взаємопов'язані та можуть взаємно перетворюватися, що створює цілісне рідке середовище всередині організму. Значення рідин дуже важливе, оскільки більшість речовин бере участь у біохімічних реакціях у розчиненому стані. Саме за допомогою рідин внутрішнього середовища до клітин надходять поживні речовини та кисень і видаляються шкідливі продукти життєдіяльності.

**Кров** — непрозора, солонувата на смак рідина червоного кольору, що циркулює по замкненій кровеносній системі. *Пригадайте, якими органами утворена кровеносна система людини*. Об'єм крові в дорослої людини становить 4–6 л (7–8 % маси тіла). Вам відомо, що основною функцією крові є транспортна, яка полягає в перенесенні:

- дихальних газів — кисню від легень до тканин організму, а вуглекислого газу від тканин до легень (*дихальна функція*);
- органічних речовин, мінеральних солей до всіх тканин організму (*трофічна функція*);
- кінцевих продуктів обміну речовин від усіх тканин до органів виділення (*видільна функція*);
- гормонів та інших біологічно активних речовин до клітин усіх органів і тканин організму (*регуляторна функція*).

**Лімфа** — прозора рідина, що рухається по судинах лімфатичної системи. *Пригадайте, якими органами утворена лімфатична система людини*.

Лімфи в організмі утворюється близько 2 л на добу. Її основу становить вода, у якій розчинені органічні (білки, жирні кислоти, гліцерин) й неорганічні (мінеральні солі) речовини. Вам відомо, що по лімфатичних судинах також транспортуються *поживні речовини* та кінцеві продукти обміну речовин.

Кров і лімфа безпосереднього контакту з клітинами тканин не мають, він забезпечується через тканинну рідину.

**Тканинна (міжклітинна) рідина** омиває всі клітини організму. Вона є проміжним середовищем, через яке здійснюється обмін речовин (вода, мінеральні солі, органічні речовини, гази тощо) між кров'ю та клітинами інших тканин. Цей обмін здійснюється завдяки явищам *дифузії* та *фільтрації*.

Тканинна рідина утворюється з рідкої частини крові — плазми, що *відфільтровується* через стінки кровоносних капілярів, а також з кінцевих продуктів обміну речовин, які постійно надходять із клітин. За добу утворюється близько 20 л тканинної рідини.

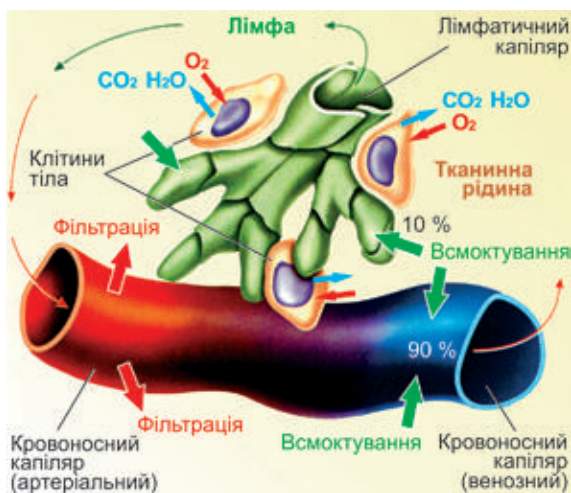
Кисень і поживні речовини з артеріальних капілярів надходять спочатку в тканинну рідину, а вже з неї — у клітини. У свою чергу, вуглекислий газ, вода й інші продукти обміну, що утворюються в клітинах, виділяються спочатку в тканинну рідину, а потім надходять у венозні капіляри. Тут відбувається *всмоктування* (абсорбція) тканинної рідини. У кровоносне русло повертається до 90 % тканинної рідини, а її 10 % всмоктується в лімфатичні капіляри — утворюється *лімфа*. Вона повільно тече по лімфатичних судинах і надходить у кровоносну систему. Склад лімфи залежить від особливостей обмінних процесів тканин, від яких вона відтікає (іл. 44).

Кров, лімфа та тканинна рідина перебувають у тісному взаємозв'язку, підтримуючи на постійному рівні вміст у клітинах органічних та неорганічних речовин, кров'яний тиск, температуру тіла тощо, створюючи тим самим оптимальні умови для нормальної життєдіяльності всіх клітин і тканин організму.

**Склад крові.** Серед рідин внутрішнього середовища пріоритетна роль належить *крові*. Окрім транспортної функції, вона виконує не менш важливі захисні функції.

Кров забезпечує *імунітет* організму. Вона володіє фізіологічними механізмами, завдяки яким кров, що циркулює у кровоносній системі, зберігається в рідкому стані. За порушення цілісності кровоносних судин утворюється кров'яний тромб, що перешкоджає витіканню крові з ушкодженої судини. Усі функції крові взаємопов'язані та забезпечуються її складом (іл. 45). 55–60 % об'єму крові становить рідка її частина — *плазма*; 40–45 % — *формені елементи*: еритроцити, лейкоцити, тромбоцити.

Кількість і співвідношення клітин крові є різним, що зумовлено функціями, які вони виконують. В 1 мм<sup>3</sup> крові дорослої людини в нормі (за міжнародним стандартом якості) міститься 4,1–5,9 млн еритроцитів, 4,4–11,3 тис. лейкоцитів і 150–400 тис. тромбоцитів. Кількість формених елементів крові в



Іл. 44. Взаємозв'язок компонентів внутрішнього середовища



**ЕРИТРОЦИТИ** (від грец. *erythros* [еритрос] — червоний; *cytos* [цитос] — клітина) — червоні кров'яні тільця.

**ЛЕЙКОЦИТИ** (від грец. *leucos* [лейкос] — білий; *cytos* [цитос] — клітина) — білі кров'яні тільця.

**ТРОМБОЦИТИ** (від грец. *thrombos* [тромбос] — грудка, згусток; *cytos* [цитос] — клітина) — кров'яні пластинки.

одиниці об'єму — це відносно сталий показник, який залежить від віку, статі та стану здоров'я людини. Під час захворювань кількісні показники клітин крові в людини змінюються. Отримати ці показники, установити причини їх відхилень, а відповідно й діагноз можна, зробивши *аналізи крові*.

Усі клітини крові беруть участь у транспортуванні різноманітних речовин, виконують захисні функції. Крім того, кожна з клітин крові виконує специфічні функції. *Детальніше про них дізнаємося в наступних параграфах.*

У процесі функціонування формені елементи крові старіють і руйнуються. Так, еритроцити «живуть» 100–120 діб, тромбоцити — 8–12 діб, а лейкоцити — від кількох годин до кількох років (залежно від виду).

Руйнуються всі клітини крові в печінці та селезінці, а також у місцях протікання запальних процесів (лейкоцити) та пошкодження кровоносних судин (тромбоцити). На заміну відмерлим форменим елементам утворюються нові. Руйнування та утворення формених елементів крові передбачають підтримання їх оптимальної концентрації.

## *Лабораторна робота*

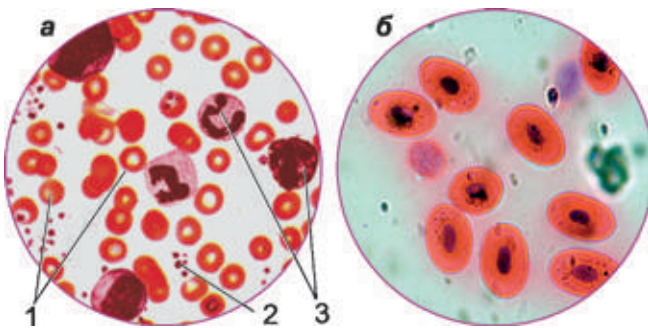
### **Тема.** Мікроскопічна будова крові людини.

**Мета:** з'ясувати особливості мікроскопічної будови крові людини; порівняти будову еритроцитів крові людини та крові жаби; обґрунтувати залежність ефективності перенесення кисню від особливостей будови еритроцитів крові людини та крові жаби.

**Обладнання та матеріали:** мікроскопи, мікропрепарати крові людини та крові жаби.

### *Хід роботи*

1. Підготуйте мікроскоп до роботи.



*Мікроскопічна будова крові:  
а — людини;  
б — жаби*

2. Розгляньте за малого збільшення мікроскопа постійний мікропрепарат крові людини. Знайдіть формені елементи крові.

Зіставте побачене з наведеною ілюстрацією та підпишіть позначені цифрами формені елементи крові людини.

Чим відрізняються формені елементи крові людини?

3. Розгляньте за великого збільшення мікроскопа почергово постійні мікроскопічні препарати крові людини та крові жаби. Зверніть увагу на кількість еритроцитів у полі зору мікроскопа (приблизно), їхню форму, колір, розміри, наявність ядра.

4. Результати спостережень занесіть до таблиці.

Еритроцити	Ознаки	Кількість у полі зору	Форма	Колір	Розміри	Наявність ядра
людина						
жаба						

Чим відрізняються еритроцити людини від еритроцитів жаби?

5. Схематично зобразіть побачене під мікроскопом.

6. Зробіть висновок про зв'язок будови й функцій формених елементів крові людини.



### Внутрішнє середовище організму. Склад і функції крові, лімфи. Тканинна рідина. Взаємозв'язок компонентів внутрішнього середовища



1. Що таке внутрішнє середовище організму? Схарактеризуйте його компоненти. 2. Поясніть роль внутрішнього середовища в життєдіяльності організму людини. 3. Як пов'язані між собою кров, лімфа і тканинна рідина? 4. Які функції виконує кров? 5. Розкрийте особливості транспортної функції крові. 6. З яких компонентів складається кров? 7. Які клітини належать до формених елементів крові? 8. У чому полягає значення лімфи й тканинної рідини для організму людини?



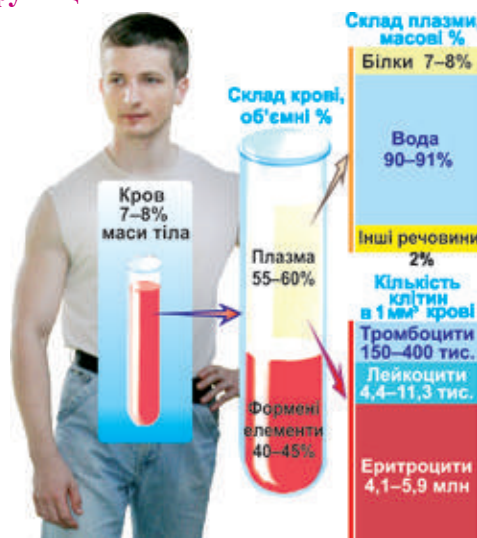
9. Чому для життєдіяльності клітин організму людини необхідне рідке середовище? 10. Розкрийте механізм взаємозв'язків крові, лімфи та тканинної рідини. 11. Прокоментуйте афоризм К. Бернара, винесений як епіграф до теми. 12. Визначте (приблизно), скільки еритроцитів утворюється та руйнується в дорослої людини щосекунди. Відповідь обґрунтуйте.

## § 18. Плазма крові. Тромбоцити та лейкоцити: будова та функції

*Пригадайте з курсу хімії, що таке розчини. Яка неорганічна речовина є найкращим розчинником?*

**Склад плазми крові.** Плазма крові — це розчин жовтуватого кольору, що складається з води та сухого залишку (іл. 45). До нього входять органічні (білки, ліпіди, глюкоза, вітаміни, гормони, ферменти тощо) та неорганічні (мінеральні солі, гази) речовини, мікроелементи (Mg, Zn, Co тощо). Високий уміст води в плазмі забезпечує чимало її властивостей. *Пригадайте властивості води як універсального розчинника.*

Найважливішими складниками плазми є білки, кожен з яких виконує специ-



Іл. 45. Склад та основні показники крові людини



фічні функції. Так, *альбуміни* виконують транспортну функцію крові (переносять гормони, йони Кальцію тощо), *глобуліни* забезпечують імунітет, фібриноген бере участь у згортанні крові.

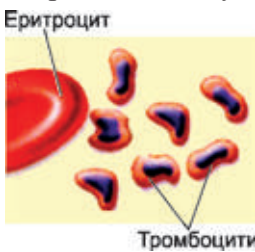
Серед мінеральних солей, що входять до складу плазми, найбільше припадає на частку солей Na, K, Ca, Mg. Концентрація усіх солей втримується в плазмі на сталому рівні. Значні відхилення цих показників від середніх величин на тривалий період призводять до важких наслідків для організму, часто несумісних із життям.

У медичній практиці за зневоднення організму (пронос та блювання), значних опіках тощо використовують водний розчин солей, який має концентрацію 0,9 %, тобто за якісним і кількісним складом відповідає плазмі крові. Такий 0,9 % розчин солей називають фізіологічним розчином (замінником плазми крові).

Концентрація глюкози й білків у плазмі є також величиною сталою. Уміст таких компонентів плазми, як сечова кислота, ліпіди, може змінюватись у доволі широких межах, не порушуючи функції організму.

**Будова та функції тромбоцитів.** Будь-яке порушення цілісності кровоносних судин супроводжується кровотечею і крововтратою. Тому наявність захисної реакції організму, спрямованої на зупинку кровотечі, рятує людину від смерті. Як встановлено, в організмі існують складні механізми захисту від крововтрат шляхом утворення кров'яних тромбів у пошкоджених судинах. Цю функцію виконують тромбоцити.

**Тромбоцити** (іл. 46) — це безбарвні, без'ядерні, дископодібні, двоопуклі клітинні пластинки; вони є найдрібнішими форменими елементами крові (діаметр — до 3 мкм і завтовшки до 0,9 мкм). Плазматична мембрана тромбоцитів нестійка до механічних впливів. Вона легко руйнується, чим і пояснюється нетривалість існування тромбоцитів. *Пригадайте, яка тривалість «життя»*



Іл. 46. Тромбоцити

*тромбоцитів.* Тромбоцити здатні скупчуватися в групи й прилипати до ушкоджених поверхонь судин. Унаслідок цього утворюється *тромб* (кров'яний згусток). Утворення тромбу (іл. 47) на пошкоджених судинах відбувається внаслідок **згортання крові\*** (коагуляції) — захисної реакції організму, спрямованої на збереження об'єму рідин, що циркулюють в організмі.

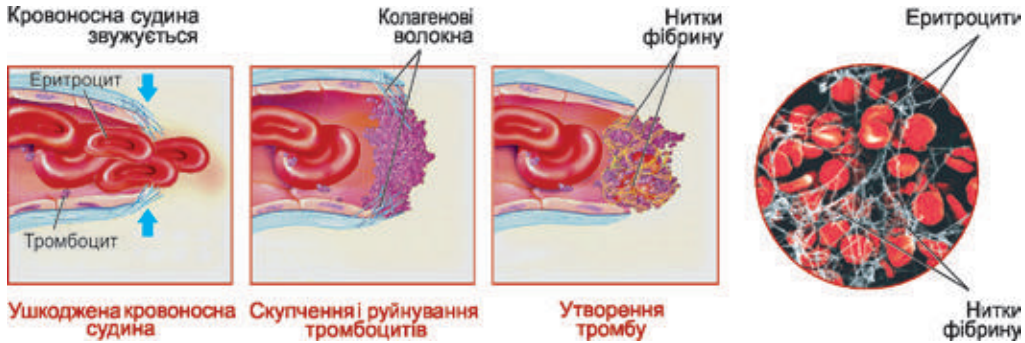
Механізм згортання крові є складним. У ньому беруть участь понад 20 речовин, серед яких є білки, солі Кальцію тощо. Одні речовини виконують важливі функції у формуванні згустка крові, інші є активаторами ферментативних процесів. Частина речовин міститься в плазмі крові, а частина — у тромбоцитах.

\* Часто в інформаційних джерелах трапляється застарілий термін «зсідання крові».

Суть процесу згортання крові полягає в переході розчинного білка плазми крові *фібриногену* в нерозчинний білок *фібрин*. Нитки фібрину утворюють густу волокнисту сітку. У сітці фібрину затримуються еритроцити й тромбоцити, утворюючи кров'яний згусток — тромб. Маса тромбу ущільнюється, із тромбу витискається сироватка крові.

**СИРОВАТКА КРОВІ** — це плазма крові без фібриногену.

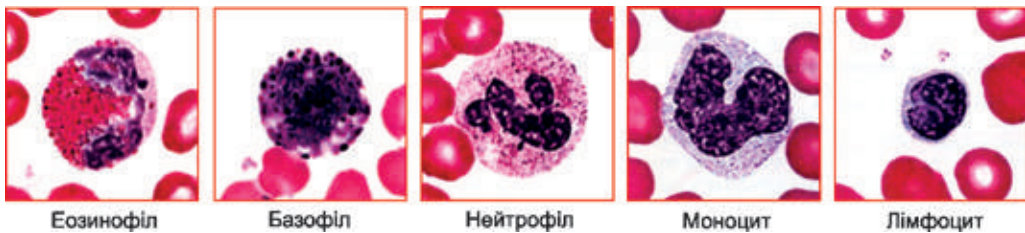
Судина закупорюється тромбом, і кровотеча зупиняється. Згортання крові в нормі відбувається за 5–10 хв. Через певний час стінка судини загоюється, тромб розсмоктується і прохідність судини відновлюється.



Іл. 47. Утворення тромбу

**Будова та функції лейкоцитів.** Захисні функції в організмі виконують й інші формені елементи крові — **лейкоцити**.

Лейкоцити розпізнають і знешкоджують генетично чужорідні організми й речовини, що потрапляють в організм. Вони знищують перероджені клітини власного організму, а також ті клітини, що руйнуються. Лейкоцити є основою протибактеріального, противірусного та протипухлинного захисту організму. Ці функції виконують різні види лейкоцитів (іл. 48).



Іл.48. Види лейкоцитів

Найбільше серед них нейтрофілів (60–70 % загальної маси лейкоцитів) і лімфоцитів (20–25 %). Лімфоцити є основними клітинами імунної системи. Лейкоцити відрізняються за формою, розмірами, будовою, властивостями та походженням. Кількісне співвідношення між різними видами лейкоцитів крові людини є відносно сталим. Його визначають під час аналізу крові й на-



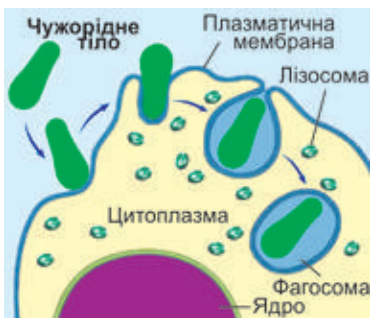
зивають *лейкоцитарною формулою*. Зміна кількості лейкоцитів (збільшення чи зменшення) свідчить про певне захворювання.

У цитоплазмі більшості лейкоцитів є гранули, які містять різні речовини (ферменти, білки, органічні кислоти тощо), що виконують певні функції. Незважаючи на видову різноманітність, усі лейкоцити мають ядро та багато лізосом. *Пригадайте, що це за органели та яку функцію вони виконують.*

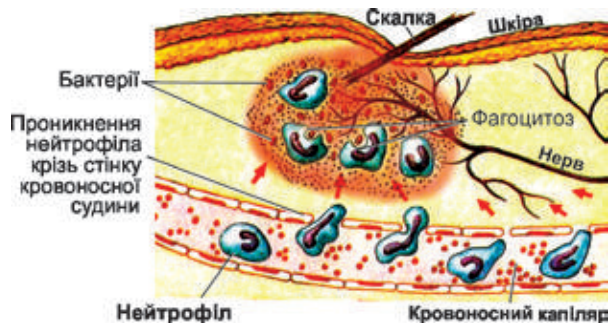
**Властивості лейкоцитів.** Усі лейкоцити здатні до амебоїдного руху, завдяки якому вони проходять крізь стінки кровоносних капілярів до тканин. Більшість лейкоцитів здатна до фагоцитозу. Наблизившись до чужорідного тіла, лейкоцит захоплює його виростами мембрани. У результаті цього тіло виявляється «ув'язненим» у мембранному міхурці всередині лейкоцита. Такий міхурець називають *фагосомаю*. За допомогою лізосом у ньому знищується й перетравлюється чужорідне тіло (іл. 49).

**ФАГОЦИТОЗ** (від грец. *phagos* [фагос] — пожирач; *cytos* [цитос] — клітина) — активне захоплення та поглинання клітиною чужорідних тіл.

Вторгнення в організм будь-якого збудника інфекції викликає місцеве запалення. В ураженій ділянці збільшується кровонаповнення, підвищується температура.



Іл. 49. Фагоцитоз



Іл. 50. Місцеве запалення

Ушкоджені тканини виділяють певні речовини (наприклад, гістаміни), унаслідок чого з'являються набряк і біль. У місце пошкодження надходять лейкоцити (зокрема нейтрофіли), які знищують шляхом фагоцитозу мікроорганізми та продукти їхньої життєдіяльності (іл. 50). Якщо місце запалення оточене мембраною, то виникає нарив (абсцес), тобто скупчення гною, який складається із загиблих клітин, лейкоцитів та знешкоджених мікроорганізмів.



**Плазма крові. Склад плазми. Тромбоцити. Згортання крові як захисна властивість організму. Фібриноген. Фібрин. Тромб. Лейкоцити. Властивості лейкоцитів**



Окрім згортання крові, існує й інший складний фізіологічний механізм, завдяки якому не відбувається тромбоутворення всередині кровоносних судин. В організмі людини виробляються речовини, які називають *антикоагулянтами*. Вони бувають прямої та непрямой дії. До антикоагулянтів прямої

дії належить, наприклад, гепарин (утворюється в печінці). Антикоагулянти непрямої дії пригнічують утворення активних речовин згортання крові. За порушення обміну речовин, певних захворювань серцево-судинної системи, печінки, надмірного вживання алкоголю тощо всередині судин можуть виникати тромби, що є дуже небезпечним для організму.

У деяких людей втрачається здатність до згортання крові — виникає хвороба *гемофілія*. Тому за незначних травм може виникнути сильна тривала кровотеча. Якщо кровотечу вчасно не зупинити, то гемофілія може призвести до смерті. Хворіють на це важке генетичне захворювання переважно чоловіки, але носіями спадкової ознаки хвороби є лише жінки. Найвідомішим в історії носієм гемофілії була королева Великої Британії Вікторія (1819–1901).



**1.** Що таке плазма крові? Який її склад? **2.** Що таке фізіологічний розчин? Яке його призначення? **3.** Концентрація яких речовин у плазмі крові є сталою величиною? **4.** Яка будова та функції тромбоцитів? **5.** Що таке згортання крові? **6.** Схарактеризуйте згортання крові як захисну реакцію організму. **7.** Що таке лейкоцити, які їх властивості? У чому полягають особливості їхньої будови? **8.** Як відбувається місцеве запалення?



**9.** Чи можна за зневоднення організму вводити в кров для відновлення її об'єму чисту воду? Поміркуйте чому. **10.** Чому не розриваються клітини крові, якщо людина вип'є велику кількість води? Чому вони не зморщуються після вживання значної кількості кухонної солі? **11.** Чому в здоровій людині всередині кровоносних судин тромби не утворюються? **12.** Чим пояснити різноманітність лейкоцитів? **13.** Поясніть, чому місцеве запалення можна розглядати як захисну реакцію організму.

## § 19. Будова й функції еритроцитів. Групи крові та переливання крові

*Пригадайте, чи в усіх тварин кров червона. Яку кров називають артеріальною? Венозною? Чи знаєте ви свою групу крові та резус-фактор?*

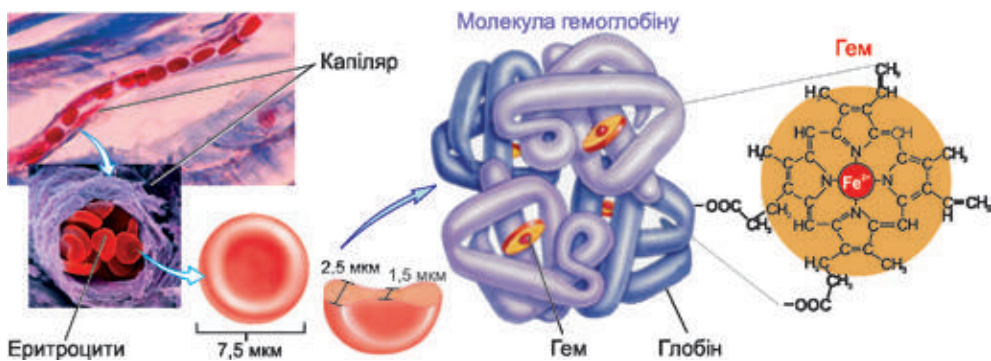
**Будова еритроцитів.** **Еритроцити** — це клітини крові, основна функція яких полягає у транспортуванні кисню та вуглекислого газу. Виконання еритроцитами дихальної функції зумовлене особливостями їхньої будови.

У крові людини еритроцити мають здебільшого форму двовгнутого диска (іл. 51). Площа його поверхні становить близько 145 мкм<sup>2</sup>.

Форма двовгнутого диска, збільшуючи поверхню еритроцита, забезпечує транспортування більшої кількості різноманітних речовин. Зовні еритроцит має плазматичну мембрану, яка є проникною для кисню та вуглекислого газу. Зрілий еритроцит крові людини не має ядра. Клітина-попередник, з якої утворюється еритроцит, має ядро. Під час дозрівання еритроцита ядро виходить за межі клітини, а його місце займає дихальний пігмент гемоглобін. У крові здорової людини його міститься 117–173 г/л. Молекула *гемоглобіну* (Hb) має сфероподібну форму й складається з білкової частини — *глобіну* — та небілкової — *гема*. Чотири молекули геми розміщуються на її поверхні в спеціальних заглибленнях (іл. 51). **Гем** — це сполука, яка містить чотири атоми Феруму і легко сполучається з киснем. Це й зумовлює здатність гемоглобіну переносити кисень.



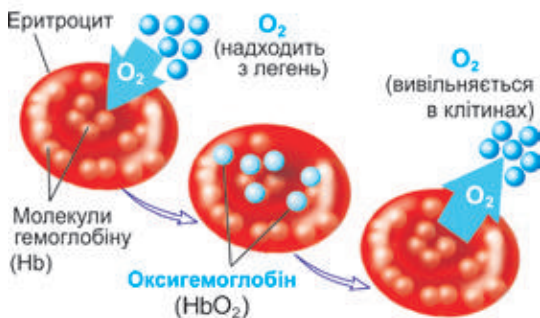




Іл. 51. Будова еритроцита

**Транспортування кисню.** Кисень із вдихуваного повітря через стінки кровоносних капілярів легень надходить в еритроцити. Тут він за допомогою слабких зв'язків приєднується до атома Fe (II). Приєднавши  $O_2$ , гемоглобін (Hb) перетворюється на *оксигемоглобін* ( $HbO_2$ ) — сполуку яскраво-червоного кольору, яка є нестійкою й легко розпадається на Hb та  $O_2$ . Одна молекула гемоглобіну може зв'язати 4 молекули кисню, тому що гем містить 4 атоми Fe (II). Завдяки цій властивості гемоглобіну всі тканини організму забезпечуються киснем (іл. 52).

Гемоглобін може зв'язувати й інші гази, зокрема CO (чадний газ), й утворювати стійку сполуку *карбоксигемоглобін* ( $HbCO$ ). Розпадання цієї сполуки на Hb і CO відбувається дуже повільно (у 200 разів повільніше, ніж *оксигемоглобіну*). Через це за наявності в повітрі чадного газу більша частина гемоглобіну зв'язується з ним, втрачаючи здатність до переносу кисню. Це призводить до порушення тканинного дихання, що є смертельно небезпечним для людини.



Іл. 52. Механізм транспортування кисню кров'ю

**Транспортування вуглекислого газу.** Відомо, що в клітинах у процесі дихання утворюється вуглекислий газ, який транспортується кров'ю до легень. Способи транспортування  $CO_2$  є різними. Так, 80 % вуглекислого газу транспортується не гемоглобіном безпосередньо, а сполуками карбонатної кислоти ( $H_2CO_3$ ). Ця кислота утворюється в еритроцитах унаслідок з'єднання  $CO_2$  і  $H_2O$ . Певна частина вуглекислого газу (близько 10 %) зв'язується з білковою частиною гемоглобіну, утворюючи *карбгемоглобін*. Решта  $CO_2$  залишається у вигляді розчиненого газу в плазмі крові.



**Групи крові системи АВ0.** Еритроцити, окрім транспортної, виконують інші функції, серед яких важливе значення має функція визначення груп крові людини. Це зумовлено наявністю у плазматичній мембрані еритроцитів набору певних речовин білкової природи. Сьогодні відомо понад 250 таких еритроцитарних речовин, які зумовлюють специфічні властивості крові й вибірково в різних комбінаціях притаманні лише певним групам людей. Набір еритроцитарних білків для кожної людини є індивідуальним й успадковується від батьків, тобто наявний в організмі від народження. Ці речовини позначаються латинськими літерами: А, В, D, s, с та ін. — й об'єднуються за характером їх впливу на властивості крові в певні системи. Вивчено близько 30 таких групових систем крові. Розгляньмо деякі з них, зокрема системи АВ0 і резус (Rh), оскільки речовини, що входять до їх складу, спричиняють дуже сильні реакції під час переливання крові, а також несумісність крові матері та плода під час вагітності.

**Групова система АВ0** об'єднує еритроцитарні білки А і В (містяться у плазматичній мембрані еритроцитів) та білки  $\alpha$  і  $\beta$  (містяться у плазмі крові). Речовини А й В називають *аглютиногенами*,  $\alpha$  й  $\beta$  — *аглютинінами*. За взаємодії аглютиногени А й аглютиніну  $\alpha$  (відповідно аглютиногени В й аглютиніну  $\beta$ ) відбувається *аглютинація* — склеювання еритроцитів. Тому в крові людини не можуть одночасно міститися здатні до взаємодії один з одним аглютиноген А і аглютинін  $\alpha$  чи аглютиноген В й аглютинін  $\beta$ , оскільки відбуватиметься аглютинація еритроцитів. У людини, еритроцити якої містять аглютиногени А, у плазмі обов'язково є аглютиніни  $\beta$ , а в людини, еритроцити якої містять аглютиногени В, у плазмі обов'язково є аглютиніни  $\alpha$ .

Аглютиногени А і В можуть існувати незалежно один від одного, тому чотири можливі їх комбінації з аглютинінами лежать в основі чотирьох груп крові (іл. 53).

	Відсутність аглютиногенів А і В	Аглютиноген А	Аглютиноген В	Аглютиногени А і В
Еритроцити				
Плазма	Аглютиніни $\alpha$ і $\beta$	Аглютинін $\beta$	Аглютинін $\alpha$	Відсутність аглютинінів $\alpha$ і $\beta$
	Група 0 (I)	Група А (II)	Група В (III)	Група АВ (IV)

Іл. 53. Групи крові за системою АВ0

Групи крові є спадковими й не змінюються протягом життя. Визначення належності до певної групи крові за системою АВ0 проводять у лабораторіях шляхом ідентифікації аглютиногенів і аглютинінів (так званий подвійний метод, або перехресна реакція).

За відкриття груп крові австрійський лікар і хімік Карл Ландштейнер був удостоєний Нобелівської премії в 1930 р.

**Переливання крові.** Відкриття групової системи АВО дало можливість зрозуміти такі явища, як *сумісність* і *несумісність під час переливання крові*.

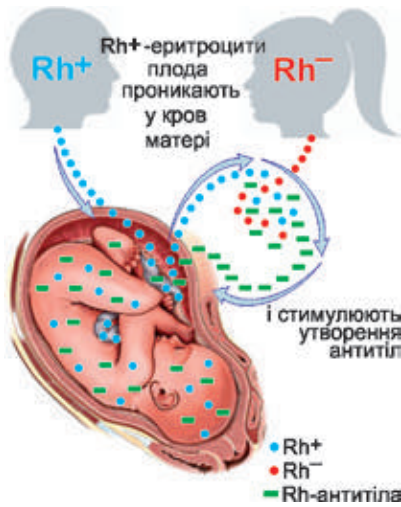


Карл Ландштейнер  
(1868–1943)

Традиційно вважають, що переливання крові — це введення з лікувальною метою в кровеносні судини хворого крові або окремих її компонентів (еритроцитів, лейкоцитів чи тромбоцитів, плазми, білків плазми, сироватки тощо).

**Переливання крові** — це метод лікування хворих, в основі якого лежить *трансплантація* (від лат. *transplantatio* [трансплантатіо] — перенесення) рідкої сполучної тканини людини — крові. Застосування цього методу передбачає високий ступінь відповідальності як медперсоналу, так і донорів. *Донори* — це люди, у яких беруть кров, а ті, кому її переливають, — *реципієнти*. Донорами можуть бути всі здорові люди віку 18–60 років.

Досягнення сучасної науки дозволяють запобігти ускладненням під час переливання крові, які, на жаль, ще трапляються в лікувальній практиці та навіть призводять до смерті реципієнта. Під час переливання крові необхідно дотримувати правил групової сумісності донора та реципієнта. Переливати реципієнту потрібно цільну кров його ж групи. Але в екстрених випадках переливають не цільну кров, а лише еритроцитарну масу. Причому еритроцити групи 0 (I) можна переливати реципієнтам усіх інших груп крові; еритроцити групи А (II) — реципієнтам із групами крові А (II) і АВ (IV); еритроцити групи В (III) — реципієнтам із групами крові В (III) і АВ (IV). Сьогодні в лікувальній практиці широко використовують штучні кровозамінники (реосорбілакт, гемодез тощо).



Іл. 54. Резус-конфлікт

**Система резус (Rh)** об'єднує шість еритроцитарних речовин — D, C, E, d, c, e. За їх можливими комбінаціями розрізняють 8 груп крові. Найсильнішу дію серед усіх проявляє аглютиноген D. Тому саме його називають **резус-фактором**. Кров, яка містить цей аглютиноген, називають *резус-позитивною* (Rh<sup>+</sup>), а ту, що не має його, — *резус-негативною* (Rh<sup>-</sup>). Переливання несумісної за резус-фактором крові спричиняє резус-конфлікт, що призводить до аглютинації еритроцитів.

Якщо в батьків різні групи крові системи Rh (зокрема, коли батько Rh<sup>+</sup>, а мати Rh<sup>-</sup>), то під час вагітності між матір'ю і плодом Rh<sup>+</sup> виникає резус-конфлікт (іл. 54).

У крові матері утворюються особливі речовини (Rh-антитіла), які руйнують власні еритроцити або еритроцити плода. У плода розвивається гемолітична хвороба. Це захворювання трапляється з частотою один випадок на 500 новонароджених. З кожною наступною вагітністю зростає ризик і збільшується ймовірність гемолітичної хвороби новонароджених та ступінь її важкості. Щоб уникнути наслідків резус-конфлікту, уживають спеціальних медичних заходів.



**Еритроцити. Гемоглобін. Оксигемоглобін. Карбоксигемоглобін. Карбгемоглобін. Система АВ0. Групи крові. Аглютиногени. Аглютиніни. Переливання крові. Резус-фактор**



За даними досліджень учених, в Україні переважають люди з групою крові А (II) — 40,87 % загальної чисельності населення, потім — із групою 0 (I) — 30,76 %, далі з групою В (III) — 19,50 % і групою АВ (IV) — 8,85 %. Людей з Rh<sup>+</sup> у нашій країні є 86,00 %, з Rh<sup>-</sup> — 14,00 %.



Американські вчені в лабораторних умовах виростили штучні еритроцити, які постачають кисень не менш ефективно, ніж природні. Нове досягнення підвищує шанси одержати згодом універсальну кров, яку можна буде переливати будь-яким пацієнтам. *Висловте ставлення до цього відкриття. У чому полягає перевага штучної крові?*



**1.** До яких структурних компонентів крові належать еритроцити? Яку функцію вони виконують? **2.** Якими особливостями будови еритроцитів зумовлена дихальна функція крові? **3.** Що таке гемоглобін? Схарактеризуйте його будову. **4.** Як відбувається транспортування кисню кров'ю? **5.** Назвіть форми транспортування вуглекислого газу кров'ю. **6.** Чому наявність у повітрі навіть незначної кількості чадного газу є для людини небезпечною? **7.** Якими особливостями будови еритроцитів зумовлена функція визначення груп крові людини? **8.** Схарактеризуйте групи крові людини системи АВ0. **9.** Схарактеризуйте систему резус (Rh). **10.** Що таке резус-конфлікт?



**11.** Чому дуже важливо, щоб кожна людина знала свою групу крові й резус-фактор? **12.** Користуючись додатковими джерелами інформації, підготуйте повідомлення про сучасні методи діагностики крові; методи консервування крові; штучні кровозамінники. **13.** У художній літературі доволі часто для характеристики людини, яка належить до аристократичного кола, уживають словосполучення «блакитна кров». Як ви розумієте ці слова? Чи є люди, кров у яких блакитна? Чи є у природі тварини із блакитною кров'ю?

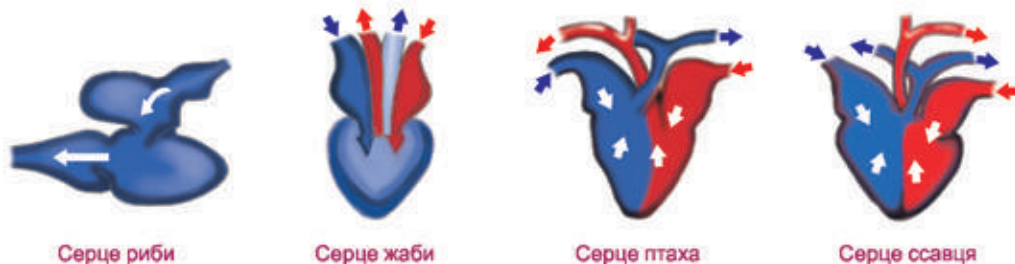


**14.** Проблема інфікування через кров у медичних установах — потенційна небезпека зараження різними вірусами (ВІЛ, герпес, гепатити А, В, С тощо), збудниками захворювань, що передаються статевим шляхом (сифіліс, гонорея тощо). Як ця проблема розв'язується: а) на державному рівні; б) медиками; в) особисто кожною людиною? Відповідь аргументуйте. **15.** Карл Ландштейнер, отримуючи Нобелівську премію, сказав: «Система АВ0 — лише початок досліджень. З часом кількість таких систем зростатиме, доки кожна людина не стане володарем власної неповторної групи». Чи справджується його передбачення?



## § 20. Система кровообігу. Серце: будова та функції. Робота серця

Як ускладнювалась будова серця хребетних тварин від риб до ссавців (іл. 55)?

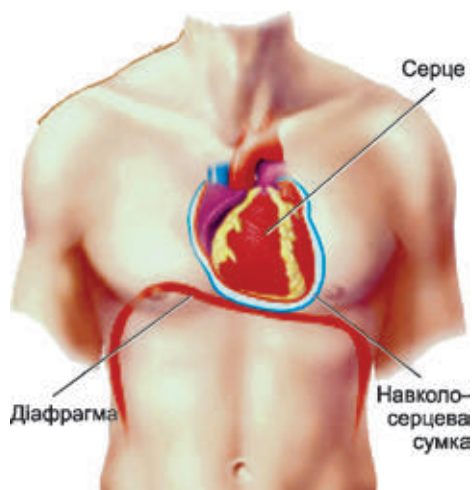


Іл. 55. Будова серця представників різних груп хребетних тварин

Виконання основних функцій крові зумовлено її постійною циркуляцією в організмі. *Пригадайте, яка система органів забезпечує рух крові та які органи входять до її складу (§ 3).*

**Будова серця.** Центральним органом кровоносної системи людини є серце. У людини воно завбільшки з кулак. Хоча маса серця незначна (до 250–360 г, що становить близько 1/200 маси тіла людини), проте воно виконує титанічну роботу. У стані спокою серце робить близько 60–80 скорочень за хвилину, за добу воно скорочується близько ста тисяч разів, за 70 років — понад 2,5 млрд разів.

**КРОВООБІГ** — рух крові по замкненій системі кровоносних судин і серця, який забезпечує обмін речовин між організмом та зовнішнім середовищем.



Іл. 56. Місце розташування серця

Серце — м'язовий порожнистий орган конусоподібної форми. Розташоване воно асиметрично в грудній порожнині за грудиною (двома третинами — у її лівій половині, а однією третьою — у правій) і майже повністю оточене легенями. Знизу до серця прилягає діафрагма. Серце міститься в навколосерцевій сумці, що утворена сполучною тканиною (іл. 56). На її внутрішній поверхні виділяється рідина, що зволожує серце.

Суцільна поздовжня м'язова перегородка ділить серце на дві ізольовані одна від одної частини — праву й ліву. У верхній частині обох половин розташовані праве й ліве передсердя, у нижній частині — правий і лівий

шлуночки (іл. 58). Отже, серце людини, як і всіх ссавців, чотирикамерне.

У праве передсердя по *верхній і нижній порожнистих венах* кров надходить з усіх частин тіла. Із правого шлуночка виходить *легеневий стовбур*, через який венозна кров надходить до чотирьох легневих артерій, а далі — до легень.

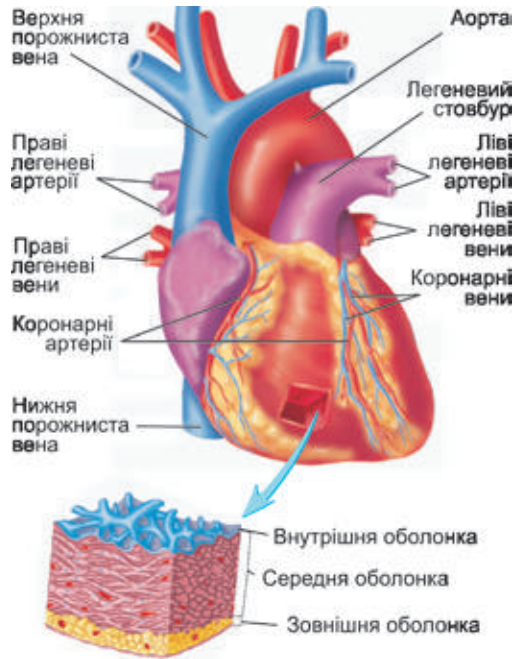
У ліве передсердя впадають чотири *легеневі вени*, які несуть артеріальну кров від легень. З лівого шлуночка виходить *аорта*, по якій артеріальна кров рухається до органів і тканин тіла (іл. 57). У правій половині серця міститься *венозна кров*, у лівій — *артеріальна*.

Важливими для роботи серця є клапани (два *стулкові* та два *півмісяцеві*), які перешкоджають зворотному плину крові (іл. 58).

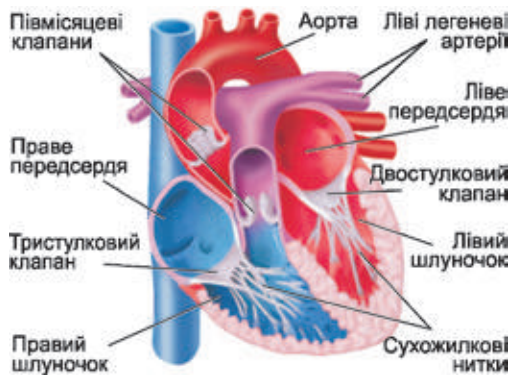
*Двостулковий клапан* розташований між лівими передсердям і шлуночком. Він складається із двох стулок. *Тристулковий клапан* міститься між правими передсердям та шлуночком і складається із трьох стулок. Ці клапани не допускають повернення крові в передсердя зі шлуночків під час їх скорочення.

Один *півмісяцевий клапан* розташований між лівим шлуночком та аортою і перешкоджає поверненню крові в серце з аорти під час розслаблення лівого шлуночка. Другий *півмісяцевий клапан* міститься між правим шлуночком та легеневим стовбуром і перешкоджає поверненню крові з легеневого стовбура в серце під час розслаблення правого шлуночка. Кожен *півмісяцевий клапан* складається із трьох подібних до кишеньок листків. Вільним краєм кишеньки спрямовані в бік судин.

**Будова стінки серця.** Стінка серця складається з трьох оболонок: *зовнішньої* (епікард), *середньої* (міокард) і *внутрішньої* (ендокард).



Іл. 57. Будова серця



Іл. 58. Серцеві клапани



Епікард огортає серце ззовні, а ендокард вистилає його внутрішню поверхню. Вони утворені сполучною тканиною, вкриті одношаровим епітелієм. Міокард, або власне серцевий м'яз, у різних частинах серця має різну товщину. Міокард шлуночків є товстішим за міокард передсердь, що добре видно на іл. 58. Це зумовлено тим, що шлуночки виконують більшу роботу з перекачування крові порівняно з передсердями. Особливо товстою є стінка лівого шлуночка (9–11 мм).

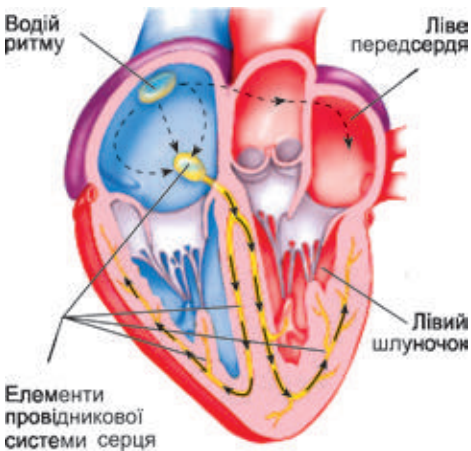
**Властивості серцевого м'яза.** Для серцевого м'яза властиві *збудливість, скоротливість, провідність*.

*Пригадайте з § 2, що означають ці поняття.*

**Збудливість міокарда.** Відомо, що серцева м'язова тканина має поперечну посмугованість (іл. 12 в) і її волокна щільно прилягають одне до одного. Це зумовлено наявністю клітинних контактів, через які збудження швидко поширюється на сусідні клітини й охоплює весь міокард. Унаслідок цього міокард скорочується. Скорочення серця відбувається за принципом «усе або нічого»: порогова сила подразника викликає максимальне скорочення всіх м'язових волокон серця («усе»), а сила подразника, менша за порогову, не спричиняє жодних дій м'язів («нічого»).

**Скоротливість міокарда** має свої особливості. У відповідь на подразнення виникає збудження, унаслідок якого спочатку скорочуються передсердя, потім — шлуночки. Це й забезпечує узгоджену роботу серця.

**ПОРОГОВА СИЛА ПОДРАЗНИКА** — це мінімальна сила подразнення, яка здатна викликати збудження.



Іл. 59. Провідникова система серця

**Провідність міокарда.** У міокарді, крім м'язових волокон, є особливі нетипові м'язові клітини, які втратили здатність скорочуватися, але зберегли здатність самозбуджуватися і проводити електричні імпульси. Збудження передається як по волокнах міокарда, так і по нетипових м'язових клітинах, які утворюють *провідникову систему серця* (іл. 59). Елементи провідникової системи серця розміщені в усіх його відділах.

Так, у стінці правого передсердя провідникові елементи представлені особливим вузлом, де виникає імпульс серцевого скорочення, частота якого становить 60–80 ударів за хвилину. Цей вузол називають *водієм ритму*. Від нього збудження

поширюється на інші елементи провідникової системи серця, що зумовлює скорочення міокарда. Здатність серця ритмічно скорочуватися без зовнішніх

подразників та участі нервової системи під впливом електричних імпульсів, що виникають у самому серці, називають автоматією серця.

**Кровопостачання серця.** Серце, забезпечуючи кров'ю весь організм людини, також потребує постійного надходження кисню та поживних речовин. Причому для нормальної діяльності воно має більшу потребу в цих речовинах, ніж інші органи людини. Обмін речовин у міокарді відбувається в 10–20 разів інтенсивніше, ніж у будь-якому іншому органі людини. Тому на живлення серця витрачається 20 % енергетичних ресурсів, які використовує організм. Кровопостачання серця здійснюється спеціальними *коронарними*, або *вінцевими, артеріями* (іл. 57). По коронарних артеріях за добу протікає в середньому 350 л крові.

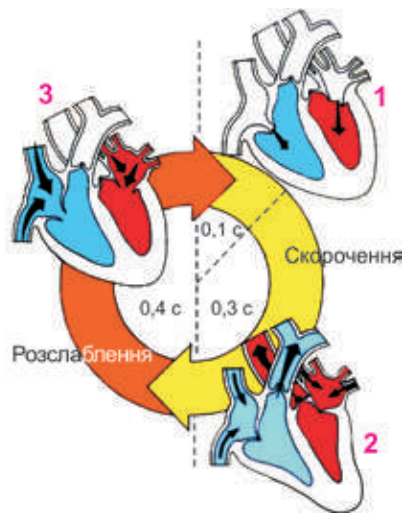
**Робота серця.** Передсердя і шлуночки серця можуть перебувати у двох станах: скороченому та розслабленому. Скорочення й розслаблення передсердь і шлуночків відбуваються в певній послідовності та строго узгоджені в часі.

Одне повне скорочення та розслаблення передсердь і шлуночків становить **серцевий цикл**. Тривалість серцевого циклу залежить від *частоти серцевого скорочення* (ЧСС). У нетренованої дорослої здорової людини в стані спокою вона становить 60–80 уд/хв. Відповідно час одного серцевого циклу менший за 1 с.

Розгляньмо роботу серця на прикладі одного серцевого циклу (іл. 60).

Іл. 60. Серцевий цикл:

- 1 — скорочення передсердь (стулкові клапани відкриті, півмісяцеві — закриті);
- 2 — скорочення шлуночків (півмісяцеві клапани відкриті, стулкові — закриті);
- 3 — загальне розслаблення передсердь і шлуночків (стулкові клапани відкриті, півмісяцеві — закриті).



Серцевий цикл починається зі скорочення передсердь, яке триває 0,1 с. За цей час кров з передсердь виштовхується до розслаблених шлуночків. Після цього настає скорочення шлуночків, яке триває 0,3 с.

Кров з лівого шлуночка виштовхується до аорти, а з правого — до легених артерій. Наступних 0,4 с весь серцевий м'яз перебуває у фазі загального





розслаблення. Період відпочинку (0,4 с) достатній для відновлення працездатності серцевого м'яза.

Таким чином, серцевий цикл триває 0,8 с і складається із трьох фаз: скорочення передсердь, скорочення шлуночків, загального розслаблення передсердь і шлуночків. Протягом серцевого циклу передсердя перебувають у розслабленому стані 0,7 с, а шлуночки — 0,5 с. Тому серцевий м'яз здатний працювати не втомлюючись протягом усього життя людини.

Під час кожного скорочення шлуночків в аорту виштовхується певна порція крові. Її об'єм у нормі становить 50–70 мл. За одну хвилину серце дорослої здорової нетренованої людини в стані фізичного та емоційного спокою за нормальної ЧСС перекачує 4,5–5,0 л крові. У цієї ж людини за фізичного навантаження кількість крові, що перекачується серцем за 1 хв, збільшується до 15,0–20,0 л. У спортсменів ця величина може досягати 30–40 л/хв. Систематичні тренування сприяють збільшенню маси та розмірів серця, підвищують його силу.



### **Кровообіг. Серце. Передсердя. Шлуночки. Властивості міокарда. Автоматія серця. Робота серця. Серцевий цикл**



Якщо пошкоджуються елементи провідникової системи серця (не генеруються і не поширюються належним чином електричні імпульси), виникають серцеві хвороби. Кардіологи навчилися запобігати таким збоєм: вони вишивають у серцевий м'яз електронний кардіостимулятор, який примушує серце скорочуватися в належному ритмі. Його імплантують пацієнтам з тяжкими симптомами, коли частота пульсу низька (менше 60 уд./хв) або ж коли потрібно сповільнити надто швидкий ритм серцебиття (понад 100 уд./хв).



Американські медики зробили унікальну операцію: їм вдалося оживити серце лабораторного щура, який здох за кілька днів до проведення досліду. Науковці для «відродження» серця використали стовбурові клітини. Метод полягає в модифікації структури й видаленні непридатних клітин серця таким чином, щоб основні структури міокарда залишалися неушкодженими. На думку авторів, у майбутньому за допомогою нового методу можна буде регенерувати серце людини. *Висловте своє ставлення до цього відкриття. Які перспективи для людства загалом та для кожної людини зокрема воно має?*



**1.** За іл. 57 схарактеризуйте будову серця. **2.** Які клапани є в серці? Де вони розміщені? Яке значення для роботи серця вони мають? **3.** Схарактеризуйте особливості будови серцевого м'яза. **4.** Які властивості притаманні міокарду? **5.** Яку роль відіграє автоматія серця в життєдіяльності організму? **6.** Що таке серцевий цикл? Схарактеризуйте його фази. **7.** Чому серце здатне невтомно працювати протягом усього життя людини? **8.** Поясніть взаємозв'язок будови та функцій серця.



**9. Розв'яжіть задачі.** 1. Виходячи з тривалості фаз серцевого циклу, визначте, скільки часу у 80-річної людини протягом життя відпочивали м'язи передсердь, шлуночків серця. 2. Серце нетренованої людини в стані спокою робить у середньому 72 уд./хв, виштовхуючи при цьому до аорти 50–70 мл крові, а в спортсмена таких скорочень буває лише 50. У який спосіб спортсмен покриває потреби в кисні за такої ЧСС?



10. У День святого Валентина (14 лютого) прийнято дарувати листівки-валентинки, на яких символічно зображене серце. Чому серце стало символом цього свята?

## § 21. Будова та функції кровоносних і лімфатичних судин. Лімфообіг

*Пригадайте, які типи кровоносних систем характерні для тварин. Як кров рухається по замкненій кровоносній системі хордових?*

Серце, як помпа, нагнітає кров до мережі кровоносних судин. У системі кровоносних судин розрізняють *артерії*, *вени* та *капіляри* (іл. 61).

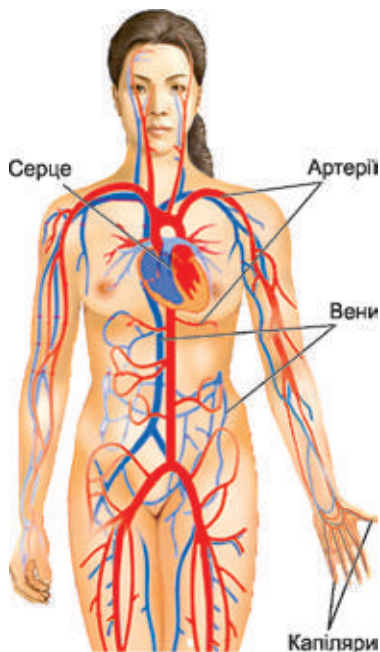
**Будова і функції кровоносних судин.** В артеріях кров рухається під великим тиском, який вони витримують завдяки будові своїх стінок. Стінки артерій є товстими, міцними й пружними. Здебільшого артерії розміщені глибоко під м'язами, що має захисне значення. Великі артерії, віддаляючись від серця, розгалужуються. Стінки артерій складаються із трьох шарів (іл. 62).

*Зовнішній шар* утворений сполучною тканиною. У ньому проходять нерви, що регулюють просвіт судин. *Середній шар* утворений непосмугованими м'язами та еластичними волокнами, які надають артеріям пружних властивостей. *Внутрішній шар* утворений шаром ендотеліальних клітин (плоскі за формою клітин подібні до епітеліальних).

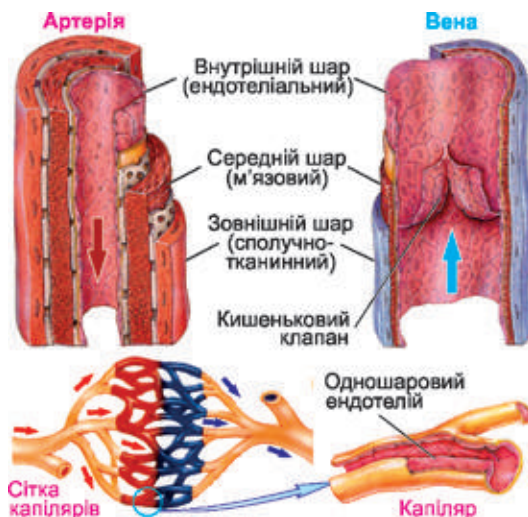
Найдрібніші артерії розпадаються на тонесенькі капіляри, стінки яких складаються з одношарового ендотелію. У кожному органі капіляри утворюють сітку (іл. 62).

Саме там кров віддає тканинам кисень, поживні речовини і забирає вуглекислий газ та інші продукти обміну. Артеріальна кров змінюється на венозну. Площа поперечного перерізу всіх капілярів тіла становить понад 5 000 м<sup>2</sup>.

Кров з капілярів надходить у вени, стінки яких тришарові.



Іл. 61. Кровоносна система людини



Іл. 62. Будова кровоносних судин



**АРТЕРІЇ** (від грец. *aer* [аер] — повітря; *tereō* [терео] — містити) — кровоносні судини, по яких кров рухається від серця до органів і тканин.

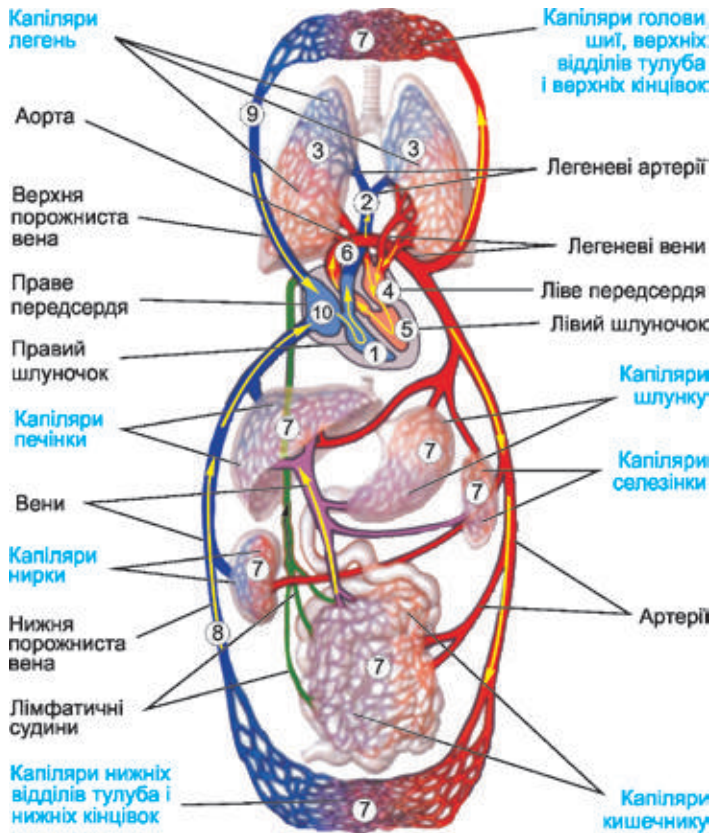
**ВЕНИ** (від лат. *vena* [вена] — судина, жила) — кровоносні судини, по яких кров рухається від органів і тканин до серця.

**КАПІЛЯРИ** (від лат. *capillaris* [капіляріс] — волосяний) — найдрібніші кровоносні судини в тканинах та органах.

На відміну від артеріальних стінок, вони містять мало м'язових волокон, тому менш пружні, але більш еластичні. Крім того, вени (за винятком порожнистих) мають кишенькові клапани, що перешкоджають зворотному рухові крові.

У людини, як і в наземних хордових, кров рухається по двох *колах кровообігу*: великому і малому.

**Велике коло кровообігу** (іл. 63). Під час скорочення лівого шлуночка (5) насичена киснем *артеріальна кров* виштовхується в аорту (6). З аорти кров рухається по артеріях, які далі від серця розгалужуються та переходять у капіляри (7). Через тонкі стінки капілярів кров віддає поживні речовини й кисень у тканинну рідину, а продукти життєдіяльності клітин і вуглекислий газ із тканинної рідини потрапляють у кров. З капілярів *венозна кров* рухається по дрібних венах, що зливаються в більші вени й упадають у нижню (8) і верхню (9) порожнисті вени. Порожністі вени приносять

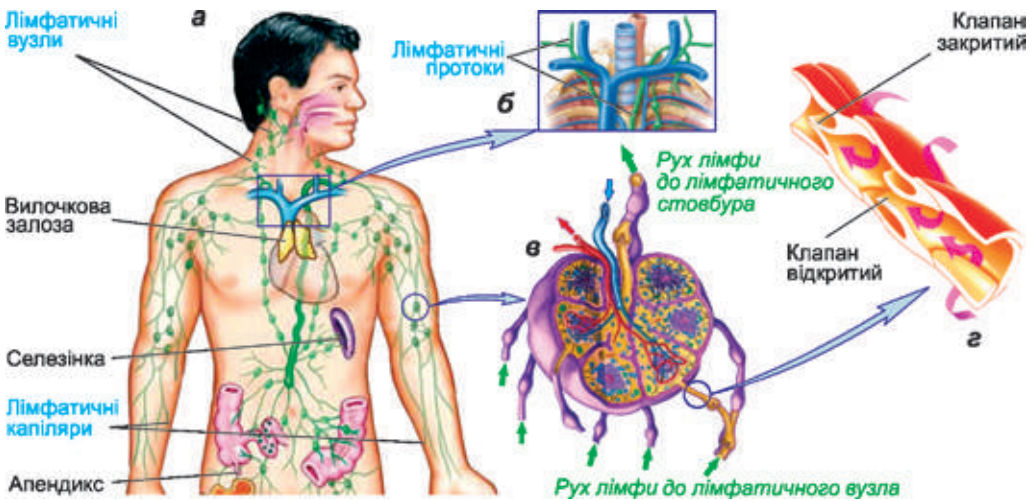


Іл. 63. Схема руху крові по кровоносній системі

кров від тулуба, нижніх кінцівок, органів черевної порожнини, голови, шиї, рук у праве передсердя (10), де закінчується велике коло кровообігу. Отже, шлях крові від лівого шлуночка до правого передсердя називають *великим колом кровообігу*. По всіх *артеріях* великого кола кровообігу тече *артеріальна кров*, а по венах — *венозна*.

**Мале коло кровообігу** (іл. 63). Із правого шлуночка (1) венозна кров надходить до легеневих артерій (2), які в легенях утворюють густу сітку капілярів (3), що обплітають легеневі міхурці. Венозна кров віддає вуглекислий газ, збагачується киснем і перетворюється на *артеріальну*. З легень артеріальна кров по легеневих венах повертається в ліве передсердя (4), у якому завершується мале коло кровообігу. Отже, шлях крові від правого шлуночка до лівого передсердя називають *малим, або легеневим, колом кровообігу*. В артеріях малого кола кровообігу тече *венозна кров*, а у венах — *артеріальна*.

**Будова й функції лімфатичних судин.** Відомо, що до серцево-судинної системи людини належить, крім кровоносної, лімфатична система (іл. 64). *Пригадайте, які органи належать до цієї системи та які функції вони виконують (§ 3).*



Іл. 64. Лімфатична система людини

Найдрібнішими судинами лімфатичної системи є *лімфатичні капіляри* — тонкостінні трубочки, що починаються в міжклітинному просторі, з'єднуються між собою й утворюють розгалужену сітку. Вони в організмі містяться всюди, за винятком головного та спинного мозку, хрящів, кришталика ока та деяких інших органів. Стінки лімфатичних капілярів, як і кровоносних, утворені одним шаром ендотеліальних клітин.

Але лімфатичні капіляри за діаметром більші, ніж кровоносні, тому великі молекули (білкові, жирові), які не можуть проникнути в кровоносні капіляри, легко надходять у лімфатичне русло.



Із сіток лімфатичних капілярів утворюються внутрішньоорганні відвідні *лімфатичні судини*, які, зливаючись і поступово збільшуючись у діаметрі, утворюють спочатку *лімфатичні стовбури*, а відтак — і дві *лімфатичні протоки* (іл. 64 а, б). За структурою лімфатичні судини нагадують вени — складаються із внутрішньої, середньої та зовнішньої оболонки; мають клапани, які перешкоджають зворотному рухові лімфи. У місцях розміщення клапанів утворюються звуження, завдяки чому судини мають характерну форму (іл. 64 г).

**Лімфообіг.** У лімфатичних капілярах утворюється лімфа. *Пригадайте її склад та функції.* По відвідних лімфатичних судинах лімфа тече в одному напрямку — від органа до лімфатичних вузлів — утворів округлої форми діаметра 0,5–25 мм (іл. 64 а, в).

В організмі людини нараховують понад 300 лімфатичних вузлів. Вони розміщуються по ходу лімфатичних судин у певних ділянках тіла групами (підколінні, пахові, бронхо-легеневі, підщелепні, шийні тощо). Протікаючи через лімфатичні вузли, лімфа збагачується лімфоцитами. *Пригадайте, що це за клітини і яку функцію вони виконують.* Лімфатичні вузли є біологічними фільтрами, які затримують та знешкоджують генетично чужорідні організми й речовини, що надходять із зовнішнього середовища або утворюються в самому організмі.

У лімфатичних вузлах відбувається зливання потоків лімфи від окремих органів певної ділянки тіла. З лімфатичних вузлів лімфа надходить у лімфатичні стовбури, а далі — у дві лімфатичні протоки, які біля ключиць впадають у вени кровоносної системи. Таким шляхом лімфа рухається по лімфатичних судинах і надходить у кровоносне русло.

У переміщенні лімфи важливу роль відіграють ритмічні скорочення стінок певних лімфатичних судин. У лімфатичних капілярах та відвідних лімфатичних судинах скелетних м'язів потік лімфи забезпечується скороченням цих м'язів.



**Кровоносні судини: артерії, вени, капіляри. Велике коло кровообігу. Мале коло кровообігу. Лімфатичні судини. Лімфатичні вузли. Лімфообіг**



**1.** Чим представлена серцево-судинна система людини? **2.** Які особливості будови кровоносних судин зумовлені їхніми функціями? **3.** За іл. 63 поясніть, як кров рухається по великому та малому колах кровообігу. **4.** Під час скорочення якої частини серця кров спрямовується в аорту? **5.** Якими судинами кров надходить до органів? **6.** Що відбувається в капілярах великого кола кровообігу? **7.** У яку частину серця кров надходить венами великого кола кровообігу? **8.** Яка кров міститься в легеневій артерії, а яка — у легеневій вені? **9.** Що відбувається з кров'ю в легеневих капілярах малого кола кровообігу? **10.** Які функції виконує лімфатична система? **11.** Поясніть особливості будови та функцій лімфатичних судин. **12.** Що таке лімфа? Схарактеризуйте рух лімфи в організмі людини.



13. Які ознаки подібності та відмінності в будові: а) артерій, вен і капілярів; б) кровоносних та лімфатичних судин? 14. У чому полягає взаємозв'язок кровоносної та лімфатичної систем?

## § 22. Рух крові по судинах. Пульс. Артеріальний тиск

*Пригадайте з курсу фізики, чим спричинений і від чого залежить тиск у рідині. У яких одиницях вимірюють тиск?*

**Рух крові по судинах.** Серце скорочується ритмічно, тому кров надходить до кровоносних судин порціями. Проте вона тече по кровоносних судинах безперервним потоком. Що ж забезпечує такий рух крові?

Непосмуговані м'язові волокна артерій, скорочуючись та розслаблюючись, звужують та розширюють їх і в такий спосіб регулюють потік крові в цих судинах. Еластичні волокна надають артеріям пружних властивостей. Пружність артерій має вагоме значення для руху крові. Лівий шлуночок під час скорочення виштовхує кров під великим тиском. При цьому стінки аорти розтягуються і вона вміщує всю кров, виштовхнуту шлуночком. Коли шлуночок розслаблюється, тиск в аорті знижується, а її стінки завдяки пружним властивостям дещо стискаються. При цьому кров з розтягнутої аорти проштовхується до артерій, хоча із серця в цей час кров не надходить. У такий спосіб забезпечується безперервний рух крові по судинах.

Руху крові по венах сприяють скелетні м'язи, які, скорочуючись і розслаблюючись, ритмічно стискають вени. Розтягнення порожнистих вен у грудній клітці під час вдиху також зумовлює рух крові по них до серця.

**Швидкість руху крові** залежить від різниці тисків і від площі поперечного перерізу кровоносного русла.

З курсу фізики вам відомо, що в нерозривних потоках нестисливих рідин добуток швидкості потоку ( $v$ ) на площу його поперечного перерізу ( $S$ ) є величиною сталою. Об'єм крові, що протікає за одиницю часу через судини, дорівнює добуткові швидкості руху крові на площу поперечного перерізу судин. Ця величина є однаковою для всіх частин кровоносної системи: скільки крові виштовхує серце в аорту, стільки її протікає через артерії, капіляри та вени й стільки ж повертається до серця.

Аорта має поперечний переріз  $4,5 \text{ см}^2$ , і швидкість руху крові тут найбільша — близько  $0,3\text{--}0,4 \text{ м/с}$ . У міру розгалуження артерій їх діаметр стає меншим, проте загальна площа поперечного перерізу всіх артерій зростає (до  $400 \text{ см}^2$ ) і швидкість руху крові зменшується (до  $4,0 \text{ мм/с}$ ). Загальна площа просвіту всіх капілярів у тисячу разів більша за площу поперечного перерізу аорти, а отже, швидкість кровотоку в капілярах у стільки ж разів повільніша, ніж в аорті ( $0,3 \text{ мм/с}$ ). Це має неабияке значення для організму. Саме завдяки повільному рухові крові в найменших кровоносних судинах встигає відбуватися обмін речовин (зокрема й газів) між кров'ю і міжклітинною рідиною.



Вени, на відміну від артерій, не розносять, а збирають кров від органів і несуть її до серця. На шляху від капілярів до серця їхня кількість і загальна площа поперечного перерізу зменшуються (від 700 см<sup>2</sup> до 10 см<sup>2</sup>), а швидкість руху крові зростає до 0,2 м/с.

**Пульс.** З курсу фізики відомо, що механічний поштовх спричиняє коливання, які поширюються. У кровоносній системі таким є серцевий поштовх. Він поширюється по артеріях у вигляді пульсової хвилі зі швидкістю 10 м/с. Амплітуда цієї хвилі залежить від сили серцевих скорочень, віддаленості від серця й пружності судин артерій.

Періодичні пульсуючі коливання стінок артерій, зумовлені скороченнями серця, називають **артеріальним пульсом**. Кожне таке коливання стінок артерій відповідає одному скороченню серця. Пульс дорослої нетренованої людини в стані спокою — 60–80 уд./хв. Показники пульсу є величиною змінною. Вони залежать від *зросту* людини (що вища людина, то нижчі показники пульсу), *віку* (пульс новонародженої дитини становить 120–140 уд./хв, у 16–18 років досягає норми), *статі* (у чоловіків пульс дещо нижчий, ніж у жінок), *тренуваності* організму (у тренуваних людей пульс може становити 50 уд./хв).

Основними властивостями пульсу є його *частота*, *ритмічність*, *напруженість*, *висота* й *наповнення*. Це має важливе діагностичне значення — можна виявити порушення кровотоку та інші патологічні зміни в організмі (наприклад, за високого артеріального тиску пульс стає «твердим», а за низького — «м'яким»). У нормі пульс добре прослуховується — він пружний, ритмічний, рівномірний за наповненням. За пульсом визначають ритмічність, частоту й силу серцевих скорочень, що є важливими фізіологічними показниками здоров'я людини. Пульс легко прощупується пальцями в ділянках тіла, де артерії підходять до поверхні тіла — на внутрішньому боці зап'ястка, по боках шиї тощо.

### Тема. Вимірювання частоти серцевих скорочень.

#### Лабораторне дослідження

**Мета:** навчитися вимірювати частоту серцевих скорочень (ЧСС).

**Обладнання:** секундомір.

*Хід дослідження*

*Пам'ятайте! Частоту серцевих скорочень потрібно визначати лише після 5 хв відпочинку.*



Знаходження пульсу

1. Знайдіть пульс у себе на променевої артерії. Для цього покладіть вказівний і середній пальці на внутрішню поверхню руки перед зап'ястком з боку великого пальця (див. іл.). Потренуйтеся швидко знаходити пульс.

2. Користуючись секундоміром, підрахуйте пульсові удари впродовж 15 с. Цей показник помножте на 4 і визначте ЧСС за 1 хв.

3. Повторіть вимірювання ЧСС ще двічі. Знайдіть середній показник.
4. Виявіть, на яких ділянках тіла, крім зап'ястка, можна проводити вимірювання ЧСС.
5. Зробіть висновок про особливості вимірювання пульсу та його властивостей.

**Артеріальний тиск.** Серце, виштовхуючи кров у кровоносні судини для її просування по кровоносній системі, створює **кров'яний тиск**. Вимірюється кров'яний тиск, як і атмосферний, у міліметрах ртутного стовпчика (мм рт. ст.). В аорті тиск найвищий — 110–130 мм рт. ст. З рухом крові по артеріях тиск поступово знижується до 100–120 мм рт. ст. Значне зниження тиску (до 20 мм рт. ст.) відбувається в найдрібніших артеріях і капілярах. У венах кров'яний тиск продовжує поступово знижуватись, і в порожнистих венах він практично сягає нуля. Завдяки різниці тиску кров тече з ділянки вищого тиску до ділянки нижчого.

Кров'яний, або артеріальний, тиск людини, залежно від фаз серцевого циклу, має два показники: *максимальний тиск у момент скорочення серця* і *мінімальний тиск у момент розслаблення серця*. Показником артеріального тиску людини є співвідношення цих показників (наприклад, 120/80 мм рт. ст.). Нормальний максимальний тиск у момент скорочення серця становить 120–130 мм рт. ст., а мінімальний тиск у момент розслаблення серця — 80–85 мм рт. ст.

У здорової людини величина тиску підтримується на відносно постійному рівні, оскільки кровоносні судини в нормі перебувають у *тонусі* (від грец. *tonos* [тонос] — напруження). У результаті порушення нейрогуморальної регуляції судинного тону, негативної дії чинників зовнішнього середовища тону кровоносних судин порушується.

Якщо тону кровоносних судин збільшується, то вони звужуються і тиск у кровоносній системі підвищується. Такий стан підвищеного кров'яного тиску (вище від 140/90 мм рт. ст.) називають *артеріальною гіпертензією*, або *гіпертонією*.

Якщо тону зменшується, судини розширюються, кров'яний тиск відповідно знижується. Зниження кров'яного тиску до 90/50 мм рт. ст. унаслідок зменшення тону кровоносних судин називають *артеріальною гіпотензією*, або *гіпотонією*.

Кров'яний тиск залежить від таких чинників: кількості крові в циркулюючому руслі (якщо втрачається кров — її об'єм зменшується, тиск знижується); сили і частоти серцевих скорочень; ступеня напруження стінки артерій (судинного тону).

**Регуляція кровообігу.** Однією з основних функцій нейрогуморальної регуляції кровообігу є підтримання постійного кров'яного тиску. Ця регуляція здійснюється рефлекторно. Головна роль належить нервовій системі (центр регуляції діяльності судин міститься в довгаستому мозку). Деякі біологічно





активні речовини, що виділяються в кров (адреналін, норадреналін, ацетилхолін), а також зміни в йонному складі тканинної рідини здійснюють гуморальну регуляцію кровообігу.



## Рух крові по судинах. Швидкість руху крові. Пульс. Вимірювання частоти серцевих скорочень. Артеріальний тиск



Основним методом виявлення змін артеріального тиску є метод, запропонований на початку ХХ ст. Для вимірювання артеріального тиску використовують спеціальний прилад тонометр, який складається з манжети, пристрою для нагнітання повітря в манжету та манометра для вимірювання тиску в манжеті. Крім того, тонометр оснащений або фонендоскопом, або електронним пристроєм для реєстрації пульсації повітря в манжеті. Метод ґрунтується на перетисканні манжетою плечової артерії та вислуховуванням звуків, які виникають за повільного випускання повітря з манжети. Сьогодні використовують як манометричні, так і цифрові апарати. Серед манометричних тонометрів розрізняють ртутні та механічні.



Тонометри: 1 — ртутний; 2 — механічний; 3 — цифровий



1. Завдяки чому кров рухається по судинах? 2. Яка швидкість руху крові: а) в аорті; б) у венах; в) у капілярах? 3. Від чого залежить швидкість руху крові в різних судинах кровоносної системи? 4. У чому полягають особливості руху крові по венах? 5. Що таке перерозподіл крові в організмі? 6. Що таке пульс? На яких ділянках тіла і для чого його вимірюють? 7. Якими властивостями характеризується пульс? 8. Що таке кров'яний тиск? 9. Як змінюється кров'яний тиск у різних ділянках кров'яного потоку? 10. Що таке тонус кровоносних судин? 11. У чому полягає практичне значення визначення частоти пульсу?



12. Чим забезпечується безперервність потоку крові? Відповідь аргументуйте. 13. Завдяки яким особливостям кровотоку можливий перерозподіл крові в організмі?



14. Розгляньте ніготь великого пальця руки. Якого він кольору? Натисніть на нього. Якого кольору він набув? Чому? Якщо натиснення припинити, ніготь знову набуває попереднього кольору. Чому?

### Дослідницький практикум

**Тема:** Самоспостереження за частотою серцевих скорочень упродовж доби, тижня.

**Мета:** дослідити зміну ЧСС під впливом навантажень; установити залежність ЧСС від стану організму та обґрунтувати значення показників ЧСС для оцінки стану здоров'я.

**Матеріали:** блокнот, ручка, секундомір.

*Хід дослідження*

1. Проводьте вимірювання частоти серцевих скорочень (підрахунок пульсу) впродовж тижня в той самий час у певні періоди доби.

2. Дані вимірювань занесіть до *таблиці 1*:

Таблиця 1

Період доби Дні тижня	Вранці після пробудження, не встаючи з ліжка	Після виконання процедур ранкового туалету	Під час ігор на великій перерві в школі або активного відпочинку	Після обіду — по завершенні прийому їжі	Після вечірньої прогулянки	Перед нічним сном
понеділок						
вівторок						
середа						
четвер						
п'ятниця						
субота						
неділя						

3. Порівняйте отримані показники. Як ЧСС змінюється впродовж одного дня? Чому?

4. Як змінюється ЧСС в ті самі години впродовж тижня? Які причини цього?

5. Визначте періоди, коли виявлені найвищі та найнижчі значення ЧСС. Пригадайте, з якими подіями вони пов'язані.

6. Порівняйте величину вимірної ЧСС із показниками ЧСС у нормі для вашої статево-вікової групи. Чи відрізняється величина вимірної ЧСС від норми і про що вона свідчить?

7. Якщо показники ЧСС в стані спокою впродовж тижня є стабільними, оцініть стан свого здоров'я на основі аналізу даних *таблиці 2*.

8. Зробіть висновок про залежність ЧСС від стану організму та її значення для оцінки стану свого здоров'я.

Таблиця 2

ЧСС, уд./хв	Стан здоров'я та рекомендації для запобігання захворюванням
Менше 45	Свідчить про серцеву блокаду, яка може бути наслідком сильної слабкості, хронічної втоми, патологічного порушення кровотоку. <i>Потрібно звернутися до лікаря-кардіолога.</i>
46–59	Часто є ознакою зниженої функції щитоподібної залози. <i>Слід пройти обстеження в лікаря-ендокринолога.</i>
60–80	Показник нормального фізіологічного стану організму. Ви в належній фізичній формі. <i>Підтримуйте її здоровим способом життя.</i>
81–100	Може свідчити про артеріальну гіпертензію. Потрібно регулярно вимірювати АТ. <i>Якщо тиск буде 140/90 мм рт. ст. і вищим, потрібно звернутися до кардіолога.</i>
Понад 100	Часто є ознакою підвищеної функції щитоподібної залози. <i>Необхідно пройти обстеження в ендокринолога.</i>

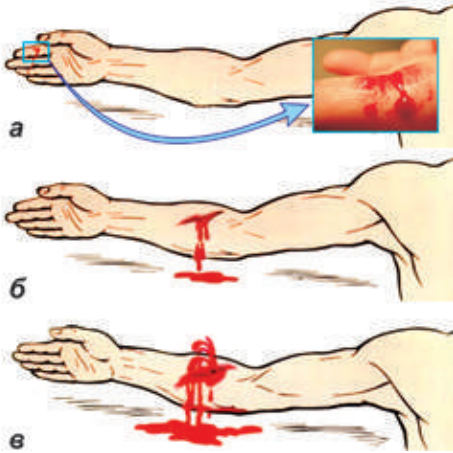
## § 23. Кровотечі. Серцево-судинні хвороби та їх профілактика

*Пригадайте з курсу «Основи здоров'я», як спосіб життя людини впливає на її серцево-судинну систему.*

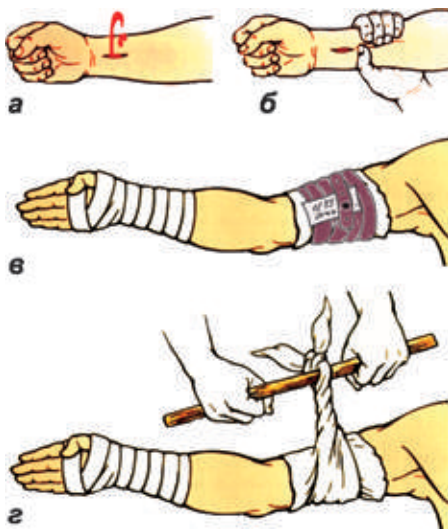
**Кровотечі, правила надання першої допомоги.** За ушкодження кровонесних судин унаслідок травми, руйнування стінок судин за певних хвороб



виникають **кровотечі**. Утрата крові призводить до зниження кров'яного тиску, порушення постачання киснем головного мозку, серця, інших органів. Смертельною для людини є втрата 2,0–2,5 л крові. *Пригадайте, який об'єм крові в людини.*



Іл. 65. Кровотечі: а — капілярна; б — венозна; в — артеріальна



Іл. 66. Зупинка артеріальної кровотечі: а — ушкодження променевої артерії; б — тимчасова зупинка кровотечі притисненням артерії; в — зупинка кровотечі за допомогою джгута; г — зупинка кровотечі за допомогою закрутки

і накладити джгут (іл. 66 б, в). Щоб не ушкодити шкіру, його накладають поверх одягу або іншої м'якої тканини. Коли джгута немає,

Залежно від типу ушкоджених судин розрізняють *капілярні, венозні, артеріальні* кровотечі.

**Капілярні кровотечі** (іл. 65 а) виникають навіть за незначного ушкодження тканин. Оскільки кров по капілярах рухається повільно та під невеликим тиском, то капілярні кровотечі не спричиняють значної втрати крові, їх легко зупинити. Основним правилом надання першої медичної допомоги за таких кровотеч є знезараження рани (наприклад, йодною настоянкою) і накладання на неї марлевої пов'язки.

**Венозні кровотечі** (іл. 65 б) виникають за ушкодження вен. У венах кров тече швидше, тому такі кровотечі призводять до значних втрат крові. За венозної кровотечі кров витікає рівномірно і має темний колір. Для її зупинки необхідно накладити тугу пов'язку, а за ушкодження великих вен — джгут, розміщуючи його *нижче* від місця пошкодження.

**Артеріальні кровотечі** (іл. 65 в) є найнебезпечнішими, оскільки в артеріях кров тече під великим тиском та зі значною швидкістю.

Артеріальну кровотечу розпізнають за яскраво-червоним забарвленням крові, що виривається з рани фонтаном (іл. 65 в, 66 а). За артеріальної кровотечі необхідно швидко притиснути пальцем ушкоджену судину (*вище* від

можна скористатися ременем, краваткою, хусткою тощо. Для цього між тканиною і тілом вставляють міцну паличку й закручують тканину до зупинки кровотечі (іл. 66 г). Після цього потерпілого негайно доправляють до лікарні. Джгут чи закрутку не можна залишати більш як на 1,5 год, щоб не спричинити змертвіння тканин. До джгута чи закрутки прикріплюють записку про час їх накладання. Якщо є потреба залишити джгут на більш як 1,5 год, то пальцем притискають артерію вище від рани й послаблюють джгут на 5–10 хв.

Надзвичайно небезпечними є **внутрішні кровотечі** (у черевну порожнину, порожнину грудей, черепа). Виявити їх можна за зовнішнім виглядом людини. Вона блідне, виступає липкий холодний піт, дихання стає поверхневим, пульс частішає і слабне.

До прибуття швидкої медичної допомоги потерпілого кладуть і забезпечують цілковитий спокій. До ймовірного місця кровотечі прикладають холодний компрес.

**Серцево-судинні хвороби та їх профілактика.** В усіх країнах світу серцево-судинні хвороби посідають за кількістю причин смерті перше місце. В Україні кожний четвертий громадянин працездатного віку має серцево-судинне захворювання. За поширеністю в структурі серцево-судинних хвороб перше місце серед дорослих та підлітків посідає гіпертонічна хвороба — 44 %, потім — ішемічна хвороба серця — 34 % та судинно-мозкові хвороби (зокрема інсульти) — 14 %. За показниками смертності від цих захворювань Україна посідає в Європі ганебне перше місце.

Коротко схарактеризуємо серцево-судинні хвороби. **Гіпертонічна хвороба** — патологічний стан серцево-судинної системи, який характеризується артеріальною гіпертензією, змінами в серці, нирках, центральній нервовій системі. Суб'єктивними проявами хвороби є головний біль, запаморочення, біль у ділянці серця, зниження гостроти зору, напади задухи, набряки ніг тощо. **Ішемічна хвороба серця** — патологічний стан серця, що характеризується порушенням кровопостачання серцевого м'яза внаслідок враження його коронарних артерій. **Стенокардія** — хвороба, причиною якої є звуження коронарних судин, які живлять серце і постачають його киснем. Ознаки — біль, відчуття стиснення за грудиною або в ділянці серця. **Гострий інфаркт міокарда** характеризується омертвінням ділянки міокарда, що виник унаслідок недостатності кровопостачання в цій ділянці. Ознаки: стискуючий, пекучий біль, який наче сковує грудну клітку, «відає» в різні частини тіла, поява задухи тощо.

До інших поширених хвороб серця належать **аритмії** (порушення ритму й провідності серця), **міокардити** (вірусні, інфекційні, паразитарні ураження міокарда) тощо. **Інсульт** — гостре порушення мозкового кровообігу, що призводить до ушкодження тканин мозку, сильного головного болю, непритомності, втрати мови, чутливості, може виникнути параліч. За нерациональ-



ного харчування, куріння та нервових напружень у стінках кровоносних судин відбуваються зміни. Переважно в місцях розгалужень артерій на стінках судин осідає органічна речовина — *холестерин*, у зв'язку з чим вони втрачають еластичність. На холестерин осідають солі Кальцію. Цей процес називають склерозуванням судин. Розвивається хвороба — *атеросклероз*.

Поширеною серед хвороб судин є і *дистонія* — порушення тонуусу судин, у результаті чого порушується кровообіг. З'являється головний біль, стомлюваність. Найчастіше причинами дистонії є неврози та низька фізична активність.

*Варикозне розширення вен* — хвороба, що проявляється нерівномірним розширенням вен. Сприяють виникненню цього захворювання вроджена слабкість венозних стінок і неповноцінність їхніх клапанів. Варикозне розширення вен часто призводить до *тромбофлебиту* — запалення стінки вени з утворенням тромбу.

**Чинники, що призводять до серцево-судинних хвороб (іл. 67).** *Високий артеріальний тиск* — основний чинник виникнення багатьох патологічних станів і хвороб серцево-судинної системи.



Іл. 67. Чинники розвитку серцево-судинних хвороб

Іншим чинником ризику розвитку серцево-судинних хвороб є *гіподинамія*, виникнення якої в сучасних умовах частішає, зокрема, у зв'язку з поліпшенням побутових умов, зростанням ролі сучасних засобів комунікації (мобільний зв'язок, телебачення, комп'ютерні мережі), пасивним проведенням дозвілля тощо.

До чинників ризику розвитку серцево-судинних хвороб належить і *надлишкова маса тіла*. Визначальним у її виникненні, а також для розвитку артеріальної гіпертензії є *нераціональне харчування*. Простежена залежність між збільшенням маси тіла та підвищенням артеріального тиску, вмістом холестерину та глюкози в крові.

Ступінь ризику розвитку серцево-судинних хвороб збільшується через високий вміст жирів у їжі, через надмірне вживання калорійних страв, цукру та солі. Зниженню ризику сприяє достатнє вживання складних вуглеводів і харчової клітковини, вітамінів, мінералів.

До чинників ризику розвитку серцево-судинних хвороб належать *шкідливі звички* — куріння, уживання алкоголю та наркотичних речовин. Алкоголь отруює міокард, пошкоджуючи мембрани та інші структури клітин, змінює стінки кровоносних судин. Міокард, одержуючи недостатню кількість кисню й поживних речовин, поступово перероджується і замінюється спо-