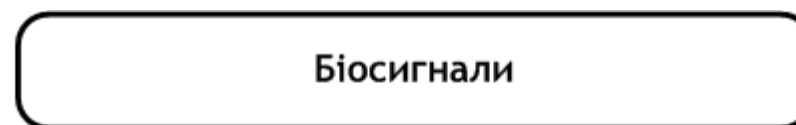


Лекція 2

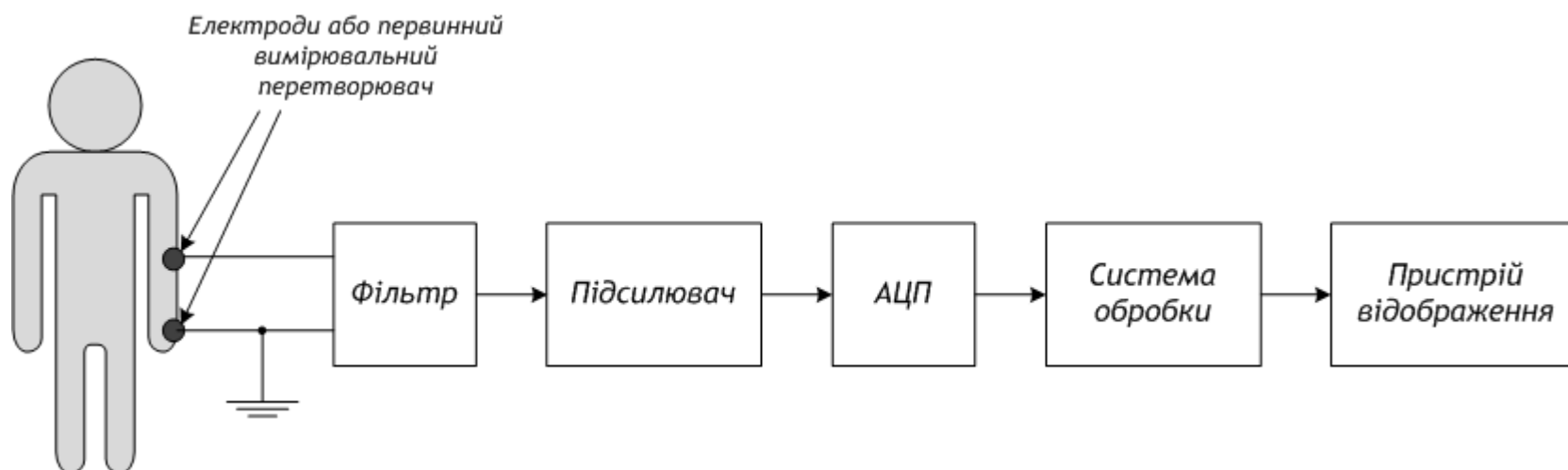
Генезис біосигналів



Мають дуже малу амплітуду
(1...2 мкВ - 5-20 мВ)

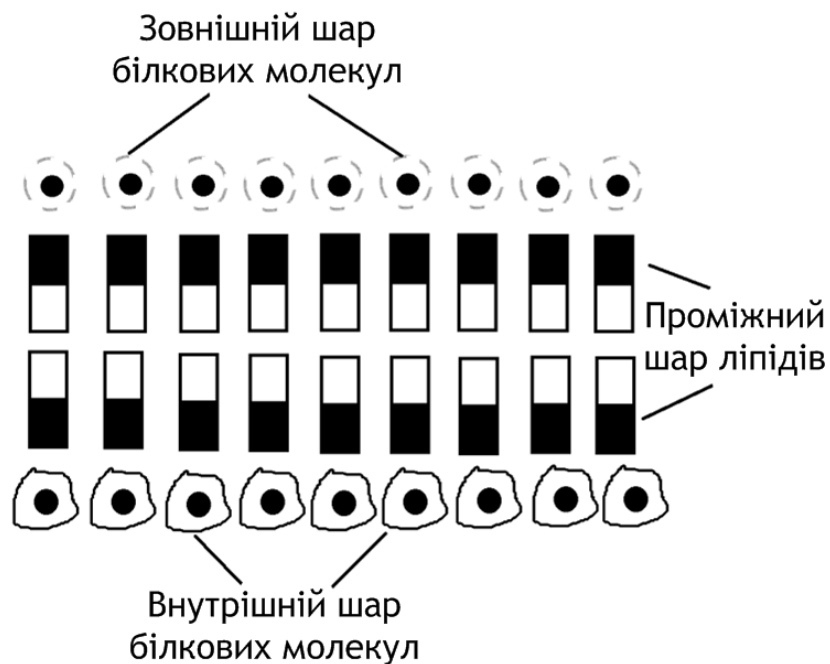
Мають дуже малу частоту
(0...20000 Гц)

За своєю природою є
стохастичними

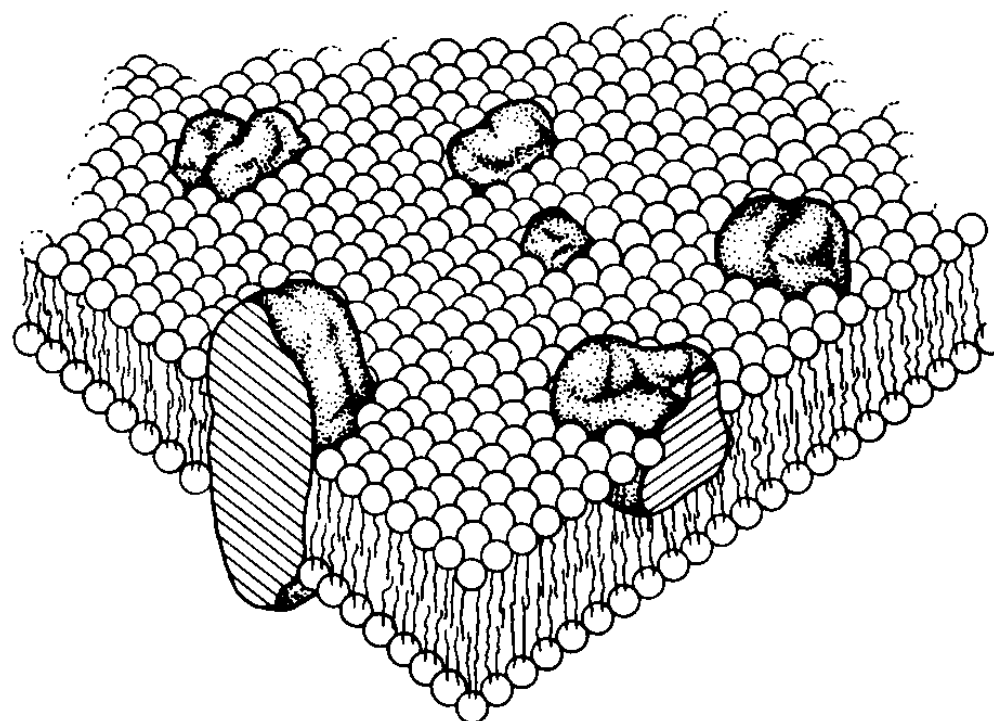


Техніка / ограні	Розмах, мкВ	Частоти, Гц
<i>Серце</i>		
Електрокардіографія (ЕКГ)	50 — 5000	0,01 — 150
Векторкардіографія (ВКГ)	50 — 5000	0,01 — 150
Фетальна ЕКГ, ВКГ	10 — 300	0,01 — 150
Сфигмографія	—	0 — 20
Апекскардіографія	—	0 — 20
Фонокардіографія	—	10 — 20000
<i>Головний мозок</i>		
Електроенцефалографія (ЕЕГ)	2 — 300	0,1 — 80
Електрокортікографія (ЕКоГ)	10 — 5000	0,1 — 100
<i>М'язи</i>		
Електроміографія (ЕМГ)	1000 — 5000	0 — 10000
Електрогастрографія (ЕГГ)	10 — 8000	0,01 — 1
<i>Очі</i>		
Електроретінографія (ЕРГ)	5 — 1000	0 — 80
Електроокулографія (ЕОГ)	10 — 3000	0,05 — 100
Електронистагмографія (ЕНГ)	10 — 4000	2 — 2000
<i>Інше</i>		
Електроурертографія (ЕУГ)	10 — 400	20 — 100

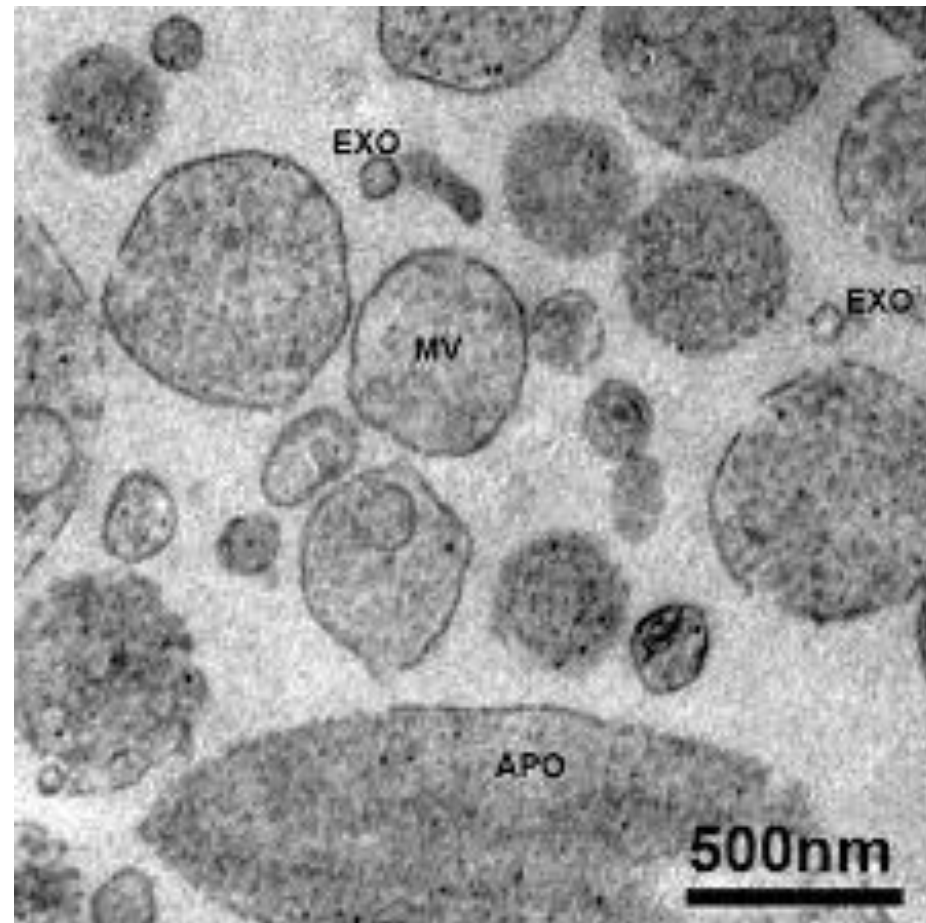
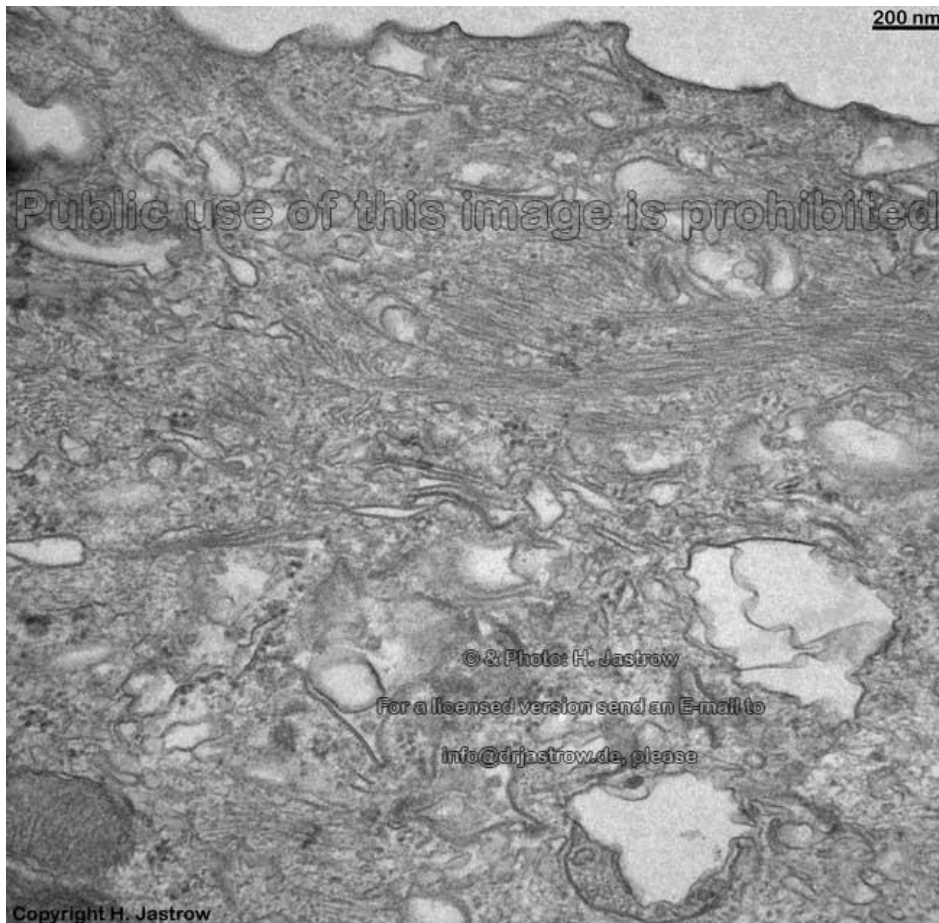
Тришарова структура
(модель Даніеллі - Давсона)



Рідинно-мозаїчна модель
Сінгера - Ніколсона



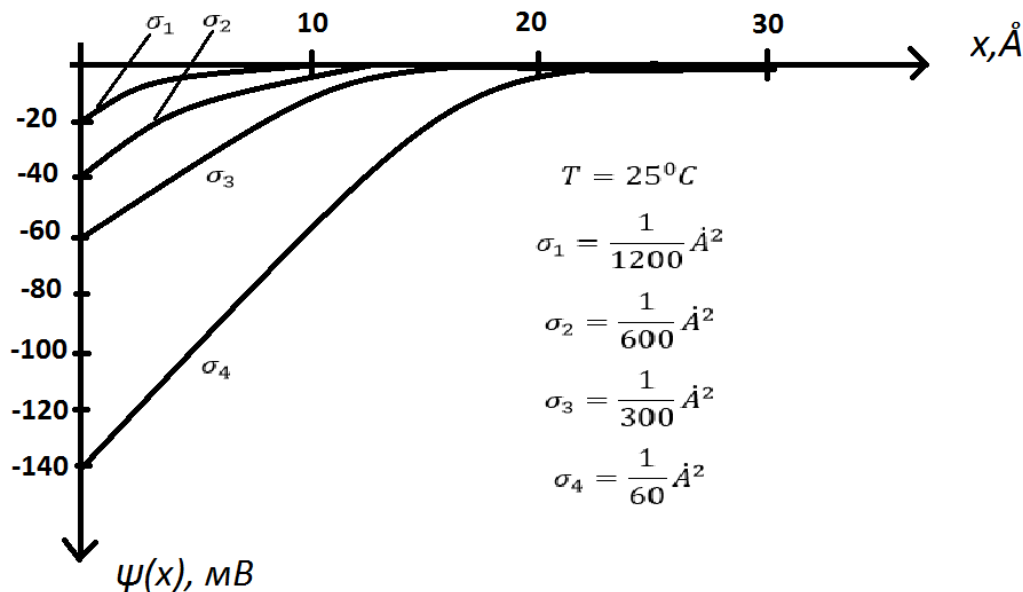
Вигляд клітинних мембран. Підтвердження моделі Сінгера - Ніколсона



Поверхневий потенціал. Теорія Гюї - Чапмена - Штерна

В основу теорії Гюї - Чапмена - Штерна покладені чотири положення:

- 1) заряди рівномірно розподілені по поверхні мембрани;
- 2) іони у розчині є простими точковими зарядами, розмірами яких можливо знехтувати;
- 3) так звані ефекти відображення – притягування рухомих іонів при наближенні до поверхні діелектрика – вважаються мізерно малими;
- 4) діелектрична проникність водної фази вважається величиною сталою, однаковою на поверхні мембрани та в об'ємі розчину.

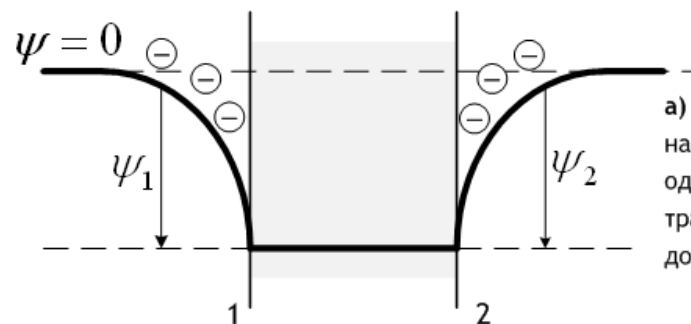


Концентрація іонів при відомому електричному потенціалі:

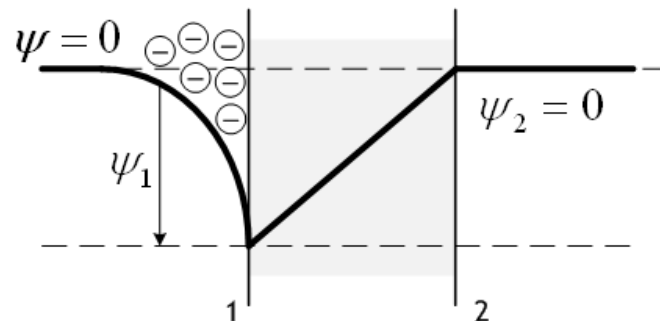
$$c(x) = c(\infty) e^{-\frac{ZF\psi(x)}{RT}}$$

Енергія, необхідна для перенесення іона із зарядом q та радіусом r :

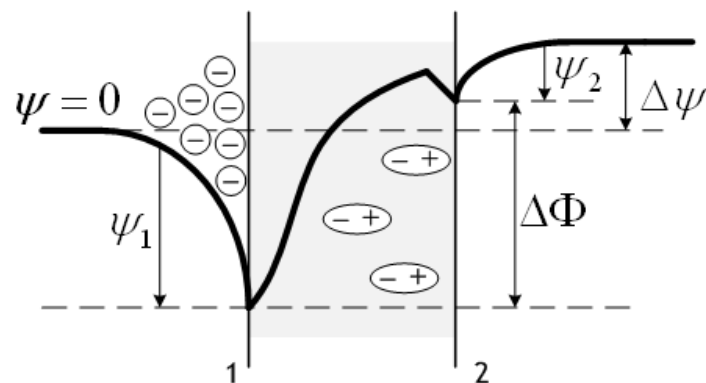
$$W = \frac{q^2}{2r} \left(\frac{1}{\varepsilon_1} - \frac{1}{\varepsilon_2} \right)$$



а) щільності негативного заряду на обох сторонах мембрани однакові, при цьому трансмембранний потенціал дорівнює нулю



б) одна сторона мембрани має значний негативний заряд, а інша не заряджена



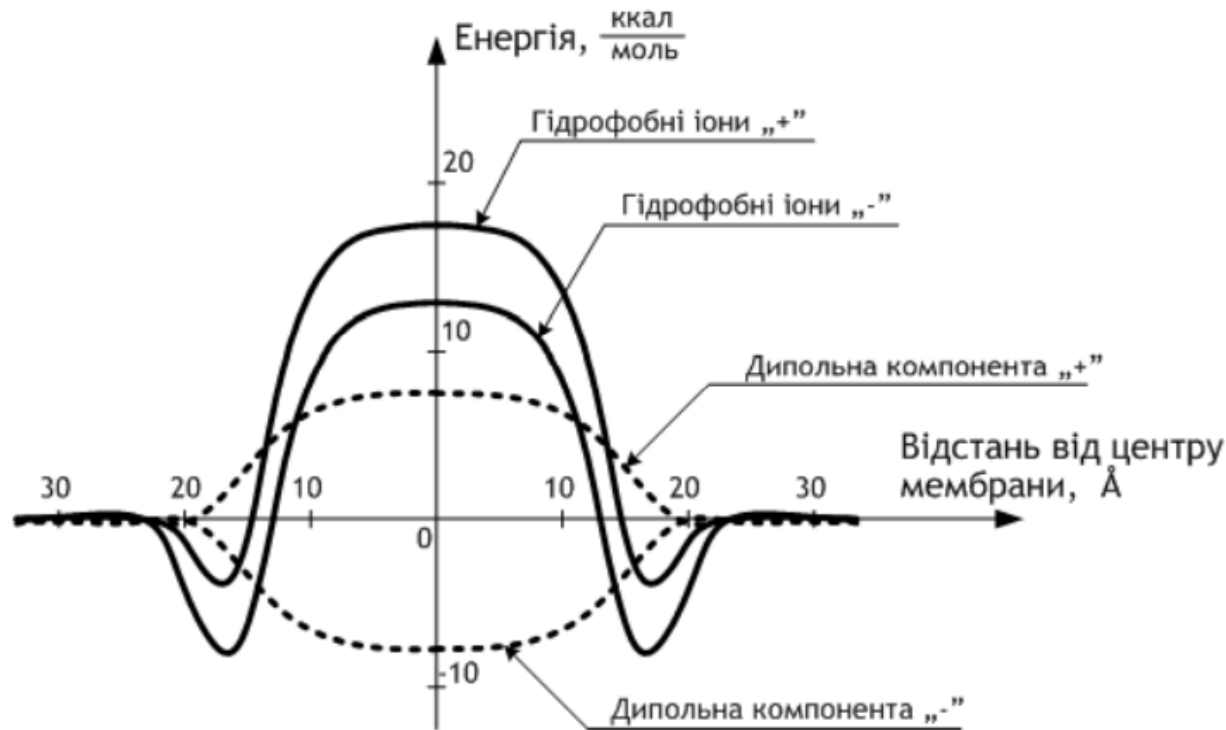
в) одна сторона мембрани має негативний заряд, інша - не заряджена, але наявні диполі всередині мембрани. $\Delta\psi$ - трансмембранний потенціал, $\Delta\Phi$ - різниця потенціалів між поверхнями подвійного шару

$$U_+ = \frac{RT}{FZ} \ln \frac{C_{out}^+}{C_{in}^+}$$

$$U_- = \frac{RT}{FZ} \ln \frac{C_{in}^-}{C_{out}^-}$$

Трансмембранний потенціал

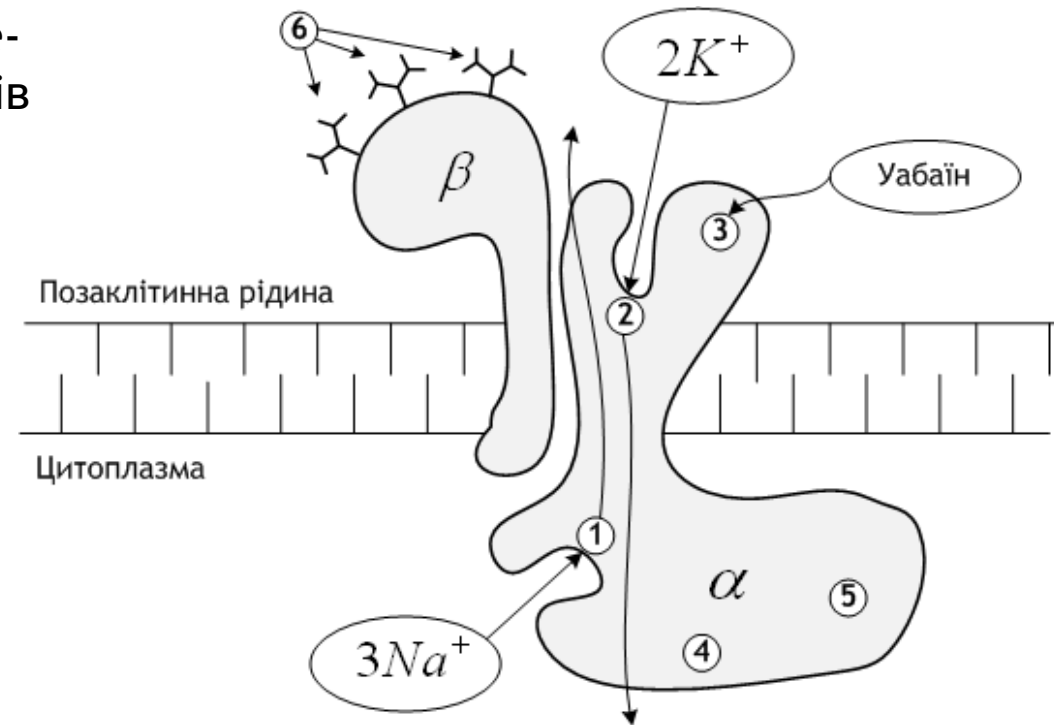
Рівняння Голдманна-Ходжкіна-Каца

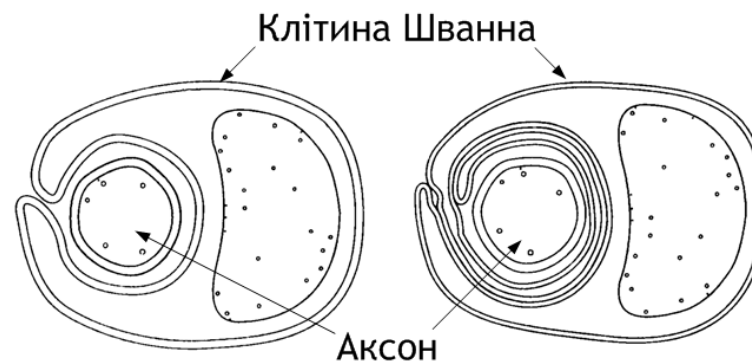
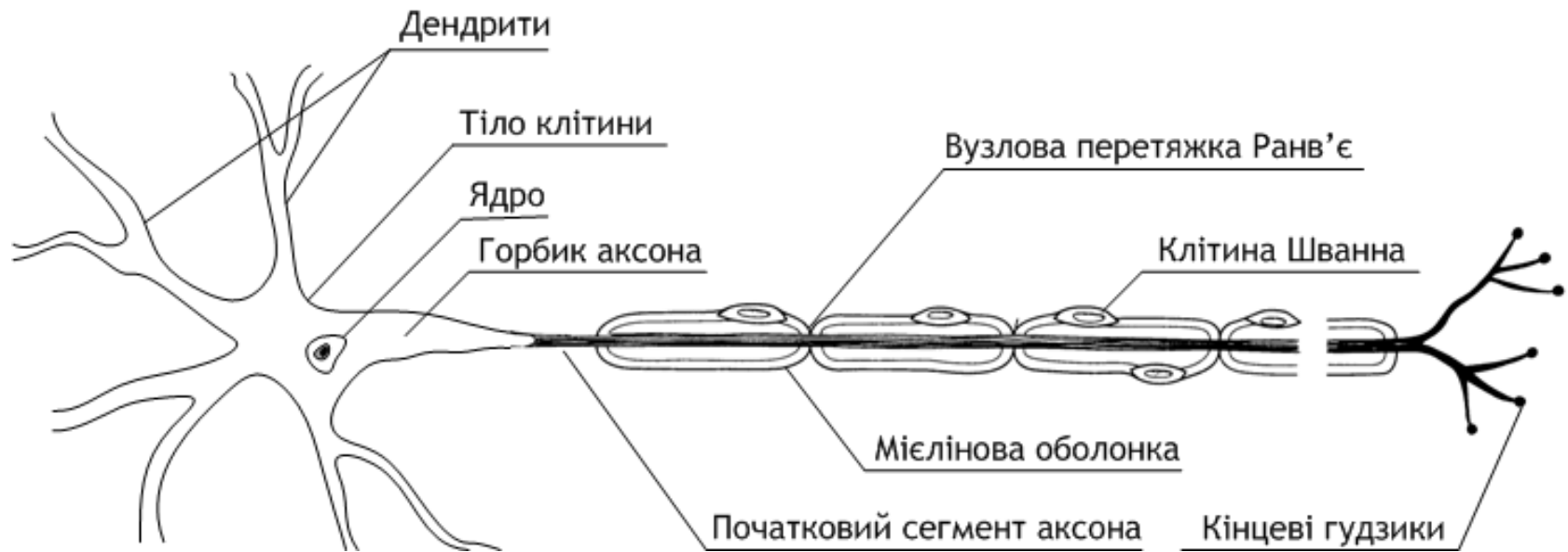


$$U = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_{K^+} [K_{out}^+] + P_{Na^+} [Na_{out}^+] + P_{Cl^-} [Cl_{out}^-] + P_X [X_{out}]}{P_{K^+} [K_{in}^+] + P_{Na^+} [Na_{in}^+] + P_{Cl^-} [Cl_{in}^-] + P_X [X_{in}]}$$

Цитоплазматична сторона α -суб-
одиниці зв'язує одну молекулу АТФ і
три іони внутрішньоклітинного Na^+ ,
який потім обмінює на два іони
позаклітинного K^+ . Для одного циклу
обміну потрібен гідроліз однієї моле-
кули АТФ, оскільки викачування іонів
 Na^+ і K^+ проти градієнтів їх концент-
рації пов'язане із затратами енергії.
Натрій-калієву помпу називають
електрогенним механізмом обміну,
оскільки обмін трьох внутрішньо-
клітинних іонів Na^+ на два поза-
клітинні іона K^+ змінює сумарний
внутрішньоклітинний заряд на -1 .

Для K^+ рівноважний потенціал
становить приблизно -90 мВ, а для
 Na^+ — $+60$ мВ.





Однією з основних властивостей живих систем є здатність відповідати на вплив навколишнього середовища активною реакцією. Такі впливи називають **стимулами**, а клітини, які здатні сприймати стимули і перетворювати їх на нервові імпульси – **рецепторами**. Подразнення (стимул) зумовлює у клітині складний процес мікроструктурних перебудов, а також зміни обміну речовин, концентрації та швидкості руху іонів та їх розподілу на клітинних мембранах.

В організмі людини виділяють сім груп рецепторів:

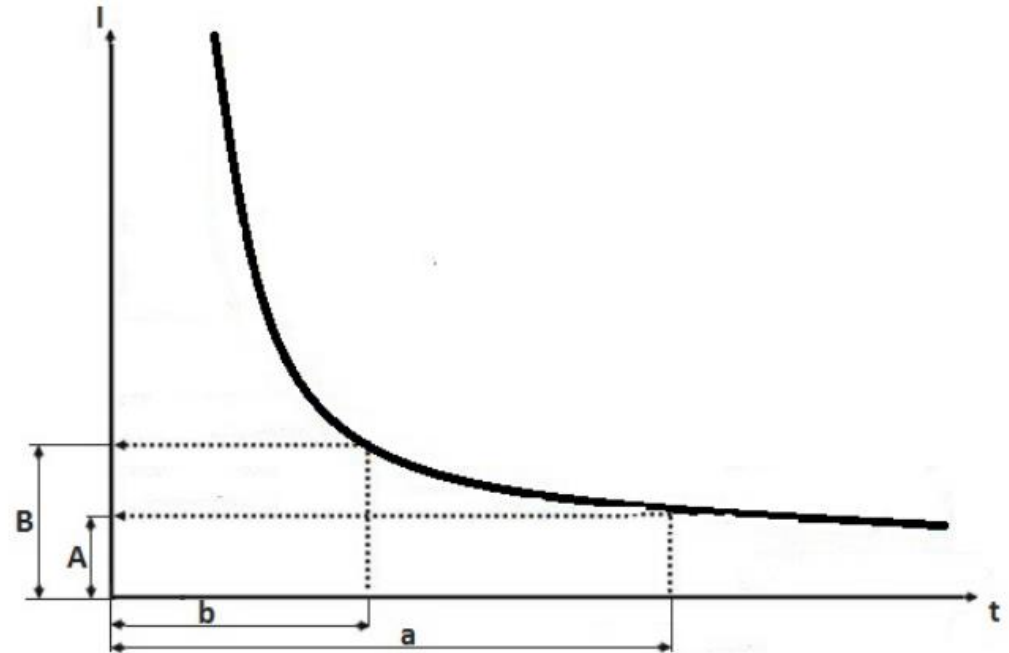
1. Фоторецептори – реагують на світло, знаходяться у сітківці ока (палички та колбочки);
2. Фонорецептори – реагують на звуки, знаходяться у внутрішньому вусі (кохлеарні волоскові клітини);
3. Механорецептори – реагують на механічні або вібраційні впливи. У людини їх близько 50000. Механорецептори бувають:
 - а) поверхневі – шкіряні рецептори тиску, швидкості руху або прискорення,
 - б) спеціалізовані – наприклад, в апараті рівноваги – вестибулярні волосяні клітини.
4. Терморецептори – реагують на зміну температури шкіри, є дуже важливими для терморегуляції організму у випадку впливу холоду та тепла. Кількість рецепторів холоду становить близько 250 000 по всій поверхні тіла, в той час як рецепторів тепла майже у вісім разів менше (їх близько 30 000).
5. Рецептори нюху – розташовані у людини у верхній частині порожнини носа, займають площу приблизно $1,5 \text{ см}^2$ з кожного боку. Клітини нюху закінчуються кількома волосками і збуджуються відносно малою концентрацією деяких речовин у повітрі, яке вдихається.

6. Рецептори смаку – переважна більшість їх розташована на слизовій оболонці язика, але вони також є у піднебінні, а деякі з них розташоваті ще й у гортані. Кожна з близько 9000 клітин смаку має від 30 до 80 рецепторів. Причиною підвищеної іонної провідності клітинної мембрани є звичайно градієнт концентрації іонів відповідної речовини у їжі поблизу цієї мембрани. При цьому виникають повільні коливання електричного потенціалу з амплітудою близько 10 мкВ і тривалістю приблизно кілька секунд.
7. Рецептори болю – являють собою нервові закінчення на шкірі. Звичано у людини їх від 50 до 100 на см². Біль можливо викликати як механічною дією, так і холодом, теплом, електрикою, хімічними речовинами тощо.

Для подразнень встановлені наступні закономірності:

1. Закон Пфлюгера (для подразнення рецептора постійним електричним струмом): збудження під дією постійного струму завжди виникає у місці виходу струму з клітини, тобто під катодом.
2. Закон сили подразнення: чим інтенсивніше подразнення, тим більша (до певної межі) реакція. Подразник повинен мати певну порогову силу – мінімальну інтенсивність подразнення, яка викликає мінімальну реакцію збудливої тканини. Таким чином, можна сказати, що збудливість тканини тим вища, чим нижчий її поріг подразнення. Подразнення, які мають інтенсивність нижчу за поріг подразнення, називають допороговими. Вони не викликають специфічного процесу збудження, а лише деякі локальні реакції. Також виділяють максимальну силу подразнення – яка викликає найбільшу реакцію тканини. Окрім того, можуть бути також понадмаксимальні подразнення – їх рівень вже не впливає на реакцію, але внаслідок їх дії (крім болю) може бути часткове або повне руйнування відповідних рецепторів.
3. Закон “все або нічого” (закон Г. Боудіча): за сталих умов сила реакції не залежить від сили подразнення, якщо вона досягла порогового чи понадпорогового рівня.

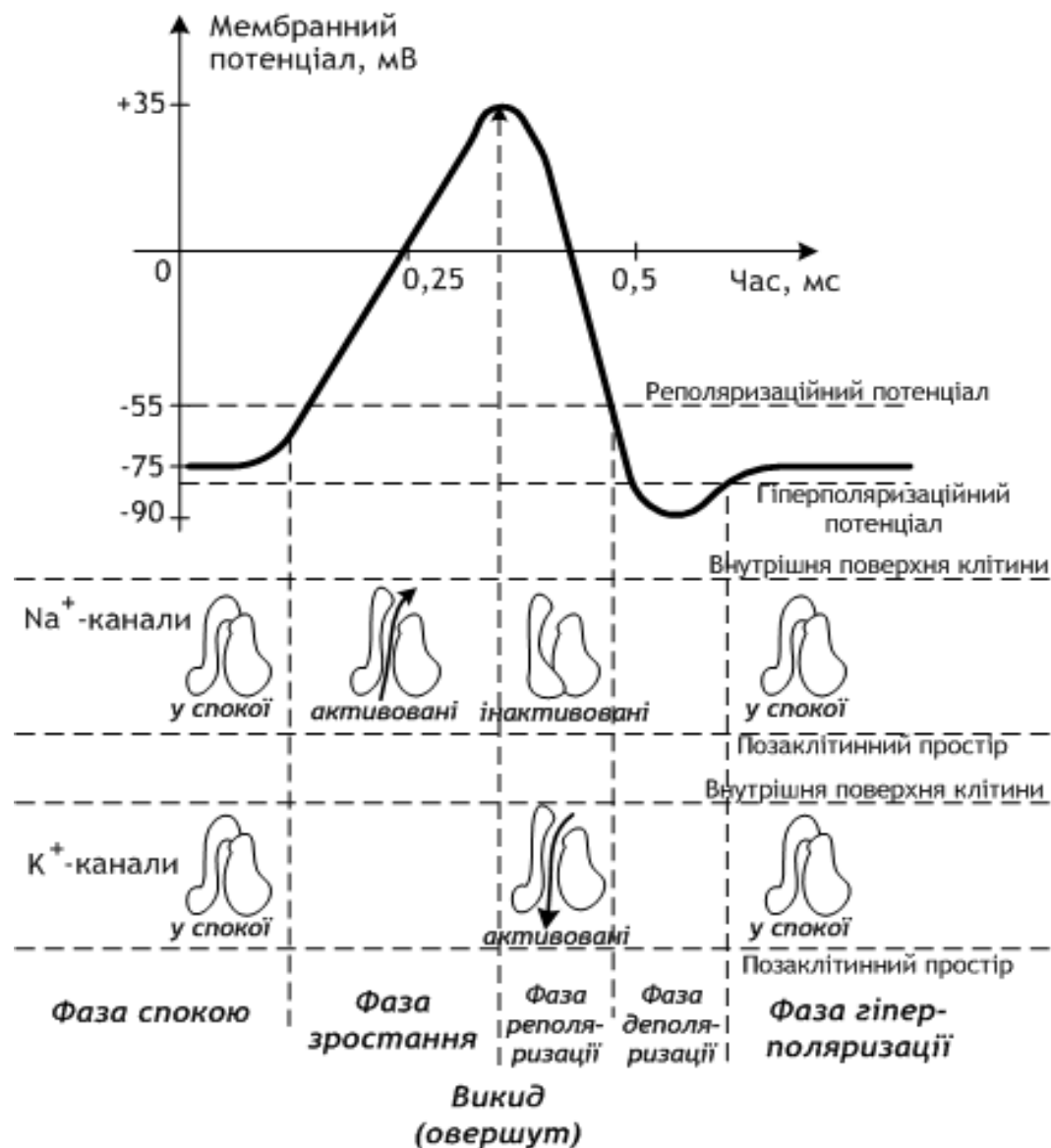
4. Закон тривалості подразнення (закон гіперболи): чим триваліше подразнення, тим меншої сили воно повинно бути щоб викликати порогове збудження, і навпаки – при збільшенні сили подразнення порогове значення його тривалості зменшується. Співвідношення між силою і тривалістю подразнення має вигляд гіперболи, яку називають кривою Лапіка, де реобазою – мінімальна (порогова) інтенсивність подразнення, яка, діючи протягом мінімального (корисного) часу, викликає порогову реакцію рецептора або тканини.



A – реобазою, B – подвоєною реобазою, a – корисний час, b – хроноаксія

Значення корисного часу різне для різних тканин і є показником їх функціональної лабільності. Проте на практиці найчастіше використовують значення хроноаксії – час дії подразника, сила якого дорівнює двом реобазам. Вимірювання цього часу – хроноаксиметрію – використовують у медицині для визначення функціонального стану нервово-м'язового апарату.

5. Закон градієнта подразнення: чим швидше збільшується сила подразнення, тим інтенсивніша (до певної межі) реакція рецептора або тканини. За повільного наростання сили подразнення його поріг також зростає і збудження виникає при значно більших рівнях подразнення. Причиною цього явища є процеси адаптації тканини, які розвиваються з певною швидкістю, що може перевищувати швидкість повільного наростання сили подразнення, і тоді збудження не виникає аж до досягнення руйнівної дії подразника.



Біоелектричні сигнали мають дві складові - *потенціал спокою* та *потенціал дії*.

Потенціал спокою утворюється на клітинних мембранах. Він складається з енергії Борна, поверхневого потенціалу Гюї - Чапмена - Штерна і трансмембранного потенціалу (основний вклад у формування якого вносить так званий рівноважний потенціал).

Біофізичний механізм, що відповідає за формування потенціалу спокою, носить назву *натрій-калієвої помпи*.

Потенціал дії обумовлений поширенням збудження по нервовим волокнам. Він має п'ять фаз: спокою, зростання, реполяризації, депольаризації та гіперполяризації. У фазі зростання активуються канали провідності Na^+ , а у фазу реполяризації активуються канали провідності K^+ .

Далі буде...

**...Вимірювальні перетворювачі
для медико-біологічних вимірювань**