

ЛЕКЦІЯ №10

з курсу «Фізіологічна екологія» на тему: **«ЕКОЛОГО-ФІЗІОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА СЕРЦЕВО-СУДИННОЇ СИСТЕМИ»**

Викладач курсу: доцент кафедри
фізіології, імунології і біохімії з курсом
цивільного захисту та медицини
Григорова Наталя Володимирівна

ПЛАН

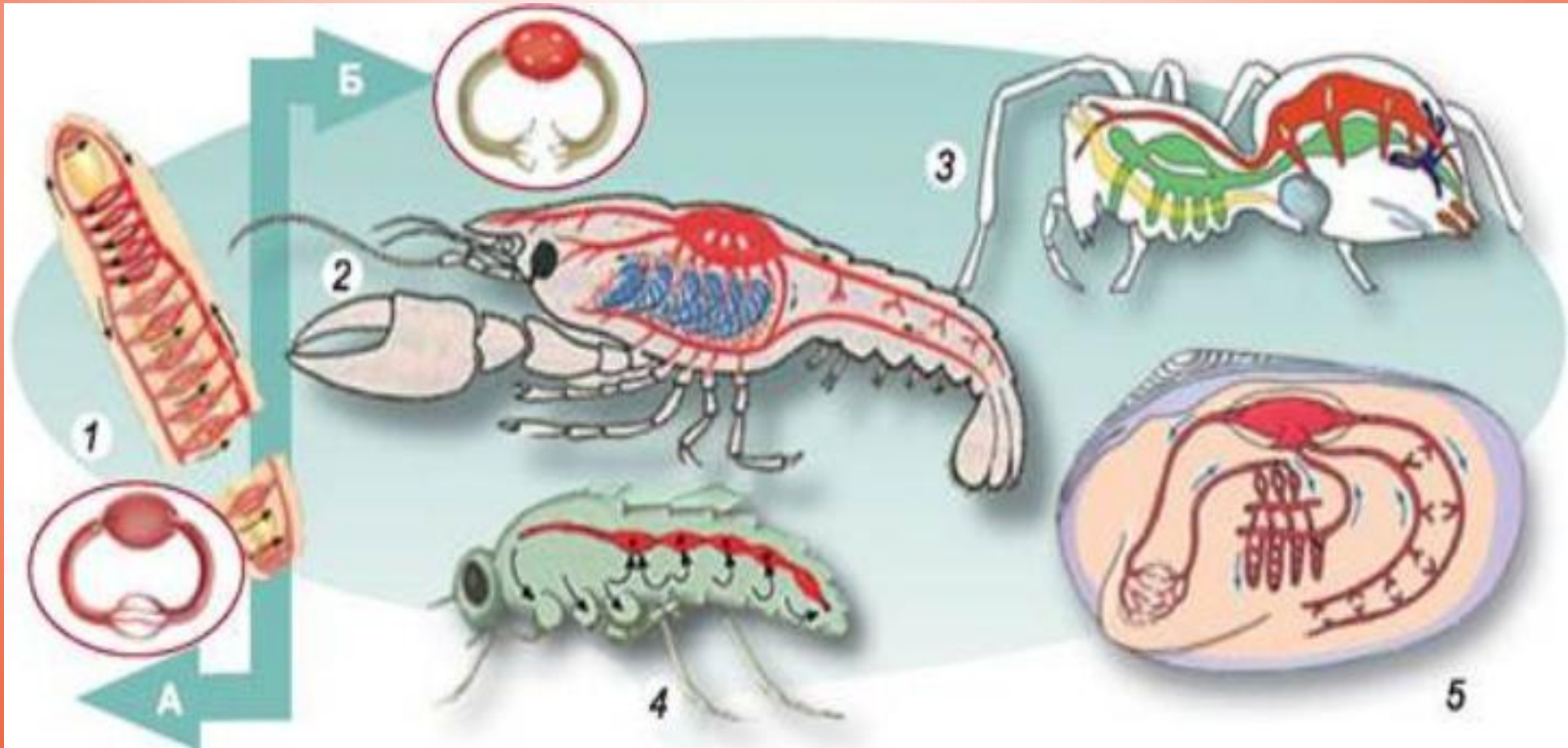
1. Еволюція кровоносної системи.
2. Кровоносна система вищих безхребетних.
3. Кровоносна система риб.
4. Кровоносна система амфібій.
5. Кровоносна система рептилій.
6. Кровоносна система птахів.
7. Кровоносна система ссавців.
8. Адаптація до м'язової діяльності.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Гончаренко М. С., Бойчук Ю. Д. Екологія людини : підручник. Суми : Університетська книга. 2023. 400 с.
2. Екологічна фізіологія людини : навч. посіб. для студентів спеціальності 091 Біологія, освітньо-професійних програм Біологія, Лабораторна діагностика / укладачі : Т. Ф. Поручинська, І. Ф. Пасичнюк, А. І. Поручинський. Луцьк : ВНУ імені Лесі Українки, 2021. 272 с.
3. Мазуркевич А. Й., Карповський В. І., Камбург М. Д., Федорук І. С. Фізіологія тварин. Вінниця : Нова книга, 2012. 424 с.
4. Медична фізіологія за Ґайтоном і Голлом [Текст = Guyton and Hall. Textbook of Medical Physiology : підруч.: пер. з англ. 14-го вид. : у 2 т. / Дж. Е. Голл, М. Е. Голл ; наук. ред. пер.: К. Тарасова, І. Міщенко. Київ : ВСВ Медицина, 2022. Т. 1. 634 с.
5. Пашко К. О., Кашуба М. О., Лотоцька О. В. Гігієна та екологія : підручник. Терновіль : Укрмедкнига, 2022. 528 с.
6. Фізіологія : підруч. для студ. вищ. мед. навч. закл. IV рівня акредитації / за ред. В. Г. Шевчука. 5-те вид. Вінниця : Нова книга, 2021. 448 с.

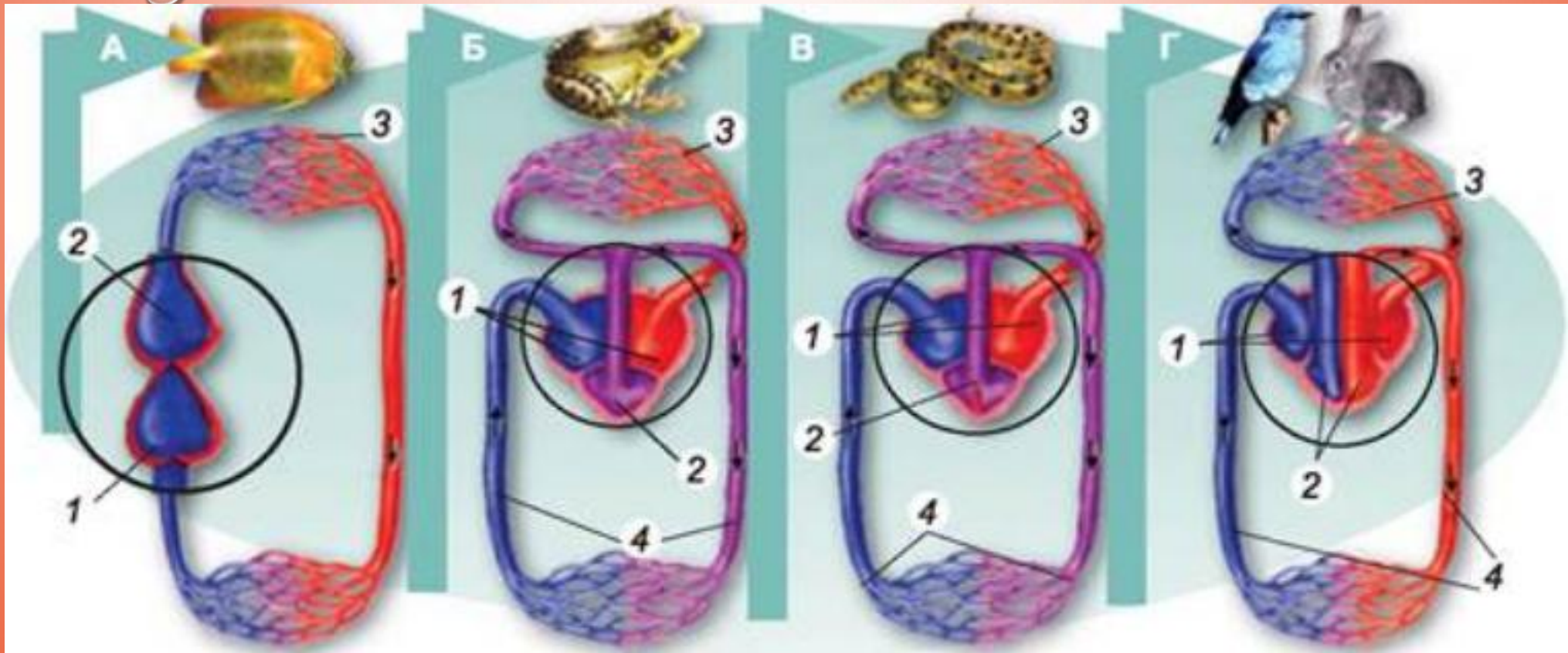
1. Еволюція кровоносної системи

Судинна система вперше з'явилася у багатьох організмів **650 млн років назад** у вигляді однієї судини, розташованої поруч і уздовж кишкової трубки та відкритої у міжклітинний простір. Внутрішньосудинна рідина, гемолімфа, безбарвна та містила лише фагоцити і течія її залежала від скорочення стінки судини та руху самої тварини. Така система сприяла переносу дихальних газів у системі поверхня тіла – клітини тіла. **580 млн років назад** у голкошкірих і молюсків збільшується кількість магістральних судин, в органах розвиваються замкнені через сітки капілярів судинні русла (членистоногі). Певні ділянки судин мають виражену скоротливість, причому кількість таких ділянок зменшується, а потужність їх збільшується. У крові починають циркулювати клітини, що переносять кисень, – **430 млн. років назад**, коли концентрація O_2 в атмосфері досягла 10% сучасної, кровоносна система у вищих тварин, тоді вже хребетних, придбала риси, притаманні й зараз мешкаючим видам (риби): замкнена, крововмісна система судин (лімфатична система відокремилась у самотійну) з одним двокамерним серцем (венозний синус, передсердя, шлуночок, іноді артеріальний конус), здібним створювати тиск, достатній для проходження крові по двом-трьом послідовно сполученим руслам, які мають капіляри.



Типи кровоносних систем безхребетних тварин: А. Замкнена в кільчастих червів (1). Б. Незамкнена в: 2 - ракоподібних; 3 - павукоподібних; 4 - комах; 5 – молюсків.

Подальше удосконалення ССС відбувалось за рахунок розширення ємності капілярних судинних руслів, збільшення швидкості кровообігу й підвищення в зв'язку з цим і іншим потужності серця. Вищі наземні хребетні (рептилії – **320 млн. років назад**) мають вже два двокамерні серця, поєднані загальною мускулатурою та єдиним ритмом скорочення. Одне серце переміщує венозну кров через дихальні органи – легені; інше (більш міцне) – артеріальну кров через інші органи тіла. Така система має менший опір, і у неї з'являються різні структурно-функціональні перебудови стінок артерій і вен у зв'язку з різницею у величині гідростатичного тиску в судинах, яка виникла при виході з води. Ці судини розташовані вище й нижче рівня серця.



Типи кровоносних систем хребетних тварин: А. Риби мають двокамерне серце, яке складається з передсердя (1) та шлуночка (2), від якого кров прямує до зябер (3). Б. В. Амфібії та рептилії мають трикамерне серце, яке складається з двох передсердь (1) та одного шлуночка (2). Від шлуночка кров по малому колу кровообігу (3) прямує до легень (в амфібій - і до шкіри), а по великому (4) - до інших органів. Г. Птахи та ссавці мають чотирикамерне серце, яке складається з двох передсердь (1) та двох шлуночків (2). Їм також властиві два кола кровообігу: мале (3) та велике (4).

2. Кровоносна система вищих безхребетних

У вищих молюсків на відміну від їх просто побудованих дрібних сородичей майже замкнена кровоносна система (капіляри знаходяться в зябрах, м'язах, шкірі) з відносно невеликим об'ємом циркулюючої крові, за величиною близьким до об'єму крові хребетних. Так, у восьминога він дорівнює 6%. Кров головоногих молюсків містить розчинений у плазмі мідьвмісний пігмент – гемоціанід. 100 мл артеріальної крові міститься 3-4 мл O_2 . Кровотік у восьминогів здійснюється завдяки скороченню трьох сердець. Головне серце складається з двох-чотирьох (по кількості зябер) передсердь і одного шлуночка. Кількість крові, що виштовхується шлуночком серця за 1 хв – **хвилинний об'єм серця** (ХОС), – у цих тварин досягає величин, подібних до величин ХОС у риб (0,7-3,2 [мл/хв x 100 г]).

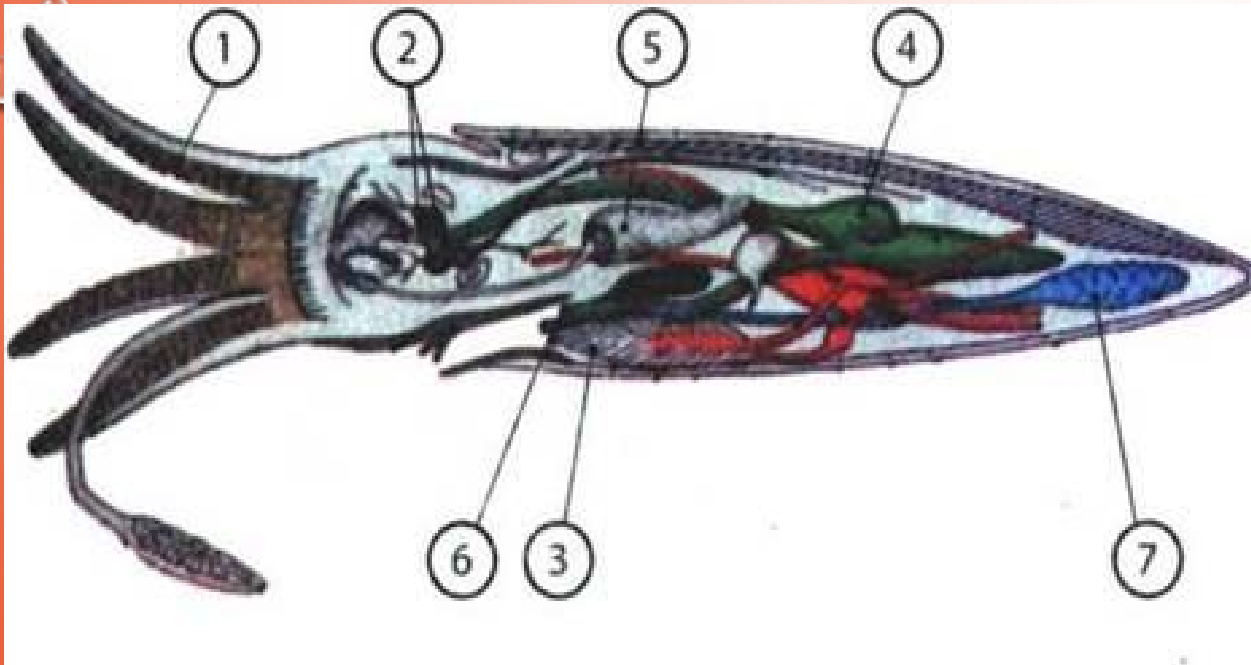


Схема внутрішньої будови кальмара:

1 – щупальці; 2 – мозок; 3 – зябра; 4 – **серце**;
5 – шлунок; 6 - анальний отвір; 7 - статеві залози.

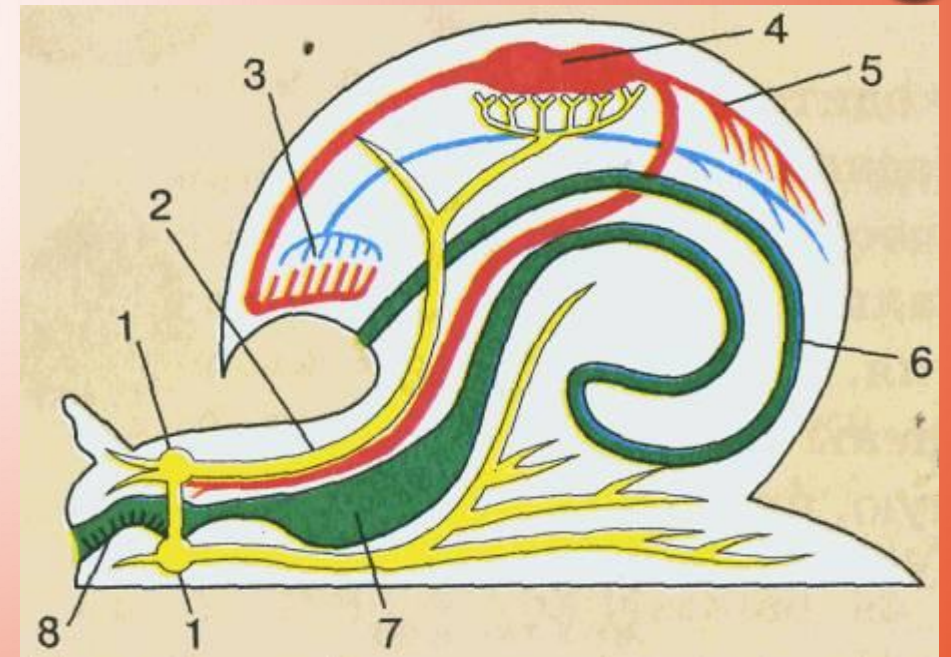
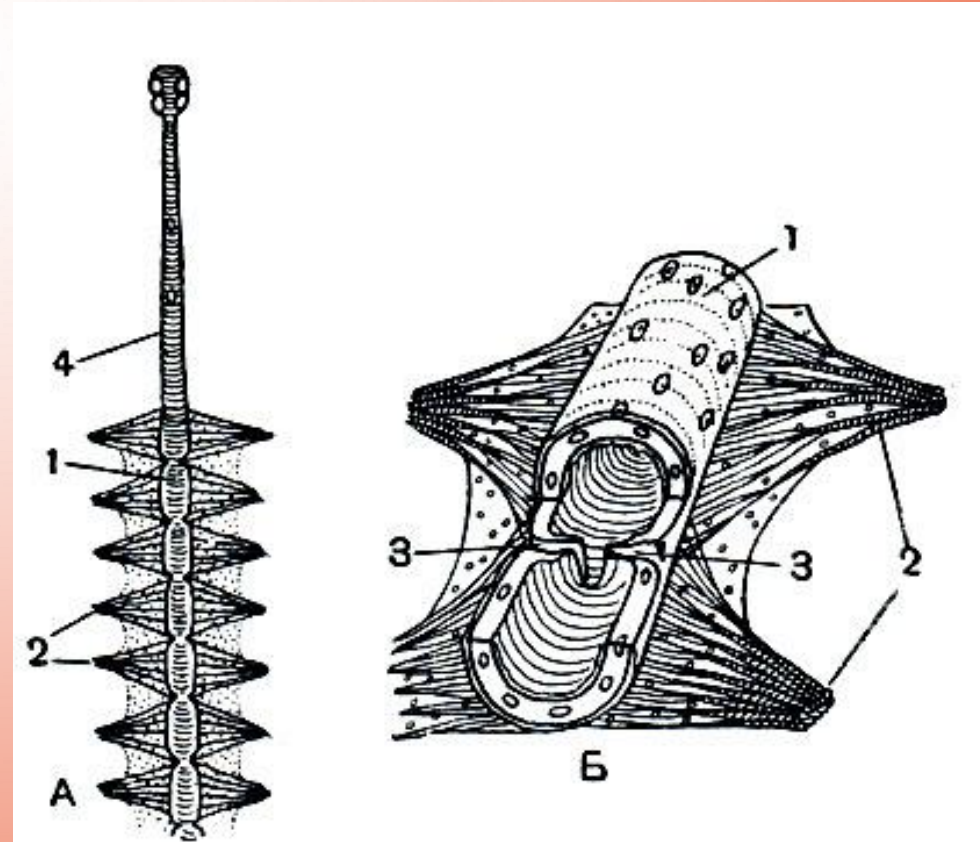
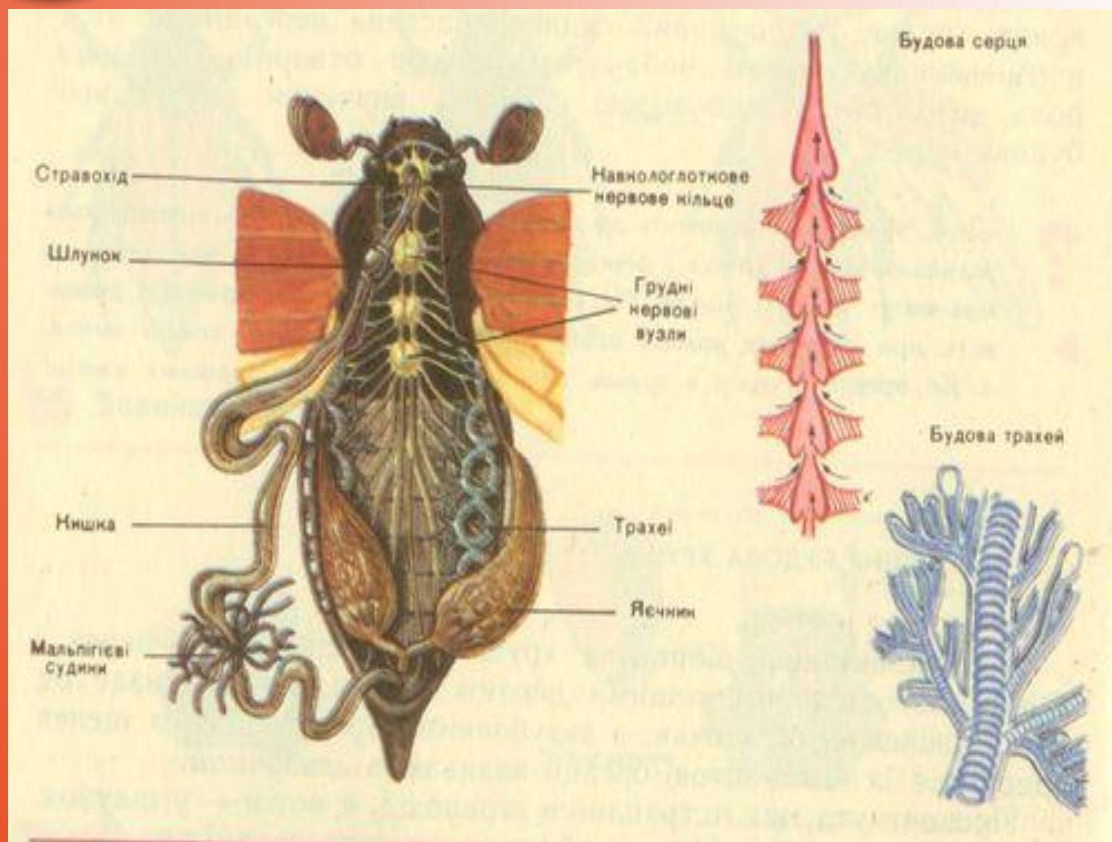


Схема внутрішньої будови равлика:

1 – нервові вузли; 2 – нерви;
3 – легеня, 4 – **шлуночок** і **передсердя**; 5 – целом, 6 – кишка,
7 – шлунок; 8 – глотка.

- У порівнянні зі своїми членистоногими морськими предками, що мали досить розвинену кровоносну систему, звичайно замкнену у дихальних органах, у літаючих комах судинна система значно редукована, майже не несе функцій переносу дихальних газів, які надходять через дихальця, а транспортує поживні речовини, виносить продукти обміну і розподіляє по тілу хімічні регулятори обміну. Вона складається з однієї спинної судини (**серця**), пронизаної отворами (**остіями**), котрі при скороченні серця закриваються, й гемолімфа спрямовує через аорту до передньої частини тіла й до головного мозку, де виливається в міжклітинні щілини. Під час діастолі серце додатково розтягується в боки **крилоподібними м'язами**, й гемолімфа через остії потрапляє в його порожнину. Об'єм циркулюючої рідини може досягати 30% і більше, ХОС – 0,8 -1,6 [мл/хв x 100 г].



Кровоносна система комах: А - спинна судина (серце) зверху; Б - ділянка спинної судини в розрізі; 1 - судина; 2 - крилоподібні м'язи; 3 - остії; 4 - аорта.

3. Кровоносна система риб

- Серце риб двокамерне, вагою від 0,06% до 4,05% ваги тіла. Розмір серця добре корелює з руховою активністю та з розмірами тіла, збільшуючись у рухливих крупних видів.

Кількість циркулюючої крові у хрящових риб дещо вища, ніж у кісткових: 5-7% і 2-4%, причому в тих і інших еритроцити займають однаковий об'єм: 1 – 2%. Кровоносне русло в зябрах подібне за своєю будовою до кровоносного русла в легенях хребетних. Як і в легенях, у зябрах є щільно упакована сітка капілярів, яка займає 60-80% поверхні зябрової пластинки. Кровопотік у зябрових капілярах спрямований у бік, протилежний течії води між пластинками. Така противоточна система забезпечує найбільш повну дифузну рівновагу дихальних газів між кров'ю та водою. Під час пришвидшеного плавання, коли потреба в O_2 збільшена, або при нестачі в середовищі O_2 дихання риби пришвидшується – й потік води через зябра збільшується, в результаті чого екстракція O_2 з води стає більш повною.

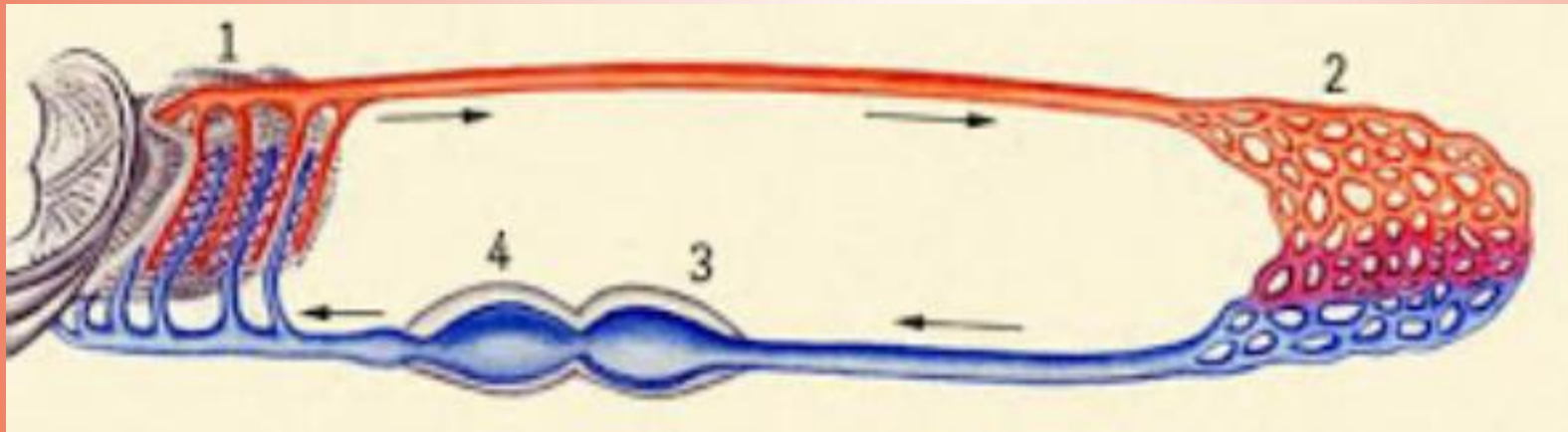
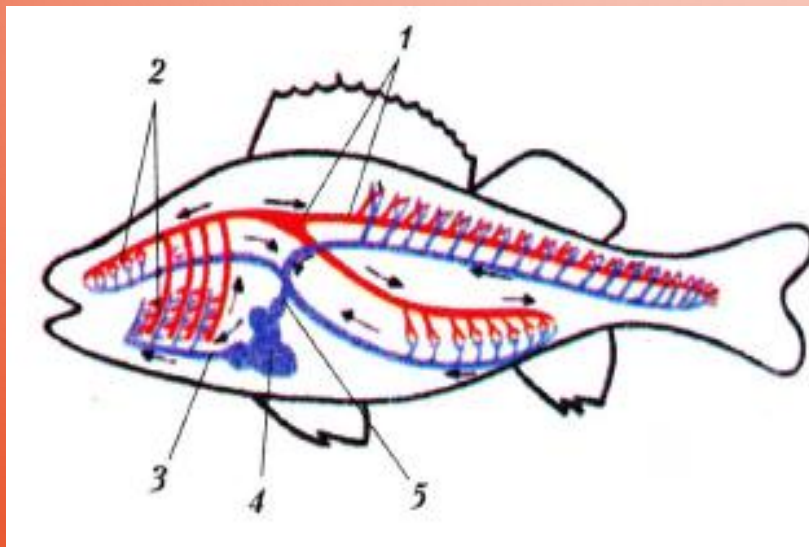
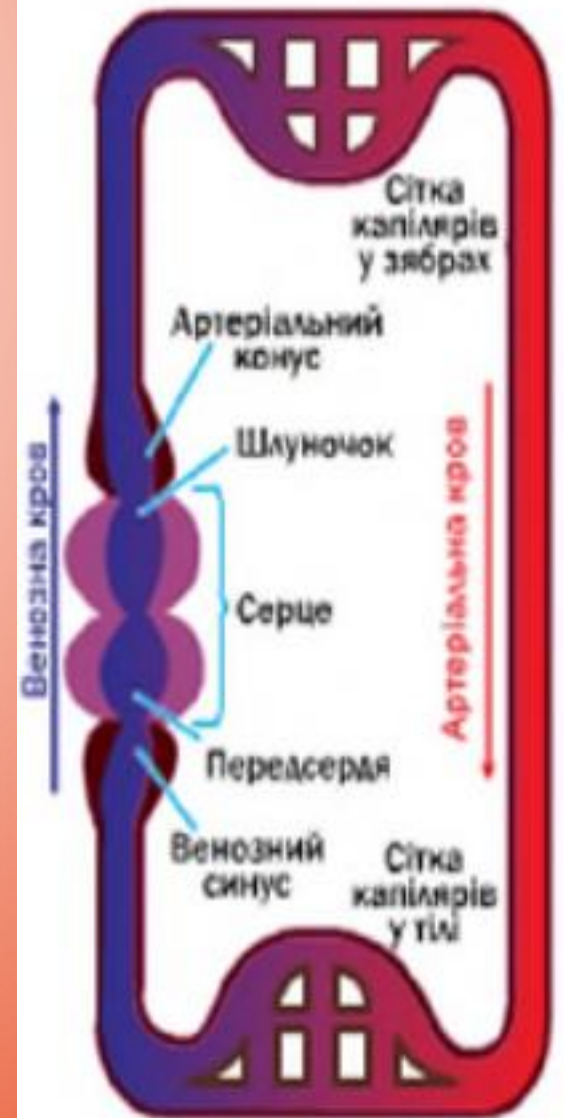


Схема кровообігу риби: 1 - судини зябер; 2 - судини тіла;
3 – передсердя; 4 - шлуночок серця.

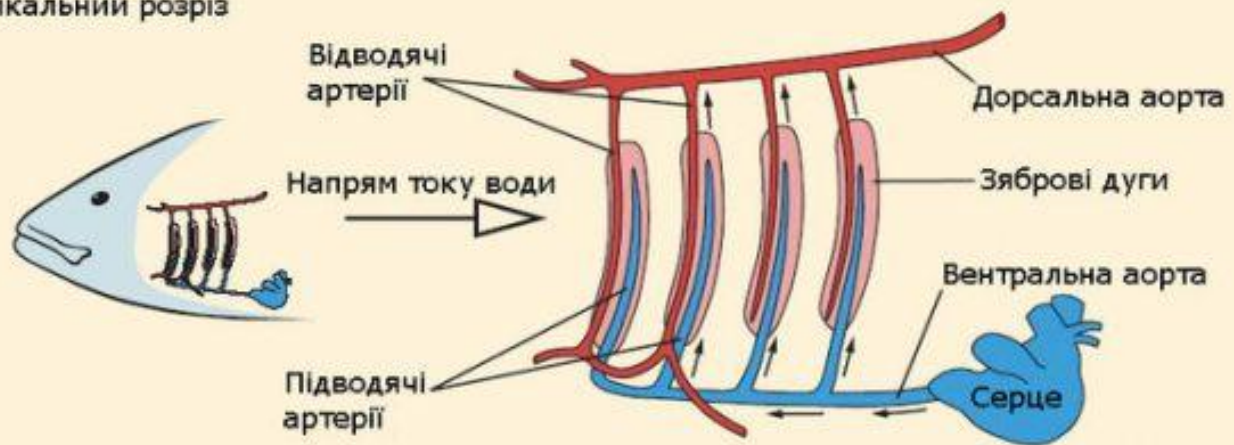


Мал. 32.6. Кровоносна система окуня: 1 — спинна аорта; 2 — капіляри; 3 — черевна аорта; 4 — серце; 5 — вена

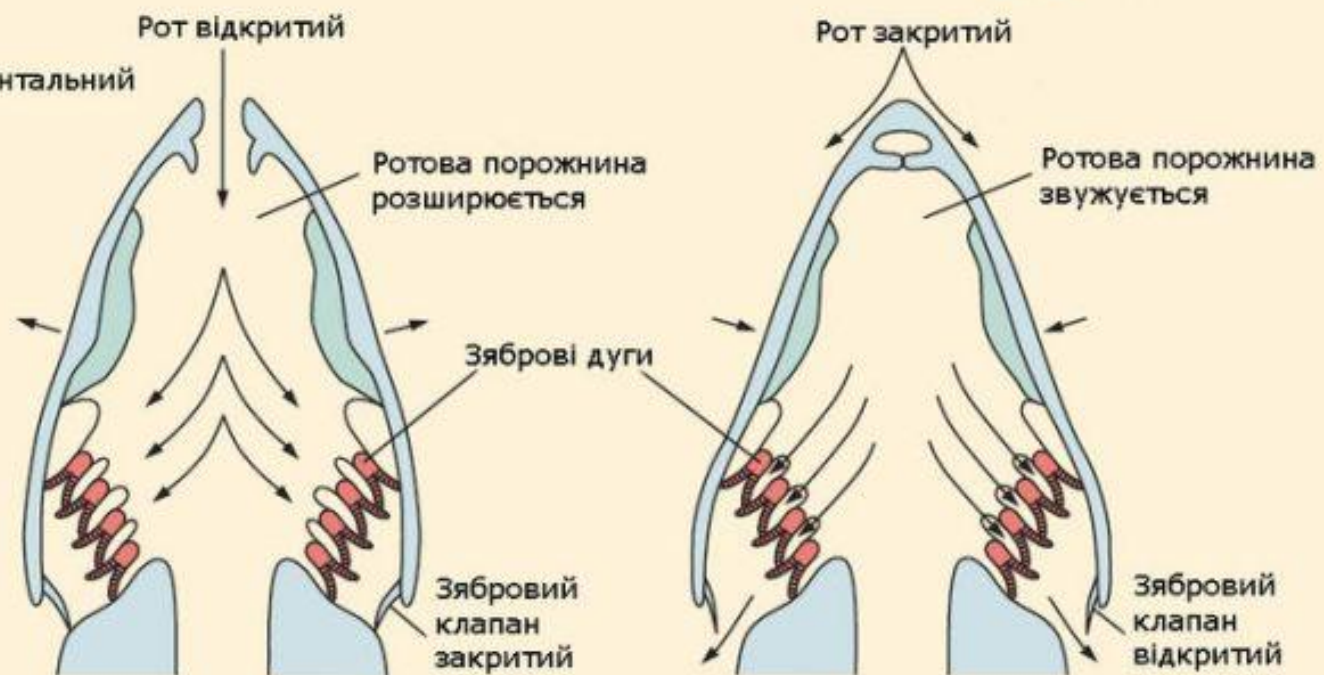


Кровоносна система риб

Вертикальний розріз



Горизонтальний розріз



У риб велика різниця в артеріальному кровопостачанні різних органів і тканин, завдяки якій при малому ХОС у життєво важливих органах руху риб, постійно підтримується високий кровотік. У риб, які постійно мешкають в умовах дефіциту O_2 , розвивається шкірне і частково кишкове дихання; причому перше може досягати 20-30%. Як правило, це риби, що ведуть придонний спосіб життя й занурюються в ґрунт або мул.

Підсилення шкірного дихання супроводжується деяким перерозподілом артеріального кровотоку зі зниженням його у скелетних м'язах (риби з розвиненим шкірним диханням рухливі). У більшості риб на відміну від інших тварин у плавальному міхурі є значний резерв O_2 , скористатися яким риба спроможна при зміні глибини занурення.

У риб – водних тварин – енергетична вартість формозберігаючих процесів і рухів нижче, ніж у наземних тварин.

4. Кровоносна система амфібій

Своє походження амфібії ведуть від прадавніх двоякодишаючих риб, які жили близько 400 млн років назад у водоймищах, які періодично пересихали. Легені амфібій гомологічні плавальному міхуру риб і слугували спочатку органом дихання, що тимчасово замінює зябра. У подальшому зяброве дихання було втрачено, в серці з'явилася міжпередсердна перегородка. Перші амфібії вийшли з води понад 350 млн років тому і через 50-150 млн років вони досягли свого найвищого розквіту, зараз – найбільш численний за кількістю видів клас хребетних, які мешкають в умовах вологого, переважно теплого клімату; при настанні холодів вони впадають у сплячку. У легеневих амфібій серце трикамерне, у безлегеневих – зникає міжпередсердна перегородка, й серце перетворюється в двокамерне. Вага серця – 0,3-0,6%, об'єм циркулюючої крові – 2,5-13%, ХОС – 3-8 [мл/хв х 100 г]. Значної відмінності в кровопостачанні різних органів не виявлено. Серед різних амфібій прослідковується чіткий зв'язок між довжиною всіх дихальних капілярів і ступенем васкуляризації скелетних м'язів. У тварин, які ведуть різний спосіб життя, змінюється довжина дихальних капілярів і їх довжина в легенях і покривних тканинах.

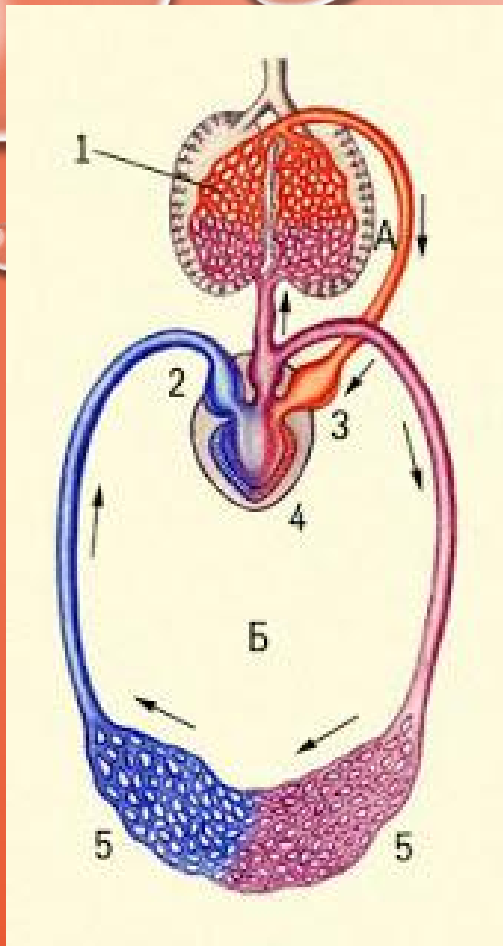
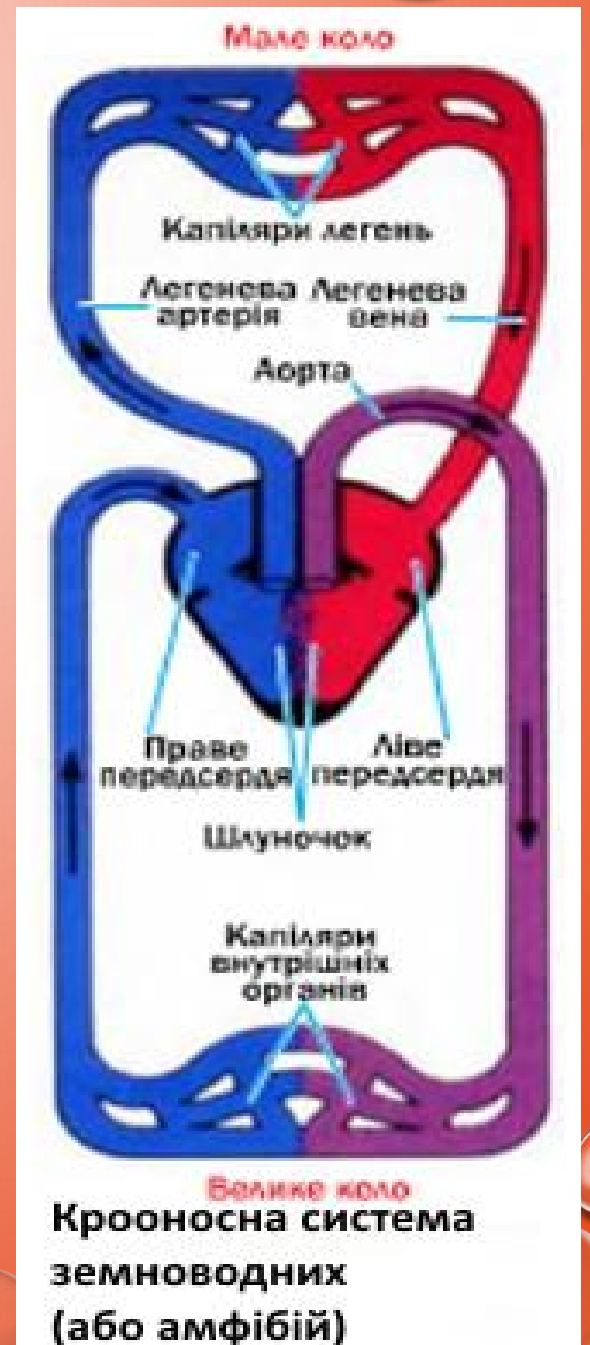
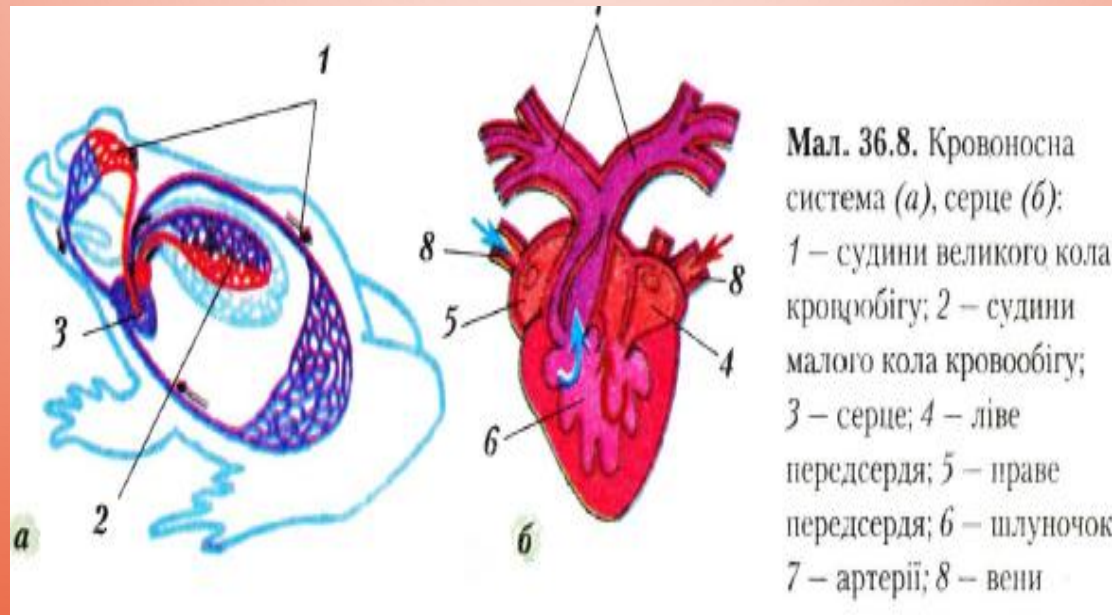


Схема кровообігу земноводних:

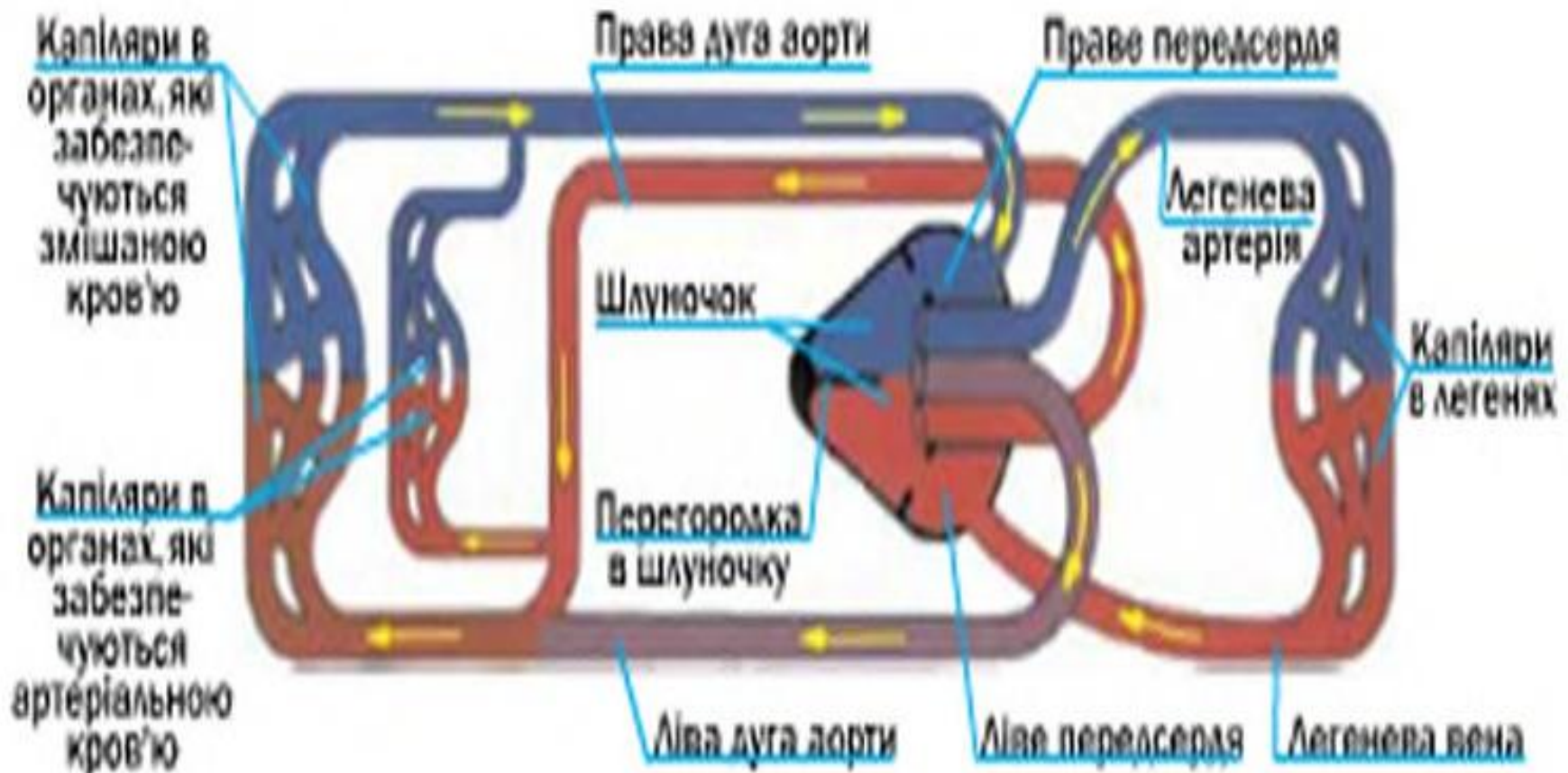
А – мале коло кровообігу; Б – велике коло; 1 – судини легенів; 2 – праве передсердя; 3 – ліве передсердя; 4 – шлуночок серця; 5 – судини серця.



5. Кровоносна система рептилій

Виникнення перших виключно наземних хребетних із легеневим типом дихання і щільним ороговілим покривом для захисту тіла від висихання відносять до часу, коли гірничоутворюючі процеси на Землі змінили її клімат, перетворивши його у багатьох місцях у посушливий і континентальний. У період між 200 і 100 млн років назад на землі царювали плазуни – дрібні й великі (вагою до 50 т), наземні, плаваючі й літаючі, хижаки й вегетаріанці. Теперішні представлені небагатьма видами з архаїчними рисами будови (черепахи, крокодили), більшість видів порівняно молодих лускатих (змії, ящірки, хамелеони) різних розміром. Серце рептилій чотирикамерне; міжпередсердна перегородка повна, міжшлуночкова – неповна, й лише під час систоли її вільний край стикається з протилежним спинним боком шлуночка, і в ньому з'являються дві ізольовані камери: артеріальна ліва, з'єднана з однією дугою (правою) аорти, й венозна права, з якої починається легенева судина. З правої половини шлуночка, ближче до середини, бере початок і дуга (ліва) аорти. Головний мозок і передня частина тіла отримують кров з правої дуги аорти, задня частина тіла постачається зі спинної аорти, утвореної злиттям обох її дуг. У крокодила шлуночок повністю поділений на дві половини, але між дугами аорти є сполучення, через яке кров з лівого шлуночка надходить у обидві дуги аорти.

**Кровоносна система
плазунів
(або рептилій)**



Ліва дуга аорти використовується рептиліями й при пірнанні, коли у тварини припиняється кровотік і кров циркулює лише в великому колі, й для терморегуляції, коли при цьому значна частина тепла повертається в циркуляцію. Кількість циркулюючої крові у рептилій (3-8%) не відрізняється помітно від такої ж у риб і амфібій. Відносна вага серця дещо вище, але вона залежить від розміру тварини й її способу життя. ХОС рептилій так само низький, як і у амфібій (3-5 [мл/хв x 100 г]). Але він значно збільшується при підвищенні температури середовища й тіла та досить високий при температурах, сприятливих для мешкання тварин (7-9 [мл/хв x 100 г]). Із підвищенням температури тіла збільшується й артеріально-венозна різниця O_2 і CO_2 . 60% ХОС протікає по легневим судинам. У деяких рептилій, які мешкають у воді, капіляри шкіри й слизової травного тракту можуть нести додаткову дихальну функцію, транспортуючи до 20% O_2 і майже увесь CO_2 . При зниженні температури тіла об'єм циркулюючої крові знижується, зберігаючись лише в легенях і печінці. Васкуляризація скелетних м'язів рептилій помітно вище, ніж земноводних, і наближається до васкуляризації червоних м'язів риб.

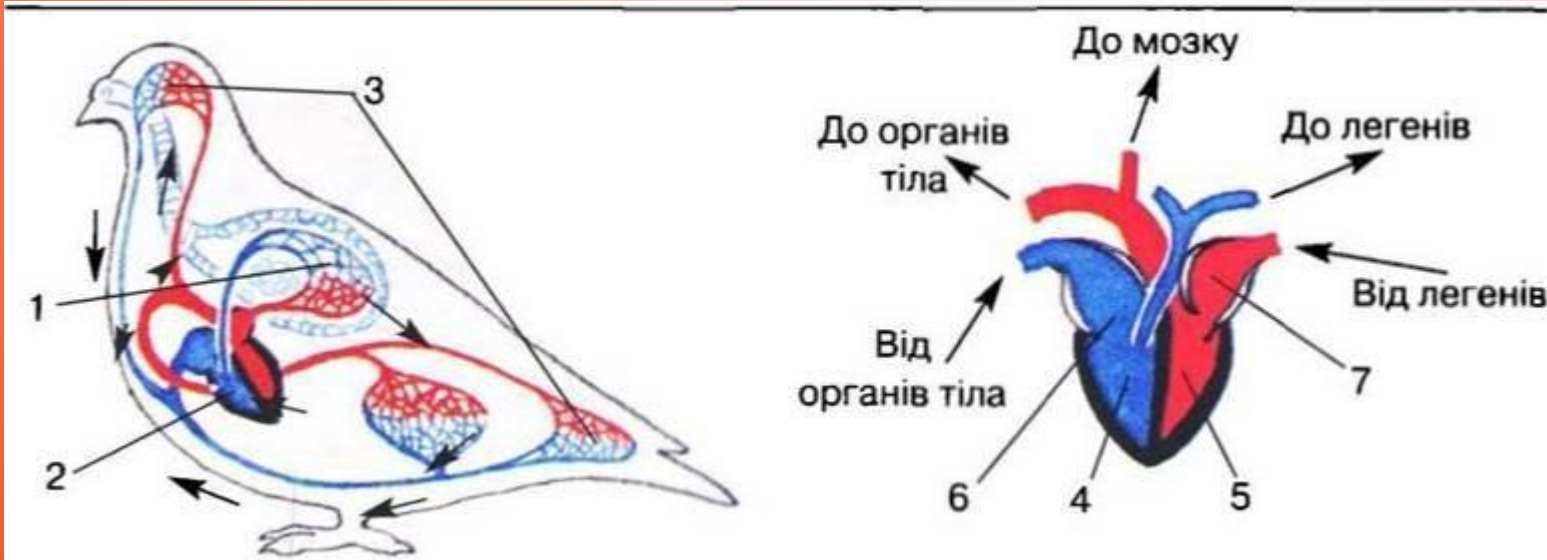
6. Кровоносна система птахів

У птахів чотирикамерне серце з переважним розвитком лівого шлуночка та два кола кровообігу: мале легеневе та велике. На відміну від рептилій у них лише одна права дуга аорти, що виходить з лівого шлуночка, й немає можливості перемішування артеріальної і венозної крові в магістральних судинах. Серед хребетних у птахів найбільше серце, причому воно більше у диких птахів (більше 1%), ніж у свійських (0,6-0,8%). Дуже велике серце (до 3%) у маленьких колібрі, що знаходяться в постійному русі в пошуках корму. У середньому вага серця (г) у птахів пов'язана з вагою тіла (кг) такою залежністю:

$$BC = 8,2 BT^{0,91}$$

Кількість циркулюючої крові (й гематокрит) більше у тих птахів, які живляться на воді й пірнають: 9-13% порівняно з 5-9% у сухопутних птахів. Порівняно із ссавцями у птахів велика стійкість до крововтрат. Птахи виживають при кровопусканні, що призводить до 5-8% втрат у вазі, тому що у них швидко відновлюється об'єм циркулюючої крові за рахунок мобілізації рідини з позаклітинних просторів. Системний АТ і ХОС у спокої помітно вищий, ніж у ссавців тієї самої ваги. ЧП у птахів, як і інших тварин, залежить від ВП і рівня окисного обміну:

$$\text{пульс/хв} = 155,8 \text{ ВП}^{-0,23} (\text{кг})$$



Кровоносна система голуба:

1 - мале коло кровообігу; 2 - серце; 3 - велике коло кровообігу;
4 - правий шлуночок; 5 - лівий шлуночок; 6 - праве передсердя;
7 - ліве передсердя.

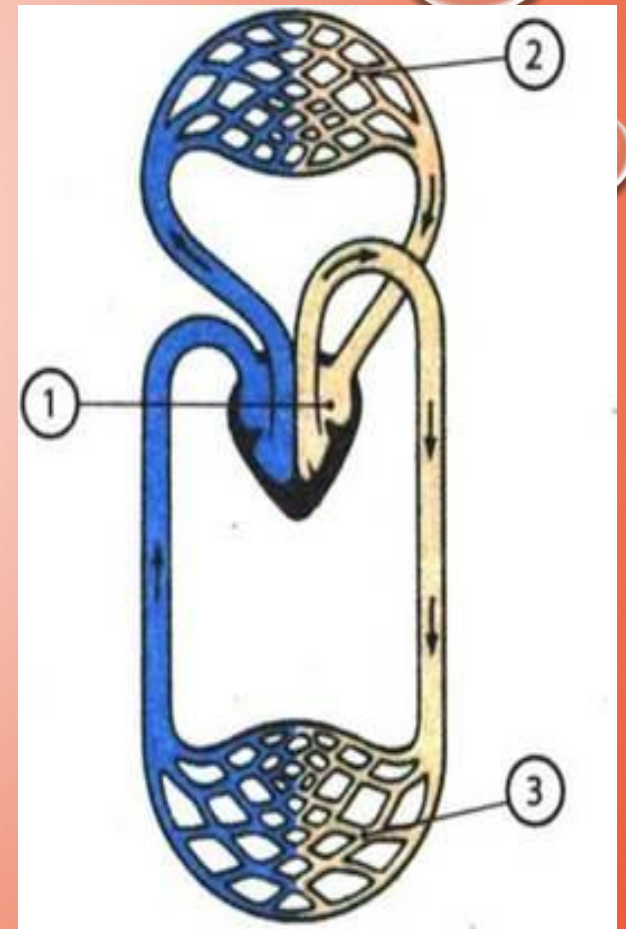


Схема будови кровоносної системи птахів:

1 - чотирикамерне серце
2 - капіляри, в легенях
3 - капіляри, в органах і
тканинах.

Опірний артеріальний тиск більше у крупних птахів, ніж у дрібних. Зі збільшенням розміру птаха ХОС знижується: у голубів (вага – 360 г) – 78 [мл/хв х 100 г], у бронзових індиків (14,5 кг) 23 [мл/хв х 100 г]. Величина ХОС, АТ сер у сонній артерії і ЧП вища у самців, ніж у самиць.

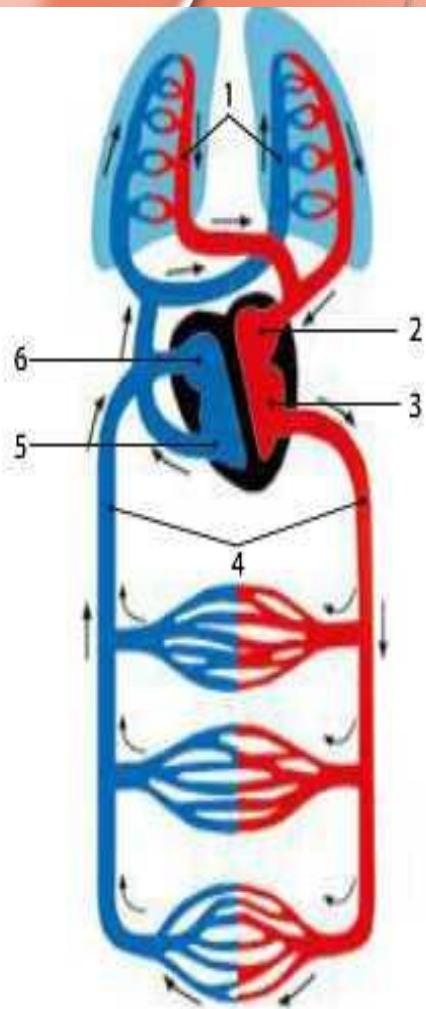
У птахів приблизно 40% ХОС протікає через нутрощі, 60% припадає на частку скелетної мускулатури, шкіри й скелету (у дрібних костистих риб дуже незначна частка системного кровотоку припадає на нутрощі). Характер розподілу ХОС серед нутрощів різних за способом життя приблизно однаковий.

Але на кровопостачанні структур опорно-рухового апарату помітно відбиваються особливості рухової поведінки птахів. У наземних птахів спокійний кровотік у скелетних м'язах дуже низький порівняно з серцевим кровотоком, а литковий м'яз краще постачається, ніж грудний. У пірнаючих птахів вже немає різниці в кровопостачанні грудного та литкового м'язів, а величина м'язового кровотоку в спокої не стільки різко відрізняються від кровотоку в серці. У наземних форм порівняно з перелітними щільність капілярів у 2 рази нижче, а їх довжина більше. Середня довжина капілярів у наземних птахів така сама, як у м'язах рептилій і червоних м'язах немігруючих риб.

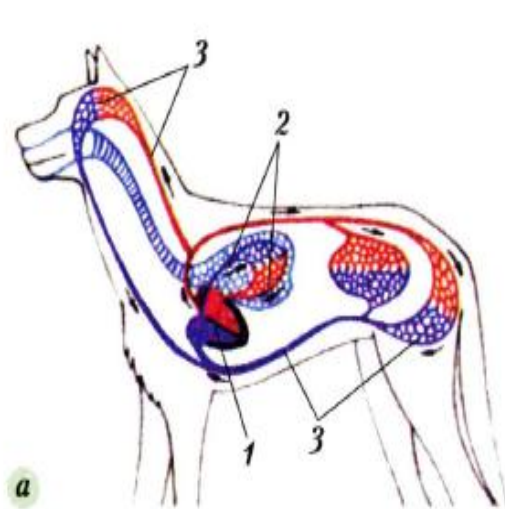
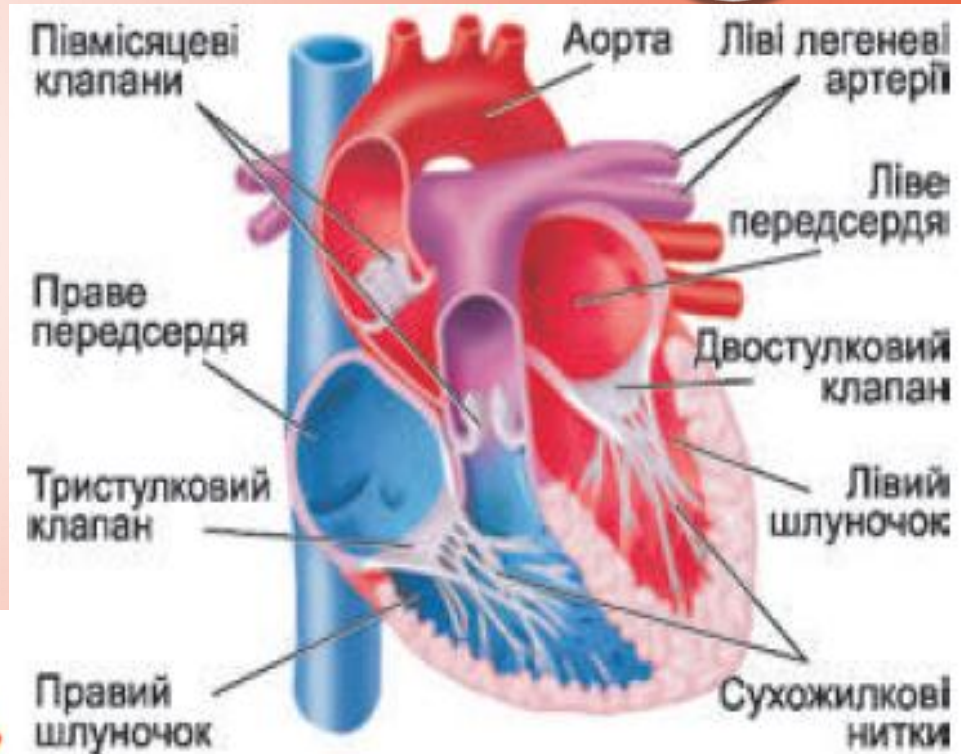
Своєрідна конструкція кровоносної системи в частині лапок, позбавлених пір'я, у птахів функціонує іноді як тепловидільний орган. Кровотік по артеріям і венам, який утворює два зустрічних русла, може змінюватися: при зниженні зовнішньої температури він падає, й тепло з артеріальної крові, що притікає, встигає перейти в охолоджену венозну кров; з підвищенням зовнішньої температури артеріальні та венозні судини розширюються, збільшується капілярний кровотік і зростає тепловіддача. При підвищенні t° повітря, $^{\circ}\text{C}$ – з -10 до $+35^{\circ}\text{C}$ тепловіддача з лапок збільшується з 3 до 60%.

7. Будова кровоносної системи ссавців

У ссавців чотирикамерне серце з переважним розвитком мускулатури лівого шлуночка, з однією, як й у птахів, дугою аорти (але на відміну від них лівою) й повним розділенням артеріальної і венозної крові. На відміну від інших хребетних у нирках зникають ворітні вени, що приносять венозну кров із задньої частини тіла, й вони отримують лише артеріальне кровопостачання. Триває й у вищих ссавців завершується процес «вісцералізації» венозного кровопостачання печінки, що спостерігається в ряду хребетних. Він проявляється в зменшенні частки соматичної венозної крові в порталному кровотоці й обумовлений придбанням скелетними м'язами в ході еволюції здібності до глюконеогенезу. Важливим надбанням ссавців можна вважати хребетні артерії, завдяки яким головний мозок отримує ще одне джерело кровопостачання. Гілки сонних і хребетних артерій утворюють перед входом у мозок артеріальне вілізієве коло, і мозковий кровотік стає менш залежним від кровотоку в іншій частині тіла тварини.



Іл. 51. Схема кровообігу людини:
1 – мале коло кровообігу; 2 – ліве
передсердя; 3 – лівий шлуночок; 4 –
велике коло кровообігу; 5 – правий
шлуночок; 6 – праве передсердя



a



б

Мал. 48.6. Кровоносна система (а) і серце (б) ссавця: 1 – серце; 2 – судини малого кола кровообігу; 3 – судини великого кола кровообігу; 4 – ліве передсердя; 5 – праве передсердя; 6 – лівий шлуночок; 7 – правий шлуночок; 8 – артерії; 9 – вени

Вага серця (г) ссавців у середньому дорівнює 0,6% їх ваги тіла (кг), й ця величина майже не змінюється зі збільшенням розмірів тварини:

$$BC = 0,59 VP^{0,98}$$

Але ВС змінюється під впливом способу життя тварини, притаманного йому рівня рухової активності. Більш велике серце у ссавців, добова потреба в O_2 яких вище. У дрібних видів, які мешкають на півночі й у помірних широтах, серце більше, ніж у мешканців півдня (**«правило Гессе»**). Але, якщо вид веде активний спосіб життя, то просування його на північ не викликає збільшення серця. Збільшення ВС по мірі збільшення тварини пов'язано насамперед із ростом у нього кількості м'язових волокон, переріз яких змінюється мало. Серце у найбільш рухливих тварин відрізняється не тільки великою масою, але й більш сферичною формою.

8. Адаптація до м'язової діяльності

Адаптивні зміни ССС у різних хребетних до підвищеної діяльності скелетної мускулатури полягає у підвищенні ВС, його хвилинного об'єму, збільшенні кількості циркулюючої крові в організмі, збільшенні щільності капілярів у скелетних м'язах, а також збільшення кількості відкритих капілярів, розширення їх просвіту та зменшення довжини. Завдяки сполученню таких показників збільшений ХОС під час роботи, поєднуючись з низьким судинним опором великого кола, не викликає підвищення системного артеріального тиску, звичайно для малорухливих тварин.

Важливим критерієм здібності ССС тварини забезпечити його м'язову роботу є **величина максимального споживання O_2 – $Q O_2$** , можлива для даного організму.

Найбільше $Q O_2$ серед хребетних зареєстровано у дрібних птахів у польоті: у колібрі – 140 [мл/хв x 100 г]. По мірі збільшення розмірів тіла максимум швидкості утилізації O_2 падає. Спортсмен вищого класу під час бігу може використовувати до 8,5 мл [O_2 / хв x 100 г], нетренована людина – не більше 5 мл [O_2 / хв x 100 г].

До структурно-функціональних змін серця відноситься зниження ЧСС, яке супроводжується подовженням серцевої паузи, під час якої відбувається переважно капілярний кровотік у міокарді. До сприятливих ознак адаптивності серця до підвищених навантажень потрібно віднести наявність артеріо-артеріальних і вено-венозних анастомозів, які забезпечують рівномірний і безперервний процес кровопостачання міокарда. Кількість таких анастомозів більша у рухливих видів.

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!