

1. Актуальність теми.

В науці вже давно відомі пасивні електричні властивості тканин і органів живого організму, а також властивості, котрі виникають під дією постійних та змінних електричних полів. Але як з'ясувалося самі живі організми є активними генераторами електричних потенціалів, котрі називаються біопотенціалами.

Явища генерації та передачі потенціалів забезпечують збудження клітин, регуляцію внутрішньоклітинних процесів, роботу нервової системи, регуляцію м'язового скорочення, тобто лежать як в основі діяльності окремих органів, так і узгодженої дії організму в цілому. Саме цьому біопотенціали дуже тонко відбивають функціональний стан тканин та органів у нормі та при захворюванні, і тому їх реєстрація та адекватний аналіз мають найважливіші значення для діагностики різноманітних захворювань.

2. Конкретні цілі.

Аналізувати фізичні процеси, що відбуваються при збудженні серцевого м'язу.

Пояснювати механізм виникнення біопотенціалів серця.

Трактувати електрокардіограми на підставі аналізу основних концепцій електрокардіографії

3. Базові знання, вміння, навички, необхідні для вивчення теми (міждисциплінарна інтеграція):

| Назви попередніх дисциплін | Отримані навички |
|---|--|
| фізика математика анатомія фізіологія терапія | Описувати параметри електрокардіограми обчислювати напруженість і потенціал електричного поля будову серця. Обчислювати сили взаємодії електричних зарядів. Розраховувати значення величин. |

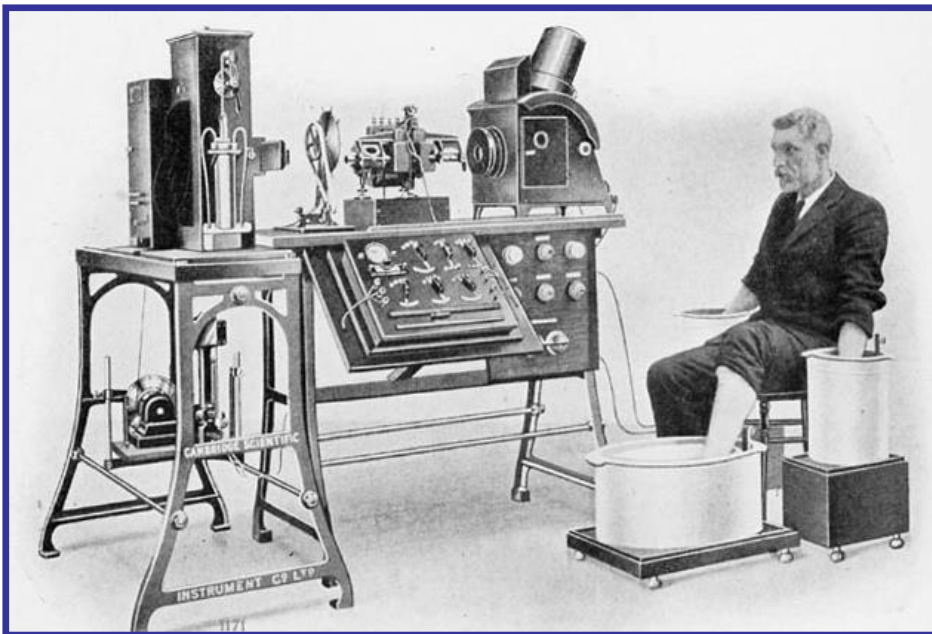
4. Завдання для самостійної роботи під час підготовки до заняття.

4.1. перелік основних термінів, параметрів, характеристик, які повинен засвоїти студент при підготовці до заняття:

| № п/п | Термін | Визначення |
|-------|----------|--|
| 1 | Електрод | Це провідник спеціальної форми, за допомогою яких ділянка тіла або орган живого організму під'єднуються до діагностичного або терапевтичного обладнання. |
| 2 | Датчик | (Перетворювачі медичної інформації) – обладнання для знімання медичної інформації, які реагують своїм чутливим елементом на дію вимірюваної величини, а також здійснюють її перетворення у форму, вигідну для подальшого підсилення, реєстрації, обробки тощо. |
| 3 | ЕКГ | Метод графічної реєстрації електричних явищ, які виникають у серцевому м'язі під час його діяльності, з поверхні тіла. |

4.2. Теоретичні питання до заняття:

1. У якому порядку проходить самозбудження в серцевому м'язі?
2. Чим пояснюється виникнення електричного потенціалу в серцевому м'язі?
3. Чому серце розглядають як електричний диполь?



- вміти застосовувати отримані знання в нестандартних ситуаціях.

4. Яка методика зняття кардіограми?
5. Що відображається на кардіограмі?

4.3. Практичні роботи (завдання), які виконуються на занятті:

- оволодіти технікою розв'язку типових задач;
- набути навичок розв'язування задач;

5. Зміст теми:

Електричний заряд, 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 – 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**. Силовою характеристикою електричного поля є **НАПРУЖЕНІСТЬ** (E), яка рівна відношенню сили, що діє в даній точці поля на точковий заряд, до величини цього заряду. 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. **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.

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). Основною характеристикою диполя є його електричний або дипольний момент - вектор, направлений від негативного заряду до позитивного і рівний добутку заряду на плече диполя. **СТРУМОВИМ ДИПОЛЕМ** називають систему, що складається з джерела і стоку електричного струму, розміщених

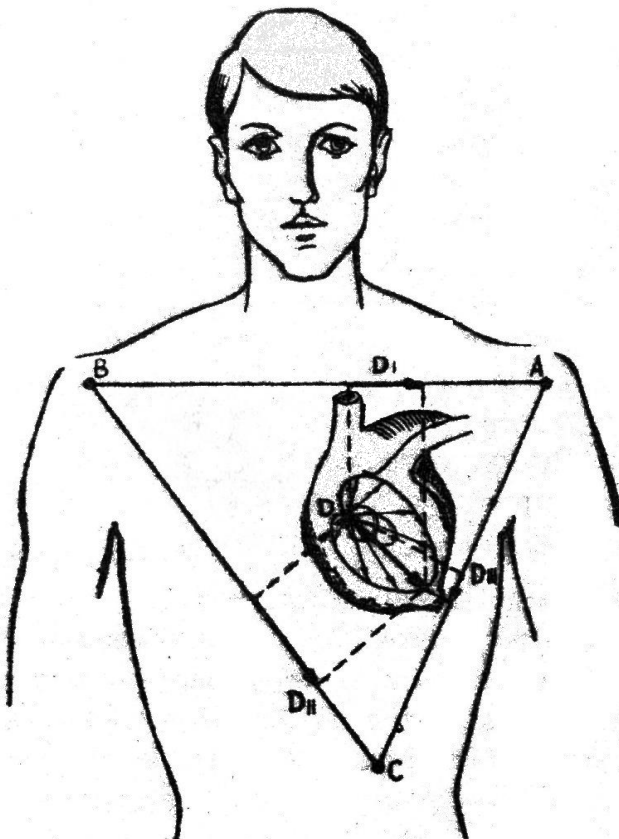
на невеликій відстані l . Основною характеристикою струмового диполя є його **СТРУМОВИЙ МОМЕНТ** – вектор, направлений від негативного заряду до позитивного і рівний добутку величини сили струму на вектор l , який сполучає джерело і стік.

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. Він же вперше сформулював основні положення електрофізіологічних понять ЕКГ, припустивши, що серцем є диполь, тобто сукупність двох електричних зарядів, рівних по величині, але протилежних 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. 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 кварцеву нитку. Нитка була розташована в полі електромагніту і вібривала, коли струм, що проходить по ній, взаємодіяв 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 Ейнтховеном, були революційними. Вперше в руках лікаря опинився прилад що так багато говорить про стан серця. Ейнтховен

на

між



запропонував розташовувати електроди 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 лівою і правою рукою (I відведення), між правою рукою і лівою ногою (II відведення) і між лівою рукою і лівою ногою (III відведення). Заслуги Ейнтховена були оцінені по гідності і в 1924 р. йому була присуджена Нобелівська премія.

Комплекс методів вивчення органів на основі реєстрації біопотенціалів у процесі їх функціонування має назву *электрографія*. У залежності від того, який орган вивчається, електрограми

Малюнок 1

поділяються на електрокардіограми (серце), електроенцефалограми (головний мозок), електроміограми (нервові стовли і м'язи), електроретинограми (сітківка ока) і т.д.

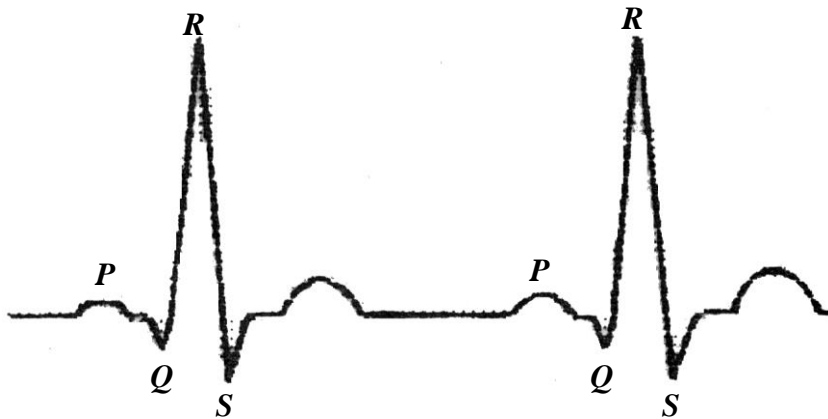
У медичній практиці найбільше розповсюдження має вивчення електричної активності серця – ЕКГ. Повний опис розподілу мембранних потенціалів у кожній клітині серця та змін цих потенціалів у процесі серцевого скорочення неможливий. В зв'язку з цим теорія ЕКГ, основи якої були закладені ще на початку двадцятого століття Ейнтховеном, базується на тому, що серце, як генератор струму, уподібнюється струмовому електричному диполю – системі із джерела та стоку електричного струму, розташованих на невеликій відстані (мал.1).

Головним параметром такого диполя є електричний дипольний момент \vec{D} , який дорівнює добутку величини струму I на вектор \vec{l} , що з'єднує джерело та стік.

Електричне поле такої системи має повний математичний опис, важливим моментом якого є те, що різниця потенціалів між двома точками, які знаходяться на рівній відстані від диполя в однорідному електропровідному середовищі, що оточує диполь, пропорційна проекції дипольного моменту \vec{D} на пряму, яка з'єднує ці точки. Ейнтховен запропонував вимірювати різницю потенціалів на тілі людини між двома з трьох точок, які є вершинами рівностороннього трикутника, у центрі якого знаходиться струмовий електричний диполь, тобто серце (мал.1).

На практиці різниця потенціалів вимірюються між лівою (л.р.) і правою руками (п.р.) – 1

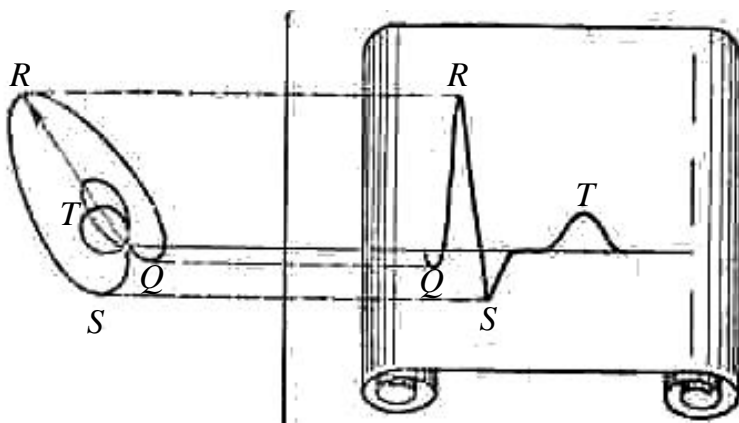
відведення, між лівою ногою (л.н.) і правою рукою (п.р.) – 2 відведення, між лівою ногою (л.н.) і лівою рукою (л.р.) – 3 відведення. Приймається, що руки та ноги є провідниками, які відводять потенціали від вершин трикутника Ейнтховена. Таким чином, одночасно вимірюючи різниці потенціалів принаймні у двох відведеннях, можливо прослідкувати поведінку вектора \vec{D} в процесі серцевого



Малюнок 2

скорочення. На малюнку 2 показана електрокардіограма в другому відведенні (в нормі).

Три петлі P, QRS і T, які описує кінець вектора \vec{D} (мал. 3) за одне серцеве скорочення та які відповідають пікам P, Q, R, S і T на кардіограмі.



Малюнок 3

Три розглянуті відведення не дають вичерпної інформації про роботу серця, тому що не враховують можливі виходи вектора \vec{D} з фронтальної площини. У клінічній практиці використовують 12 відведень ЕКГ: 3 стандартних, 3 підсилених відведення від кінцівок і 6 грудних відведень. Цих відведень цілком достатньо, для того, щоб по змінам виду ЕКГ ідентифікувати різноманітні аритмії, порушення збудливості серця, гіпертрофію

шлуночків і передсердь, ішемічну хворобу, а також не тільки діагностувати таке тяжке захворювання, як інфаркт міокарда, а й установити його локалізацію в серці. Для науково – дослідницьких робіт застосовують комп'ютеризовані електрокардіографи, які дозволяють одночасно реєструвати декілька десятків відведень, що дає можливість повністю визначити поведінку вектора \vec{D} у просторі.

6. Матеріали для самоконтролю:

A. Завдання для самоконтролю:

1. Водій ритму серцевих скорочень знаходиться в:
 - A) атріовентрикулярному вузлі;
 - B) сино-атріальному вузлі;
 - C) пучку Гіса;
 - D) вузлі Кіса-Флека.
2. Загальноприйнята програма повного ЕКГ дослідження включає:
 - A) три стандартні відведення;
 - B) відведення за Небом;
 - C) три підсилені однополюсні відведення від кінцівок;
 - D) шість грудних однополюсних відведень.
3. QRS комплекс кардіограми відповідає процесу:
 - A) збудження передсердь;
 - B) деполяризації шлуночків;
 - C) реполяризації шлуночків;
 - D) деполяризації передсердь.
4. Трансмембранний потенціал спокою клітини міокарда в нормі складає:
 - A) + 30мВ;
 - B) – 30мВ;
 - C) + 90мВ;
 - D) – 90мВ.
5. На початку процесу збудження клітини (нульова фаза):
 - A) підвищується проникність ділянки для іонів Na^+ ;
 - B) підвищується проникність ділянки для іонів Mg^+ ;
 - C) підвищується проникність ділянки для іонів K^+ ;
 - D) підвищується проникність ділянки для іонів Cl^- .
6. Сегмент P-Q кардіограми:
 - A) називається електричною систолою серця;
 - B) відповідає періоду повного охоплення збудженням міокарда обох шлуночків;
 - C) відповідає періоду рівномірного охоплення збудженням передсердь і проведення його по АВ-вузлу, передсердієво-шлуночковому пучку, по його ніжкам та волокнам Пуркінє;
 - D) відображує затримку електричного імпульсу в АВ-вузлі.
7. Електрограма – це :
 - A) залежність від часу різниці потенціалів, яка виникає при проходженні електричного струму через певну ділянку живої тканини;
 - B) залежність від часу різниці потенціалів, яка виникає при функціонуванні певного органу;
 - C) залежність від часу електропровідності живої тканини, яка змінюється внаслідок кровонаповнення;

Д) залежність від часу різниці потенціалів, яка виникає при функціонуванні певної тканини;

Б. Задачі для самоконтролю:

Задача 2.1. Знайдіть величину потенціалу точки електричного поля диполя ($q = 2 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$, $l = 2 \text{ мм}$) яка знаходиться від центра диполя на відстані $r = 1 \text{ м}$. Кут між електричним вектором диполя і радіус-вектором дорівнює $\alpha = 60^\circ$. Навколишнє середовище – дистильована вода.

Задача 2.2. Розрахувати ЧСС за інтервалом R-R, якщо відомо, що на кардіограмі знятій при швидкості руху стрічки $\nu = 50 \frac{\text{мм}}{\text{с}}$ середнє значення довжини для шести різних інтервалів складає $l_{R-R} = 29 \text{ мм}$.

Задача 2.3. У першому стандартному відведенні висота зубця R на кардіограмі $h_R = 12 \text{ мм}$. Розрахувати амплітуду зубця U_R , якщо висота калібрувального імпульсу $U_K = 1 \text{ мВ}$ становить $h_K = 10 \text{ мм}$.

7. Література:

Основна:

1. Лабораторний практикум з біофізики/ Доценко В.І. та ін. – Полтава 2003. – С.
2. Практичний курс по загальній фізіології і біофізиці. – Полтава, 1992. – С. 28-43.
3. Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая физика. – М.: 1987. – §13.1-§13.6.
4. Чалий О.В. та ін. Медична і біологічна фізика. Т.2 – К.: ВІПОЛ, 1999.

Додаткова:

1. Губанов Н.И., Утепбергенов А.А. Медична біофізика. – М.: Медицина, 1978. – С. 124-167.
2. Ємчик Л., Кліт Я. Медична біофізика. – Львів, 1998. – С. 39-51.
3. Тиманюк В.А., Животова Е.Н. Биофизика. – Харьков: изд. НФАУ, 2003. – 704с.

Розробник:

Самойленко С.О. – викладач, кандидат фізико-математичних наук.