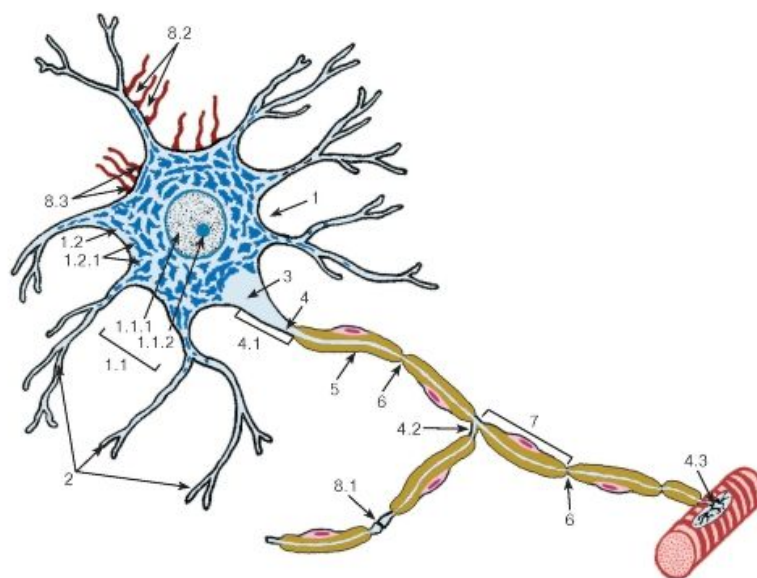


Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний педагогічний університет  
імені Г.С. Сковороди

Іонов І.А., Слюсарєв В.Ф., Комісова Т.Є., Шаповалов С.О.



## ФІЗІОЛОГІЯ ЗБУДЛИВИХ КЛІТИН



Харків - 2016

**Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний педагогічний університет  
імені Г.С. Сковороди**

**Іонов І.А., Слюсарєв В.Ф., Комісова Т.Є., Шаповалов С.О.**



# **ФІЗІОЛОГІЯ ЗБУДЛИВИХ КЛІТИН**

**Методичні рекомендації  
для студентів вищих навчальних закладів  
до лабораторних занять з курсу  
«Фізіологія людини»  
Частина 1. Фізіологія збудливих клітин**

Затверджено редакційно-видавничою  
радою Харківського національного  
педагогічного університету  
імені Г.С. Сковороди  
Протокол № 4 від 14.09.2016

**Харків – 2016**

УДК 612.8  
ББК

**Укладачі:**

Іонов І.А. – доктор сільськогосподарських наук, професор  
Слюсарев В.Ф. - кандидат біологічних наук, доцент  
Комісова Т.Є. – кандидат біологічних наук, доцент  
Шаповалов С.О. – доктор біологічних наук, ст. н. співробітник

**Рецензенти:**

**Бондаренко Валерій Антонович** – доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри фізіології Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна

**Маракушин Дмитро Ігорович** – кандидат медичних наук, доцент, завідувач кафедри фізіології Харківського національного медичного університету

Іонов І.А., Слюсарев В.Ф., Комісова Т.Є., Шаповалов С.О. **Фізіологія збудливих клітин: методичні рекомендації / І.А. Іонов, В.Ф. Слюсарев, Т.Є. Комісова, С.О. Шаповалов. – Х. : ЧП Петров В.В., 2016. – 48 с.**

Методичні рекомендації підготовлено відповідно до навчальної програми з курсу «Фізіологія людини і тварин» розділу «Фізіологія збудливих клітин» для студентів біологічних спеціальностей педагогічних вузів, а також для студентів природничих факультетів та факультетів фізичної культури, магістрантів, аспірантів.

У методичних рекомендаціях на основі новітніх досягнень сучасної фізіології розглянуто процеси збудження клітини, механізм функціонування мембранного потенціалу спокою, приділено особливу увагу механізму розповсюдження потенціалу дії та змінам збудливості клітин під час цього стану. Багато уваги приділено розкриттю особливостей фізіології нейрона як збудливої клітини, розкриттю дії нервових центрів та їхніх властивостей.

Достатньо повно викладено порівняльно-фізіологічні дані щодо фізіології нервово-м'язового апарату, детально надано характеристику його структурно-функціональної одиниці, будови м'язового посмугованого волокна та механізму нервово-м'язової передачі збудження та м'язового скорочення.

Висвітлено роль нервової системи у регуляції процесів обміну та адаптації організму до фізичних навантажень, показано як відбувається реалізація м'язового скорочення в залежності від частоти подразнення, величини зовнішнього навантаження та вихідної довжини м'язового волокна.

Кожний розділ методичних рекомендацій містить теоретичні відомості з теми, опис процедури проведення лабораторної роботи з малюнками та схемами, контрольні питання, тестові завдання та рекомендована література.

Для студентів біологічних спеціальностей вищих навчальних закладів. Може бути корисним студентам, магістрантам та аспірантам вищих педагогічних, біологічних та інших навчальних закладів, де вивчають фізіологію людини.

Затверджено редакційно-видавничою радою Харківського національного педагогічного університету імені Г.С. Сковороди  
Протокол № 4 від 14.09.2016

## ЗМІСТ

Розділи	Стор.
<b>ВСТУП</b>	5
<b>РОЗДІЛ 1. ФІЗІОЛОГІЯ ЗБУДЖЕННЯ</b>	6
<b>1.1. Мембранний потенціал спокою (МПС)</b>	6
<b>1.2. Потенціал дії (ПД)</b>	7
<b>1.3. Механізм розповсюдження потенціалу дії та зміна збудливості клітин під час цього стану</b>	8
Лабораторна робота № 1. Визначення рухової хронаксії у людини	9
<b>РОЗДІЛ 2. ФІЗІОЛОГІЯ НЕЙРОНА І НЕРВОВИХ ЦЕНТРІВ</b>	13
<b>2.1. Фізіологія нейрона</b>	14
<b>2.2. Нервові центри та їхні властивості</b>	17
Лабораторна робота № 2. Визначення величини прихованого (латентного) періоду простої аудіо-моторної реакції	18
<b>РОЗДІЛ 3. ФІЗІОЛОГІЯ НЕРВОВО-М'ЯЗОВОГО АПАРАТУ (НМА)</b>	22
<b>3.1. Характеристика структурно – функціональної одиниці НМА</b>	22
<b>3.2. Будова м'язового посмугованого волокна</b>	23
<b>3.3. Нервово-м'язова передача збудження та механізм м'язового скорочення</b>	24
Лабораторна робота № 3. Реєстрація і аналіз електроміограми	27
Лабораторна робота № 4. Реєстрація та аналіз механоміограми	30
<b>3.4 Фізіологічна характеристика сили</b>	36
Лабораторна робота № 5. Визначення максимальної довільної сили	38
<b>3.5. Фізіологічні основи швидкісно-силових якостей</b>	39
Лабораторна робота № 6. Визначення швидкісно-силових можливостей	41
Лабораторна робота № 7. Визначення латентного періоду рухової реакції (ЛП), швидкість одноразового руху (ШОР) і максимальний темп руху (МТР)	42
Лабораторна робота № 8. Визначення швидкості силової витривалості	43
Лабораторна робота № 9. Реєстрація та аналіз ергограми	44
<b>Рекомендована література</b>	47

## ВСТУП

Програма курсу «Фізіологія людини і тварин» вимагає розуміння механізмів життєдіяльності клітин, тканин, органів, фізіологічних систем організму та організму в цілому, як у стані спокою, так і при дії різних факторів. У зв'язку з цим, під час лабораторних та практичних занять студенти повинні реєструвати показники, які відображають функціональну активність фізіологічних систем при різних станах організму, їх аналізувати та робити висновки.

Методичні рекомендації за своїм змістом відповідають чинній програмі з фізіології людини. Метою їх є засвоєння студентами теоретичних знань та основних методик та методичних прийомів дослідження механізмів збудження клітин різних тканин, функціонування нервової системи та нервово-м'язового апарату, допомога студентам у реєстрації, аналізі та оцінці отриманих результатів дослідження.

За останній час накопичені не тільки певний досвід щодо методики викладання теоретичного і практичного матеріалу цього розділу фізіології людини, але завдяки науковим досягненням вітчизняних вчених сформувалися нові уявлення про фізіологічні процеси у збудливих структурах.

Виходячи з цих положень, у методичних рекомендаціях, крім висвітлення експериментальних робіт, включена коротка сучасна теоретична інформація, яка націлює студентів на самостійну роботу з літературою, дозволяє більш глибоко усвідомити лабораторні роботи, акцентує увагу студентів на питаннях, що мають прикладне значення для теорії та практичної діяльності майбутнього викладача біології.

У методичних рекомендаціях на основі даних анатомії та фізіології людини розглянуто реакції організму на рухову активність, подані розробки лабораторних занять, які допоможуть майбутнім фахівцям набути важливі знання, навички та вміння з питань фізіологічного обґрунтування й аналізу засобів, форм і методів фізичного навантаження. Висвітлено роль нервової, ендокринної, серцево-судинної та дихальної систем у регуляції процесів обміну та адаптації організму до фізичних навантажень.

Організація учбового процесу передбачає проведення наукової і учбово-дослідної роботи студентів з урахуванням виконання завдань в учбовий та позаучбовий час, передбачає участь студентів у підготовці експериментів, виконання завдань підвищеної складності, обов'язковий аналіз результатів експерименту і пояснення механізму змін, що наступили, методи роботи з рекомендованою літературою, застосування отриманих навичок і відомостей у викладацькій практиці.

Методичні рекомендації підготовлені для студентів біологічних спеціальностей вищих навчальних закладів. Вони можуть бути корисними студентам, магістрантам та аспірантам вищих педагогічних, біологічних та інших навчальних закладів, де вивчають фізіологію людини.

## РОЗДІЛ 1

### ФІЗІОЛОГІЯ ЗБУДЖЕННЯ

Основними властивостями живих організмів є подразливість і збудливість.

**Подразнення** - дія на живу тканину зовнішніх або внутрішніх подразників.

**Подразливість** – це здатність живих клітин під час дії подразника переходити зі стану спокою до стану активності. Основною ознакою активності клітин є збільшення інтенсивності метаболізму.

**Подразник** - фактори зовнішнього і внутрішнього середовища, що здійснюють на органи і тканини впливи, які приводять до зміни їх активності. За фізіологічним значенням подразники можуть бути адекватними і неадекватними. Перші з них специфічні, тобто ті, які впливають на орган чи тканину, спеціально пристосованих до реагування на них у процесі філогенезу. У цих випадках для виникнення збудження достатньо невеликих по силі подразників. Такою, наприклад, є дія кванта світла на око. До неадекватних відносять подразники загального характеру, які при значно більшій інтенсивності викликають подразнення будь-якої тканини.

**Збудження** - активний фізіологічний процес, яким деякі живі клітини (нервові, м'язові, залозисті ) відповідають на подразнення. Тканини, які утворені цими клітинами, відносять до збудливих.

**Збудливість** – це здатність деяких клітин (нервових, м'язових, залозистих) під час дії збуджуючого подразника достатньої сили генерувати збудження. Збудливість характеризується не тільки змінами інтенсивності обміну речовин, а й біоелектричними явищами. Після виникнення, збудження здатне розповсюджуватися на сусідні ділянки клітинної мембрани, а іноді від однієї клітини до інших (міокард).

Ці властивості забезпечують реагування клітин на зміни навколишнього середовища і формувати керуючий сигнал та передавати його на ефектори, що на рівні організму забезпечує пристосування до мінливих умов зовнішнього середовища.

#### *1.1. Мембранний потенціал спокою (МПС)*

Будь-яка біологічна мембрана поляризована: між зовнішньою і внутрішньою її поверхнями існує різниця потенціалів, яку називають мембранним потенціалом (МП). У стані спокою зовнішня поверхня мембрани заряджена позитивно відносно внутрішньої. Величина мембранного потенціалу спокою (МПС) коливається в межах від -50 до -100 мВ (в середньому -75 мВ).

До факторів, які обумовлюють наявність, полярність і величину МПС належать:

➤ неоднакова концентрація катіонів і аніонів по обидва боки мембрани. Йонів  $K^+$  в клітині більше ніж поза клітиною у 20–100 разів, йонів  $Na^+$  більше поза клітиною у 5–15 разів, а  $Cl^-$  – у 20–100 разів;

➤ проникність клітинної мембрани неоднакова для різних йонів: найбільш проникна вона для  $K^+$ , менше – для  $Cl^-$ , ще менше – для  $Na^+$ , а для  $Ca^{2+}$  у стані спокою практично не проникає;

➤ активне транспортування йонів проти градієнту концентрацій, яке здійснюється білками-переносниками (йонні насоси) з використанням енергії АТФ. Вони забезпечують відносну сталість градієнту концентрації йонів по обидві сторони мембрани. Так, градієнт концентрації  $Na^+$  і  $K^+$  підтримується  $K^+/Na^{2+}$  насосом (помпою);

➤ електростатичні сили (притягуючі та відштовхуючі).

Таким чином, наявність, полярність і величина МПС залежить від кількості йонів  $K^+$ , що виходять з клітин за одиницю часу та діяльності  $K^+/Na^+$  насосу, що активно транспортує через мембрану до клітини  $K^+$ , а  $Na^+$  – з клітини.

Під час дії деяких факторів може змінюватися йонна проникність мембрани і величина мембранного потенціалу. Збільшення величини МП називається гіперполяризацією, а зменшення – деполяризацією. У разі збільшення проникності мембрани для йонів  $Na^+$  мембрана деполяризується, а для  $K^+$  і  $Cl^-$  гіперполяризується (рис. 2).

## 1.2. Потенціал дії

Під час дії збуджуючого подразника на клітинну мембрану збільшується її проникність для йонів  $Na^+$  і вона деполяризується, а коли деполяризація досягає критичного рівня (для нервової клітини критичний рівень деполяризації становить 10 мВ, для м'язової – 30-50 мВ), виникає потенціал дії (ПД). **Потенціал дії** – це пікоподібна зміна мембранного потенціалу з короткочасною інверсією заряду. Потенціал різко зростає від від'ємних значень МПС до позитивного піку, близько +30 мВ. Потім потенціал з різною швидкістю повертається до рівня спокою; тривалість ПД складає біля 1 мс у нервових клітинах, 10 мс в скелетних м'язах і більше 200 мс у міокарді.

Висхідну частину ПД називають фазою деполяризації, вона є наслідком відкриття великої кількості  $Na^+$ -каналів і лавиноподібного входження його до клітини. Позитивну частину ПД називають овершутом. Низхідну частину ПД називають фазою реполяризації. Вона є наслідком закриття (інактивації)  $Na^+$ -каналів і збільшенням проникності мембрани для йонів  $K^+$  (рис. 1).

Продовженням фази реполяризації є слідові потенціали. Розрізняють 2 види слідових потенціалів – слідову деполяризацію і слідову гіперполяризацію, амплітуда яких не перевищує кількох мВ, а тривалість буває різною – від кількох мс до десятків секунд. Слідова гіперполяризація є

наслідком збільшеної проникності мембрани для йонів  $K^+$ , слідова деполяризація обумовлена зменшенням проникності мембрани для йонів  $K^+$ .

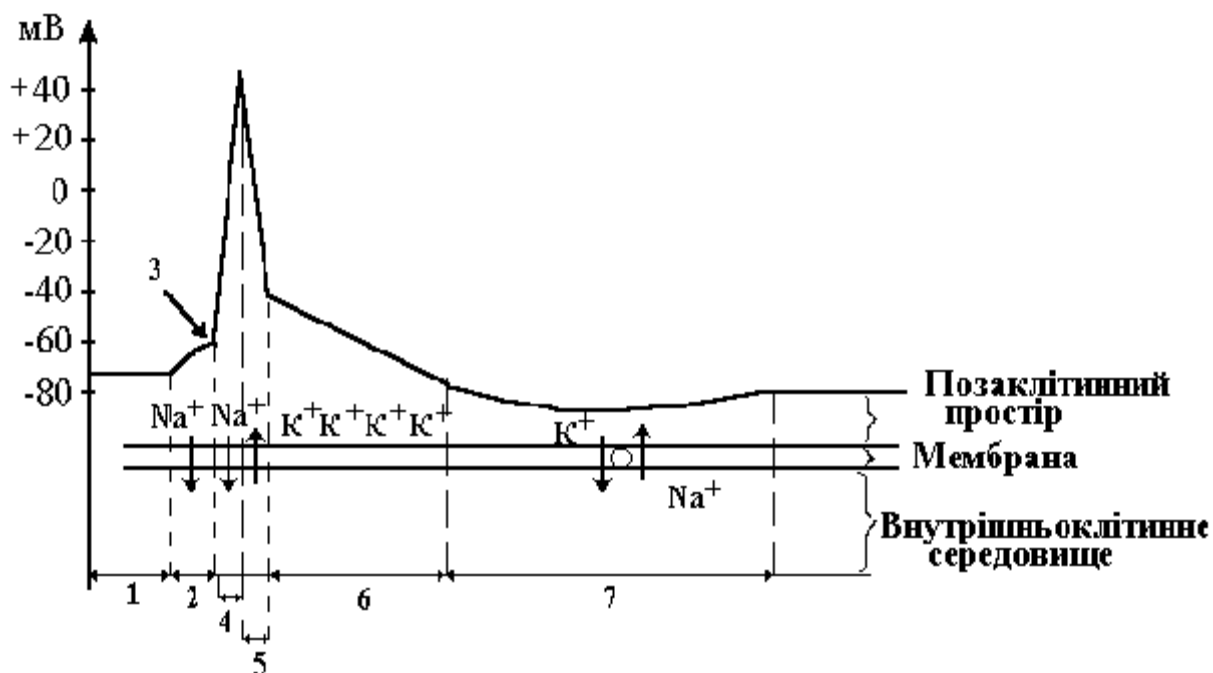


Рис. 1. Потенціал дії нейрона

1 – мембранний потенціал спокою; 2 – локальна відповідь; 3 – критичний рівень деполізації; 4 – фаза деполізації; 5 – фаза реполізації; 6 – негативний слідовий потенціал (слідовий деполізаційний потенціал); 7 – позитивний слідовий потенціал (слідовий гіперполізаційний потенціал)

### ***1.3. Механізм розповсюдження ПД та зміна збудливості клітин під час цього стану***

Розповсюдження ПД починається з моменту інверсії заряду, коли є різниця потенціалів як на зовнішній, так і на внутрішній поверхні клітинної мембрани, що спричиняє виникнення місцевого струму. Збуджена ділянка стає подразником для не збудженої і відбувається хвилеподібне розповсюдження ПД по мембрані з однаковою амплітудою (за законом «все або нічого») та різною частотою в залежності від інтенсивності подразника.

ПД, що виникає, не має зворотного ходу. Це обумовлено тим, що під час проходження хвилі збудження мембрана на деякий час стає незбудливою (рефрактерною). Розрізняють абсолютний і відносний періоди рефрактерності. У період абсолютної рефрактерності, який триває 1-2 мс, мембрана не реагує на дію подразника (тобто клітина в цей період незбудлива), тому що в цей час всі  $Na^+$ -канали відкриті до піку ПД, а потім відбувається їхня інактивація. Після закінчення періоду абсолютної рефрактерності настає період відносної рефрактерності, що триває кілька мс, і впродовж якого відбувається відновлення збудливості клітини, і нове



збудження може викликати лише подразник більшої сили, ніж перший ПД (рис. 2).

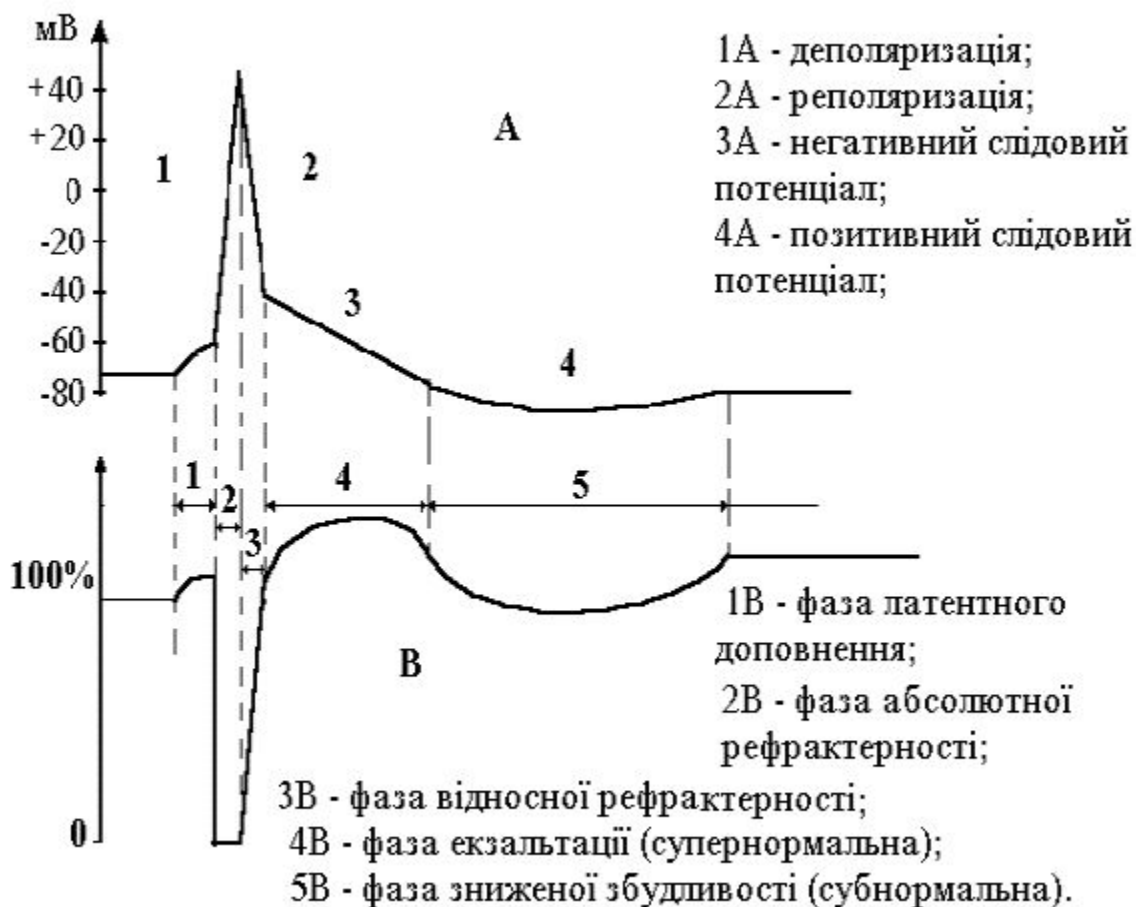


Рис. 2. Співвідношення фаз потенціалу дії (А) та збудливості (В)

### Лабораторна робота № 1

#### Визначення рухової хронаксії у людини

**Теоретичне обґрунтування.** Для характеристики збудливості тканин важливо враховувати не тільки порогову силу подразника (реобаза), але і час дії подразника на тканину. У зв'язку з цим для повної характеристики збудливості тканин у фізіології та клініці було введено поняття «хронаксія».

**Хронаксиметрія** (від грец. *chronos* – час, *axia* – кількість, *metreo* – вимірюю) – метод, який визначає величину **хронаксії**, тобто найменшого часу, протягом якого подразник подвоєної порогової сили викличе процес збудження. Хронаксиметрія використовується для дослідження збудливості живих тканин з урахуванням не тільки сили подразника, але і фактора часу – тривалості дії подразника.

У медичній практиці найчастіше визначається хронаксія м'язів і рухових нервів. Досліджується також хронаксія і чутливої сфери. Хронаксиметрія застосовується для визначення дегенерації нерва при травмах різних нервових центрів. Дослідження хронаксії допомагають встановити зрушення збудливості під час впливу різних факторів: фізичної роботи, тепла, холоду, атмосферного тиску тощо.

Для вимірювання хронаксії користуються спеціальним приладом – хронаксиметром (рис. 4).

Питання про значення часу як чинника, що визначає діяльність різних систем, було розроблено Н.Е. Введенським під час дослідження їхньої функціональної рухливості (*лабільності*). Дослідами ряду фізіологів була встановлена залежність порогового ефекту як від сили подразника, так і від часу його дії. Ця залежність виражається кривою сили - тривалості порогового подразника (рис. 3). Чим більша сила подразника, тим менше потрібно часу для виникнення реакції-відповіді.

Дана крива найбільш повно характеризує збудливість тканини, але для її побудови необхідно для кожної сили струму визначити порогову тривалість. Лапик (*L. Lapicque*) запропонував визначати криву сили - тривалості тільки по двох точках - реобазі і хронаксії.

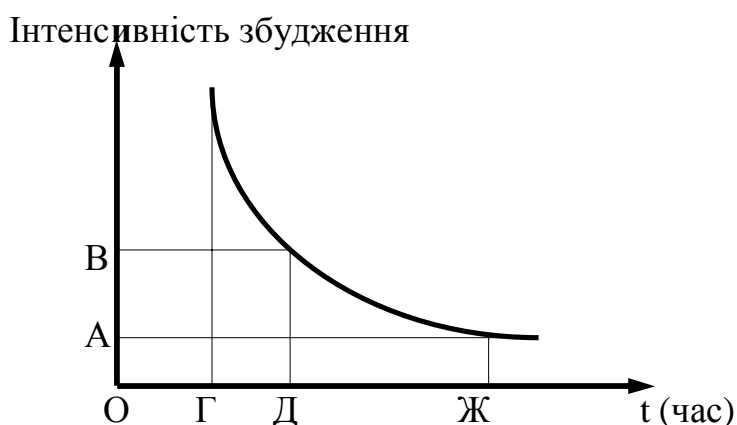


Рис. 3. Крива «сила-тривалість»

**Реобаза** – мінімальна (порогова) сила струму при достатній його тривалості, при якій відбувається подразнення і фактор часу вже не відіграє визначальної ролі (АО). Реобаза виражається в вольтах або міліамперах. Для вимірювання хронаксії треба подвоїти реобазу (ОВ) і знайти найменший час дії подвоєного струму (ОД). Хронаксію виражають у мілісекундах.

Вдалося показати, що збудливість всіх живих утворень характеризується однотипною гіперболічною кривою сили-тривалості. Різниця полягає лише в абсолютних величинах реобазі і хронаксії. Були встановлені загальнобіологічні закономірності - еволюція хронаксії в філогенезі і онтогенезі. Висока величина хронаксії м'язів ембріона коротшає в ранньому постнатальному періоді і досягає найкоротших величин у дорослих.

Дослідження хронаксії різних м'язів і нервів у здорових і хворих людей виявило ряд закономірностей. У нормі хронаксія м'язів коливається в межах 0,04-1,0 м/сек. Мається певне співвідношення хронаксії м'язів-антагоністів; хронаксія згиначів на верхніх кінцівках в 2-3 рази коротша, ніж у розгиначів, хронаксія дистальних м'язів кінцівок довша, ніж проксимальних.

Вчення про хронаксію висунуло поняття *ізохронізма*. Поширення збудження з однієї тканини на іншу (наприклад, з нерва на м'яз) обумовлено ізохронізмом, тобто здатністю цих тканин розвивати збудження з однаковою швидкістю. Про це свідчать однакові або близькі величини хронаксії нерва і м'язів. Ізохронізмом окремих ланок рефлекторної дуги пояснюється і можливість проходження збудження по складних рефлекторних шляхах. Якщо з якої-небудь причини хронаксія однієї ланки буде помітно відрізнятися від хронаксії іншого, то виникне *гетерохронізм*, що перешкоджає передачі збудження. Ряд радянських дослідників висунув ідею про динамічний ізохронізм, який не попереджає, а створюється в процесі фізіологічної діяльності. Рівень хронаксії м'язів обумовлений в значній мірі станом нервових центрів. Хронаксія м'язів, що зберігають звичайний зв'язок з ЦНС, називається *субординаційною*. Хронаксія м'язів, позбавлених цього зв'язку, іменується *конституціональною* і залежить від властивостей самих м'язів. Пошкодження інерваціонного апарату м'язів, ураження периферичного нерва (наприклад, при поліомієліті) тягнуть за собою різке подовження моторної хронаксії.

Хронаксиметрію застосовують в неврологічній, хірургічній, частково терапевтичній клініках. Шкірну, чутливу, зорову, вестибулярну хронаксію досліджують за відчуттям або рефлекторною реакцією. Хронаксиметрія допомагає поставити ранній діагноз або уточнити його, обґрунтувати прогноз, виявити ефективність лікувальних заходів. Хронаксиметрія має велике практичне значення, розширюючи можливості електродіагностики

**Мета роботи:** оволодіти методикою визначення реобазиса та хронаксії м'язів згиначів пальців та визначити ці показники у студентів.

**Для роботи необхідно:** хронаксиметр (рис. 4), фізіологічний розчин, марлеві серветки.

**Хід роботи.**

1. На правому передпліччі досліджуваного закріплюють індиферентний електрод (анод).

2. Знаходять рухову точку (рис. 5). Для цього прилад встановлюють у режимі «хронаксія», вмикають напругу до 15 В (надпороговий сигнал) та максимальний час дії електричного току. Активним електродом (катодом), добре змоченим фізіологічним розчином, знаходять рухову точку – м'яз згинач пальців на лівому передпліччі починає скорочуватися.

3. Перемикають прилад в режим «реобазиса» і визначають величину реобазиса - порогову величину напруги електричного струму шляхом поступового зменшення напруги до того моменту, коли м'яз-згинач пальців перестане реагувати на збудник.



Рис. 4. Зовнішній вигляд хронаксиметра з електродами

4. Перемикають прилад в режим «хронаксія», встановлюють 2-кратну величину реобазис і визначають хронаксію шляхом зменшення терміну дії електричного току.

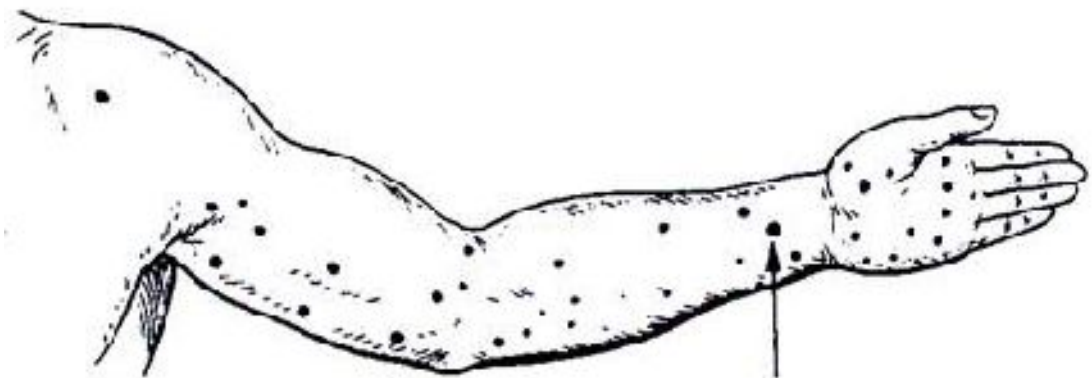


Рис. 5. Розташування рухових точок на руці.

5. Отримані результати заносять в протокол дослідження, аналізують їх і роблять висновки стосовно виявлених властивостей нервової та м'язової тканин, адекватності подразника, величини досліджуваних показників та природи нервових імпульсів.

**Контрольні питання:**

1. Що таке подразливість і збудливість живих клітин?
2. Збудливість якої тканини вища і чому?
3. Що таке мембранний потенціал (МП)?
4. Яка полярність заряду клітинної мембрани?
5. Які фактори обумовлюють наявність, полярність та величину мембранного потенціалу спокою?
6. За яких умов виникає потенціал дії (ПД)?
7. Охарактеризуйте параметри ПД.
8. З якого моменту починається розповсюдження ПД?
9. Чи змінюється збудливість клітинної мембрани в ході розвитку хвилі збудження?
10. Від чого залежить швидкість розповсюдження хвилі збудження?
11. Що таке реобаза і хронаксія?
12. Яка залежність між величинами реобазиса і хронаксії?
13. Чим пояснити збільшену величину реобазиса у людини?
14. Чи є різниця в поняттях поріг сили подразнення і реобазиса?
15. Яке практичне значення має визначення хронаксії?
16. Намалюйте потенціал дії і вкажіть його складові.
17. Як змінюється збудливість під час збудження?
18. . Яка причина існування потенціалу спокою і потенціалу дії?

## РОЗДІЛ 2

### ФІЗІОЛОГІЯ НЕРОВОЇ СИСТЕМИ

Нервова система здійснює зв'язок окремих органів і фізіологічних систем між собою, а також всього організму з навколишнім середовищем, сприймає зовнішні та внутрішні подразнення, аналізує інформацію, що надходить до організму, регулює і координує діяльність усіх його органів і систем, формує поведінку, вищу нервову і психічну діяльність людини.

У нервовій системі розрізняють центральну нервову систему (ЦНС) і периферичну нервову систему (ПНС). До ЦНС відносять спинний і головний мозок, до ПНС – 31 пару спинномозкових нервів, 12 пар черепно-мозкових нервів, а також їхні розгалуження і сплетення. В залежності від зон іннервації розрізняють *соматичну*, яка іннервує шкіру, скелетну мускулатуру, органи чуттів та *автономну* або *вегетативну* нервову систему (ВНС), яка іннервує гладеньку мускулатуру внутрішніх органів, кровоносних судин, шкіри, очних яблук (радужка, війковий м'яз), серцевий м'яз та залози. В свою чергу, ВНС поділяється на *симпатичний* та *парасимпатичний* відділи. Більшість

вегетативних ефекторів мають подвійну іннервацію, як симпатичну, так і парасимпатичну, їхній вплив носить антагоністичний характер.

## 2.1. Фізіологія нейрона

До складу нервової тканини входять нервові клітини (нейрони) і клітини нейроглії. Клітин нейроглії у 10 разів більше, ніж нейронів, по відношенню до яких вони виконують опорну, захисну, трофічну, електроізолюючу функції, крім того, вони утворюють гематоенцефалічний бар'єр, приймають участь у довгостроковому збереженні інформації.

Структурно-функціональною одиницею нервової системи є нейрон. За будовою і функцією розрізняють три основних типи нейронів: **аферентні** (чутливі), **еферентні** (рухові, мотонейрони) і **вставні** (інтегративні). У кожному нейроні розрізняють тіло (сому) та відростки.

**Аферентні** нейрони мають два відростки – периферичний, який закінчується рецептором і центральний, який передає впливи до ЦНС на інші нейрони. **Еферентні і вставні** мають декілька коротких відростків (дендрити) і один довгий – аксон. Мембрана соми і дендритів слугує для сприйняття впливів від інших нейронів, а аксон – для передачі впливів на інші нейрони або робочий орган.

Кожний нейрон виконує три основні функції:

- 1) **рецепторну** (сприйняття інформації із зовнішнього і внутрішнього середовища, або від інших нейронів);
- 2) **інтегративну** (переробка інформації, яка надходить до нейрона);
- 3) **ефекторну** (передача впливів на інші нейрони, або на робочий орган).

Крім того, нейрони виконують **секреторну** функцію – синтезують медіатори (нейротрансмітори), нейросекрети – релізінг-фактори, окситоцин, вазопресин.

Передача впливів з одного нейрона на інший (і з нейрона на робочий орган) здійснюється за допомогою **синапсів**. Розрізняють **електричні, хімічні і змішані** синапси.

У синапсі розрізняють: пресинаптичну мембрану, постсинаптичну мембрану та синаптичну щілину (рис. 6). Синаптична щілина в електричному синапсі становить 10 нм, в хімічному – 20 нм.

**Електричний** синапс являє собою щільний контакт між кінцевою гілочкою аксона і мембраною клітини, куди передаються збудження. Під час передачі впливів потенціал дії переходить з пресинаптичної мембрани на постсинаптичну без участі посередників. Проте в організмі людини в основному передача впливів здійснюється за допомогою хімічних синапсів.

У **хімічному** синапсі розрізняють синаптичний горбик, пресинаптичну мембрану, постсинаптичну мембрану і синаптичну щілину. Синаптичний горбик містить мітохондрії, пухирці з медіатором (хімічна речовина, за допомогою якої здійснюється передача впливу). Постсинаптична мембрана

містить білкові рецептори, які мають просторову хімічну спорідненість до певних медіаторів.

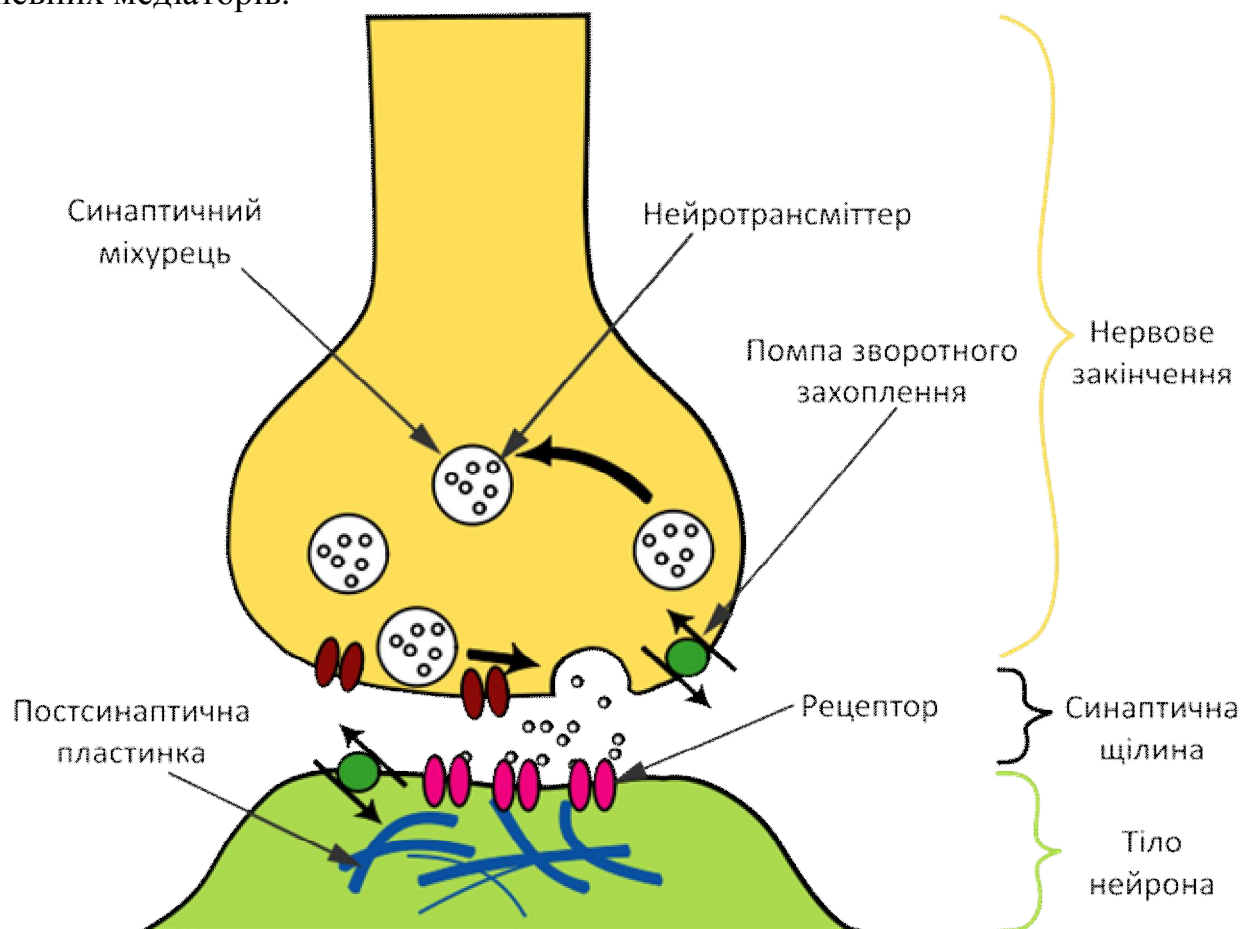


Рис 6. Будова хімічного синапса

Медіатори – це низькомолекулярні водорозчинні аміни, амінокислоти або споріднені з ними речовини. Медіаторну функцію виконують ацетилхолін (АХ), дофамін, норадреналін, серотонін, глутамінова кислота. В одних синапсах вони спричиняють гальмівний ефект, в інших – збудливий. Гліцин,  $\gamma$ -аміномасляна кислота (ГАМК) спричиняють тільки гальмівний ефект.

**Процеси, що відбуваються в активному нейроні.** Коли ПД, який розповсюджується по аксону, доходить до синаптичного горбика, відбуваються такі процеси:

- змінюється йонна проникність мембрани синаптичного горбика;
- йони  $\text{Ca}^{2+}$  входять в синаптичний горбик, що спричиняє виділення медіатора у синаптичну щілину;
- медіатор приєднується до білкових рецепторів і утворюється медіатор-рецепторний комплекс;
- змінюється йонна проникність постсинаптичної мембрани. Під час передачі збуджуючих впливів збільшується проникність мембрани для йонів  $\text{Na}^+$  і вона деполаризується – виникає збуджуючий постсинаптичний потенціал (ЗПСП). Під час передачі гальмівних впливів збільшується проникність постсинаптичної мембрани для йонів  $\text{K}^+$  та  $\text{Cl}^-$  і вона





збудження із швидкістю 3-14 м/с. Волокна групи C – найтонші (0,5-1 мкм) і найповільніше проводять збудження (0,5-2 м/с).

## 2.2. Нервові центри та їхні властивості

**Нервовий центр** – сукупність нейронів, які регулюють певну функцію організму та беруть участь у здійсненні рефлексів. Нервові центри входять до складу ЦНС і складаються з багатьох тисяч і навіть мільйонів нейронів, зібраних компактно або розташованих у різних відділах ЦНС, але об'єднаних функціонально. Наприклад, центр дихання знаходиться в довгастому мозку, але він має своє представництво у вище розташованих стовбурових відділах і в корі великих півкуль головного мозку. Центр мови знаходиться в скроневій, лобовій і тім'яній долях лівої півкулі головного мозку. Центри дихання, серцево-судинної діяльності, зору, слуху, смаку, нюху, слиновиділення, ковтання, кашлю, терморегуляції, голоду, спраги, різноманітних рухів – все це приклади більш чи менш компактних центрів нервової системи.

Нейрони в нервових центрах з'єднані між собою за допомогою синапсів, тому *функціональні властивості нервових центрів* співпадають з властивостями синапсів.

До основних властивостей нервових центрів відносять:

➤ **односторонність проведення збудження** – в зворотному напрямку збудження не може передаватись, оскільки медіатори зосереджені тільки в пресинаптичних частинах синапсів;

➤ **уповільнення проведення збудження** (синаптична затримка) пояснюється витратою часу на виділення медіатора в синаптичну щілину, на його дифузію до постсинаптичної мембрани і на збудження останньої (5 мс і більше). Швидкість реагування людини на подразник в основному залежить від швидкості передачі збудження в синапсах, в нервових центрах. Під час вживання алкоголю, при стомленні та захворюваннях реакція відповідь людини на будь-який подразник різко сповільнюється;

➤ **сумація збуджень** – виникає або під час нанесення слабких подразнень, що повторюються, або при одночасному нанесенні кількох підпорогових подразнень. Механізм цього явища пов'язаний з нагромадженням медіатора на постсинаптичній мембрані і підвищенням збудливості клітин нервового центру. Прикладом сумації збудження може бути рефлекс чхання;

➤ **трансформація ритму збудження** – здатність змінювати ритм і частоту імпульсів, що надходять. Нервові центри можуть на поодинокі подразнення відповісти серією імпульсів, а на подразнення невисокої частоти – більш частими імпульсами;

➤ **рефлекторна післядія** – рефлекторні акти закінчуються не одночасно з припиненням дії подразника, а через деякий час. Вона може бути короткочасною (1-3 мс) і тривалою (кілька секунд);

➤ **легка втомлюваність** – під час тривалого подразнення аферентних нервових волокон втома нервового центра проявляється поступовим зниженням, а потім і припиненням рефлекторного акту. Втома пов'язана з порушенням передачі збудження у синапсах. Зменшуються запаси медіатора у нервових закінченнях та чутливість до медіатора рецепторів постсинаптичної мембрани. Втома у нервових центрах дитини розвивається швидше, працездатність нервової системи менша, ніж у дорослих;

➤ **пластичність** – функціональна мінливість і пристосованість нервових центрів. Під час пошкодження або виключення окремих частин мозку виконання їхніх функцій забезпечують інші центри;

➤ **дуже високий обмін речовин, тобто висока потреба в кисні і поживних речовинах, а також вибіркова чутливість до деяких фармакологічних речовин.** Наприклад, під час зупинки серця і дихання більше ніж на 5-6 хв гинуть клітини кори великих півкуль. Нікотин блокує проведення нервових імпульсів у збуджувальних синапсах, що призводить до зниження збудливості, зменшення рухової активності.

### **Лабораторна робота № 2**

#### **Визначення величини прихованого (латентного) періоду простої аудіо-моторної реакції**

##### ***Теоретичне обґрунтування.***

Вимірювання параметрів часу простої сенсомоторної реакції (ПСР) дозволяє визначити швидкість і стабільність моторно-сенсорного реагування у людини. В якості стимулів використовуються світлові і звукові стимули, різної інтенсивності (зазвичай це слабкий і сильний сигнали).

Процедура експерименту: студент утримує в натиснутому положенні «стартову» кнопку. У момент пред'явлення стимулу (звукового або світлового) йому необхідно якнайшвидше натиснути «фінішну» кнопку. Час реакції складається з латентного та моторного періодів.

**Латентний період** – це час від моменту нанесення подразнення до початку моменту реакції; його величина є показником функціонального стану ЦНС. Латентний період (ЛП), у свою чергу має кілька складових:

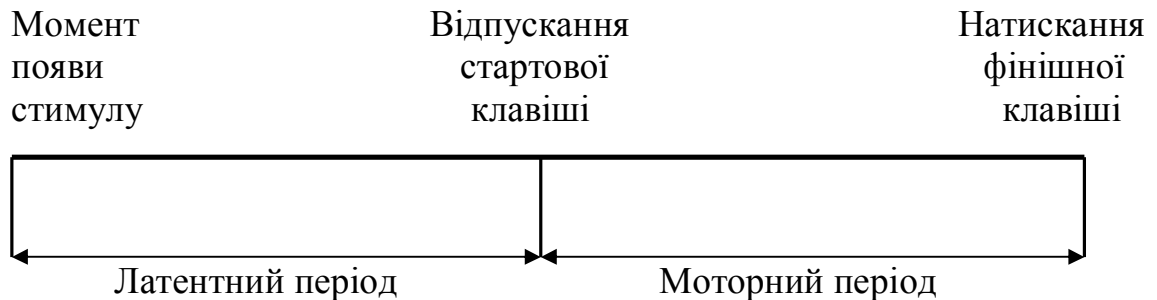
- час збудження рецептора,
- передачі сигналу від периферії до центру по аферентних шляхах,
- переробки інформації в центральній нервовій системі (ЦНС),
- прийняття рішення про реагування,
- посилки команди до виконавчих органів (ефекторів),
- розвиток збудження в ефекторі.

Отриманий в результаті усереднення ЛП показник сенсорної швидкості оцінює швидкість нервово-психічних процесів і є непрямим показником лабільності нервової системи.

***Моторний період*** (МП) - час виконання руху, що складається з:

- часу порушення м'язів,
- подолання інерційних сил спокою тіла і руки,
- часу просторової реакції в ЦНС (часу перенесення руки зі «стартової» клавіші на «фінішну»).

Отриманий в результаті усереднення МП показник моторної швидкості оцінює швидкість скорочення м'язів (роботи ефекторів і м'язових волокон). Цей час складається з часу узгодження силових, швидкісних і просторових (відповідно до відстанню між «стартової» і «фінішної» кнопками і їх розмірами) параметрів руху.



Час простої сенсомоторної реакції (ПСР) = (ЛП + МП), усереднене за серіями різної модальності (зорової та слухової) і за різною інтенсивністю сигналу (слабкий і сильний), є основним показником базових (природних) швидкісних можливостей людини. Швидкісні можливості людини (відображені в цьому показнику), особливо в їх моторної частини, є більшою мірою природними і мало змінними під впливом тренування.

За співвідношенням значень ПСР на сильний сигнал і слабкий (поріг абсолютної чутливості) можна робити оцінку сили-слабкості процесу збудження нервової системи. При вимірюванні складної сенсомоторної реакції (ССР) також реєструються ЛП і МП. В реакції вибору (ССР) в порівнянні з простою сенсомоторною реакцією (ПСР) випробовуваний повинен не тільки визначити наявність або відсутність сигналу, але і оцінити, який з трьох можливих сигналів надійшов, і вибрати один із варіантів рухової відповіді. Наприклад, світловий стимул (сигнал) може пред'являтися в одному з трьох положень (ліворуч, праворуч або в центрі), відповідно реагувати на нього потрібно вибірково - натискаючи одну з трьох «фінішних» кнопок (розташованих також ліворуч, праворуч або в центрі). В даному випадку ЛП включає в себе рішення сенсорної проблеми вибору і співвідноситься з п'ятим рівнем регуляції, а МП, як і в ПСР, - з четвертим.

Вимірювання параметрів складної сенсомоторної реакції дозволяє визначити: швидкість, стабільність моторного і сенсорного (світлового) реагування, співвідношення швидкості моторного і сенсорного реагування (моторність) в умовах вибору. Показники ССР умовно віднесені до 4 і 5 рівнях складності (регуляції). Таким чином, в ССР ускладнюється процес ідентифікації сигналу, переробки інформації та також ускладнюється процес просторової координації. Це, в порівнянні з ПСР, може призводити до збільшення як латентного (ЛП), так і моторного (МП) періодів ССР.

Низька швидкість (великий час) сенсорної швидкості (1-2 бали за семибальною шкалою) в ССР є протипоказанням для робіт, що вимагають тонкого і швидкого вибору, наприклад, диспетчерів, водіїв швидкісного транспорту, працівників опорних пунктів міліції, командирів мобільних груп спецназу, бійців при виборі мети для стрільби і т.п. У спорті - в основному, всі колективно-ігрові види (хокей, футбол, волейбол, баскетбол і т.д.).

Висока сенсорна швидкість ССР (6-7 балів) сприяє успішності оволодіння вищезгаданими спеціальностями. У порівнянні з ПСР стабільність ССР падає в основному за рахунок збільшення моторної нестабільності. Час натискання на крайні клавіші як правило більший, ніж на центральну. Таким чином, висока моторна стабільність ССР є непрямим показником успішності формування рухової навички в умовах розширення сенсомоторного поля реагування. Низька моторна стабільність РСР може свідчити про низький координаційний потенціал, інертність процесу формування рухової навички.

За рядом даних, співвідношення показників швидкості і стабільності ССР, як і в ПСР, є непрямим показником екстраверсії та інтраверсії: висока швидкість (6-7 балів) і низька стабільність (1-2 бали) свідчать на користь екстраверсії. Навпаки, поєднання низької швидкості (1-2 бали) і високої стабільності (6-7 балів) є більшою мірою проявом інтраверсії. У тих видах спорту, де швидкість ССР є одним з найважливіших факторів, що визначають успішність діяльності, стабільність ССР є досить інформативним показником готовності спортсмена до змагань.

**Мета роботи:** оволодіти методикою визначення величини прихованого (латентного) періоду простої аудіо-моторної реакції та визначити цей показники у студентів.

**Для роботи необхідно:** вимірювач послідовних реакцій ВПР-1, звуковий генератор, гучномовець (рис. 8).

**Хід роботи:**

1. Експериментатор включає звуковий сигнал і вимірювач послідовних реакцій.

2. Випробуваний при появі звукового сигналу повинен якнайшвидше натиснути на кнопку і вимкнути звуковий сигнал і вимірювач послідовних реакцій. Обнуління результатів кожного досліду відбувається за допомогою чорної кнопки.

3. Результати вимірювань заносять в протокол досліджень.

4. Через 1-2 хвилини вимірювання повторюють, щоб їх загальне число дорівнювало 16 (в нашому випадку 10).

5. Обчислюють середньо арифметичну величину досліджуваного показника.

6. Роблять висновки стосовно середньої величини досліджуваного показника та індивідуальних особливостей швидкості сенсомоторного реагування.



Рис. 8. Обладнання для визначення прихованого (латентного) періоду простої аудіо-моторної реакції

**Протокол досліджень.** Латентний (скритий) період простої аудіомоторної реакції (мсек)

ПІБ	Кількість вимірювань										$\Sigma$	М
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Петренко І.	157	187	195	147								160
...	...	...	...									...
Середнє												154

**Висновок:** латентний (скритий) період простої аудіомоторної реакції в середньому складає в групі ..... мс.

**Контрольні питання:**

1. Що є структурно-функціональною одиницею нервової тканини?
2. На які типи поділяють нервові клітини?
3. Які функції виконують нервові клітини?
4. Що собою являє нервове волокно?

5. Що є трофічним центром для нервового волокна?
6. Що відбувається з нервом після його перерізки?
7. Які фізіологічні властивості має нервове волокно?
8. Які основні закони проведення збудження по нерву Ви знаєте?
9. Яке фізіологічне значення має ізольоване проведення збудження по нерву?
10. Яка роль мієлінової оболонки у проведенні збудження по нервовому волокну?
11. Яка роль перехватів Ранв'є у проведенні збудження по нервовому волокну?
12. Охарактеризуйте будову хімічного синапу.
13. Надайте характеристику і класифікацію синапсів.
14. Яку функцію виконують нейромедіатори?
15. Схарактеризуйте механізм передачі збудження у синапсі.
16. Які особливості синапатичної передачі збуджуючих та гальмуючих впливів?
17. Від чого залежить швидкість проведення збудження по нервовому волокну?
18. Що таке нервовий центр?
19. Охарактеризуйте основні властивості нервових центрів.
20. Що таке прихований (латентний) період сенсомоторної реакції?
21. Із чого складається прихований період простої аудіо-моторної реакції?
22. Поясніть, як залежить швидкість сенсомоторної реакції людини від віку, індивідуальних властивостей нервової системи та ступеня тренуваності.
23. Що характеризує величина сенсомоторного реагування людини?
24. Про що свідчить величина латентного періоду простої аудіомоторної реакції і як її можна використати в житті людини?

## РОЗДІЛ 3

### ФІЗІОЛОГІЯ НЕРОВО-М'ЗОВОГО АПАРАТУ (НМА)

#### 3.1. Характеристика структурно–функціональної одиниці НМА

Структурно-функціональною одиницею НМА – є рухова одиниця (РО). До складу РО входять мотонейрон, його довгий відросток аксон та пучок м'язових волокон, які він іннервує. За морфологічними та функціональними ознаками розрізняють 2 крайні типи рухової одиниці – *малі повільні (I) та великі швидкі (II)*.

До складу *малих повільних* РО входять дрібні мотонейрони з тонкими аксонами, які іннервують невелику кількість тонких м'язових волокон. Їхні мотонейрони мають низький поріг збудливості, аксони проводять збудження з невеликою швидкістю, а м'язові волокна, за своїм хімічним складом та фізико-хімічними властивостями, пристосовані до аеробного способу

ресинтезу АТФ, адже мають у складі більше міоглобіну, крапель жиру та мають високу активність окислювальних ферментів. Вони розвивають невелике напруження, але можуть підтримувати його впродовж тривалого часу; при цьому забезпечують прояв витривалості (є маловтомлюваними).

До складу *великих швидких* РО входять крупні мотонейрони з товстими аксонами, які іннервують велику кількість товстих м'язових волокон. Їхні мотонейрони мають високий поріг збудливості, аксони швидко проводять збудження, а м'язові волокна пристосовані до анаеробного способу ресинтезу АТФ. Вони містять більше глікогену, мають високу активність міозин-АТФ-ази та гліколітичних ферментів; є сильними та швидкими, але невитривалими.

*Великі швидкі* РО за хімічним складом та фізико-хімічними властивостями у свою чергу поділяються на два підтипи А – окислювально-гліколітичний (проміжний) та В – гліколітичний (крайній).

### 3.2. Будова м'язового посмугованого волокна

Кожне м'язове волокно зовні оточене оболонкою – сарколемою (зовнішня мембрана). Вона є типовою клітинною мембраною, що являє собою ліпопротеїновий комплекс. Мембрана є напівпроникною бо має пори, як ліпідні, так і білкові. За певних умов її проникність може змінюватися. Внутрішній вміст м'язового волокна – саркоплазма, складається з двох частин: саркоплазматичного матриксу (СМ) та саркоплазматичного ретикулуму (СР) (рис. 9).

СМ являє собою рідину, в якій містяться ядра, мітохондрії, скоротливі елементи міофібрили, гранули глікогену, краплі жиру, розчинний білок міоглобін, сполуки, що містять фосфатну групу (АТФ, креатинфосфат та інші), ферменти тощо.

СР представлений системою складно з'єднаних між собою повздовжніх трубочок, які поблизу поперечних Т-трубочок зливаються і утворюють так звані цистерни.

Міофібрила являє собою пучок товстих і тонких білкових ниток (міофіламенти), які розташовані вздовж м'язового волокна у певному порядку (рис. 10).

Товсті міофіламенти побудовані з молекул білка міозину. Головки міозинових молекул мають міозин-АТФ-азну активність, вони містять фермент АТФ-азу.

Тонкі міофіламенти являють собою подвійну спіраль, утворену молекулами білка актину. До складу тонких міофіламентів входять також білки інгібітори тропоміозин і тропонін, які з'єднані між собою у комплекс. У стані спокою (розслаблений м'яз) комплекс тропоміозин-тропонін знаходиться в активному стані. Тропоміозин блокує місце взаємодії головок міозинових молекул з актиновими нитками, а тропонін гальмує активність міозинових головок.

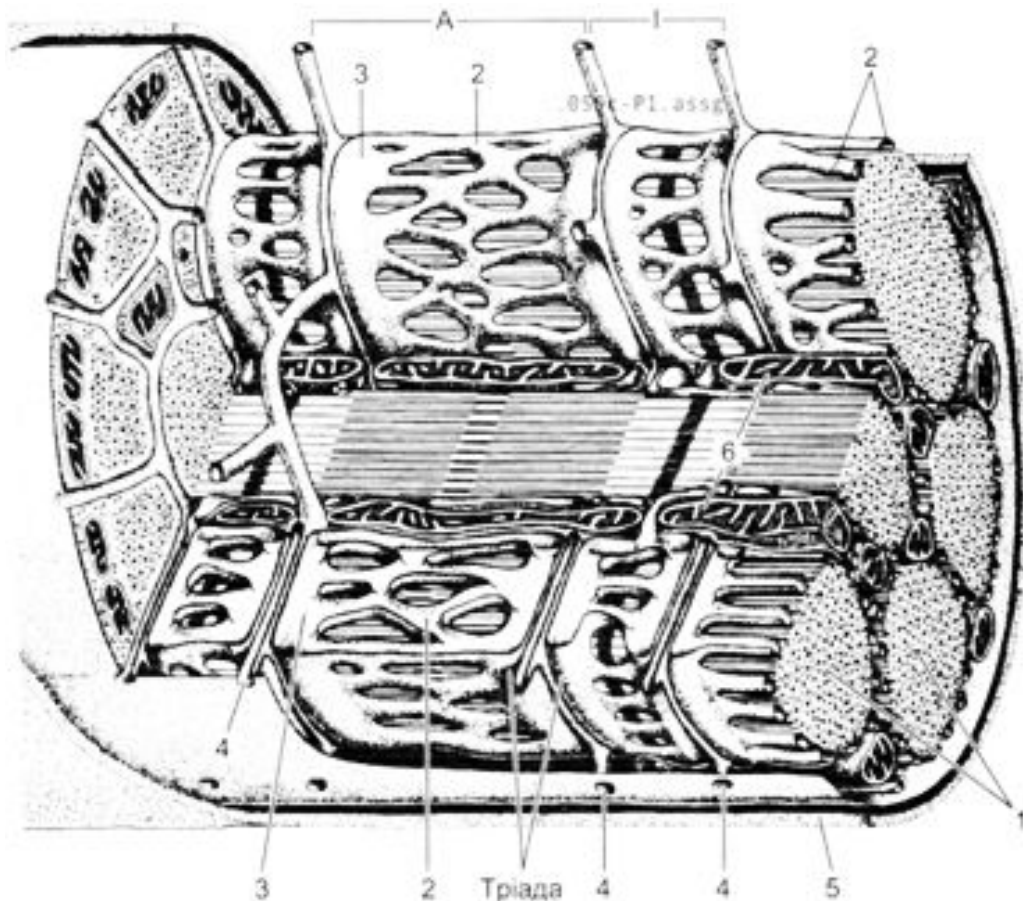


Рис. 9. Скелетний м'яз у ссавців

М'язове волокно оточене сарколемою: його поперечний розріз відображає окремі міофібрили (1). На розрізі видно товсті та тонкі філаменти. Саркоплазматична сітка (2 - з термінальними цистернами (3) оточує кожен міофібрилу. Система Т-трубок (4) (випинання сарколеми) стикається з міофібрилами через А- та І-смуги в кожному саркомері; Т-система і цистерни саркоплазматичної сітки утворюють триаду. Базальна мембрана (5) оточує сарколему; 6 – мітохондрії

### 3.3. Нервово-м'язова передача збудження та механізм м'язового скорочення

Коли ПД від тіла мотонейрона по аксону доходить до нервово-м'язового синапсу відбуваються такі процеси (рис. 11):

- змінюється йонна проникність пресинаптичної мембрани;
- йони  $\text{Ca}^{2+}$  входять у синаптичну бляшку;
- медіатор ацетилхолін (АХ) виділяється з синаптичної бляшки у синаптичну щілину;
- ацетилхолін приєднується до білкових рецепторів на постсинаптичній мембрані м'язового волокна і утворюються комплекс АХ-рецептор;
- збільшується проникність постсинаптичної мембрани для йонів  $\text{Na}^+$  і вона деполяризується;



- коли деполяризація досягає критичного рівня (30-50 мВ), виникає ПД м'язового волокна;
- ПД поширюється по сарколемі вздовж м'язового волокна, по Т-трубочках входить у середину волокна і передається до мембран саркоплазматичного ретикулума;
- проходження хвилі збудження по мембрані ретикулуму супроводжується виходом йонів  $\text{Ca}^{2+}$  із цистерн СР у міжфібрилярний простір;

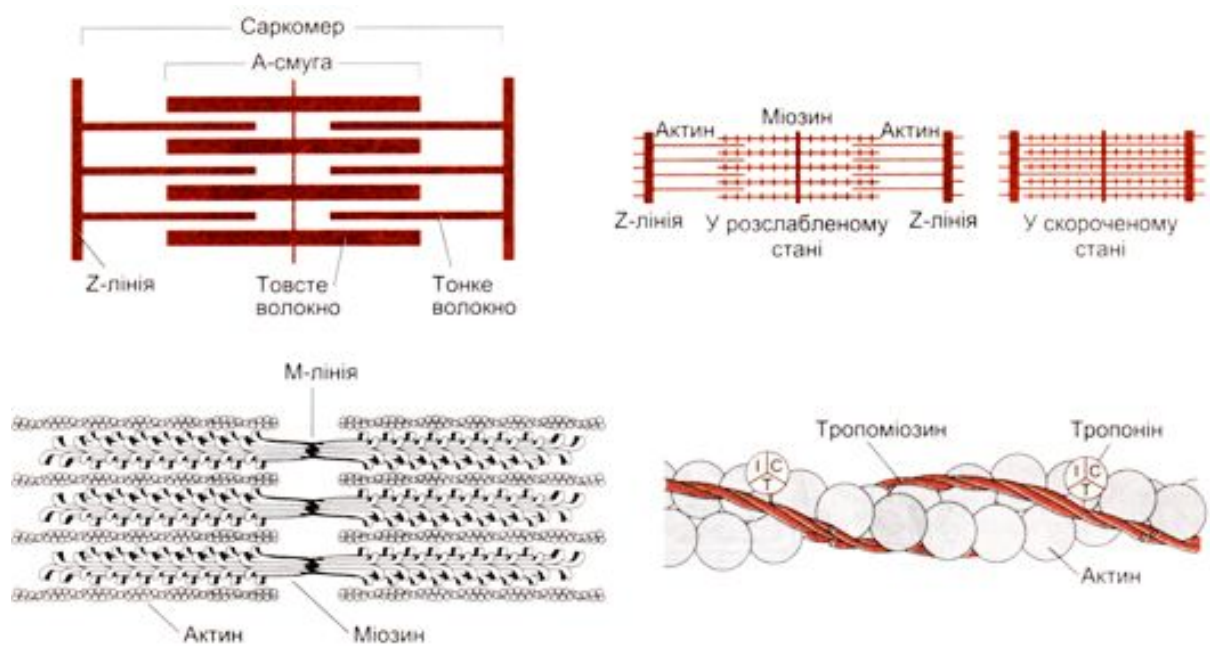


Рис. 10. **Угорі ліворуч:** взаємне розташування тонких (актинових) та товстих (міози нових) волокон у скелетному м'язі. **Угорі праворуч:** детальна схема взаємодії між актином та міозином. Зверніть увагу на те, що товсті міозинові волокна в ділянці М-ліній (посередині саркомера) змінюють полярність.

**Унизу праворуч:** схематичне зображення розташування актину, тропоміозину та трьох субодиниць тропоніну (І, С і Т)

- $\text{Ca}^{2+}$  приєднується до тропоніну і усуває блокуючі властивості комплексу тропоміозин-тропонін;
- на головках міозинових молекул починає розчіплюватися АТФ до АДФ та ортофосфату, при цьому звільнюється енергія;
- тропоміозин переміщується у результаті конфірмаційних змін і звільняє місце взаємодії головок міозинових молекул з актиновими нитками;
- головки міозинових молекул прикріплюються до актинових ниток і повертаються у напрямку середини саркомера, при цьому тонкі нитки ковзають вздовж товстих і довжина саркомера зменшується;
- продукти розщеплення АТФ видаляються з головок міозинових молекул, вони випрямляються і за присутності йонів  $\text{Ca}^{2+}$  у міжфібрилярному просторі процеси повторюються, у результаті чого м'язове волокно напружується.

Розслаблення м'яза відбувається внаслідок припинення імпульсації до м'яза в результаті чого відбуваються такі процеси:

- медіатор ацетилхолін руйнується ацетилхоліностеразою і комплекс АХ-рецептор розпадається;
- відновлюється йонна проникність постсинаптичної мембрани для натрію і припиняється генерація ПД м'язового волокна;
- йони  $\text{Ca}^{2+}$  за допомогою активних переносників повертаються у порожнину саркоплазматичного ретикулуму;
- активується комплекс тропоміозин-тропонін і м'яз розслаблюється.

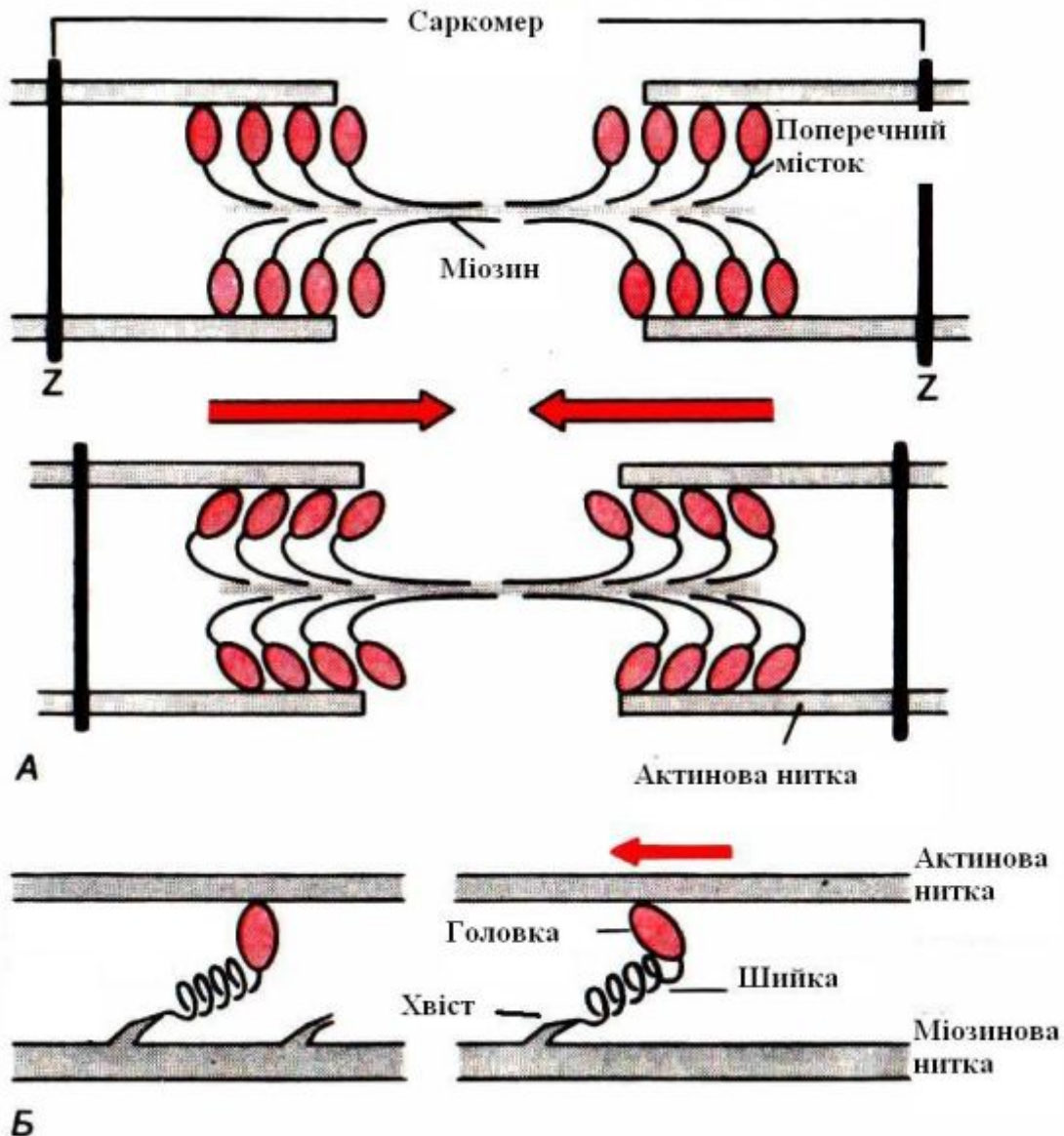


Рис. 11. Механізм м'язового скорочення

А – модель механізму руху, міозинова нитка з поперечними містками, які прикріплені до сусідніх актинових ниток, згори – при розслабленому стані м'яза, внизу – під час «веслувальних» рухів містків; Б – модель створення сили поперечними містками, зліва – у стані спокою, справа – під час «веслувального» руху поперечного містка

## Лабораторна робота № 3

### Реєстрація і аналіз електроміограми

#### *Теоретичне обґрунтування.*

**Електроміографія** – це метод об'єктивної реєстрації та аналізу біоелектричних явищ (коливань електричних потенціалів), які відбуваються у м'язах під час їхнього скорочення.

Це відносно новий метод, що отримав особливу популярність в останні десятиліття. Ще в 1884 році Н.Є. Введенський описав свій класичний досвід, при якому йому вдалося за допомогою телефонної трубки почути потенціали дії скелетних м'язів. У 1907 році було записано ці потенціали, використовуючи струнний гальванометр. З цього моменту починається розвиток методу реєстрації ЕМГ, який пізніше стає одним з найбільш цінних методів дослідження рухової функції людини в нормі та при патології. В даний час ЕМГ є важливим методом в неврології, хірургії ортопедії і протезуванні (рис. 12).

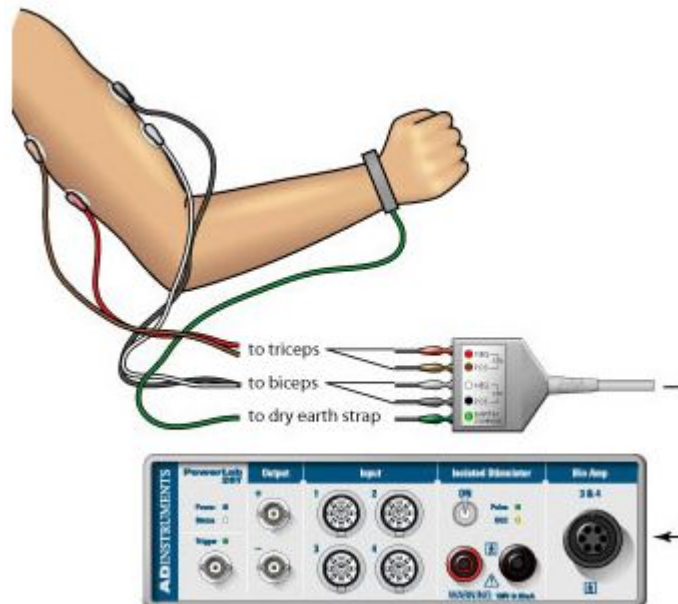


Рис. 12. Електроміографія як метод діагностики

Визначення електричної активності м'язів і нервів допомагає виявити захворювання, при яких відзначається патологія м'язової тканини (рис. 13), (наприклад, м'язова дистрофія) або нервової тканини (аміотрофічний бічний склероз або периферична нейропатія).

Процедура міографії проводиться в положенні хворого лежачи або сидячи в спеціальному кріслі, де він може розслабитися. Шкіра над тим місцем, де встановлюється електрод апарату, протирається особливим милом. Далі в м'яз вводиться голка електрода. Сам електрод підключається до електроміографу, який реєструє електричну активність м'яза. Спочатку реєструються потенціали м'язу, який знаходиться в спокої. Після цього лікар просить повільно скоротити м'яз. При цьому також проводиться реєстрація

електричних потенціалів м'яза. Сам електрод у ході процедури може вводитися в різні ділянки м'яза або в різні м'язи. Це залежить від цілей електроміографії. Сама електрична активність м'яза (м'язів) відображена у вигляді зубців і хвиль (на зразок електрокардіограми).

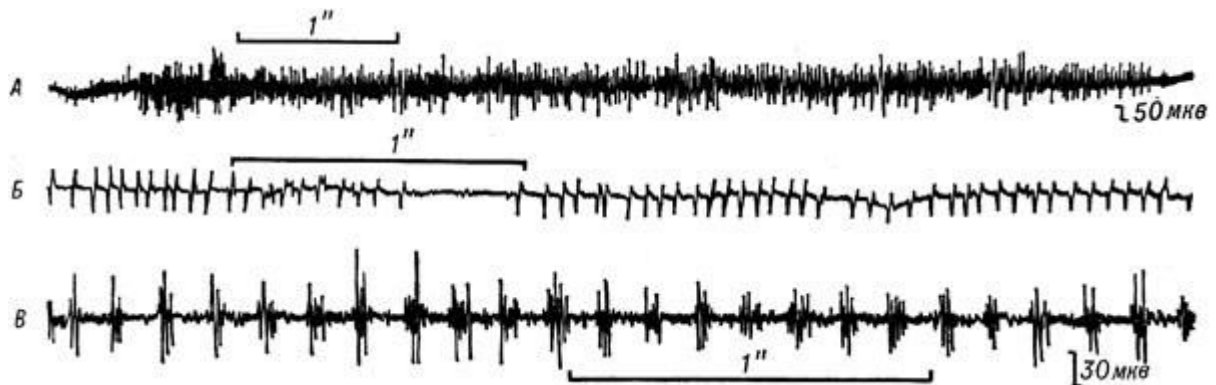


Рис. 13. Електроміограма при скороченні загальних розгиначів пальців:

А - в нормі; Б - при важкому парезі м'язів після поліомієліту; В - при паркінсонічному тремтінні і ригідності підвищеного тону

В залежності від засобу відведення біопотенціалів розрізняють *електроміограму (ЕМГ)* одного м'язового волокна та *інтерференційну ЕМГ (ІЕМГ)*. Для реєстрації першої мікроелектрод вживлюють у м'яз, і вона представляє собою графічне відображення потенціалів дії одного м'язового волокна.

Для реєстрації інтерференційної електроміограми використовують поверхневі електроди. ІЕМГ являє собою графічне відображення потенціалів дії багатьох м'язових волокон, їхню інтерференцію (алгебраїчну сумачію). Якщо потенціали дії відводяться за допомогою нашкірних електродів, то реєструється сумарна електроміограма. У цьому випадку реєструється електрична активність, яка відображає число активних в даний момент рухових одиниць, частоту коливань потенціалу в кожній з них і ступінь синхронізації виникаючого в них збудження. Чим вища ступінь синхронізації, тим більше амплітуда потенціалів дії і менша їхня частота. Десинхронізація проявляється у виникненні великого числа дрібних коливань при зменшенні кількості хвиль великої амплітуди. При субмаксимальних зусиллях амплітуда потенціалів дії наростає в міру стомлення, а їхня частота зменшується, що свідчить про наростаючу втоми. Під час максимальних навантажень на м'яз відзначається високий ступінь синхронізації, яка наприкінці утримання зусилля, при розвитку втоми, змінюється десинхронізацією, коли амплітуда потенціалів дії зменшується (рис. 14).

**Мета роботи:** оволодіти методикою реєстрації та аналізу електроміограми.

**Для роботи необхідно:** електроміограф, самописець, динамометр кистьовий.



**Хід роботи:**

1. Обробляють спиртом поверхню шкіри правого передпліччя, над м'язом, що досліджується (згинач пальців кисті);
2. На оброблене місце фіксують два активних електроди (відстань між ними 20 мм), а на інше передпліччя – індиферентний електрод;
3. Записують калібрувальний сигнал: 1 мм = 1 мВ.
4. Встановлюють на самописці швидкість руху діаграмної стрічки 50 мм/с і реєструють ІЕМГ: спочатку під час напруження м'яза середнього рівня; а потім – поступового збільшення напруження м'яза до максимально можливого значення;
5. Аналізують отриманий запис (рис. 15) і роблять висновки стосовно того, що являє собою ІЕМГ, та як вона змінюється під час поступового збільшення напруження м'яза.

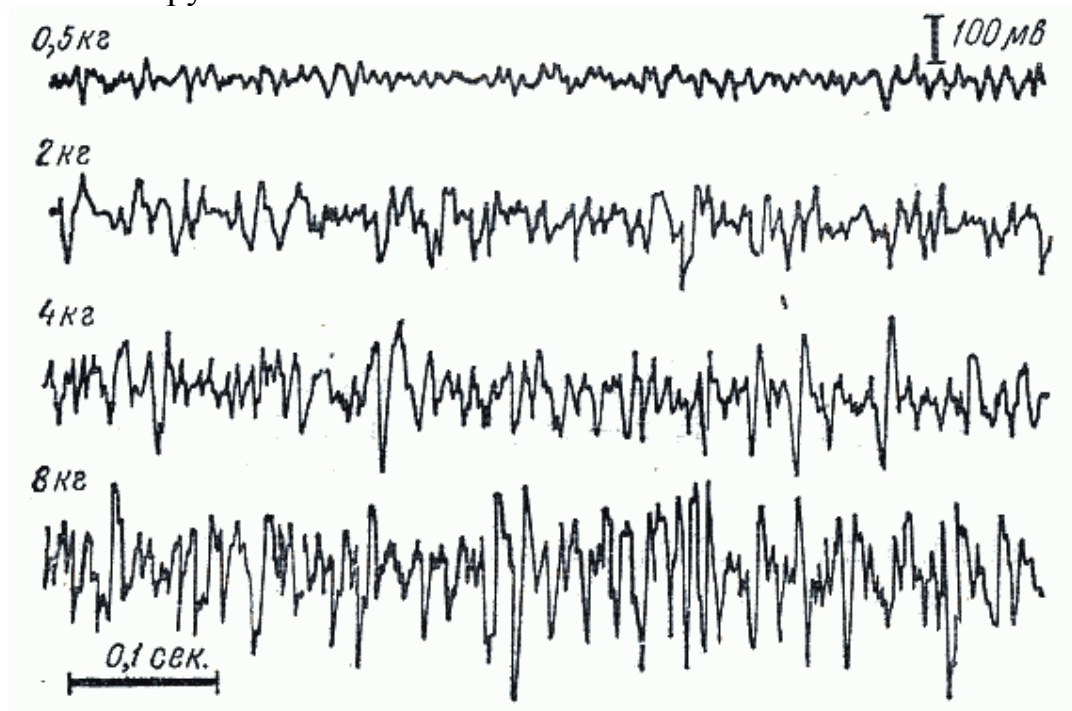


Рис. 14. Електроміограма скелетного м'яза людини під час різної сили м'язової тяги

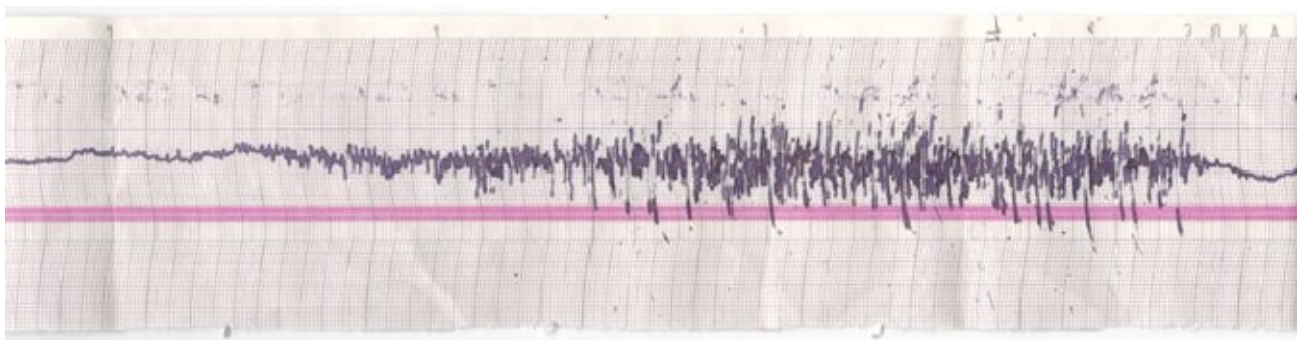


Рис. 15. Електроміограма, що зареєстрована під час поступового збільшення напруження м'яза

### **Аналіз отриманих даних**

1. ІЕМГ – це коливання електричних потенціалів різної амплітуди з частотою 45-50 Гц (Гц – коливання електричного потенціалу на сек.) Частоту 45-50 Гц має електромережа, отже дана частота є небезпечною.

2. Із збільшенням ступеня напруження м'яза спостерігається поступове збільшення середньої амплітуди ЕМГ. Це відбувається за рахунок збільшення числа м'язових волокон, крім того, це є наслідком поступового збільшення числа активних м'язових волокон.

### **Контрольні питання:**

1. Що є структурно-функціональною одиницею нервово-м'язового апарату?
2. Які існують типи рухових одиниць?
3. Прояв яких рухових якостей забезпечують малі-повільні та великі-швидкі рухові одиниці?
4. Що є скоротливим елементом посмугованого м'язового волокна?
5. Назвіть компоненти, що входять до складу саркоплазми.
6. Що являє собою саркоплазматичний ретикулум?
7. Які білки входять до складу товстих міофіламентів і які їм притаманні властивості?
8. Які білки входять до складу тонких міофіламентів і які їм притаманні властивості?
9. Яку функцію виконує комплекс тропоміозин-тропонін у розслабленому м'язі?
10. Яка речовина виконує роль медіатора під час нервово- м'язової передачі збудження?
11. Яка роль іонів  $Ca^{2+}$  у нервово-мязовій передачі збудження та механізмі м'язового скорочення?
12. Що є енергетичним донором, що забезпечує м'язове скорочення?
13. Які процеси спричиняють розслаблення м'яза?
14. Які процеси відображені на ЕМГ?
15. Чим відрізняється ЕМГ одного м'язового волокна від ІЕМГ?
16. З якою метою і де використовується електроміографія?

### **Лабораторна робота № 4**

#### **Реєстрація та аналіз механоміограми**

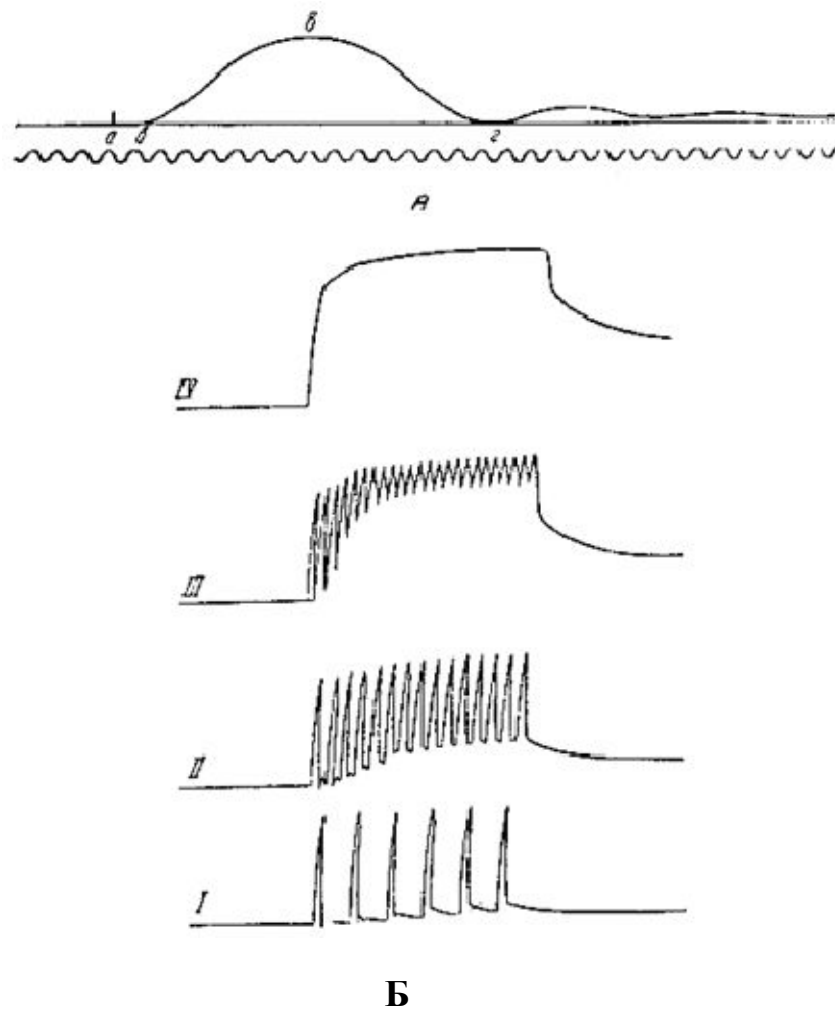
**Теоретичне обґрунтування.** Реалізація м'язового скорочення відбувається в залежності від частоти подразнення, величини зовнішнього навантаження та вихідної довжини м'язового волокна. В залежності від частоти подразнення (частоти імпульсації нервових імпульсів) скелетних (посмугованих) м'язів прийнято розрізняти поодинокі м'язове скорочення і тривале (сумарне) скорочення, або тетанус. Поодинокі скорочення можна

викликати тільки штучно в лабораторії на нервово-м'язовому препараті. Воно виникає у відповідь на поодинокі короточасні подразнення (один імпульс). На міограмі поодинокого м'язового скорочення (рис. 16А) розрізняють три періоди. Перший період – між моментом нанесення подразнення і початком скорочення м'яза (м'яз починає скорочуватися завжди через деякий час після подразнення) – називають періодом прихованого збудження, або латентним періодом (а – б, рис 16А). Для м'язів людини він вимірюється тисячними частками секунди. Потім настає другий період – період скорочення, або вкорочення м'яза (б – в, рис 16А), і за ним третій – період розслаблення м'яза (в – г, рис 8, А).

В цілому в організмі мають місце не поодинокі, а тривалі, або тетанічні скорочення скелетних м'язів (тетанус) (рис. 16Б). Тетанічні скорочення є результатом того, що в організмі подразнення до м'язів з центральної нервової системи по нервах надходять не у вигляді одноразових імпульсів, а слідує один за одним. Форма тривалого (тетанічного) скорочення залежить від частоти імпульсів. Якщо частота імпульсів менша тривалості поодинокого скорочення (0,1 с), то виникає серія поодиноких м'язових скорочень (рис. 16 Б, I). Якщо частота буде більша і наступний імпульс буде надходити в момент розслаблення м'яза, скорочення буде мати форму зубчастого тетанусу (рис. 16 Б, II і III). Під час подальшого зростання частоти імпульсів вони будуть надходити до м'яза у період укорочення м'яза. При цьому виникає гладкий тетанус, що характеризується безперервними скороченнями (рис. 16Б, IV). Частота імпульсів настільки велика, що нове збудження у м'язі виникає раніше, ніж закінчилося попереднє скорочення.

Збудливість м'язів протягом поодинокого скорочення змінюється. Так, в латентному періоді м'яз спочатку не збудливий (рефрактерна фаза), в періоді скорочення збудливість м'яза поступово зростає і досягає рівня вищого, ніж у стані спокою (фаза екзальтації), слідом за цим, в період розслаблення, збудливість м'яза падає. До періоду спокою збудливість м'яза повертається до початкового рівня.

Таким чином, форма та режим м'язового скорочення залежить від частоти імпульсів, а величина скорочення – як від сили, так і від частоти подразнень. Як встановив Н.Є. Введенський, існує найкращий, або оптимальний, ритм подразнень, при якому ступінь скорочення (висота тетанусу) буде найбільшою. Для різних скелетних м'язів людини оптимальний ритм коливається в межах від 50 до 100 імпульсів за секунду (оптимум Введенського). Під час подальшого збільшення частоти електричних імпульсів амплітуда скорочення м'язів зменшується (песимум Введенського). Це є наслідком того, що кожний новий імпульс надходить до м'яза спочатку в період відносної рефрактерності (поступове зменшення реакції м'яза), а потім під час періоду абсолютної рефрактерності клітинної мембрани і сумарний вплив не відбувається, в результаті чого реакція відсутня.



**Рис. 16. Режими скорочення скелетних м'язів:**

A - крива поодинокого м'язового скорочення: а - момент подразнення; б - початок скорочення; а, б - латентний період; б, в, г - крива скорочення м'яза; Б - різні види тетанусу.

I – поодинокі скорочення; II, III - зубчастий тетанус; IV - гладкий тетанус

У залежності від величини *зовнішнього навантаження* виділяють різні форми і типи м'язових скорочень (таблиця 1). Коли зовнішнє навантаження на м'яз менше, ніж його напруження, м'яз укорочується, що супроводжується рухом. Це *концентричний*, або *міометричний*, тип скорочення.

Якщо зовнішнє навантаження на м'яз більше, ніж його напруження, м'яз розтягується (подовжується). Це *ексцентричний*, або *пліометричний*, тип скорочення. Концентричний та ексцентричний типи скорочення, тобто скорочення під час якого змінюється довжина м'яза, належать до *динамічної форми скорочення*.

Тип скорочення м'яза, під час якого він розвиває напруження, але не змінює своєї довжини, називається *ізометричним*. Це *статична форма скорочення*. Вона виникає у двох випадках: коли зовнішнє навантаження однакове напруженню, що розвиває м'яз під час скорочення, або коли



зовнішнє навантаження перевищує напруження м'яза, але відсутні умови для розтягнення м'яза під впливом цього зовнішнього навантаження.

Таблиця 1. Форми і типи м'язового скорочень

Зовнішнє навантаження	Форма скорочення	Тип скорочення	Рух у суглобі	Зовнішня робота м'яза
Менше, ніж напруження м'яза	Динамічна	Концентричний, або міометричний	З прискоренням	Позитивна
Більше, ніж напруження м'яза	Динамічна	Ексцентричний, або пліометричний	З уповільненням	Від'ємна
Таке саме, як напруження м'яза	Статична	Ізометричний	Відсутній (фіксація суглоба)	Нульова

Скорочення м'яза може наступити за умови, якщо сила подразнення досягає певної величини. Найменша сила подразнення, що викликає найслабше скорочення м'яза, називається пороговим подразненням. Подразнення меншої сили, ніж порогове (воно не викликає скорочення м'яза), називається підпороговим, а подразнення більшої сили – надпороговим.

Ступінь скорочення м'язів до певної межі залежить від сили подразнення. Справа в тому, що м'язові волокна, що входять до складу кожного м'яза, мають різний ступінь збудливості: одні скорочуються у відповідь на меншу силу подразнення (висока збудливість), інші – у відповідь на велику (низька збудливість). Тому збільшення сили подразнення вище порогової до певної межі буде супроводжуватися підвищенням ступеня скорочення.

*М'язовий тонус.* М'язи в живому організмі ніколи, навіть при спокої, не бувають повністю розслабленими. Звичайний стан будь якого м'яза – стан деякої напруги, або тонусу. М'язовий тонус викликається не частими імпульсами, які надходять у м'язи з центральної нервової системи. Під час тонічних скорочень м'язів, на відміну від тетанічних, обмін речовин в них помітно не підвищений. Завдяки м'язовому тонусу підтримується стійкість і положення тіла.

На реалізацію м'язового скорочення впливає також *вихідна довжина м'язового волокна (саркомера)* (рис. 17). Найбільшу силу тяги м'яз розвиває коли його вихідна довжина відповідає довжині спокою. За таких умов є можливість утворення найбільшої кількості актино-міозинових містків. Поступове розтягнення м'яза супроводжується зменшенням кількості актино-міозинових містків та сили тяги м'яза.

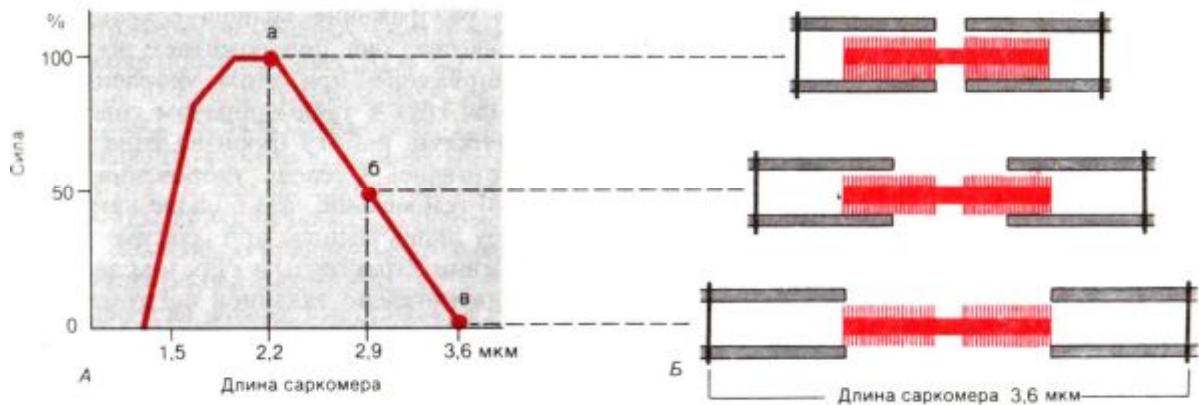


Рис. 17. Залежність сили тяги м'яза від вихідної довжини саркомера:

А – крива залежності «сила – довжина саркомера»; Б – взаємне розташування актинових та міозинових ниток міофібрили при різній довжині саркомера.

**Мета роботи:** оволодіти методикою реєстрації та аналізу електроміограми.

**Для роботи необхідно:** пальцевий ергограф (рис. 18), імпульсний стимулятор (хронаксиметр), фізіологічний розчин.

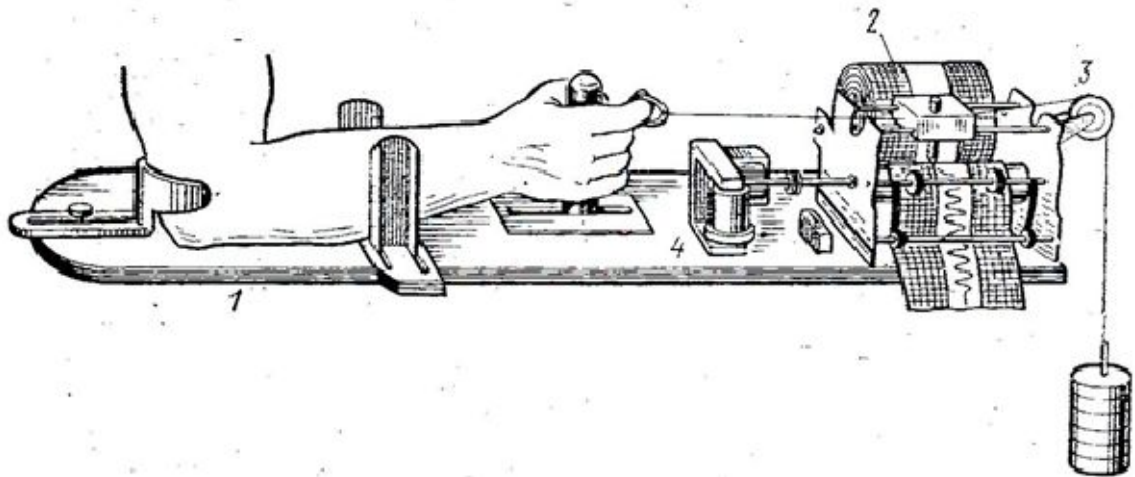


Рис. 18. Пристрій для запису роботи м'язів руки людини за допомогою ергографа:

1 – фіксатор руки обстежуваного, 2 – рулон діаграмної стрічки, 3- блок з тросом (для підвішування вантажу), 4 – мотор стрічкоприсувного механізму

### **Хід роботи.**

1. Досліджуваній сідас на стілець поруч зі столом, на якому встановлений ергограф. Праве його передпліччя закріплюють в ергографі

між опірною планкою, куди упирається лікоть, та вертикальною стійкою, яку охоплює кисть руки.

2. На вказівний палець надівають кільце, яке тонким тросом через каретку з олівцем і блоком з'єднане з вантажем.

3. На лівому передпліччі обстежуваного фіксують індіферентний (анод), а на правому, на м'язі згиначі пальців кисті, активний електрод (катод).

4. Експериментатор на хронаксимометрі, у режимі реобаза, встановлює надпорогову величину електричного струму (15 В) та частоту подразнення 1 Гц, вмикає стрічкоприсувний механізм ергографа і під час подразнення м'яза реєструє механоміограму.

5. Реєструють механоміограму під час ступінчастого збільшення частоти подразнення м'яза до 900 Гц (рис. 19).

6. Аналізують отримані дані і роблять висновки стосовно зареєстрованих режимів м'язового скорочення та оптимальної частоти подразнення.

### **Контрольні питання**

1. Які фактори впливають на реалізацію м'язового скорочення?
2. Поясніть залежність величини скорочення м'язу від сили подразнення.
3. Назвіть фази поодинокого скорочення, поясніть, які процеси відбуваються під час кожної з них.
4. Схарактеризуйте режими м'язового скорочення.
5. Назвіть форми і типи м'язового скорочення.
6. Як змінюється збудливість в процесі збудження м'язу?
7. Чому амплітуда суцільного тетанусу найбільша?
8. Чому амплітуда тетанічного скорочення залежить від частоти подразнення?
9. Як пояснити песимум та оптимум частоти?
10. Які відмінності в механізмах скорочення скелетного та гладкого м'язів?
11. Чим характеризується реакція м'яза на ступінчасте збільшення частоти його подразнення?
12. Яка причина зниження реакції м'яза на подразнення песимальними частотами?
13. Як впливає вихідна довжина м'яза на ефективність його скорочення?
14. Чи відбуваються процеси збудження і скорочення у скелетному м'язі одномоментно?
15. При яких умовах виникають тетанічні скорочення?
16. Які процеси відбуваються у м'язі під час латентного періоду?
17. Які види скорочення відбуваються у цілісному організмі?

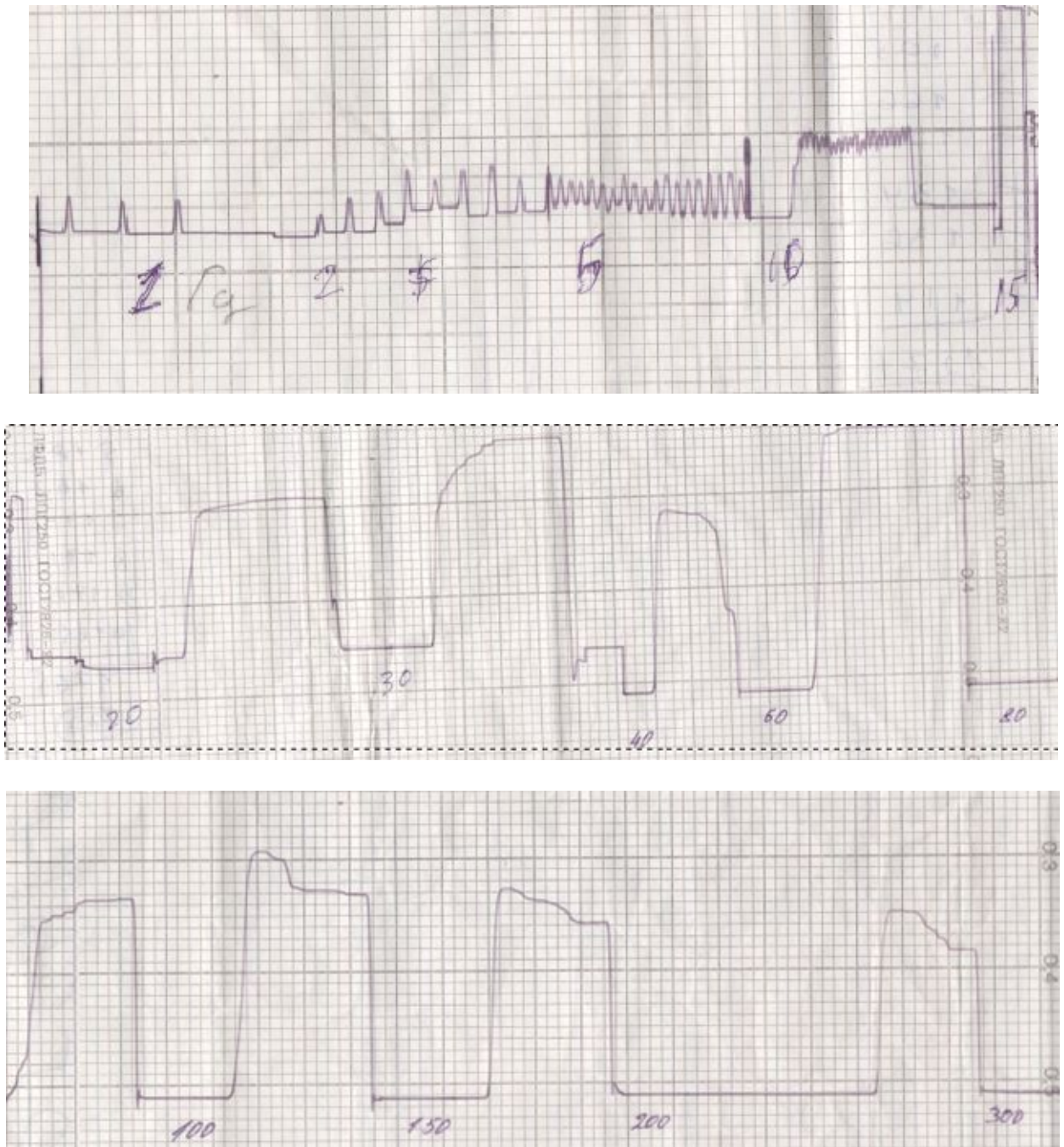


Рис. 19. Механоміограма, що зареєстрована за допомогою ергографа під час подразнення м'яза електричними імпульсами різної частоти

### 3.4 Фізіологічна характеристика сили

Сила – це здатність протидіяти зовнішньому опору. Визначають силу м'язів за максимальною напругою в ізометричному режимі за допомогою динамометрії або тензометрії.

Відомо, що сила перебуває в зворотній залежності від швидкості руху, тобто чим більше розвивається напруження м'язів, тим менша швидкість скорочення. На підставі цієї залежності усі силові вправи виконуються із зовнішнім навантаженням, близьким до ізометричної сили і з низькою

швидкістю м'язових скорочень (класичні вправи штангіста, силові елементи гімнаста тощо).

Вправи з високим опором 40-70 % від максимальної ізометричної сили й високою швидкістю м'язових скорочень називаються швидкісно-силовими (стрибки, метання).

Якщо зовнішній опір менший 40 % максимальної ізометричної сили й висока швидкість скорочення м'язів, то такі вправи називаються швидкісними (метання легких предметів, вправи на швидкість окремих рухів).

Для розвитку максимального ізометричного напруження необхідні такі фізіологічні умови:

- активізація всіх рухових одиниць;
- повний тетанус м'язового напруження;
- скорочення м'яза при вихідній довжині спокою.

Максимальна сила залежить від кількості волокон м'яза. Відношення максимальної сили ( $MC$ ) до анатомічного поперечника називається *відносною силою* ( $BC = 1 \text{ кг/1 см}^2$ ). *Анатомічний поперечник* – це перпендикулярний перетин м'яза. Але не всі м'язи мають паралельний хід волокон, і при анатомічному поперечнику перетин не проходить через усі м'язові волокна. Поперечний розріз усіх м'язових волокон становить площу перетину *фізіологічного поперечника*. Відношення  $MC$  до фізіологічного поперечника називається абсолютною силою.

У процесі життєдіяльності людина здійснює довільні (навмисні) й мимовільні (ненавмисні) рухи. Силу визначають при довільних вправах, і тому вона називається довільною ( $ДС$ ).  $ДС$  залежить від периферичних і центральних чинників. Периферичні, або м'язові чинники, охоплюють:

- механічні умови дії м'язової тяги (важіль і кут застосування сили до кістки);
- початкову довжину м'яза;
- фізіологічний поперечник;
- співвідношення швидких і повільних волокон.

До центральних чинників належать:

- внутрішньом'язова координація – показує залучення до імпульсації числа мотонейронів і їхню частоту;
- міжм'язова координація - характеризується адекватним залученням м'язів синергістів і вилученням м'язів-антагоністів.

Перелічені чинники показують складність управління силовими актами. Тому в природних умовах максимальна довільна сила ( $МДС$ ) менша за максимальну ( $MC$ ). Різниця між  $МДС$  і  $MC$  називається силовим дефіцитом. Максимальна сила визначається в лабораторних умовах подразненням нерва, який іннервує м'яз електричним струмом із частотою 50-100 імп/с. Зниження силового дефіциту досягається спеціальним тренуванням. Величина силового дефіциту залежить від таких чинників:

- психологічного настрою спортсмена;
- внутрішньом'язової координації;

➤ міжм'язової координації.

Характеризуючи психологічне налаштування, необхідно відзначити, що тільки створення певних умов (змагання, гіпноз, страх) може виявити надзвичайні силові показники.

Для розвитку м'язової сили важливе значення має морфологічний склад (співвідношення швидких і повільних волокон). Швидкі волокна мають більше міофібрил, і тому сила їхнього скорочення вища, ніж у повільних.

Для розвитку МДС застосовуються тренувальні вправи із зусиллями 70-95 % від максимальних. Це підвищує внутрішньом'язову (вводиться більше швидких рухових одиниць) і міжм'язову координацію й збільшує м'язову масу.

Збільшення фізіологічного поперечника відбувається за рахунок робочої гіпертрофії. Цей процес здійснюється не за рахунок м'язових волокон, які щойно утворилися, а за рахунок потовщення кожного м'язового волокна через підвищення їхньої трофіки.

Розрізняють два типи робочої гіпертрофії: *саркоплазматичну* й *міофібрилярну*. Саркоплазматична робоча гіпертрофія – характеризується потовщенням волокон за рахунок переважного збільшення об'єму саркоплазми (мітохондріальних білків, енергетичних субстратів – глікогену, креатинфосфату, міоглобіну, числа капілярів тощо) тобто не скорочувальної їхньої частини.

Найбільш схильні до цього типу гіпертрофії: повільні (I) та швидкі окислювальні (II-A) волокна. При цьому типі гіпертрофії значно зростає витривалість, але мало змінюється сила.

Міофібрилярна робоча гіпертрофія пов'язана зі збільшенням числа й об'єму міофібрил, тобто власне скорочувального апарату м'язових волокон, зростанням маси скоротливих білків актину й міозину. При цьому зростає щільність укладення міофібрил у м'язовому волокні. Така робоча гіпертрофія м'язових волокон веде до значного росту максимальної сили м'яза. Істотно збільшується й абсолютна сила м'яза. Найбільш схильними до гіпертрофії такого типу є швидкі (II-B) волокна.

### Лабораторна робота № 5

#### **Визначення максимальної довільної сили**

**Мета роботи:** визначити максимальну довільну силу за допомогою кистьової і станової динамометрії у спортсменів з різною масою тіла.

**Для роботи необхідно:** кистьовий і становий динамометри.

Студенти повинні знати фізіологічні механізми виявлення м'язової сили, вміти визначати кистьову й станову силу та аналізувати отримані результати.

**Хід роботи.**

Рівень розвитку фізичних якостей зумовлює збільшення спортивних досягнень. Оволодіння складними руховими діями (у спортивній гімнастиці,

акробатиці, легкоатлетичних метаннях і стрибках) неможливе без належного рівня швидкісно-силових якостей, сили, гнучкості та спеціальної витривалості. У практиці спорту розвиток фізичних якостей відбувається паралельно із формуванням елементів складнокоординованих рухів. Дуже важливо розвивати фізичні якості стосовно конкретного елемента техніки спортивних вправ (сила відштовхування, сила удару, сила у фінальному зусиллі в метаннях, силова витривалість та ін.).

Після попередньої легкої розминки досліджуваний по черзі робить триразове стискування кистьового динамометра лівою і правою рукою. Кращий результат заносять до протоколу.

Таблиця 2. Протокол реєстрації станової сили

П.І.П.	Спортивна Спеціалізація	Вага тіла	Станова сила		Кистьова сила	
			абсолютний показник	силовий показник	абсолютний показник	силовий показник

За допомогою станового динамометра визначають станову силу із трьох спроб. Кращий результат заносять до протоколу (табл. 2). Розраховують силовий показник за формулою:

$$СП = \text{Максимальна сила} / \text{вага тіла}.$$

На підставі отриманих результатів роблять висновки. Звертають увагу на відповідність максимальної довільної сили вазі тіла.

### 3.5. Фізіологічні основи швидкісно-силових якостей

Виконання вправ характеризується потужністю роботи, тобто оптимальним поєднанням сили й швидкості. Так, фінальна швидкість снаряда залежить від сили, прикладеної до снаряда, й швидкості розгону снаряда. Збільшення потужності (N) йде за рахунок підвищення сили або швидкості, або ж за рахунок обох компонентів. Для розвитку швидкісно-силових якостей важливо враховувати режим роботи м'язів. Ізометричний режим не розвиває швидко "вибухову силу". Під час динамічних вправах переборювального характеру "вибухова сила" розвивається меншою мірою, ніж у вправах поступального характеру. Це пояснюється тим, що зі збільшенням швидкості маси зростає ступінь напруження м'язів. Отже, знаючи режими, при яких м'язи розвивають найбільше напруження, можна цілеспрямовано впливати на розвиток якісних показників м'язів.

У швидкісно-силових вправах розвивається "вибухова сила". Показником "вибухової сили" є *градієнт сили*. Це – відношення МС до часу її досягнення. Градієнт сили вищий у спортсменів-спринтерів, стрибунів,



метальників. У виявленні "вибухової сили" відіграє роль морфологічна структура м'язів. Швидкі волокна більші у спортсменів швидкісно-силових видів спорту. Під час спеціального тренування ці волокна гіпертрофуються більше, ніж повільні, й становлять основну масу м'яза. Швидкі волокна скорочуються за 60 мс, а повільні – за 120 мс. При народженні всі м'язові волокна повільні. У перші місяці життя відбувається диференціювання. Одні волокна стають швидкими, а інші – повільними. У цьому велику роль відіграють спадкові чинники.

Важливою фізичною якістю в досягненні результатів у багатьох видах спорту є швидкість. Вона складається з таких компонентів: латентного періоду рухової реакції, швидкості одиночного руху й частоти руху за одиницю часу.

Так, у спринті більшою мірою виявляється латентний період рухової реакції і частота рухів за одиницю часу. У єдиноборстві важлива швидкість реакції та швидкість одиночного руху тощо.

У тренуванні треба застосовувати вправи зі швидкістю, яка дорівнює або перевищує змагальну. Для цього застосовуються полегшувальні й ускладнювальні умови.

Енергетичне забезпечення при силових і швидкісно-силових вправах здійснюється в анаеробних умовах. Використовувані тренувальні вправи характеризуються максимальною анаеробною потужністю і максимальною анаеробною ємністю.

Максимальна потужність виконання вправ в анаеробному режимі може підтримуватися декілька секунд. Робота при цьому здійснюється за рахунок АТФ і креатиносфату. Отже, їхній запас і швидкість утилізації визначає максимальну анаеробну потужність (МАП). МАП можна визначити в спринті й стрибках. Для її визначення пропонується ознайомитися з "тестом Маргарія". Досліджуваний перебуває на відстані 6 м від сходів. Пробігає 9 сходинок, наступаючи на кожну, "з ходу", час фіксується з 4-ї по 9-ту сходинку.

$$\text{МАП} = \frac{A}{C},$$

Де, А – вага тіла × на висоту 6 сходинок, кг/м;

С – час пробігання 6 сходинок, с.

Для прикладу наводяться показники МАП в кг/м (табл. 3).

Максимальна анаеробна ємність характеризується величиною кисневого боргу. Його величина становить: у чоловіків – 10,5 л, у жінок – 5,9 л. У нетренованих людей відповідно – 5 л і 3,1 л. У видатних бігунів на 400 м і 800 м величина максимального кисневого боргу перевищує 20 л. Фізіологічний механізм полягає в наступному. У бігунів на ці дистанції кількість швидких волокон більша, ніж повільних, що сприяє високому рівню гліколітичного обміну.

Максимальну анаеробну ємність визначають фосфогенні та лактаційні



компоненти. У нетренованих людей максимальна ємність лактаційного компонента становить 120 мг%, а у спортсменів досягає більше 300 мг%, Тому спортсмени можуть розвивати велику потужність роботи й підтримувати її тривалий час. При такій потужності роботи відбувається переведення на волокна з гліколітичним механізмом енергозабезпечення. Ці волокна у спортсменів таких видів спорту більші.

Таблиця 3. Вікові показники максимально анаеробної потужності

Якість МАП	Вік	
	15-20	20-30
<i>Чоловіки</i>		
погана	менша 113	менша 106
середня	150-187	140-175
добра	188-224	176-210
відмінна	більша 224	більша 210
<i>Жінки</i>		
погана	менша 92	менша 85
середня	121-151	112-140
добра	152-182	141-168
відмінна	більша 182	більша 168

Постійні тренування в такому режимі розвивають механізми "витримувати" ці умови.

У спортсменів, що займаються видами із переважним виявленням швидкісної витривалості, вміст АТФ і креатинфосфату на 30 % вищий, ніж у інших. Велике значення в енергозабезпеченні мають фермент міокіназа й креатинфосфокіназа, які забезпечують швидкість розщеплювання і ресинтезу АТФ, АДФ, АМФ, креатинфосфату. Застосування повторних інтервальних вправ анаеробної потужності підвищує механізм адаптації організму до накопичення молочної кислоти.

### Лабораторна робота № 6

#### **Визначення швидкісно-силових можливостей**

**Мета роботи:** визначити «вибухову» силу відштовхування при стрибанні вгору з місця й силу удару руки.

**Для роботи необхідно:** тензодинамометричний прилад.

Студенти повинні знати фізіологічні механізми виявленні швидкісно-силових можливостей, уміти визначати швидкісно-силові показники, обчислювати градієнт сили, аналізувати отримані результати.

**Хід роботи.**

Тензодинамометричний прилад дає можливість точно реєструвати силові показники й час застосування зусилля. Спочатку фіксують кращий показник «вибухової» сили і час її досягнення при максимальному підстрибуванні з місця вгору. У протокол (табл. 4) заносять кращу із трьох спроб. Аналогічним способом визначають "вибухову" силу й час удару правою і лівою рукою.

Таблиця 4. Протокол реєстрації кращої із трьох спроб

П.І.П.	Спеціалізація	Стрибання вгору			Удари рукою					
					ліва			права		
		сила	час	град. сили	сила	час	град. сили	сила	час	град. сили

Обчисленням відношення максимальної сили до часу її застосування визначають градієнт сили, який є показником "вибухової" сили:

Де, G - градієнт сили;

$$G = F_{\max}$$

t - сек

F max - максимальна сила, кг; t - час, с.

На основі отриманих результатів зробити висновки.

### Лабораторна робота № 7

#### **Визначення латентного періоду рухової реакції (ЛП), швидкість одноразового руху (ШОР) і максимальний темп руху (МТР)**

**Мета роботи:** за допомогою електросекундоміра визначити латентний період рухової реакції (ЛП), швидкість одноразового руху (ШОР) і максимальний темп руху (МТР).

**Для роботи необхідно:** електросекундомір.

Студенти повинні знати фактори, які визначають швидкісні можливості, вміти визначати зазначені показники та обчислювати коефіцієнт варіації.

#### **Хід роботи.**

Досліджуваний поміщає руку на панель, яка замикає ланцюг із електросекундоміром. Експериментатор умикає секундомір і дає звуковий сигнал, за яким досліджуваний повинен розімкнути ланцюг і зупинити секундомір. Виконуються три спроби й потім десять залікових. Обчислюють середній показник і коефіцієнт варіації:

$$k = X_{\max} - X_{\min} \times 100$$

де K - коефіцієнт варіації;

X max - найбільша величина шт; X min - найменша величина;

X - сума 10 реакцій.

Визначення швидкості одноразового руху (ШОР) виконується на двох спарених секундомірах. Досліджуваний поміщає руку на панель першого секундоміра й запускає обидва секундоміри. За сигналом він повинен натиснути рукою панель другого секундоміра й зупинити обидва секундоміри. Обчислюють середню із 10 спроб і коефіцієнт варіації.

Максимальний темп рухів (МТР) визначають за допомогою електролічильника або ж за "Темпінг-тестом". Досліджуваний за сигналом протягом 10 с відтворює максимальний темп руху, замикаючи телеграфний ключ або ставлячи точки в квадраті. Виконуються три спроби, краща з яких заноситься до протоколу (табл. 5).

Таблиця 5. Протокол реєстрації максимального темпу рухів

П.І.П.	Спортивна спеціалізація	ЛП		Швидкість Одноразового руху		Максимальний темп рухів
		X середня	КВ	X середня	КВ	

За результатами трьох складових швидкості зробити висновки про перевагу однієї з них, яка специфічна для певного виду спорту.

### Лабораторна робота № 8

#### **Визначення швидкості силової витривалості**

**Мета роботи:** дослідити максимальну кількість ударів та їхню силу за 1 хвилину за допомогою тензодинамографічної платформи.

**Для роботи необхідно:** тензодинамографічна установка, секундомір.

Студенти повинні знати механізми підтримки анаеробної працездатності, вміти обробляти тензодинамограми та аналізувати отримані результати.

#### ***Хід роботи.***

Досліджуваний перебуває на зручній відстані від тензоплатформи для виконання ударів. За сигналом він повинен наносити по платформі максимальну кількість ударів з максимальною силою протягом 1 хвилини. За показаннями тензодинамограми обчислюють силу кожного удару. На підставі отриманих даних будують графік швидкісно-силової витривалості, обчислюють витривалість у відсотках і роблять висновки.

## Лабораторна робота 9

### Реєстрація та аналіз ергограми

**Теоретичне обґрунтування.** Зовнішню механічну роботу м'яз виконує розвиваючи напруження та скорочуючись. При цьому він витрачає певну кількість енергії. Загальні витрати енергії (E) під час роботи дорівнюють витратам енергії, що були використані на корисну механічну роботу (W) і на утворення тепла (H) –  $E = W + H$ . Яка ж частина енергії спрямовується на виконання механічної роботи, а яка втрачається у вигляді тепла? Про це можна говорити за величиною коефіцієнта корисної дії (ККД). Під ККД розуміють відношення величини виконаної зовнішньої роботи (в калоріях) до загальних витрат енергії, витраченої на цю роботу:  $ККД = (W / E) \times 100\%$ .

ККД може становити у людини 25-30 %. Це говорить про те, що лише четверта або третя частина всіх енерговитрат м'яза використовується на виконання механічної роботи, а решта  $\frac{3}{4}$  або  $\frac{2}{3}$  витраченої енергії втрачається у вигляді тепла.

При фізичній роботі ККД може змінюватися в залежності від величини навантаження і швидкості м'язового укорочення.

У межах цього (25-30 %) ККД кожна механічна робота може виконуватися з більшою або меншою економічністю. За кращої економічності рухів витрати механічної енергії більш раціональні і використовуються переважно на виконання конкретної роботи. Економічність енерговитрат у спорті пов'язана з раціональною технікою, виявленням якої є досконалою координація рухів. Координація рухів залежить як від спадкових факторів так і може вдосконалюватися в ході тренування. В залежності від спадкових особливостей нервової системи, будови тіла і т.д. у людини може бути розвиненою здібність до координації рухів у конкретному виді спорту. Наприклад, у двох бігунів, які мають однакові енерговитрати при бігові, можуть бути різні енерговитрати при пересуванні на лижах або ковзанах за однакового рівня підготовки. Тому при відборі та контролі за спортсменами доцільно враховувати і фактор економічності спеціальної роботи. Для цього визначають коефіцієнт економічності енерговитрат.

Фізична робота характеризується кількістю м'язів, що задіяні в ній, динамікою їхнього скорочення та розслаблення, силою та тривалістю м'язової роботи. Робота м'язів вимірюється добутком маси піднятого вантажу на висоту його підйому.

Методика, що дозволяє отримати графічний запис виконуваної фізичної роботи, називається *ергографією*, прилад для запису – *ергограф*, а сам запис – *ергограма*.

**Мета роботи:** за допомогою ергографа визначити фізичну роботу м'язів.

**Для роботи необхідно:** ергограф, набір вантажів (0,5, 1, 3 кг).

**Хід роботи.**

1. Досліджуваний розміщується поруч з ергографом.

2. Передпліччя досліджуваного закріплюють в ергографі між опорною планкою, куди опирається лікоть, та вертикальною стійкою, яка охоплює кисть руки. Вертикальні стійки обмежують з двох сторін бокові рухи передпліччя.

3. На вказівний палець надівають кільце, яке тонким тросом через каретку з самописцем й блоком зв'язано з вантажем.

4. Самописець записує ергограму на стрічці паперу, що рухається з певною швидкістю.

5. Виконують перше завдання «Залежність роботи від маси вантажу»:

➤ до тросу ергографа, що перекинутий через блок, підвішують вантаж масою від 1,5 до 3 кг;

➤ вмикають метроном з частотою 60 сигналів/хвилину і рекомендують досліджуваному піднімати вантаж (згинати й розгинати вказівний палець у ритмі метронома, зберігаючи максимальну амплітуду рухів);

➤ роботу виконують до повного стомлення, тобто до моменту, коли м'язи пальців припинять скорочуватися;

за формулою :

$$A = P \times h \quad (1)$$

розраховують величину роботи  $A$  у джоулях (де,  $P$  – маса вантажу,  $h$  – сумарна висота підйому, що розраховується за ергограмою).

6. Виконують друге завдання «Залежність роботи від частоти м'язових скорочень»:

➤ при частоті 60 рухів/хвилину досліджуваній піднімає вантаж масою 1 кг;

➤ після 10 хвилинної перерви дослід повторюють з частотою підйому вантажу 120 рухів/ хвилину;

За формулою **1** розраховують величину роботи у джоулях.

7. Результати досліджень заносять у таблицю.

Таблиця 6. Залежність роботи від маси вантажу та від частоти м'язових скорочень

Вид роботи	Маса вантажу $P$ , кг	Сумарна висота підйому $h$ , м	Робота $A$ , Дж	Час роботи, хв
Залежність роботи від маси вантажу				
Залежність роботи від частоти м'язових скорочень				

8. Роблять висновки стосовно результатів виконання кожного з завдань.

### Контрольні питання

1. Схарактеризуйте роль скелетних м'язів в роботі опорно-рухового апарату.
2. Надайте характеристику фізичним властивостям м'язів та їх функціональне значення.
3. Надайте характеристику природі і біологічному значенні м'язового тону.
4. Які Ви знаєте види трудової діяльності людини?
5. Які є фактори, що визначають ступінь укорочення і напруження скелетних м'язів?
6. Які є види скорочень скелетних м'язів в залежності від режиму навантажень і подразнень?
7. Максимальна і абсолютна сила м'яза.
8. Назвіть основні принципи ергографії.

## Рекомендована література

### *Базова*

1. Кучеров, І.С. Ф. Фізіологія людини / І.С. Кучеров., М.Н. Шабатура, І.М. Давиденко. – К. : Вища школа, 1981. – 406 с.
2. Ровний, А.С. Фізіологія спорту : навч. посіб. / А.С. Ровний, В.С. Язловкцький . Третє видання. Кіровоград : РВВ КДПУ імені Володимира Вінниченка, 2011. – 124 с.
3. Ровний, А.С. Фізіологія рухової активності : підручник / А.С. Ровний, В.А. Ровний, О.О. Ровна. – Х. , 2014. – 344 с.
4. Солодков, А.С. Физиология человека. Общая. Спортивная. Возрастная. : Уч. / А.С. Солодков, Е.Б. Сологуб. – М. : Terra-Спорт, Олимпия-Пресс, 2001. – 520 с.
5. Чайченко Г. М. та ін. Фізіологія людини і тварин: Підручник. – К.: Вища школа, 2003. – 463 с.
6. Плахтій, П. Фізіологія людини. Обмін речовин і енергозабезпечення м'язової діяльності : навчальний посібник / П. Плахтій. –К. : ВД “Професіонал”, 2006. – 464с.
7. Плахтій, П. Фізіологія людини. Нейрогуморальна регуляція функцій : навчальний посібник / П. Плахтій., О. Кучерук. – К. : ВД “Професіонал”, 2006.–33 с.
8. Хорошуха, М.Ф. Функціональна діагностика : навч. посіб для студ. вищ. навч. закл. / М.Ф. Хорошуха, В.П. Мурза, М.П. Пушкар. – К. : Університет “Україна”, 2007. – 308 с.
9. Физиология мышечной деятельности : учебн. для ин-тов физ. культ. ; под ред. Я. М. Коца – М. – : Физкультура и спорт, 1982. – 347 с.
10. Филимонов, В.И. Физиология человека : учебник / В.И. Филимонов. – К. : Медицина, 2008. – 816 с.

### *Допоміжна*

1. Булич, Э. Г. Здоровье человека : Биологическая основа жизнедеятельности и двигательная активность в ее стимуляции / Э. Г. Булич, И.В. Муранов – К. : Олимпийская литература, 2003. – 424 с.
2. Ганонг, Вільям Ф. Фізіологія людини : підручник / переклад з англ. наук. ред. перекладу М. Гжегоцький, В. Шевчук, О. Заячківська. – Львів : БАК, 2002 .– 784 с.
3. Дубровский, В.И. Спортивная физиология : учебник для сред. и высш. учеб. заведений по физ. культуре. / В.И. Дубровский – М. : Гуманитар. изд. центр ВЛАДОС, 2005. – 462 с.

## **Навчальне видання**

### **Укладачі:**

Іонов Ігор Анатолійович  
Слюсарев Володимир Федорович  
Комісова Тетяна Євгеніївна  
Шаповалов Сергій Олегович

## **ФІЗІОЛОГІЯ ЗБУДЛИВИХ КЛІТИН**

**Методичні рекомендації  
для студентів вищих навчальних закладів  
до лабораторних занять з курсу  
«Фізіологія людини»  
Частина 1. Фізіологія збудливих клітин**

**Відповідальний за випуск: Іонов І.А.**

**Комп'ютерна верстка: Іонов І.А.**

**Коректор: Коваленко Л.П.**