

Розділ 12.8. МІКРОЦИРКУЛЯЦІЯ

Мікроциркуляція – направлений рух рідин організму в кровоносних і лімфатичних мікросудинах.

Мікроциркуляторне русло – сукупність судин невеликого діаметру, до яких відносяться артеріоли, прекапіляри, капіляри, посткапілярні венули, венули і артеріоло-венулярні анастомози. Артеріоли – це кінцеві відділи артеріальної кровоносної системи з найбільш вираженими резистивними функціями. Характерна риса їх стінки – наявність шару гладком'язових клітин. Артеріоли з прекапілярами забезпечують формування периферичного опору судин і підтримування артеріального тиску.

Найбільш багаточисельними судинами є кровоносні капіляри. Загальна довжина капілярного русла людини дорівнює довжині трьох екваторів земної кулі. Стінка капілярів має дві оболонки: внутрішню ендотеліальну і зовнішню базальну. На рівні капілярів здійснюється обмін рідини, газів і поживних речовин між кров'ю і клітинами організму.

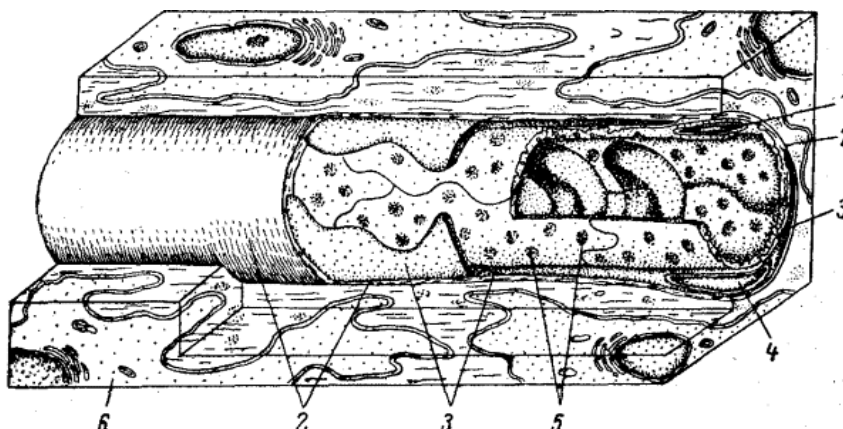


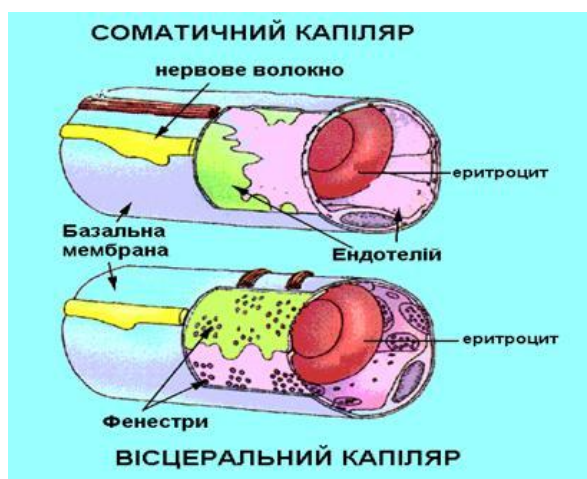
Рис. 1. Будова стінки кровоносних капілярів

1 – ендотеліоцит, 2 – базальна мембрана, 3 - періцит, 4 – ядро періцита, 5 – мікропіноцитозні везікули, 6 – фібробласт

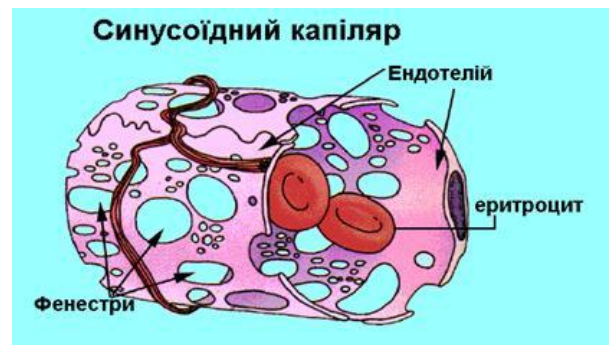
Розрізняють три типи капілярів у залежності від будови:

1. **Соматичні** («закриті капіляри») – ендотеліальна і базальна оболонка безперервні. Пропускають воду і розчинені в ній мінеральні речовини. Локалізуються ці капіляри в шкірі, м'язах, корі великих півкуль.

2. **Вісцеральні (фенестровані)** - в їх стінці є віконця – "фенестри" - в ендотелії суцільна базальна мембрана. Знаходяться ці капіляри в нирках, системі травлення, ендокринних залозах.



3. Синусоїдні (перфорировані) – ендотеліальна оболонка фенестрована і майже відсутня базальна мембрана. Через їх стінку легко проходять макромолекули, формені елементи. Локалізуються ці капіляри в кістковому мозку, печінці, селезінці.



КАПІЛЯРНИЙ КРОВООБІГ

Швидкість капілярного кровотоку

В середньому швидкість кровотоку в капілярах становить 0,5 мм/сек. Прижиттєві дослідження показали, що лінійна швидкість капілярного кровотоку шкіри людини – 0,74 мм/сек. В експерименті показано, що в легневих капілярах швидкість може досягати 2 мм/сек. Через альвеолярний капіляр довжиною 248 мкм еритроцит проходить за 0,12 сек. Швидкість кровотоку в капілярах визначається градієнтом тиску в прекапілярах і посткапілярах. Цей градієнт в свою чергу залежить від величини артеріального і венозного тиску і периферичного опору.

Потік еритроцитів, які проходять через капіляр, широко варіює і в залежності від функціонального стану органа може коливатися від 300 до 1500 еритроцитів у хвилину.

Перфузивність капілярів

Капіляри, в яких еритроцити переміщаються, називаються *перфузованими* (функціонуючими, відкритими).

Капіляри, які в даний момент не містять еритроцитів, а заповнені плазмою називаються *плазматичними*.

В умовах функціонального спокою органа кількість перфузованих капілярів складає 30–50 % від загальної кількості капілярів. При посиленій роботі органа плазматичні капіляри заповнюються еритроцитами. Тобто терміни перфузовані і плазматичні капіляри дуже умовні.

Можуть бути ще *закриті* капіляри, тобто капіляри, просвіт яких майже повністю перекритий стінками, які спалися. Зустрічаються такі капіляри тільки в паренхіматозних органах (легені, селезінка, печінка) у зв'язку з еластичністю їх строми. У тканинах з більш жорсткою стромою, як показали прижиттєві спостереження, закритих капілярів не має.

Існує погляд, що кількість перфузованих капілярів визначається роботою прекапілярного сфінктера. Прекапілярний сфінктер утворений двома гладком'язовими тканинами і має моторну і нервацію, високу чутливість до гуморальних факторів. Допускають, що гладком'язові клітини прекапілярного сфінктера мають певний тонус, який обумовлює відносну констрикцію. При підсиленій роботі органа нагромаджуються продукти метаболізму, які знижують тонус гладком'язових клітин, а отже, викликають дилатацію. Це супроводжується підсиленням капілярного кровотоку, що в свою чергу, забезпечує видалення надлишку метаболітів і відновлення тонусу м'язових клітин і

зменшення кровотоку. А періодична перервність кровотоку в капілярах може бути обумовлена закупорюванням гирла прекапілярів лейкоцитами, які із затрудненнями проходять його. Після проходження лейкоцитів кровотік в капілярах відновлюється. У капілярах, діаметр яких близький до діаметра еритроцитів, останні своєю широкою поверхнею розміщені поперек потоку і рухаються майже один за одним. Це так званий поршневий механізм проходження еритроцитів.

Реологічні властивості крові також впливають на перфузованість капілярів.

Основна функція капілярів – транскапілярний обмін – забезпечення клітин органів і тканин поживними і пластичними речовинами і видалення продуктів метаболізму. Для здійснення цього обміну необхідні певні умови, важливішими з яких є швидкість кровотоку в капілярі, величина гідростатичного і онкотичного тиску, проникність стінки капіляра і кількість перфузованих капілярів.

Площа обмінної поверхні капілярів

- обмінна поверхня одного капіляра – 22 000 мкм² (з урахуванням поверхні венул, які беруть участь в обмінних процесах)

- загальна площа поперечного перерізу капілярів великого кола кровообігу – 11 000 см²

- площа поперечного перерізу капілярів малого кола кровообігу (площа дифузії) – 50-100 м²

Механізми транскапілярного обміну

- 1) фільтраційно-реабсорбційний;
- 2) дифузія
- 3) мікровезикулярний транспорт (піноцитоз).

Фільтрація і реабсорбція відбуваються за рахунок різниці гідростатичного тиску крові і гідростатичного тиску оточуючих тканин, а також під дією різниці величин онко- і осмотичного тиску крові і міжклітинної рідини. Цей механізм забезпечує в основному переміщення води і незначну кількість невеликих молекул розчинів.

Тому в загальному вигляді величина фільтраційного і реабсорбційного тиску може бути вирахована за формулою:

$$P_{ф-р} = (P_{Гк} - P_{Гтк}) - (P_{Опл} - P_{Отк}), \text{ де}$$

$P_{Гк}$ і $P_{Гтк}$ – гідростатичний тиск крові і тканинної рідини;

$P_{Опл}$ і $P_{Отк}$ – осмотичний тиск плазми і тканинної рідини.

Отже $P_{ф-р}$ = тиск з капіляра - тиск в капіляр.

Якщо взяти середньостатичний капіляр, то величина гідростатичного тиску в артеріальному кінці становить 32,5 мм рт.ст., а в тканинній рідині – 3 мм рт.ст. Осмоонкотичний тиск плазми становить 25 мм рт.ст., а в тканинній рідині – 4,5 мм рт.ст. Ефективний фільтраційний тиск буде складати:

$$P_f = (32,5 - 3) \text{ (тиск з капіляра)} - (25 - 4,5) \text{ (тиск в капіляр)} = 29,5 - 20,5 = 9 \text{ мм рт.ст.}$$

Оскільки під час руху крові через капіляр частина води виходить з судинного русла, що веде до зменшення гідростатичного тиску у венозному кінці до 17,5 мм рт. ст. Осмо-онкотичний тиск у венозному кінці капіляра залишився таким самим, тобто 25 мм рт. ст. У тканині гідростатичний і осмо-онкотичний тиски також залишилися без змін.

Ефективний реабсорбційний тиск буде складати: $P_p = (17,5 - 3) \text{ (тиск з капіляра)} - (25 - 4,5) \text{ (тиск в капіляр)} = 14,5 - 20,5 = -6 \text{ мм рт.ст.}$

Отже тиск в капіляр переважає над тиском з капіляра. У нормі швидкість фільтрації рідини практично дорівнює реабсорбції (зворотньому всмоктуванню). Середня швидкість фільтрації у всіх капілярах організму дорослої людини складає 20 л/добу. Зворотній процес, або реабсорбція складає 18 л/добу, тобто лімфатичними судинами відтікає 2 л/добу. Фільтрації рідини через стінку капіляра сприяє і поршневий механізм проходження еритроцитів.

Дифузія – є важливою для переходу газів через стінку капілярів (за рахунок різниці парціальних тисків газів).

Піноцитоз – грає важливу роль в здійсненні креаторних зв'язків в організмі. Проте він відбувається дуже повільно і відіграє незначну роль в транскапілярному обміні.