

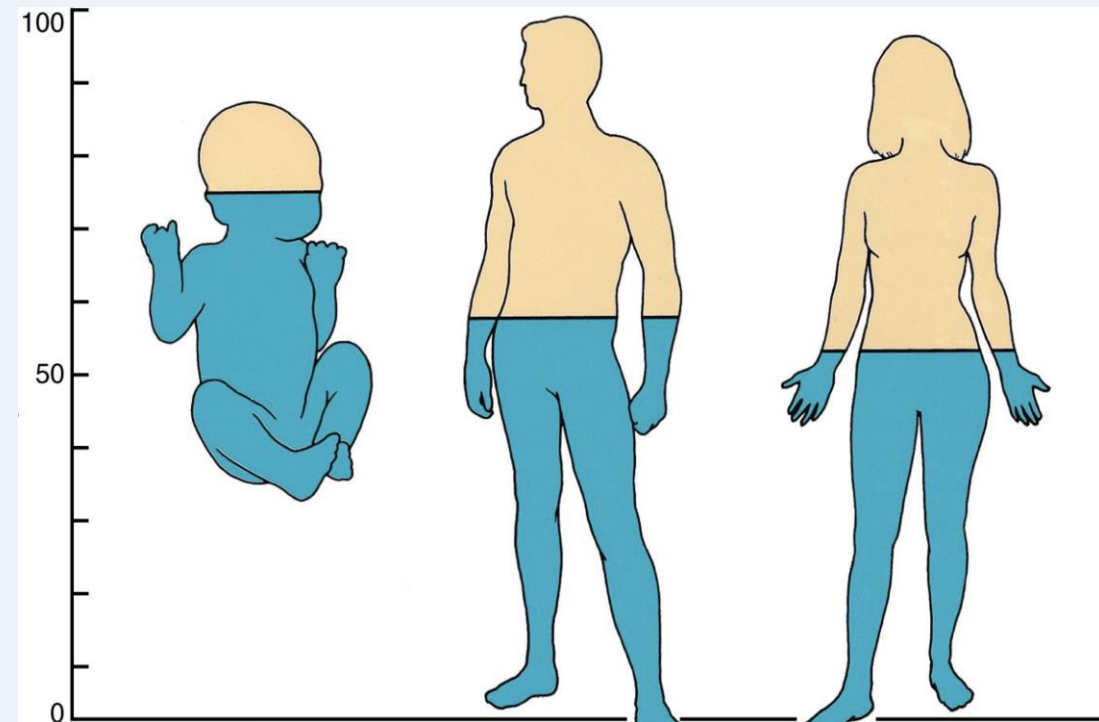
Порушення водно-електролітного обміну

Клінічна фізіологія водноелектролітного обміну. Вміст води в організмі

- Найбільша гідратація спостерігається у недоношених немовлят — до 90% маси тіла
- У людини з надмірною масою тіла зі значними накопиченнями жиру, який належить до маловодних тканин, доля води може знижуватися до 40–50%. І навпаки — у худих суб'єктів відносна кількість води збільшується і може становити 70–75% маси тіла
- У жінок показник гідратації є дещо нижчим, ніж у чоловіків, і становить 50–55% від МТ. Це пов'язано з тим, що чоловіки зазвичай мають більшу м'язову масу, яка містить багато води. А жінки мають більш значний жировий прошарок, бідний на воду.

Розподіл загальної води організму (Курек В.В., 2006)

Вік	% води від маси тіла
Недоношені новонароджені, гестаційний вік 32 тижнів	85–90
Доношені новонароджені	80
6 місяців	70
1–5 років	65
6–14 років	60
Дорослі	55–60

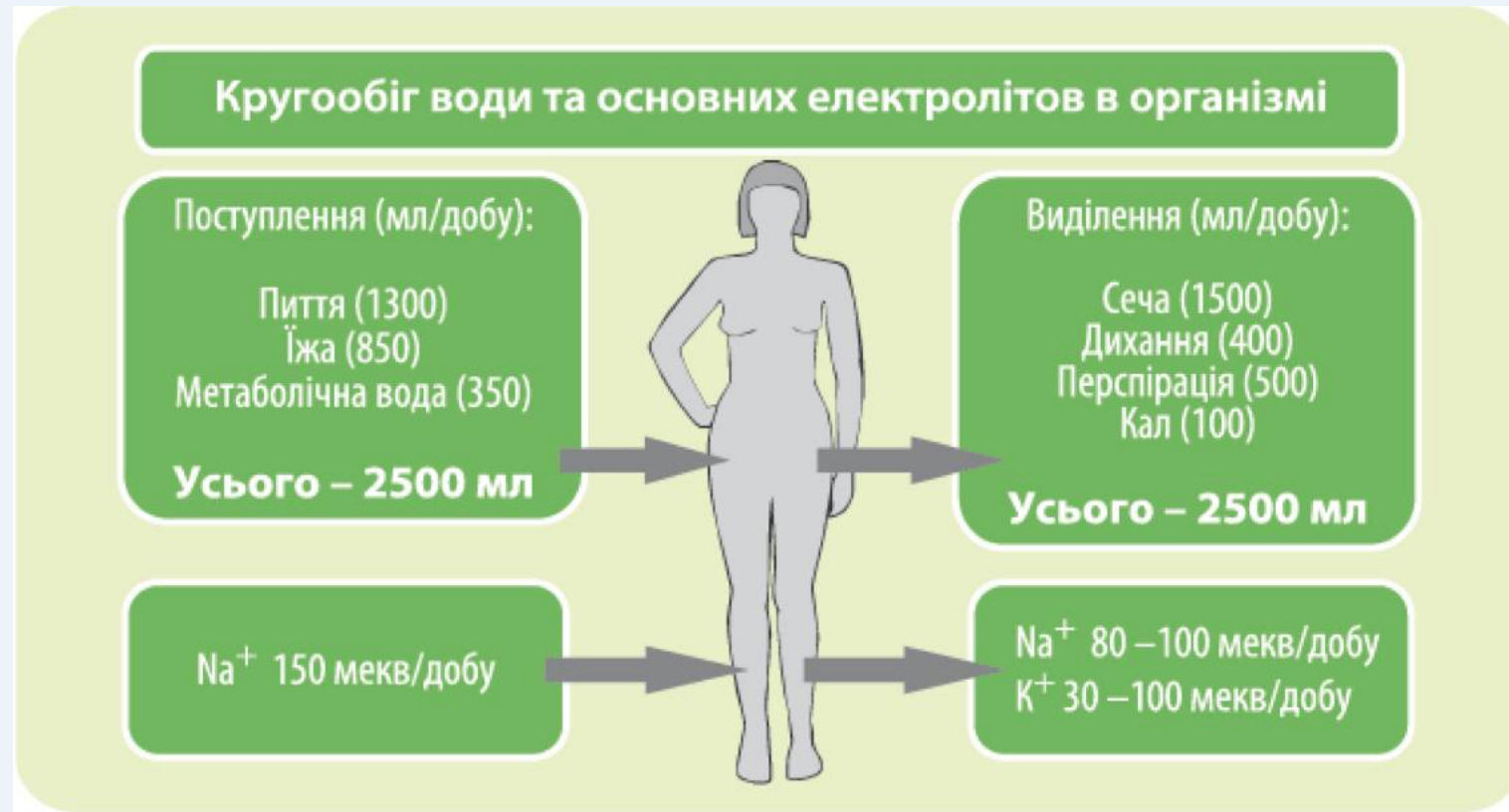


Вміст води в організмі визначається рівновагою між її надходженням та виділенням. Об'єм позаклітинного простору та вміст в ньому електролітів залежать від надходження рідини та її втрат за рахунок випаровування та ниркової регуляції

Виведення води з організму здійснюється нирками, кишківником, легеньми і шкірою.

У середньому за добу близько 1500 мл виділяється з сечею, 100 мл — з калом, до 500 мл — з потом і 400 мл води втрачається у вигляді пару з поверхні шкіри і через легені.

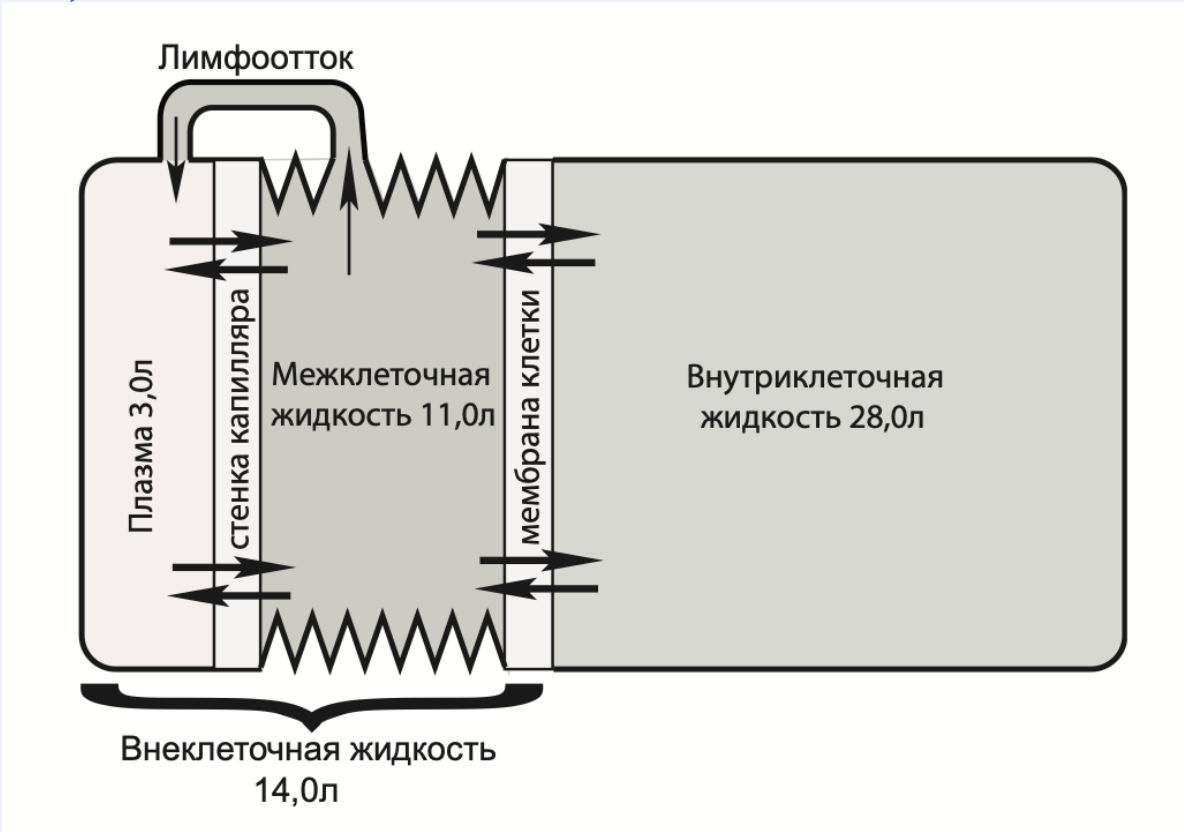
Втрата води через шкіру (випаровування з поверхні) і через легені (з повітрям, яке видихається) відбувається непомітно для людини. Тому ця частина втрат води отримала назву «непомітна втрата води»



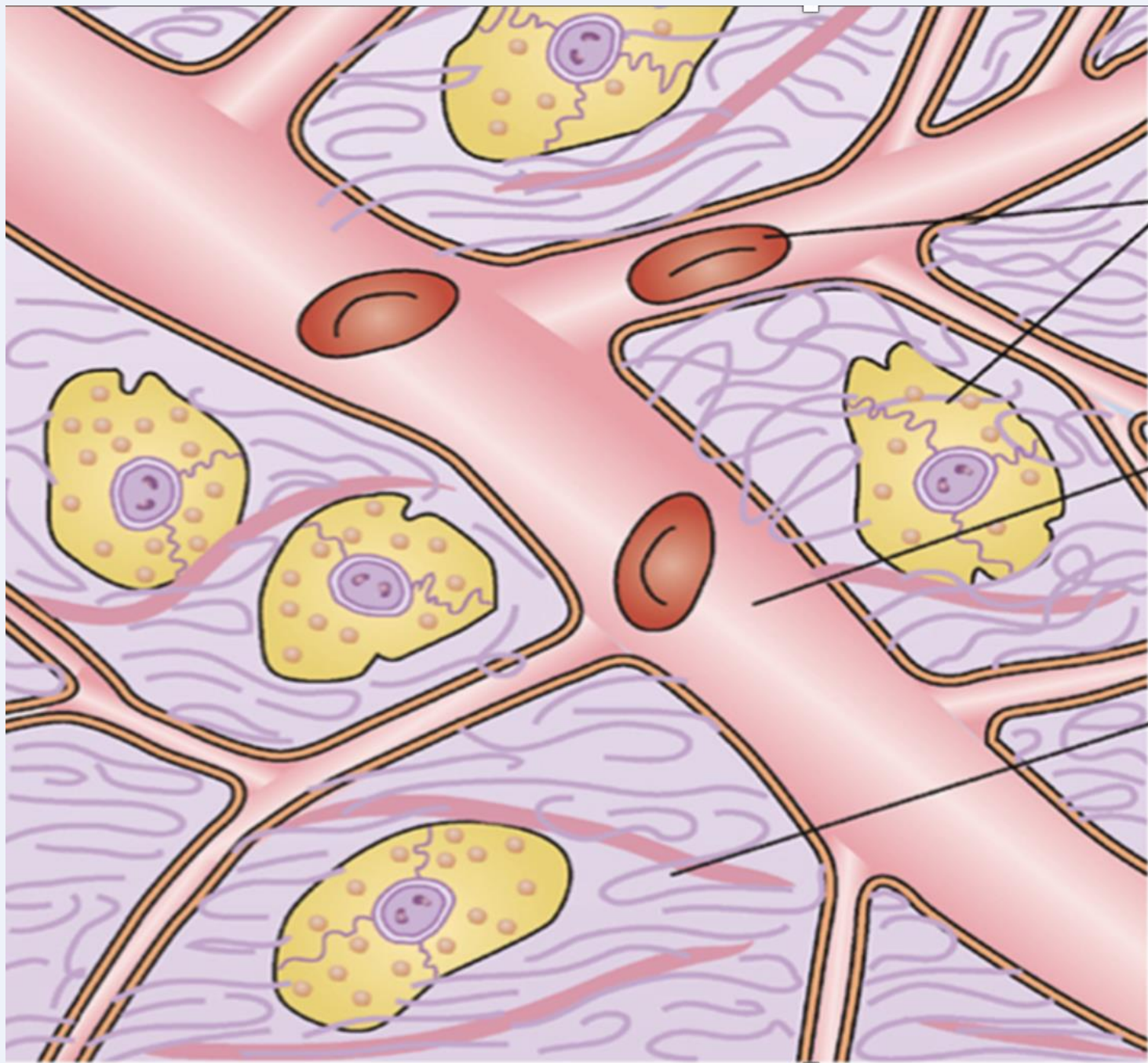
Розподіл рідини в організмі

Рідина в організмі розподіляється по водних секторах. Кожен сектор має свій склад рідини, який відповідає його функціональній ролі в процесі життєдіяльності організму. Виділяють такі водні сектори:

- 1. внутрішньоклітинний простір;
- 2. міжклітинний простір (інтерстиції);
- 3. внутрішньосудинний простір;
- 4. трансцелюлярна рідина (рідина природних порожнин).



Водні сектори	Об'єм, л	Вміст води, %
Загальна вода	42	60% маси тіла
Внутрішньоклітинна вода	28	66% загальної води
Позаклітинна вода:	14	34% загальної води
— інтерстиціальна вода	8,5–9	До 72,5% позаклітинної води
— внутрішньосудинна вода	3,5	25% позаклітинної води
— трансцелюлярна рідина	1,5–2,0	До 2,5% позаклітинної води



**Внутрішньо-
клітинна
рідина**

**Позаклітинна
рідина
(плазма)**

**Позаклітинна
(інтерстиційна)
рідина**

Внутрішньоклітинний простір

Лева доля води організму міститься всередині клітин — це так званий внутрішньоклітинний водний сектор. Всередині цього простору знаходиться 2/3 всієї води організму або близько 40% маси тіла здорової людини.

Міжклітинний простір (інтерстиція)

Міжклітинна рідина виконує в організмі роль **об'ємного буфера** — при крововтраті з неї мобілізується вода в судинне русло, а при передозуванні внутрішньовенно введених розчинів, зазвичай, більша їх частина депонується міжклітинно (в інтерстиції). Цієї рідини у дорослих близько 10–12 л, що відповідає 15–17% маси тіла.

Внутрішньосудинний простір

Через складність свого складу кров є особливим рідким середовищем, яке якісно відрізняється від рідини інших водних секторів. Це фактично рідка тканина, утворена сумішшю автономних **кров'яних клітин** та **міжклітинної рідини (плазми)**. Другою відмінністю крові є її постійне переміщення в судинному руслі та активний обмін речовинами та газами з інтерстицією і різними органами.

Об'єм рідкої частини крові — плазми можна обрахувати за формулою:

Об'єм плазми (л) = маса тіла (кг) × 0,043.

З об'ємів плазми та формених елементів крові складається об'єм циркулюючої крові (ОЦК), який в нормі становить близько 7% МТ.

Трансцелюлярна рідина

Трансцелюлярна рідина — це рідина, яка міститься в порожнинах організму. *Секрети, які належать до трансцелюлярної рідини, суттєво відрізняються один від одного за складом.*

Виділяють **рідину природних замкнених порожнин**, рідину **шлунково-кишкового тракту** та рідину **сечови- дільного сектора**.

1. Рідина природних замкнених порожнин знаходиться у спинномозковому просторі, очних яблуках, всередині суглобів, в плевральній, перикардіальній та перитоне- альній порожнинах. Вона переважно виконує механічну роль **амортизатора** та регулятора внутрішньопорожнин- ного тиску (для головного та спинного мозку) або речо- вини, що знижує тертя (в синовіальних та серозних порожнинах). Загальна кількість цієї рідини в нормі не перевищує **100–200 мл**, але при деяких захворюваннях (плеврит, асцит) в серозних порожнинах може накопичуватися до 10–20 літрів рідини.

2. Рідина в порожнині шлунково-кишкового тракту знаходиться у вигляді хімусу, що є сумішшю вжитої води, їжі та травних соків. Останні надходять у просвіт кишківника цілодобово в загальній кількості 6–8 літрів на добу. Проте завдяки постійному всмоктуванню рідини в кров *середній об'єм хімусу становить близько 1–2 літрів.*

3. Сектор сечовидільної системи є останнім резервуаром, який завершує циркуляцію води в організмі. На відміну від інших водних секторів, між якими може відбуватися перерозподіл води, рідина в порожнині сечовидільної системи виключається з подальшого обміну в організмі. *Ємність цього сектора — близько 500–800 мл. За добу через нього проходить 1,5–2 літри рідини.*

В клініці виділяють також поняття **«третього водного простору»**. Його використовують тільки для характеристики патологічних станів. Третій водний простір включає рідину, яка накопичується в серозних порожнинах

Між ними відбувається постійний обмін водою й розчиненими в ній речовинами через *напівпроникні мембрани*, являючи собою процеси *осмосу й дифузії*, які підкоряються двом законам: *електронеутральності й ізоосмолярності*.

- *Закон електронеутральності*: якщо з одного сектора виводиться якийсь іон, то на його місце обов'язково буде уведений інший іон з тим же знаком заряду.
- *Закон ізоосмолярності*: розчинник (H_2O) буде рухатися в такому напрямку, щоб вирівняти осмолярність (осмотичний тиск) у всіх секторах організму.
- **Осмос** - спонтанний рух розчинника через напівпроникну мембрану з менш концентрованого розчину в більше концентрований.
- **Осмотичний тиск** - це тиск, під яким розчинник проникає в розчин через напівпроникну мембрану

Склад внутрішньоклітинного сектору та позаклітинного

Натрій - основний позаклітинний катіон, що підтримує осмотичний тиск та pH у клітині та у позаклітинному просторі. Впливає на скорочення м'язів, нервову діяльність та стан серцево-судинної системи.

Калій - основний внутрішньоклітинний катіон, необхідний для проведення нервового імпульсу та скорочення м'язів.



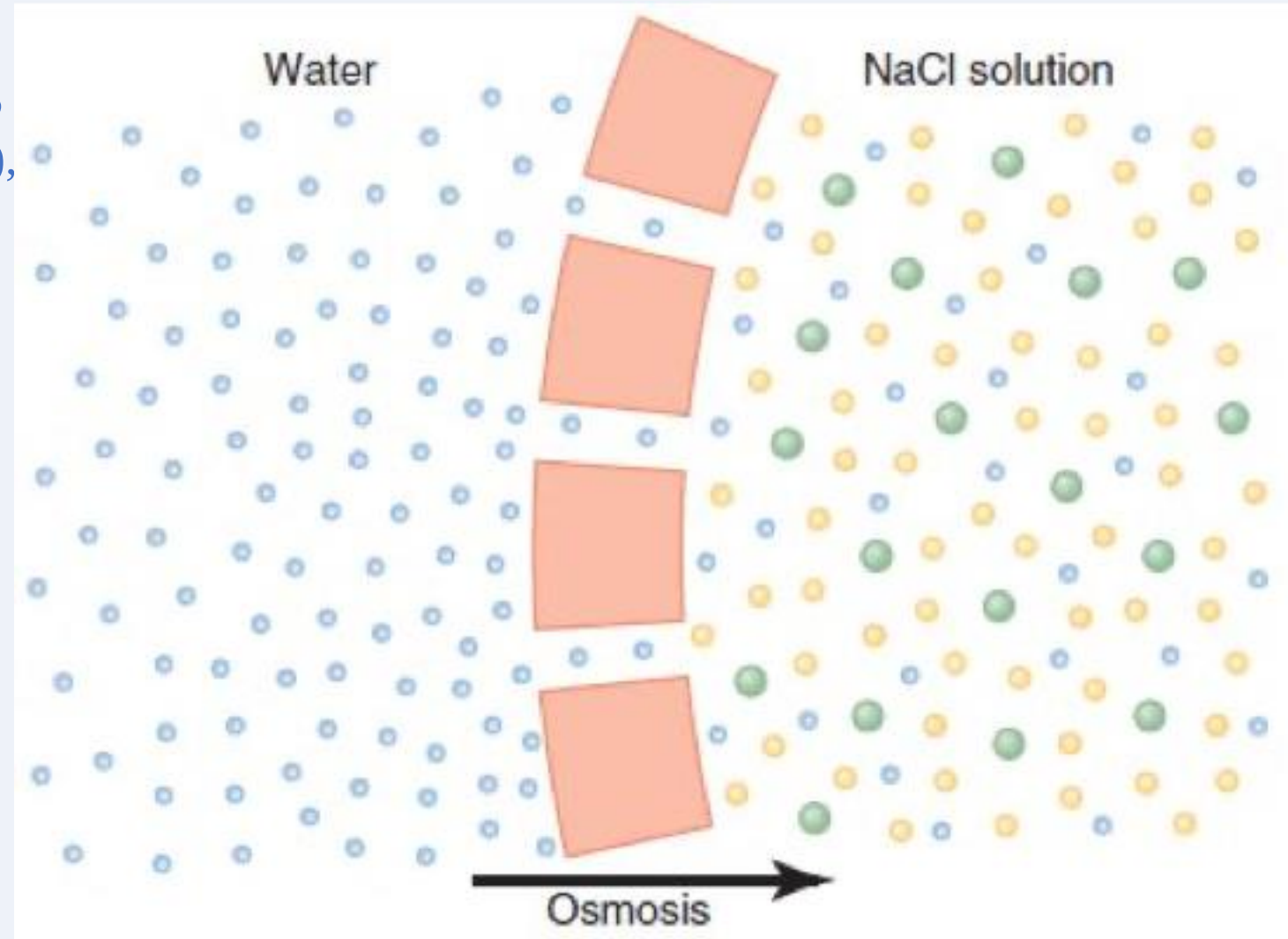
NB! Оскільки K^+ є основним внутрішньоклітинним катіоном, слід пам'ятати, що загальний дефіцит K^+ в організмі може супроводжуватися його зниженням, нормальним або навіть підвищенням вмістом в плазмі.

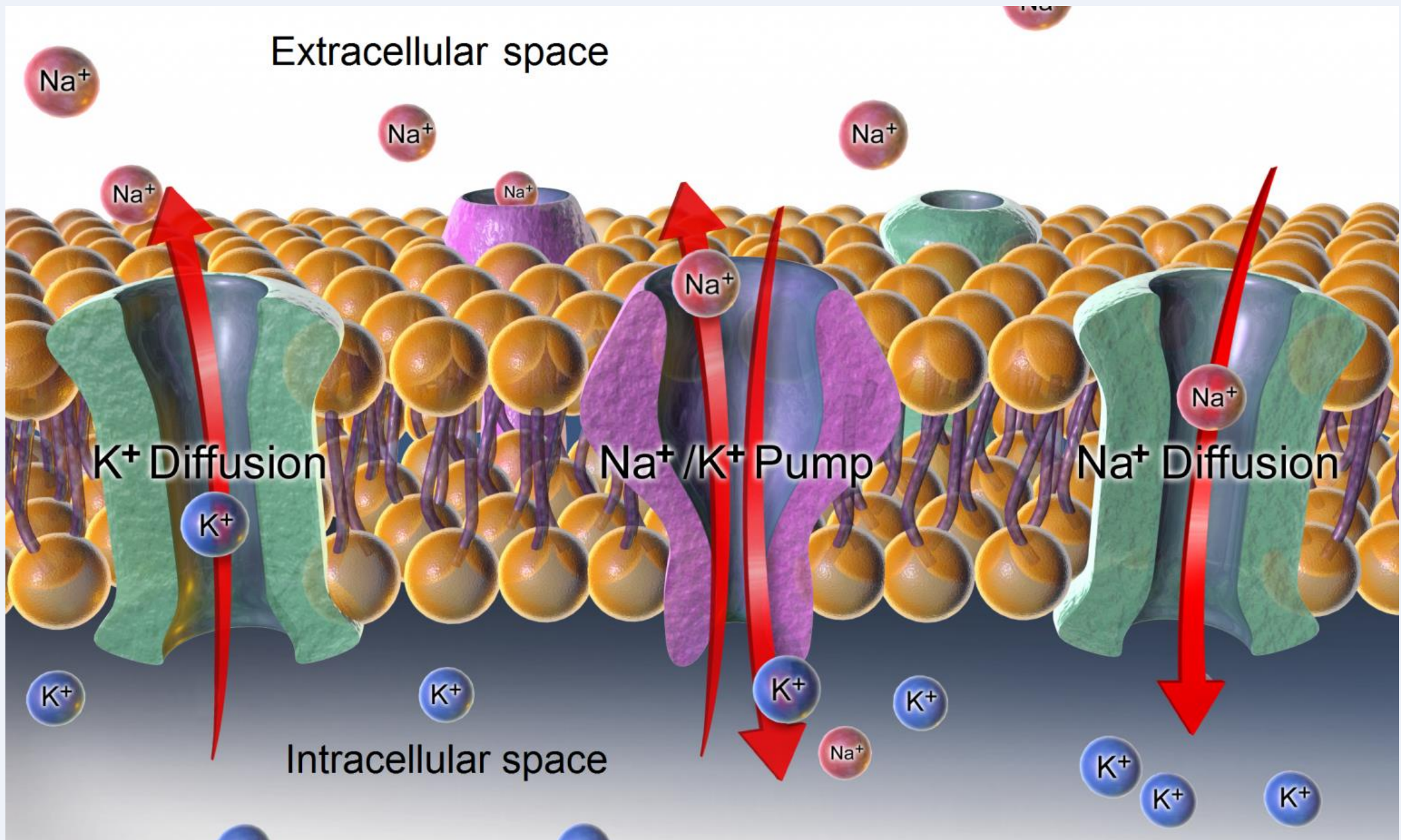
Осмотичний тиск – рушійна сила обміну води між клітиною та позаклітинною рідиною

Визначається концентрацією осмотично активних речовин (електроліти (натрій!), глюкоза, сечовина)

- У нормі:

290 ± 10 мосмоль/л





Транспортні процеси

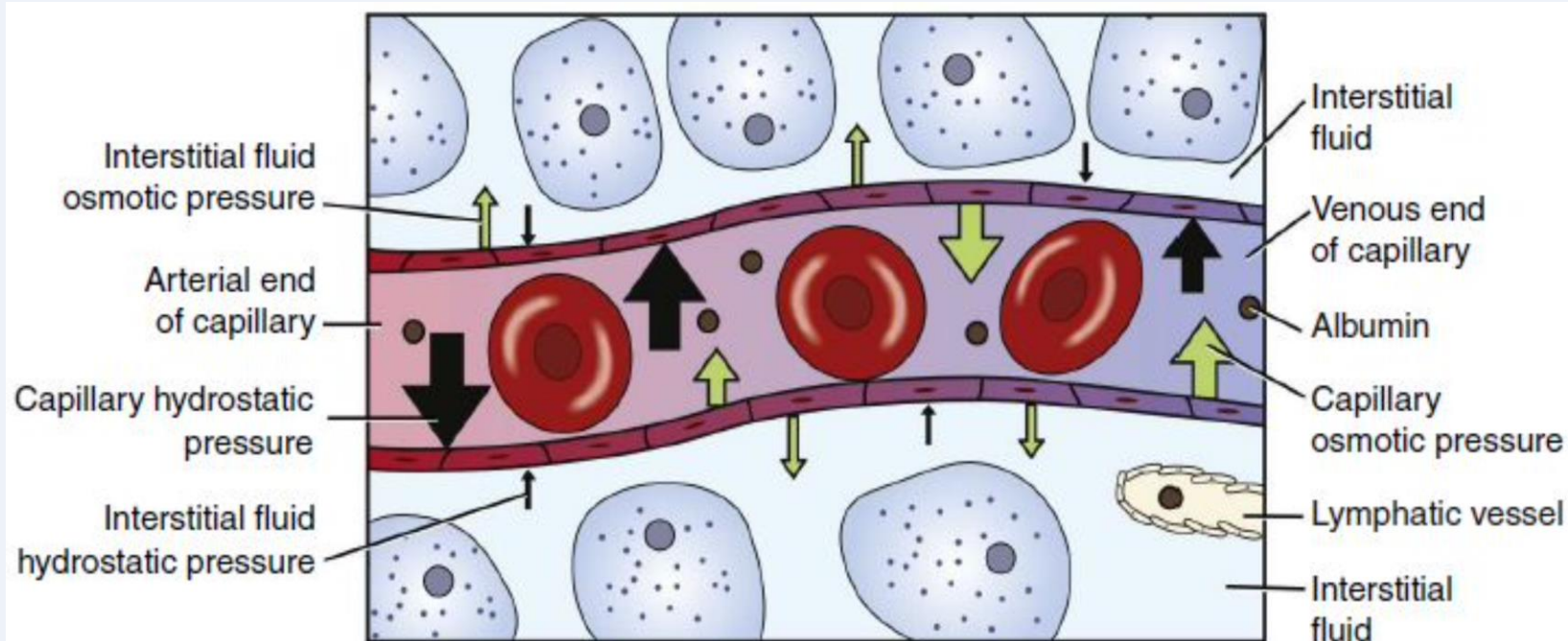
- Дифузія
- Активний транспорт
- Фільтрація
- Осмос

Обмін води між судинами та тканинами здійснюється за механізмом Старлінга:

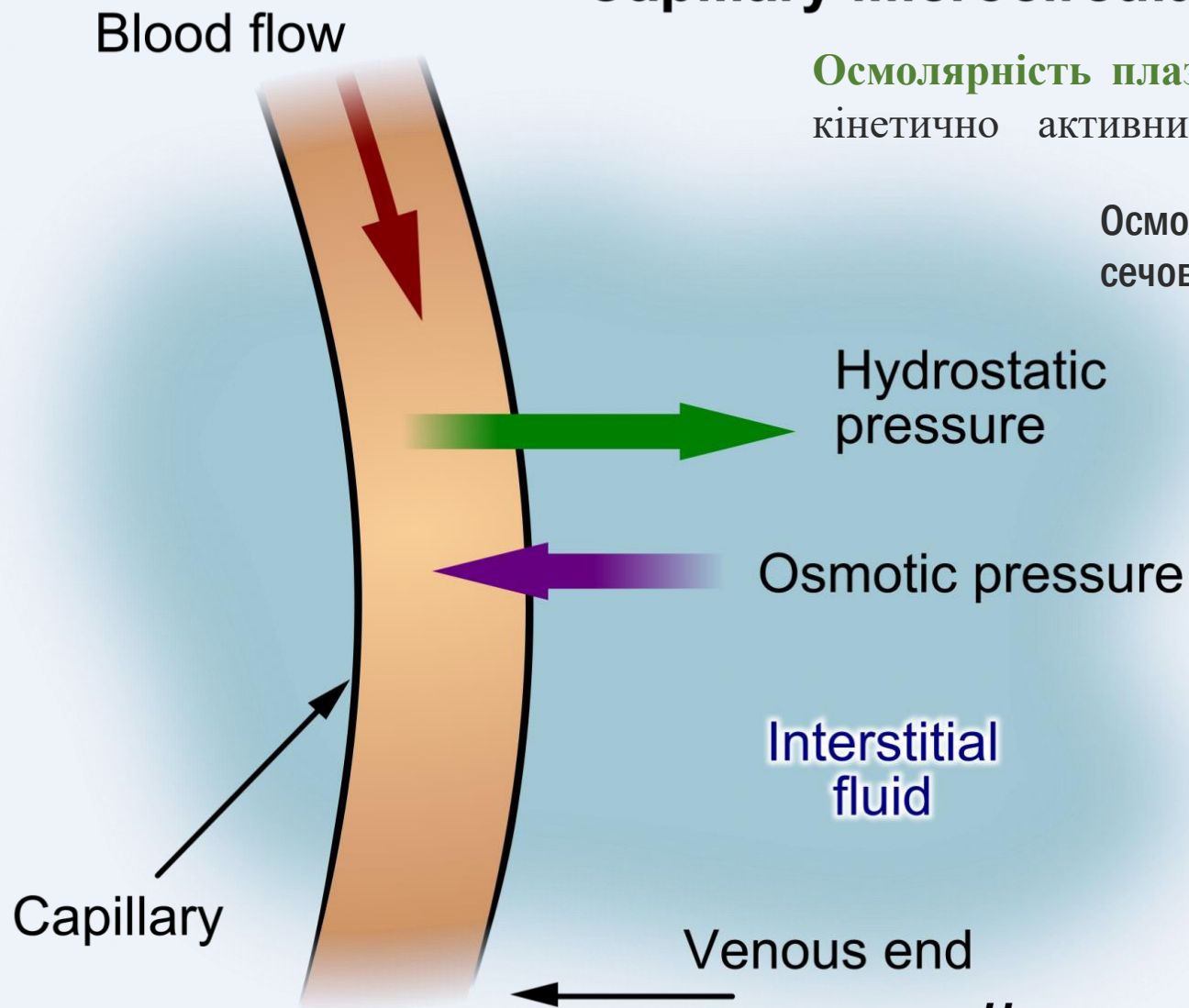
через стінки капілярів легко переміщається вода, електроліти, деякі органічні сполучення, але погано транспортуються білки.

Механізм Старлінга: рушійні сили обміну води між судинами та тканинною рідиною

- *у початковій частині* капіляра сума гідродинамічного й гідростатичного тиску переважає над онкотичним і перевищує гідростатичний тиск у тканинах, тому рідина з початкового відділу капіляра переходить у тканини;
- *у середній частині* капіляра тиск зрівнюється, і рух рідини припиняється;
- *у венозному кінці* сума гідростатичного, гідродинамічного і онкотичного тиску плазми стає менше тієї ж суми в тканинах, і тому рідина переходить із міжклітинного простору в капіляр.



Capillary Microcirculation



Осмолярність плазми – це сукупність всіх розчинених в одному її літрі кінетично активних частинок (аніонів, катіонів, органічних сполук).

Осмолярність плазми (сироватки) = $2 \times \text{натрій (Na, ммоль/л)} + \text{сечовина (ммоль/л)} + \text{глюкоза (ммоль/л)}$.

Нормальний рівень осмолярності плазми крові (280–300 ммоль/кг)

Порушення ВЕО

```
graph TD; A[Порушення ВЕО] --> B[У клітинному секторі]; A --> C[У позаклітинному секторі]; B --> D[Гіпогідрія]; B --> E[Гіпергідрія]; D --> F[Зморщення клітин]; E --> G[Набухання клітин]; C --> H[Гіпогідрія]; C --> I[Гіпергідрія]; H --> J["-ізоосмолярна<br>-гіпоосмолярна<br>-гіперосмолярна"]; I --> K["-ізоосмолярна<br>-гіпоосмолярна<br>-гіперосмолярна"]
```

У клітинному
секторі

Гіпогідрія

Зморщення
клітин

Гіпергідрія

Набухання
клітин

У позаклітинному
секторі

Гіпогідрія

-ізоосмолярна
-гіпоосмолярна
-гіперосмолярна

Гіпергідрія

-ізоосмолярна
-гіпоосмолярна
-гіперосмолярна

Зневоднення (дегідратація)

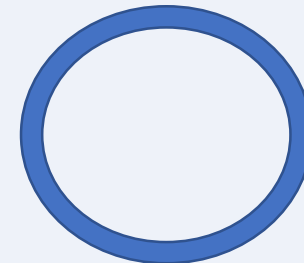
Ізотонічне зневоднення

Дефіцит води у організмі, який протікає з *нормальною ефективною молярністю (ізотонією) рідин організму*. **Причиною** є втрата ізотонічних рідин: через ШКТ, нирки, шкіру (опіки); втрата крові; внаслідок затримки рідини у третьому просторі (напр., у черевній порожнині).

Виникають: симптоми гіповолемії (зниження артеріального і центрального венозного тиску, тахікардія), симптоми ішемії центральної нервової системи (ЦНС), олігурія (преренальна ГНН), сухість слизових оболонок, сухість і зниження еластичності шкіри. В критичних випадках — гіповолемічний шок.

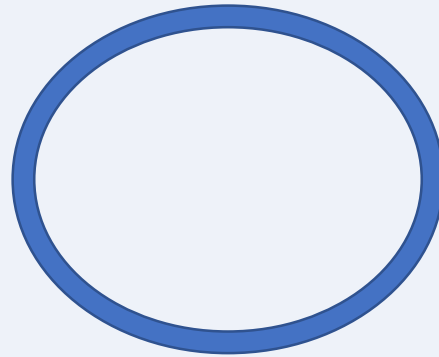
Гіпертонічне зневоднення

Дефіцит води у організмі, який протікає зі збільшеною ефективною молярністю (гіпертонія) рідин організму. **Причини:** **недостатнє надходження води** (найчастіше — у пацієнтів без свідомості); втрата води через легені (гіпервентиляція) або гіпотонічних рідин через шкіру, ШКТ або нирки (нецукровий діабет, осмотичний діурез, спричинений глюкозурією). Підвищений осмотичний тиск позаклітинної рідини **спричиняє дифузію води з внутрішньоклітинного до позаклітинного простору, що призводить до зменшення і внутрішньоклітинного простору (зневоднення клітин).**



Гіпотонічне зневоднення

Дефіцит води у організмі, який протікає зі зменшеною ефективною молярністю (гіпотонічністю) рідин організму. **Причиною** є втрата ізотонічних рідин нирками або через ШКТ, частково компенсована прийомом гіпотонічних рідин (напр., чаю без цукру). Внаслідок цього **рідина з міжклітинного середовища проникає у внутрішньоклітинний, що призводить до набряку клітин (особливо ЦНС), а також подальшого зменшення кількості рідини у позаклітинному середовищі (посилення гіповолемії).**



Види гіпергідратації

Ізотонічна гіпергідратація

Характеризується збільшенням кількості рідини у позаклітинному просторі, що проявляється набряками.

Причиною є збільшення у організмі кількості натрію у вигляді ізотонічного розчину.

У нагромадженні натрію і води в організмі беруть участь гормональні фактори

(активація ренін-ангіотензин-альдостеронової системи, відносна недостатність натрійуретичних гормонів, таких, як передсердний натрійуретичний пептид) і нервові (збудження симпатичної нервової системи).

Причини:серцева недостатність, цироз печінки, нефротичний синдром, ниркова недостатність.

Гіпертонічна гіпергідратація

Надлишок води в організмі зі збільшеною ефективною молярністю (гіпертонія) рідин організму. **Причина:** найчастіше — це надмірне поступлення гіпертонічних розчинів натрію (пиття морської води особами, які потерпіли корабельну аварію, годування через зонд) або ізотонічних розчинів у пацієнтів зі зниженою видільною функцією нирок. Гіпертонія міжклітинної рідини спричиняє зневоднення клітин, зменшення внутрішньоклітинного та збільшення міжклітинного об'єму рідини.

Гіпотонічна гіпергідратація (водне отруєння)

Надмірна кількість води у організмі по відношенню до запасів натрію, що призводить до гіпонатріємії і зменшення ефективної молярності (гіпотонічності) рідин організму. Основна **причина** — знижене виділення вільної води нирками внаслідок ниркової недостатності (ГПН чи ХХН) або збільшеної секреції вазопресину під впливом неосмотичних стимулів

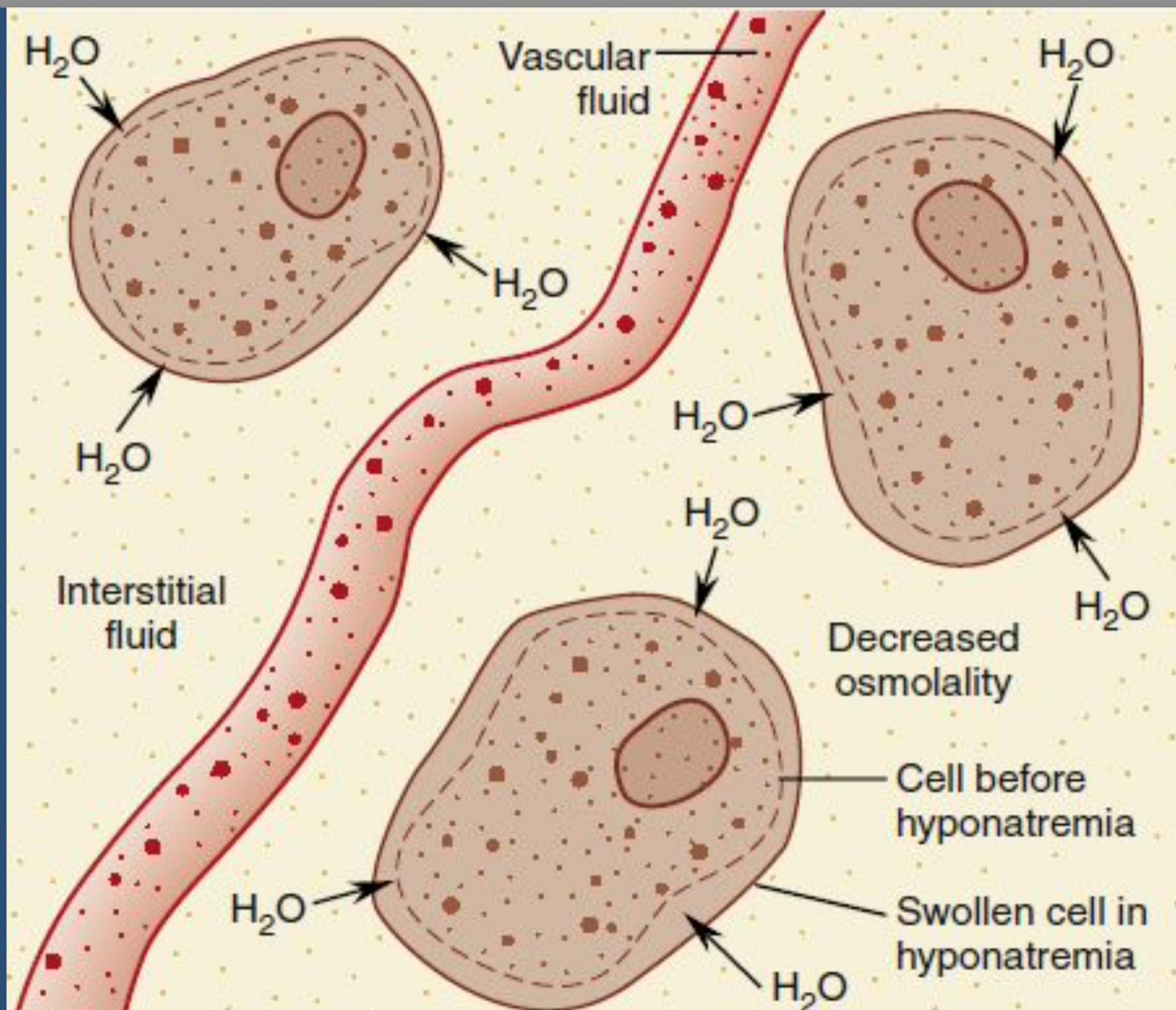
Ознаки гіпергідрії:

- Накопичення води в тканині (у міжклітинному просторі) – набряк (**oedema**)
- Накопичення води в порожнинах – водянка (**hydrops**): асцит, гідроперикард, гідроторакс тощо.
- Набрякова рідина (окрім випадку запалення) – **трансудат!**



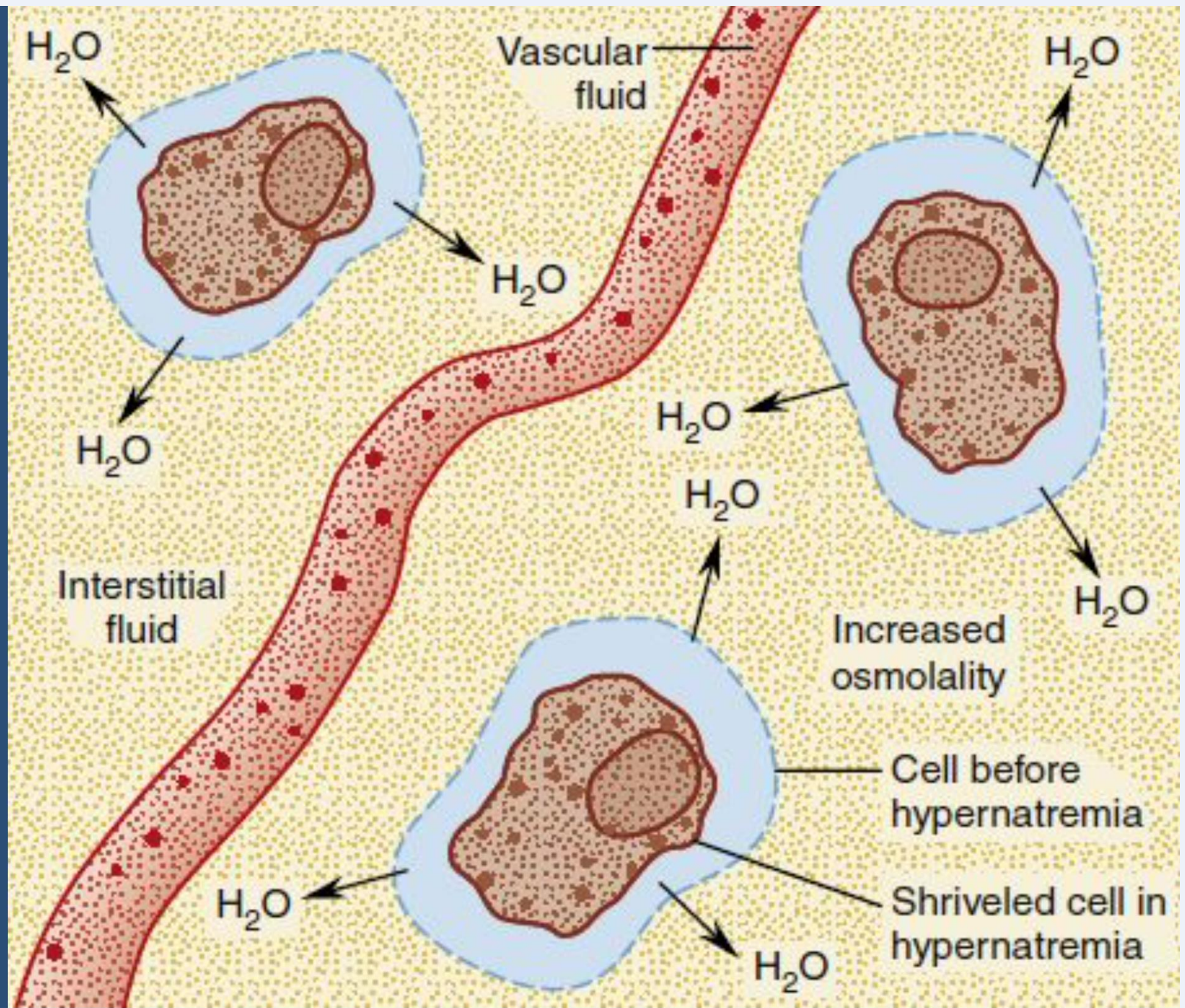
Набухання клітин:

- Внутрішньоклітинна гіпергідрія
- Причина: гіпоосмолярний стан позаклітинного середовища – **ГІПОНАТРІЄМІЯ**
- Найнебезпечніше – набухання клітин мозку!



Зморщення клітин:

- Внутрішньоклітинна гіпогідрія
- Причина: гіперосмолярний стан позаклітинного середовища – **ГІПЕРНАТРІЄМІЯ**
- Найнебезпечніше – зморщення клітин мозку!



Класифікація периферичних набряків

- ЗА ЕТІОЛОГІЄЮ: серцеві, ниркові, печінкові, запальні, алергічні, токсичні, “голодні”.
- ЗА ПАТОГЕНЕЗОМ: гідростатичні, онкотичні, лімфогенні, мембраногенні, мікседематозні
- В ОСНОВІ – МЕХАНІЗМ СТАРЛІНГА!

Порушення електролітного обміну:

Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , HPO_4^{2-}

Ізоіонія (здатність підтримувати постійність концентрації електролітів у позаклітинному секторі) є однією з найважливіших функцій організму.

Електроліти

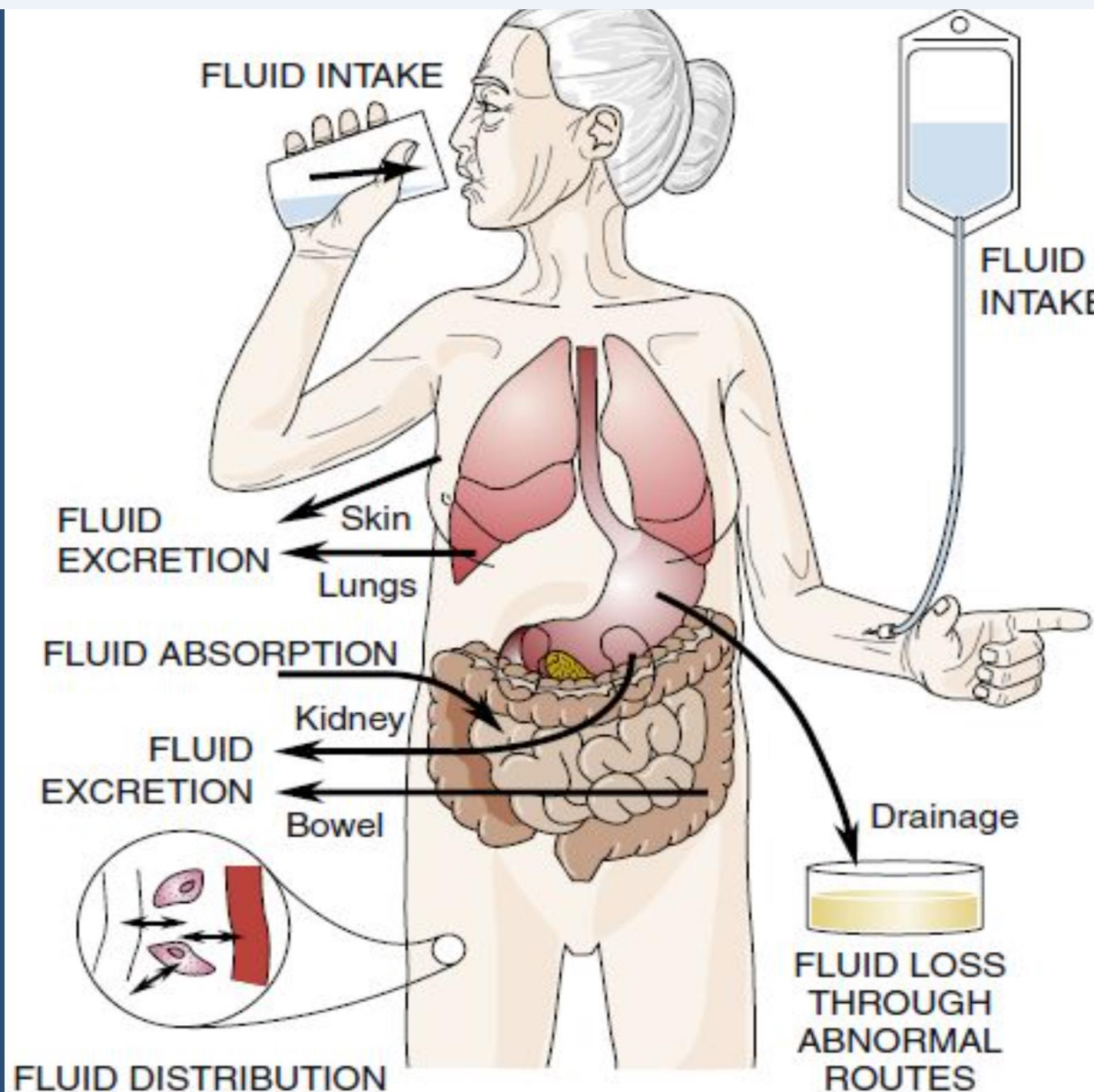
- приймають участь в процесах нервово- м'язевої збудливості
- впливають на скоротливість м'язевих клітин
- підтримують КОС організму
- регулюють водний баланс

Зв'язок між ВЕО та КОС

полягає у взаємодії законів **електронеутральності** та **ізоосмолярності** в середовищах, розділених напівпроникною мембраною, через яку вільно проникає H_2O і якою затримуються деякі іони. При цьому осмолярність поза- і внутрішньоклітинного секторів лишається однаковою, але обумовлена вона різними іонами, і саме тому у клітині виникає негативний заряд.

КОС

- Баланс між кислотами (донаторами протонів) та основами (акцепторами протонів)



Натрій є основним катіоном позаклітинного водного простору і визначає його **осмолярність**. Натрій підвищує нейром’язову провідність, збудливість симпатичних нервових закінчень, а разом з іонами кальцію – судинний тонус. *В нормі концентрація іонів натрію в плазмі крові коливається в межах 136-145 ммоль/л.* Порухення гомеостазу натрію являють собою серйозну небезпеку для життя і здоров’я пацієнта. Значні відхилення від норми в бік гіпо- або гіпернатріємії призводять до появи та *наростання неврологічної симптоматики* і навіть до пригнічення рівня свідомості

Концентрація Na ⁺ у плазмі, ммоль/л	Клінічна картина
135-145	Норма
< 125 або > 170	Сопор
< 120 або > 180	Кома і судоми
< 110 або > 200	Смерть

Клінічними проявами гіпернатріємії є: спрага, нудота, блювання, збудження, ступор, кома. Усі ці прояви є *неспецифічними* і часто приписуються іншим причинам. Діагноз гіпернатріємії ставиться на основі дослідження концентрації натрію в сироватці крові. **Додатковими ознаками є: підвищення осмолярності плазми, дегідrataція, неврологічні порушення.**

Лікування полягає в корекції рівня натрію за умови, що швидкість зниження його концентрації в плазмі не повинна перевищувати 2 мекв/л за годину. При цьому швидкість корекції гіпернатріємії залежить від давності цього синдрому у конкретного хворого. Швидкість корекції хронічної гіпернатріємії не повинна перевищувати 8 ммоль/добу. Корекцію гострої гіпернатріємії не можна проводити швидше, ніж 1 ммоль/год.

Гіпонатріємія – це стан організму, коли концентрація натрію в сироватці крові нижча за 135 ммоль/л. Клінічно значущі зміни в організмі настають при зниженні концентрації натрію нижче 130 ммоль/л. Гіпонатріємія є проявом надлишку вільної води щодо кількості натрію в плазмі та позаклітинній рідині і, як правило, супроводжується гіпоосмолярним станом і розвитком неспецифічної неврологічної симптоматики (набряку мозку)

Калій. Основний катіон **внутрішньоклітинного простору.**

Концентрація в плазмі коливається від 3,5 до 5,0 ммоль/л.

У внутрішньоклітинній рідині міститься 98% усього калію організму, у той час як у позаклітинній – тільки 2%.

В основному калій міститься в печінці й м'язах, у клітинах яких його концентрація може досягати 150 ммоль/л; в еритроцитах його вміст становить 80 ммоль/л. Для підтримки КОС дуже важлива підтримка концентрації калію у внутрішньоклітинному секторі, тому що у випадку втрати клітиною калію за законом електронейтральності до неї повинні увійти інші катіони, у тому числі іони водню H^+ (на кожні 3 іони K^+ , що вивелись, припадає $2Na^+$ й $1H^+$). До 90% калію (75–150 ммоль/доб) виводиться із сечею, із калом – не більше 15%.

Фізіологічне значення калію величезне. Без нього неможливий синтез білків, глікогену. Він необхідний для забезпечення потенціалу спокою клітинних мембран, разом із натрієм і хлором формує потенціал дії.

Дякую за увагу