



СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МЕДИЧНИЙ ІНСТИТУТ
КАФЕДРА ФІЗІОЛОГІЇ І ПАТОФІЗІОЛОГІЇ



Опорний конспект лекції з фізіології
на тему:

Основи гемодинаміки



Гемодинаміка – це розділ фізіології,
який вивчає закономірності руху
крові по судинам.

Г е м о д и н а м і к а



Системна
гемодинаміка



Регіональна
(органна)
гемодинаміка



Тканинна
гемодинаміка
(мікроциркуляція)

**Закони гідродинаміки, що
використовують в гемодинаміці :**

I. ЗАКОН ОМА.

II. ЗАКОН ПУАЗЕЙЛЯ.

Закон Ома:

Об'єм рідини, який проходить через поперечний перетин трубки за одиницю часу (об'ємна швидкість руху рідини) дорівнює відношенню різниці тисків на кінцях трубки до гідродинамічного опору

Об'єм крові, який проходить через поперечний перетин судини за одиницю часу (об'ємна швидкість руху крові) дорівнює відношенню різниці тисків на початку і в кінці судини до гемодинамічного опору.

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

P_1 – тиск на початку судини;

P_2 – тиск в кінці судини;

P – різниця тисків;

R – гемодинамічний опір.

Для великого кола кровообігу: P_1 – тиск в аорті, P_2 – тиск у порожнистій вені.

Закон Пуазейля:

Об'ємна швидкість руху рідини прямо пропорційна різниці тисків на кінцях трубки, радіусу трубки в четвертому ступені і обернено пропорційна в'язкості рідини і довжини трубки.

Об'ємна швидкість кровотоку прямопропорційна різниці тисків на кінцях судини, радіусу судини у четвертому ступені і оберненопропорційна в'язкості крові і довжини судини.

$$Q = \frac{\pi \cdot r^4 \cdot \Delta P}{8 \cdot \eta \cdot l}$$

Q – об'ємна швидкість руху крові

P – різниця тисків;

η – в'язкість крові;

l – довжина судини

Із законів Ома і Пуазейля можна знайти R.

Обмеження щодо застосування законів гідродинаміки у гемодинаміці:

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

$$Q = \frac{\pi \cdot r^4 \cdot \Delta P}{8 \cdot \eta \cdot l}$$

$$\frac{\Delta P}{R} = \frac{\pi \cdot r^4 \cdot \Delta P}{8 \cdot \eta \cdot l} \Rightarrow$$

$$R = \frac{8 \eta l}{\pi r^4}$$

Обмеження щодо застосування законів гідродинаміки у гемодинаміці:

1. Закони гідродинаміки описують рух рідини по жорстким трубкам, а судини еластичні;
2. Закони гідродинаміки описують рух гомогенної рідини, а кров містить клітини і не є гомогенною;
3. Закони гідродинаміки застосовують для ламінарного руху рідини, а рух крові в судинах може бути турбулентним;
4. Закони гідродинаміки описують однонаправлений рух рідини, а кров у судинах може рухатись в різних напрямках у зв'язку з роботою серця.

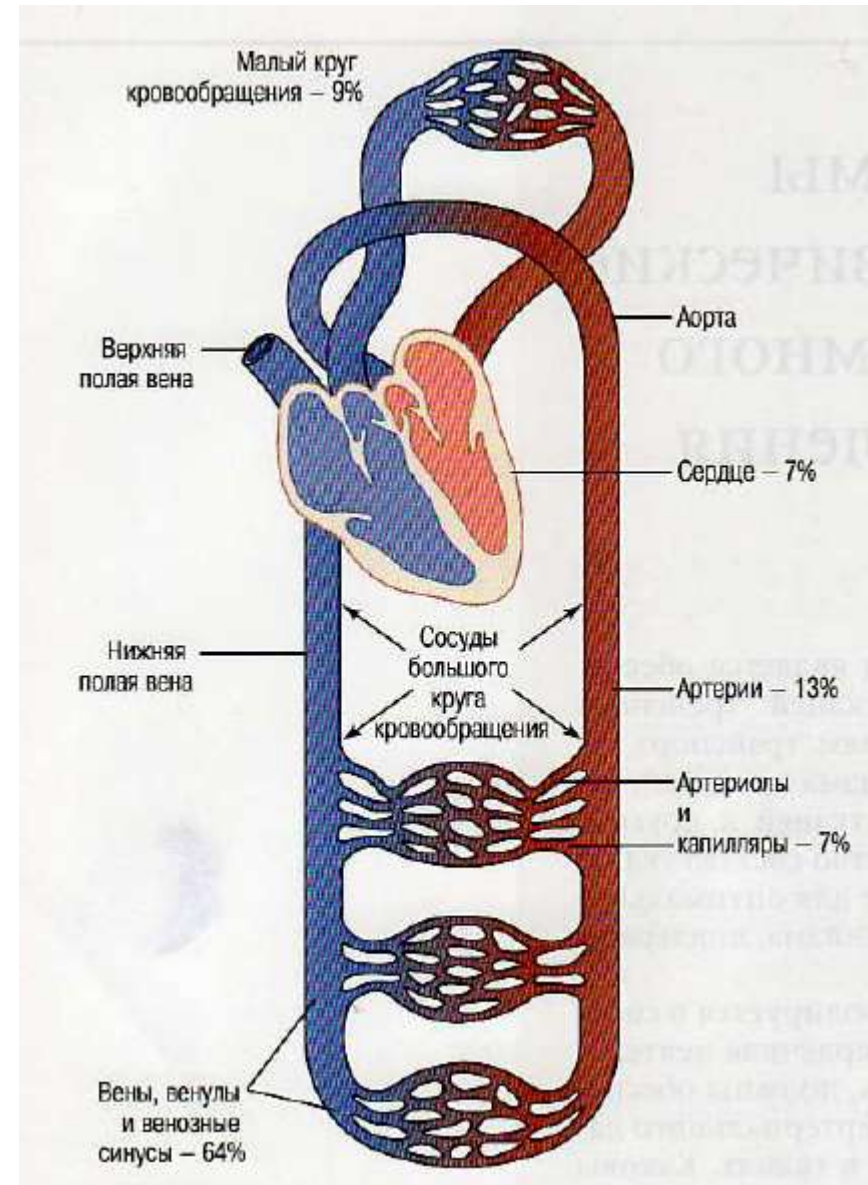
Об'єм крові в судинах

Загальний об'єм крові в судинах дорівнює 6-8% від маси тіла (приблизно 4-5 л):

у чоловіків – 77 мл/кг,
у жінок – 65 мл/кг.

По відділам системи кровообігу:
велике коло кровообігу – 84%
мале коло кровообігу – 9%
серце – 7%

артерії – 18%
вени – 75%
капіляри – 7%



Швидкість руху крові



Об'ємна



Лінійна

Об'ємна швидкість руху крові

Q – об'ємна швидкість руху крові – це об'єм крові, який проходить через поперечний перетин судини за одиницю часу.

Q визначає кровонаповнення судин.

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

Стан кровонаповнення судин різних органів у стані спокою:

органи черевної порожнини – 24%

м'язи – 21%

головний мозок – 13%

нирки – 19%

шкіра – 9%

коронарні судини – 4%

інші органи – 10 %

Лінійна швидкість руху крові

V – лінійна швидкість руху крові – це швидкість, з якою рухається кров і окремі її компоненти по кровоносним судинам.

$$Q = V \cdot S \Rightarrow V = \frac{Q}{S}$$

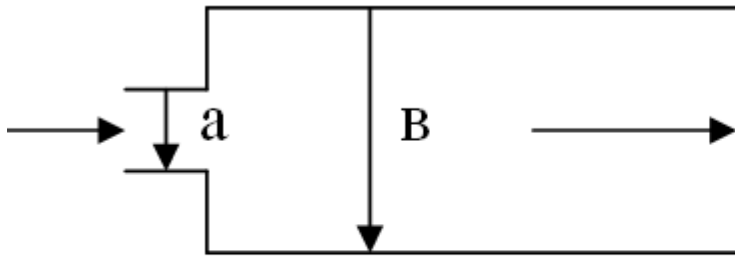
Q – об'ємна швидкість руху крові;

V – лінійна швидкість руху крові;

S – площа поперечного перетину судини;

Закон безперервності струмів

Об'ємна швидкість руху крові в системі трубок з різним діаметром є сталою і не залежить від площі поперечного перетину трубки.



$$Q_a = Q_b$$

$$Q_a = V_a \cdot S_a;$$

$$Q_b = V_b \cdot S_b;$$

$$V_a \cdot S_a = V_b \cdot S_b$$

$$\frac{V_a}{V_b} = \frac{S_b}{S_a}$$

чим більша площа поперечного перетину, тим менша лінійна швидкість і навпаки.

Значення закону безперервності струмів:

1. Об'ємна швидкість руху крові через різні відділи системи кровообігу – однакова:

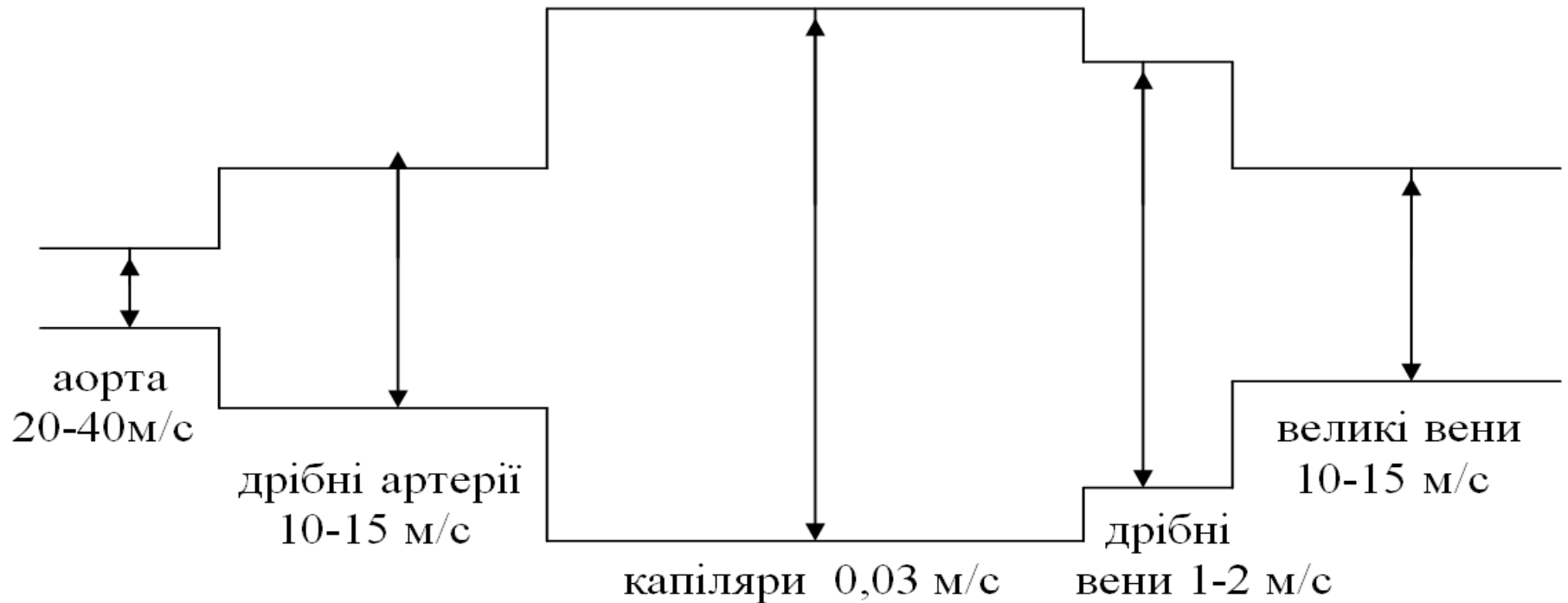
хвилинний об'єм правого серця дорівнює хвилинному об'єму лівого серця;
через артерії, вени і капіляри за хвилину проходить однакова кількість крові;
кількість крові, яка надходить до органу по артеріях дорівнює кількості крові, яка відтікає по венах.

2. Лінійна швидкість руху крові обернено пропорційна загальній площі поперечного перетину судин даного типу.

Найменша площа поперечного перетину в аорті, і тут найбільша лінійна швидкість кровотоку.

Найбільша площа поперечного перетину усіх капілярів, і в них найменша лінійна швидкість руху крові.

Сосуды	Суммарная площадь поперечного сечения (см ²)
Аорта	2,5
Мелкие артерии	20
Артериолы	40
Капилляры	2500
Венулы	250
Мелкие вены	80
Полие вены	8



Тиск крові

Тиск – це відношення сили, з якою кров діє на стінку судин до площі поверхні судинної стінки.

$$P = \frac{F}{S}$$

Тиск крові має 3 складові:

гідродинамічний

статичний (середній тиск наповнення)

гідростатичний

Гідродинамічний тиск

Гідродинамічний тиск – це тиск на стінку судини, що виникає під час руху крові.

$$P = Q \cdot R$$

P – гідродинамічний тиск;
 Q – об'ємна швидкість руху крові;
 R – загальний периферичний опір.

Гідродинамічний тиск створює серце своєю роботою.

Статичний тиск (середній тиск наповнення)

Середній тиск наповнення (статистичний тиск) – це тиск, який реєструється у більшості відділів кровоносної системи, коли серце припиняє свою роботу.

Якщо серце зупинити, кров ще деякий час рухається. Цей рух і створює середній тиск наповнення.

Середній тиск наповнення дорівнює 6-7 мм рт.ст.

Величина середнього тиску наповнення залежить від наступних факторів:

від об'єму крові, який міститься в судинах (чим більший об'єм, тим більший середній тиск);

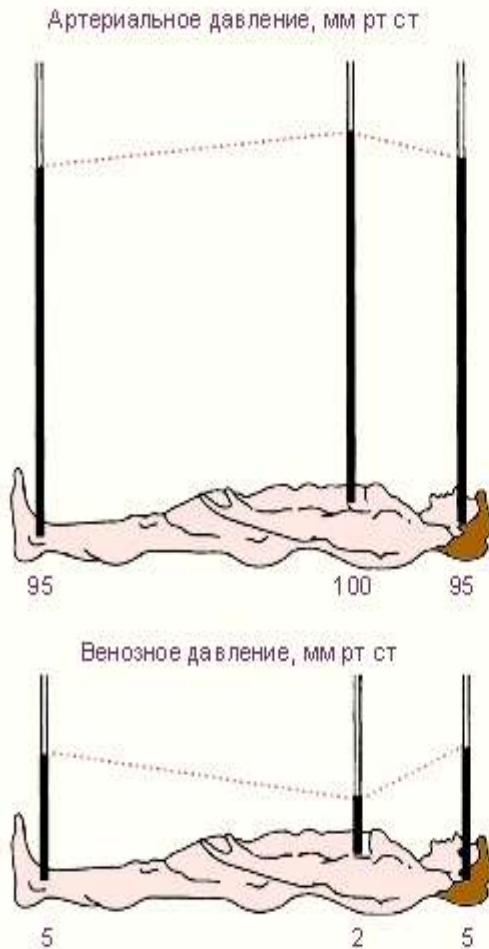
від ємності кровоносних судин (C) (чим більша ємність, тим менший тиск:).

$$C = \frac{1}{R}; R = Q \cdot P \Rightarrow Q \cdot P = \frac{1}{C}$$

Гідростатичний тиск

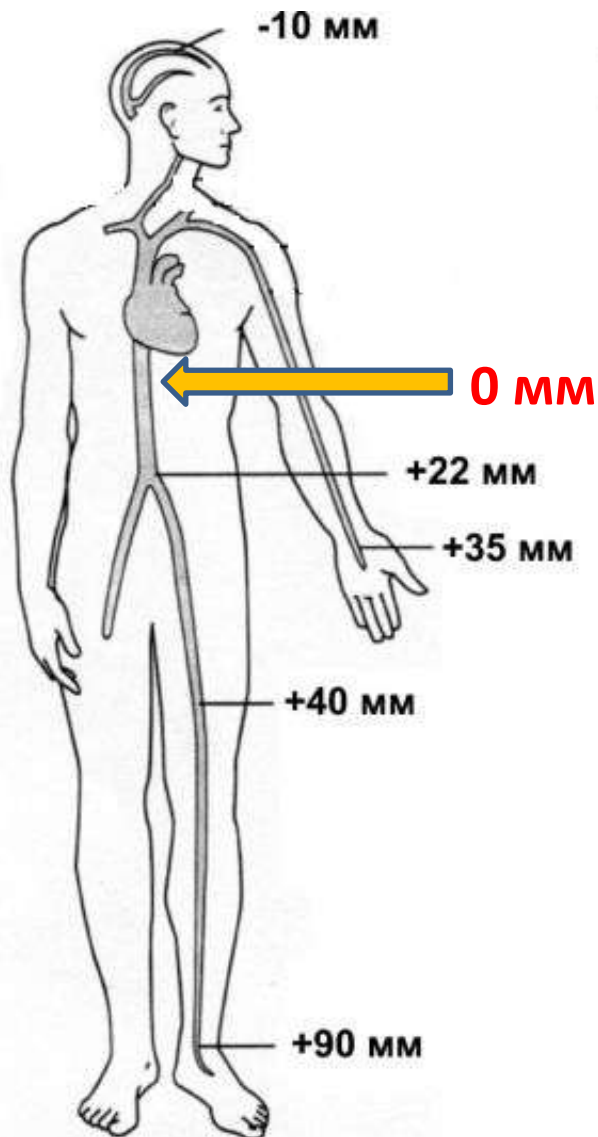
Гідростатичний тиск – це сила тяжіння крові, яка діє на стінку судин.

Він залежить від положення тіла у просторі, оскільки серцево-судинна система знаходиться в полі сили тяжіння.



горизонтальному положенні, тиск в усіх відділах серцево-судинної системи приблизно однаковий.

Якщо людина знаходиться у вертикальному положенні, то в судинах які розташовані вище певного рівня тиск стає менший на величину гідростатичного тиску, а в судинах, які розташовані нижче цього рівня тиск стає більшим на величину гідростатичного тиску.

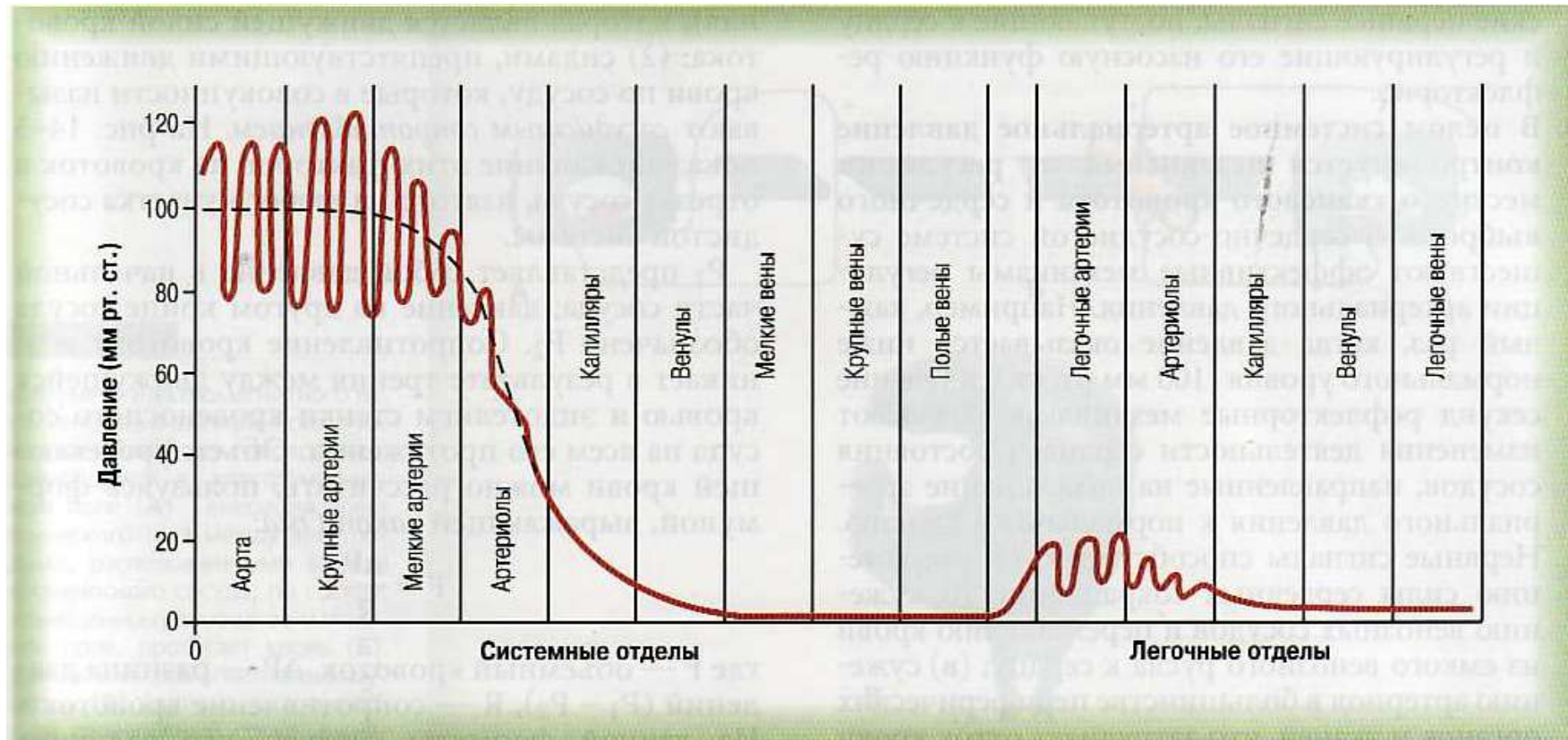


Рівень постійного гідростатичного тиску (рівень на якому тиск не змінюється в залежності від положення тіла в просторі) знаходиться на 10-15 см нижче діафрагми.

Оскільки середній артеріальний тиск $A_{дсер.} = 100$ мм рт.ст., то загальний тиск в артеріях стопи $A_{д} = 190$ мм рт.ст., а в артеріях головного мозка $A_{д} = 90$ мм рт.ст.

Різниця тисків в різних відділах системи кровообігу є рушійною силою кровообігу

У великому колі кровообігу від аорти до капілярів тиск зменшується. У лівому шлуночку він коливається від 15-20 мм рт.ст. (під час діастоли) до 120 мм рт.ст. (під час вигнання). В аорті тиск змінюється від 80 до 120 мм рт.ст. На рівні артерій він падає від 100 до 80 мм рт.ст., на рівні артеріол від 80 до 35 мм рт.ст., на рівні капілярів від 35 до 10 мм рт.ст., на рівні вен і венул від 10 до 5 мм рт.ст. І у венах тиск дорівнює 0. Найбільш суттєве падіння тиску відбувається на рівні артеріол.



Гемодинамічний опір

Гемодинамічний опір – це опір судин руху крові

$$R = \frac{\Delta P}{Q} \qquad R = \frac{8 \eta l}{\pi r^4}$$

Для систем судин працюють закони **Кірхгофа**.

I. Закон Кірхгофа:

Якщо n судин з'єднуються послідовно, то їхній загальний опір дорівнює сумі опорів окремих судин.



$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + \dots R_n$$

II. Закон Кірхгофа:

Якщо n судин з'єднується паралельно ємність (C) дорівнює сумі ємностей окремих судин.

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + \dots C_n$$

$$C = \frac{1}{R} \Rightarrow \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots \frac{1}{R_n}$$

Опір різних відділів системи кровообігу різний:

опір артерій складає 19% від загального опору;

опір артеріол складає 47% від загального опору;

опір капілярів складає 27% від загального опору;

опір вен складає 7% від загального опору.

Найбільший опір руху крові створюють артеріоли, тому їх називають резистивними судинами.

В'язкість крові

В'язкість – це фізико-хімічна властивість крові, обумовлена силами внутрішнього тертя між форменими елементами і плазмою.

Рідини

1

Гомогенні

(в'язкість залежить тільки від температури)

2

Негомогенні

Фактори, які впливають на в'язкість крові:

1)Гематокрит. Чим більше гематокрит, тим більша в'язкість.

2)Концентрація білків плазми крові. Чим більше білків, тим більша в'язкість. У великих судинах та *in vitro* в'язкість крові визначається тільки цими двома факторами. У дрібних судинах на в'язкість додатково впливають:

3)Лінійна швидкість крові. Чим більша лінійна швидкість, тим менша в'язкість і навпаки. У капілярах, де лінійна швидкість мінімальна в'язкість могла б сягати 10 одиниць. Але цього не відбувається завдяки:

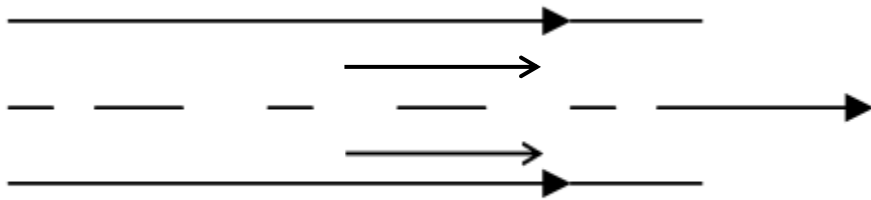
4)Ефекту Фареуса-Ліндквіста. Цей ефект характерний для судин діаметром менше 1 мм. У дрібних судинах еритроцити вибудовуються ланцюгом і рухаються змійкою в оболонці з плазми крові. За рахунок цього в'язкість зменшується у декілька разів.

Характер руху крові

Розрізняють 2 види течії крові:

1) Ламінарний – течія, при якій шари крові і її частки рухаються паралельно вісі судини.

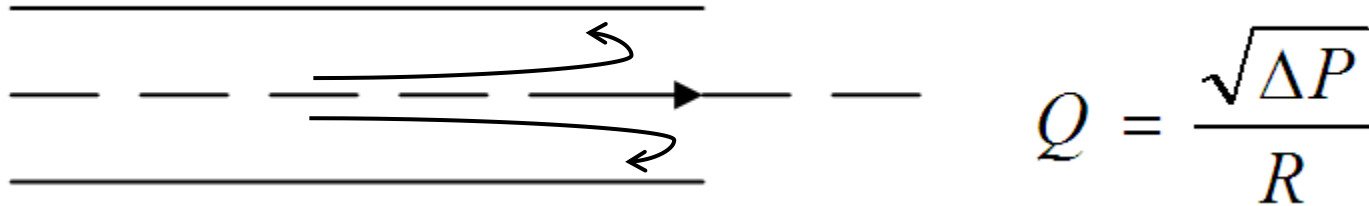
Частки крові з більшими розмірами і масою рухаються в центрі з великою швидкістю, а по периферії рухається плазма крові. Ламінарний рух крові характерний для більшості судин.



$$V_{\text{середнє}} = \frac{V_{\text{max}} + V_{\text{min}}}{2}$$

$$Q = \frac{\Delta P}{R}$$

2) Турбулентний – течія, при якій одні шари крові рухаються паралельно, інші – перпендикулярно вісі судини.



Щоб збільшити об'ємну швидкість руху крові у 2 рази при ламінарній течії, тиск треба збільшити також у 2 рази, а при турбулентній течії у 4.

Таким чином, при турбулентній течії зростає навантаження на серце.

В нормі турбулентний рух крові виникає в місцях розгалужень судин

звужень

перегибів.

Характер руху крові визначається числом Рейнольдса (Re).

r – радіус судини;

V – лінійна швидкість кровотоку;

ρ - щільність крові;

η - в'язкість крові.

$$Re = \frac{r \cdot V \cdot \rho}{\eta}$$

Якщо $Re < 200$ рух крові в судинах ламінарний за виключенням місць розгалужень, звужень, перегибів.

Якщо $Re > 1000$ рух крові в усіх судинах турбулентний. Частіше за все це буває при істотному зростанні швидкості руху крові (наприклад, при фізичній роботі) або при зменшенні її в'язкості (при анеміях).

Проявом турбулентного руху крові є шуми в серцево-судинній системі.

Гемодинамічні фактори судинної стінки

Радіус судин.

Це фактор який визначає :

- гемодинамічний опір

$$R = \frac{8 \eta l}{\pi r^4}$$

при зменшенні радіуса у 2 рази, а опір зросте в 16 разів (2^4), а в 4 рази – у 256 разів. Зміна опору призведе до зміни тиску, (а значить системної гемодинаміки) і об'ємної швидкості кровотоку (а значить місцевого кровотоку).

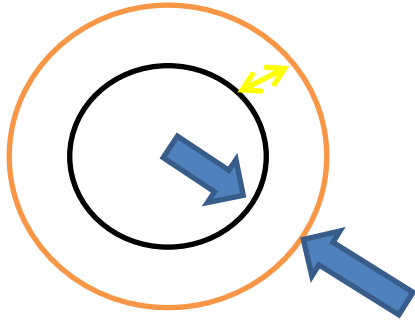
- ємність судин (здатність вмістити певний об'єм крові).

$$C = \frac{1}{R}$$

Фактори, що визначають радіус судин:

I Пасивні.

Трансмуральний тиск (різниця тисків між внутрішньою і зовнішньою поверхнями судинної стінки).



$$P_t = P_i - P_o$$

P_t – трансмуральний тиск;

P_i – тиск на внутрішню поверхню судин;

P_o – тиск на зовнішню поверхню судини.

Якщо $P_i > P_o$, то трансмуральний тиск сприяє збільшенню радіусу судини, і судина розширюється. Найчастіше це відбувається в артеріях.

Якщо $P_i < P_o$, то трансмуральний тиск сприяє зменшенню радіусу судини і судина спадається. Наприклад, спадіння вен шиї при збільшенні атмосферного тиску.

Значення трансмурального тиску.

1. P_t змінює радіус судин. Ступінь зміни радіусу залежить від таких властивостей судинної стінки, як пружність і розтяжність.

Пружність – здатність судинної стінки протидіяти силі, яка її розтягує. Пружність характеризується коефіцієнтом пружності: .

КП показує якого тиску треба докласти, щоб об'єм судини збільшився на одиницю.

Розтяжність – здатність розтягуватися під впливом P_t .

Розтяжність характеризується коефіцієнтом розтяжності.

КР показує як зміниться об'єм судини, якщо трансмуральний тиск збільшиться на одиницю.

Чим більша пружність, тим менша розтяжність і навпаки.

В артеріях висока пружність і низька розтяжність. У венах висока розтяжність і низька пружність. Розтяжність вен у 8 разів більша, ніж артерій, а вихідний об'єм вен у 3 рази більший, тому крові в них може вміститися у 24 рази більше, ніж в артеріях. ($8 \cdot 3 = 24$).

Значення трансмурального тиску.

2. Pt впливає на напругу судинної стінки.

Закон Лапласа.

$$T = P_t \cdot \frac{r_i}{h}$$

T – напруга;

Pt – трансмуральний тиск;

r_i – внутрішній радіус судини.

h – товщина судинної стінки.

В артеріях високий Pt, висока напруга судинної стінки, тому артеріальна стінка містить багато еластичних компонентів для запобігання її розвитку.

У венах низький Pt, напруга стінки у 10 разів менша ніж в артеріях, тому еластичних компонентів менше і вони не упорядковані в мембрани.

У капілярах напруга низька (у 10 тис. разів нижча, ніж в артеріях), тому їх стінка тонка (базальна мембрана + ендотелій) і не рветься.

Фактори, що визначають радіус судин:

II. Активні фактори

(фактори, пов'язані із скороченням і розслабленням гладеньких м'язів судинної стінки).

Тонус судин – стан постійного скорочення гладеньких м'язових клітин судинної стінки.

Існує 2 компонента тонуса:

1)Нейрогенний тонус – пов'язаний з постійною імпульсацією, яка надходить до судин по симпатичним нервам. Найбільше нейрогенний тонус виражений в судинах шкіри. У серці і головному мозку він відсутній.

2)Базальний тонус – пов'язаний зі спонтанним скороченням гладеньких м'язових клітин кровоносних судин. Найбільше виражений в судинах серця і головного мозку.

Функціональна класифікація судин

1) Судини-амортизатори (компенсуючі судини, судини компресійної камери). Це аорта, легеневий стовбур, великі артерії еластичного типу. Функція: перетворення поштовхоподібного надходження крові у судини на рівномірну течію.

2) Судини-опору (резистивні судини). Це: а) прекапілярні судини опору – кінцеві артерії і артеріоли; б) посткапілярні судини опору – венули.

Функція: створення загального периферичного опору. Ці судини мають велике значення для місцевого кровообігу (змінюють кровопостачання органів, тиск у капілярах), системною кровообігу (змінюють артеріальний тиск, забезпечують перерозподіл крові у судинах).

3) Судини ємності. Це вени. Функція: депонування крові (до 75% від загального об'єму крові). Значення цих судин: забезпечення депонування крові, забезпечення венозного повернення (зменшення радіуса вен на 3% збільшує в 2 рази венозне повернення, що у 2 рази збільшує хвилинний об'єм серця і артеріальний тиск).

4) Судини перерозподілу. Це:

а) судини-сфінктери (розташовані між артеріолами і капілярами). Ці судини регулюють кількість функціонуючих капілярів у тканині.

б) судини-шунти (артеріовенозні анастомози). Ці судини шунтують рух крові, по них кров іде із артерій у вени, не заходячи у капіляри.

