

ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ФІЗИЧНОЇ КУЛЬТУРИ

КАФЕДРА АНАТОМІЇ ТА ФІЗІОЛОГІЇ

“Нормальна фізіологія людини”

ЛЕКЦІЯ № 13

Тема лекції:
ФІЗІОЛОГІЯ КРОВОНОСНИХ СУДИН

План.

1. Основні принципи гемодинаміки.
2. Основні показники гемодинаміки. Артеріальний тиск. Швидкість кровообігу.
3. Особливості циркуляції у різних відділах кровоносного русла
4. Кровообіг у спокої та при м'язовій роботі.
5. Нейрогуморальна регуляція тону судин.

Тривалість лекції: 2 академічні години

Матеріальне забезпечення: мультимедійна презентація.

Склав: доц. Вовканич Л.С.

Затверджено на засіданні
кафедри анатомії і фізіології

" _____ " _____ 2018 р.

протокол № _____

Зав. кафедри _____ Вовканич Л.С.

Львів – 2018

1. Основні принципи гемодинаміки.

Кров може здійснювати свої функції лише за умови безперервного руху по судинах. У хребетних тварин рух крові відбувається по *замкнутій* кровоносній системі, до складу якої входить ряд кровоносних судин – артерії, вени, капіляри. Під час руху по судинній системі кров проходить - велике і мале коло кровообігу. *Велике коло кровообігу* починається від лівого шлуночка серця аортою, яка дає розгалуження, що переходить в артеріоли, капіляри і вени всього тіла, і закінчується двома великими венами, що впадають в праве передсердя. *Мале коло кровообігу* починається від правого шлуночка легеневою артерією, яка переходить в капіляри легень і закінчується легеневидами венами, що впадають в ліве передсердя. Обидва круги замикаються у серці. Легенева артерія - єдина артерія в організмі, по якій тече венозна кров, а легеневі вени - єдині, по яких тече збагачена O₂ артеріальна кров з легень в ліве передсердя.

Всі кровоносні судини характеризуються спільними рисами будови. Зсередини вони покриті *ендотелієм* – гладеньким шаром клітин, що запобігає зсіданню крові. У стінці судин також наявні еластичні волокна (легко розтягуються, протидіють кров'яному тиску), колагенові волокна (слабко розтягуються), клітини гладеньких м'язів (створюють тонус судин).

Судини, які входять до складу кровоносної системи, можна розділити на кілька типів.

- *аморт изуочі* (аорта, легенева артерія, великі артерії) – розвинені еластичні волокна, згладжують підвищення тиску при систолі
- *резистивні* (кінцеві артерії і артеріоли) – розвинений шар гладеньких м'язів, змінюють свій просвіт та опір, регулюючи кровопостачання органів
- *судини-сфінктери* (ділянки артеріол) – здатні значно змінювати свій діаметр
- *обмінні* (капіляри) – дуже тонка стінка з ендотелію і зірчастих клітин створює умови для ефективного обміну між кров'ю і тканинами.
- *ємнісні* (венули, вени, великі вени) - тонка середня оболонка, можуть легко розтягуватись, вміщаючи значні об'єми крові. У них наявні *клапани*, що запобігають зворотному потоку крові.
- *шунт уючі* (анастомози між артеріолами і венулами) – зв'язують артеріальне і венозне русло в обхід капілярів. Регулюють регіонарний кровообіг.

Рух крові по кровоносних судинах здійснюється у відповідності з законами *гідраліки і гідродинаміки*. Вчення про рух крові (*гемодинаміка*) ґрунтується на фізичних закономірностях руху рідини у системі замкнених трубок різного діаметру. Гемодинаміка визначається двома силами: тиском, під яким рухається рідина, і опором, який створюється внаслідок в'язкості рідини, тертя до стінок трубки і вихрових рухів. Рушійною силою крові служить різниця тисків між артеріальною і венозною частиною русла, яка створюється серцем. Тиск спадає по ходу кровоносних судин, причому основна частина (85%) припадає на артеріоли і капіляри, на рух по яких крові

затрачується основна частина енергії серцевих скорочень. Опір судин у першу чергу залежить від діаметра судин. При зменшенні діаметру у 2 рази опір зростає у 16 раз. саме тому найбільший опір потоку крові створюється в капілярах, діаметр яких дуже малий.

У загальному кількість крові (Q), що проходить за одиницю часу всю кровоносну систему тим більша, чим більша різниця тисків в артеріальному (P₁) і венозному кінцях (P₂) і чим менший опір потоку крові (R). Це можна виразити формулою:

$$Q = \frac{P_1 - P_2}{R}$$

Це основний гідродинамічний закон, який визначає як величину загального кровообігу в організмі, так і величину кровообігу окремих органів. У даній формулі Q – це *об'ємна швидкість кровообігу*, тобто її кількість у мілілітрах, що протікає через судину за одиницю часу (1 хв). У загальному, як бачимо, на гемодинаміку впливають такі фактори:

- 1) артеріальний тиск;
- 2) швидкість кровообігу в судинному руслі;
- 3) серцевий викид;
- 4) периферичний опір судин;
- 5) кількість крові, що поступає в серце - венозний прилив крові.

2. Основні показники гемодинаміки. Артеріальний тиск. Швидкість кровообігу.

При кожному скороченні серця в артерії викидається під великим тиском певна кількість крові. Основний опір її пресуванню чинить капілярна частина русла. Для подолання цього опору створюється тиск, що називається кров'яним тиском. Кров'яний тиск неодинаковий в різних відділах судинної системи. Найбільший тиск в аорті і великих артеріях і знижується в малих артеріях, артеріолах, капілярах, венах та стає нижчим за атмосферний в порожнистих венах.

Фактори, що впливають на величину артеріального тиску:
кількості крові, що надходить за одиницю часу з серця в аорту;
інтенсивність відтоку крові з центральних судин на периферію;
ємність судинного русла;
опір артеріальних стінок;
в'язкість крові.

Тиск в артеріях протягом серцевого циклу змінюється. Він більший під час систоли і менший при діастолі. Найбільший тиск в артеріях спостерігається при скороченні серця і називається сист олічним (СТ) або максимальним (115-120 мм рт), найменший наявний під час розслаблення серця - діаст олічний або мінімальний (60-80 мм рт.ст). Різниця сист олічного і діаст олічного тиску (ДТ) називається пульсовим тиском (ПТ). Він становить 40-60 мм рт. ст. Такий показник, як середній тиск вираховується за формулою $СТ = ДТ + 1/3 ПТ$, і ця величина завжди є ближча до діастолічного

тиску (80-90 мм рт. ст.). Різниця тисків і є рушійною силою, що забезпечує рух крові.

Величина артеріального тиску залежить від віку, статі, індивідуальних особливостей людини, фізіологічного стану і від потужності фізичного навантаження. Так, у дітей він нижчий, ніж у дорослих (7-8 р. - 99/67 мм рт.ст.), у людей похилого віку більший (140-150 мм рт. ст.), це явище називають гіперт онією. АТ залежить від розмірів тіла; у жаби - 30, у собак - 140, у котів - 150, слонів - 230-250 мм рт.ст. Артеріальний тиск при фізичному навантаженні може збільшитись до 200-220 мм рт.ст., ступінь збільшення залежить від потужності роботи і індивідуальних особливостей людини. При тривалій напруженій роботі діастолічний тиск може бути дещо нижчим, що обумовлено значним розширенням судинного русла в м'язах.

Існує ряд мет одів вивчення арт еріального т иску.

Прямий або кривавий. В артерію вводиться порожниста голка, з'єднана з манометром. Цей метод вимагає хірургічного втручання і тому мало використовується для масових досліджень.

Непрямий або безкровний. У цьому випадку тиск вимірюють з допомогою методу Ріва-Роччі, запропонованому у 1896 р. При цьому вимірюється той тиск, який достатній для повного перетискання артерії і припинення потоку крові у ній. Припинення потоку крові реєструють пальпаторно. Цим методом визначають лише систолічний тиск.

Аускульт ат ивний або мет од Корот кова. Запропонований Н.С.Коротковим в 1905р. При цьому про величину кров'яного тиску судять по виникненню і зникненню звуків, які прослуховуються на артерії нижче місця накладання манжети. Звуки ці виникають лише у звуженій артерії. Тони Короткова виникають коли тиск у манжеті знижується настільки, що кров починає проходити через неї. Покази манометра на момент появи цих звуків характеризують систолічний тиск. Якщо знижувати тиск далі то звуки зникають. В цей момент тиск в манжеті стає рівним діастолічному тиску.

Дослідж ування пульсових коливань судин.

Арт еріальній пульс – це рит мічні коливання арт еріальної ст інки, обумовлені підвищенням т иску в арт еріях під час сист оли. Систолічний об'єм крові, який викидається у аорту, викликає її розтягування та підвищення тиску. Завдяки еластичності стінок артерій проходить їх розтягування із наступним стисканням, під час якого зона розширення стінки та підвищеного тиску просувається від аорти до артерій і капілярів. Цю хвилю коливань стінок артерій, що зумовлені підвищенням тиску під час систоли, називають пульсовою хвилею. Пульсова хвиля розповсюджується з швидкістю 5-9 м/с і не зв'язана з швидкістю руху крові в артерії. З віком пружність стінок артерій зменшується, тому швидкість поширення пульсової хвилі, особливо в аорті, збільшується. Під впливом фізичного навантаження швидкість розповсюдження пульсової хвилі по аорті і артеріях непрацюючих кінцівок збільшується внаслідок підвищення тиску та зростання тону стінок. У працюючих органах зростання менш виражене, або взагалі спостерігається зменшення швидкості розповсюдження.

Пульс можна досліджувати пальпат орно (промацуючи через шкіру пульсацію артерій), або реєстрації кривої пульсового тиску з допомогою сфігмографа. При пальпаторному дослідженні пульсу визначають частоту, ритм, висоту, що свідчить про висоту коливань стінки артерій, швидкість (показник кривизни зростання пульсової хвилі) та напруження ("твердий" або "м'який" пульс). При графічному записі на сфігмограмі з аорти і великих артерій визначають дві головні ділянки - висхідну і низхідну. Початкове різке зростання – анакрот а, зумовлене збільшенням тиску та розтягуванням стінок при різкому надходженні крові у аорту після відкриття півмісяцевих клапанів. Далі розпочинається плавний спад – кат акрот а. Він обумовлений зменшенням тиску у кінці систоли шлуночків. Низхідна ділянка характеризується наявністю виїмки і додаткового зубця – дикрот ичного зубця. Його виникнення пов'язане із закриттям півмісяцевих клапанів.

Різниця тисків забезпечує рух крові по судинах. Цей рух має ще одну важливу характеристику - швидкість кровообігу. Розрізняють об'ємну і лінійну швидкість кровообігу. Об'ємна швидкість - це кількість крові, що протікає через всю кровоносну систему за одиницю часу (мл/хв, мл/сек).

Лінійна швидкість кровообігу - це швидкість руху крові вздовж судин (см/сек). Лінійна швидкість неоднакова в різних відділах судинної системи. Вона залежить від сумарного просвіту судин у даній частині кровоносного русла. Оскільки найменшою площею поперечного перерізу характеризується аорта, то і лінійна швидкість руху крові у ній найбільша - 70 см/с. В артеріях вона складає 20-40 см/с, в артеріолах – 0,5 см/с. Оскільки сумарна площа поперечного перерізу капілярів приблизно у 800 разів більша за таку аорти, то і лінійна швидкість кровообігу тут найменша - 0,05 см/с. У венах вона знову підвищується до 20 см/с.

Час кровообігу - час, протягом якого проходить кров через велике і мале коло кровообігу. Це відбувається протягом 21-23 сек. При фізичній роботі цей час зменшується і залежить від потужності роботи. При легкій фізичній роботі повний кругообіг становить 15 сек, а при важкій 8-9 сек. Лінійна швидкість кровообігу під час фізичної роботи може зростати більш ніж у 5 разів.

Важливою характеристикою судинної системи є сумарний опір судин потоку крові - периферичний опір судин. Він тим більший, чим більша різниця тиску між артеріальною і венозною кінцями русла і тим менший, чим менша об'ємна швидкість кровообігу.

$$R = (P_a - P_v) \times Q \text{ (дін.с/см}^{-5}\text{)}$$

R в стані спокою становить 1400-2500 дін.с/см⁻⁵. При фізичному навантаженні внаслідок розширення артеріол і капілярів у працюючих м'язах периферичний опір зменшується. При легкій роботі він зменшується до 1000 дін.с/см⁻⁵ а при важкій фізичній роботі – до 800 дін.с/см⁻⁵.

3. Особливості мікроциркуляції у спокої та при м'язевій роботі.

Мікроциркуляція - рух крові по капілярах, кровоносних і лімфатичних судинах, діаметр р яких менший 100 мкм. До них належать капіляри. Капіляри – це найтонші та найчисельніші судини. Довжина капілярів - 0,5-1,1 мм, діаметр 5-7 мкм. Кількість капілярів в різних тканинах неоднакова. Їх більше в тих тканинах, де інтенсивний обмін речовин (серцевий м'яз містить у два рази більше, ніж скелетний). У людини наявно близько 40 млрд. капілярів загальною довжиною 100 тис. км і площею 1500 м².

У місцях відходження капілярів від артеріол розташовані *прекапілярні сфінктери*, від міри стискання яких залежить кількість крові, що буде проходити через капіляри. Стінка капілярів сформована напівпроникною мембраною, через яку можливий обмін речовин. Саме в капілярах відбувається обмін речовин між кров'ю і тканинами.

Виділяють *три типи капілярів*:

1. соматичні капіляри – щільна стінка, пропускає H₂O, солі, глюкозу, погано пропускає білки (шкіра, міокард, скелетні м'язи);
2. вісцеральні капіляри – у стінці наявні “віконця”, проходять інтенсивні обмінні процеси (нирки, кишечник, ендокринні залози);
3. синусоїдні капіляри – великий просвіт, через стінки легко проходять макромолекули і форменні елементи крові (печінка, кістковий мозок, селезінка).

Тими параметрами, які визначають ефективність обміну речовин між капілярами і тканиною, є *швидкість кровообігу* у капілярі, величина *гідростатичного і онкотичного тиску*, *проникність стінки капіляра*, *число активних капілярів на одиницю маси тканини*.

Швидкість кровообігу в капілярах невелика - всього 0,5-1,0 мм/сек. Кров'яний тиск в них коливається від 8 до 40 мм рт.ст. Причому тиск в артеріальному кінці вищий, ніж в венозному. В стані спокою кров тече не по всіх капілярах органу. При роботі органу відбувається розкриття його капілярів, що веде до посилення локального (місцевого) кровообігу – *робочої гіперемії*. Зокрема, у 1 мм² скелетного м'яза у стані спокою функціонує 35-38 капілярів, а під час роботи – 2500-3000.

В деяких ділянках шкіри, нирок, легень є безпосередні з'єднання артеріол і вен. Такі з'єднання називають *артеріо-венозні анастомози*. Вони відіграють важливу роль в регуляції капілярного кровообігу. В звичайних умовах артеріо-венозні анастомози закриті і кров тече через капілярну сітку. При підвищенні чи пониженні зовнішньої температури артеріо-венозні анастомози відкриваються, в результаті чого кров безпосередньо поступає з артеріол в вену. Таким чином організм захищений від перегріву та переохолодження.

Через капілярну стінку можливий вихід рідини у міжклітинний простір. Це відбувається внаслідок наявності різниці між гідростатичним тиском крові та онкотичним тиском міжклітинної рідини, спрямованими із капіляра, та гідростатичним тиском міжклітинної рідини і онкотичним тиском крові, спрямованим усередину. У нормальних умовах швидкість процесу

фільт рації практично рівна швидкості *реабсорбції*. Лише невелика частина рідини надходить у лімфатичні капіляри, а звідти – у кров.

Кровообіг в венах

Стінки вен тонші, характеризуються значно більшою здатністю до розтягування, та меншою еластичністю, ніж стінки артерій. На внутрішній поверхні більшості вен наявні клапани. У венах може знаходитись 70-80% крові організму. Лінійна швидкість кровообігу зростає від периферії до серця. в периферичних венах середнього калібру вона дорівнює 6-14 см/сек, в порожнистих венах - до 30 см/сек, що знано менше лінійної швидкості кровообігу в аорті. Об'ємна швидкість однакова у всіх відділах венозної системи.

Рух крові і нижній порожнистій вені і в венах нижніх кінцівок забезпечується рядом механізмів:

* венозні клапани, що забезпечують однонаправлений рух крові - від периферії до серця;

* тиск на початку венозної системи, який обумовлений залишками енергії скорочень серця.

* *дихальним насосом* – під час вдиху у грудній порожнині виникає від'ємний внутрішньоклітинний тиск, що призводить до розширення розміщених у ній вен, збільшенню різниці тиску між початком і кінцем венозного русла та полегшується надходження крові до серця.

* м'язовий насос - скорочення скелетних м'язів при роботі, які стискаючи вени, забезпечують витискання з них крові в напрямку до серця.

* насосний ефект діафрагми на органи черевної порожнини.

При динамічній циклічній роботі руху крові в венах сприяють і дихальний і м'язовий насоси. При статичних зусиллях і особливо при силовій роботі внутрішньогрудний тиск і тиск в порожнистих венах підвищується. Притік крові до серця знижується, в результаті чого зменшується серцевий викид, знижується артеріальний тиск, погіршується кровопостачання головного мозку, що може призвести до втрати свідомості.

Коливання тиску і об'єму у венах називаються *венним пульсом*. Причина його виникнення – припинення руху крові із вен до серця під час систоли. Венний пульс реєструється з допомогою *флебографії*. В момент систоли тиск всередині вен підвищується і відбувається коливання їх стінок. На флебограмі наявні ряд зубців. Перший зубець виникає в результаті систоли передсердь, другий - обумовлений поштовхом сонної артерії, пологий зубець зв'язаний з розширенням стінки вен. Венний пульс має діагностичне значення при деяких захворюваннях серця, зокрема недостатності трьохстулкового клапана.

5. Нейрогуморальна регуляція тону судин

Регуляція тону судин відбувається завдяки наявності нервових та гуморальних механізмів.

Чуттєва іннервація судин здійснюється рецепторами, розташованими у стінці судин, які поділяються на *барорецепт ори* (тиску) та *хеморецепт ори*

(хімічні). Найбільша густина цих рецепторів у так званих *рефлексогенних зонах*. Ці зони розміщені у ділянці дуги аорти, сонної артерії (каротидний синус) та легеневої артерії. Барорецептори, розміщені у ділянці аорти, каротидного синуса, та легеневої артерії, через судиноруховий центр здійснюють *депресорний* чи *пресорний* вплив, тобто зменшують чи підвищують артеріальний тиск. В аорті та каротидному синусі також наявні хеморецептори, що реєструють зміну у крові концентрації O_2 , CO_2 , H^+ . Вони включені у дуги серцево-судинних і дихальних рефлексів, що забезпечують постійність цих параметрів у організмі. Механо- та хеморецептори наявні також у стінках вен.

Імпульси від рецепторів надходять у ЦНС, зокрема до судиннорухового центру, де розміщені центри регуляції тонуусу судин. Структури, які впливають на тонуус судин, розміщені у спинному мозку, довгастому мозку, гіпоталамусі, корі великих півкуль. Тонуус кровоносних судин постійно регулюється вегетативною нервовою системою. Артерії і артеріоли мають судинно-звужуючі нервові волокна - вазоконстриктори, які відносяться до симпатичної нервової системи, і судиннорозширюючі - вазодилататори, що належать до парасимпатичної нервової системи. Судиннозвужуюча дія обумовлена посиленням тонуусу гладкої мускулатури стінок судин.

Основним центром підтримання тонуусу судин та рефлекторної регуляції тонуусу є *судинноруховий центр довгастого мозку*. Він розміщений на дні IV шлуночка мозку. Центр має два відділи: *пресорний* і *депресорний*. Подразнення пресорного відділу викликає звуження артерій і зростання кров'яного тиску, подразнення депресорного - розширення артерій і зменшення тиску. Окрім того, через блукаючий нерв, що іннервує серце, судинноруховий центр пригнічує діяльність серця, що також призводить до зменшення тиску.

Судинноруховий центр довгастого мозку здійснює свої функції у тісній взаємодії з гіпоталамусом, мозочком, базальним ядрами, корою головного мозку. У гіпоталамусі також виявлені *пресорні* і *депресорні* зони. Саме з його участю здійснюються адаптивні реакції, які забезпечують регуляцію на рівні цілісного організму. Було також продемонстровано, що подразнення лобної і тім'яної ділянки кори головного мозку веде до зміни тонуусу судин та кров'яного тиску. Цей вплив проявляється при емоційному збудженні, що супроводжується підвищенням артеріального тиску.

Регуляція тонуусу судин здійснюється нервовим і гуморальним шляхом. Нервові впливи здійснюються через вегетативну нервову систему. Гуморальна регуляція здійснюється за участю наднирників, задньої долі гіпофізу, юктагломерулярного апарату нирок.

Гормони наднирників адреналін і норадреналін розширює судини скелетних м'язів, гладкої мускулатури бронхів, серця, мозку, та звужує судини шкіри, органів травлення, нирок. Гормон *задньої долі гіпофіза* - антидіуретичний гормон (вазопресин) викликають звуження артерій і артеріол органів черевної порожнини і легень. Проте судини мозку і серця

реагують на ці речовини розширенням, що сприяє покращенню живлення серцевого м'язу і тканин мозку. Клітини *юкст агломерулярного апарату нирок* продукують фермент *ренін*. Надходячи в кров він сприяє утворенню ангіотензину II, який звужує судини і підвищує артеріальний тиск.

В слизовій оболонці кишечника, мозку при розпаді кров'яних пластинок утворюється серотонін, який володіє судиннозвужуючим ефектом. Здатністю розширити судини володіють гістамін, ацетилхолін, простагландини, аденозинтрифосфорна кислота, брадікінін і ін. В стані фізіологічного спокою гормони, що розширюють судини, циркулюють в крові в невеликій кількості, але при необхідності можуть і знизити кров'яний тиск. Наприклад, при посилених фізичних навантаженнях вони поступають в кров в великій кількості, викликаючи депресорний ефект. Нервова і гуморальна регуляція кровообігу тісно пов'язані.