

ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ БІОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

*Електропровідність
клітин і тканин.*

План

1. Електропровідність клітин і тканин для постійного струму.
2. Поляризація. Види поляризації.
3. Електричні властивості тканин організму
4. Використання постійного струму з лікувальною метою. Гальванізація і електрофорез.
5. Проходження змінного струму через біологічні об'єкти
6. Біофізичні основи реографії
7. Дія електричного струму на живі організми.

Електропровідність клітин і тканин.

Величина електропровідності живих тканин і органів несе велику інформацію про фізіологічний стан в нормі і патології, про вплив на нього, лікарських препаратів, температури, ультразвуку і іонізуючого випромінювання. Електропровідність є мірою проникності мембран , визначає активність іонів у клітинах. Крім того як постійний струм так і змінний використовується в медицині, як з лікувальною так і з діагностичною метою.

1. Електропровідність клітин і тканин для постійного струму.

Кров, цитоплазма та різні тканинні рідини – це розчини електролітів. Найкраще проводять струм спинномозкова рідина, кров, лімфа, дещо гірше – м'язи, печінка, серцевий м'яз, легенева тканина і найгірше жирова, кісткова тканини та шкіра

Складними є електричні властивості клітин. Питомий опір цитоплазми лежить у межах від 0,1 до 300 Ом · м²(для більшості клітин ссавців приблизно 1 – 3 Ом · м²).

Клітинна мембрана – це діелектрик, питомий опір 1 см якого для різних клітин знаходиться у межах від 10³ до 10⁴ Ом · м.

Якщо прикласти електроди до ділянки тіла, то струм проходить через шкіру, жирову, м'язеву тканини, через кровоносні та лімфатичні судини, вибираючи ті ділянки, де менший опір (кровоносні і лімфатичні судини, міжклітинна рідина, волокна нервових стовбурів та ін.).

Клітинна мембрана має діелектричні властивості, тому така система протилежних за знаком зарядів, розділених діелектриком, нагадує своєрідний конденсатор, ємність якого

$$C = \frac{\Delta q}{\Delta \varphi}$$

**де Δq – заряд поверхні мембрани,
 $\Delta \varphi$ -- різниця потенціалів між протилежними
поверхнями мембрани.**

Діелектричні властивості біологічних об'єктів визначаються структурними компонентами та явищами поляризації.

Сила струму за певний час змінюється в сотні разів, а через деякий час встановлюється на сталому рівні. Це пов'язано з виникненням е. р. с., поляризації під час проходження постійного струму через біологічну систему. Ця електрорушійна сила є функцією часу і зменшує прикладену напругу. Закон Ома для біологічних систем запишеться у вигляді:

$$I = \frac{U \cdot E(t)}{R}$$

де $E(t)$ – е. р. с., поляризації.

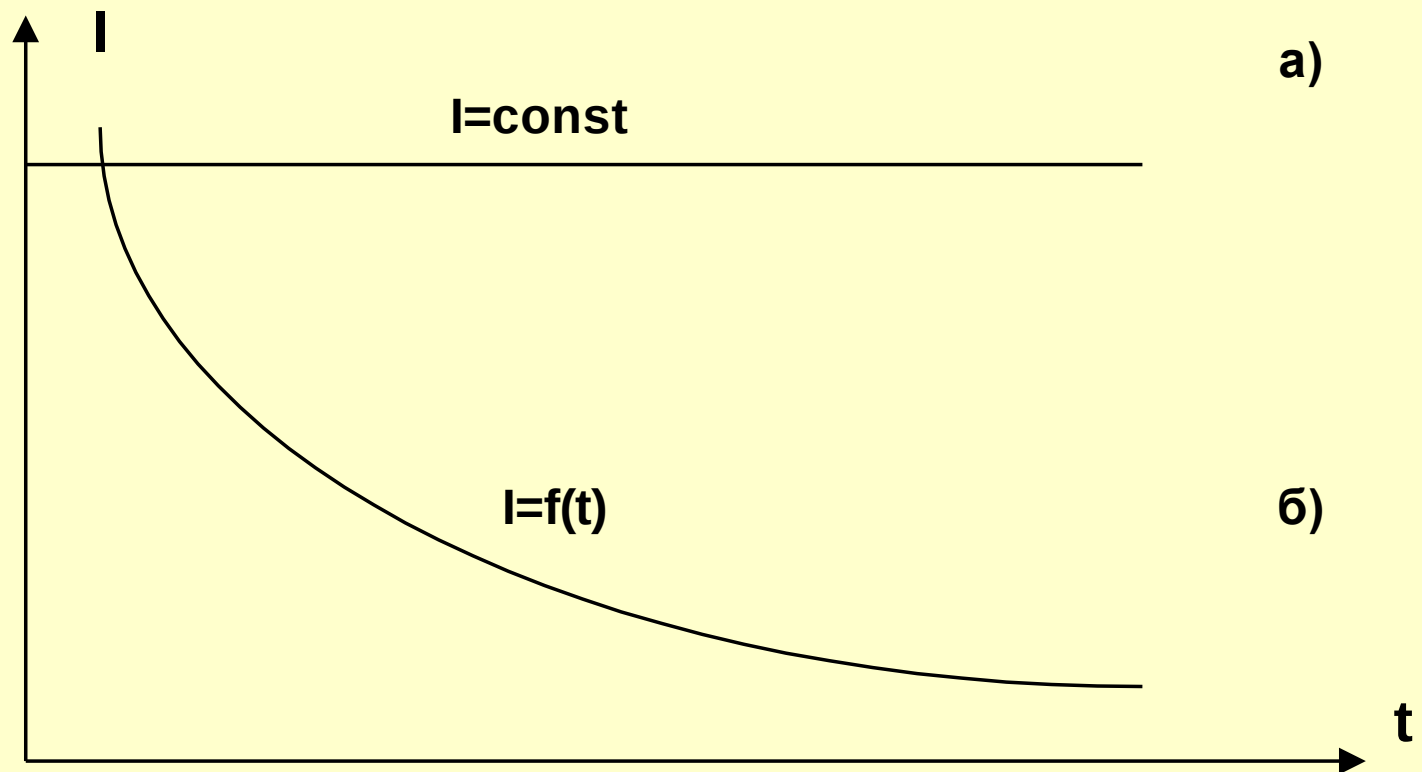


Рис. Зміна струму під час проходження через тканини за сталої різниці потенціалів.

$E(t)$ пов'язана з діелектричними ємнісними властивостями живих об'єктів, зумовленими поляризацією.

2. Поляризація. Види поляризації.

Поляризацією називається процес зміщення зв'язаних електричних зарядів під дією зовнішнього електричного поля в результаті цього утворюється електрорушійна сила, яка напрямлена проти зовнішнього поля.

Ступінь поляризації діелектрика характеризується вектором поляризації $\vec{P}$, який дорівнює відношенню векторної суми дипольних моментів, які входять в об'єм речовини, до об'єму:

$$\vec{P} = \frac{1}{V} \cdot \sum_{i=1}^n \vec{P}_i$$

де n – число молекул або атомів в об'ємі речовини.

У відсутності поляризації $\vec{P} = 0$

Зв'язані заряди утворюють електричне поле $\vec{E}'$, напрям якого протилежний зовнішньому полю E_0 . Модуль напруженості результуючого поля в діелектрику дорівнює

$$|\vec{E}_g| = E_0 - E'$$

Відношення E_0 до E_g називається діелектричною проникністю діелектрика і вказує на послаблення електричного поля в речовині порівняно з вакуумом.

$$\varepsilon = \frac{E_0}{E_g}$$

де E_0 – напруженість однорідного поля у вакуумі, E – напруженість поля у речовині.

Виділяють такі види поляризації:

Речовини, молекули яких мають симетричну структуру, тобто при відсутності зовнішнього поля, центри “тяжіння” позитивних та негативних зарядів збігаються і дипольний момент молекули P рівний нулю, є діелектриками. Під впливом зовнішнього електричного поля заряди таких неполярних молекул зміщуються у протилежні сторони, і молекула набуває дипольного моменту. Тобто індукується дипольний момент за рахунок деформації електронних орбіт. Така поляризація називається електронною або деформаційною. До таких молекул належить O_2 , H_2 .

Для ізотропного діелектрика вектор поляризації пропорційний напруженості зовнішнього поля і співпадає з нею за напрямком:

$$\vec{P} = \beta \cdot \varepsilon_0 \cdot \vec{E}_0$$

Коефіцієнт β - називається поляризованістю атома або молекули, який залежить від будови речовини і температури.

Час виникнення поляризації після миттєвого накладання зовнішнього електричного поля називається часом релаксації τ . Час релаксації електронної поляризації:

$$\tau_{ел} = 10^{-16} \div 10^{-14} \text{ с}$$

Другу групу діелектриків становлять речовини, молекули яких мають асиметричну будову. Тобто центри “тяжіння” позитивних і негативних зарядів не збігаються. Молекули цих діелектриків називають дипольними. У відсутності зовнішнього поля дипольні моменти полярних молекул внаслідок теплового руху орієнтовані в просторі хаотично. До таких діелектриків відноситься H_2O , спирти, аміак. Дипольна поляризація притаманна білкам, а також високомолекулярним сполукам в результаті дисоціації іоногенних груп, які мають дипольні моменти. З ростом температури дипольна поляризація зменшується (підсилюється хаотичний рух молекул). Час релаксації дипольної поляризації

$$\tau_{\text{дип}} = 10^{-12} \div 10^{-7} \text{ с}$$

Третій вид поляризації -- іонна поляризація властива речовинам, молекулами яких мають іонну будову (NaCl). Якщо кристал помістити в електричне поле, то відбувається деяка деформація кристалічної ґратки або відносне зміщення підґраток, що і зумовлює виникнення дипольних моментів. Іонна поляризація. Якщо кристалічний діелектрик типу NaCl, що має іонні кристалічні решітки, помістити в зовнішнє електричне поле, то позитивні іони кристалічної решітки зміщуються вздовж напрямку поля, а негативні – в протилежний бік.

Іонні кристали здатні поляризуватися також при відсутності електричного поля за рахунок деформації (кварц, сегнетова сіль і ін.).

Це явище називається п'єзоелектричним ефектом(п'єзоефект).

Має місці і обернений п'єзоефект. При накладанні змінного електричного поля кристал змінює свої лінійні розміри – деформується, і утворюються ультразвукові хвилі. Час релаксації іонної поляризації

$$\tau_{ел} = 10^{-14} \div 10^{-12} \text{ с}$$

Макроструктурна поляризація виникає під дією електричного поля за наявності шарів з різною електропровідністю. Під впливом поля вільні іони рухаються у провідному шарі до його межі. А далі рух неможливий внаслідок іншої електропровідності сусіднього шару. В результаті цього провідне середовище набуває дипольного моменту. Наприклад, цитоплазма клітини має малий опір внаслідок великої концентрації вільних іонів, а мембрана – великий опір (мала проникність для іонів). Макроструктурна поляризація відіграє основну роль у біологічних об'єктах, тому діелектрична проникність тканин набуває значних величин. Час релаксації макроструктурної поляризації

$$\tau_m = 10^{-8} \div 10^{-3} \text{ с}$$

Поверхнева поляризація виникає при накладанні на речовину, яка має подвійний електричний шар, зовнішнього електричного поля. В результаті поляризації відбувається перерозподіл на поверхні речовини зарядів: іони дифузного шару зміщуються в одну сторону, а іони дисперсної фази – в іншу сторону. Отже, в подвійному шарі утворюється дипольний момент. Механізм поляризаційних явищ клітин зв'язаний з наявністю напівпроникних мембран для іонів. В середині мембрани утворюється поляризаційне поле, яке напрямлене проти зовнішнього електричного поля. На зовнішній стороні мембрани індукуються іони протилежного знаку. Час релаксації поверхневої поляризації

$$\tau_{II} = 10^{-3} \div 1c$$

Електролітична поляризація.

Розглянемо процеси, які протікають на межі поділу: метал – розчин електроліту. Наприклад, зануримо пластинку з срібла в розчин AgNO_3 . Якщо хімічний потенціал іонів срібла в металі менший, ніж у розчині, то частина іонів із розчину перейде в метал. На електроді встановиться позитивний заряд. Перехід іонів срібла з розчину на метал зупиниться, тому що до металу будуть притягуватися аніони NO_3^- . На електроді утвориться подвійний електричний шар. При електрохімічній рівновазі хімічні потенціали іонів у металі і в розчині відрізняються на величину різниці потенціалів.

3. Електричні властивості тканин організму

Біологічні тканини по різному проводять електричний струм. Основним механізмом, який характеризує протікання електричного струму в живих організмах, є електрична провідність, яка обумовлена іонною провідністю. Електропровідність окремих ділянок організму істотно залежить від опору шкіри і підшкірних шарів. Опір шкіри визначається фізіологічним станом, віком, товщиною, місцем вимірювання, температурою і вологістю шкіри. В організмі струм поширюється, в основному, кровоносними і лімфатичними судинами, м'язами і нервовими стовбурами.

- **Всі тканини, які містять воду, можуть бути поділені на три групи:**
- **рідкі тканини(кров, лімфа), які містять водну суспензію клітин і білкові молекули;**
- **м'язові тканини і тканини внутрішніх органів (серце, нирки, печінка і ін.), які містять велику кількість води;**
- **тканини з малим вмістом води (жир, кістки).**
- **Електричні параметри біологічних тканин можна охарактеризувати діелектричною проникністю ϵ і питомою електричною провідністю γ .**

Органічні речовини (білки, жири, вуглеводи і ін.), з яких складаються живі тканини, в чистому і сухому вигляді є діелектриками. Значення ϵ для деяких діелектриків приведені в таблиці.

Таблиця

№ п/п	Діелектрична проникність ϵ при 20 °С	
1	Хлористий натрій кристалічний	6,12
2	Поліетилен	2,2 –2,3
3	Скипидар	2,2
4	Нітробензол	35
5	Спирт етиловий	26,3
6	Вода	81
7	Білок яйця	72
8	Кров	85
9	Повітря	1,00058

Всі тканини і клітини обмиваються рідинами (кров, лімфою), різними тканинними рідинами, в склад яких, крім органічних колоїдів входять розчини електролітів, які є в відносно непоганими провідниками. Різні тканини в організмі мають неоднакову електропровідність (таблиця).
Таблиця – Питомий опір деяких біологічних систем

№ п/п	Тканина	γ, Ом м
1	Спинномозкова рідина	$5,5 \cdot 10^{-1}$
2	Сироватка крові	$7,1 \cdot 10^{-1}$
3	М'язева тканина	2,0
4	Печінка	10
5	Нервової тканини	25
6	Жирової тканини	50
7	Сухої шкіри	10^2
8	Кістки без надкістя	10^6
9	Еритроцити	10^6

Визначення опору біологічних об'єктів на постійному струмі важко проводити через наявність поляризації. При протіканні постійного струму через живі клітини часто спостерігається дезінтеграція клітин при різкому пониженні їх електропровідності.

В роботі з живими тканинами при вимірюванні електропровідності з метою зменшення поляризаційних ефектів використовують компенсаційні схеми з спеціальними мостами на змінному струмі.