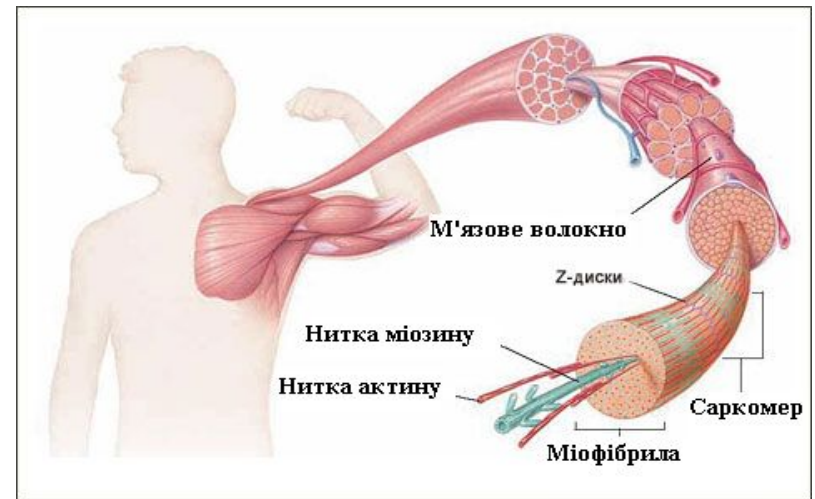
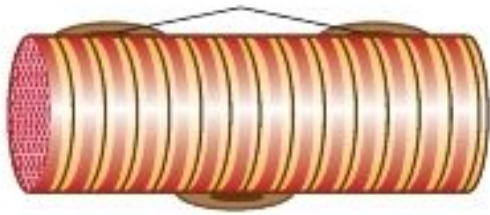


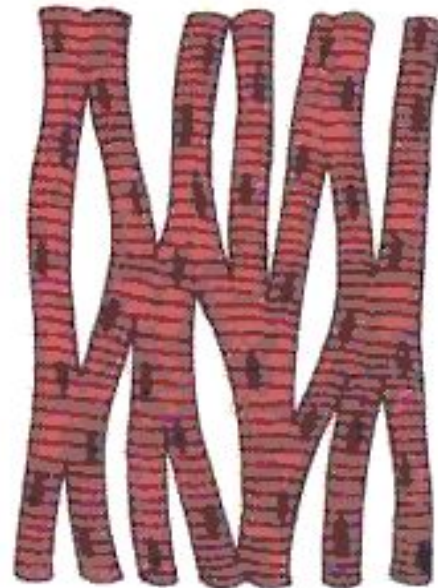


Тема лекції: “Фізіологія м’язів”

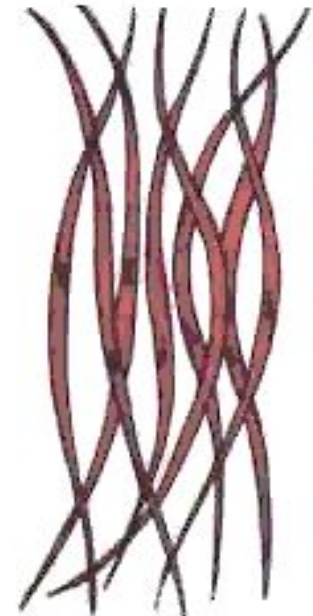
Типи м'язових волокон



волокно скелетного м'яза



серцевий м'яз



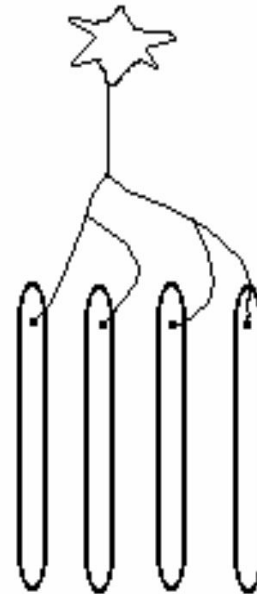
гладкий м'яз

Нейро-моторні одиниці

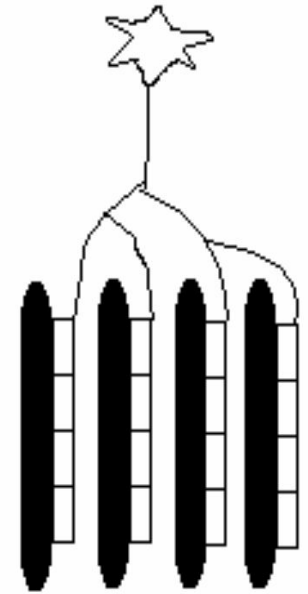
Аксон рухового нейрона інервує багат м'язових волокон. Група м'язових волокон, які інервуються одним мотонейроном утворюють рухову або нейромоторну одиницю.

Кількість м'язових волокон у такій одиниці може бути різною. Рухові одиниці, які контролюють точні рухи, як правило, складаються з невеликої кількості м'язових волокон. До них відносяться м'язи пальців рук. Сила скорочення м'яз регулюється кількістю збуджених рухових одиниць.

Всі рухові одиниці скелетних м'язів ділять на дві групи: фазні або швидкі і тонічні або повільні. У фазних нейромоторних одиницях поодинокий тип інервації (мал. а), а в тонічних - множинний (мал. б).



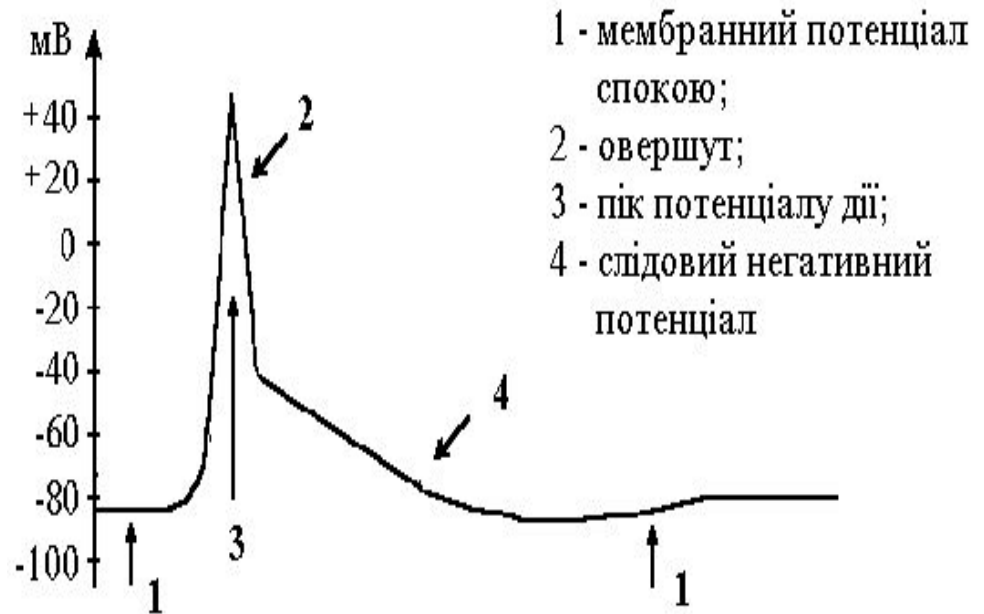
а)



б)

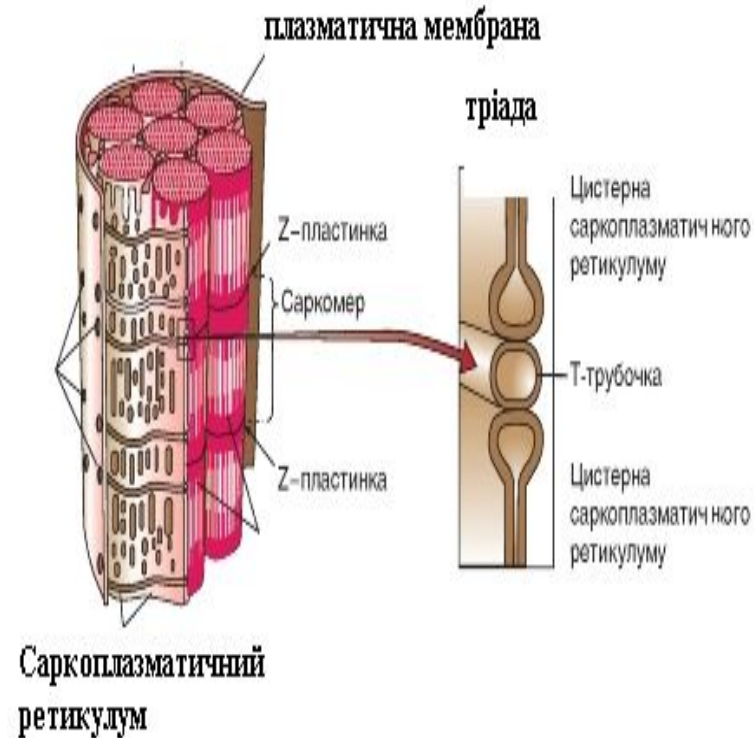
Електрофізіологічні особливості скелетного м'яза

У фазних м'язових волокнах величина мембранного потенціалу спокою становить -80-90 мВ. Створює цей потенціал дифузія іонів K^+ і Cl^- , але основна роль належить іонам Cl^- . У генерації потенціалу дії фазних м'язових волокон, основну участь приймають іони Na^+ і K^+ . У потенціалі дії розрізняють пік, який складається з висхідної (деполяризація) і низхідної (реполяризація) частини. У кінці потенціалу дії є слідовий негативний потенціал. Слідового позитивного потенціалу і гіперполяризації немає.



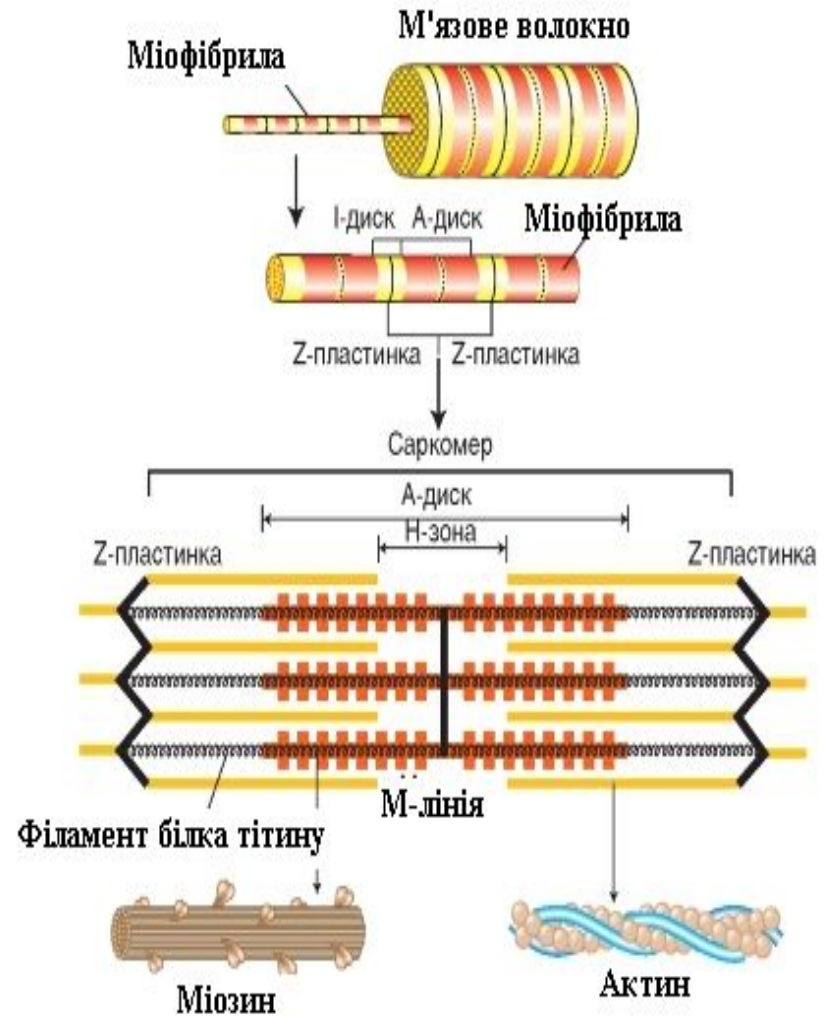
Будова скелетного м'яза

М'яз складається із багатьох м'язових волокон, покритих збудливою мембраною. У саркоплазмі м'язового волокна розташовані міофібрили, які відокремлені одна від одної саркоплазматичним ретикулумом (СР). СР - це мережа, утворена зі з'єднаних між собою цистерн, трубочок та пухирців. На мембранах СР працює кальцієва помпа, яка накачує іони кальцію із саркоплазми у порожнину ретикулума, в результаті чого створюється градієнт їх концентрації між саркоплазмою і СР. До цистерн СР тісно прилягають так звані Т-трубочки, поверхневі мембрани яких втискуються перпендикулярно у м'язове волокно. Вони оточують кожен міофібрилу і таким чином сполучаються своїми порожнинами з міжклітинним середовищем.



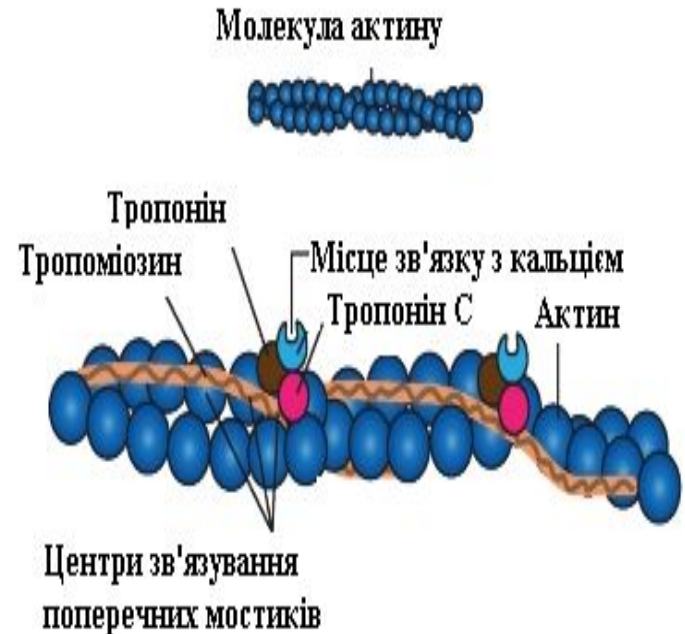
Ультраструктура скелетного м'яза

М'язове волокно скелетних м'язів має поперечну посмугованість - регулярно чергуються світлі і темні ділянки. Це зумовлено взаєморозташуванням актинових і міозинових ниток. Відстань між двома сусідніми Z-мембранами називається саркомером. Н-смуга - ділянка, де в розслабленому стані м'яза тонкі міофіламенти не накладаються на товсті; А-смуга - анізотропний диск, утворений сукупністю міозинових філаментів; І-смуга - ізотропний диск, утворений сукупністю актинових філаментів; Z-пластинка - тонка мембрана, яку видно на поперечному зрізі як темну лінію в центрі І-диску; служить для розмежування саркомерів посмугованого м'яза.



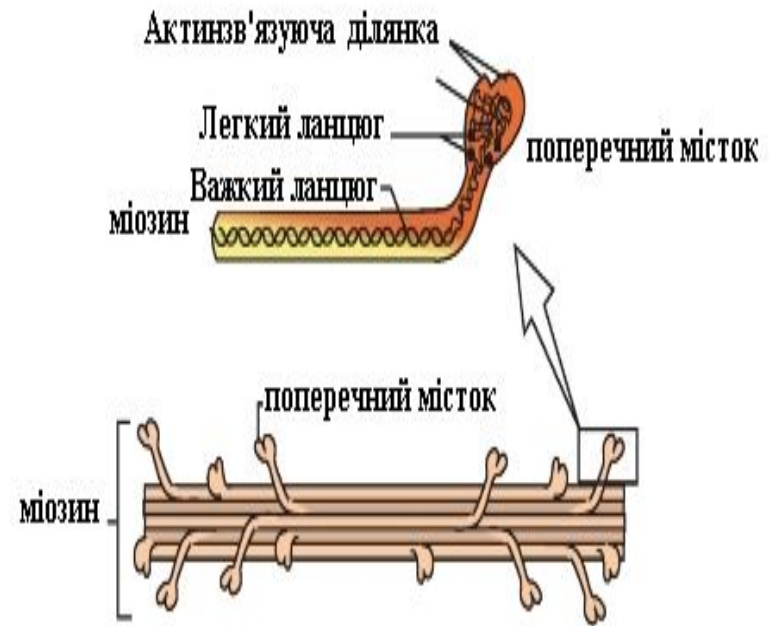
Будова і фізіологічна роль актину

Актинова нитка складається з глобулярних молекул білка актину, об'єднаних у два ланцюжки і закручених у подвійну спіраль. У борозенках цієї спіралі через рівні проміжки розташований інший білок - тропонін, що складається з трьох субодиниць, одна з яких, кальмодулін, у спокої закриває активний центр актину, тому міозинові містки не можуть приєднатися до нього. Кальмодулін має підвищену спорідненість до іонів кальцію, у разі з'єднання з яким змінює свою просторову конфігурацію і відкриває активний центр актину під час м'язового скорочення.



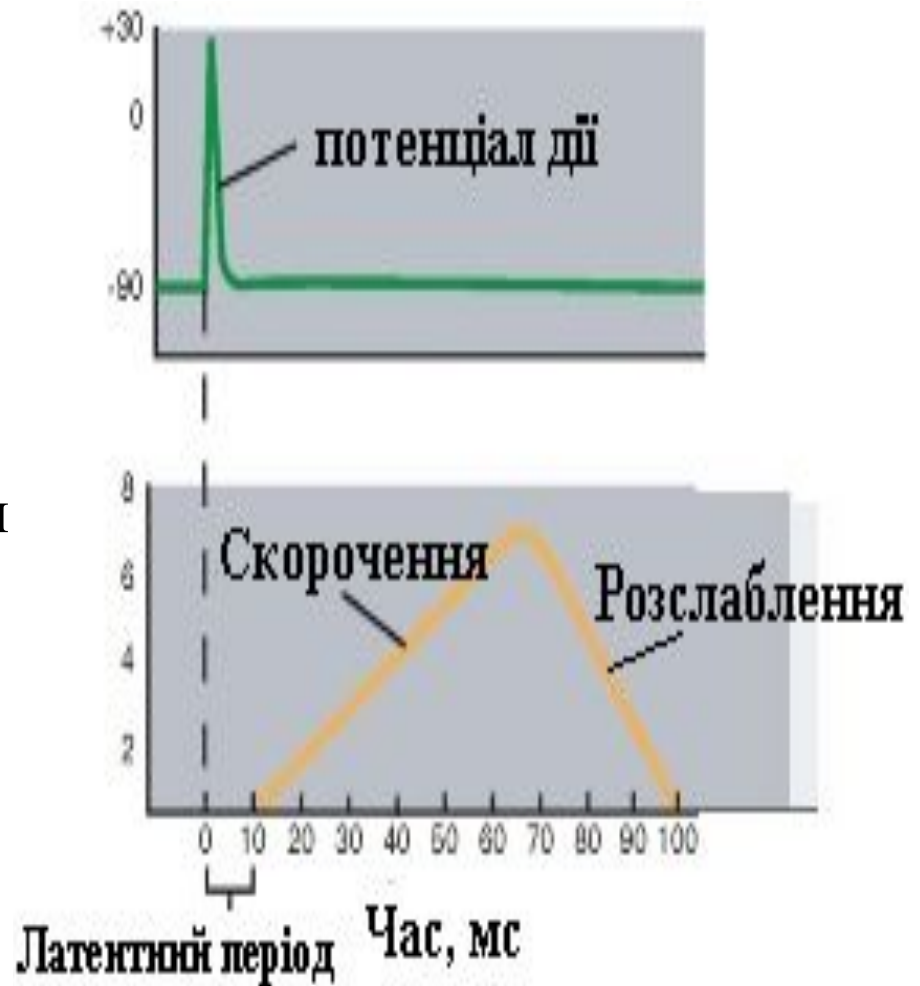
Будова і фізіологічна роль міозину

Молекула міозину складається з двох великих поліпептидів (важких ланцюгів) і чотирьох менших (легких ланцюгів). Ці поліпептиди складають молекулу з двома глобулярними «головками», які містять обидва види ланцюгів, і довгим стрижнем («хвостом») з двох переплетених важких ланцюгів, їх інакше називають поперечними містками. На кожній глобулярній голівці знаходяться по дві ділянки зв'язування: для актину і для АТФ. Ділянки зв'язування з АТФ володіють також властивостями ферменту АТФ-ази, який гідролізує молекулу АТФ.



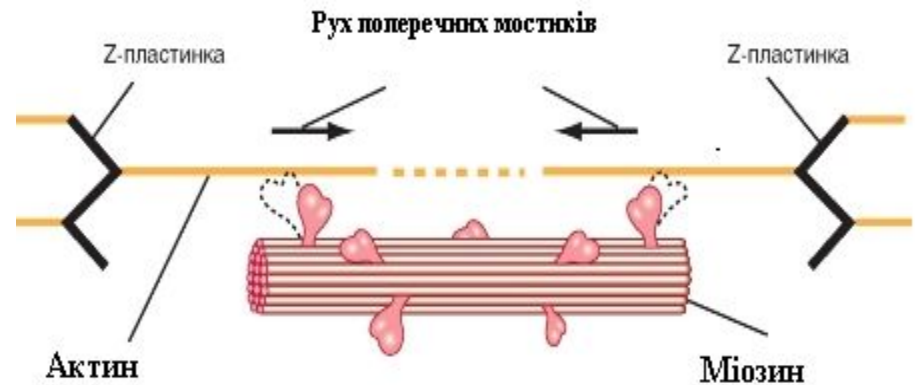
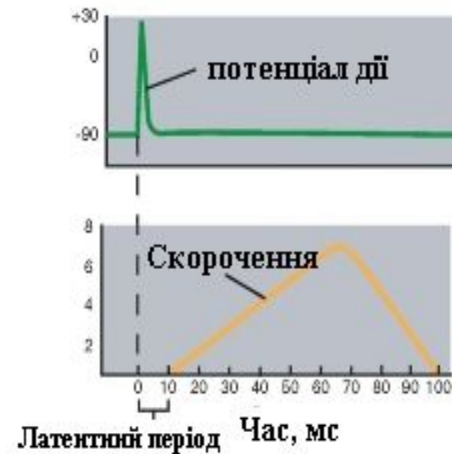
Співвідношення збудження і скорочення скелетного м'яза

- У нормальних умовах потенціал дії фазного м'язового волокна супроводжується одним скороченням. Це скорочення починається після закінчення пікової частини потенціалу дії і триває 200-300 мс при тривалості потенціалу дії 3-5 мс. Час від початку виникнення потенціалу дії до початку появи скорочення називається латентним періодом скорочення.



Спряження процесів збудження і скорочення в скелетному м'язі

- Генерація ПД мотонейроном
- Вивільнення ацетилхоліну в кінцевій пластинці
- Зв'язування ацетилхоліну з ацетилхоліновими рецепторами постсинаптичної мембрани
- Збільшення проникності постсинаптичної мембрани (мембрана м'язового волокна) до Na^+ і K^+
- Утворення потенціалу кінцевої пластинки
- Утворення ПД м'язового волокна
- Поширення деполяризації у Т-трубочках.
- Вихід іонів кальцію в міоплазму.



Механізм скорочення скелетних м'язів

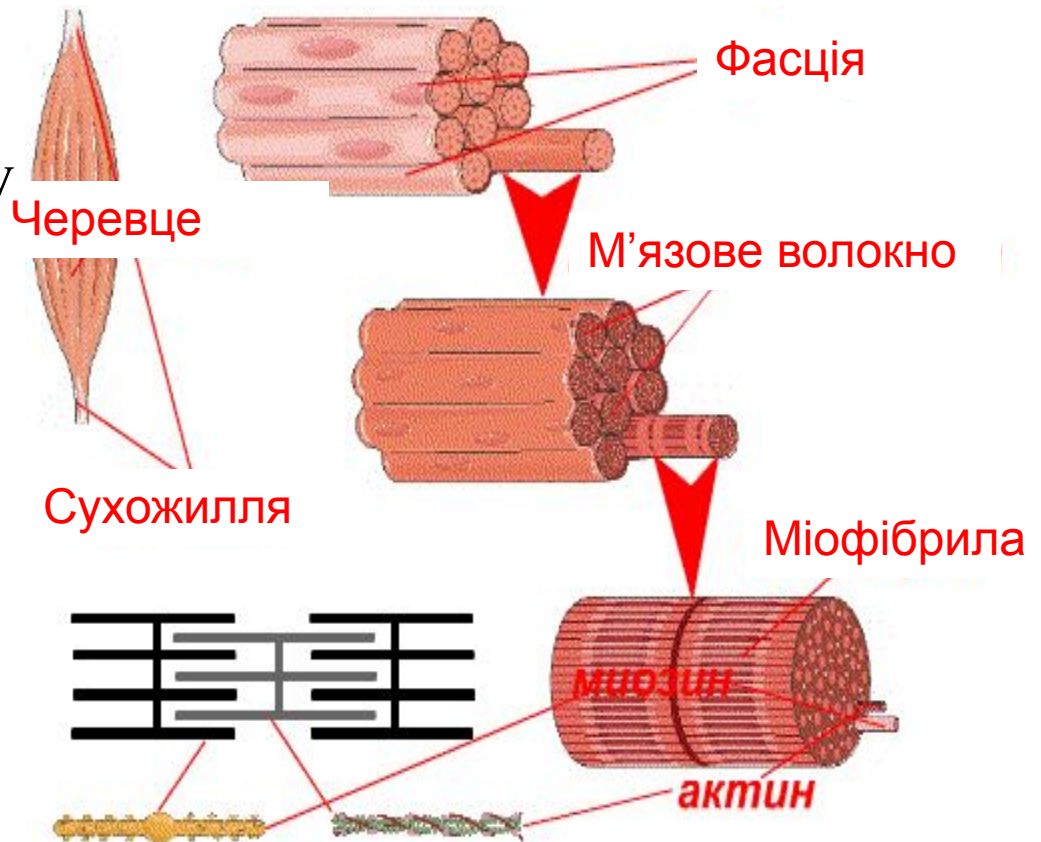
Іони кальцію із цистер SR за градієнтом концентрації надходять усередину міофібрил і розподіляються між актиновими та міозиновими нитками. Тут іони кальцію зв'язуються з тропоніном C , внаслідок чого відкривається активний центр актину, з яким тут же вступає в реакцію міозиновий місток. Одночасно іде розщеплення АТФ, енергія якої витрачається на поворот містка, який уже зв'язаний з актином і він від'єднується від актину. На їх місце приєднується нова молекула АТФ, що призводить до розриву зв'язку міозину з активним центром актину, - відбувається ковзання ниток актину і міозину одна відносно іншої (на "один крок"). Водночас інший місток приєднується до наступного актинового центру і т.д. У результаті скорочується кожен саркомер окремо і все м'язове волокно в цілому.

Механізм розслаблення скелетних м'язів

- Розслаблення м'яза настає після фази реполяризації. Під час цього активується кальцієва помпа на мембранах СР, яка активно перекачує туди іони кальцію. Актomioзинові зв'язки розриваються і м'яз завдяки своїй пружності та еластичності видовжується. Оскільки робота помпи вимагає затрат енергії, очевидно, що процес м'язового розслаблення супроводжується розпадом АТФ.

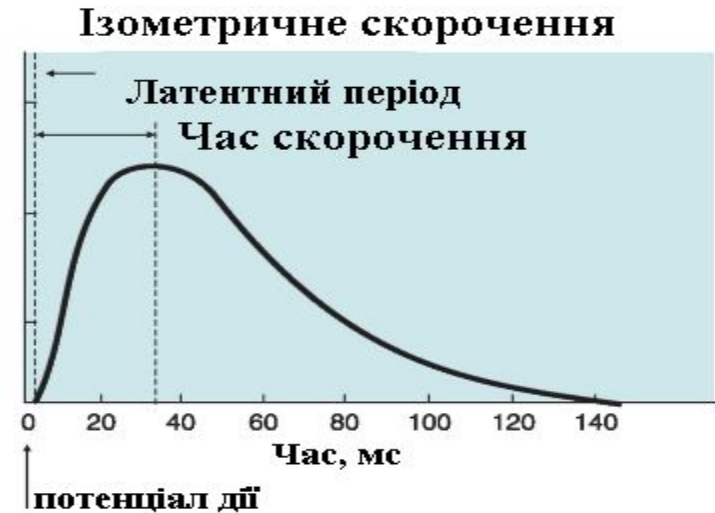
Механізм скорочення і рослаблення скелетних м'язів

Таким чином, енергія АТФ під час м'язового скорочення і розслаблення витрачається на роботу Na-K-помпи на поверхні мембрани м'язового волокна, на забезпечення роботи кальцієвої помпи на мембранах СР (створення надлишку іонів кальцію у порожнинах СР) і на саме м'язове скорочення (поворот міозинового містка і ковзання протофібрил).



Типи скорочення м'язів

- Ізотонічними називаються скорочення, під час яких довжина м'яза зменшується, а напруга не змінюється. Чисто ізотонічних скорочень за звичайних умов не існує.
- У разі ізометричних скорочень довжина м'яза не змінюється, а напруга його зростає (наприклад, скорочення м'яза, у якого нерухомо закріплено обидва кінці).
- Концентричними називаються скорочення, за яких м'яз скорочується, і ексцентричними, якщо м'яз подовжується (наприклад, у разі опускання вантажу).



Сумація скорочень м'язів



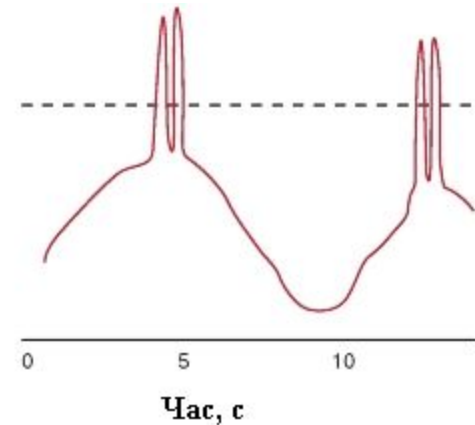
Зубчастий тетанус виникає при такій частоті, коли кожен наступний імпульс застає м'яз у періоді розслаблення. Суцільний тетанус спостерігається, коли нова хвиля скорочення починається до початку розслаблення. У природних умовах від рухових нейронів до м'яза надходить серія імпульсів. Тому тетанічний режим для скелетних м'язів є фізіологічним. Надзвичайно висока частота подразнень викликає зниження сили скорочень м'яза.

Електрофізіологічні особливості гладких м'язів

- Потенціал спокою гладких м'язів, по-перше, може бути стабільним у межах від -50 мВ до -60 мВ (наприклад, у судинах), по-друге, у вигляді повільних хвиль спонтанного коливання деполяризації (наприклад, у клітинах травного тракту). Коливання здійснюється практично в межах від -30 до -60 мВ. Потенціал спокою в гладких м'язах формується іонами K^+ , Na^+ , Cl^- . Особливістю іонного складу є велика внутрішньоклітинна концентрація іонів Na^+ і Cl^- .

Електрофізіологічні особливості гладких м'язів

- Потенціали дії гладких фазних м'язових волокон тривають від 29-50 мс до 1 с і більше. Отже тривалість потенціалу дії гладких м'язів більша за потенціал дії скелетних м'язів. Проте його амплітуда менша, ніж у скелетних м'язів. Закінчується потенціал дії гладких м'язів слідовою гіперполяризацією.



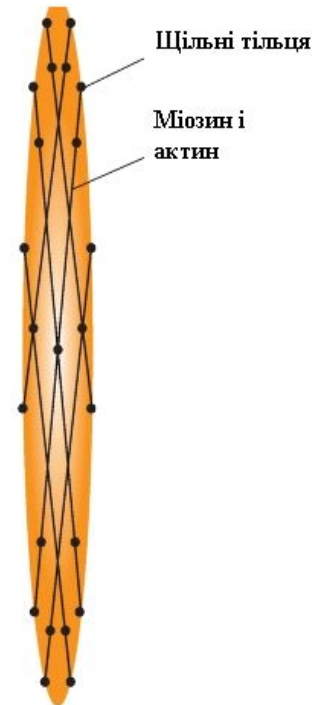
Електрофізіологічні особливості гладких м'язів

У розвитку потенціалу дії гладких м'язів основна роль належить іонам кальцію. Іони калію зменшують амплітуду і тривалість потенціалу дії гладких м'язів. Потенціал дії гладких м'язових волокон за причиною виникнення може бути: стимульованим (нейрогенним) або спонтанним (міогенним). Спонтанні потенціали виникають, як правило, в травному каналі. Виділяють два типи спонтанної активності: перший тип нерегулярний - потенціали дії виникають нерегулярно з різною частотою і другий тип регулярний – потенціали дії виникають регулярно. Спонтанна активність виникає у м'язових клітинах, які виконують функцію водія ритму. У цих клітинах локальний потенціал досягає критичного рівня деполяризації і переходить у потенціал дії. Після реполяризації мембрани спонтанно виникає наступний потенціал дії і так далі. Потенціал дії поширюється через нексуси на сусідні м'язові клітини, охоплює увесь м'яз, спричиняючи його скорочення.

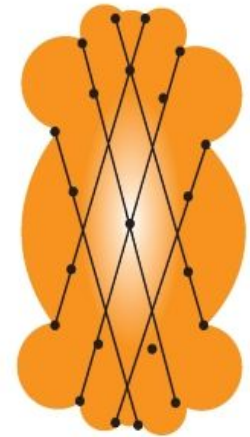
Механізм скорочення гладких м'язів

- У цитоплазмі гладких м'язових волокон також присутні міозин і актин. Актин кріпиться або до плазматичної мембрани, або до так званих щільних тілець. У розслабленому гладкому м'язовому волокні актин і міозин орієнтовані під косим кутом до довгої осі клітини. Під час вкорочення волокна ділянки плазматичної мембрани, що знаходяться між точками прикріплення актину, вибухають. Скорочення гладких м'язів відбувається також за допомогою механізму ковзних ниток. У гладких м'язів немає тропоніну С. Замість цього цикл поперечних містків у гладких м'язах контролюється Ca^{2+} - регульованим ферментом, який фосфорилує міозин.

Розслаблення



Скорочення



Еластичність, пластичність і розтяжність гладких м'язів

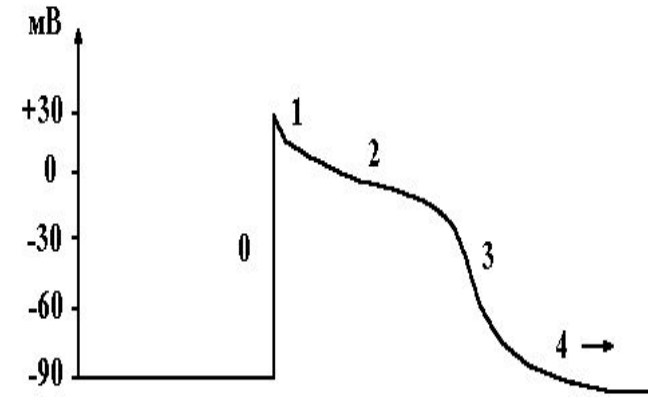
- При розтягненні гладкі м'язи функціонують як в'язкоеластичні і пластичні утвори. Під еластичністю розуміють властивість, суть якої зводиться до здатності відповідати на розтягнення підвищенням напруження. Важливою властивістю гладкого м'яза є і пластичність, тобто здатність зберігати надану розтягненням довжину без зміни напруження. Так от, на початку розтягування спостерігається деяке підвищення напруги, зумовлене еластичними властивостями міоцитів, а далі відбувається пластична податливість - напруження падає. Завдяки пластичній податливості непосмугована м'язова тканина може бути розслабленою як у розтягнутому, так і в скороченому стані. Внаслідок цієї властивості не відчувається тиску при наповненні шлунка або сечового міхура. Тобто завдяки пластичності гладких м'язів стінок порожнистих органів, тиск всередині них мало змінюється при різному ступені їх наповнення. Однак сильне розтягнення веде до активування клітин водіїв ритму, внаслідок чого виникає скорочення гладких м'язів.

Електрофізіологічні особливості кардіоміоцитів

- У склад серцевого м'яза входять клітини скоротливого міокарда і провідної системи. Величина потенціалу спокою клітин скоротливого міокарда складає - 90-95 мВ. Ця величина є стабільною. Потенціал спокою клітин скоротливого міокарда створюється іонами K^+ , Cl^- , проте на відміну від фазних смугастих м'язів хлорна проникність мембрани, порівняно з калієм, дуже мала. Потенціал спокою клітин провідної системи нижчий і складає близько - 60 мВ, проявляє спонтанні коливання і називається повільною спонтанною діастолічною деполяризацією. Це пов'язано з великою натрієвою проникністю мембран клітин провідної системи.

Електрофізіологічні особливості кардіоміоцитів

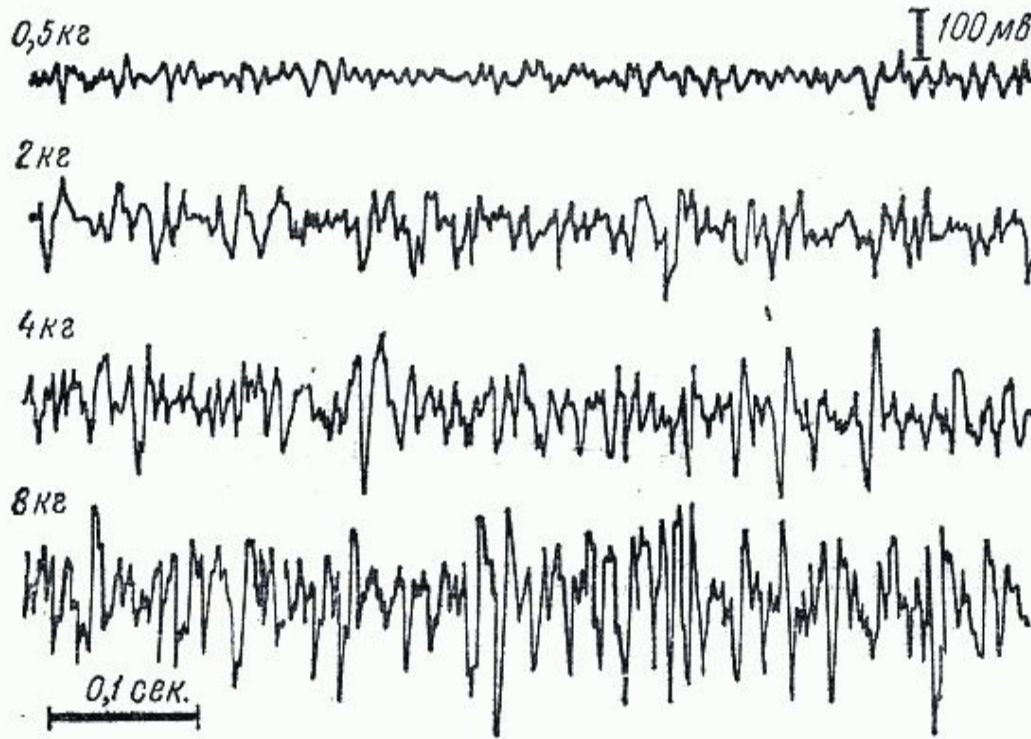
Серце здатне генерувати і два принципово різних потенціали дії: швидкий потенціал дії скоротливого міокарда і повільний потенціал дії клітин провідної системи. Швидкий потенціал дії триває більше 200 мс. Умовно його поділяють на швидку деполяризацію (фаза 0), швидку початкову реполяризацію (фаза 1), повільну реполяризацію (плато) (фаза 2), швидку кінцеву деполяризацію (фаза 3), фазу спокою (фаза 4).



0 – фаза швидкої деполяризації; 1 – фаза швидкої початкової реполяризації; 2 – фаза повільної реполяризації; 3 – фаза швидкої кінцевої реполяризації; 4 – фаза спокою

Електроміографія

Електроміографія - це метод реєстрації потенціалів дії, що виникають у м'язах.



Електроміографія двохголового м'яза плеча при статичному напруженні різної сили

Типи електроміограм

Перший тип - характерний для нормального м'яза і виникає при його довільних скороченнях. Цей тип електроміограми характеризується ритмічністю і високою частотою виникнення потенціалів дії - більше 50 за секунду.

Другий тип електроміограми характеризується ритмічністю виникнення потенціалів дії з частотою від 6 до 50 за секунду. Причому другий тип електроміограми має два підтипи: IIa і IIб. Підтип IIa при довільних скороченнях м'язів характеризується частотою виникнення потенціалів від 6 до 20 за секунду, а підтип IIб – від 21 до 50 за секунду. Цей тип електроміограми спостерігається деколи при зменшенні кількості функціонуючих м'язових волокон та в основному при ураженні рухових нейронів спинного мозку.

Третій тип електроміограми характеризується появою групових ритмічних і неритмічних розрядів при довільних м'язових скороченнях. Такий тип електроміограми спостерігається при ураженні супраспинальних рухових центрів. Наприклад, при паркінсонізмі.

Четвертий тип електроміограми характеризується електричним мовчанням м'яза при спробі довільного м'язового скорочення. Такий тип електроміограми відмічається при паралічах, повній атрофії м'язів, руйнуванні нервів.