



Введення в курс фізіології. Збудливі тканини. Біопотенціали. Фізіологія м'язової тканини.

Підготувала: проф. Тетяна
Запорожець



ВИЗНАЧЕННЯ

- **Збудливість** визначається як реакція або відповідь тканини на подразнення або стимуляцію. Це фізико-хімічні зміни. М'яз може збуджуватися як прямим, так і непрямим (через його нерв) подразненням.
- **Лабільність** — функціональна рухливість тканин. Це граничний ритм імпульсів, які збудлива тканина здатна давати протягом хвилини. Максимальною лабільністю володіє нервова тканина.
- **Рефрактерність** - стан незбудливості.



Специфічними ознаками збудження є :

- 1) м'язове скорочення;
- 2) проведення нервових імпульсів;
- 3) виділення секрету.

Неспецифічні ознаки збудження:

фізико-хімічні та біохімічні реакції.

Подразники діляться на групи :

1. За енергетичною природою:

Фізичні:

а) Механічний подразник (щипання)

б) Електричний стимул (ураження електричним струмом)

с) Термічний стимул (шляхом застосування нагрітої скляної палички або дроту);

Хімічні – кислоти, луги і так далі;

Фізико-хімічні - онкотичний і осмотичний тиск.

Біологічні – гормони, вітаміни, медіатори.

Соціальний – слово.

2. За силою – підсвідомі, порогові (лімінальні), надлімінальні.

3. За біологічною роллю – адекватні та неадекватні.

4. За дальністю дії – контактні та дистанційні.

ЯКОСТІ СТИМУЛУ

Для збудження тканини подразник повинен мати дві ознаки, а саме:

- інтенсивність або сила;
- тривалість

Інтенсивність стимулу

Інтенсивність подразника буває п'яти типів:

1. Субмінімальний стимул – менше порогового стимулу.
2. Мінімальний подразник – подразник, сила (або напруга) якого достатня для збудження тканини, називається пороговим або лімінальним, або мінімальним подразником.
3. Субмаксимальний подразник.
4. Максимальний стимул – реакція, що дає максимальну відповідь.
5. Надмаксимальний стимул – реакція гальмування дає відповідь (песимум сили).

Закони збудження

I. Закон сили подразнення

Чим сильніше роздратування, тим більше реакція у відповідь (але лише до певних меж).

Цей закон обмежений, з одного боку, пороговою силою, а з іншого – песимумом сили.

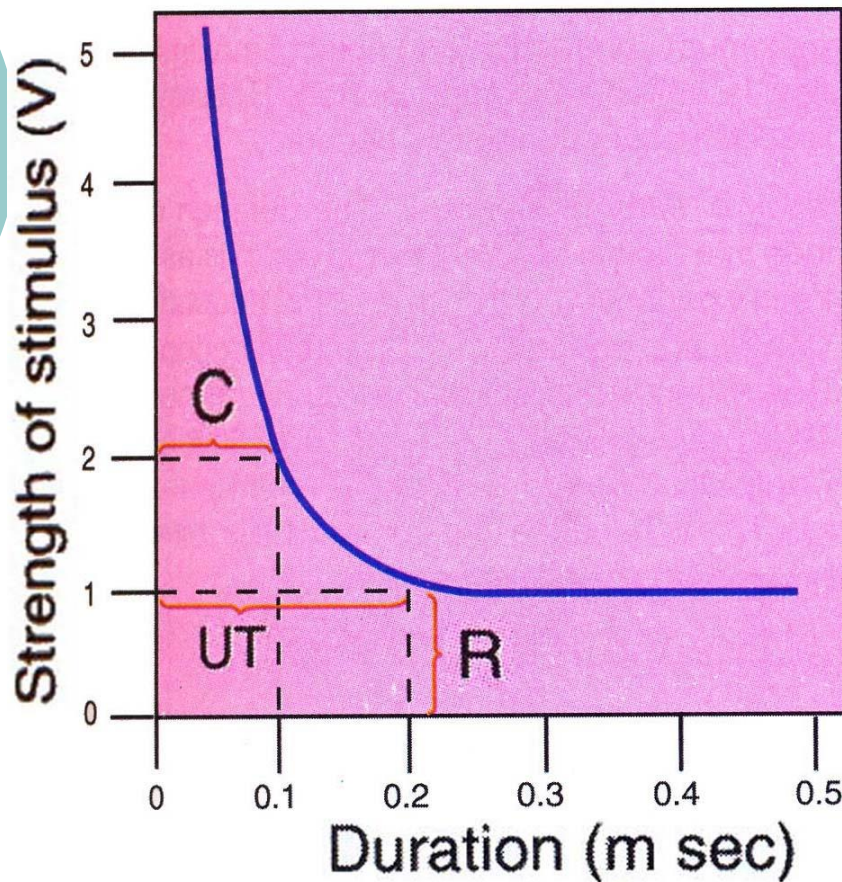
II. Закон «все або нічого»

Збудлива тканина не відповідає на підпорогові подразники і дає максимальну реакцію на порогові подразники.

III. Закон сили - тривалості

Тривалість подразника для збудження тканини залежить від сили подразника. Для слабкого подразника тривалість має бути довшою, а для більш сильного подразника тривалість коротка.

КРИВА ЗБУДЛИВОСТІ АБО КРИВА СИЛА-ТРИВАЛІСТЬ



Крива тривалості
міцності.

R = реобаз.

UT = час
використання.

C = Хронаксія.

Крива збудливості демонструє точне співвідношення між силою і тривалістю подразника. Тому її також називають кривою міцність-тривалість.

Характерні ознаки кривої

- 1. Реобаза:** це найменша можлива, тобто (мінімальна) сила (напруга) стимулу, який може збудити тканину.
- 2. Час використання:** це мінімальний час, необхідний для реобазичної сили (порогова сила) для збудження тканини.
- 3. Хронаксія:** це мінімальний час, за який подразник з подвійною реобазичною силою (напругою) може збудити тканину.

Характерні ознаки кривої

Важливість хронаксії

Величина хронаксії використовується для порівняння збудливості в різних тканинах. Вимірювання хронаксії визначає збудливість тканини. Чим довша хронаксія, тим менша збудливість. Хронаксія в скелетних м'язах людини коливається від 0,08 мілісекунд до 0,32 мілісекунд. У скелетних м'язах жаби це приблизно 3 мілісекунди.

У скелетних м'язах немовлят хронаксія в 10 разів більше, ніж у скелетних м'язах дорослих. У паралізованих м'язах він довший, ніж у нормального м'яза. А при прогресуючих захворюваннях нервової системи хронаксія подовжується поступово.

Хронаксія вкорочується при підвищенні температури і подовжується при холоді. Хронаксія в червоних м'язах коротша, ніж у білих.

ЕЛЕКТРИЧНІ ЗМІНИ ПІД ЧАС М'ЯЗОВОГО СКОРОЧЕННЯ

I. МЕМБРАННИЙ ПОТЕНЦІАЛ СПОКОЮ

Різниця потенціалів між внутрішнім і зовнішнім простором клітини в стані спокою відома як мембранний потенціал спокою. Всередині м'язового волокна є негатив по відношенню до зовнішнього. Ця різниця потенціалів постійна і називається мембранним потенціалом спокою.

II. ПОТЕНЦІАЛ ДІЇ

Коли м'яз стимулюється, відбувається ряд змін мембранного потенціалу, який називається потенціалом дії.

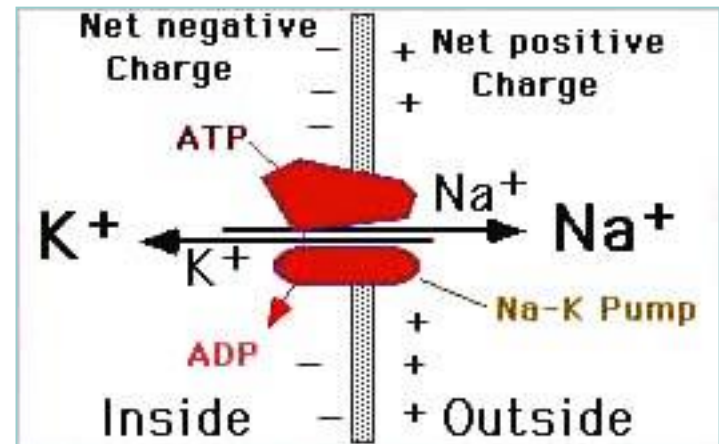
ЕЛЕКТРИЧНІ ЗМІНИ ПІД ЧАС М'ЯЗОВОГО СКОРОЧЕННЯ

I. МЕМБРАННИЙ ПОТЕНЦІАЛ СПОКОЮ

Різниця потенціалів між внутрішнім і зовнішнім простором клітини в стані спокою відома як мембранний потенціал спокою. Всередині м'язового волокна є негатив по відношенню до зовнішнього. Ця різниця потенціалів постійна і називається мембранним потенціалом спокою.

У нервових волокнах людини мембранний потенціал спокою становить -70 мВ.

У скелетних м'язах людини мембранний потенціал спокою становить -90 мВ.

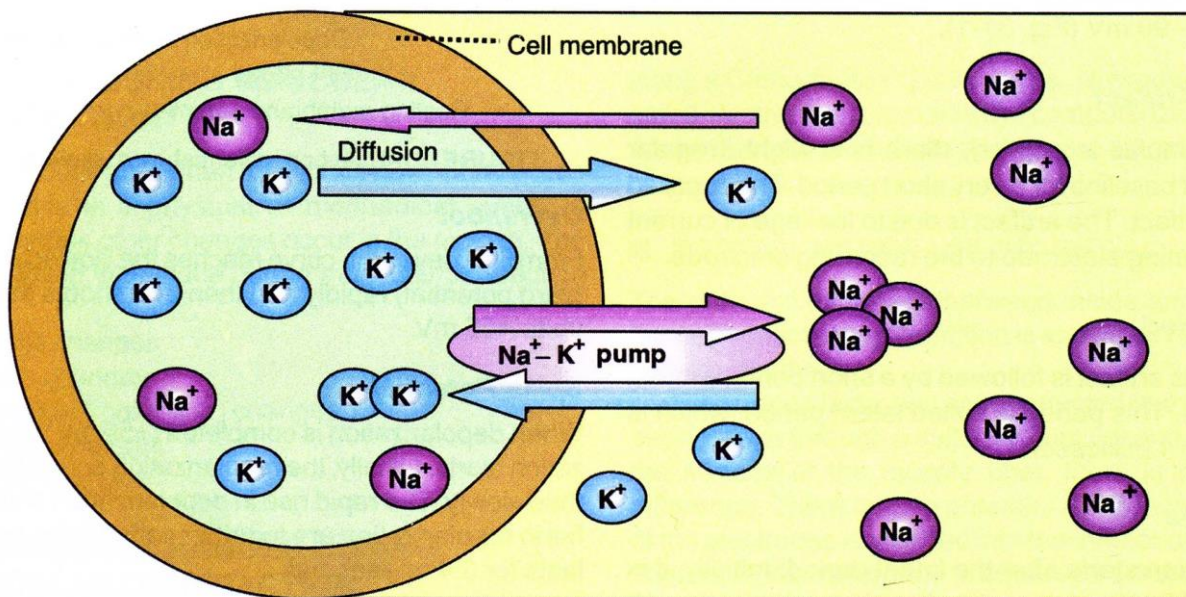


ІОННА ОСНОВА ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОДІЙ

Потенціал мембрани спокою – позитивність зовні та більше негативності всередині клітини.

Іонний дисбаланс спричинений головним чином двома транспортними механізмами в клітинній мембрані.

1. Натрій-калієвий насос і
2. Вибіркова проникність клітинної мембрани.

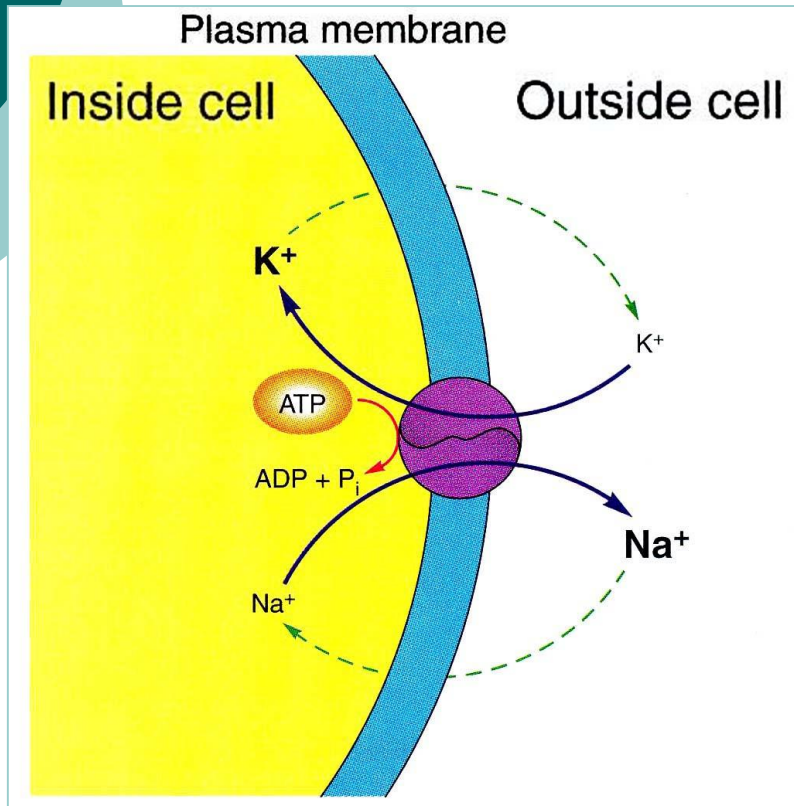


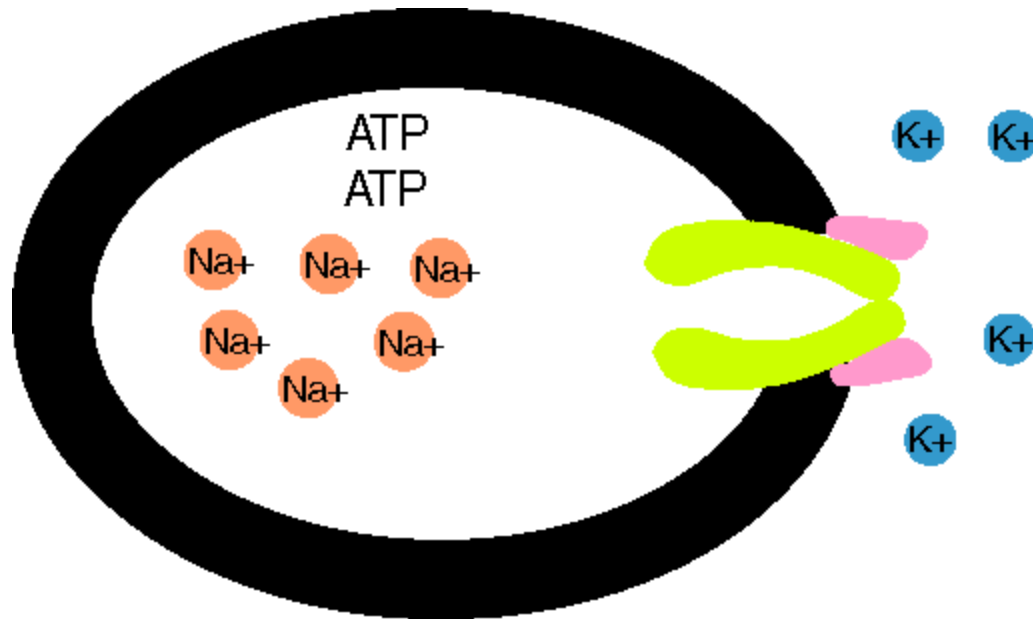
ІОННА ОСНОВА ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОДІЙ

1. Натрій-калієвий насос.

Це переміщення **трьох іонів натрію** з клітини та **двох іонів калію** в середині клітини за допомогою енергії АТФ. Це призводить до негативу в середині та позитиву поза клітиною.

Розвиток мембранного потенціалу спокою за допомогою натрій-калієвого (Na^+/K^+) насоса та дифузії іонів. Na^+/K^+ насос активно викачує три іони Na^+ і два K^+ у клітині. Однак дифузія K^+ з клітинами у багатьох разів перевищує дифузію іонів Na^+ у клітинах, позаду багатьох каналів витоку K^+ відкриті, а багато каналів витоку Na^+ закриті.





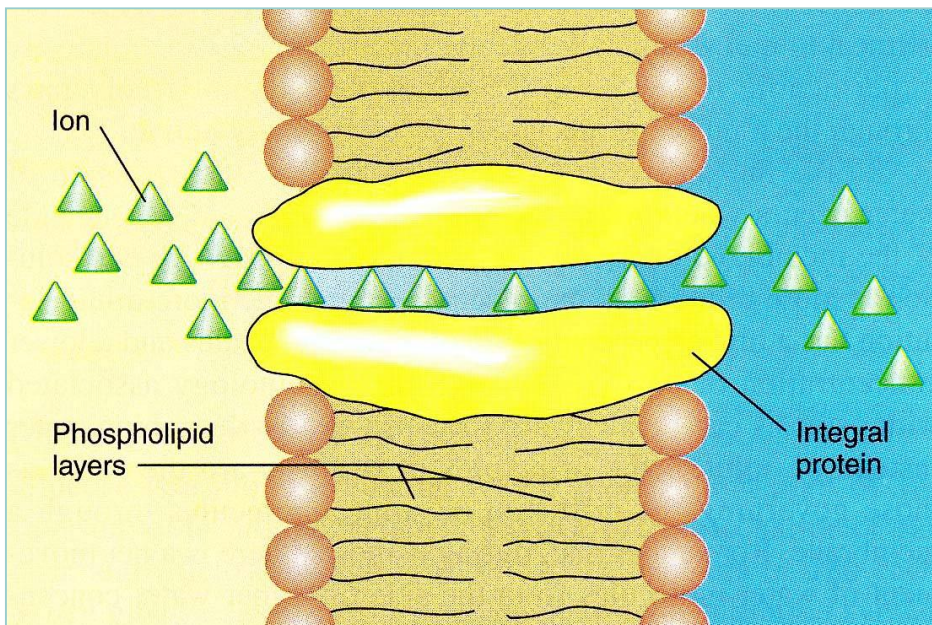
Натрій-калієвий насос (Na⁺-K⁺ АТФ-аза) підтримує градієнти концентрації як натрію (вище поза клітиною), так і калію (вище всередині клітини).

ІОННА ОСНОВА ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОДІЙ

2. Вибіркова проникність клітинної мембрани

Іонів натрію (Na^+) і хлориду (Cl^-) більше зовні, а іонів калію (K^+) більше всередині.

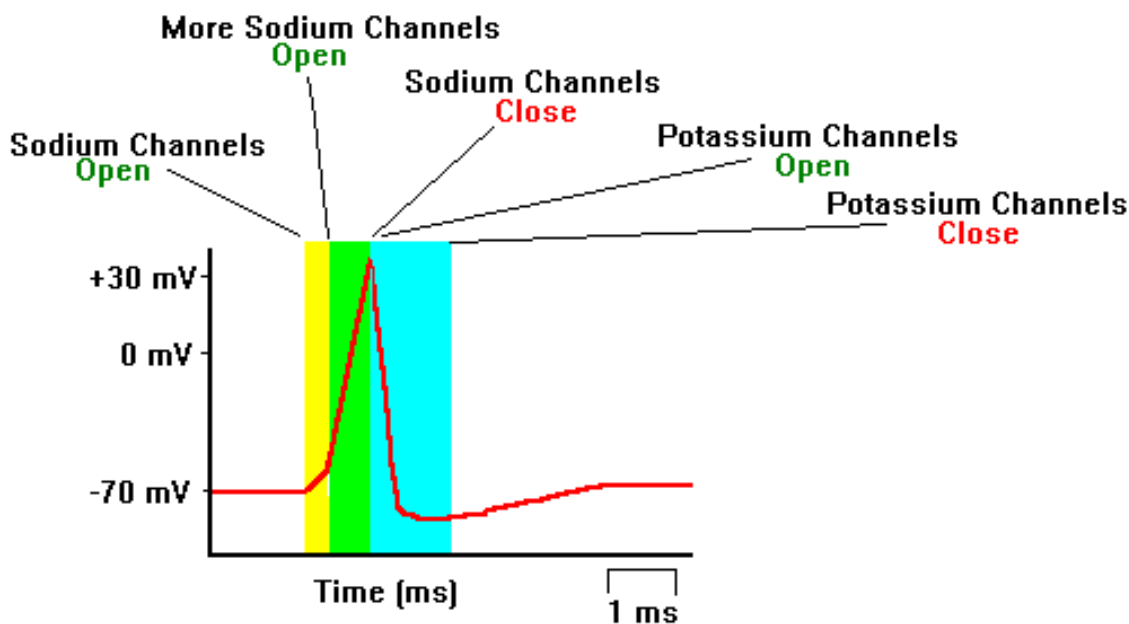
Неорганічні іони (такі як Na^+ і K^+) здатні проникати через пори в інтегральних білках, які охоплюють товщину подвійних фосфоліпідних шарів.



Іонів натрію (Na^+) і хлориду (Cl^-) більше зовні, а іонів калію (K^+) більше в середині.

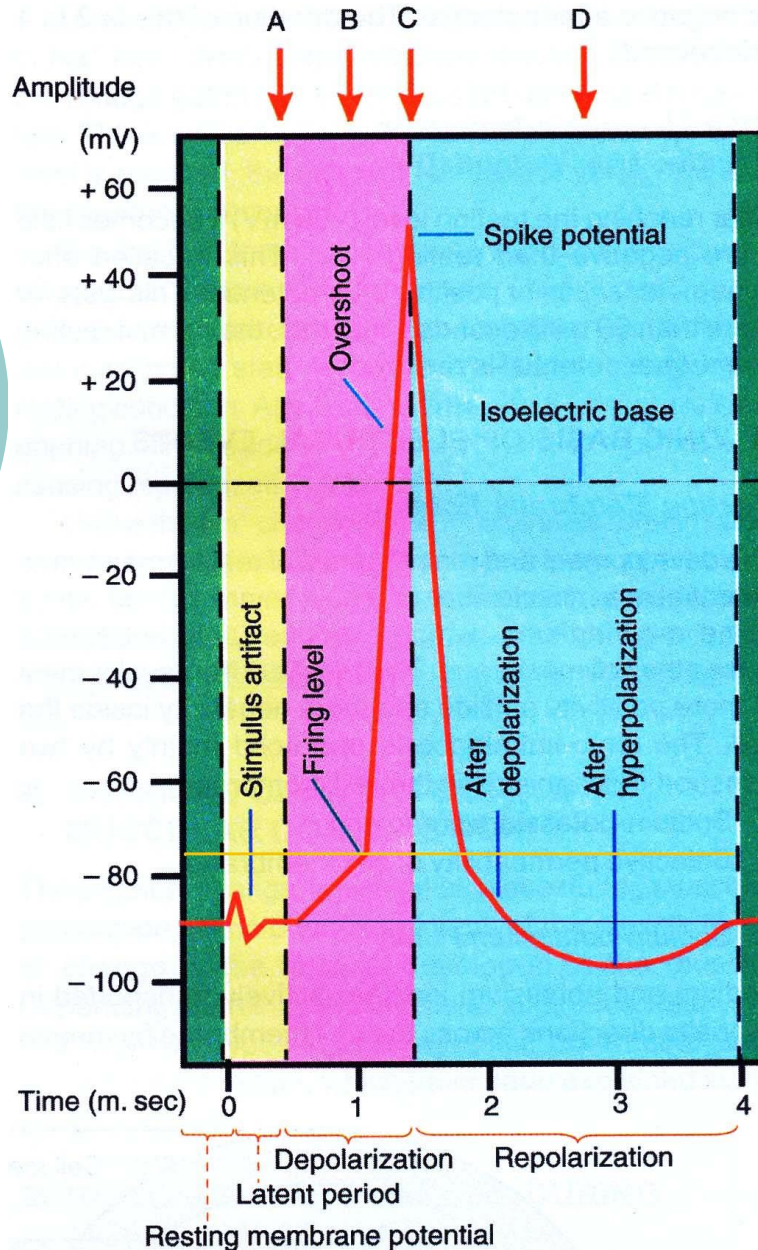
Неорганічні іони (такі як Na^+ і K^+) здатні проникати через пори в інтегральних білках, які охоплюють товщину подвійних фосфоліпідних шарів.

II. ПОТЕНЦІАЛ ДІЇ



Коли м'яз стимулюється, відбувається ряд змін мембранного потенціалу, який називається потенціалом дії. Потенціал дії відбувається у дві фази:

1. Деполяризація і
2. Реполяризація



Action potential in a skeletal muscle

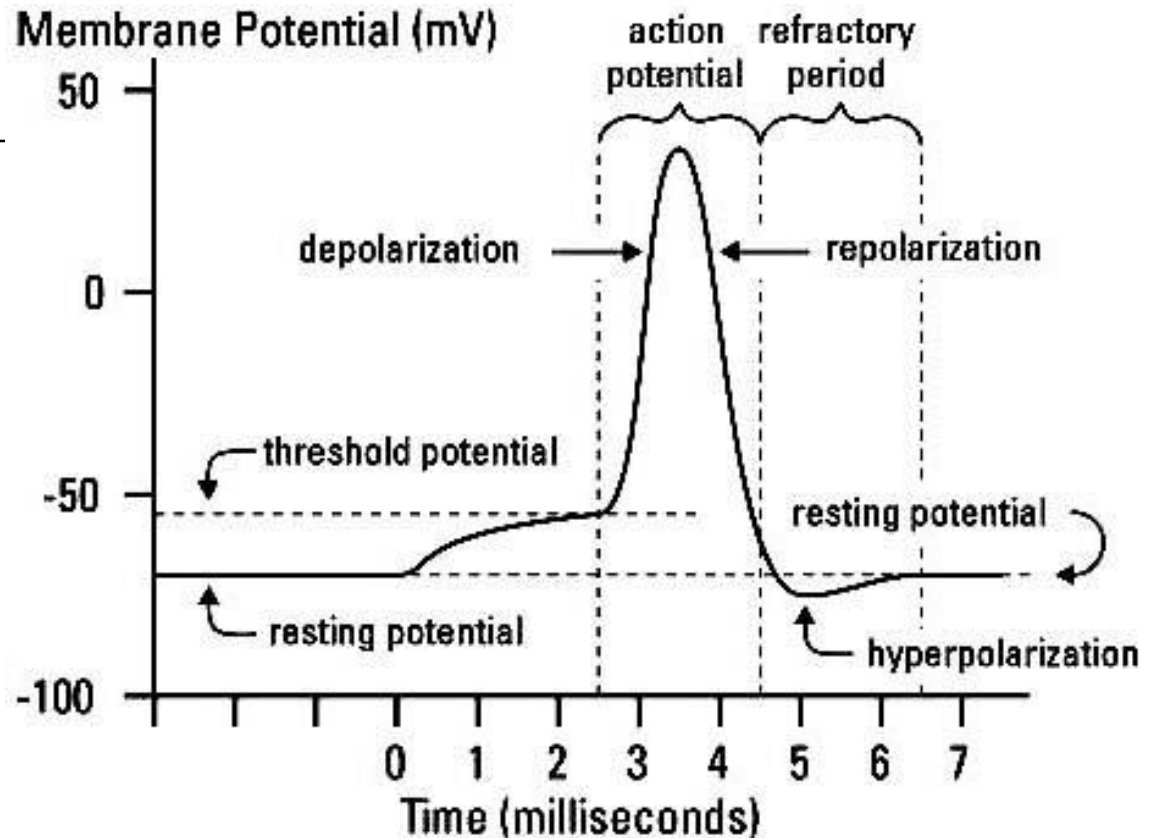
Деполаризація

Коли імпульс досягає м'яза, стан поляризації (-90 мВ) змінюється. Внутрішня частина м'яза стає позитивною, а зовнішня – негативною. Цей стан називається деполаризацією.

Реполаризація

Протягом короткого часу м'яз знову отримує мембранний потенціал спокою. Внутрішня частина м'яза стає негативною, а зовнішня – позитивною. Таким чином, поляризований стан м'яза відновлюється. Цей процес називається реполаризацією.

КРИВА ПОТЕНЦІАЛУ ДІЇ



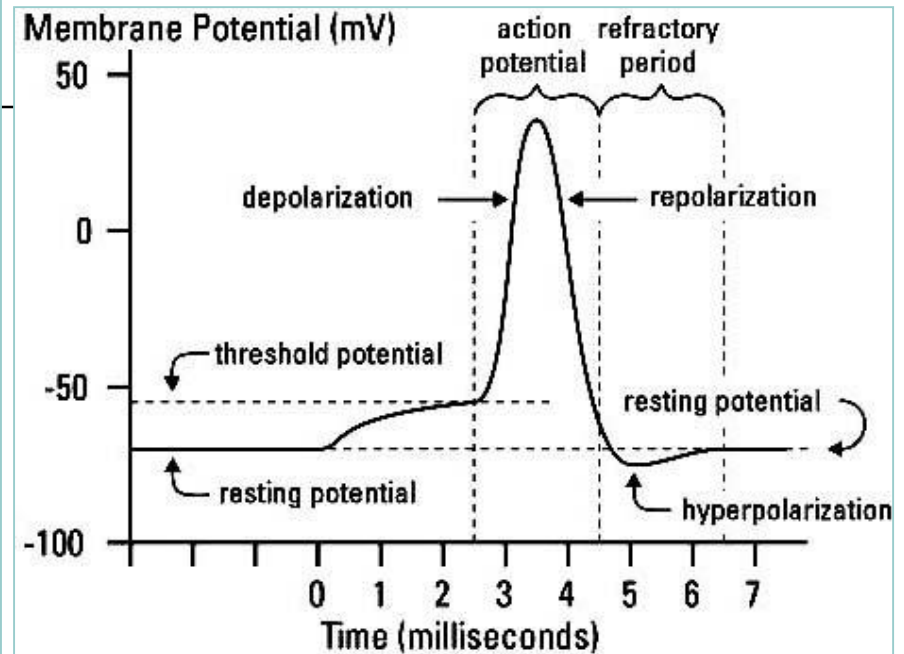
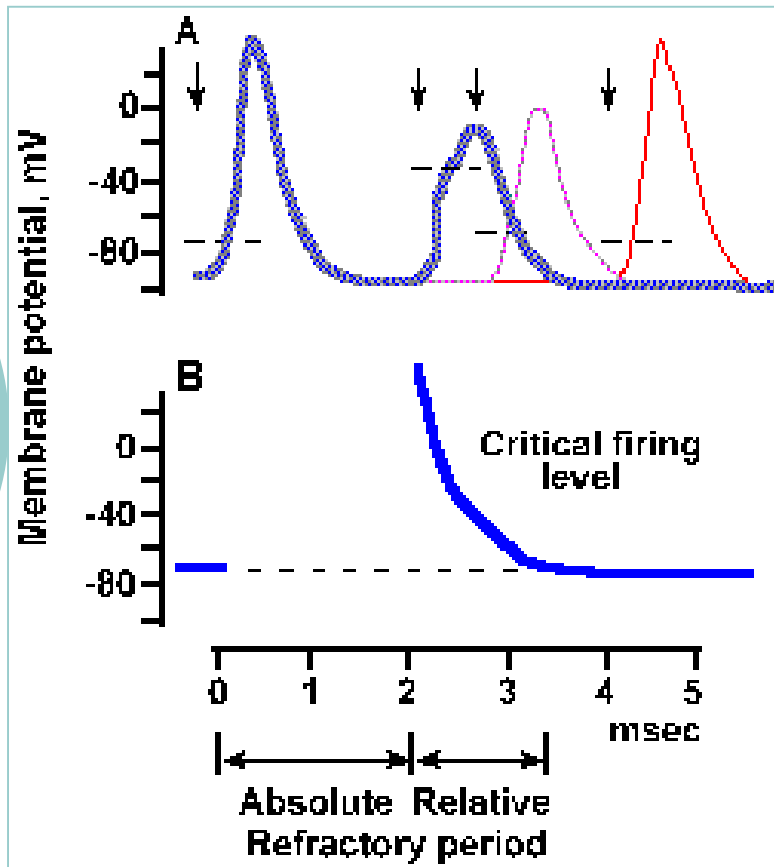
Артефакт стимулу

Коли застосовано подразник, спостерігається невелике нерегулярне відхилення базової лінії протягом дуже короткого періоду. Це називається артефактом стимулу або локальним потенціалом.

Латентний період

Артефакт стимулу супроводжується коротким періодом без будь-яких змін. Цей період називається латентним періодом, який становить приблизно від 0,5 до 1 мілісекунди.

КРИВА ПОТЕНЦІАЛУ ДІЇ



Рівень активації (пороговий потенціал, критичний рівень деполяризації)

Деполяризація починається після латентного періоду. Точка, в якій швидкість деполяризації збільшується, називається рівнем активації або критичним рівнем деполяризації.

Овершут

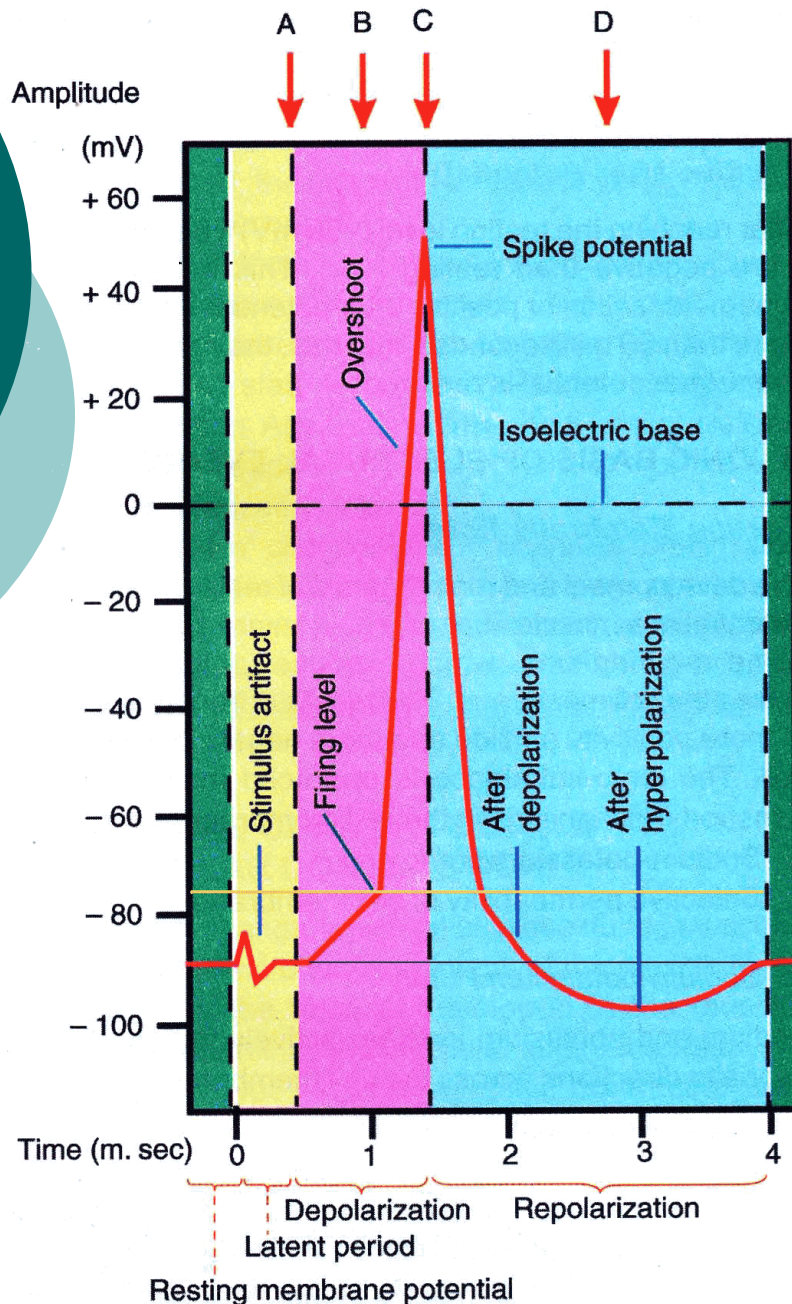
Від рівня запалювання крива швидко досягає ізоелектричного потенціалу (нульовий потенціал), а потім виходить за нульову лінію до +55 мВ (**потенціал спайку**).

КРИВА ПОТЕНЦІАЛУ ДІЇ

Післяпотенціал.

Потім з'являються після **гіперполяризації** (або позитивні післяпотенціали) і після **деполяризації** (або негативні післяпотенціали).

Після досягнення рівня спокою (-90 мВ) він стає трохи більш негативним, ніж рівень спокою. Це називається гіперполяризацією або позитивним потенціалом. Це триває понад 50 мілісекунд. Після цього відновлюється нормальний мембранний потенціал спокою.



Під час початку **деполяризації** відбувається повільний приплив іонів Na^+ . Коли деполяризація досягає 7-10 мВ, напругозалежні Na^+ канали починають відкриватися з більшою швидкістю. Це називається активацією каналу Na^+ . Коли рівень спалювання досягається, надходження іонів Na^+ дуже велике, і відбувається **овершут**.

Але транспорт Na^+ недовговічний. Це відбувається через швидку інактивацію Na^+ каналів. Таким чином, канали Na^+ швидко відкриваються і закриваються. Одночасно починають відкриватися канали K^+ . Це призводить до витоку іонів K^+ з клітини, що викликає **реполяризацію**.

Причиною **гіперполяризації** є надмірний вихід іонів K^+ через відкриті K^+ -канали з клітини.

РЕФРАКТЕРНИЙ ПЕРІОД

Рефрактерний період - це період, коли м'яз не реагує на подразник.

Типи рефрактерного періоду:

Рефрактерний період буває двох типів

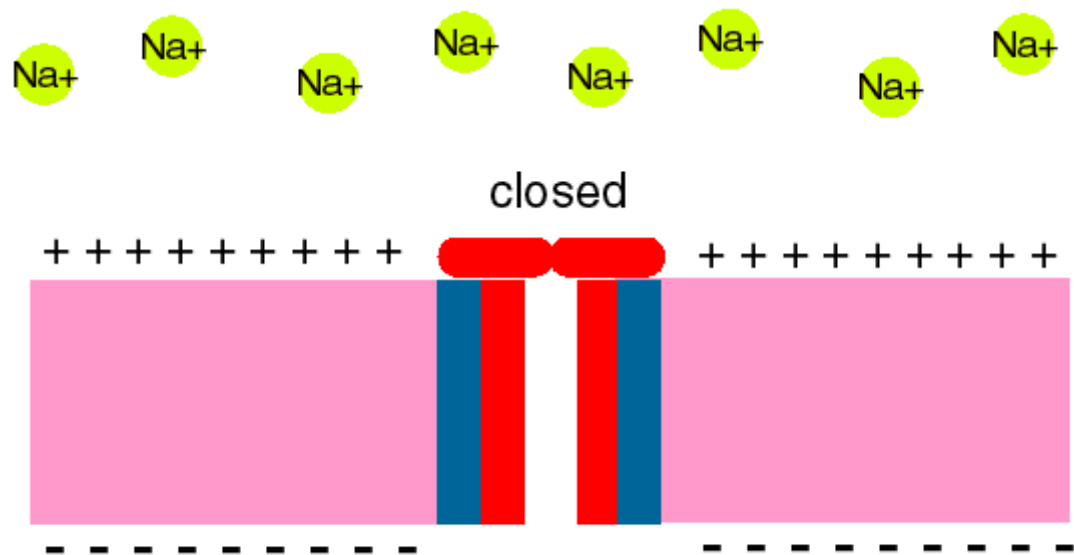
1. **Абсолютний рефрактерний період:** це період, протягом якого м'яз взагалі не реагує, незалежно від сили подразника.
2. **Відносний рефрактерний період.** Це період, протягом якого м'яз демонструє певну реакцію, якщо сила стимулу збільшена до максимального.

Рефрактерний період в скелетній мускулатурі:

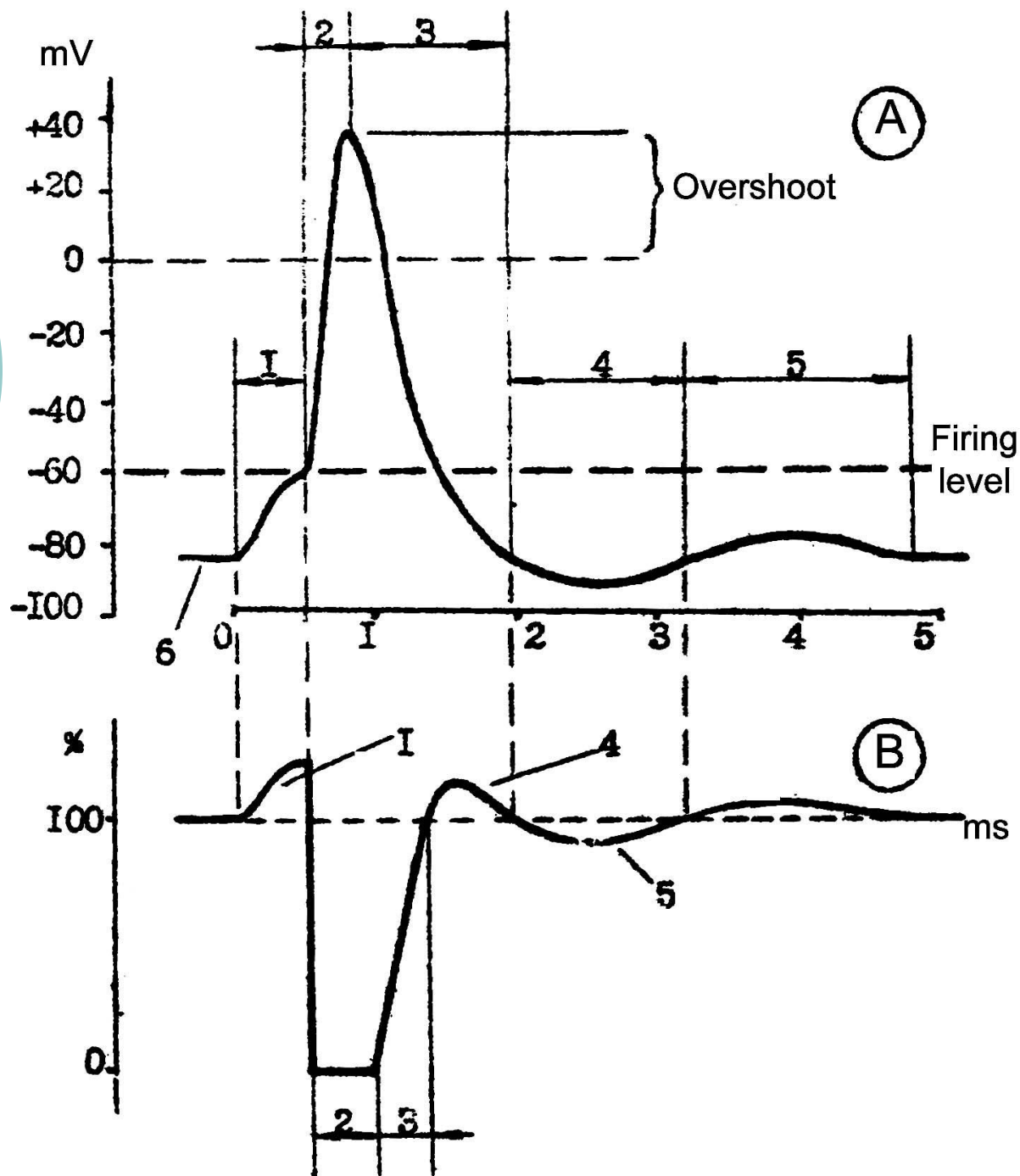
У скелетних м'язах абсолютний рефрактерний період падає протягом першої половини латентного періоду (0,005 с). Причому відносний рефрактерний період триває протягом другої половини латентного періоду (0,005 с). Загалом це 0,01 с.

Препарати, що впливають на нервовий контроль скелетних м'язів

Препарат	Походження	Дія
Ботулотоксин	Виробляється <i>Clostridium botulinum</i> (бактерія)	Пригнічує вивільнення ацетилхоліну (АЦХ)
Отрути	Смола південноамериканського дерева	Перешкоджає взаємодії АЦХ з білком постсинаптичного рецептора
α -ротоксин Бунга	Отрута бунгарських змій	Зв'язується з білками рецепторів АЦХ і перешкоджає зв'язуванню АЦХ
Сакситоксин	Червоні водорості (<i>Gonyaulax</i>).	Блокує напругозалежні канали Na^+
Тетродотоксин	Риби фугу	Блокує напругозалежні канали Na^+
Нервово-паралітичний газ	Штучний	Інгібує ацетилхолін в постсинаптичній мембрані
Неостігмін	Нігерійська квасоля	Інгібує ацетилхолін в постсинаптичній мембрані
Стрихнін	Насіння азійського дерева	Протидіє інгібіторам постсинаптичної мембрани у спинному мозку, які



Рефрактерний період



A)

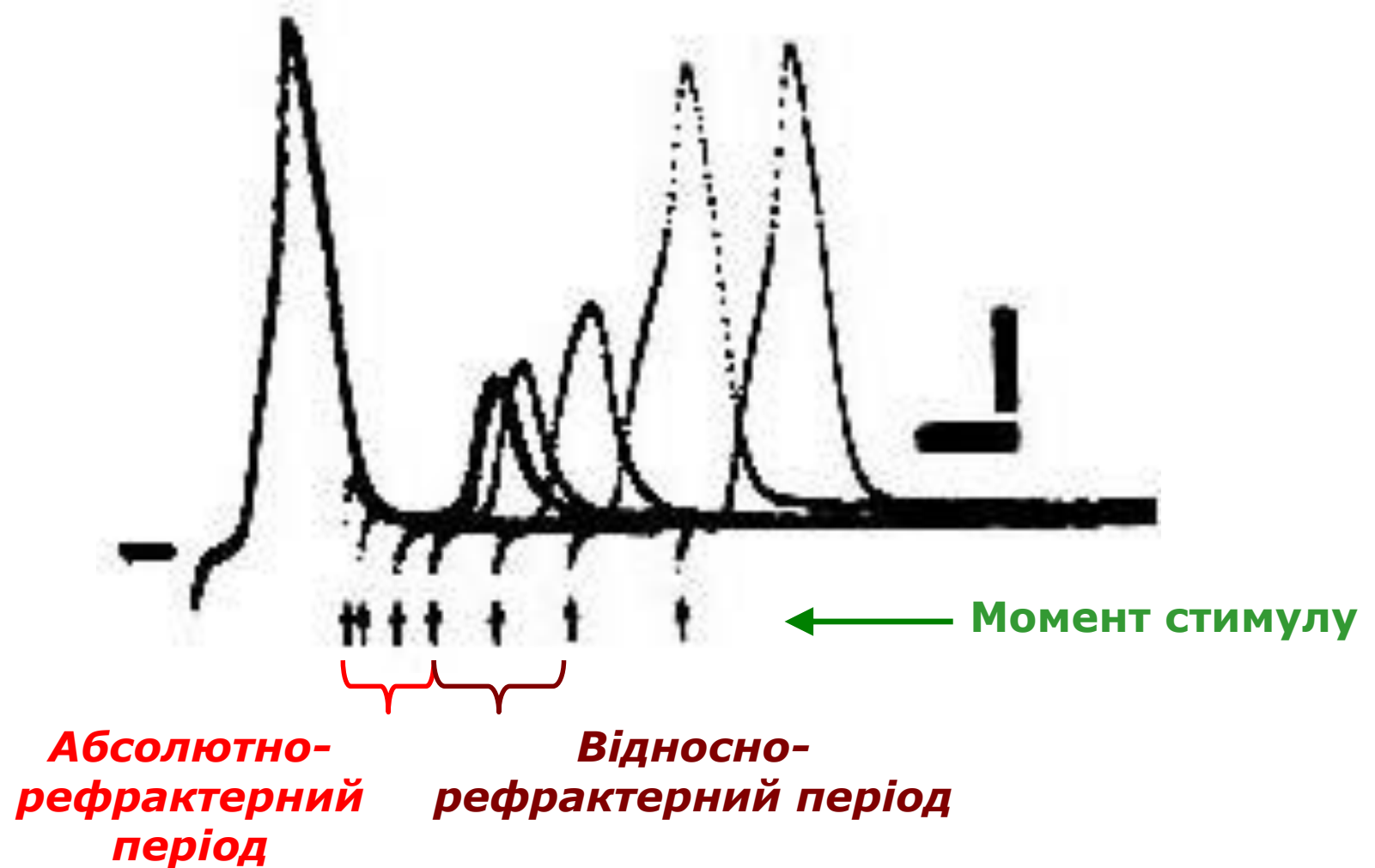
1 – латентний період,
2 – деполяризація,
3 – реполяризація,

4 – після
гіперполяризація,

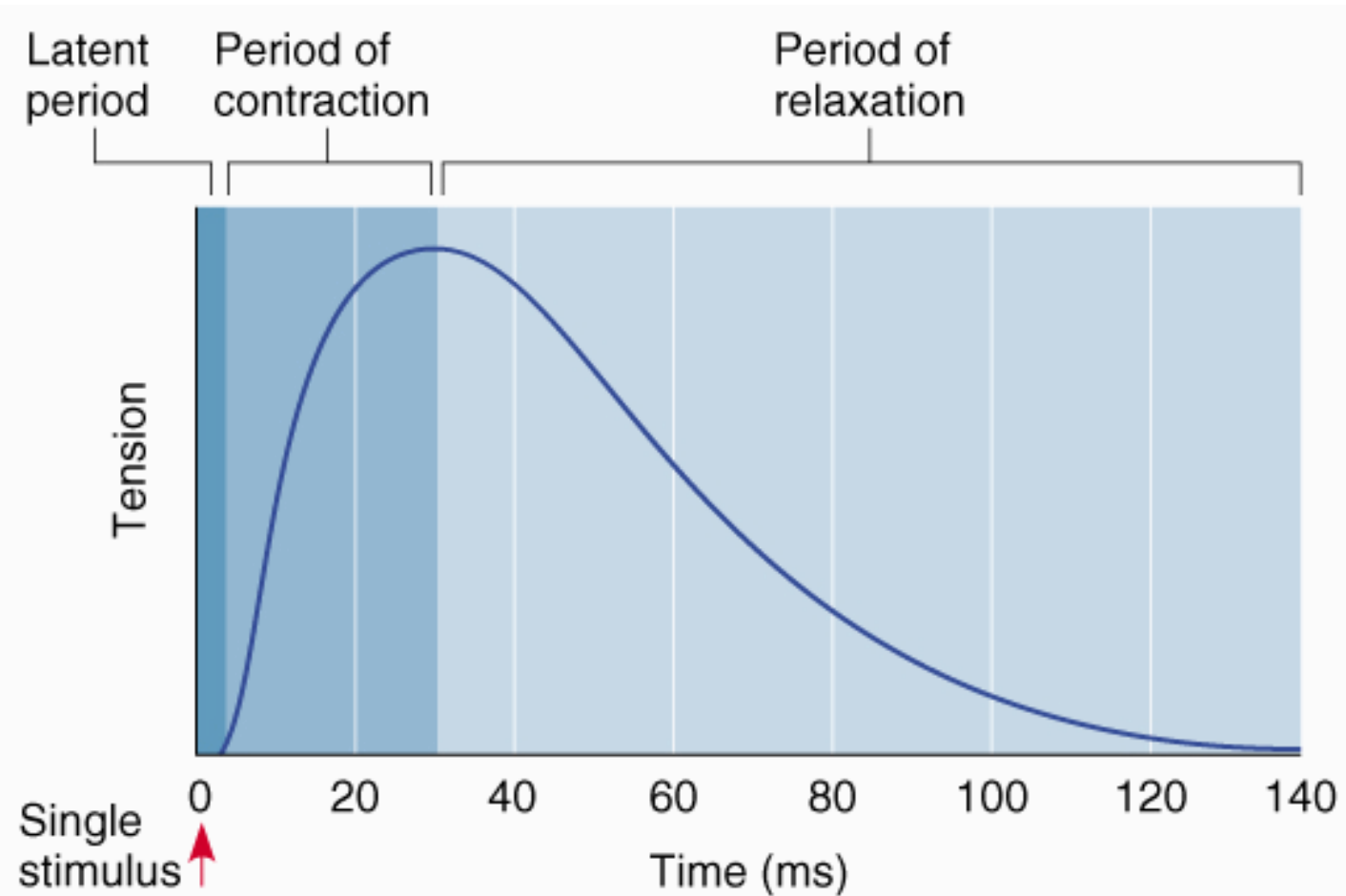
5 – після
деполяризація,
6 – рівень
відпочинку.

В) 1, 4 –
супернормальний
період,
2 – абсолютно
рефрактерний
період,
3 – відносний
рефрактерний
період, 5 –
субнормальний
період.

РЕФРАКТЕРНИЙ ПЕРІОД (потенціал дії)

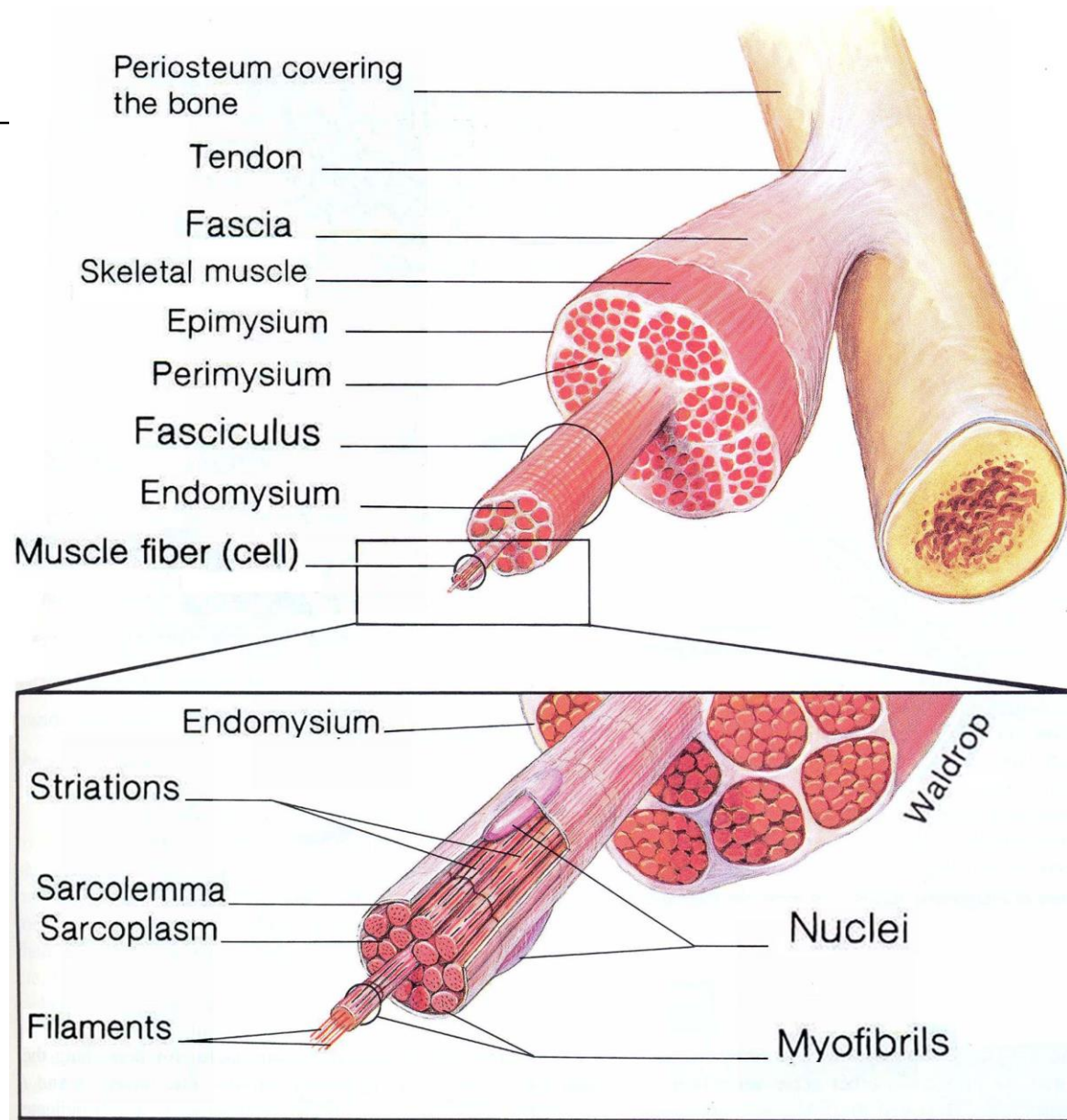


ПРОСТЕ СКОРОЧЕННЯ М'ЯЗІВ (ПОСМИКУВАННЯ)

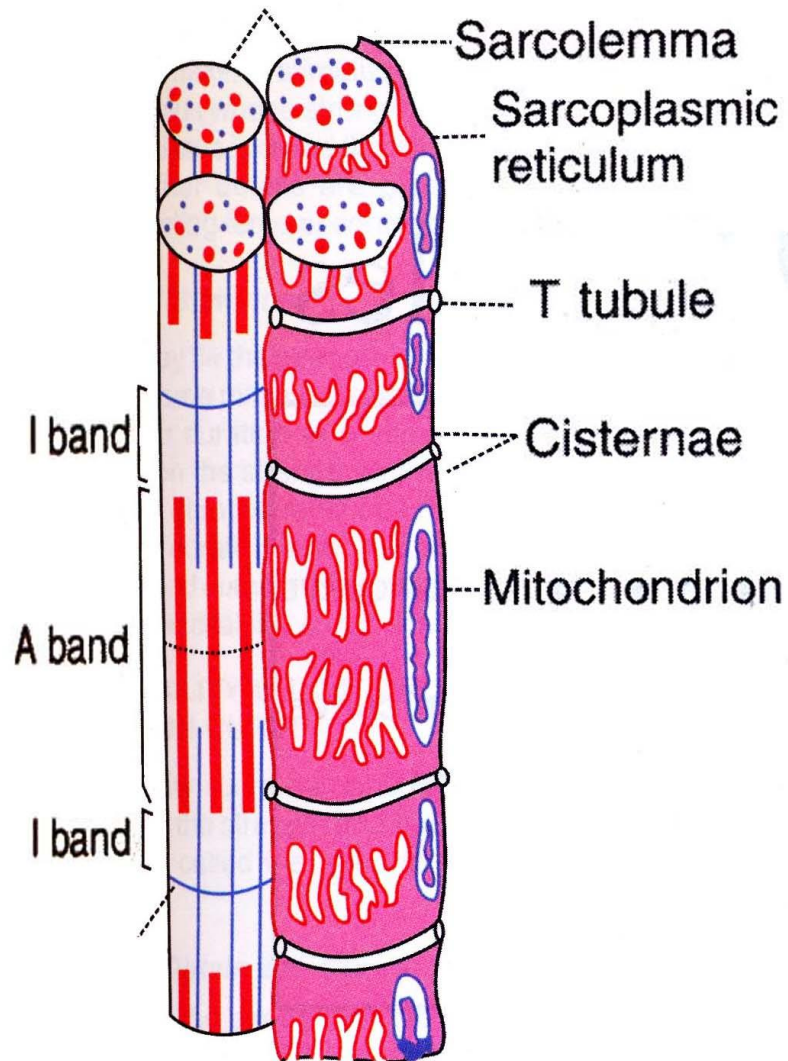


(a)

СТРУКТУРА СКЕЛЕТНОГО М'ЯЗА



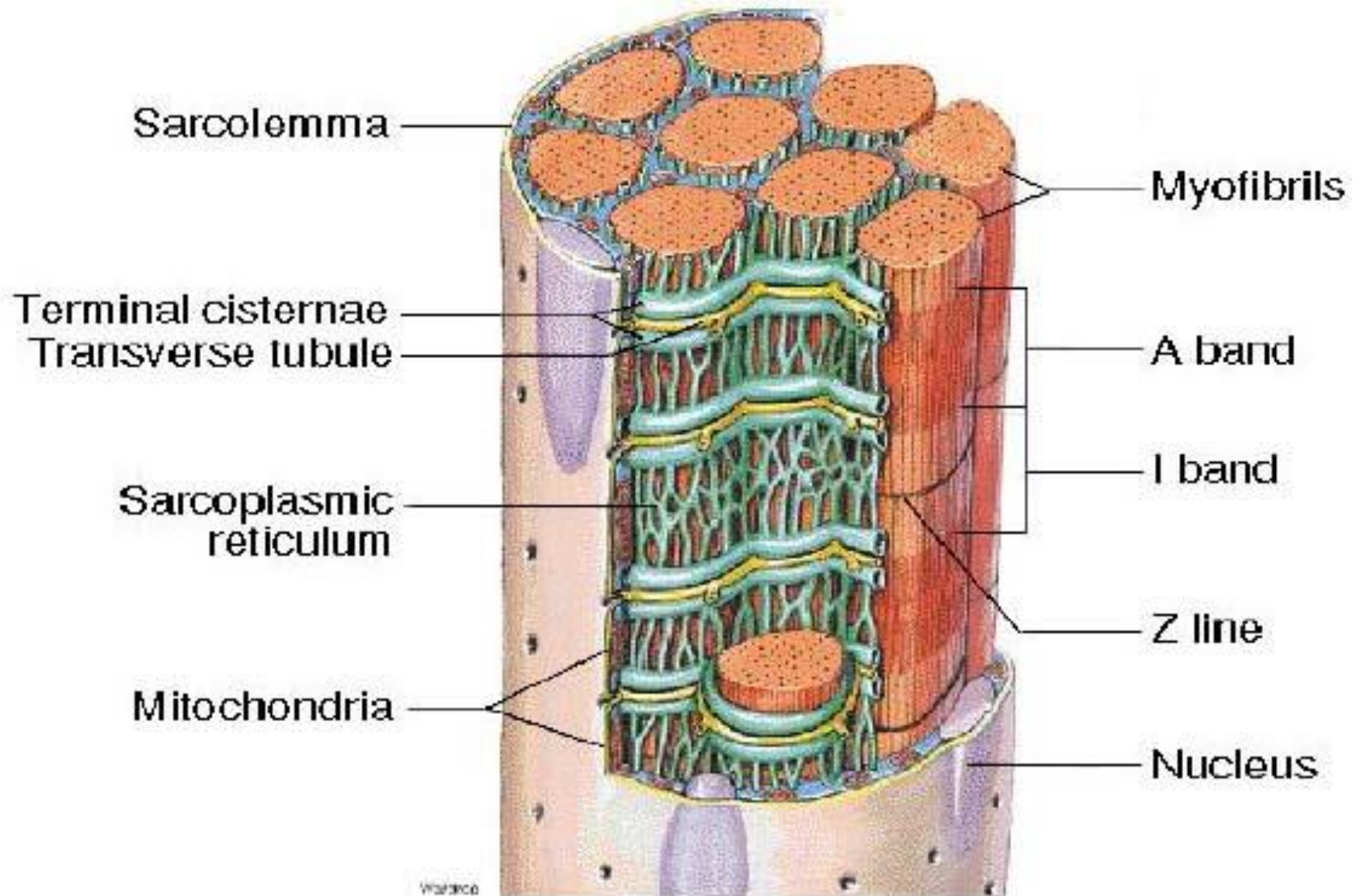
СТРУКТУРА СКЕЛЕТНОГО М'ЯЗА

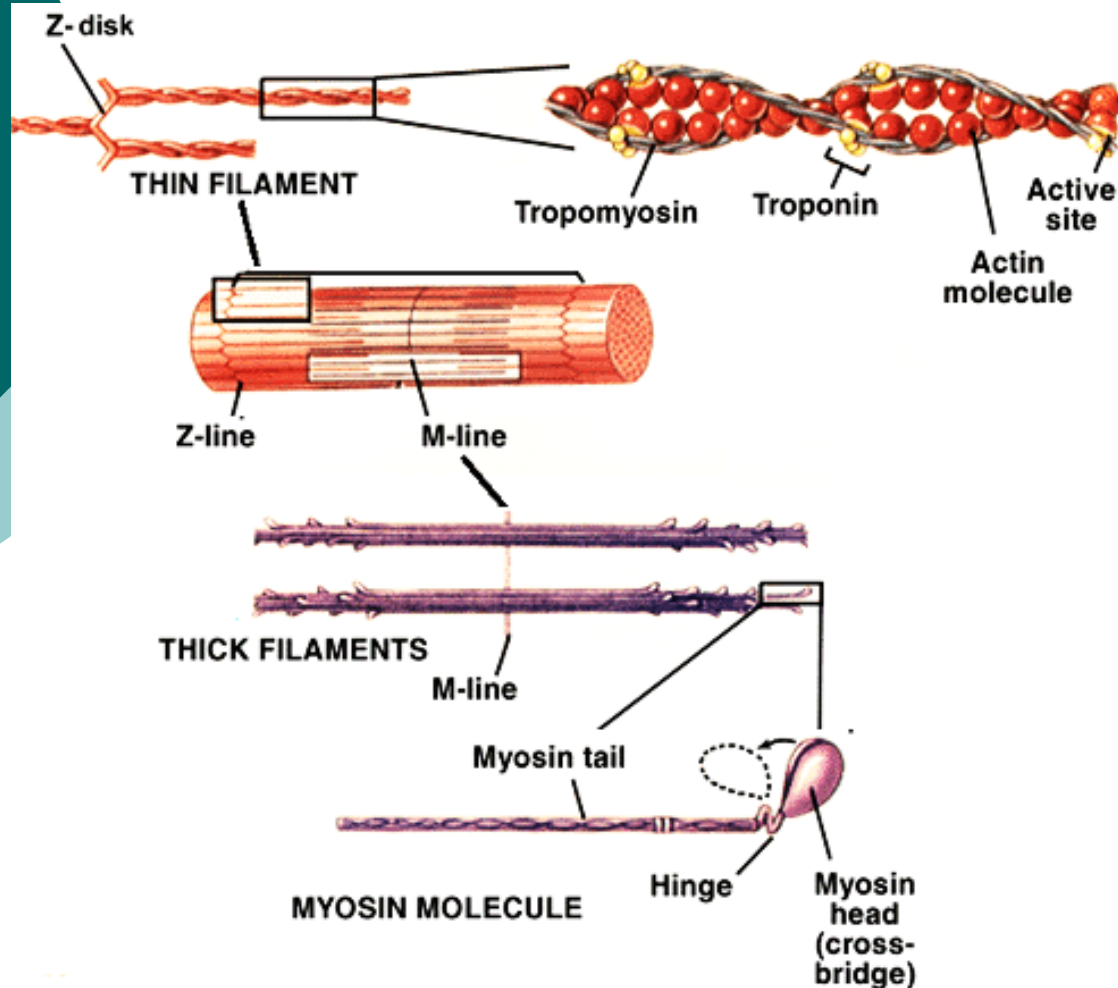


Діаграма, що показує зв'язок між саркотубулярною системою та частинами саркомера.

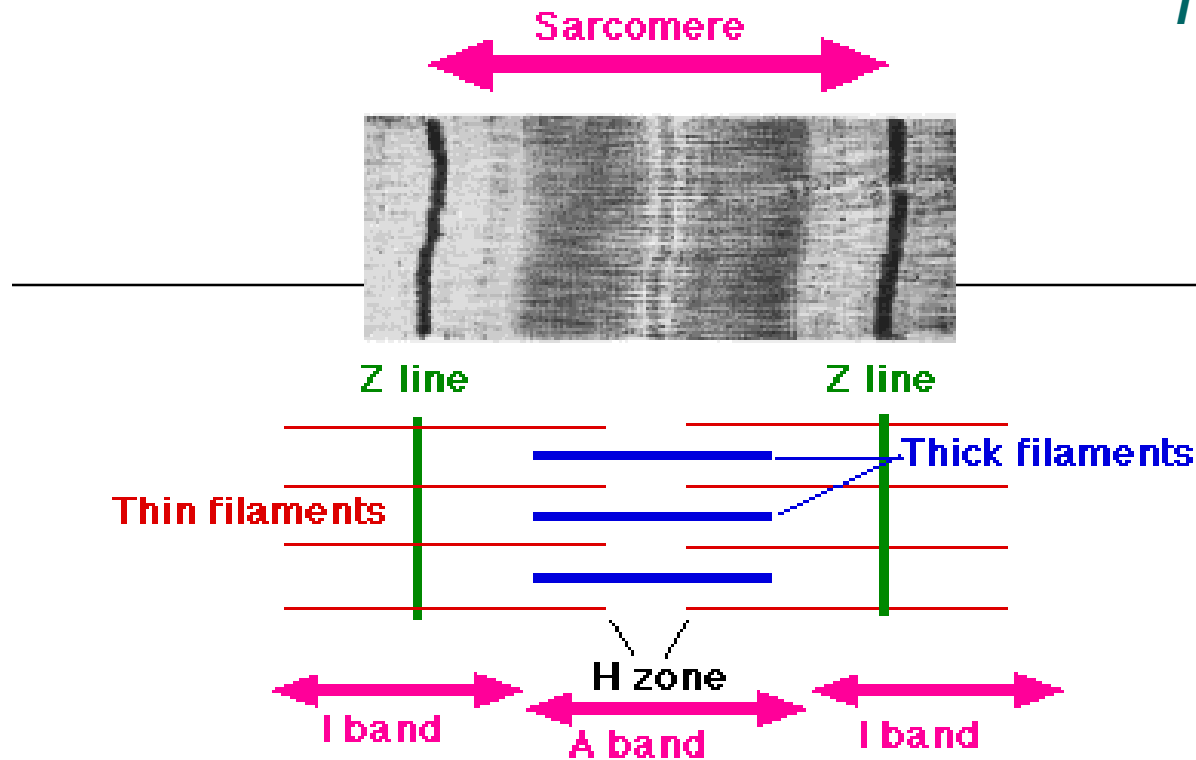
На міофібрилі, зображеній праворуч на діаграмі, показано лише кілька мікрофіламентів.

Саркоплазматичний ретикулум





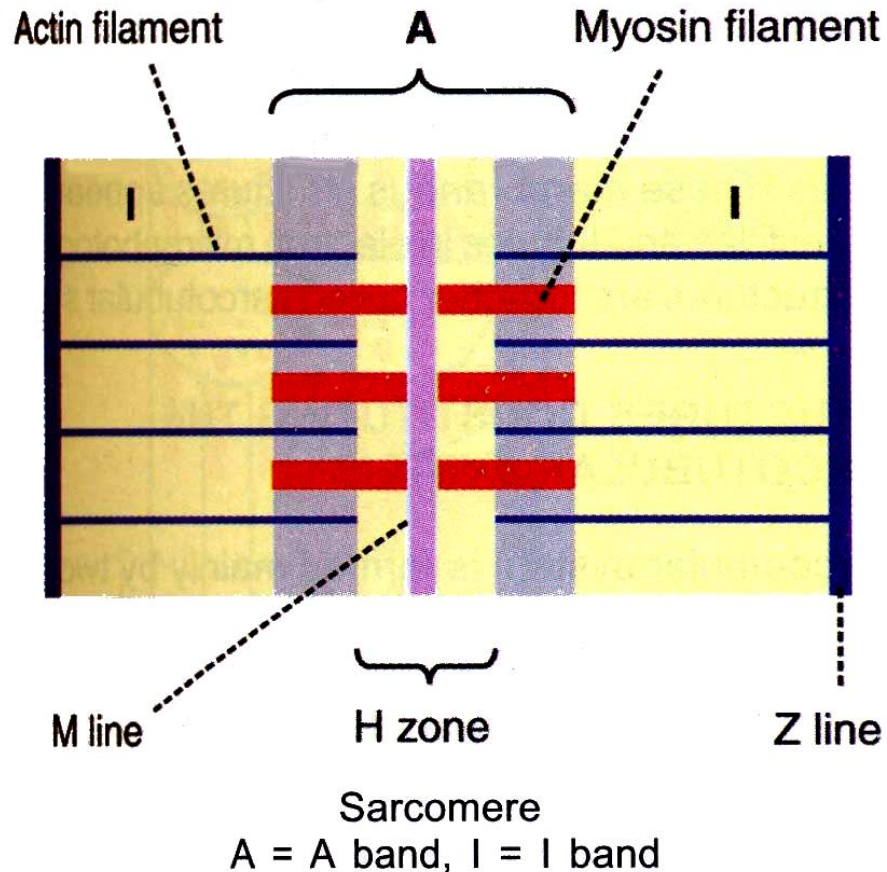
У кожному саркомері тонкі міофіламенти простягаються з кожного кінця. У середині саркомера знаходяться товсті міофіламенти. Під мікроскопією кінці саркомера (де знаходяться лише тонкі міофіламенти) здаються світлішими, ніж центральна частина (темна через наявність товстих міофіламентів). Таким чином, міофібрила має чергування світлих і темних ділянок, оскільки кожна складається з багатьох саркомерів, розташованих один до одного.



Ось чому скелетні м'язи називають ПОСМУГОВАНИМИ М'ЯЗАМИ (тобто світлі та темні ділянки, що чергуються, мають вигляд смуг або смуг). Світлі ділянки називаються І-ДИСКИ, а темніші – А-ДИСКИ. Біля центру кожного І-ДИСКУ є тонка темна лінія, яка називається Z-ЛІНІЯ. Z-ЛІНІЯ – це місце, де з'єднуються сусідні саркомери.

Таким чином, **саркомер** - це область між Z-лініями.

СТРУКТУРА СКЕЛЕТНОГО М'ЯЗА



Саркомер є **структурною і функціональною** одиницею скелетного м'яза. У середині А-діапазону є світла зона, яка називається Н-ЗОНА. У середині Н-зони лежить середня частина міозинової нитки. Це називається W-лінією.

І-ДИСК розділений на дві рівні частини за допомогою вузької лінії, яка називається Z-лінією.

М'ЯЗОВІ ПРОТЕЇНИ

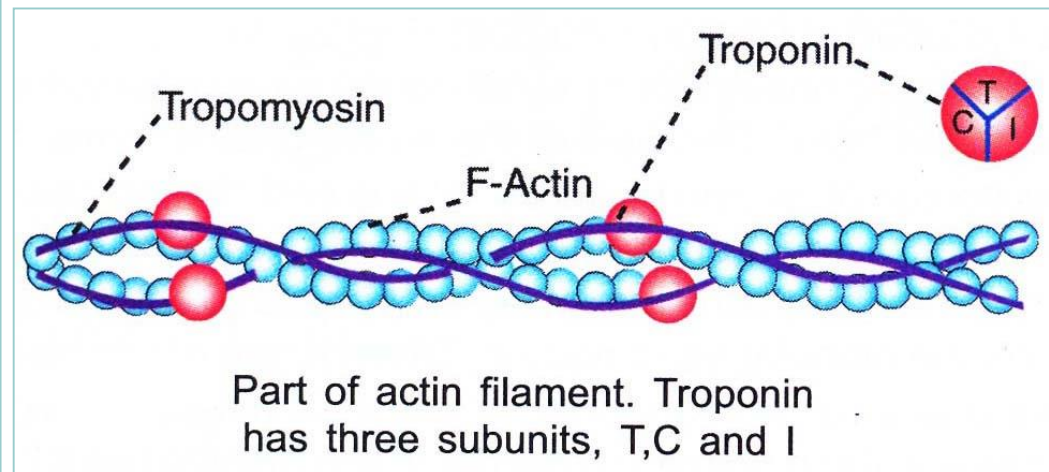
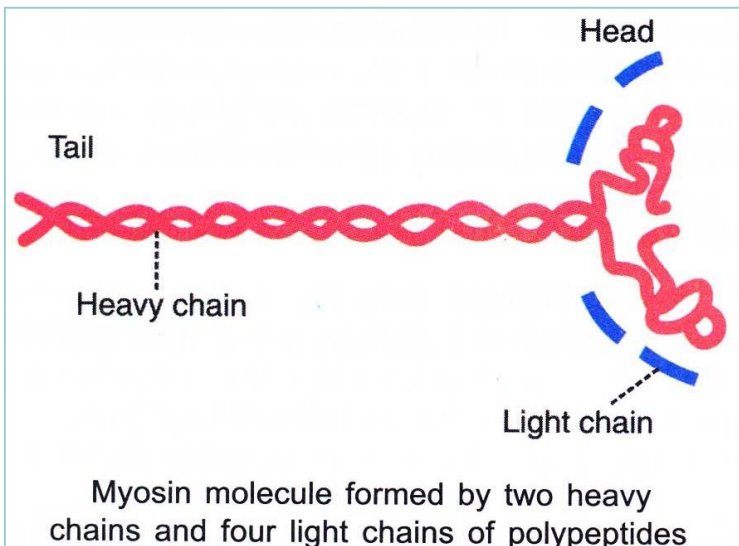
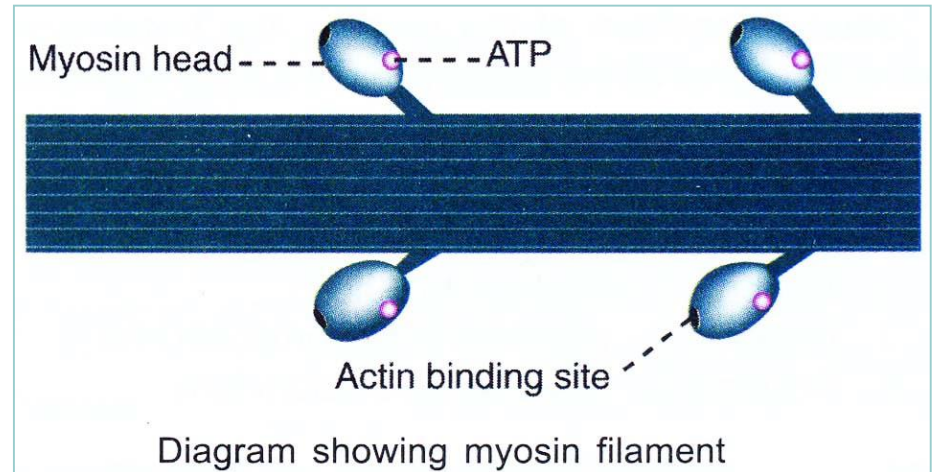
Білки, присутні в м'язах:

I. Діючі:

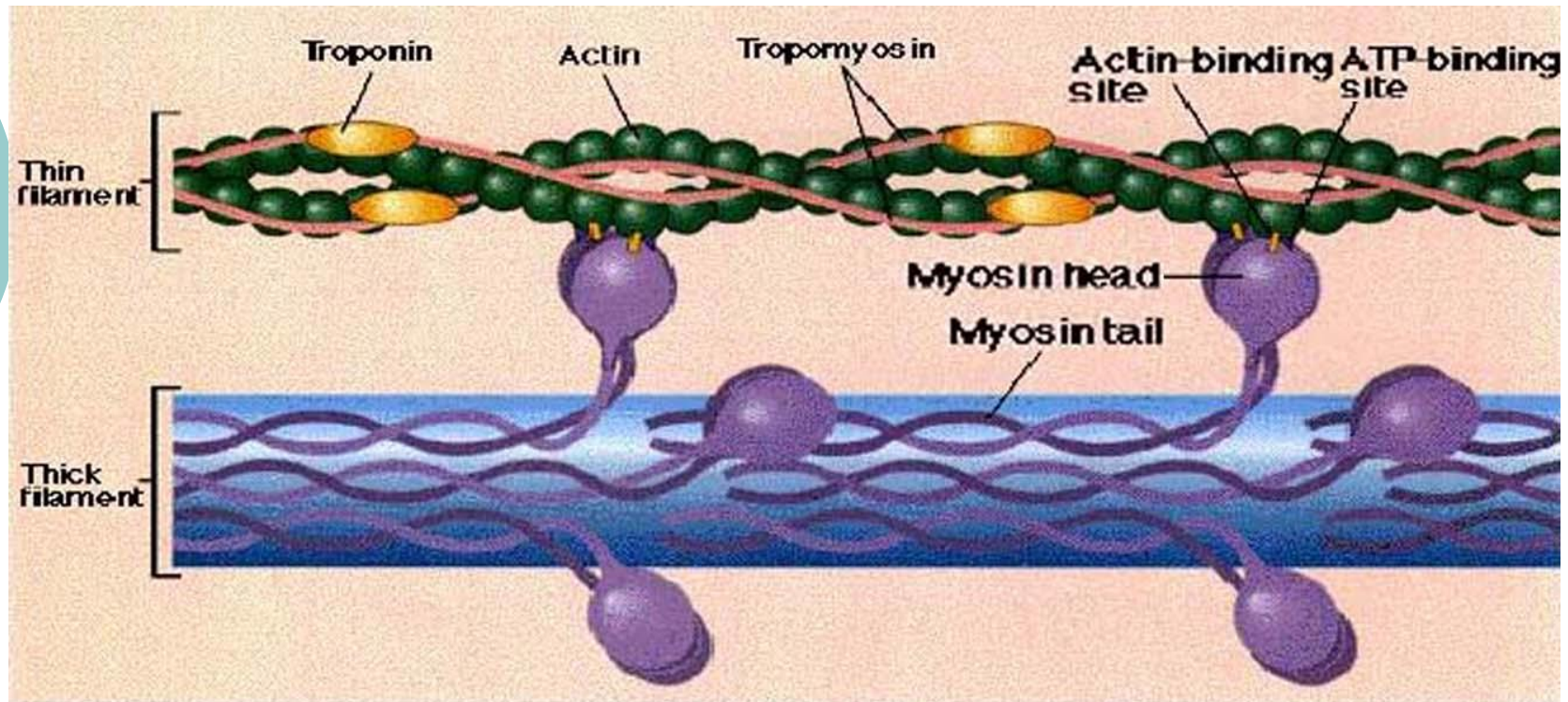
- 1) Міозин
- 2) Актинові.

II. Регулятивні:

- 1) Тропоміозин
- 2) Тропонін



М'ЯЗОВІ ПРОТЕЇНИ



Товсті міофіламенти складаються з білка під назвою МІОЗИН. Кожна молекула міозину має хвіст і головку, які виступають із ядра нитки. Ці головки міозину також широко відомі як ПОПЕРЕЧНІ МІСТИКИ.

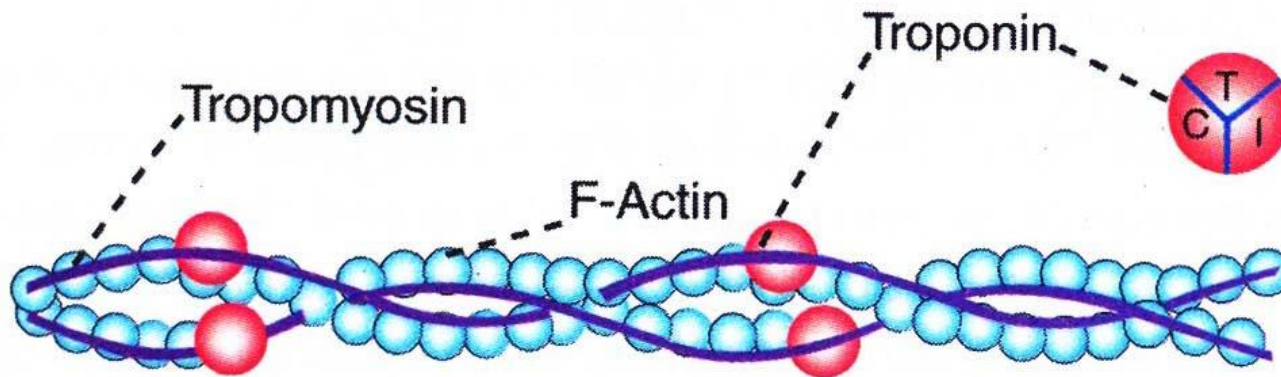
МІОЗИНОВА ГОЛОВКА має кілька важливих характеристик:

він має сайти зв'язування АТФ, в які вписуються молекули АТФ.

він має АКТИН-зв'язувальні сайти, в які вписуються молекули АКТИНУ.

він має «шарнір» у місці, де він залишає серцевину товстого міофіламенту. Це дозволяє голові повертатися вперед-назад, а «поворот» викликає скорочення м'язів.

Тонкі міофіламенти складаються з 3 типів білків: АКТИНУ, ТРОПОНІНУ та ТРОПОМІОЗИНУ.



Part of actin filament. Troponin has three subunits, T,C and I

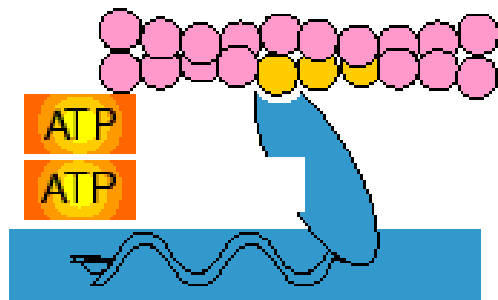
Ці 3 білки відіграють ключову роль у скороченні м'язів:

- АКТИН - коли актин поєднується з ГОЛІВКОЮ МІОЗИНУ, АТФ, пов'язаний з головою, розпадається на АДФ. Ця реакція вивільнила енергію, яка змушує ГОЛОВКУ МІОЗИНУ ПОВЕРТАТИСЯ.
- ТРОПОМІОЗИН - коли ГОЛОВКИ МІОЗИНУ залишаються в контакті з ТРОПОМІОЗИНОМ, м'яз залишається розслабленим.
- Молекули ТРОПОНІНУ мають сайти зв'язування іонів кальцію. Коли іон кальцію заповнює це місце, він викликає зміну форми та положення ТРОПОНІНУ. І коли ТРОПОНІН зміщується, він тягне за собою ТРОПОМІОЗИН, до якого він прикріплений. Коли ТРОПОМІОЗИН переміщується, ГОЛОВКА МІОЗИНУ, яка торкалася тропоміозину, тепер вступає в контакт з молекулою АКТИНУ, що лежить в її основі.

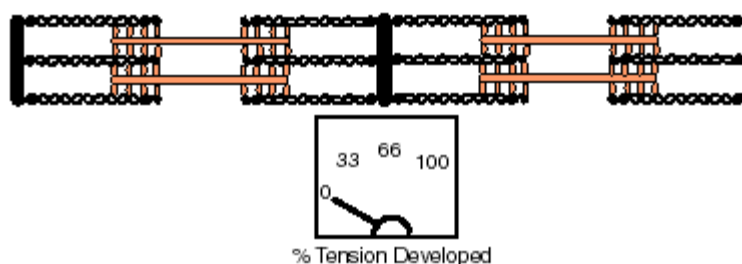
Скорочення м'язів

- 1 - Оскільки скелетний м'яз є довільним м'язом, для скорочення потрібен нервовий імпульс. Отже, крок 1 у скороченні - це коли імпульс передається від нейрона до САРКОЛЕМИ м'язової клітини.
- 2 - Імпульс проходить вздовж САРКОЛЕМИ і вниз по Т-ТУБУЛАХ, а потім до САРКОПЛАЗМАТИЧНОГО РЕТИКУЛУМА (СР).
- 3 – імпульс відкриття кальцієвих воріт у мембрані СР. В результаті КАЛЬЦІЙ дифундує з СР і між міофіламентами.
- 4 - Кальцій заповнює сайти зв'язування в молекулах ТРОПОНІНУ.
- 5 – Рух ТРОПОМІОЗИНУ дозволяє ГОЛОВЦІ МІОЗИНУ зв'язатися з АКТИНОМ.
- 6 – Контакт з АКТИНОМ викликає поворот ГОЛОВКИ МІОЗИНУ.

7 - Під час обертання МІОЗИНОВА ГОЛОВКА міцно прикріплена до АКТИНУ. Таким чином, коли ГОЛОВКА повертається, вона тягне АКТИН (і, отже, весь тонкий міофіламент) вперед. (Багато ГОЛІВОК МІОЗИНУ обертаються одночасно, і їх спільних зусиль достатньо, щоб витягнути всю тонку міофіламент).



8 - Наприкінці шарніра АТФ вписується в місце зв'язування на поперечному містку, що розриває зв'язок між поперечним мостом (міозином) і актином. Потім ГОЛІВКА МІОЗИНУ повертається назад і АТФ розпадається на АДФ і Ф, після чого перехресний місток знову зв'язується з молекулою актину.



9 - В результаті ГОЛІВКА знову міцно зв'язана з АКТИНОМ. ГОЛІВКА зв'яжеться з іншою молекулою АКТИНУ, оскільки вона повернулася назад. Після того, як ГОЛІВКУ приєднано до АКТИНУ, поперечний міст знову повертається, тому крок 7 повторюється.

Скорочення м'язів

Скелетний м'яз розслабляється, коли нервовий імпульс припиняється. КАЛЬЦІЄВИЙ НАСОС у мембрані тепер транспортуватиме кальцій назад у СР.

Таким чином, кальцій є «перемикачем», який «вмикає і вимикає» м'язи (скорочуються і розслабляються).

Коли м'яз використовується протягом тривалого періоду, запаси АТФ можуть зменшуватися. Коли концентрація АТФ зменшується, ГОЛІВКИ МІОЗИНУ залишаються зв'язаними з актином і більше не можуть обертатися. Це зниження рівня АТФ у м'язах викликає М'ЯЗОВУ ВТОМУ, навіть якщо рівень кальцію достатній.

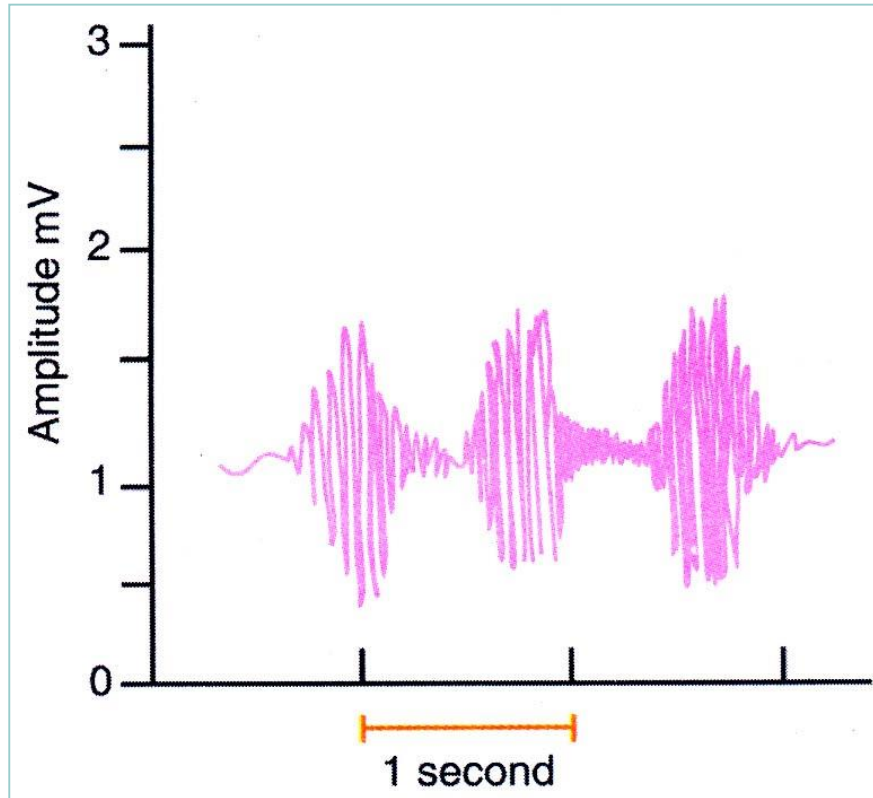
Електроміографія

Електроміографія - дослідження електричної активності м'язів. Запис електричної активності м'яза називається електроміограмою (ЕМГ).

Для реєстрації електричної активності м'язів використовуються **два типи електродів**:

1. Поверхневі або шкірні електроди для дослідження активності м'язів.
2. Голчасті електроди для дослідження електричної активності окремої рухової одиниці.

Електроміографія



3 основні типи:

- 1) місцевий;
- 2) інтерференційний;
- 3) стимулюючі.

Руховий блок є структурною основою електроміограми. Електричний потенціал, що розвивається в результаті активації однієї моторної одиниці, називається потенціалом моторної одиниці. Це триває від 5 до 8 мілісекунд і має амплітуду 0,5 мВ. Переважно монофазний (див. рисунок).

Електричний потенціал, записаний від усього м'яза, показує менші потенціали, якщо сила скорочення менша. Коли сила збільшується внаслідок залучення все більшої кількості рухових нейронів, виходять більші потенціали.

Практична важливість:

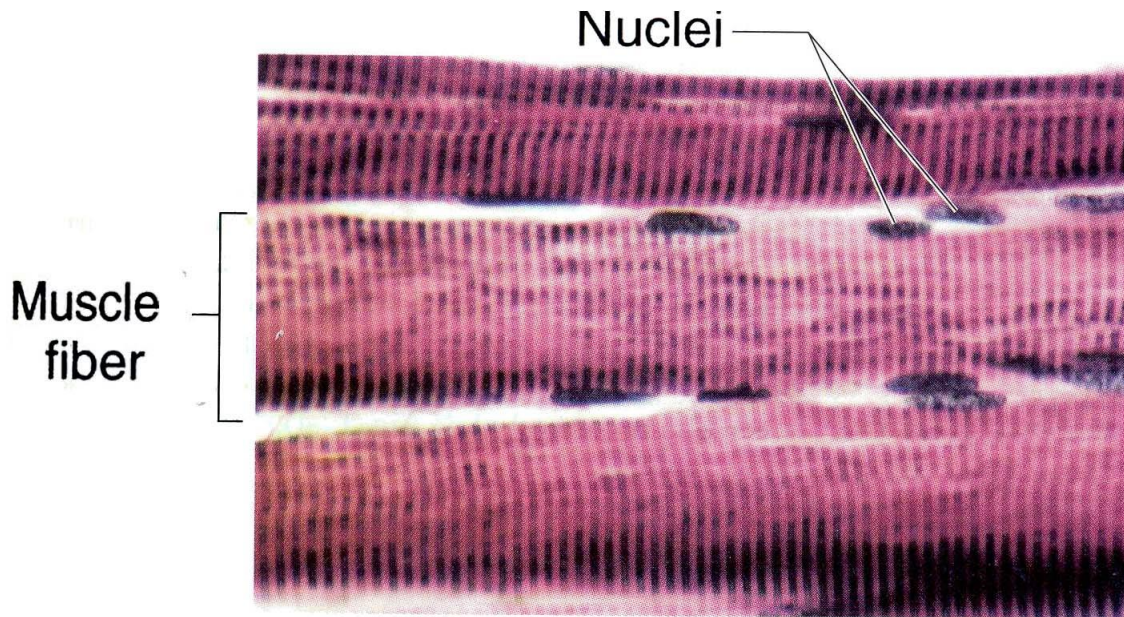
Електроміограма корисна для діагностики нервово-м'язових захворювань.

1. Ураження рухових нейронів;
2. Пошкодження периферичних нервів;
3. Міотонія і
4. Міастенія.

Крім неврології, ЕМГ дає корисну інформацію в травматології, ортопедії, педіатрії, стоматології.

Властивості скелетних м'язів

1. ЗБУДЛИВІСТЬ
2. СКОРОТЛИВІСТЬ
3. М'ЯЗОВИЙ ТОНУС



Вигляд волокон скелетної мускулатури під світловим мікроскопом.

СКОРОТЛИВІСТЬ

Скелетний м'яз відповідає на подразнення у вигляді скорочення.

ТИПИ СКОРОЧЕННЯ

I. Ізотонічне скорочення і

II. Ізометричне скорочення

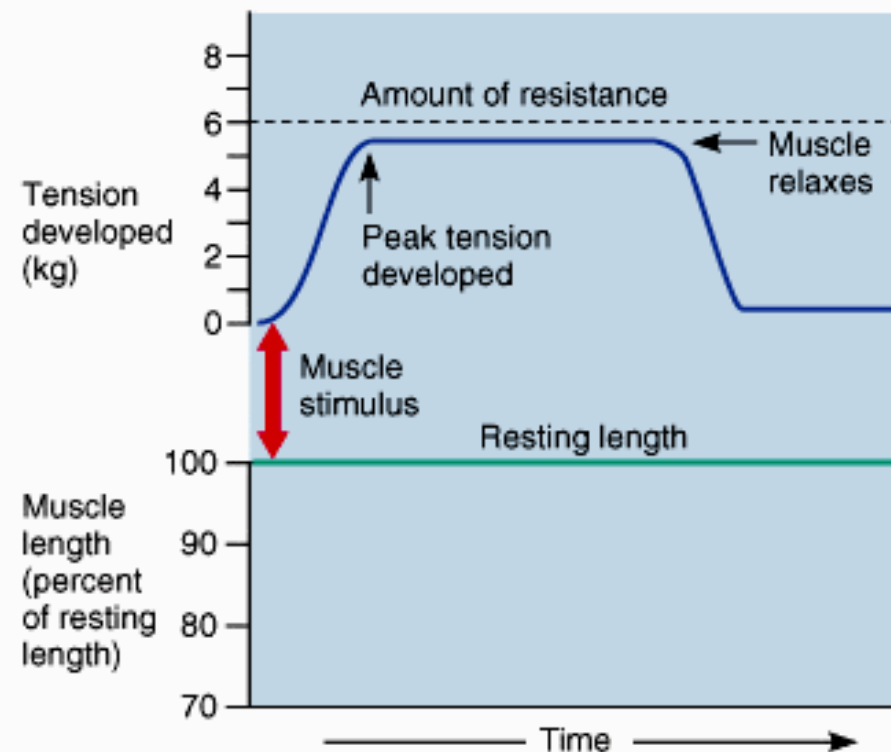
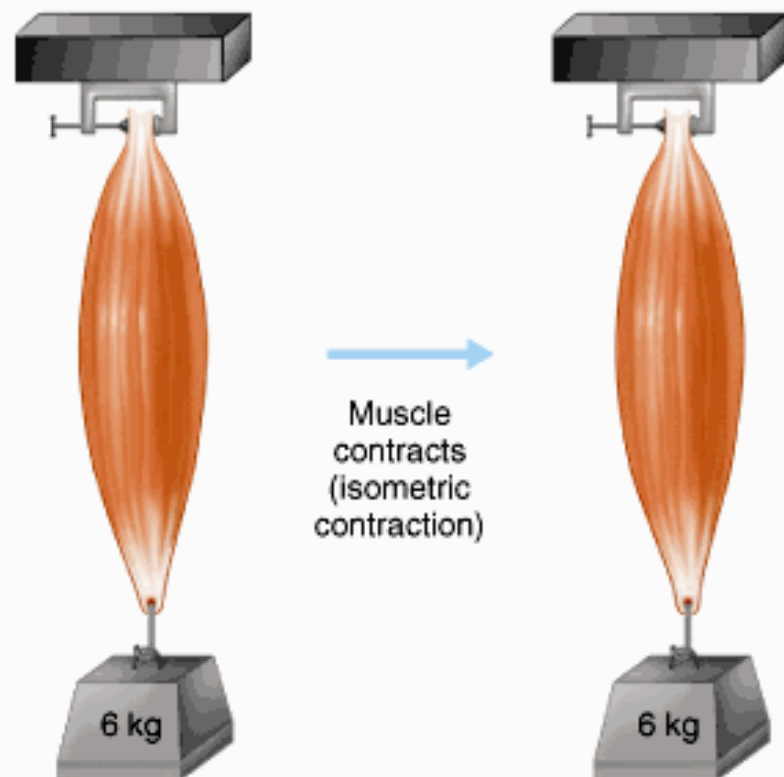
Ізотонічне скорочення

Це тип скорочення, при якому напруга залишається незмінною, а довжина м'язового волокна змінюється. Прикладом є просте згинання руки.

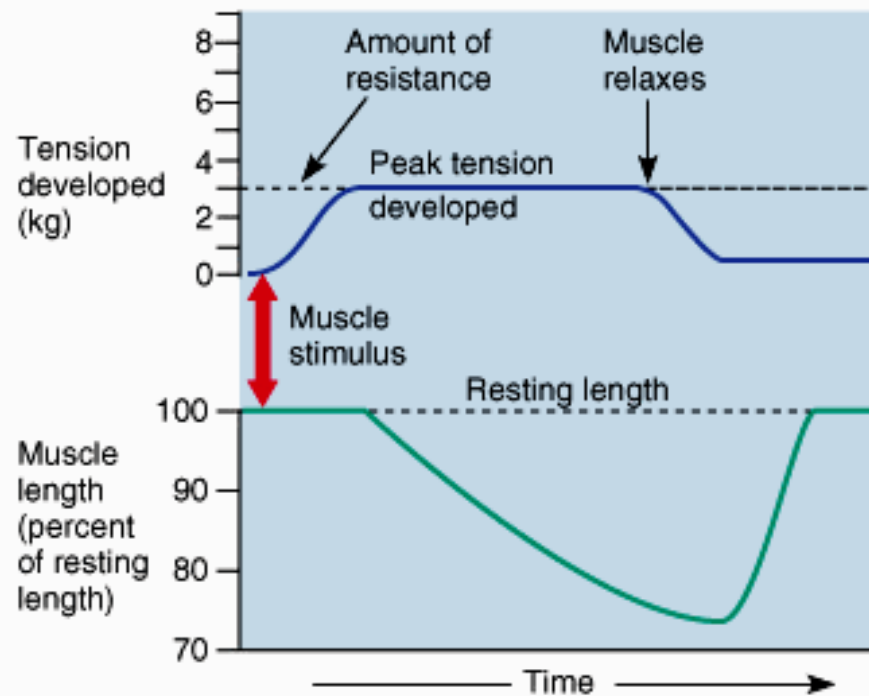
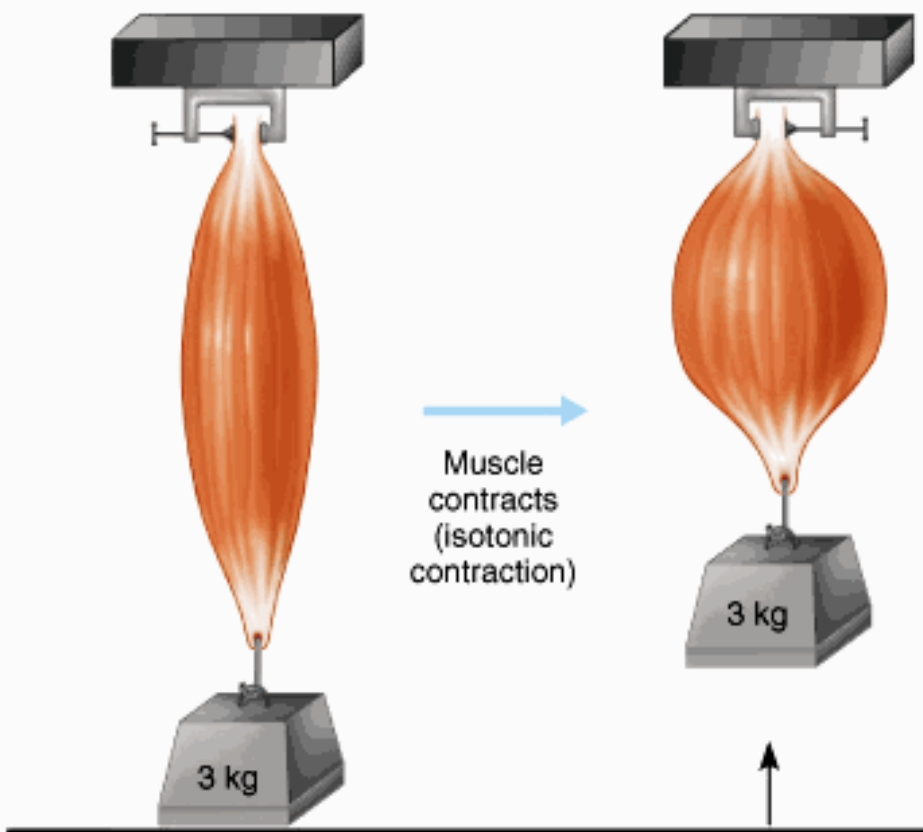
Ізометричне скорочення

При цьому типі довжина м'язових волокон залишається незмінною, а напруга збільшується. Наприклад, витягування будь-якого важкого предмета.

Ауксотонічне скорочення являє собою поєднання ізотонічного та ізометричного скорочення. Прикладом є скорочення язика.



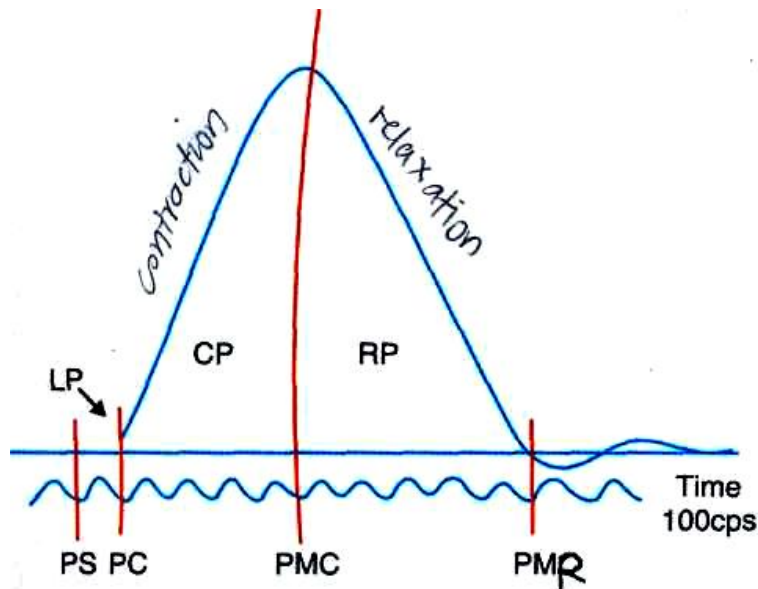
(b) Isometric contraction



(a) Isotonic (concentric) contraction

ПРОСТЕ М'ЯЗЕВЕ СКОРОЧЕННЯ

Коли застосовується подразник із пороговою силою, м'яз скорочується, а потім розслабляється. Скорочення реєструється як відхилення вгору від базової лінії. І розслаблення реєструється як відхилення вниз назад до базової лінії.



Ізотонічна проста м'язова крива. PS = точка стимулу.

PC = точка скорочення.

PMC = точка максимального скорочення.

LP = латентний період (0,01 с).

CP = Період скорочення (0,04 с).

RP = період релаксації (0,05 с)

Всі ці чотири точки ділять всю просту м'язову криву на 3 періоди.

Латентний період - ЛП

Період скорочення - CP

Період релаксації - RP



Залежно від часу скорочення скелетні м'язи поділяються на два типи: червоні м'язи та білі м'язи. Подібним чином, залежно від часу скорочення та активності АТФ-ази міозину, м'язові волокна також поділяються на два типи, тип I і тип II.

Волокна I типу (повільні волокна) мають малий діаметр.

Волокна II типу (швидкі волокна) мають великий діаметр.



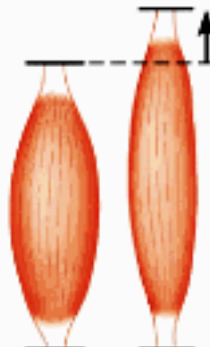
Large number of muscle fibers activated



Large muscle fibers



Tetanic contraction adequately stretches the series-elastic elements



Muscle and sarcomere length slightly over 100% of resting length

(a) Increased contractile force



Predominance of fast glycolytic (fatigable) fibers



Small load



Predominance of slow oxidative (fatigue-resistant) fibers

(b) Increased contractile velocity

(c) Increased contractile duration

Особливості червоних і білих м'язів

Червоні (повільні) м'язи	Білі (швидкі) м'язи
1. Вміст міоглобіну більше.	Вміст міоглобіну менше
2. Саркоплазматичний ретикулум менш виражений	Саркоплазматичний ретикулум більш виражений
3. Кровоносні судини більш виражені	Кровоносні судини більш виражені
4. Більша кількість мітохондрій	Менша кількість мітохондрій
5. Реакція повільніша ніж тривалий латентний період	Реакція швидка ніж тривалий латентний період
6. Скорочення меншої сили	Скорочення більшої сили
7. Цей м'яз бере участь у тривалій і безперервній діяльності.	Цей м'яз не бере участь у тривалій і безперервній діяльності.
8. Втома настає повільно	Втома настає швидко
9. Виробництво АТФ залежить від клітинного дихання	Утворення АТФ залежить від гліколізу



ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА СИЛУ СКОРОЧЕННЯ

На силу скорочення скелетних м'язів впливають такі фактори:

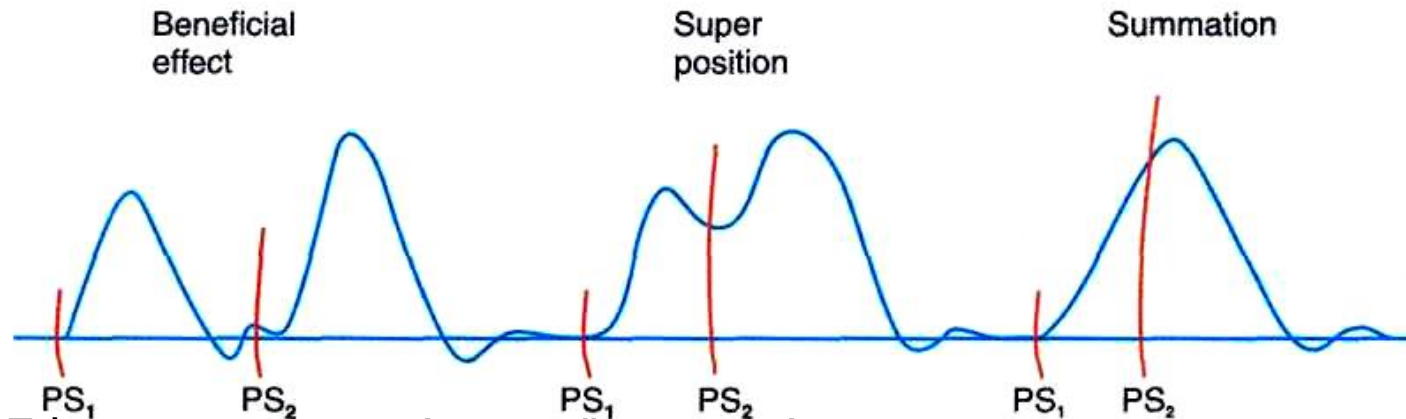
- А. Сила подразника
- Б. Кількість подразника
- С. Температура і
- Д. Навантаження

Вплив частоти стимулу

На силу скорочення м'яза впливає зміна частоти подразників. Один стимул викликає просте посмикування м'язів. Однак два або більше ніж два (множинні) стимули викликають різні ефекти.

Вплив двох послідовних стимулів:

Коли до м'яза застосовуються два стимули послідовно, залежно від інтервалу між двома стимулами помічаються три різні ефекти.



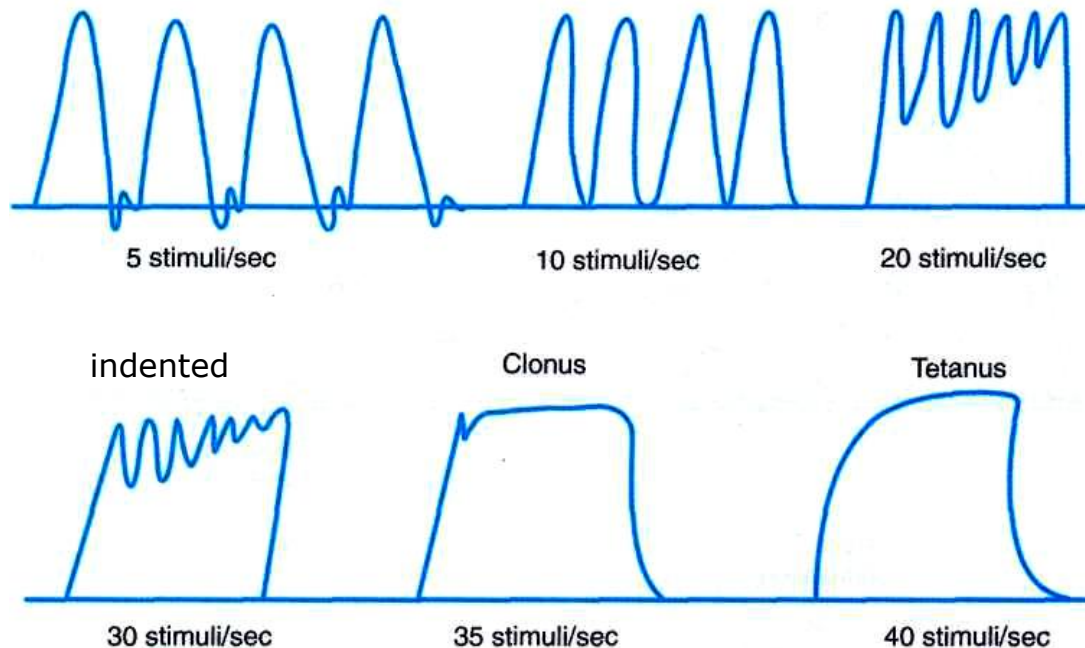
Ефект двох послідовних стимулів.

PS1 = Точка першого стимулу. PS2 = точка другого стимулу.

М'яз дає просте **скорочення (посмикування)** на одиничне подразнення (стимул).

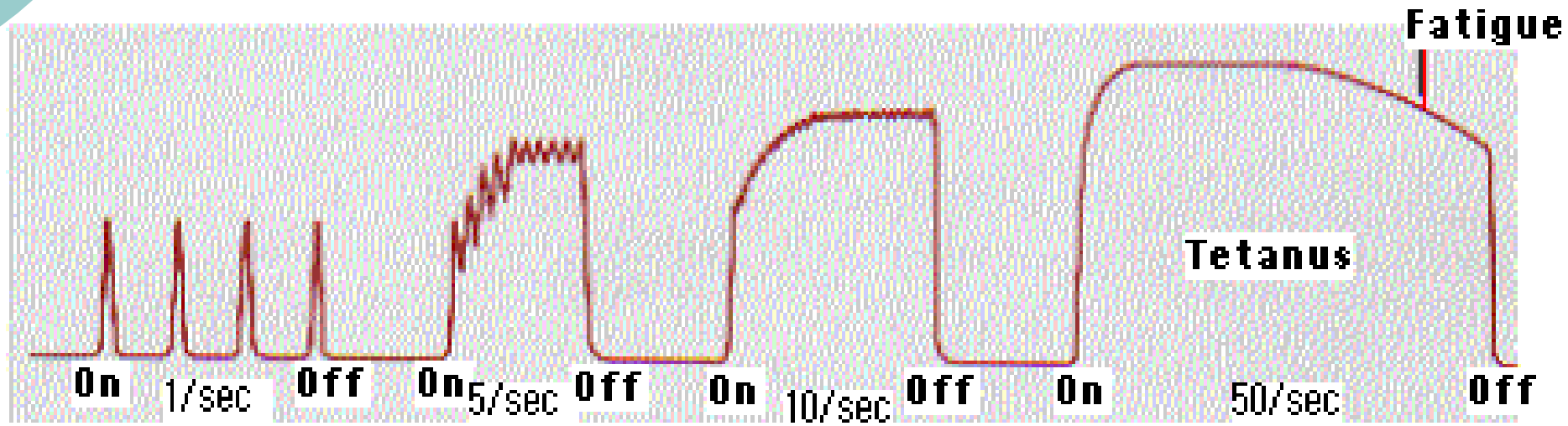
Неповний (незрощений, вдавлений) тетанус виникає при повторних подразненнях у період релаксації (з частотою 15 імпульсів за 1 хв).

Повний (злитий, гладкий) тетанус має місце при повторних подразненнях в період скорочення (з частотою 30 імпульсів за 1 хв).

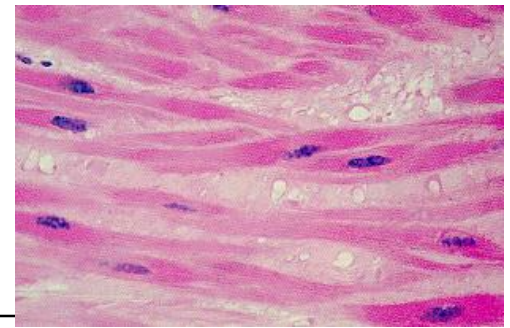


Генез тетанусу і тетанічних кривих

Запис скелетних м'язів жаби, викликаних електростимуляцією з різницею частот.



ГЛАДКА МУСКУЛАТУРА



Гладкі м'язи - це непосмуговані (плоскі) і недовільні м'язи. Ці м'язи утворюють основні скоротливі тканини різних органів. Гладка мускулатура розташована на стінках травного тракту, секреторних залоз, дихальних шляхів, сечового міхура, сечоводів, уретри, артерій, вен, м'язів райдужної оболонки та війкового тіла очного яблука.

Кожне м'язове волокно містить міофібрили. Міофібрили складаються з м'язових білків. Але немає чергування темних і світлих смуг. Це є причиною непосмугованого вигляду гладкої мускулатури.

Гладком'язове волокно містить компоненти актину, міозину і тропоміозину. Але тропоніну або тропоміозиноподібної речовини немає. При збудженні гладком'язових волокон іони кальцію надходять у саркоплазму з позаклітинної рідини. Іони кальцію поєднуються з білком під назвою кальмодулін, що призводить до ініціації скорочення.

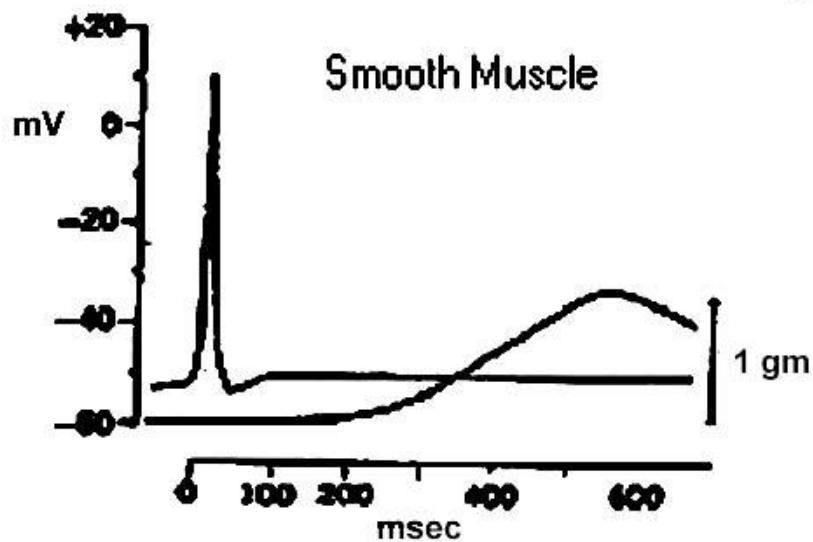
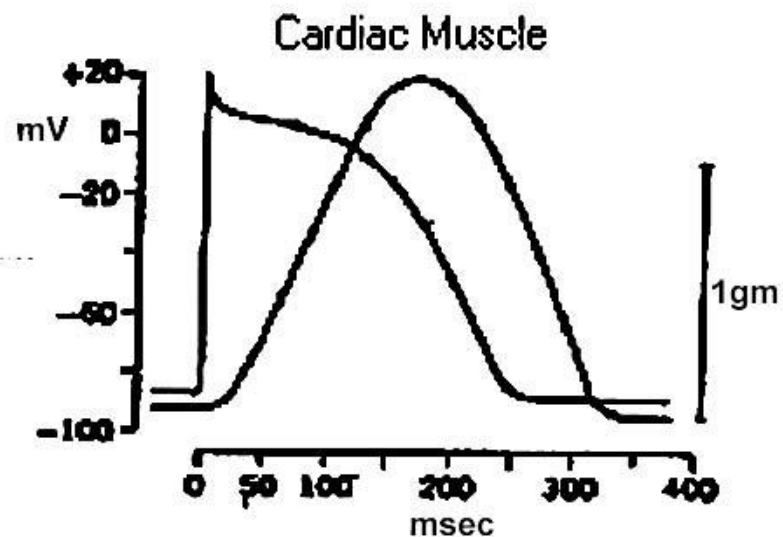
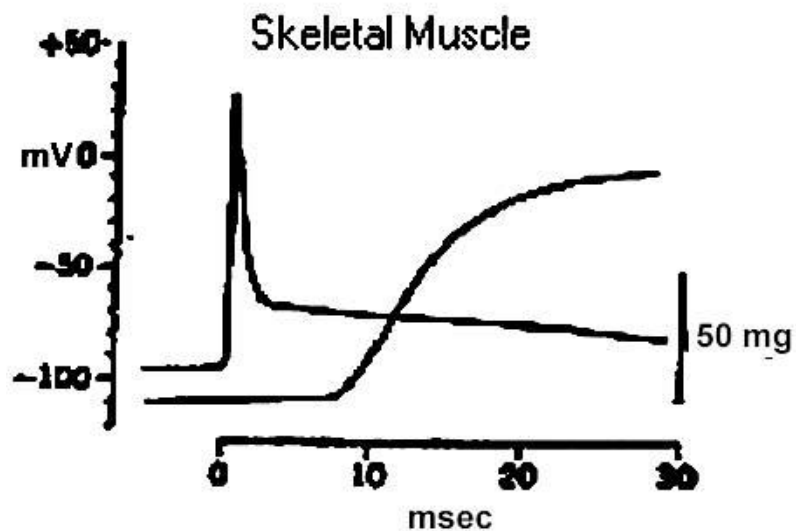
Деполаризація відбувається за рахунок входження іонів кальцію, а не іонів натрію.

Гладкі м'язи живляться як симпатичними, так і парасимпатичними нервами.

Є три загальні фізіологічні характеристики, які застосовуються до всіх категорій гладкої мускулатури.

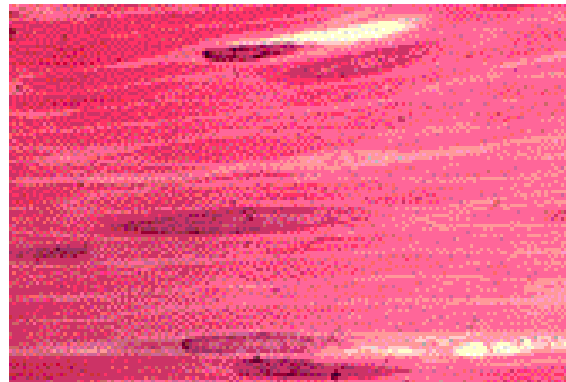
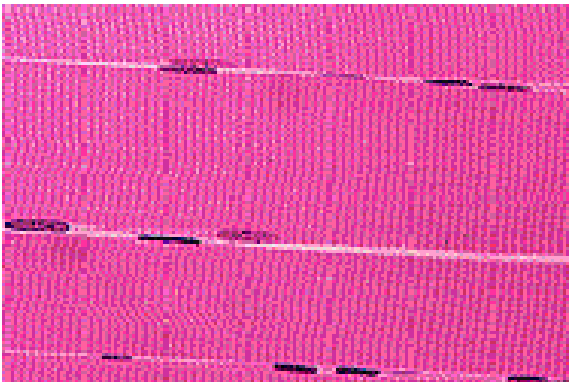
Вони здатні до повільних тривалих скорочень, які підтримуються з мінімальними витратами енергії.

1. Рухова іннервація здійснюється виключно через вегетативну нервову систему.
2. Вони демонструють певний ступінь внутрішнього тону (базальний рівень активного напруження в спокої, на який накладаються скорочення або розслаблення).

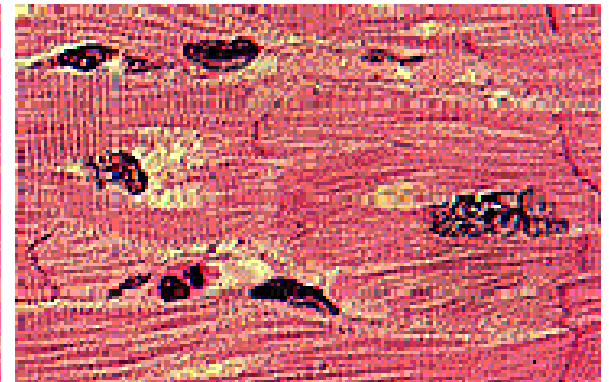


М'ЯЗИ

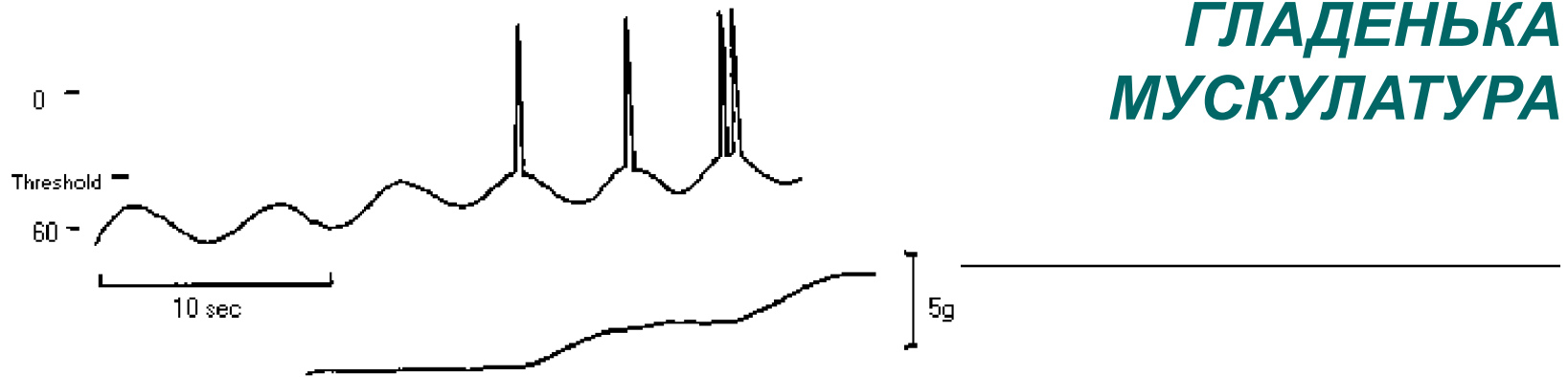
ПОСМУГОВАНІ М'ЯЗИ ГЛАДЕНЬКІ М'ЯЗИ



СЕКРЦЕВИЙ М'ЯЗ



ГЛАДЕНЬКА МУСКУЛАТУРА



У клітинах водія ритму та в клітинах поблизу нього, які електрично з'єднані нексусами з низьким опором, відбувається регулярне повільне коливання мембранного потенціалу спокою, відоме як повільні хвилі. Якщо пік повільної хвилі перевищує критичний рівень потенціалу або поріг, це призводить до генерації одного або кількох потенціалів дії. Потенціал дії поширюється по електрично пов'язаних гладком'язових клітинах і викликає реакцію напруги, як показано на малюнку нижче. Цикл повільної деполяризації заснований на циклічній активності електрогенного натрієвого насоса. Він дуже залежить від метаболічної активності та може бути заблокований агентами, які спеціально блокують активну перекачування натрію. Потенціал дії, який запускається повільною хвилею, є результатом тимчасового збільшення провідності як для натрію, так і для кальцію. Якщо натрій видаляється з позаклітинної рідини, електрично стимульовані потенціали дії залишаються відносно незмінними, якщо підтримується концентрація кальцію. За цих умов реакція на напругу також залишається незмінною, що вказує на важливість припливу кальцію під час потенціалу дії для активації скоротувальної системи. Скоротлива реакція зростає по відношенню до позитивної амплітуди повільної хвилі. Це пов'язано з довшим періодом, протягом якого поріг перевищено, і генерацією множинних потенціалів дії та пропорційним збільшенням напруги.

ГЛАДЕНЬКА МУСКУЛАТУРА

Для гладкої мускулатури кишечника ця спонтанна активність водія ритму модулюється холінергічними та адренергічними нейрональними імпульсами. Ацетилхолін призводить до деполяризації, яка зміщує повільну хвилю вгору, щоб перевищити поріг протягом більшого періоду часу протягом кожного циклу та посилити скорочувальну відповідь. Симпатична активність має гіперполяризуючий вплив, затакуючи пік повільної хвилі нижче порогу, таким чином зменшуючи електричну активність і генерацію напруги. Здається, жоден із нейромедіаторів суттєво не змінює саму повільну хвилю, а радше скидає базову лінію, навколо якої вона коливається. Цей зв'язок збудження та гальмування з холінергічною та адренергічною нейропередачею не є універсальним для гладких м'язів. Наприклад, деякі гладкі м'язи судин відповідають на адренергічну стимуляцію збудженням, а на холінергічну стимуляцію – розслабленням. Ці теми будуть більш детально розглянуті в фізіології та фармакології вегетативної нервової системи пізніше під час вашого навчання.

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СКЕЛЕТНИХ ТА ГЛАДКИХ М'ЯЗІВ

Характеристика	Скелетна мускулатура	Гладенька мускулатура
Вони є структурною частиною	опорно-рухового апарату	оболонки внутрішніх органів і судин (оболонки)
Вони мають	непластичний тонус	пластичний тонус
Вони мають	швидку короткочасну деполяризацію і короткий абсолютний рефрактерний період	повільну деполяризацію і тривалий абсолютний рефрактерний період
Вони мають	нездатністю до диференціації та поділу	особливості диференціювання, поділу та регенерації при пошкодженні

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СКЕЛЕТНИХ ТА ГЛАДКИХ М'ЯЗІВ

(продовження)

Характеристика	Скелетна мускулатура	Гладенька мускулатура
Вони іннервуються	соматичною нервовою системою	вегетативною нервовою системою і мають власний іннерваційний апарат (метасимпатична нервова система)
Вони скорочуються	при передачі імпульсів по рухових нервах від мотонейронів спинного мозку (відсутність автоматизму)	як за імпульсами, що виникають в самих м'язах (наявність автоматизму), так і за передачі імпульсів по вегетативних нервах
У них є здатність	швидко фазово скорочуватись.	тривало тонічно скорочуватись.

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СКЕЛЕТНИХ ТА ГЛАДКИХ М'ЯЗІВ

(продовження)

Характеристика	Скелетна мускулатура	Гладенька мускулатура
Вони здійснюють довільні м'язові рухи, що супроводжуються	значною втратою енергії	незначні втрати енергії
Вони мають	слабку чутливість до хімічних речовин	високу чутливість до хімічних, фармакологічних, ендогенних речовин
Вони реагують на ліки	в деякій мірі	У високій мірі

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СКЕЛЕТНИХ ТА ГЛАДКИХ М'ЯЗІВ

Індекс	Скелетна мускулатура	Гладенька мускулатура
Хронаксія, мсек	0,08-0,4	2,0-3,0
Рефрактерний період, сек	0,005-0,01	0,3-0,4
Швидкість скорочення	Велика	Маленька
Втома	Втомлюються досить швидко	Мають здатність до тривалого скорочення (пластичний тонус)
Швидкість проведення екзальтації, мсек	6,0-11,0	1,0-4,0
Структурні частини м'язів	М'язові волокна	Непосмуговані міоцити
Смугастість (смуги)	Наявні	Відсутні

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СКЕЛЕТНИХ ТА ГЛАДКИХ М'ЯЗІВ (продовження)

Індекс	Скелетна мускулатура	Гладенька мускулатура
Локалізація скоротливих білків	Актинові і міозинові волокна чергуються	Скоротливі білки не мають особливого порядку
Довгота окремого скорочення, сек	0,1 0,01 сек – латентний період; 0,04 сек – період дефіциту; 0,05 сек – період релаксації	1,0
Закони роботи	весь м'яз – закон сили; роздільне волокно – «все або нічого»; закон «сила часу»..	Жодного

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СКЕЛЕТНИХ ТА ГЛАДКИХ М'ЯЗІВ (продовження)

Індекс	Скелетна мускулатура	Гладенька мускулатура
Основні риси:	збудливість; провідність; скоротливість; еластичність (здатність розвивати напругу при розтягуванні); Лабільність.	Її еластичність більш виражена в порівнянні з скелетною; пластичний тонус – здатність до тривалого скорочення без подальшого розслаблення (наприклад, будь-яка судина не може бути розширена або звужена в максимальному обсязі); відповідна реакція на розтягування – скорочення; автоматизм (всі міоцити)

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СКЕЛЕТНИХ ТА ГЛАДКИХ М'ЯЗІВ (продовження)

Індекс	Скелетна мускулатура	Гладенька мускулатура
Наявність тетанусу	Існує 2 основних види тетанусу: повний або гладкий; неповний або інфузійний.	Гладка мускулатура тетанусу не дає.
Особливості потенціалу дії	6 фаз	тривалий час знаходиться на нульовому рівні; період екзальтації відсутній.

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СКЕЛЕТНИХ ТА ГЛАДКИХ М'ЯЗІВ

Са-залежна скорочувальна частина

<i>В скелетній мускулатурі</i>	<i>В гладенькій мускулатурі</i>
Суть: на актині повинні відкритися локуси для зв'язування міозину; в іншій ситуації міозин може бути з'єднаний з актином. Алгоритм подій (порядок):	Суть: легкі ланцюги міозину повинні бути фосфорильовані, тому що головка міозину може зв'язувати і розщеплювати АТФ і взаємодіяти з актином тільки в стані фосфорилування. Алгоритм подій (порядок):
1. Скоротливий імпульс	1. Скоротливи́ф стимул (нервовий імпульс, гормон):
2. Проходження імпульсу через цитомембрану	2. Відкриття кальцієвих каналів у цитомембрані, гладкому ендоплазматичному ретикулумі, мітохондріях

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СКЕЛЕТНИХ ТА ГЛАДКИХ М'ЯЗІВ (продовження)

Са-залежна скорочувальна частина (продовження)

<i>В скелетній мускулатурі</i>	<i>В гладенькій мускулатурі</i>
3. Імпульс, що надходить через мембрану Т-подібних трубок	3. Зв'язування кальцію з кальмодуліном (1 молекула білка кальмодулін зв'язує 4 іони кальцію) - це називається тригерним моментом м'язового скорочення.
4. Інозит-фосфат, що виробляється з ліпідів мембран Т-трубок	4. Комплекс «кальцій+кальмодулін» активує кіназу легких ланцюгів міозину
5. Дифузія інозитол-фосфату в ендоплазматичний ретикулум	5. Кіназа легких ланцюгів міозину фосфорилує легкі ланцюги головки міозину, і вони можуть зв'язувати та розкласти АТФ, а також зв'язуватися з актином у такому стані

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СКЕЛЕТНИХ ТА ГЛАДКИХ М'ЯЗІВ

Са-залежна скорочувальна частина (продовження)

<i>В скелетній мускулатурі</i>	<i>В гладенькій мускулатурі</i>
6. Інозитол-фосфатна взаємодія з власними рецепторами на мембрані ретикулуму	
7. Кальцієві канали відкриваються в мембранах ретикулума	
8. Вихід кальцію з ретикулуму в цитозоль (концентрація Са в умовах спокою в цитозолі дорівнює 10^{-7} - 10^{-8} ммоль/л, при скороченні – 10^{-5} ммоль/л)	
9. Дифузія Са до міофібрил	

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СКЕЛЕТНИХ ТА ГЛАДКИХ М'ЯЗІВ

Са-залежна скорочувальна частина (продовження)

<i>В скелетній мускулатурі</i>	<i>В гладенькій мускулатурі</i>
10. Зв'язування Са з тропоніном С – пусковий механізм скорочення	
11. На актині відкриваються сайти для зв'язування міозину	
12. Тепер міозин може зв'язувати актин	

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СКЕЛЕТНИХ ТА ГЛАДКИХ М'ЯЗІВ

Подальші події (загальні для скелетних і гладких м'язів) – АТФ-залежна частина скорочення

1. Голівка міозину зв'язує молекулу АТФ.
2. Голівка міозину розкладає АТФ до АДФ і фосфату, АДФ і фосфат залишаються зв'язаними з голівкою міозину; голівка міозину, що містить АДФ і фосфат, повертається і зв'язується з актином.
3. АДФ і фосфат від'єднані від зв'язування голівки міозину з актином; в цей момент голівка міозину здійснює гребний рух і молекула міозину проходить поряд з молекулою актину (іншими словами, молекула міозину розтягує актин до себе).
4. Голівка міозину зв'язує нову молекулу АТФ і відразу після цього від'єднується від актину і займає початкове місце.
5. Таким чином, м'яз не може ні скорочуватися, ні розслаблятися без АТФ. Голівка міозину володіє АТФ-азною активністю лише за умови скорочення.

СЕРЦЕВИЙ М'ЯЗ

Серцевий м'яз утворює мускулатуру серця. Ці м'язи поперечно-смугасті та мимовільні. Скорочення серцевого м'язу забезпечується як симпатичним, так і парасимпатичним відділами вегетативної нервової системи.

Період скорочення ділиться на фази:

1. **систола** (передсердь і шлуночків) – скорочення;
2. **діастола** (передсердь і шлуночків) – розслаблення.

Міокард працює за законом **«все або нічого»**.

2 типи міокардіоцитів:

- 1) типові (робочі, скоротливі) – мають збудливість, скоротливість і провідність;
- 2) атипові (автоматичні) – провідна система серця – володіють збудливістю, провідністю та автоматизмом.

Тетанус відсутній.

У типових кардіоміоцитах – швидко зростаючий потенціал дії з тривалим абсолютним рефрактерним періодом.

В атипових кардіоміоцитах (переважно в сино-атріальному вузлі) – повільно наростаючий потенціал дії зі спонтанною вторинною діастолічною деполяризацією, внаслідок чого можливе безперервне продовження скорочення серця протягом усього життя людини.