

# Трансмембрний транспорт та біологічні потенціали

# Клітинні мембрани, їх будова та функції

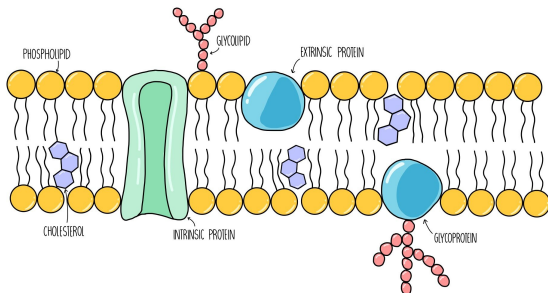
**Будова:** Фосфоліпідний двошар формує базову структуру мембрани, створюючи гідрофобний бар'єр між внутрішнім та зовнішнім середовищами клітини.

**Функції:**

*Розділення внутрішнього та зовнішнього середовища*

*Контроль транспорту речовин: Селективна проникненість дозволяє мембрані регулювати потік іонів та молекул.*

*Забезпечення клітинних сигналів*



# Протеїни мембран: Інтегральні та периферійні

## **Інтегральні протеїни:**

Проникають крізь фосфоліпідний двошар.

Можуть формувати канали для транспорту речовин.

Функціонують як рецептори для сигнальних молекул.

## **Периферійні протеїни:**

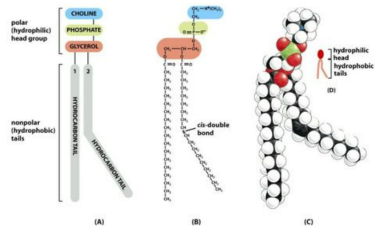
Знаходяться на поверхні мембрани.

Здійснюють клітинну адгезію та рецепцію сигналів.

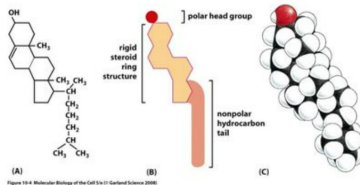
Не проникають крізь двошар.

# Базова структура мембрани: фосфоліпідний двошар

**Ліпіди:** Ліпіди є молекулами, схожими на жири, найбільша частина яких є гідрофобною (відштовхує воду). Однак ці молекули також мають гідрофільну (притягує воду) ділянку або хімічну групу (амфіфільні молекули). Їх основні представники в мембрані: фосфоліпіди, холестерин та декілька інших видів ліпідів.



**Рис.:** Фосфатидилхоліни одні з найпоширеніших молекул клітинних мембран.



**Рис.:** Холестерол становить 30% усіх тваринних клітинних мембран.

## Різні структури що формують ліпіди

**Міцела:** Сферична структура, утворена ліпідами, в якій гідрофільні "голови" зовні, а гідрофобні "хвости" всередині.

**Везикула:** Сферичний об'єм, оточений одним або кількома ліпідними двошарами.

**Подвійний ліпідний шар:** Основна структурна одиниця біологічних мембран.

**Ліпідний моношар:** Один шар ліпідних молекул, який може формуватися на поверхні води.

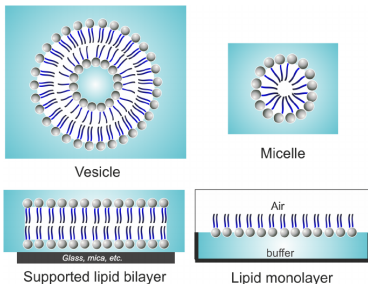


Рис.: Приклади ліпідних структур

# Рідинно-мозаїчна модель плазматичної мембрани Сінгера-Ніколсона (1972)

**Історія:** Запропонована Сінгером та Ніколсоном у 1972 році.

**Основна ідея:** Мембрана представлена як двочар ліпідів, у якому білки розташовані нерівномірно, формуючи мозаїку.

**Рідинність:** Ліпіди та білки можуть вільно переміщуватися у площині мембрани.

**Функціональність:** Білки можуть виконувати різні функції, залежно від їх положення та орієнтації в мембрані.

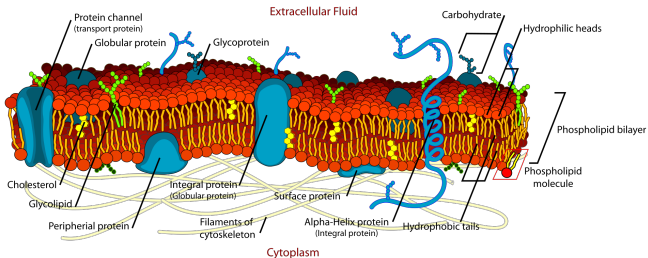


Рис.: Схематичне зображення рідинно-мозаїчної моделі

# Рухливість мембран: Флюїдна мозаїчна модель

## **Флюїдність:**

Фосфоліпіди можуть переміщуватися в площині мембрани.  
Дає мембрані пластичність та самозцілення.

## **Мозаїчність:**

Різні протеїни розташовані нерівномірно.  
Функціональна спеціалізація регіонів мембрани.

# Дифузія в клітинних мембранах

**Визначення:** Дифузія — це процес саморозподілу молекул, який відбувається через їхній термічний рух.

**Типи:**

*Проста дифузія:* Рух молекул напряму через мембрану без допомоги транспортних білків.

*Фасилітована дифузія:* Використання транспортних білків для допомоги молекулам у пересуванні через мембрану.

**Фактори, що впливають:**

*Концентрація:* Градієнт концентрації є ключовим фактором.

*Температура:* Вища температура збільшує швидкість дифузії.

*Розмір молекул:* Менші молекули дифундують швидше.



## Закон Фіка про дифузію

**Основний принцип:** Закон Фіка описує, як субстанція дифундує через середовище.

**Закон Фіка:**

$$J = -D \frac{\Delta c}{\Delta x}$$

$J$  - потік речовини

$D$  - коефіцієнт дифузії

$\Delta c / \Delta x$  - градієнт концентрації

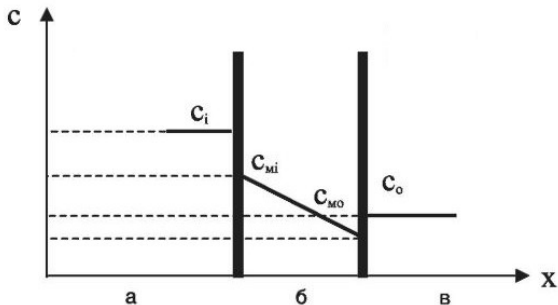
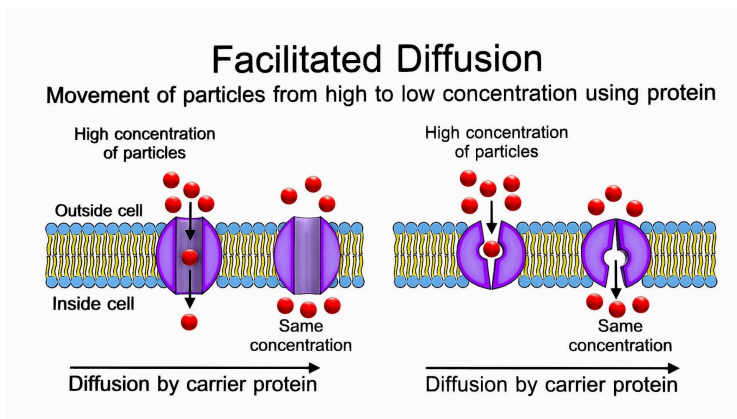


Рис.

# Полегшена дифузія

**Основний принцип:** Полегшена дифузія є формою пасивного транспорту, у якому іони або молекули пересуваються через клітинну мембрану з допомогою білкових каналів або транспортерів.



**Рис.:** Механізм полегшеної дифузії: ліворуч - через білковий канал, праворуч - через білковий транспортер

# Активний транспорт

**Основний принцип:** Активний транспорт відбувається проти градієнта концентрації або електрохімічного градієнта і потребує споживання енергії, часто у формі АТФ.

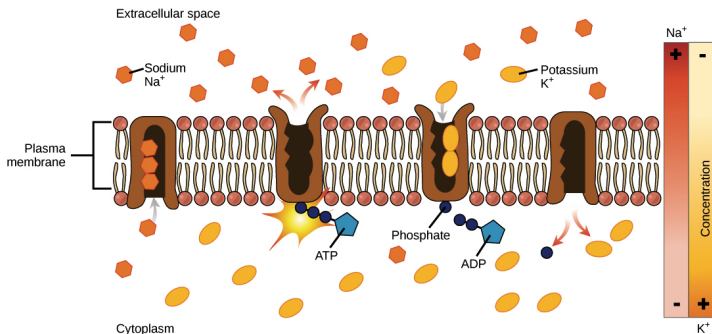
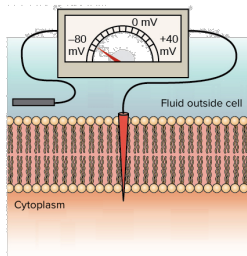


Рис.: Натрій-Калієва помпа

## Біопотенціали на мембрані

**Мембранний потенціал:** Різниця електричного потенціалу між внутрішньою та зовнішньою сторонами мембрани.



**Потенціал спокою:** Потенціал мембрани клітини в стані спокою.

**Рівноважний потенціал:** Потенціал, при якому немає сумарного потоку іонів через мембрану.

**Стаціонарний потенціал:** Стабільний потенціал, який виникає під впливом активного транспорту іонів.

**Потенціал дії:** короткочасні амплітудні зміни мембранного потенціалу спокою (МПС), що виникають при збудженні

# Рівноважний потенціал Доннана

**Опис:** Рівноважний потенціал Доннана — це електрохімічний потенціал, при якому немає сумарного потоку заряджених частинок (іонів) через мембрану.

**Умови:**

Мембрана є непроникненою для одного або декількох типів іонів.

Існує концентраційний градієнт іонів.

**Результат:** Стабілізація електричного потенціалу мембрани, що відбиває рівновагу між двома факторами: концентраційним градієнтом та електричним полем.

**Застосування:** Важливий для розуміння фізіології клітин, процесів транспорту через мембрану.

# Потенціал Доннана

**Умова електронейтральності:**

$$n_{\text{mac}}z_{\text{mac}} + \sum_i n_i z_i = 0$$

де  $n_{\text{mac}}, z_{\text{mac}}$  — концентрація та заряд макромолекул;  $n_i, z_i$  — концентрація та заряд інших іонів.

**Формула потенціалу Доннана:**

$$V_{\text{Donnan}} = \frac{RT}{F} \ln \left( \frac{[A^-]_{\text{out}}}{[A^-]_{\text{in}}} \right)$$

де  $R$  — газова константа,  $T$  — температура в Кельвінах,  $F$  — Фарадеїв константа,  $[A^-]_{\text{out/in}}$  — концентрація аніона ззовні/всередині.

# Потенціал Доннана

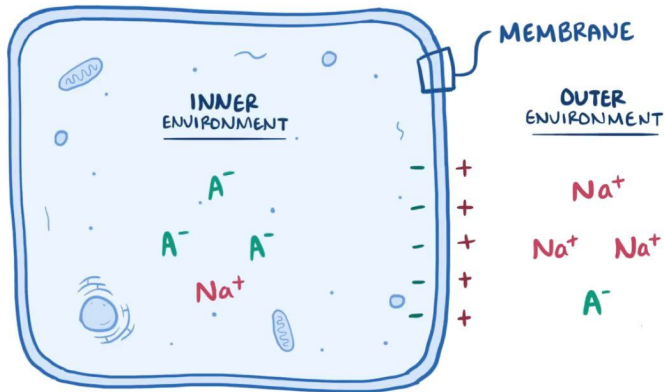


Рис.: Ілюстрація до формули потенціалу Доннана

## Стаціонарний потенціал

**Умови виникнення:** Стаціонарний потенціал виникає, коли потоки катіонів та аніонів через мембрану збалансовані, але не дорівнюють нулю.

**Формула стаціонарного потенціалу:**

$$V_{\text{Steady}} = V_{\text{Donnan}} + V_{\text{Pump}}$$

де  $V_{\text{Donnan}}$  — потенціал Доннана,  $V_{\text{Pump}}$  — потенціал, створений активними транспортними механізмами.

**Формула Нернста:**

$$E_{\text{eq}} = \frac{RT}{zF} \ln \left( \frac{[\text{Ion}]_{\text{out}}}{[\text{Ion}]_{\text{in}}} \right)$$

де  $R$  — універсальна газова константа,  $T$  — температура,  $z$  — заряд іону,  $F$  — Фарадеївська константа.



## Membrane potential

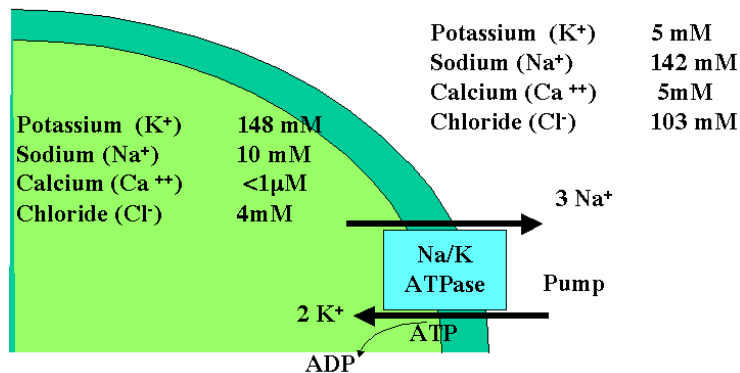


Рис.: Формування стаціонарного потенціалу натрій-калієвою помпою

# Потенціал дії

**Визначення:** Потенціал дії — це короткочасний інверсний збільшення електричного потенціалу, яке відбувається на клітинній мембрані.

**Етапи:**

Деполяризація

Розповсюдження (збудження близьких ділянок)

Реполяризація

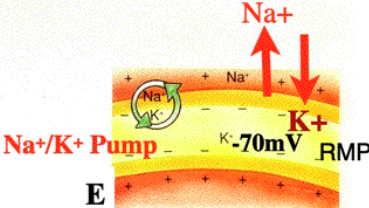
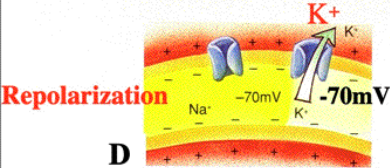
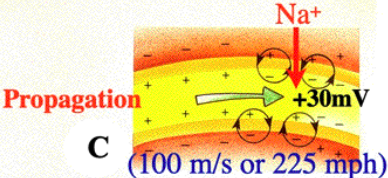
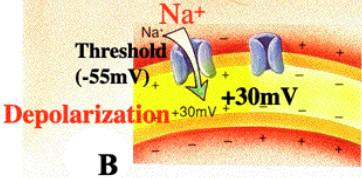
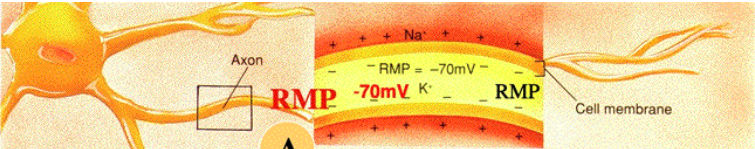
Гіперполяризація

**Механізм:** Ініціація потенціалу дії зазвичай здійснюється відкриттям напругозалежних іонних каналів.

**Формула Годжкіна:**

$$\frac{dV}{dt} = -\frac{1}{C} (I_{Na} + I_K + I_{leak}) + I_{ext}$$

# Потенціал дії



# Перехвати Ранв'є

Перехвати Ранв'є — це вузлики на аксонах мієлінових нервових клітин, де мембрана аксону зроблена доступною для іонів.

Перехвати Ранв'є дозволяють деполяризуючим імпульсам "стріляти" вздовж нервового волокна, покращуючи швидкість і ефективність передачі сигналу.

Імпульси пропускають між перехватами, забезпечуючи тим самим солітаторний спосіб проведення нервового сигналу.

Цей механізм дозволяє нервовим системам передавати сигнали на великі відстані без втрати амплітуди.

# Перехвати Ранв'є

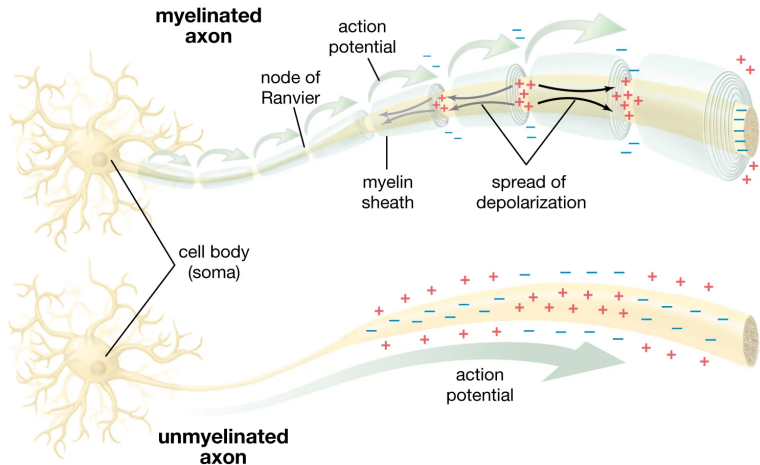


Рис.: Механізм розповсюдження потенціалу дії завдяки перехватам Ранв'є

## Часова залежність потенціалу дії

**Деполаризація:** Стадія, на якій мембранний потенціал різко зростає, наближаючись до потенціалу  $\text{Na}^+$ .

**Реполаризація:** Стадія, на якій мембранний потенціал повертається до рестингового стану.

**Гіперполяризація:** Короткий період, коли мембранний потенціал стає нижчим, ніж спокійовий потенціал.

# Часова залежність потенціалу дії

