

ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРОГРАФІЇ.



ВЗАЄМОДІЯ ЗАРЯДІВ

ЗАКОН КУЛОНА

Електричний заряд – це фізична величина, що характеризує властивість частинок або тіл вступати в електромагнітні силові взаємодії, які підкоряються закону Кулона: **сили взаємодії нерухомих зарядів прямо пропорційні добутку модулів зарядів і обернено пропорційні квадрату відстані між ними.**

Сили взаємодії підкоряються третьому закону Ньютона ($F_1 = - F_2$). Вони є силами відштовхування при однакових знаках зарядів і силами притягання при різних знаках. Взаємодію нерухомих електричних зарядів називають **електростатичною** або **кулонівською** взаємодією.

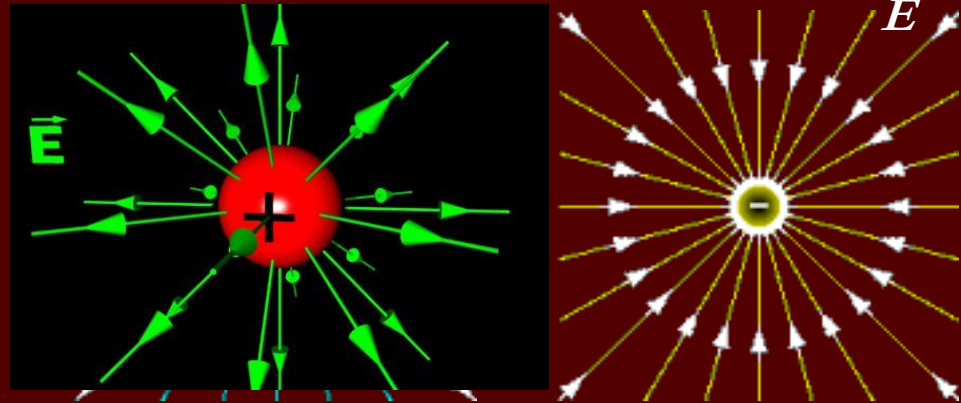
ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ. НАПРУЖЕНІСТЬ. СИЛОВІ ЛІНІЇ

ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ – це особливий вид матерії, за допомогою якої здійснюється силова дія на електричні заряди, що знаходяться в цьому полі. Характеристиками електричного поля є **НАПРУЖЕНІСТЬ** і **ПОТЕНЦІАЛ**.

НАПРУЖЕНІСТЬ - силова характеристика електричного поля (E), яка рівна відношенню сили, що діє в даній точці поля на точковий заряд, до величини цього заряду.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

Це вектор, напрямком якого співпадає з напрямком сили, що діє в даній точці поля на позитивний точковий заряд.



Електричне поле графічно представляють **СИЛОВИМИ ЛІНІЯМИ**, дотичні до яких співпадають з напрямком вектора напруженості у відповідних точках поля. Силкові лінії проводять з такою густиною, щоб число ліній, що проходять крізь одиничну площину перпендикулярно до неї, було рівне значенню напруженості електричного поля в місці розташування площини.

ПОТЕНЦІАЛ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ. ЕКВІПОТЕНЦІАЛЬНІ ПОВЕРХНІ

Енергетичною характеристикою електричного поля є **ПОТЕНЦІАЛ**(φ).

Потенціал довільної точки поля, яка знаходиться на відстані r від джерела поля – заряду q , рівний роботі по переміщенню позитивного заряду в 1 Кл з цієї точки поля в нескінченність:

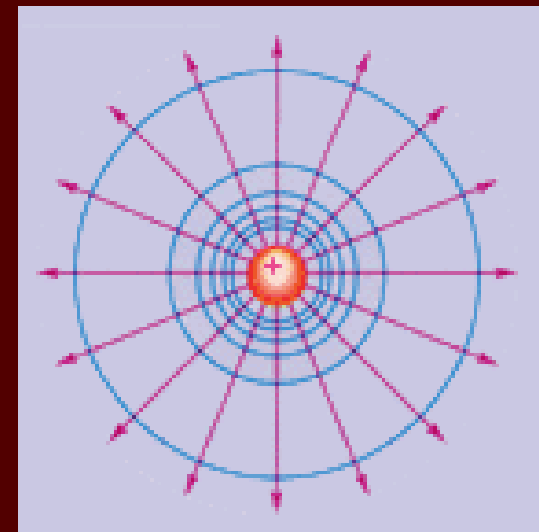
$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r}$$

де $\epsilon_0 \approx 8,84 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ – електрична постійна, ϵ – діелектрична проникність середовища.

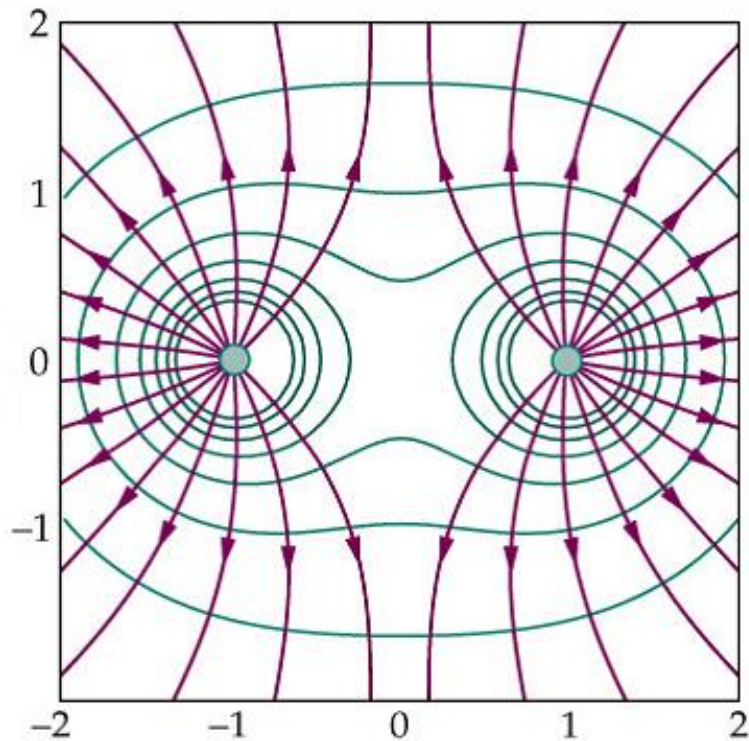
РІЗНИЦЕЮ ПОТЕНЦІАЛІВ між двома точками поля називають відношення роботи, що здійснюється силами поля при переміщенні точкового позитивного заряду з однієї точки поля в іншу, до величини цього заряду.

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q}$$

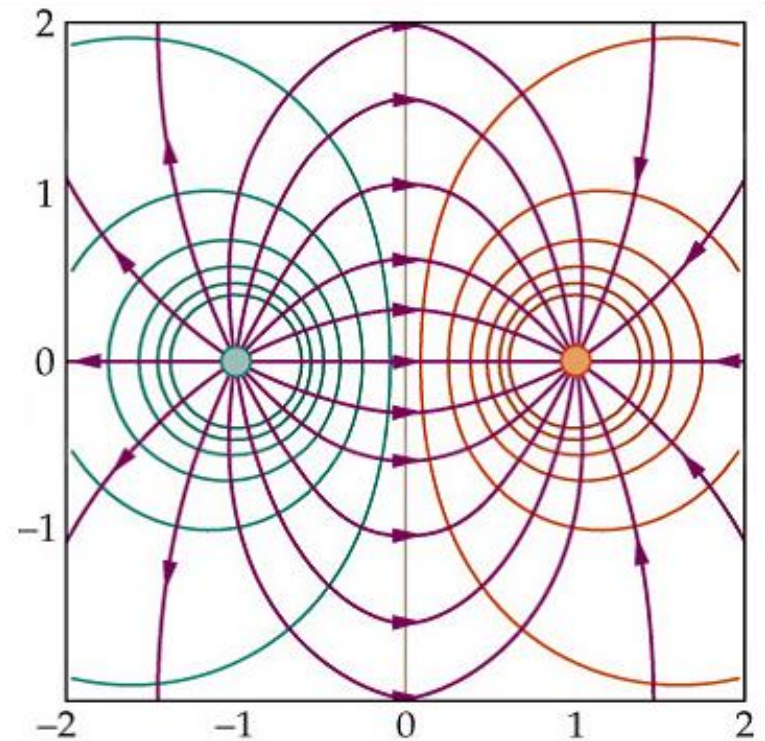
Потенціали в різних точках можна представити у вигляді **ПОВЕРХОНЬ ОДНАКОВОГО ПОТЕНЦІАЛУ (ЕКВІПОТЕНЦІАЛЬНИХ ПОВЕРХОНЬ)**. На малюнку представлені еквіпотенціальні поверхні, що відрізняються від сусідніх на одне і те ж значення потенціалу (кола синього кольору).



ВЗАЄМОДІЯ ЗАРЯДІВ



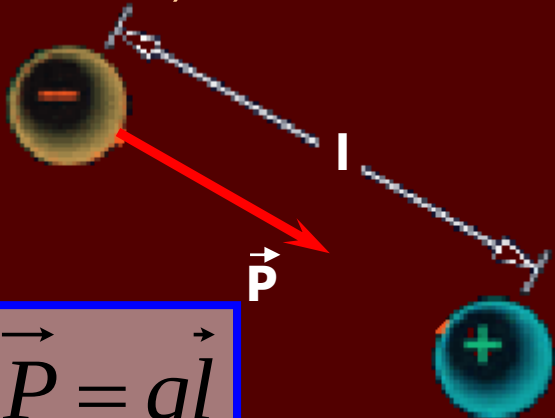
ОДНАКОВІ ЗАРЯДИ



ПРОТИЛЕЖНІ ЗАРЯДИ

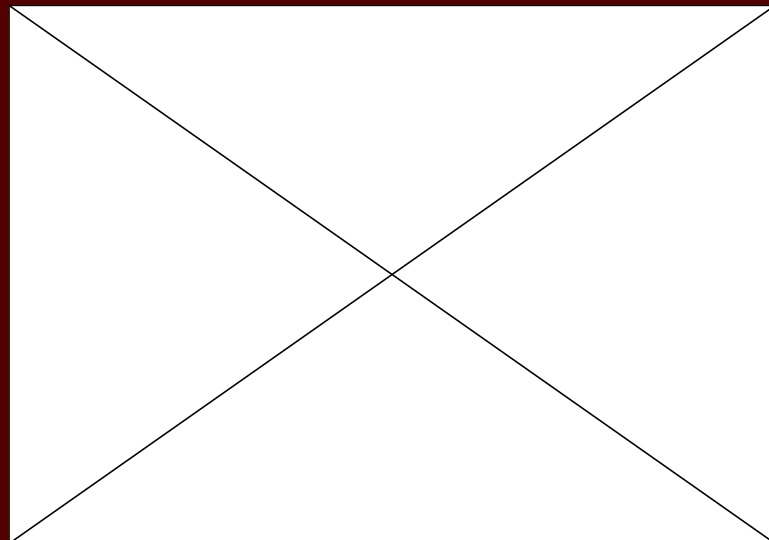
ЕЛЕКТРИЧНИЙ ДИПОЛЬ. ЕЛЕКТРИЧНИЙ МОМЕНТ ДИПОЛЯ

ЕЛЕКТРИЧНИМ ДИПОЛЕМ називають систему, що складається з двох рівних, але протилежних по знаку точкових електричних зарядів, розташованих на деякій відстані один від одного (l – плече диполя).



$$\vec{P} = ql\vec{l}$$

Основною характеристикою диполя є його **електричний або дипольний момент** – вектор, направлений від негативного заряду до позитивного і рівний добутку заряду на плече диполя.



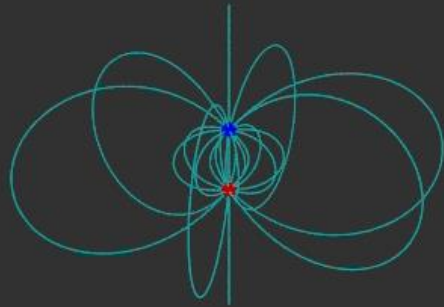
Різниця потенціалів двох точок A і B поля електричного диполя, рівновіддалених від цього диполя:

$$\varphi_A - \varphi_B = \frac{p}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2} (\cos \alpha_B - \cos \alpha_A)$$

де $\epsilon_0 \approx 8,84 \cdot 10^{-12} \text{Ф/м}$ – електрична постійна, ϵ – діелектрична проникність середовища, α_A і α_B кути під якими видно диполь з цих точок, r – відстань до диполя.

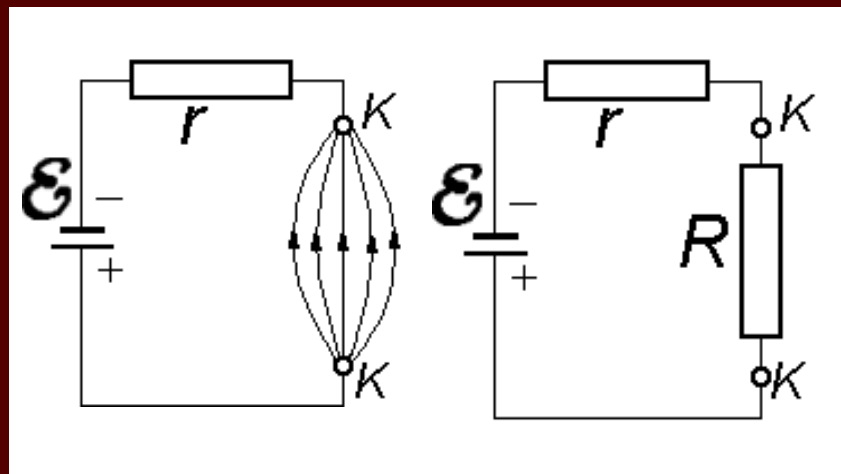
СТРУМОВИЙ ДИПОЛЬ

СТРУМОВИМ ДИПОЛЕМ називають систему, що складається з джерела і стоку електричного струму, розміщених на невеликій відстані l .



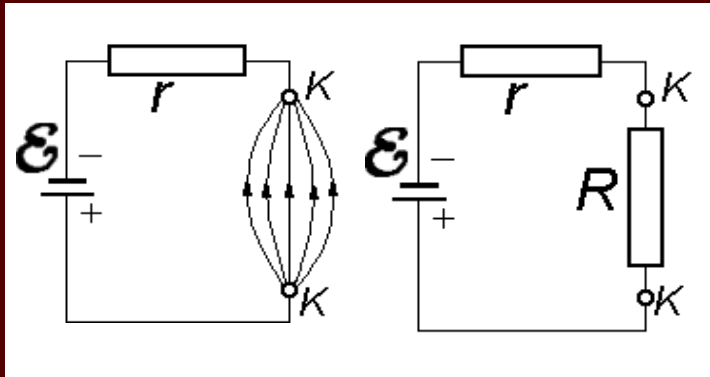
Основною характеристикою струмового диполя є його **СТРУМОВИЙ МОМЕНТ** – вектор, направлений від негативного заряду до позитивного і рівний добутку величини сили струму на вектор l , який сполучає джерело і стік.

$$\vec{D} = I \vec{l}$$



СТРУМОВИЙ ДИПОЛЬ

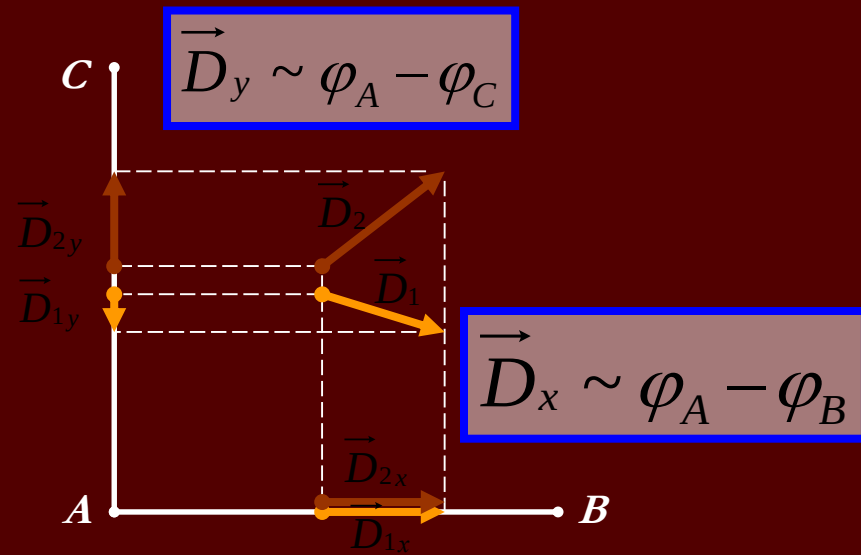
СТРУМОВИМ ДИПОЛЕМ називають систему, що складається з джерела і стоку електричного струму, розміщених на невеликій відстані l .



СТРУМОВИЙ МОМЕНТ — вектор, направлений від негативного заряду до позитивного і рівний добутку величини сили струму на вектор l , який сполучає джерело і стік.

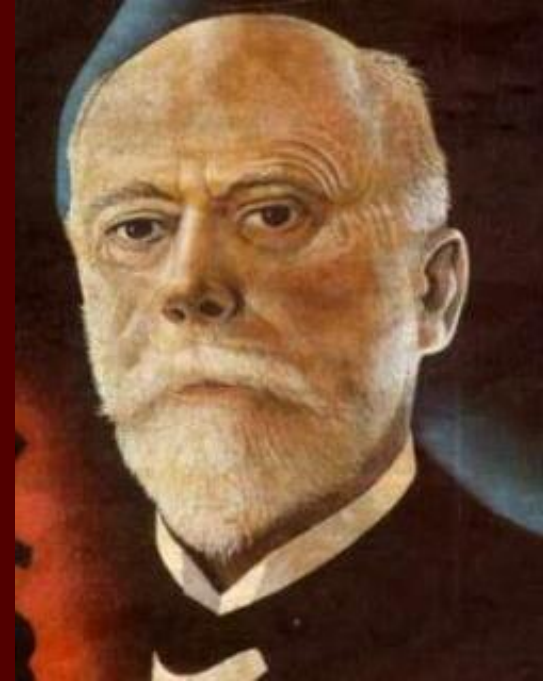
$$\vec{D} = I \vec{l}$$

Різниця потенціалів між двома точками, які знаходяться на рівній відстані від диполя в однорідному електропровідному середовищі, що оточує диполь, пропорційна проекції дипольного моменту на пряму, яка сполучає ці точки.



ІСТОРІЯ ВІДКРИТТЯ БІОПОТЕНЦІАЛІВ. ТЕОРІЯ ЕЙНТХОВЕНА

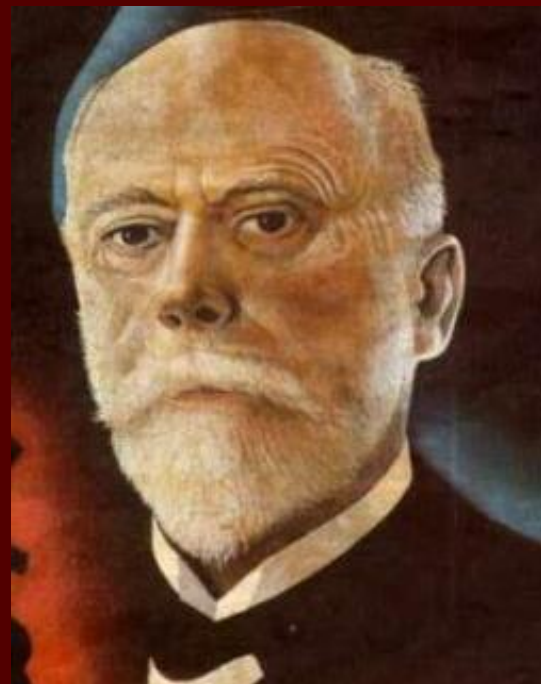
Наявність електричних явищ в серцевому м'язі, що скорочується, вперше виявили два німецьких учених: Р.Келлікер і І.Мюллер в 1856 році. Вони провели дослідження на різних тваринах, працюючи на відкритому серці. Проте можливість вивчення електричних імпульсів серця була відсутня до 1873 р., коли була сконструйований електрометр, прилад, який дозволив реєструвати електричні потенціали. З'явилася можливість записувати сигнали з поверхні тіла, що дозволило англійському фізіологові А.Уоллеру вперше отримати запис електричної активності міокарду людини.



**Виллем Эйнтховен,
голландский
физиолог. Лауреат
Нобелевской премии
(1924г.)**

ІСТОРІЯ ВІДКРИТТЯ БІОПОТЕНЦІАЛІВ. ТЕОРІЯ ЕЙНТХОВЕНА

Він же вперше сформулював основні положення електрофізіологічних понять ЕКГ, припустивши, що серцем є диполь, тобто сукупність двох електричних зарядів, рівних по величині, але проти-лежних по знаку, таких, що знаходяться на деякій відстані один від одного. Уоллеру належить і таке поняття, як електрична вісь серця. Але до практичного використання реєстрації електричних потенціалів серця було ще далеко. Першим, хто вивів ЕКГ із стін лабораторій в широку лікарську практику, був голландський фізіолог, професор утрехтського університету Віллем Ейнтховен.

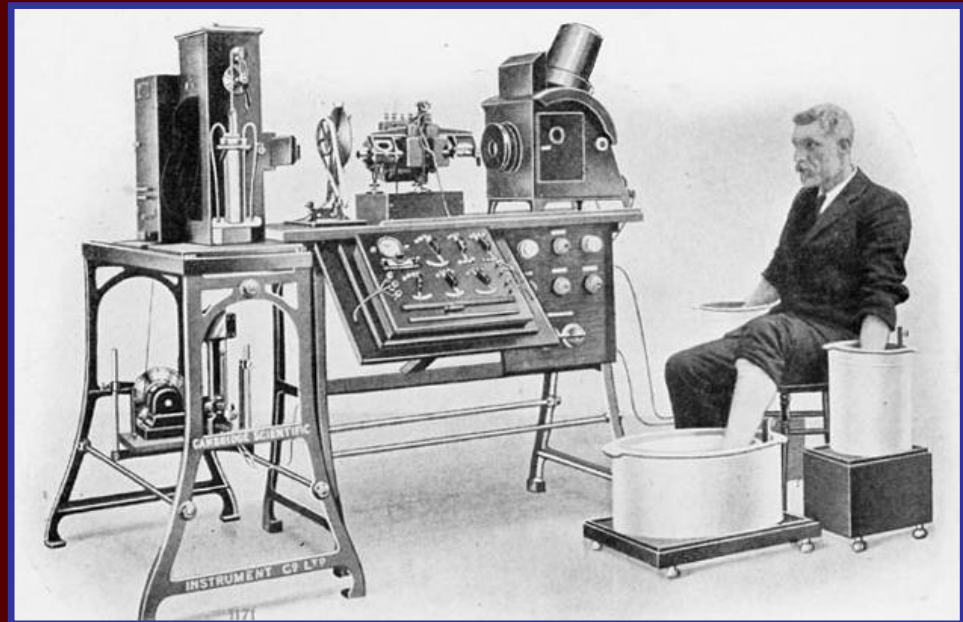


**Виллем Эйнтховен,
голландский
физиолог. Лауреат
Нобелевской премии
(1924г.)**

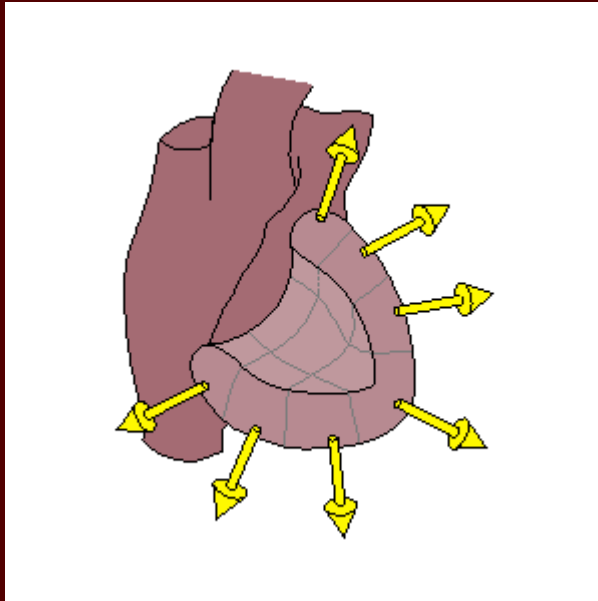
Після семи років наполегливих праць, на основі винайденого Д. Швейггером струнного гальванометра, Ейнтховен створив перший електрокардіограф. У цьому приладі електричний струм від електродів, розташованих на поверхні тіла, проходив через кварцову нитку.



Нитка була розташована в полі електромагніту і вібрувала, коли струм, що проходить по ній, взаємодівав з електромагнітним полем. Оптична система фокусувала тінь від нитки на світлочутливий екран, на якому фіксувалися її відхилення. Перший електрокардіограф був вельми громіздкою спорудою і важив близько 270 кг Його обслуговуванням було зайнято п'ять співробітників. Проте, результати, отримані Ейтховеном, були революційними. Вперше в руках лікаря опинився прилад що так багато говорить про стан серця. Ейтховен запропонував розташовувати електроди на руках і ногах, що використовується і по сьогоднішній день. Він ввів поняття відведення, запропонувавши три так звані стандартні відведення від кінцівок, тобто вимірювання різниці потенціалів між лівою і правою рукою (I відведення), між правою рукою і лівою ногою (II відведення) і між лівою рукою і лівою ногою (III відведення). Заслуги Ейтховена були оцінені по гідності і в 1924 р. йому була присуджена Нобелівська премія.



Модель, що представляє об'ємне джерело



3) Мультиполь

Number of dipoles = N

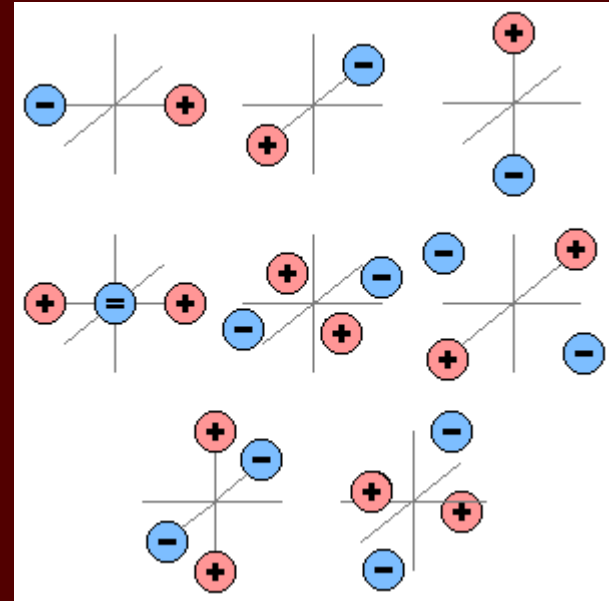
Fixed location

Free direction

Free magnitude

$3N$ variables

If direction is fixed: N variables



4) Мультиполь

Higher order

multipole expansion

Number of variables:

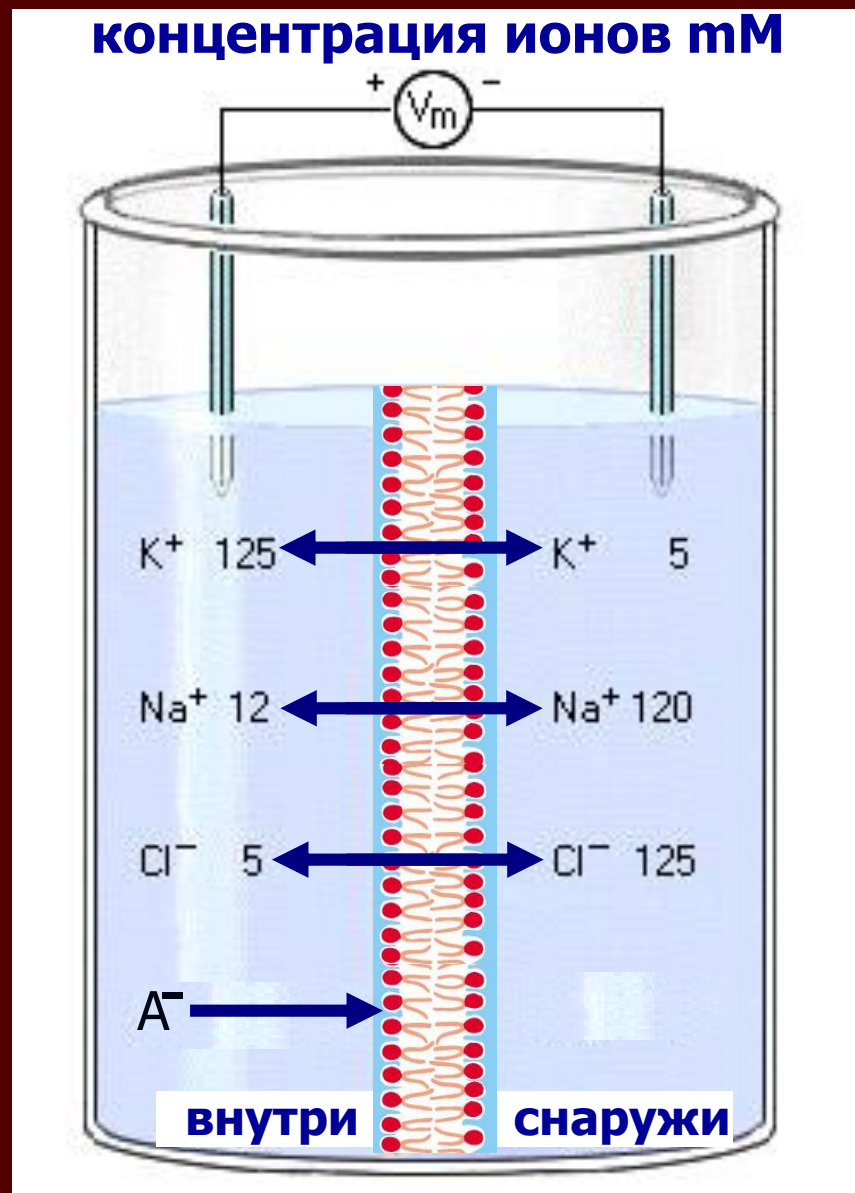
dipole 3

quadrupole 5

octapole 7

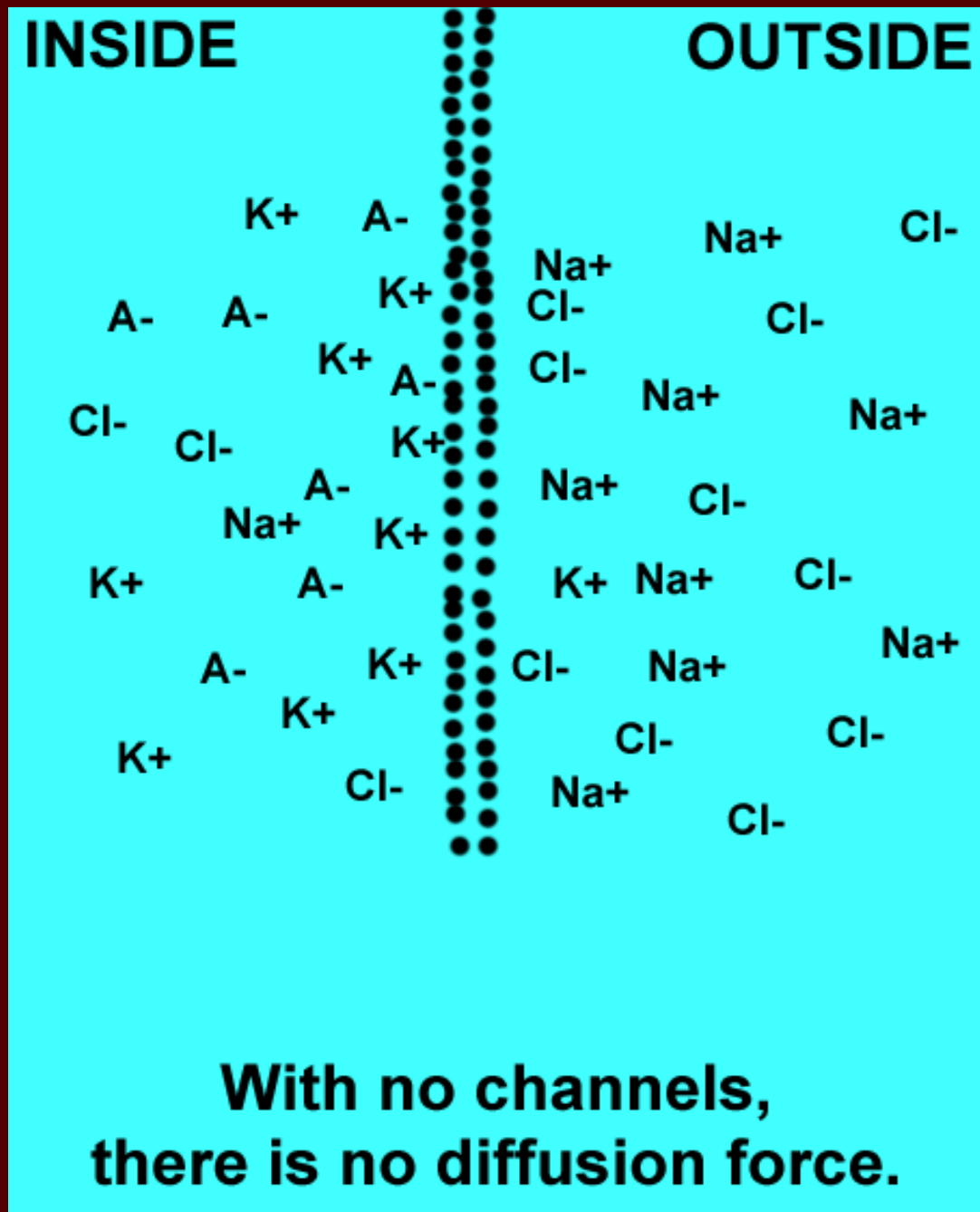
МЕМБРАННА ТЕОРІЯ ВИНИКНЕННЯ ПОТЕНЦІАЛІВ

В основі виникнення електричних явищ в клітині, в тканинах і органах лежить проникнення іонів калію (K^+), натрію (Na^+), хлору (Cl^-) через мембрану м'язової клітини. У електричному відношенні клітинна мембрана є оболонкою, що має різну проникність для різних іонів. Вона як би розділяє два розчини електролітів, що істотно відрізняються по своєму складу. На мембрані клітини, що знаходиться в незбудженому стані, зберігаються концентраційні градієнти іонів калія (K^+), натрію (Na^+), хлора (Cl^-). Ці градієнти концентрації підтримуються завдяки функціонуванню в ній іонних насосів, за допомогою яких іони Na^+ , Cl^- виводяться з клітини, а іони K^+ входять всередину клітини. Цей процес здійснюється проти концентраційних градієнтів цих іонів і вимагає витрати енергії.



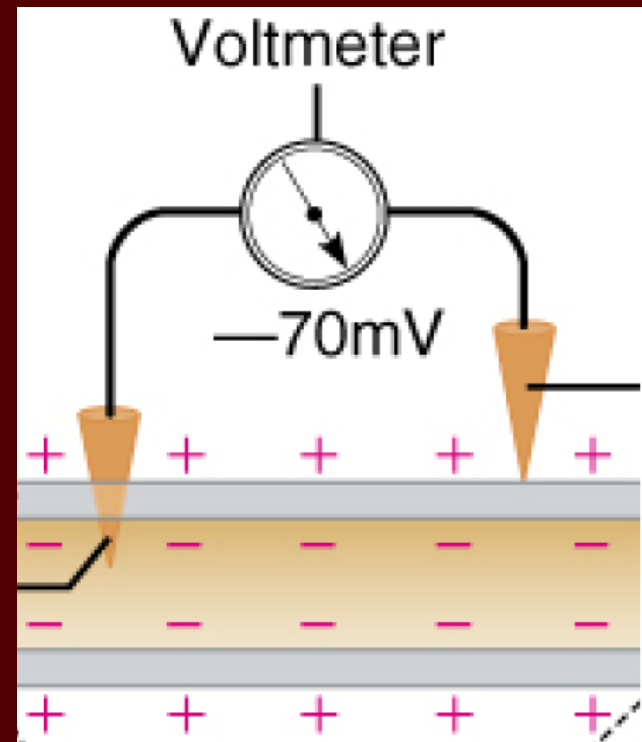
ПОТЕНЦІАЛ СПОКОЮ

Це переміщення іонів, приводить до поляризації клітинної мембрани незбудженої клітини: зовнішня поверхня стає позитивною, а внутрішня – негативною. Різниця потенціалів, що виникає таким чином на мембрані, перешкоджає подальшому переміщенню іонів, і наступає стабільний стан поляризації мембрани. Різниця потенціалів, яка виникає при цьому між зовнішньою і внутрішньою поверхнею мембрани називається **трансмембранний потенціал спокою (ТМПС)**, який в нормі складає – (100 - 50)мВ.



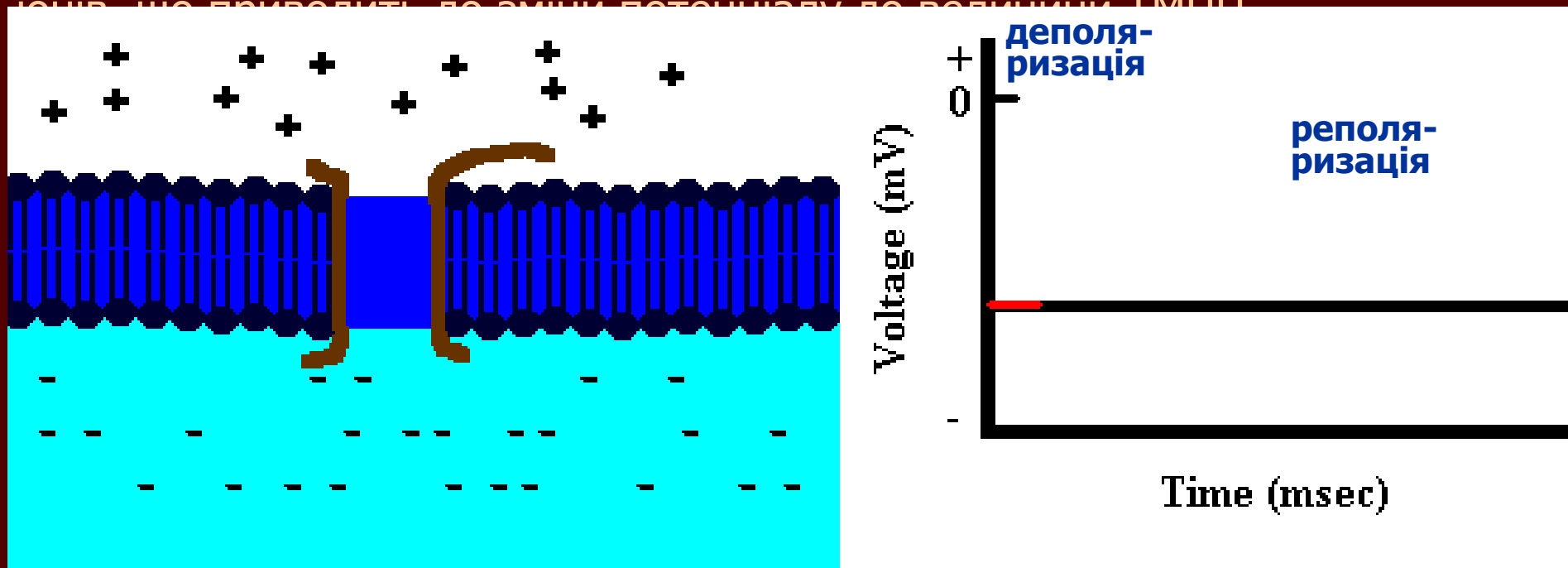
ПОТЕНЦІАЛ СПОКОЮ

Це переміщення іонів приводить до поляризації клітинної мембрани незбудженої клітини: зовнішня поверхня стає позитивною, а внутрішня – негативною. Різниця потенціалів, що виникає таким чином на мембрані, перешкоджає подальшому переміщенню іонів, і настає стабільний стан поляризації мембрани. Різниця потенціалів, яка виникає при цьому між зовнішньою і внутрішньою поверхнею мембрани називається **трансмембранний потенціал спокою (ТМПС)**, який в нормі складає $-(100 - 50)\text{мВ}$.

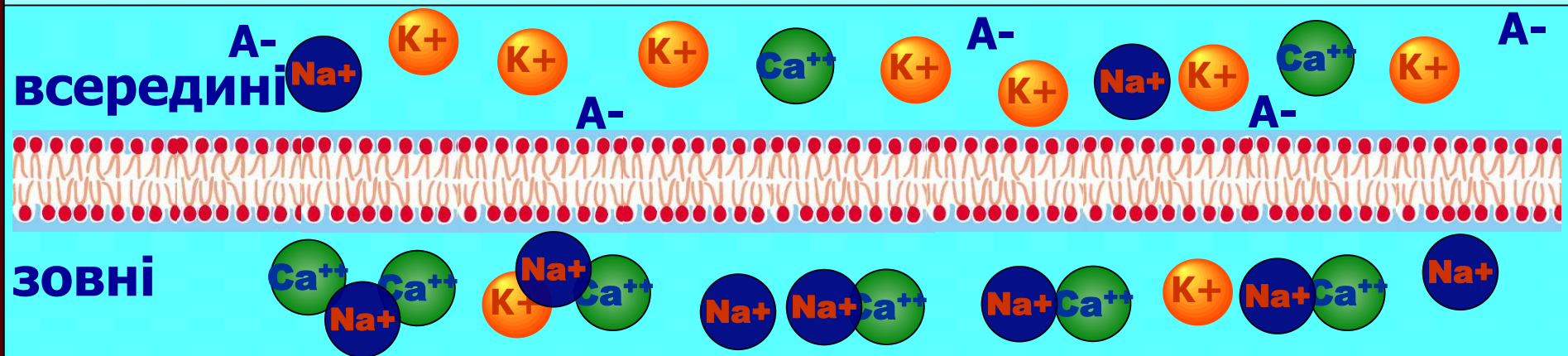
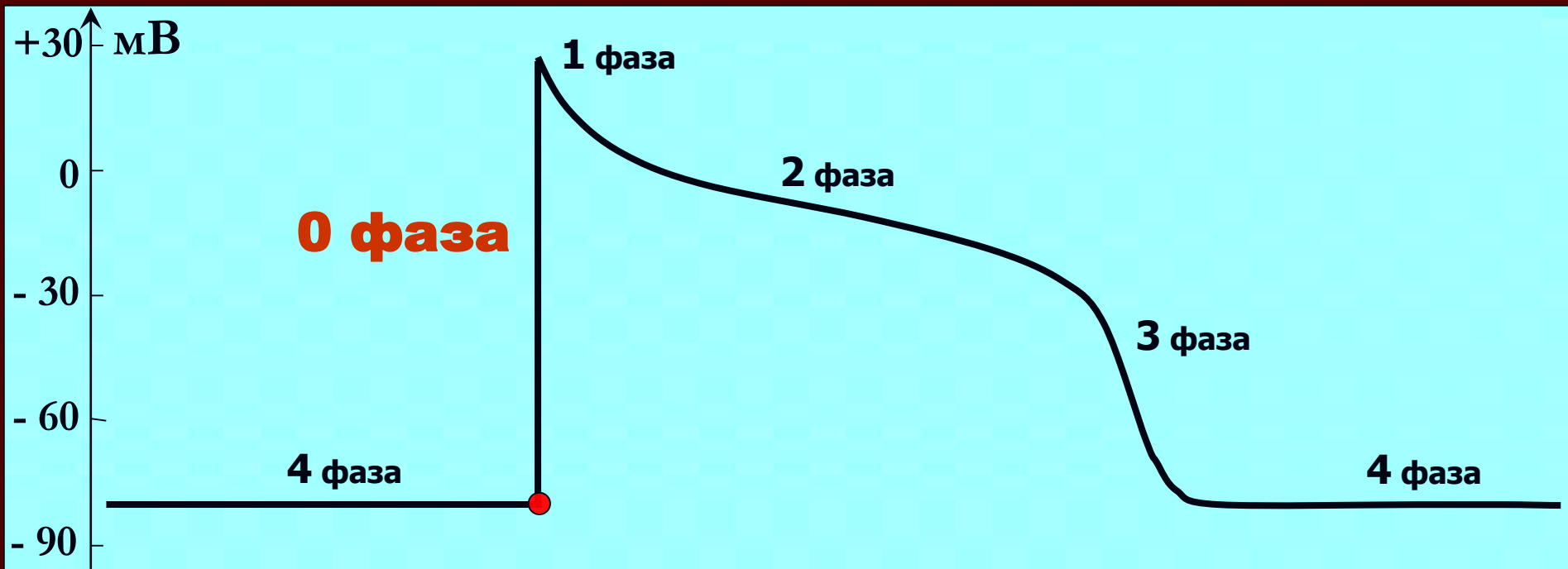


ПОТЕНЦІАЛ ДІЇ. ДЕПОЛЯРИЗАЦІЯ І РЕПОЛЯРИЗАЦІЯ

При збудженні клітини різко змінюється проникність її мембрани по відношенню до іонів різних типів. Це приводить до зміни іонних потоків через клітинну мембрану і, отже, до зміни величини самого ТМПС. Крива зміни трансмембранного потенціалу під час збудження називається **трансмембранний потенціал дії (ТМПД)**. ТМПД формує сукупність процесів **деполяризації** і **реполяризації**. Деполяризація – процес активності клітини, в результаті якого потенціал клітини змінює знак на протилежний. Реполяризація – процес відновлення початкової концентрації іонів, що приводить до зміни потенціалу до початкового ТМПД.

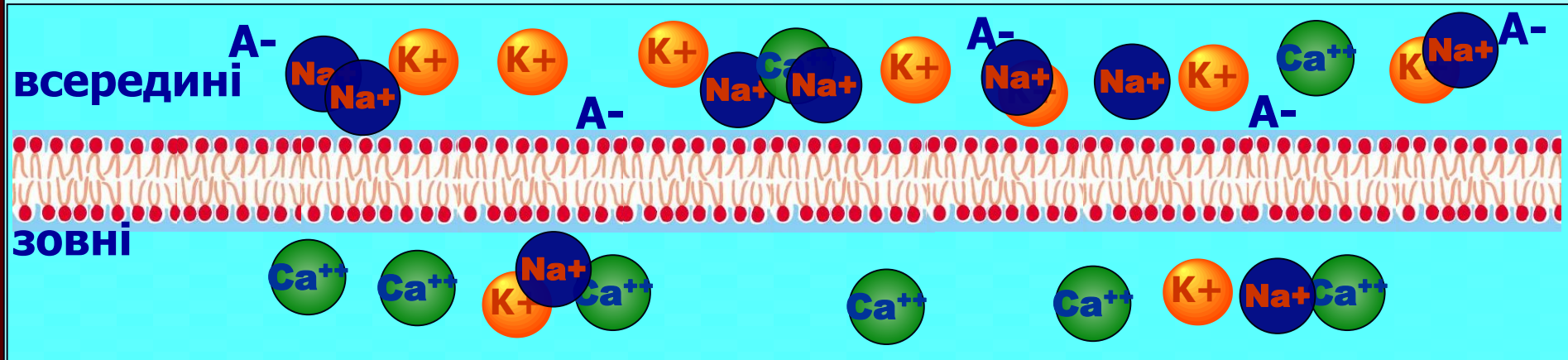
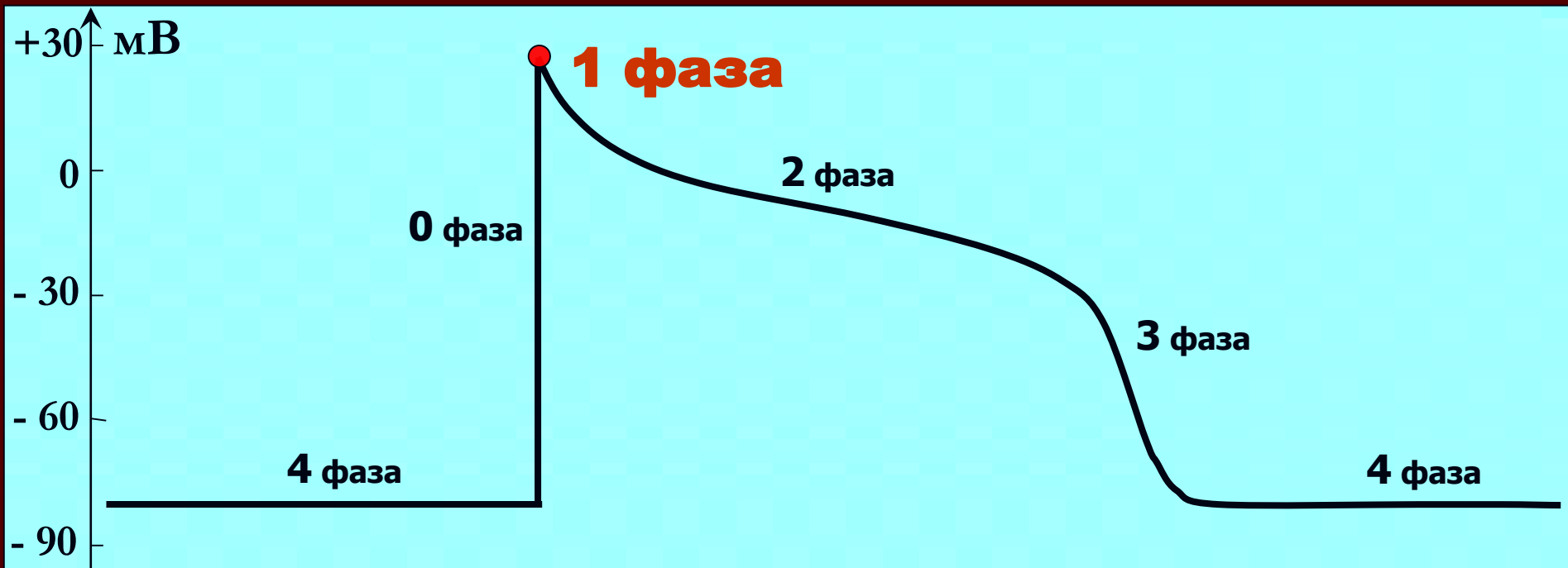


ФАЗИ ТМПД МІОКАРДІАЛЬНОЇ КЛІТИНИ



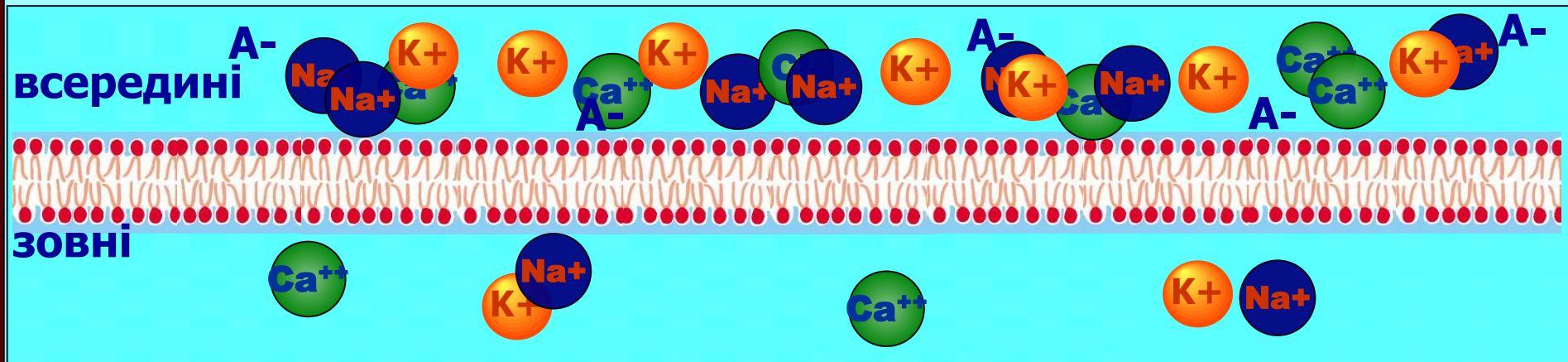
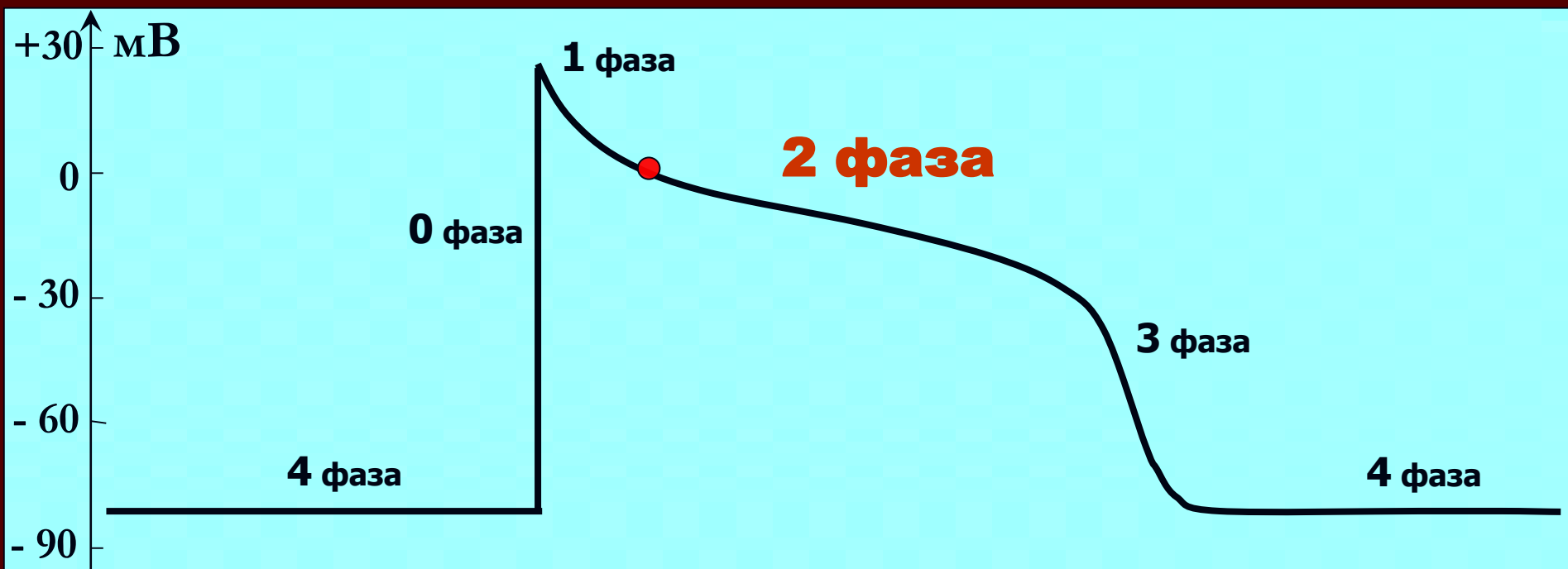
Фаза 0. Фаза деполяризації, збільшується проникність мембрани клітини для іонів Na^+ , які швидко переміщуються всередину клітини. При цьому міняється заряд мембрани: внутрішня поверхня мембрани – позитивна, а зовнішня – негативна. Величина ТМПД змінюється до +20 мВ.

ФАЗИ ТМПД МІОКАРДІАЛЬНОЇ КЛІТИНИ



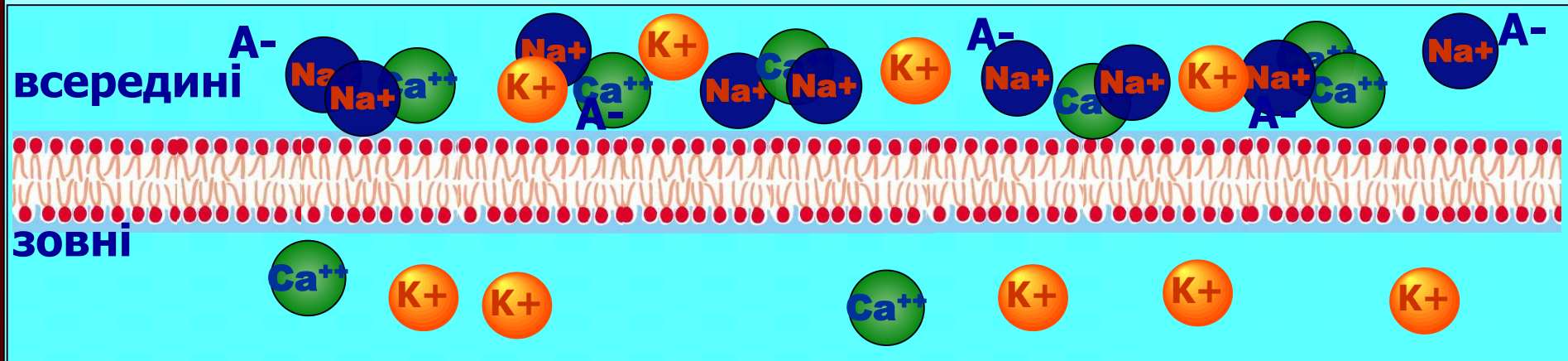
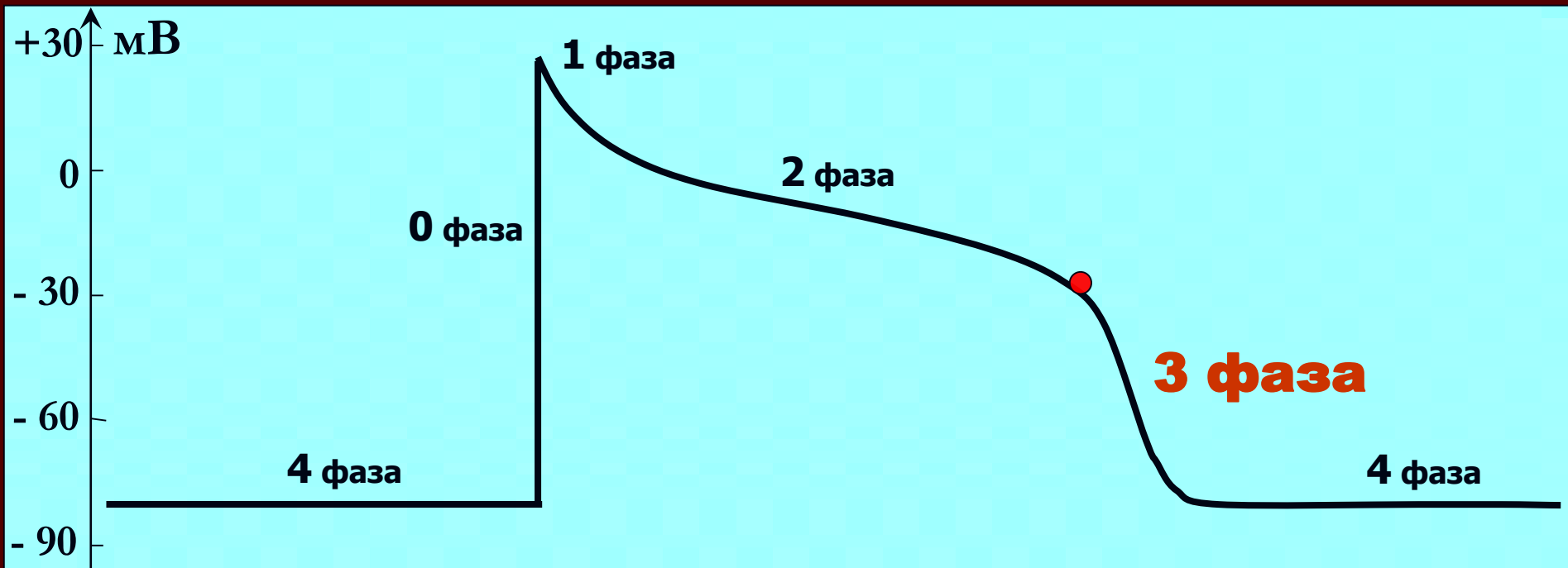
Фаза 1. Проникність мембрани для Na^+ зменшується, а для Cl^- збільшується, іони Cl^- спрямовуються всередину клітини і частково нейтралізують надлишок Na^+ усередині клітини. Це приводить до падіння ТМПД до 0 або нижче.

ФАЗИ ТМПД МІОКАРДІАЛЬНОЇ КЛІТИНИ



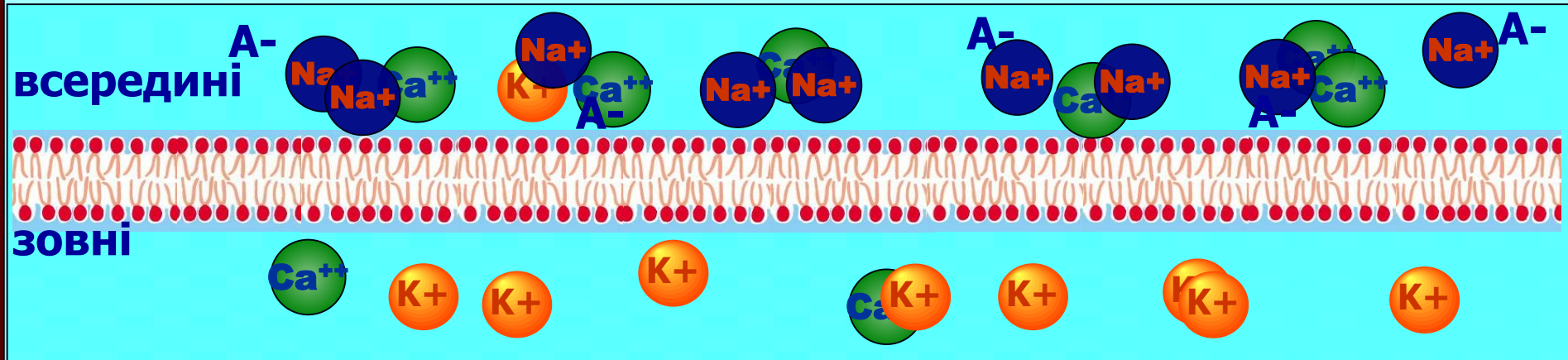
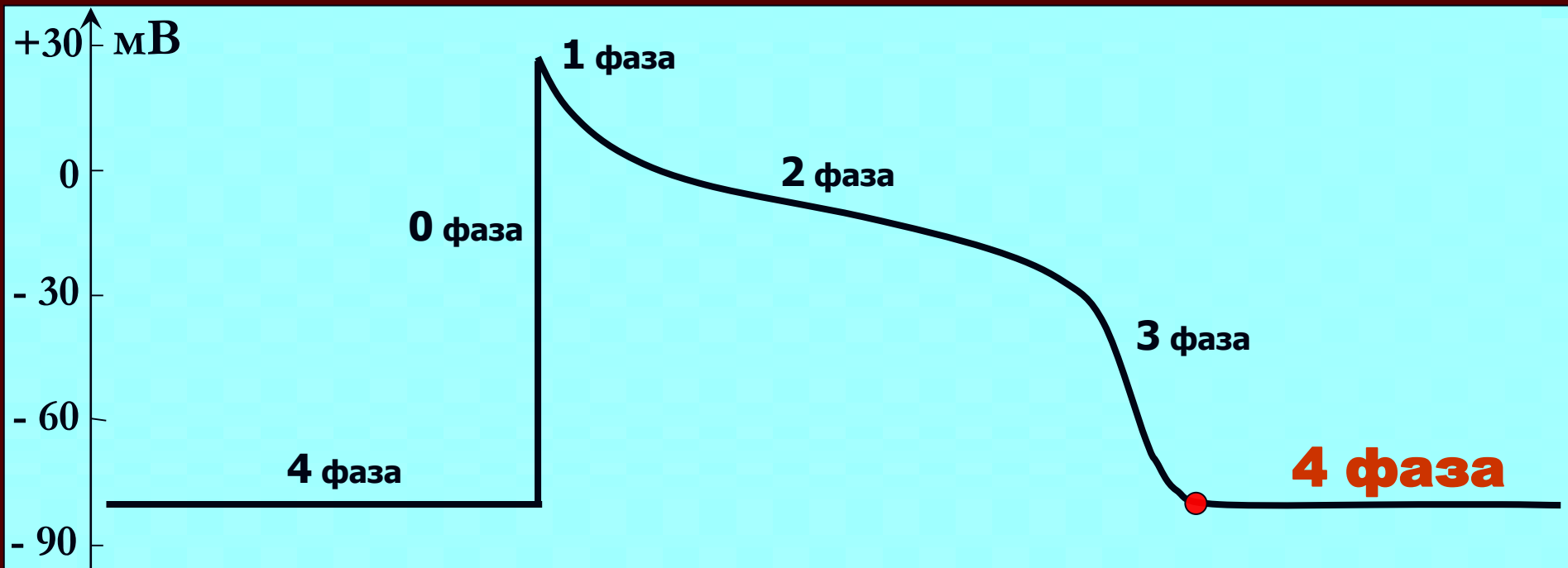
Фаза 2. Величина ТМПД підтримується практично на одному рівні. Постійний рівень цієї величини підтримується за рахунок повільних вхідних струмів Na^+ і струму K^+ з клітини.

ФАЗИ ТМПД МІОКАРДІАЛЬНОЇ КЛІТИНИ



Фаза 3. Фаза кінцевої швидкої реполяризації, під час якої різко зменшується проникність мембрани клітини для іонів Na^+ і значно зростає проникність для K^+ , який переміщується з клітини, що приводить до відновлення колишньої поляризації мембрани. ТМПД досягає величини ТМПС.

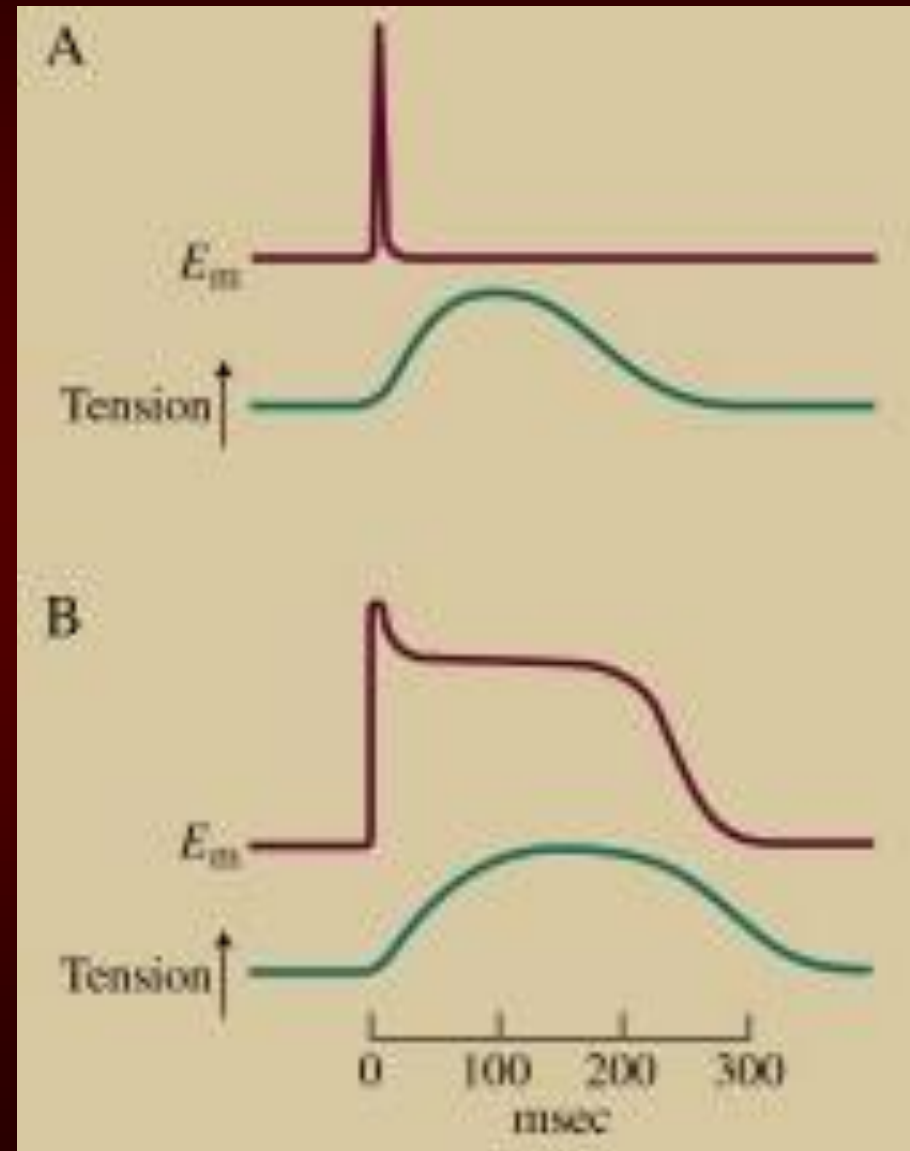
ФАЗИ ТМПД МІОКАРДІАЛЬНОЇ КЛІТИНИ



Фаза 4. Фаза діастоли, відбувається відновлення початкової концентрації іонів K^+ , Na^+ , Cl^- усередині і поза клітиною завдяки дії « Na^+ - K^+ - насоса». Рівень ТМПД залишається на рівні до -100mV .

- ПД та скорочення скелетного м'язу;

- ПД та скорочення клітини міокарда



РОЛЬ БІОЕЛЕКТРИЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Як не дивовижні електричні явища в неорганічній речовині, незрівнянно дивовижніші електричні явища в біосистемах.

Майкл Фарадей

Біоелектричні процеси є основним чинником, що забезпечує узгоджене функціонування всіх клітин, тканин, органів, систем і організму в цілому.

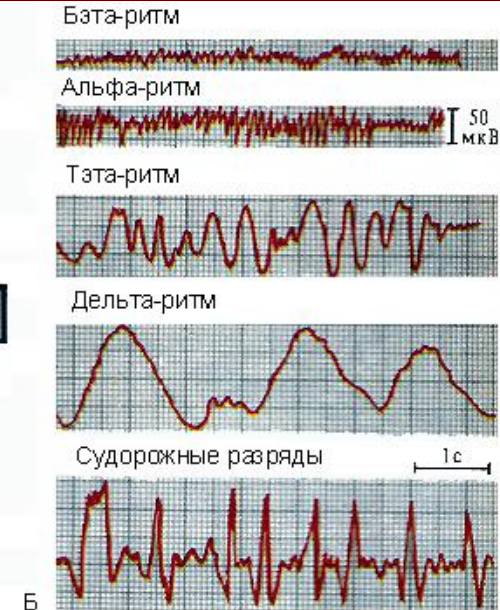
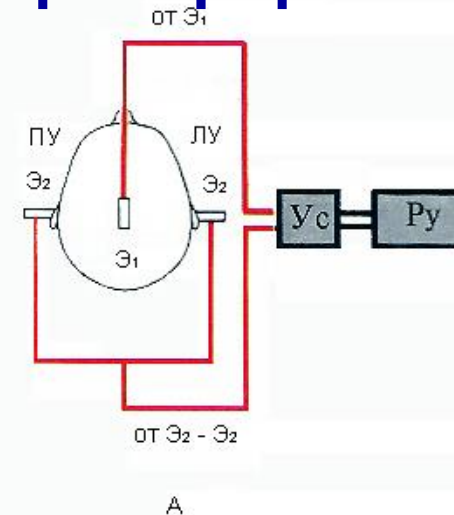
ЭЛЕКТРОГРАФИЯ

При функціонуванні органів і тканин трансмембранні потенціали дії окремих клітин складаються і виникає так званий інтегральний мембранний потенціал.

Інтерпретація інтегральних мембранних потенціалів органів, що реєструються на поверхні тіла людини лежить в основі комплексу діагностичних методів, які мають загальну назву, - електрографія.

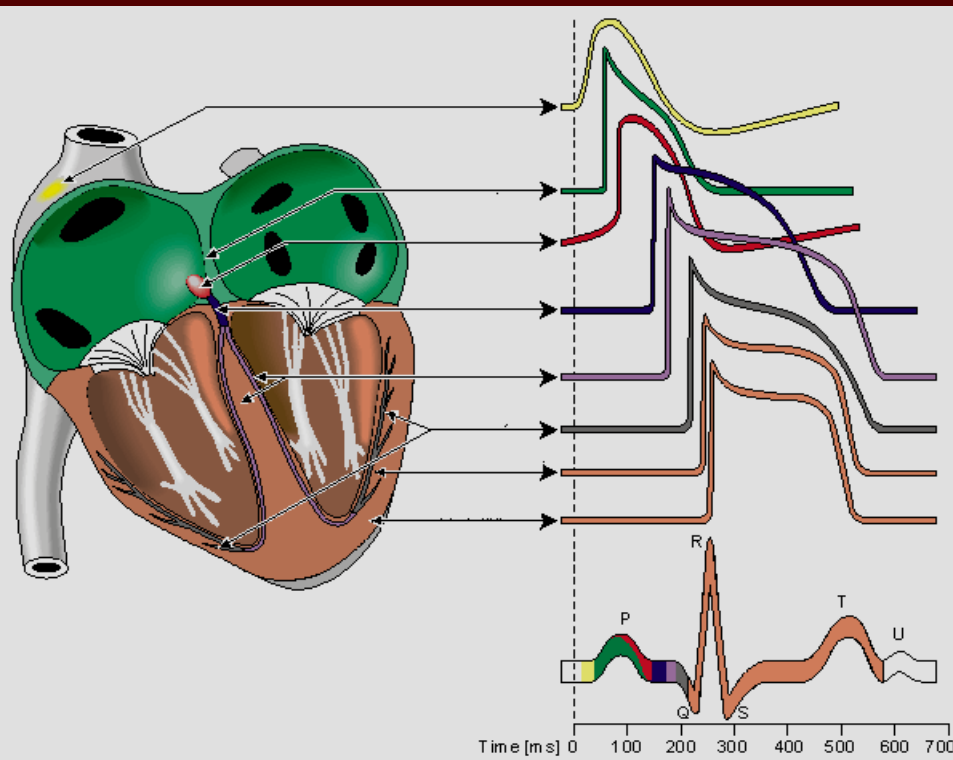


электроэнцефалогграфия

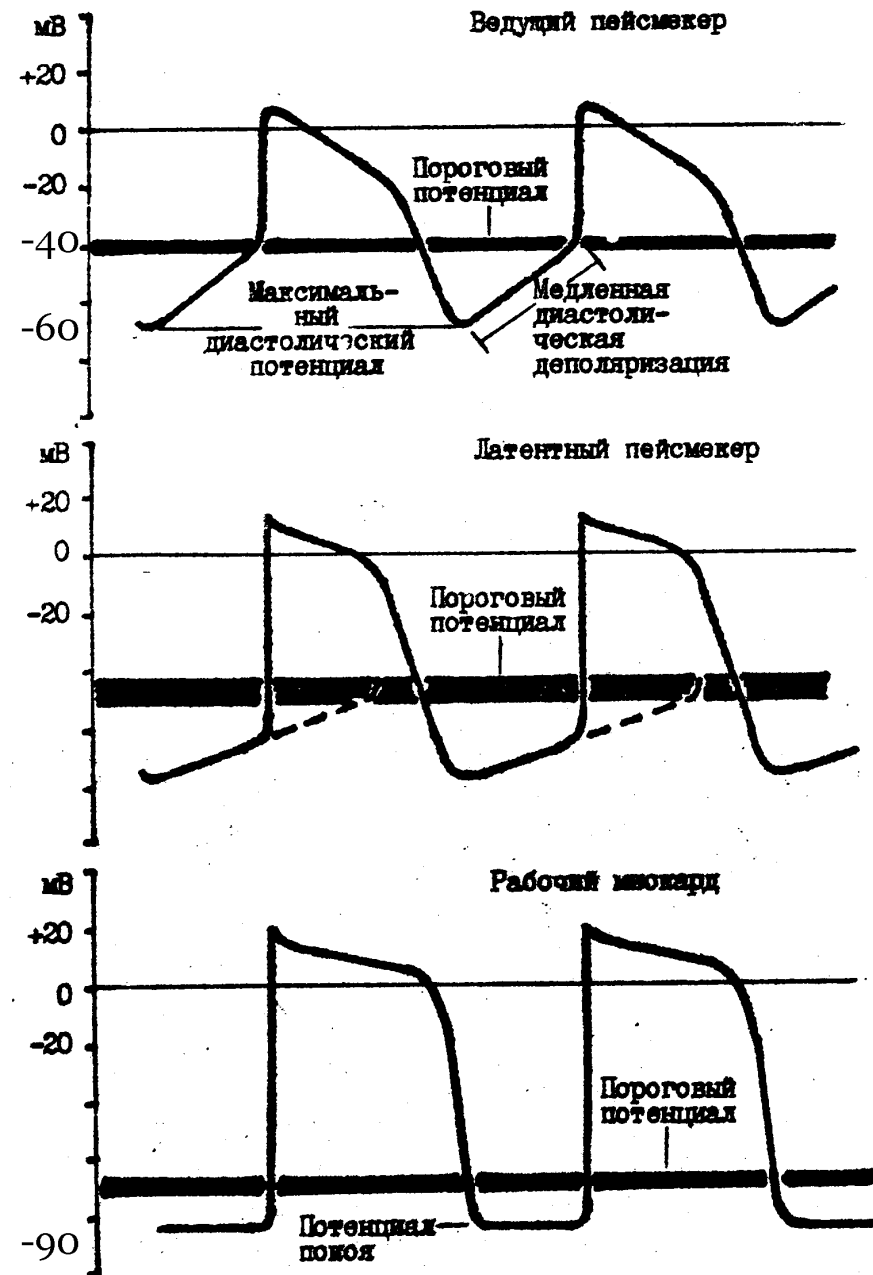


ПД різних відділів провідної системи серця

ТМПД в синусовому вузлі



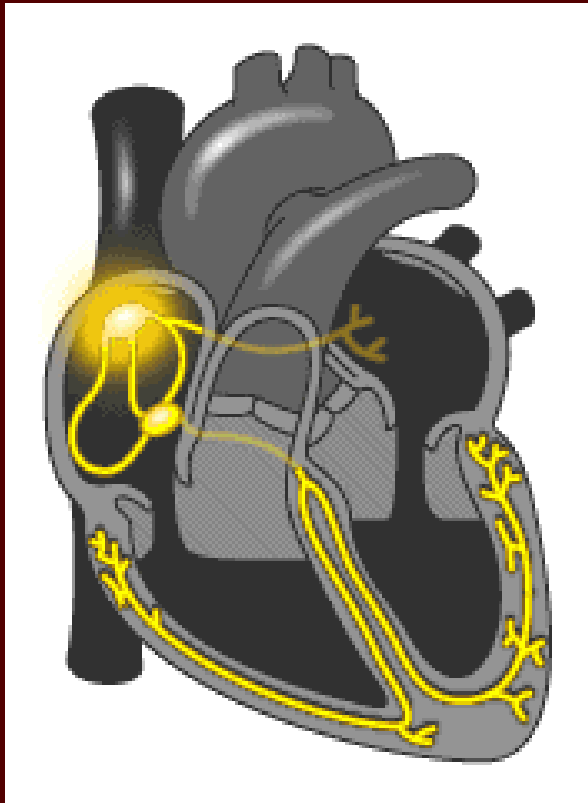
ТМПД в клітинах серцевого м'яза



Конфігурація потенціалів діяльності різних
отделов провідної системи и рабочего миокарда.

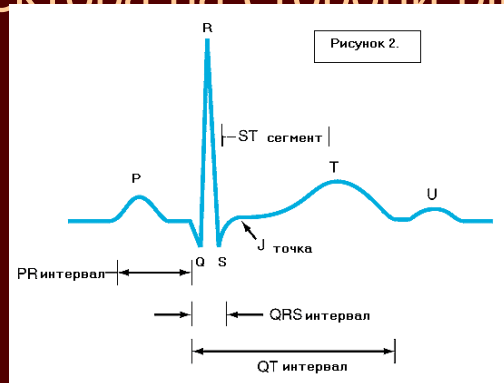
РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ХВИЛІ ДЕПОЛЯРИЗАЦІЇ І РЕПОЛЯРИЗАЦІЇ В СЕРЦЕВОМУ М'ЯЗІ. ІНТЕГРАЛЬНИЙ МОМЕНТНИЙ ВЕКТОР СЕРЦЯ

Розповсюдження хвилі деполяризації в серцевого м'яза починається з синусового вузла, потім збудження передається атріовентрикулярному вузлу, потім пучку Гіса і ніжкам пучка Гіса. Розповсюдженнями хвилі деполяризації і реполяризації по міокарду є складніший процес, ніж рух фронту збудження по одиночному м'язовому волокну. Це пояснюється тим, що в серці одночасно функціонує велике число струмових диполів,



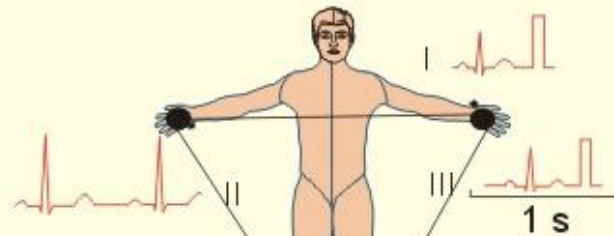
кожен з яких обумовлений збудженням окремих міокардіальних волокон і відрізняється від інших таких же диполів як по величині, так і по напрямку. Проте, згідно дипольної концепції електрокардіографії, серце можна умовно розглядати як єдиний серцевий диполь, що створює в провіднику (тілі), що оточує його, електричне поле, яке і може бути зареєстроване за допомогою електродів, розташованих на поверхні тіла. Вектор єдиного серцевого диполя є не що інше, як сумарний інтегральний моментний вектор всіх елементарних джерел струму, що існують в даний момент.

Враховуючи те, що позитивний полюс серцевого диполя сконцентрований біля верхівки серця, а негативний полюс у підстави, кінець сумарного інтегрального моментного вектора серця у фронтальній площині описує три стандартні петлі. По теорії Ейнтховена реєструють проєкції цього вектора на сторони рівностороннього трикутника Ейнхovensена

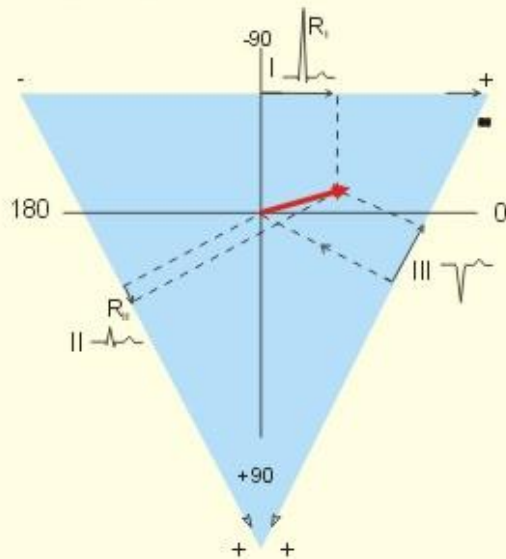


Standard Limb & Precordial Leads

Einthovens triangle (frontal plane)



Left-sided axis deviation



Right-sided axis deviation

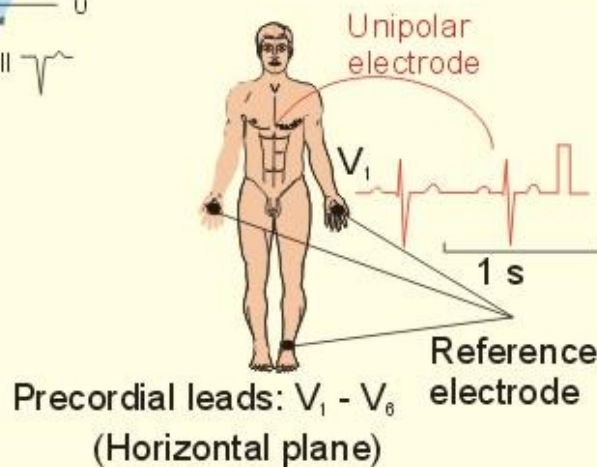
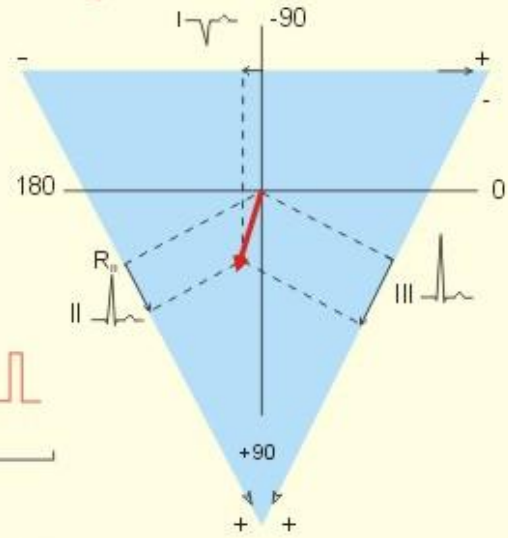
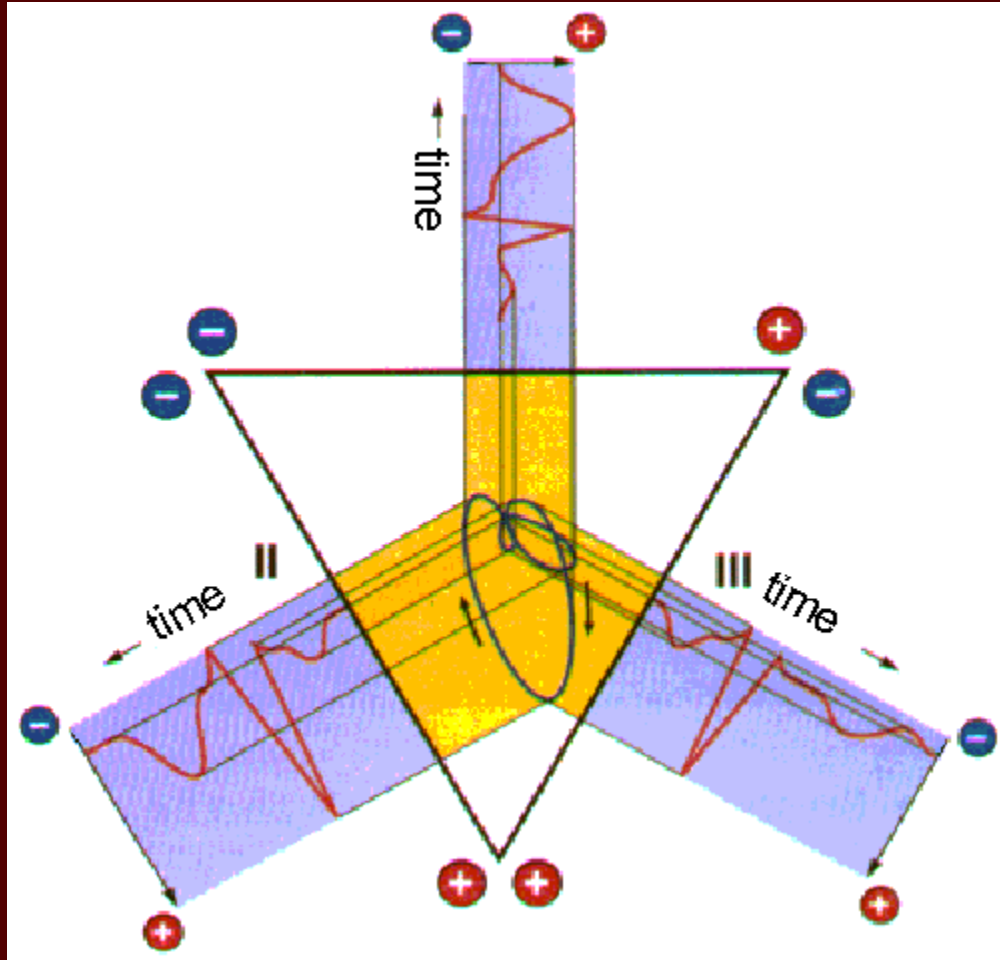


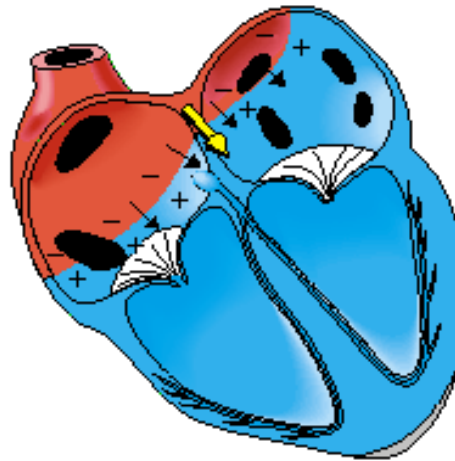
Fig. 11-7

Враховуючи те, що позитивний полюс серцевого диполя сконцентований у верхівки серця, а негативний полюс у підстави, кінець сумарного інтегрального моментного вектора серця у фронтальній площині описує три стандартні петлі. По теорії Ейнтховена реєструють проєкції цього вектора на сторони рівностороннього трикутника Ейнтховена.

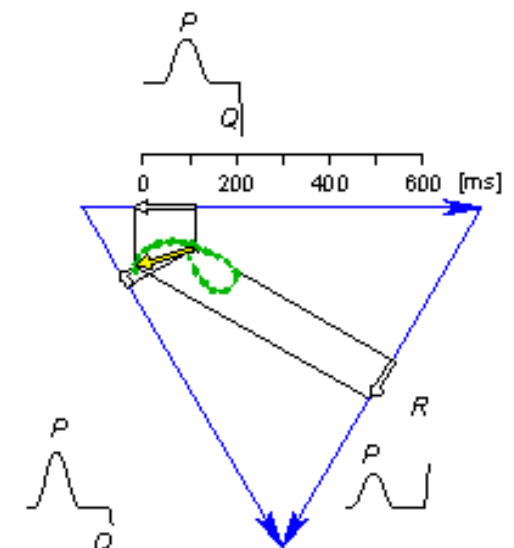
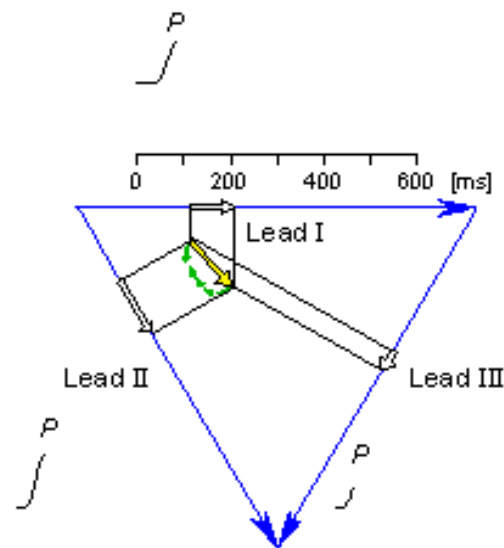


процес деполяризації
предсердь, утворення
зубця *P*

ATRIAL
DEPOLARIZATION
80 ms

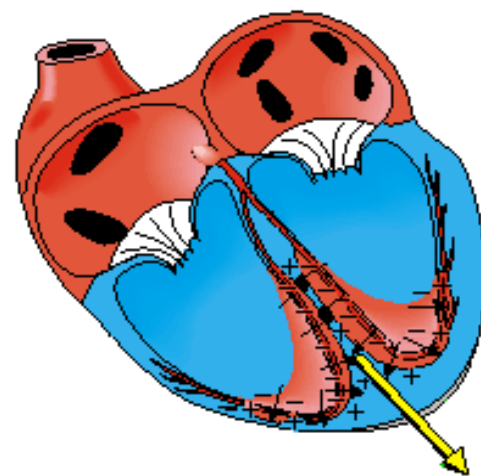


SEPTAL
DEPOLARIZATION
220 ms

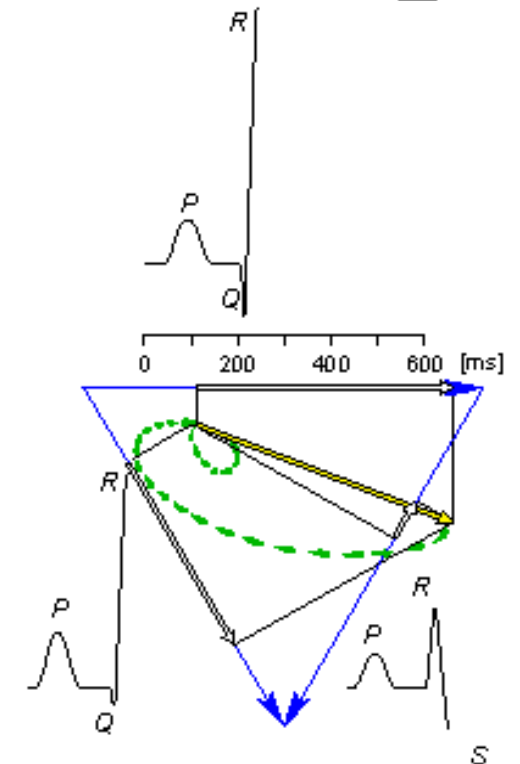
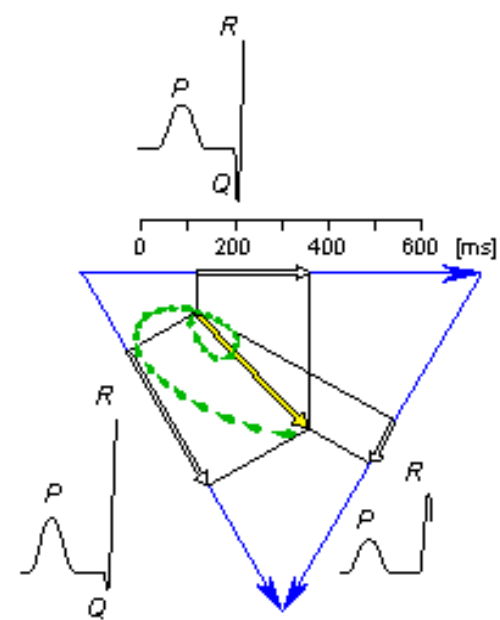
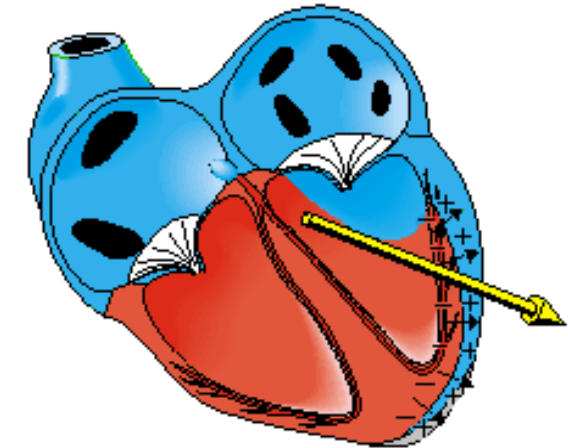


процес деполяризації
шлуночків, утворення
комплексу *QRS*

APICAL
DEPOLARIZATION
230 ms

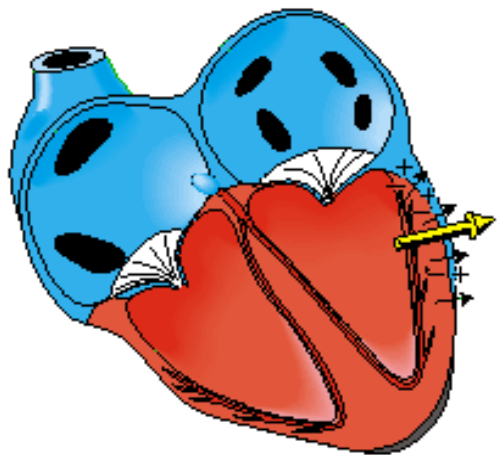


LEFT VENTRICULAR
DEPOLARIZATION
240 ms

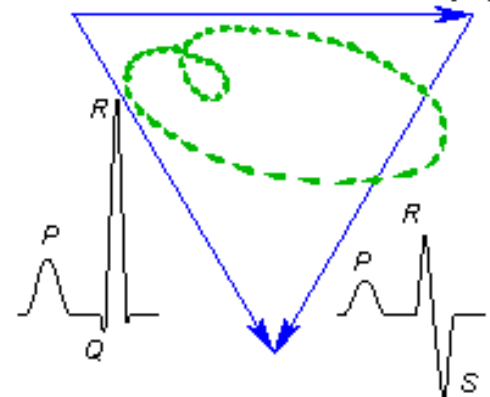
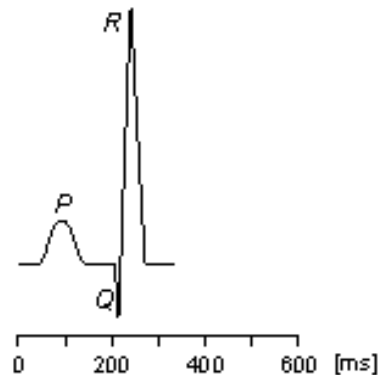
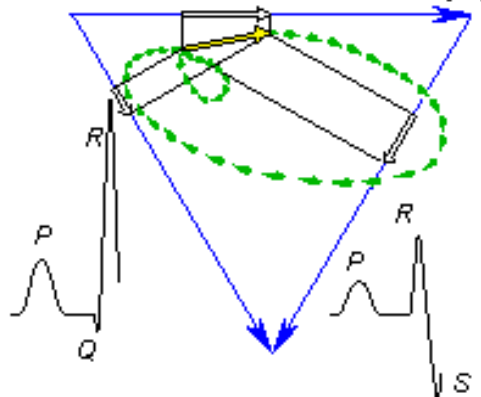
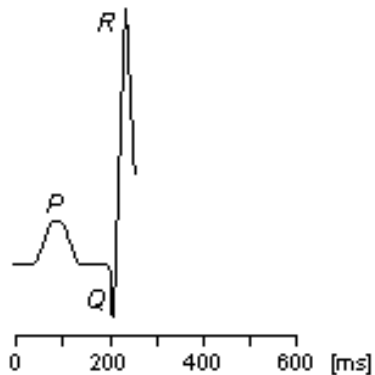
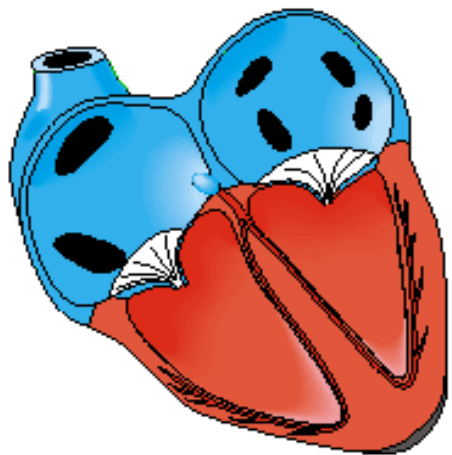


процес деполяризації
шлуночків, утворення
комплексу *QRS*

LATE LEFT VENTRICULAR
DEPOLARIZATION
250 ms



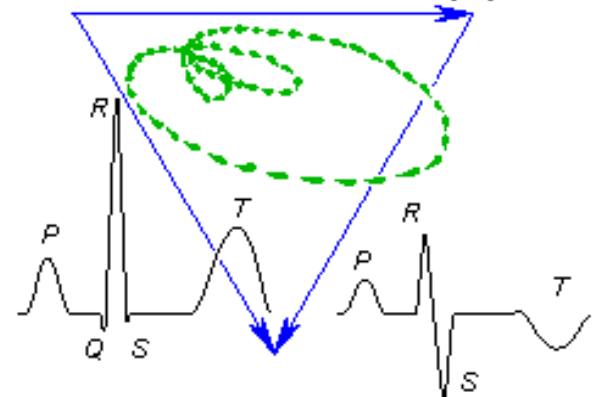
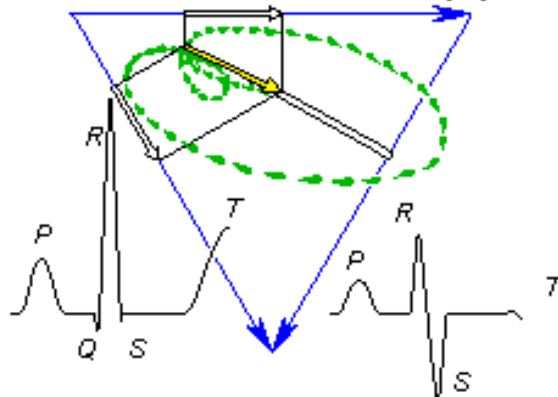
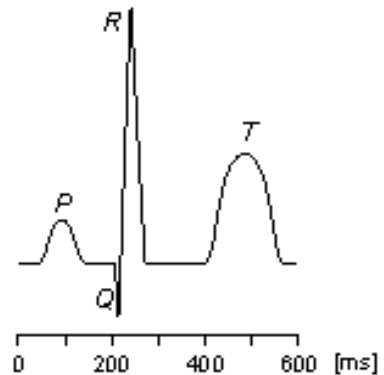
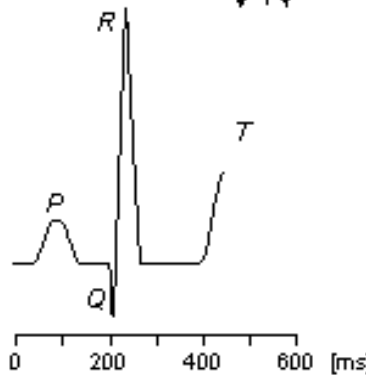
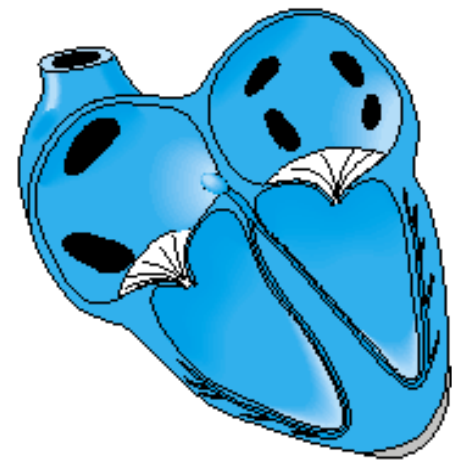
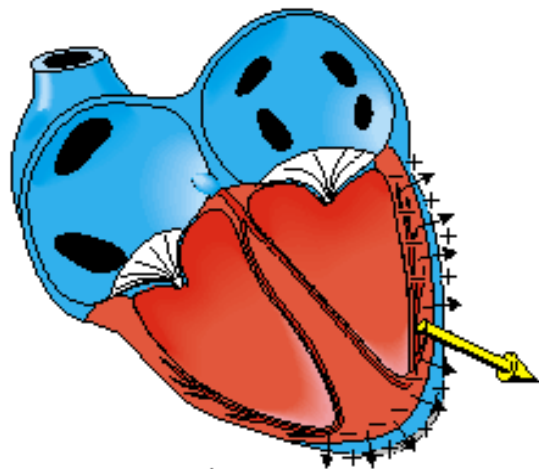
VENTRICLES
DEPOLARIZED
350 ms



**процес реполяризації
шлуночків, утворення
зубця *T***

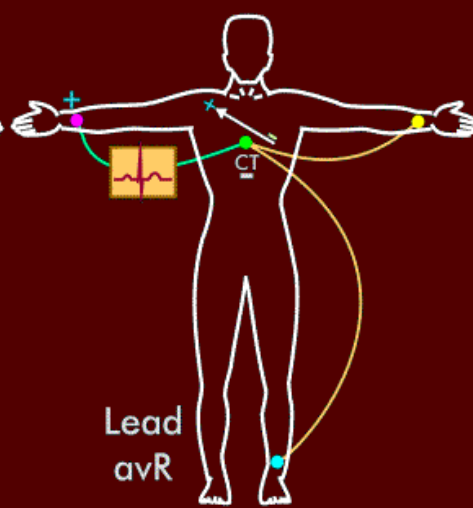
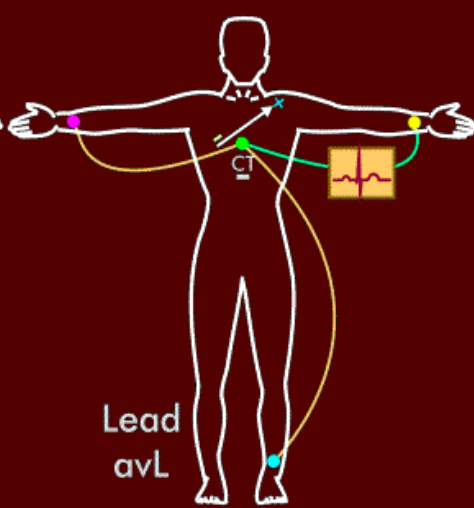
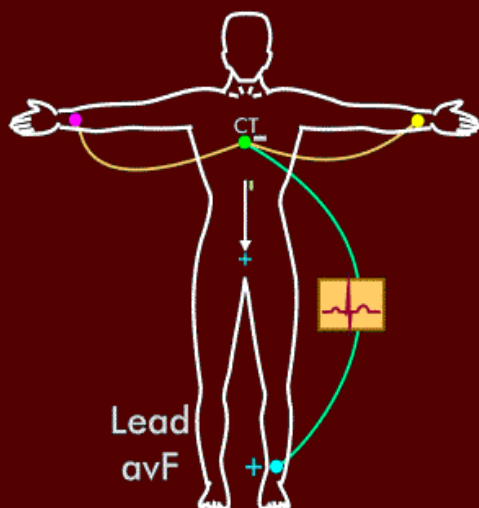
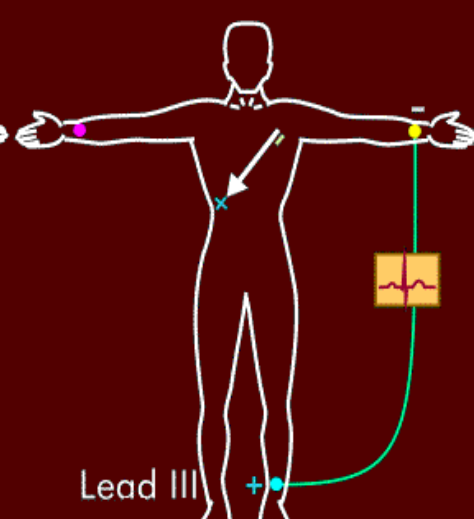
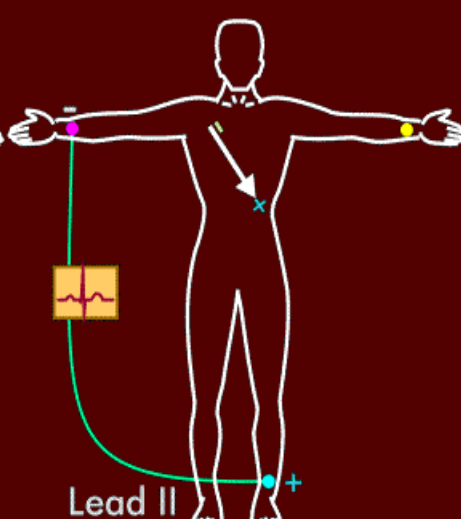
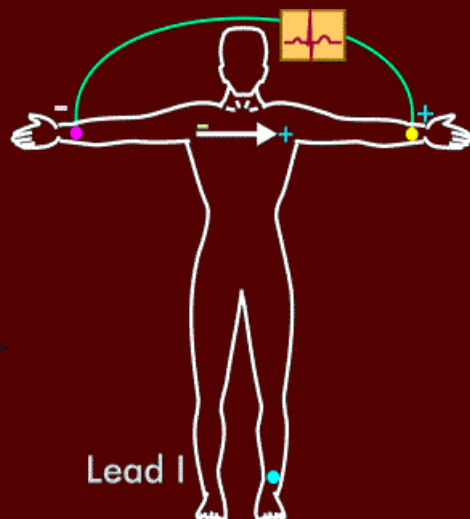
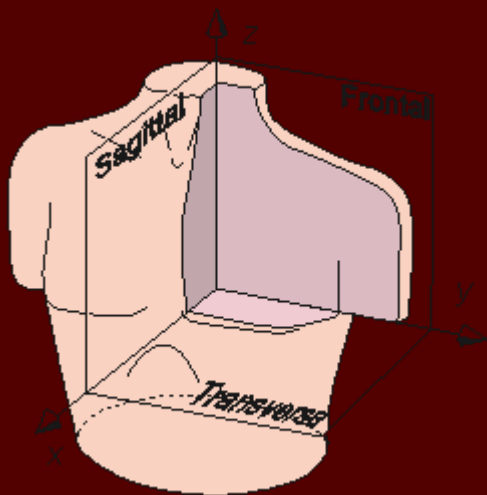
VENTRICULAR
REPOLARIZATION
450 ms

VENTRICLES
REPOLARIZED
600 ms



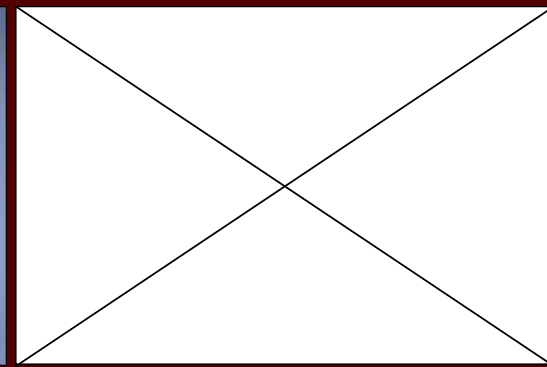
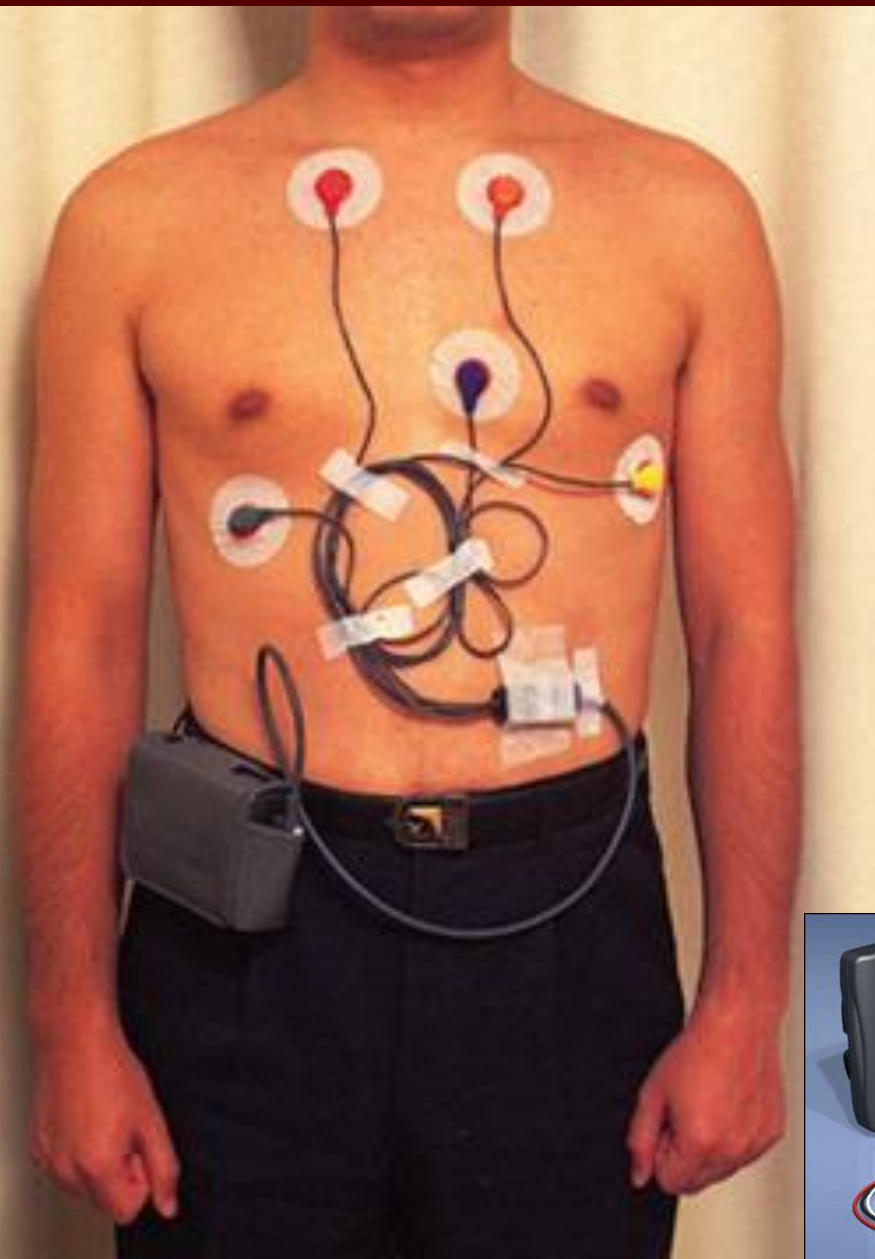
ПРАКТИЧНА ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАФІЯ

Для повної реєстрації зміни вектора електричного диполя серця в трьох перпендикулярних площинах в клініці використовують 12 відведень: 3 стандартних, 3 посилених і 6 грудних.



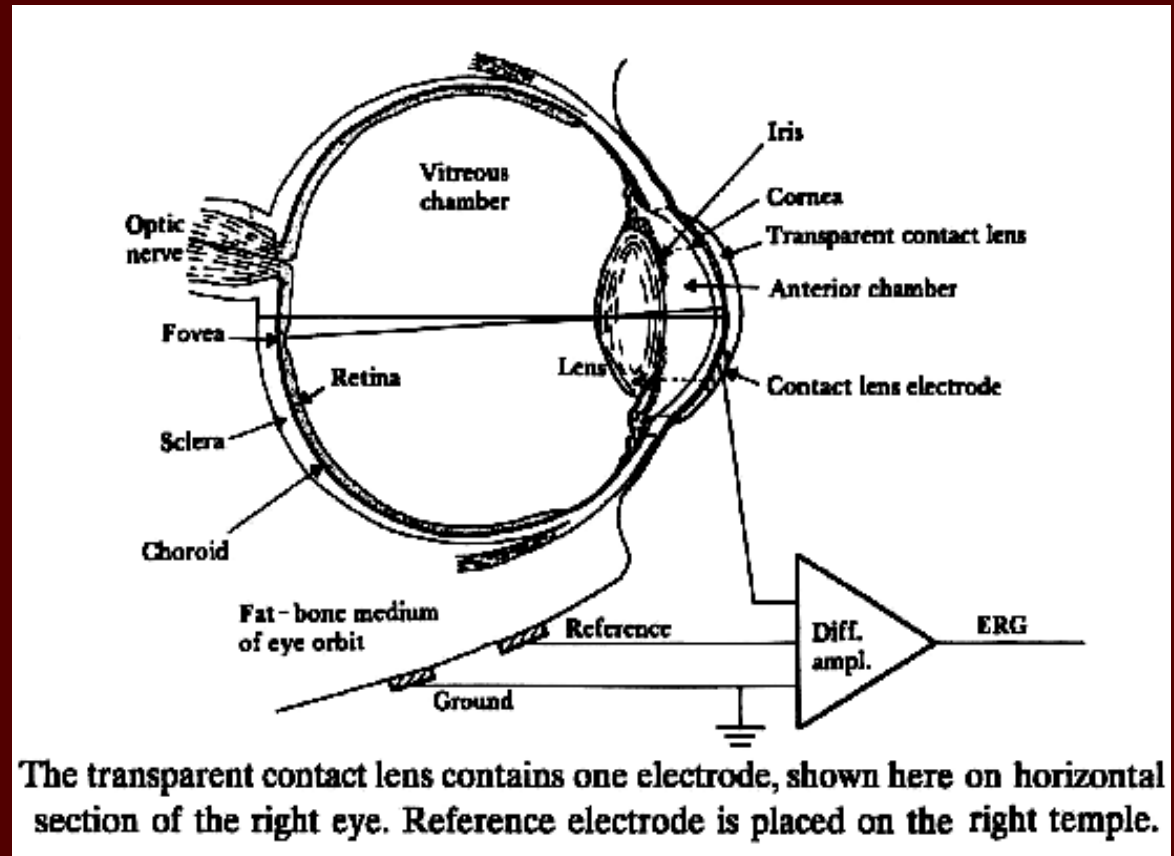
ХОЛТЕРІВСЬКИЙ ДОБОВИЙ МОНІТОРИНГ

ЗНЯТТЯ ЕКГ ПІД НАВАНТАЖЕННЯМ



ЕЛЕКТРОРЕТИНОГРАМА (ЭРГ)

- Біопотенціали ока (ретина)
- Показник захворювань ретини, таких, як акулярна дегенерація
- Інвазивна реєстрація



Електроенцефалограма (ЕЕГ)

- Середня активність нейронів мозку (100 мільйонів!);
- Синаптичні потенціали: нейрони пірамідних структур формують диполі;
- Сигнали надходять до поверхні голови, від поверхні кори (епілепсія), всередині кіркові (досліджуються).

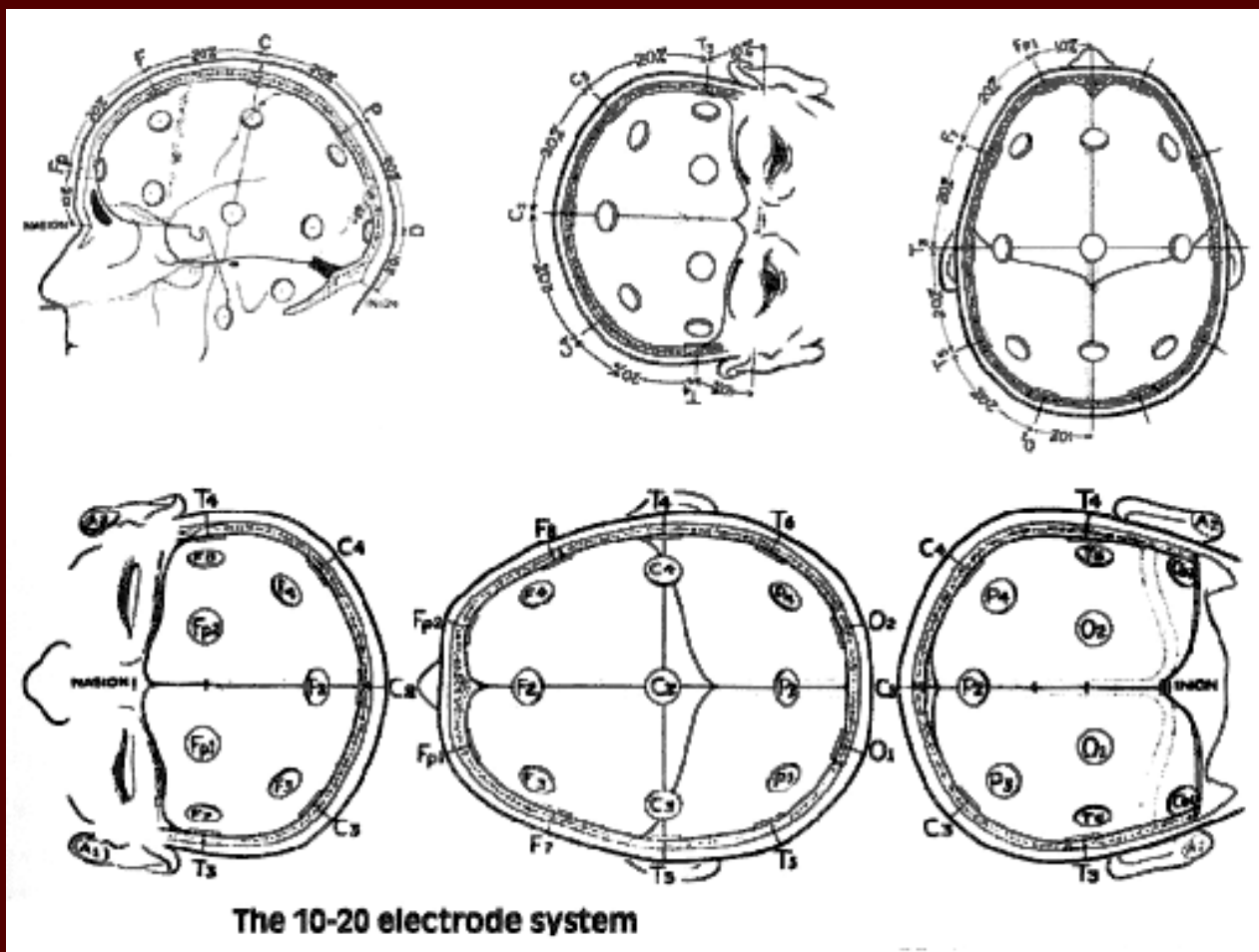
Електроенцефалограма (ЕЕГ)

Середня активність ок. 10^8 нейронів
дуже складна:

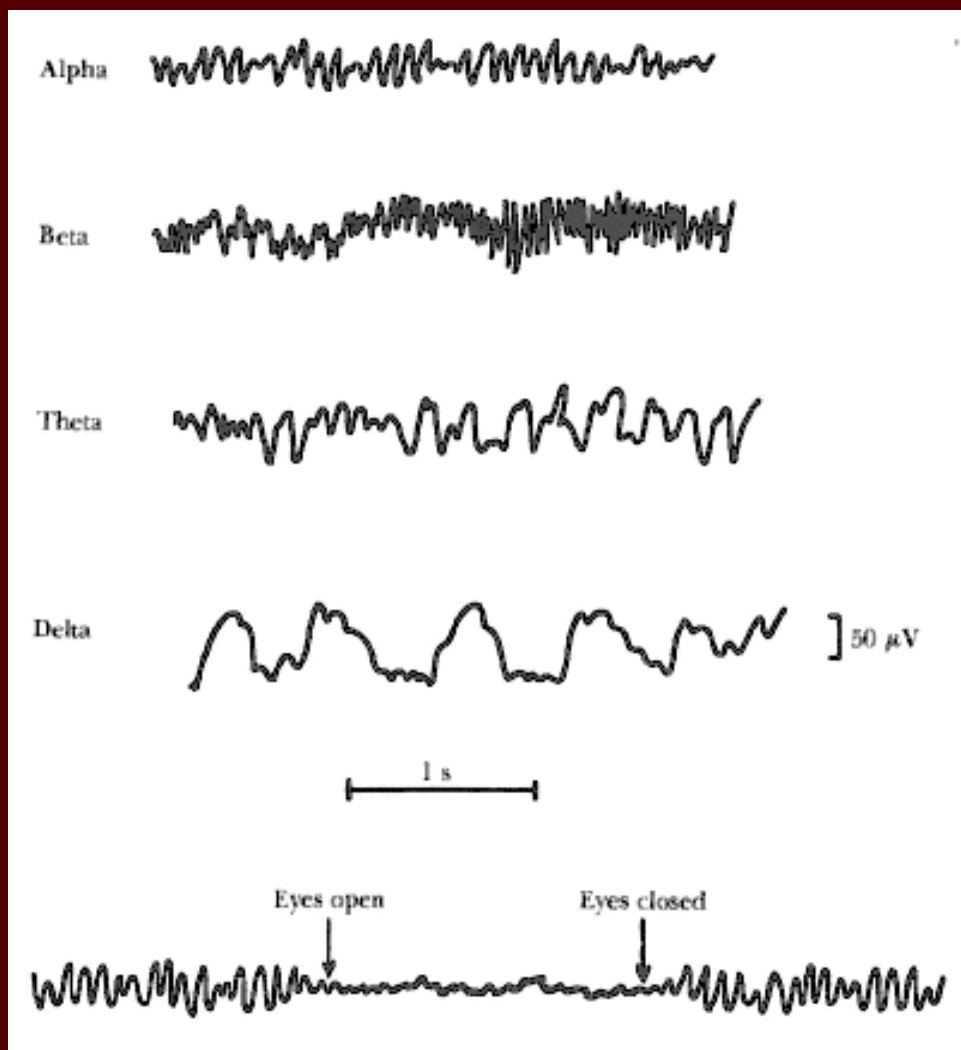
відображає:

- стадію сна;
- епілепсію;
- зміни, що відображають події;
- brain-computer interface???

Система розташування електродів ЕЕГ



Ритми мозку

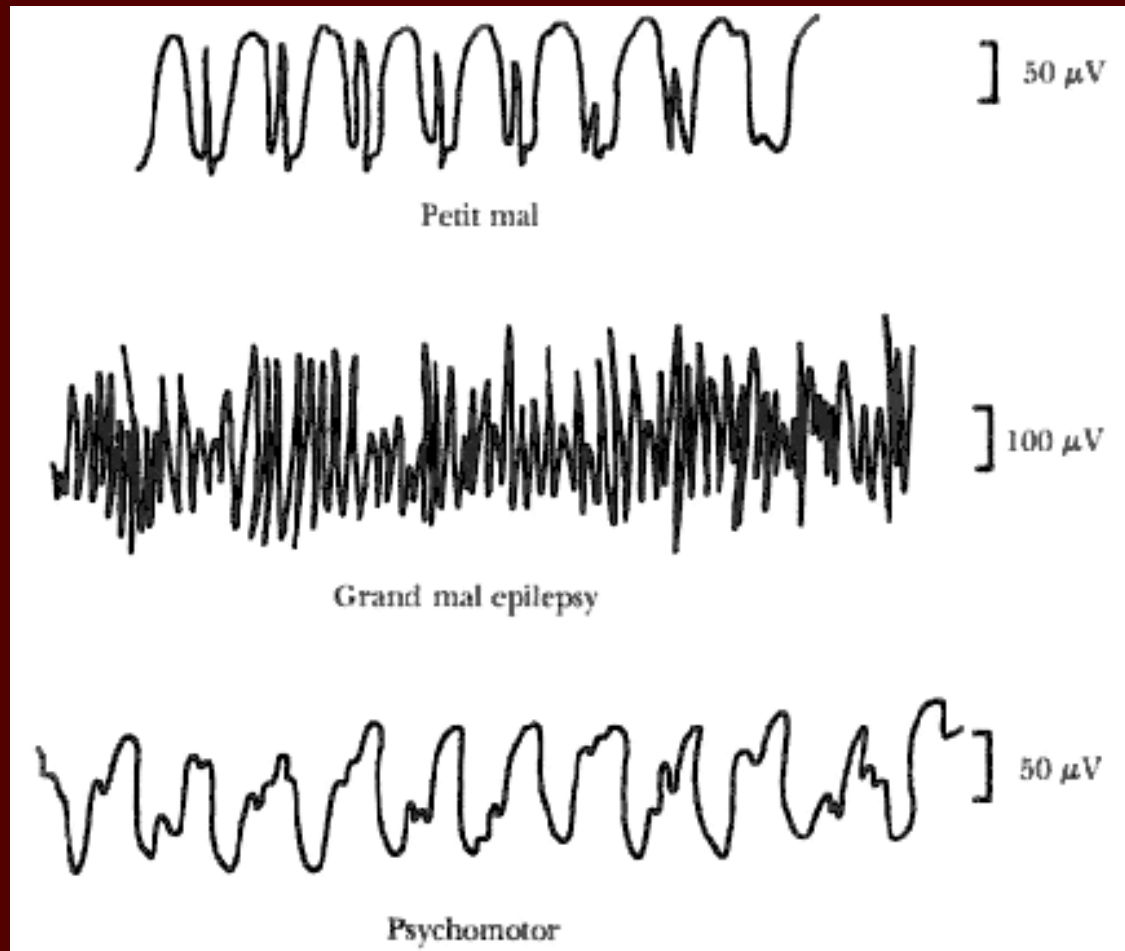


Мозкові хвилі розділяють за спектральним складом:

0—4 (дельта),
4-8 (тета),
8-12 (альфа),
12 ир (бета):

Дельта/тета у дітей,
при захволюваннях;
Альфа: сон;
Бета: активність,
відкриті очі

Ритми мозку

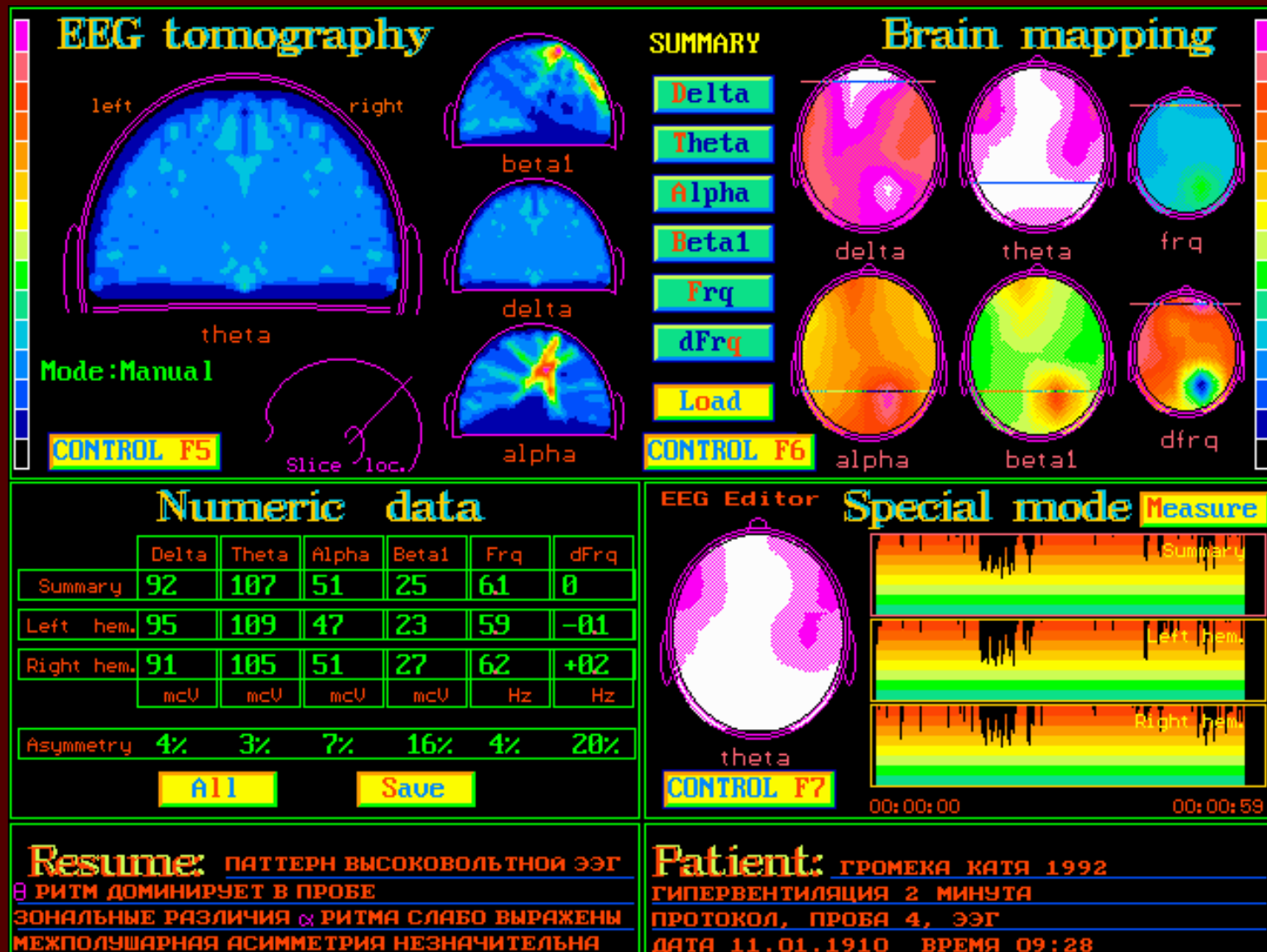


**ЕЕГ при
захворюваннях
та розладах:**

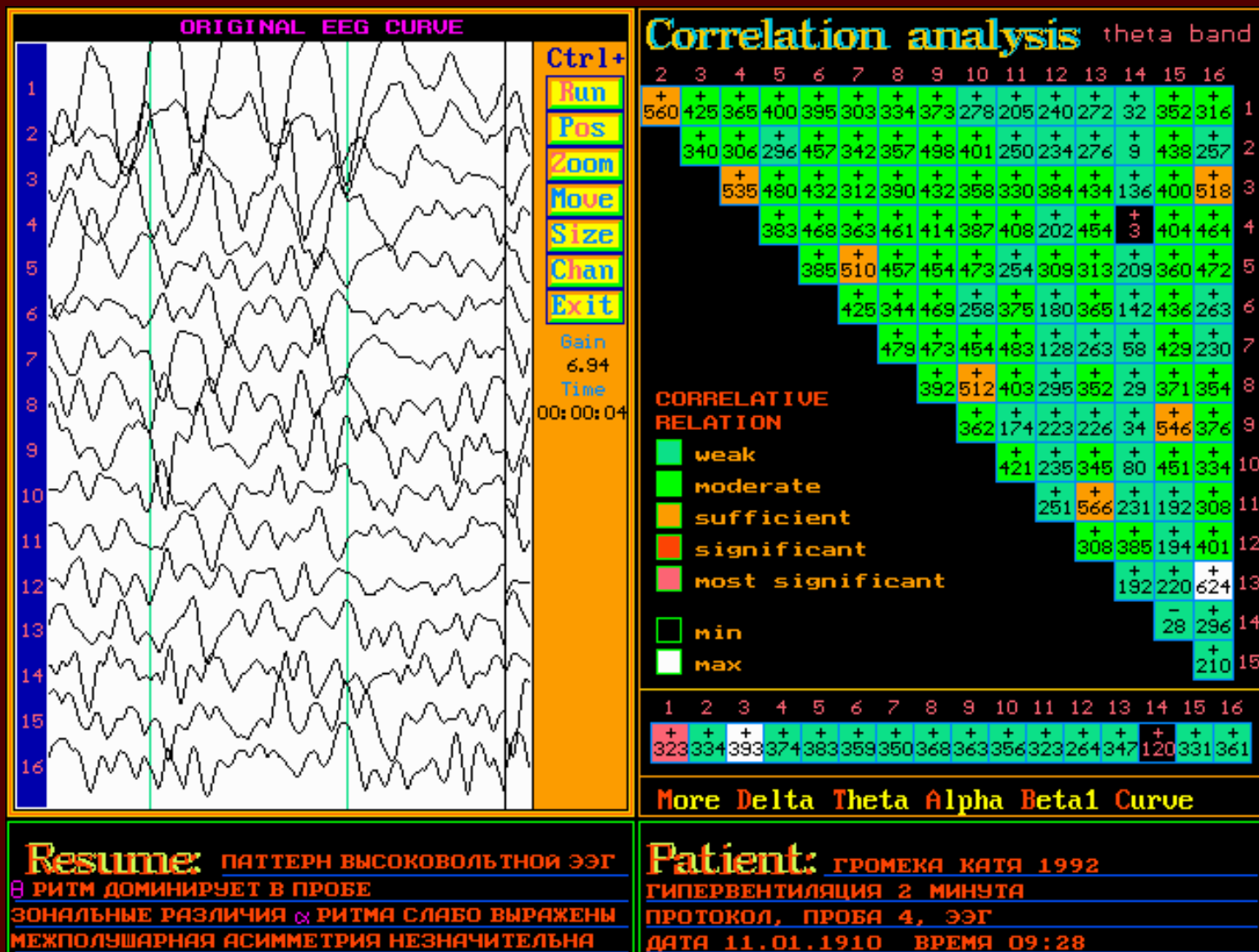
**Епілепсія – різні
ритми та форми**

**Травма мозку –
визначення
смерті?**

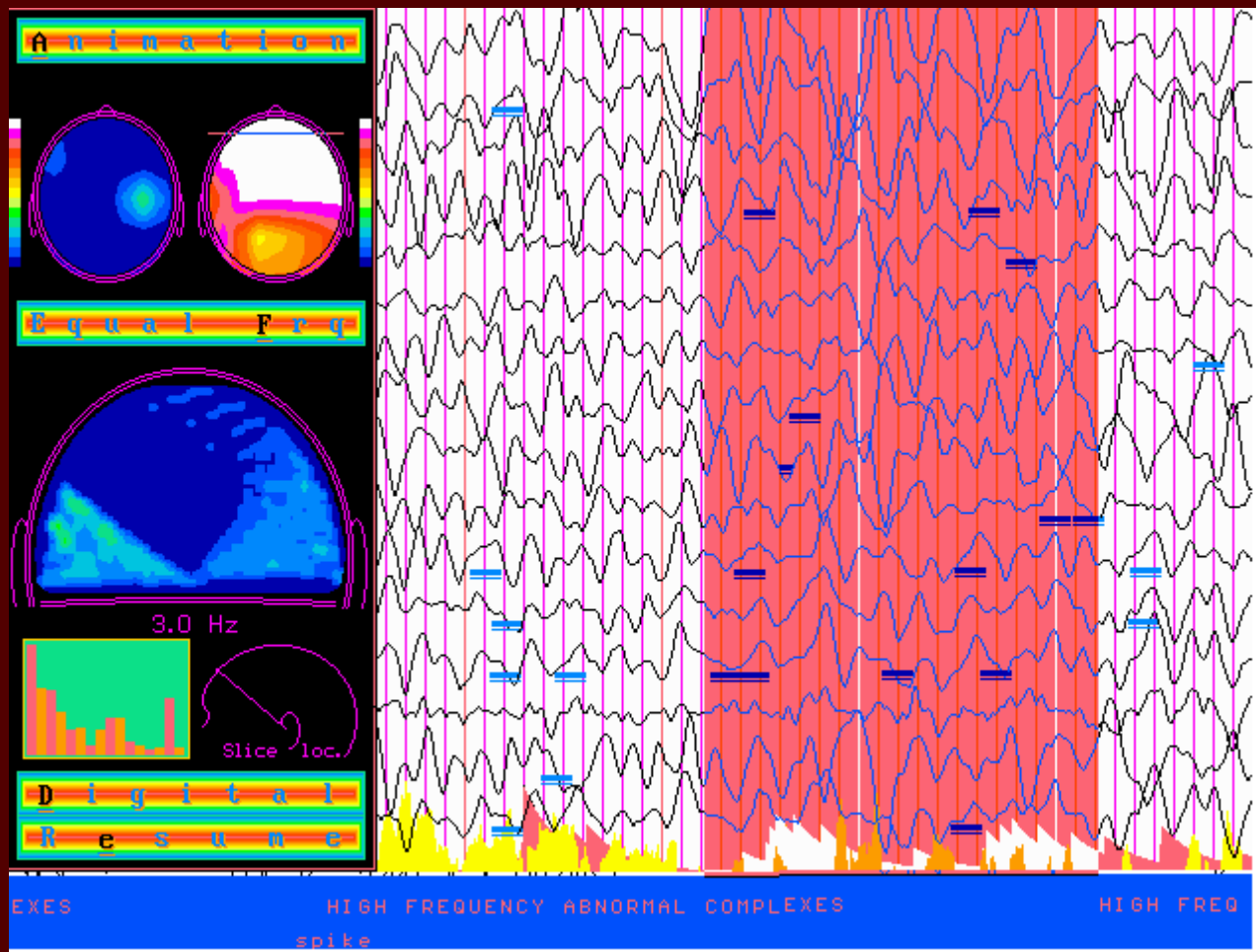
Электроэнцефалограмма (ЕЕГ)



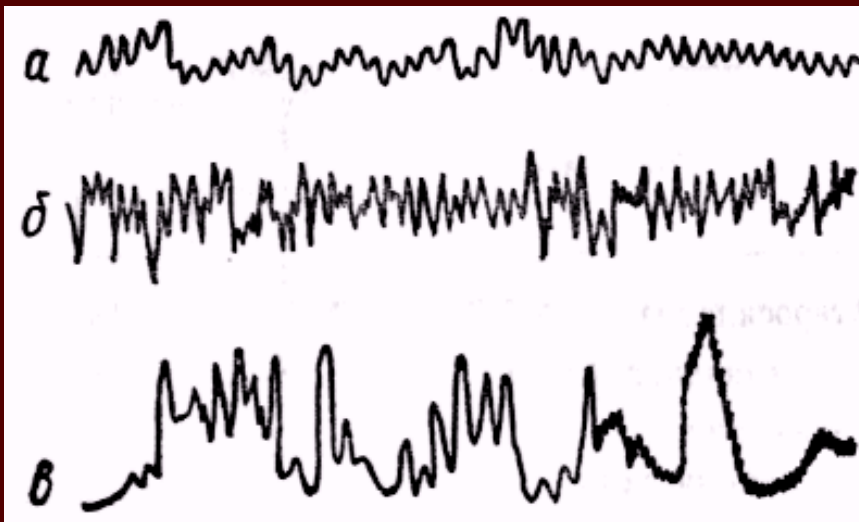
Электроэнцефалограмма (ЕЕГ)



Електроенцефалограма (ЕЕГ)



Електроенцефалограма (ЕЕГ)

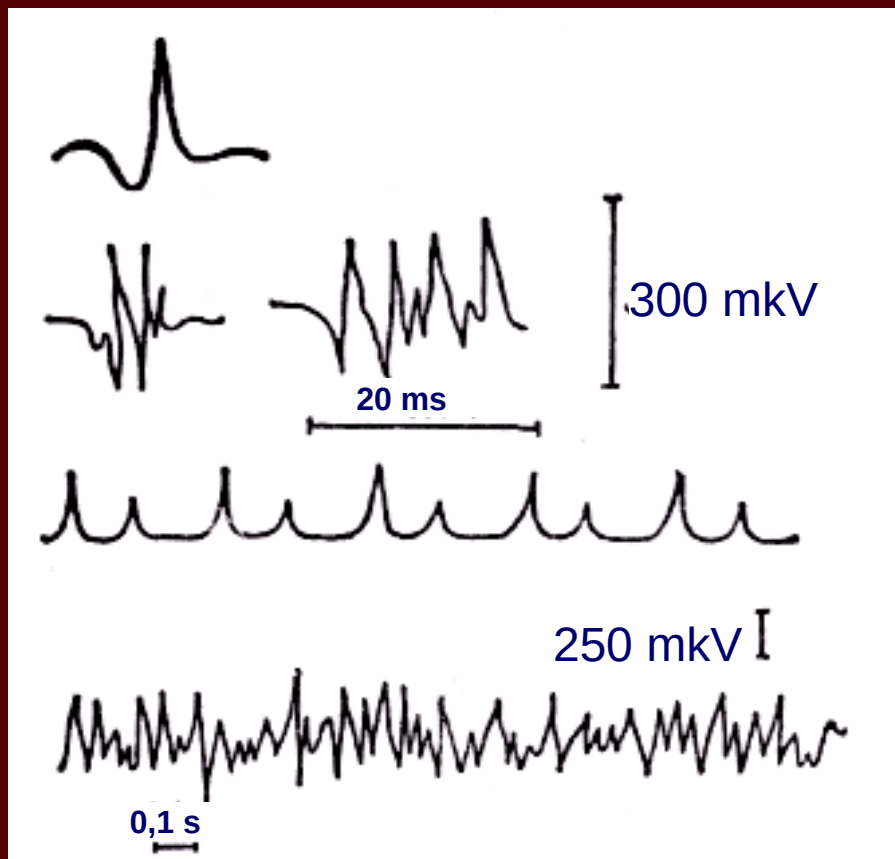


а — здоровий (амплітуда до 0,3 mV, частота 3—4 в хвилину);

б — хворий з виразкою шлунку;

в — хворий з раком шлунку.

Электромиограмма (ЭМГ)



Типова норма.

Активные магнитные свойства и магнитные поля

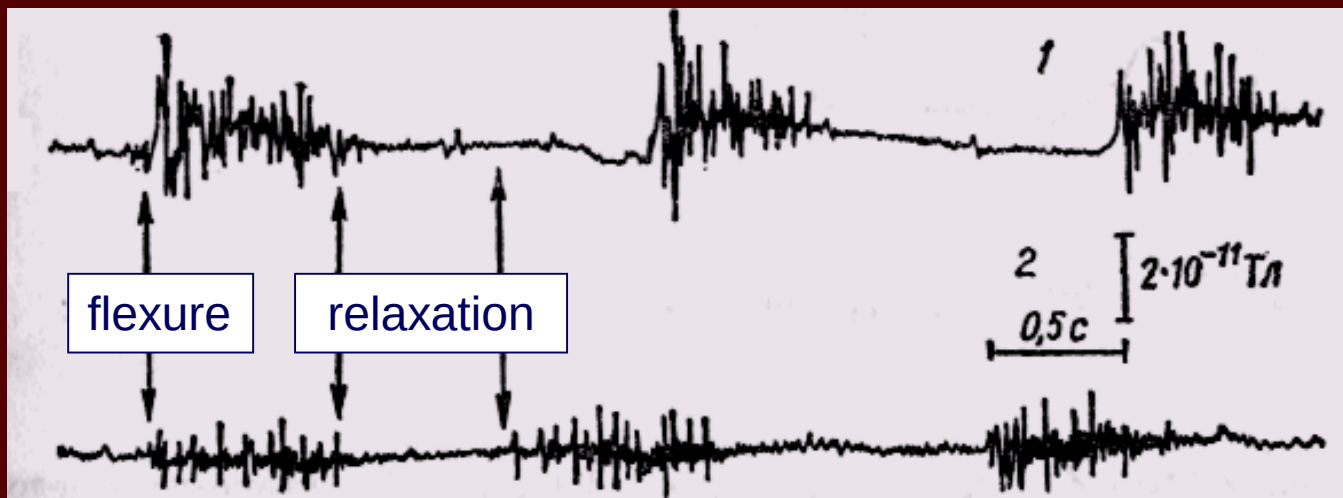
- Магитокардиограмма (1) и ЭКГ (2) плода человека ок. 29 недель:

П — плод; М — мать



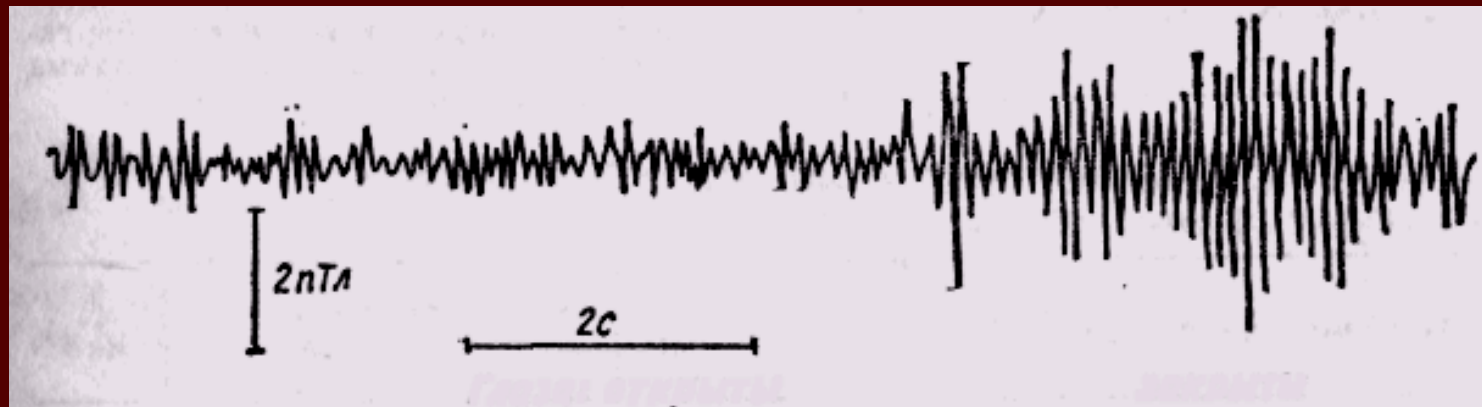
Активные магнитные свойства и магнитные поля

- Магнитомиограммы, полученные у локтя (1) и у кисти руки (2) в частотном диапазоне 0—150 Hz.



Активные магнитные свойства и магнитные поля

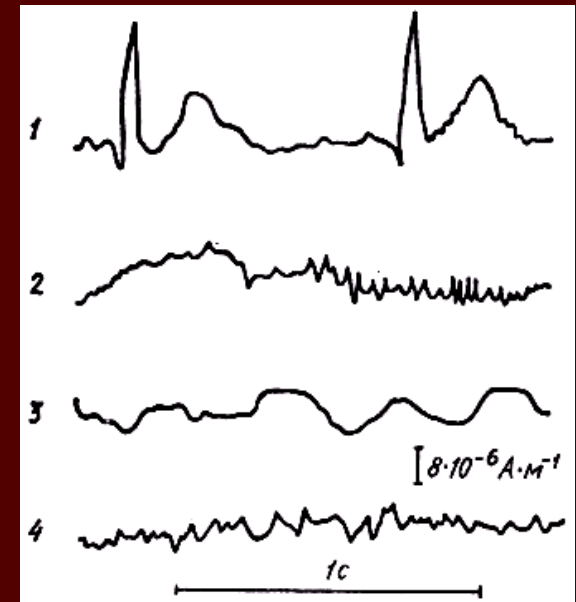
- Альфа-ритм магнитоэнцефалограммы.



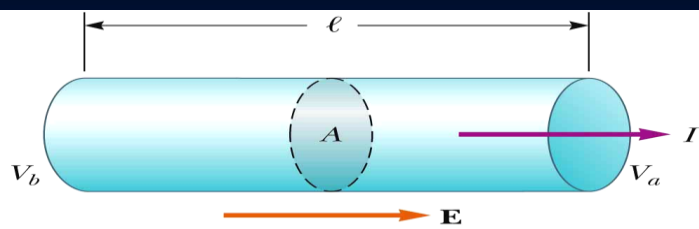
Активные магнитные свойства и магнитные поля

Магнитные поля человека:

- 1 — магнитокардиограмма;
- 2 — магнитомиограмма бицепса при сокращении;
- 3 — магнитоокулограмма при моргании;
- 4 — магнитоэнцефалограмма затылочной зоны головы



ЕЛЕМЕНТИ ЕЛЕКТРИЧНИХ ЛАНЦЮГІВ



ОПІР – визначає протидію руху зарядів, залежить від довжини, поперечного перетину провідника і матеріалу, з якого він виготовлений

ЗАКОН ОМА
 $I = U/R$

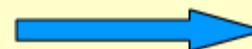
АКТИВНИЙ
ОПІР
 $R = \rho l/S$

resistance =

0.62 ohm

$$R = \frac{\rho L}{A}$$

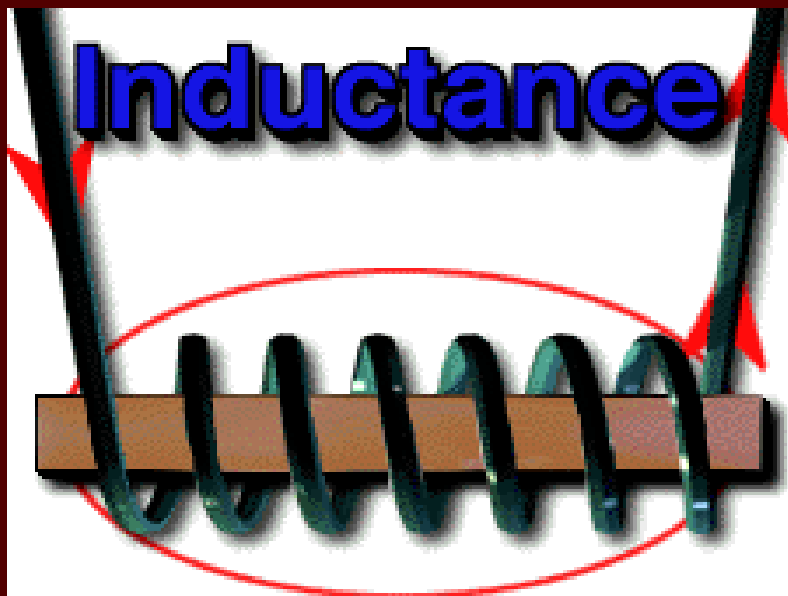
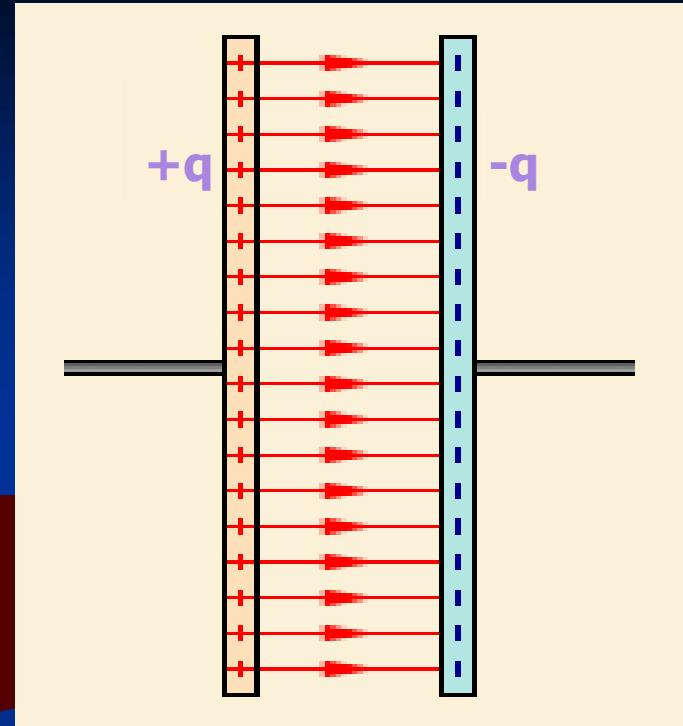
$\Omega \text{ cm}$	cm	cm^2
0.23	10	3.7
ρ	L	A



ЕЛЕМЕНТИ ЕЛЕКТРИЧНИХ ЛАНЦЮГІВ

ЕЛЕКТРОЄМНІСТЬ – визначає різницю потенціалів, яка виникає між двома ізолюваними тілами, якщо на них знаходяться рівні по величині, але різні по знаку заряди. Для конденсатора ємність залежить від площі пластин, відстані між ними і діелектричної проникності матеріалу ізолятора.

$$U = q/C \quad C = \epsilon S/d$$



ІНДУКТИВНІСТЬ – характеризує е.р.с., яка протидіє зміні струму в ланцюзі. Для котушки індуктивність залежить від довжини котушки, числа витків, площі витка і магнітної проникності сердечника

$$U = -L \, di/dt \quad L = \mu N^2 S/l$$

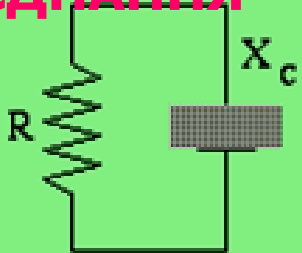
ОПІР ЗМІННОМУ СТРУМУ

індуктивний опір $X_L = \omega L$
ємнісний опір $X_C = 1/\omega C$

ПОНЯТТЯ ІМПЕДАНСА

У зв'язку з тим, що в ланцюгах, що містять ємності, або індуктивності, опір змінному струму залежить від частоти струму, вводять поняття імпедансу – ефективного опору змінному струму. При пропусканні струму через живу тканину експериментально встановлено, що цей ланцюг володіє властивостями як активного опору так і ємності. Це доводиться виділенням тепла і зменшенням повного опору тканині із зростанням частоти. Властивостей індуктивності у живій тканині практично не виявляється. Таким чином, жива тканина є складним, але не повним електричним ланцюгом. Імпеданс для RC ланцюгів можна розглядати як суму активного та реактивного.

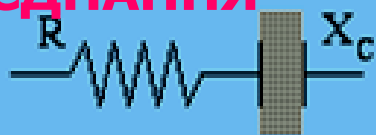
ПАРАЛЕЛЬНЕ З'ЄДНАННЯ



$$\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{X_c^2} + \frac{1}{R^2}$$

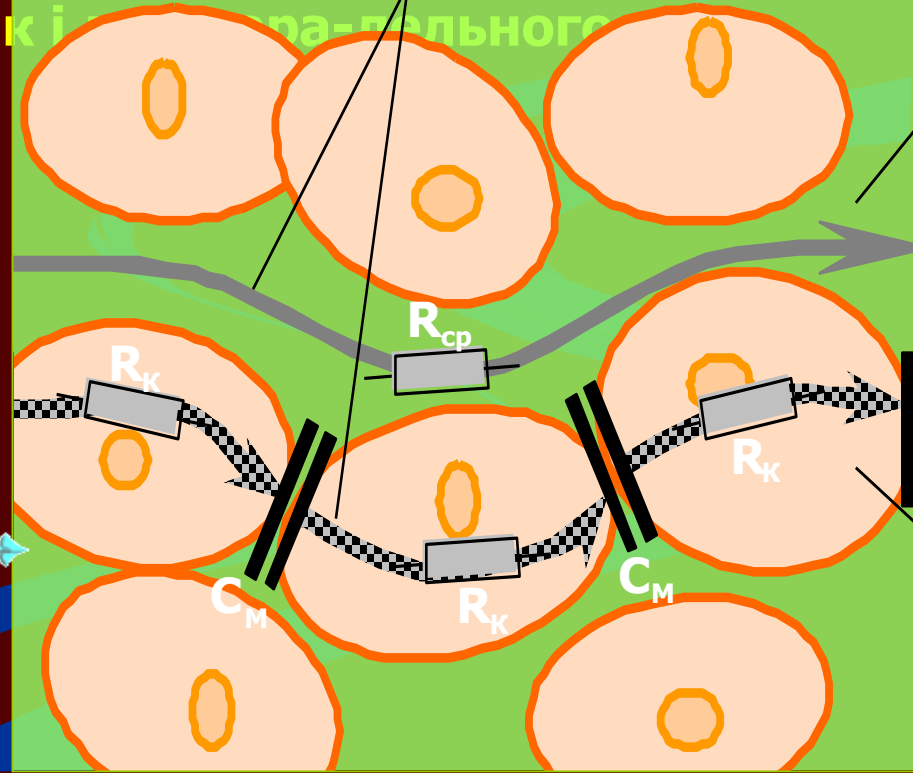
$$Z = \frac{X_c R}{\sqrt{X_c^2 + R^2}}$$

ПОСЛІДОВНЕ З'ЄДНАННЯ



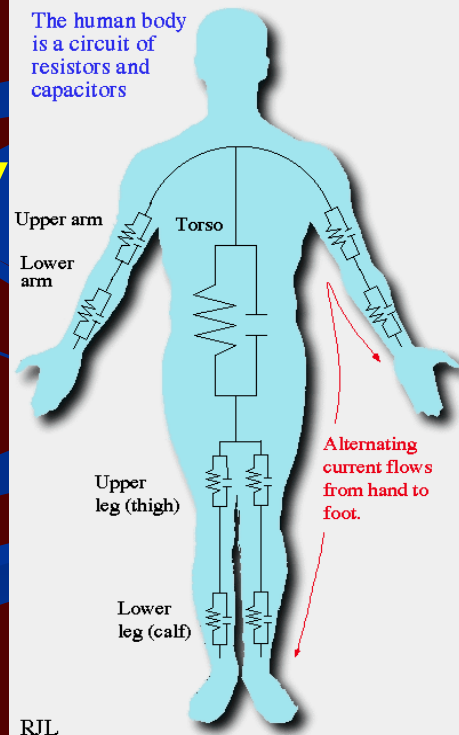
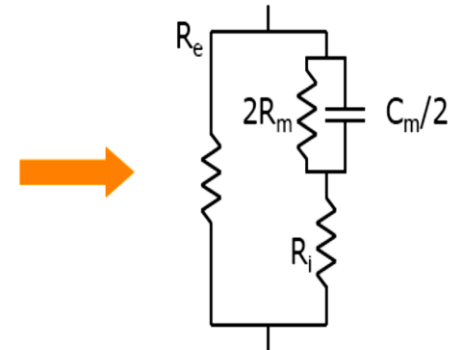
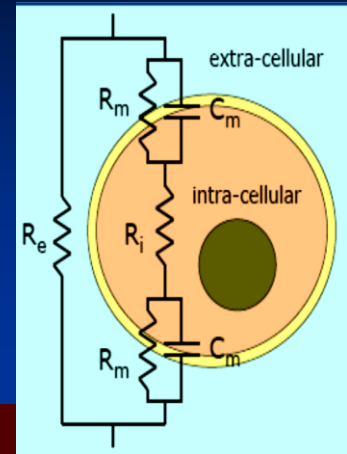
$$Z^2 = X_c^2 + R^2$$

можливі
струмові шляхи
в біологічних
тканинах



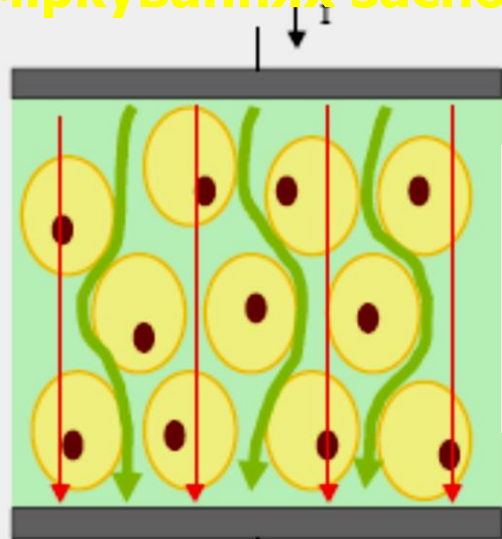
ЕКВІВАЛЕНТНА ЕЛЕКТРИЧНА СХЕМА ЖИВОЇ ТКАНИНИ

Еквівалентна електрична схема живої тканини – це умовна модель, що прибли-зно характеризує живу тканину, як про-відник змінного струму. Схема дозволяє судити: якими електричними елементами володіє тканина, як сполучені ці елементи, як мінятимуться електричні параметри при зміні умов середовища, змісті клітини є йонні провідники з активним опором середовища R_{sp} і клітини R_k , клітинна мембрана є діелектрик, але не ідеальний, а з невеликою іонною провідністю, а, отже, і опором мембрани R_m , позаклітин-не середовище і зміст клітини, розділені мембраною, є конденсаторами C_m певної ємності ($0,1 - 3,0$ мкФ/см²). Якщо як модель живої тканини узяти багатоклітинне се-редовище, то при складанні еквівалентної схеми потрібно враховувати шляхи електричного струму. Їх два: у обхід клітини, через позаклітинне середовище і через клітину. Шлях в обхід клітини представлений тільки



ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТКАНИН ОРГАНІЗМА

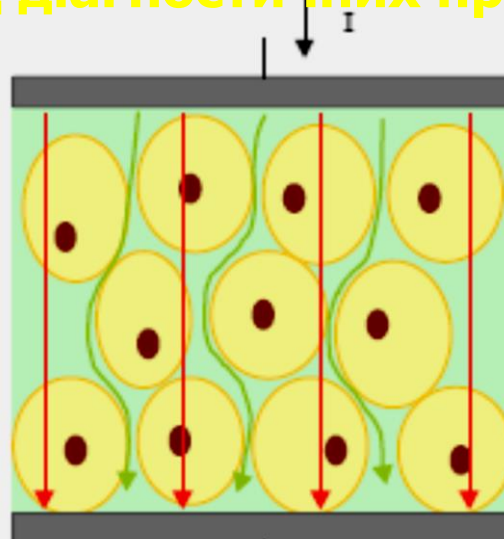
Вивчення електричних властивостей тканин живих об'єктів має важливе значення для розуміння їх структури і фізико-хімічного стану, що кінець кінцем визначає функціональний стан біологічної речовини. Важливим тут є те, що такі дослідження при малих струмах не приводять до руйнування тканин. На цих міркуваннях заснований ряд діагностичних процедур.



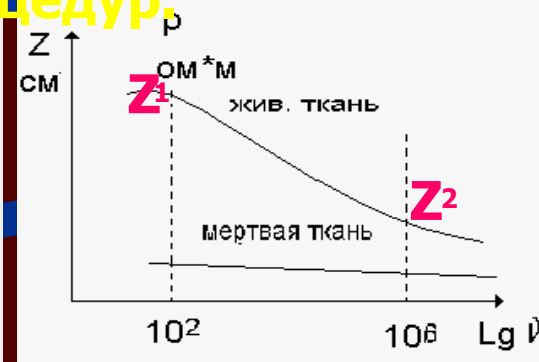
нормальна тканина

низька частота

висока частота



ішемічна тканина



$$K = Z_1 / Z_2$$



коефіцієнт
дисперсії

Крім того ці дослідження показали, що у ряді випадків електричний струм може спричиняти благотворний вплив на тканини. Це дозволило запропо-нувати цілий ряд