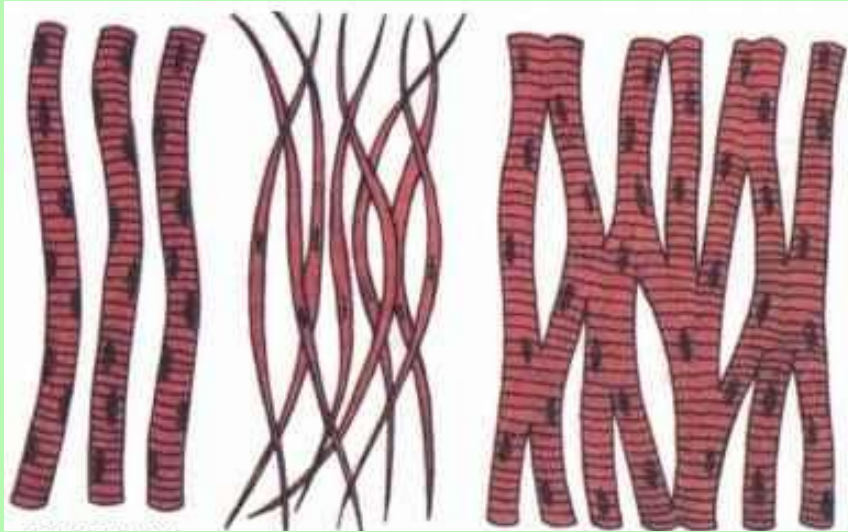


ФІЗІОЛОГІЯ М'ЯЗОВОЇ СИСТЕМИ



Типи м'язової тканини



Посмугована серцева

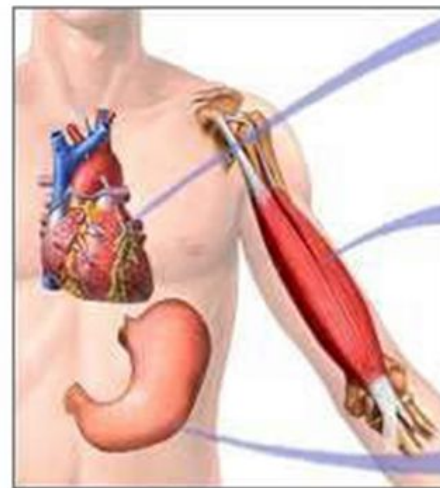
- За будовою схожа на посмуговану, а за властивістю – на гладеньку.
- Наділена автоматією

Посмугова на

Має поперечну посмугованість (зумовлена чергуванням ділянок із різним заломленням світла); Контролюється ЦНС; Формує руховий апарат

Гладенька

- Не має посмугованості
- слабо контролюється ЦНС;
- Формує внутрішні органи



Cardiac muscle cell



Skeletal muscle cell

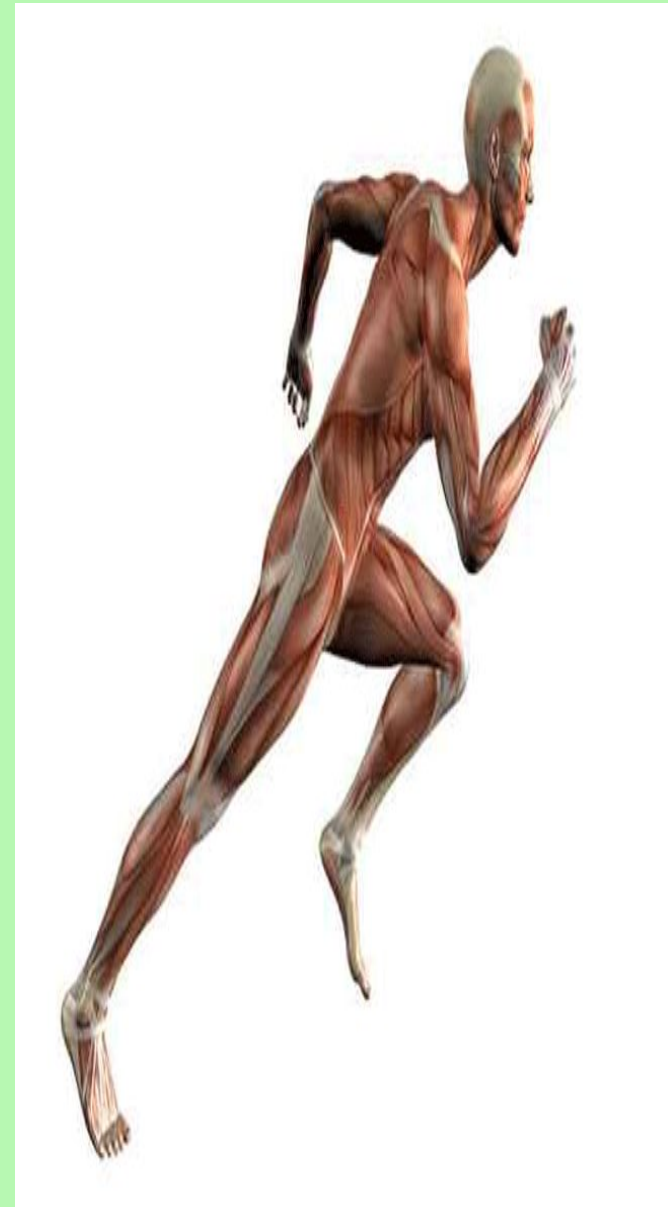


Smooth muscle cell

Властивості скелетних

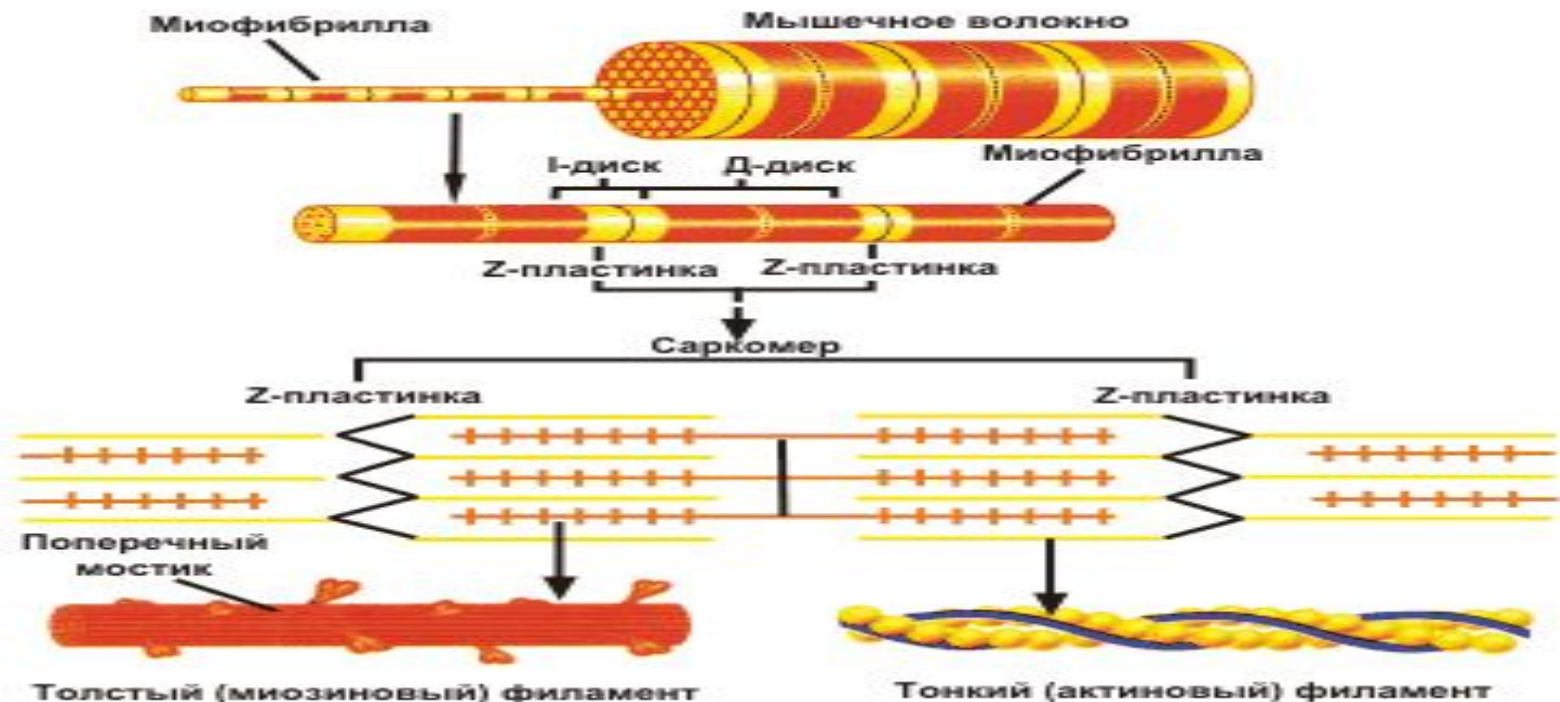
м'язів:

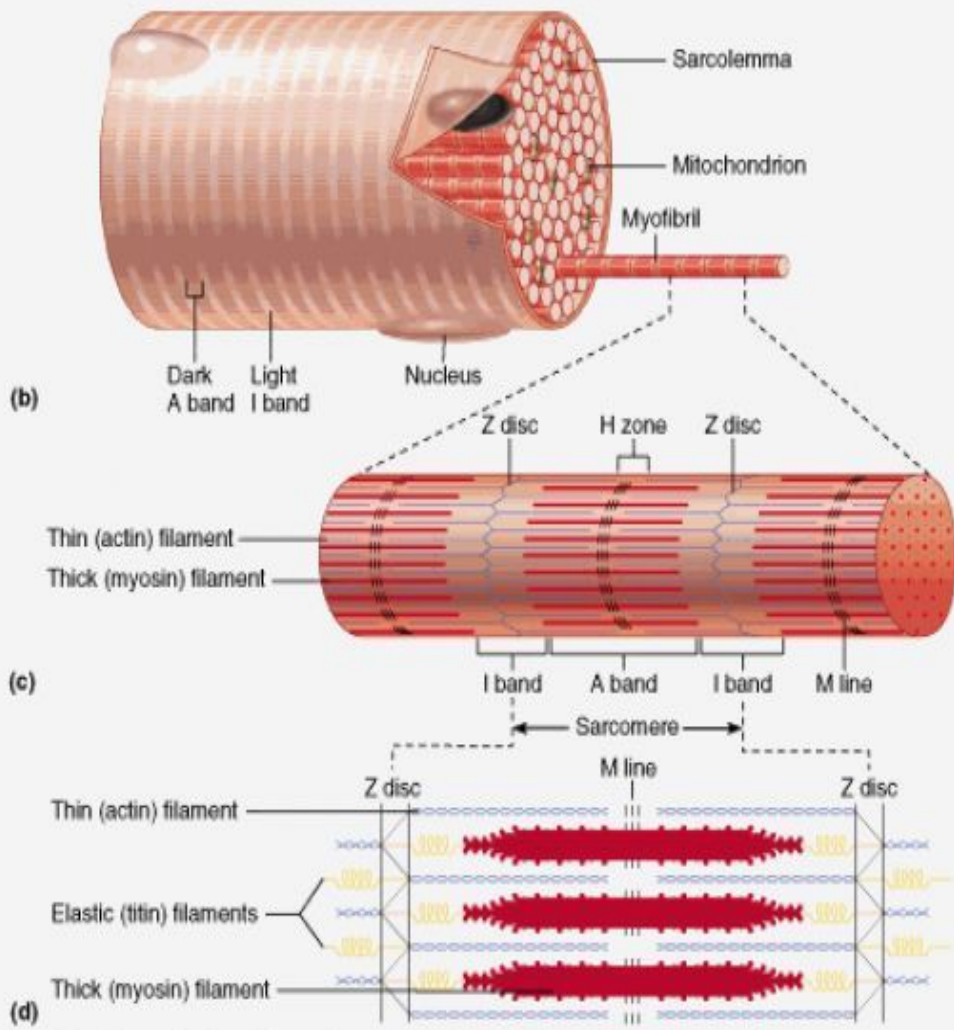
1. **Збудливість** - здатність відповідати на дію подразника зміною іонної провідності і мембранного потенціалу.
2. **Провідність** - здатність проводити потенціал дії вздовж м'язового волокна по Т-системі;
3. **Скорочувальність** - здатністю коротшати або розвивати напруження під час збудження;
4. **Еластичність** - здатність розвивати напруження під час розтягування;
5. **Тонус** - у природних умовах скелетні м'язи постійно знаходяться в стані деякого скорочення, що називається м'язовим тонусом, який має рефлексорне походження.



Будова м'язового волокна

- М'язове волокно є багатоядерною структурою, що вкрито мембраною і містить спеціалізований скоротливий апарат - **міофібрили**. Важливим компонентом м'язового волокна є мітохондрії, системи поздовжніх трубочок - саркоплазматичний ретикулум і система поперечних трубочок – (Т-система.) Зовні волокно вкрите **сарколемою**. Функціональною одиницею скоротливого апарату м'язової клітини є **саркомер**; з саркомерів складається миофібрилла. Саркомери відокремлені один від одного Z-пластинками. Саркомери в миофібриллі розташовані послідовно, тому скорочення саркомерів викликає скорочення





- Міофібрила складається з 2 типів ниток – міофіламентів: товстих (утворених скоротливим білком **міозином**) і тонких (утворених скоротливим білком **актином**).

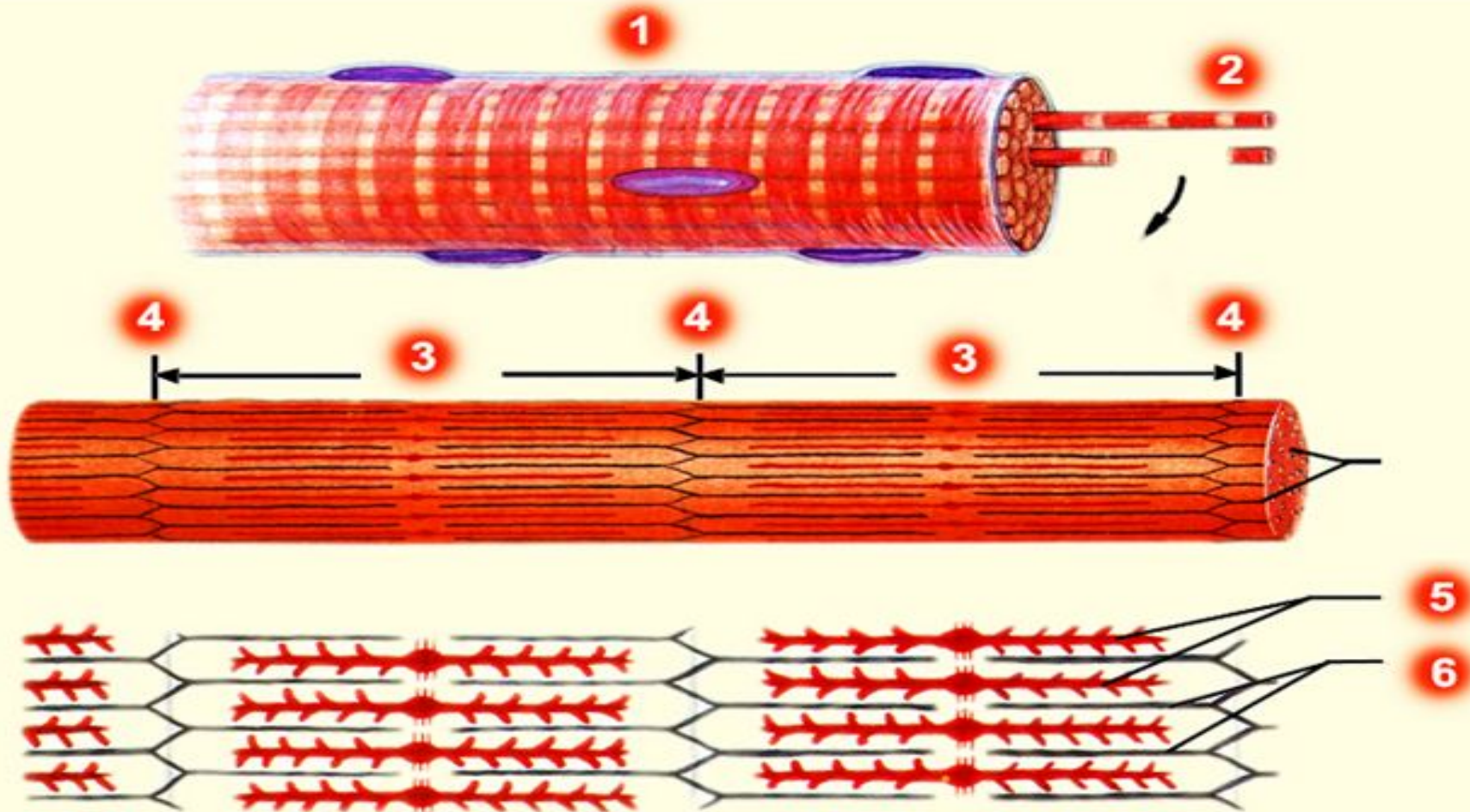
Актинові філаменти представлені подвійною ниткою, що закручена в подвійну спіраль і одним кінцем прикріплена до Z-пластинки. Інший кінець філаментів розташовується в центральній частині саркомера. В поздовжніх борозенках актинової спіралі розташовуються ниткоподібні молекули білка **тропоміозина**.

В середині саркомера між нитками актину розташовуються товсті нитки білка **міозину**.

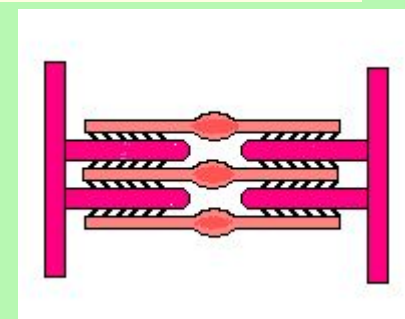
Міозиновий філамент має темний колір і називається **анізотропний А-диск**. У центрі його знаходиться світліша **Н-лінія**. У ній в стані спокою немає актинових ниток. По обидві сторони **А-диска** видно світлі ізотропні смужки - **І-диски**, утворені нитками актину. У стані спокою нитки актину і міозину незначно перекривають один одного таким чином, що загальна довжина саркомера складає близько 2,5 мкм.

У центрі Н-лінії знаходиться **М-лінія** - структура, яка утримує нитки міозину.

Міозин складається із потовщеної круглої частини (**голівки**), звуженої частинки (**шийки**) та **хвоста**. Голівка і шийка утворюють **поперечний місток**, який з'єднує тонкий і товстий міофіламенти. Молекули міозину містяться на М-



1 – мышечное волокно; 2 – миофибрилла; 3 – саркомер; 4 – Z-линия;
 5 – белок миозин; 6 – белок актин



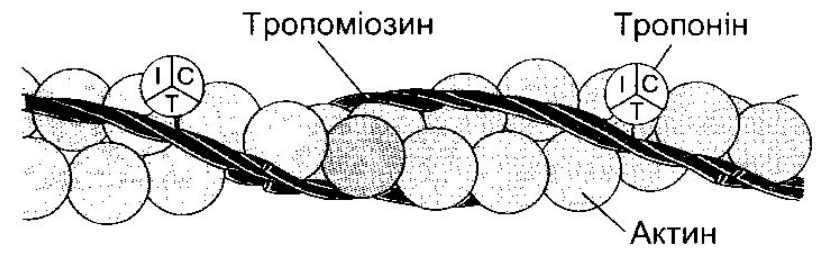
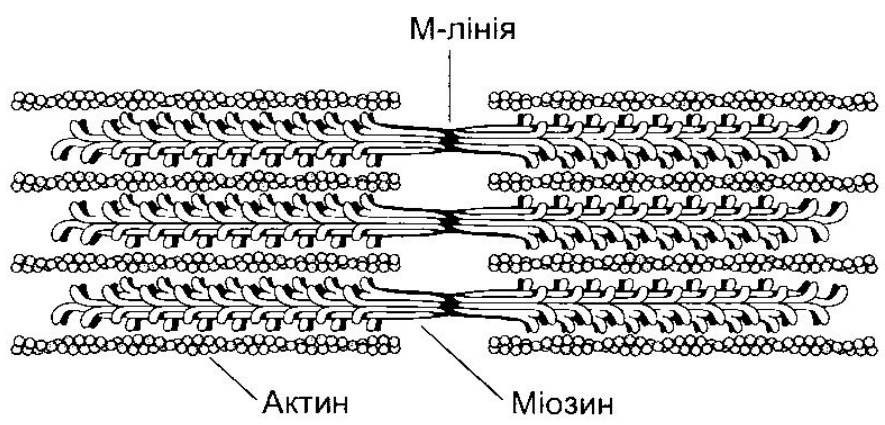
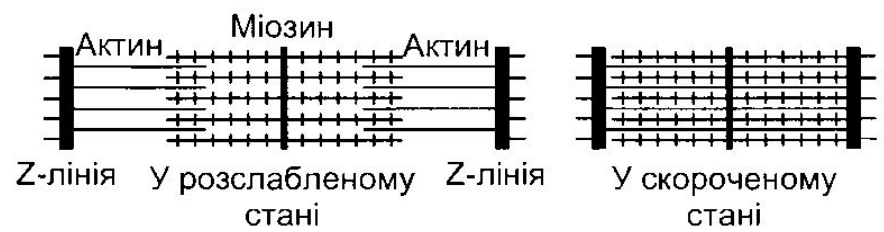
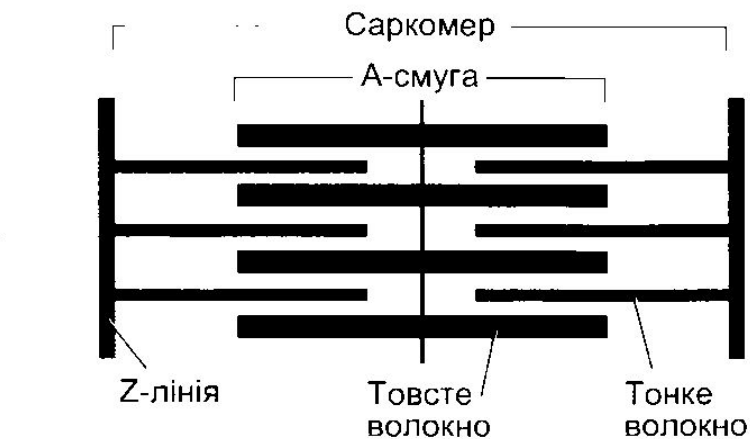


Рис. 3-3. Угорі ліворуч: взаємне розташування тонких (актинових) та товстих (міозинових) волокон у скелетному м'язі. Угорі праворуч: ковзання актинових волокон по міозинових під час скорочення; Z-лінії наближаються. Унизу ліворуч: детальніша схема взаємодії між актином та міозином. Зверніть увагу на те, що товсті міозинові волокна в ділянці М-лінії (посередині саркомера) змінюють полярність (модифіковано з Alberts B et al.: Molecular Biology of the Cell, 2nd Ed. Garland, 1989). Унизу праворуч: схематичне зображення взаємного розташування актину, тропоміозину та трьох субодиниць тропоніну (I, C і T). Структура молекули міозину II показана на рис. 1-11.

Теорія ковзання

- Укорочення скоротливих елементів м'яза відбувається внаслідок ковзання тонких міофіламентів відносно товстих, причому довжина товстих і тонких міофіламентів не змінюється. Ширина А-смуг є сталою, тоді як Z-лінії в разі скорочення м'яза зближуються, а під час розтягнення - віддаляються. **Ковзання у випадку скорочення м'яза виникає, коли головки міозину міцно зв'язуються з актином, шийка міозинової молекули згинається, втягуючи актинове волокно в міозинову вилку, а потім відділяється.** Інтенсивність ковзання залежить від гідролізу АТФ. Велика кількість головок приєднується одночасно, що приводить до максимального скорочення м'яза. Кожен цикл ковзання скорочує саркомер на 10 нм. Тонка нитка контактує з близько 500 міозиновими голівками, кожна з яких у випадку швидкого скорочення м'яза виконує за 1 с близько п'яти повних циклів приєднання від'єднання

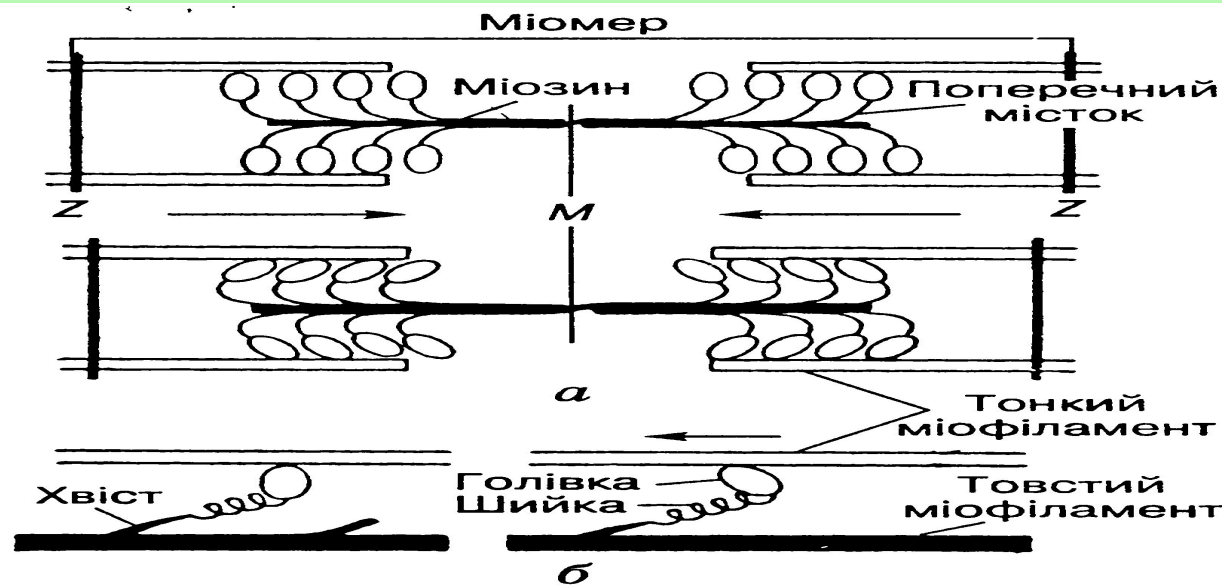
Теорія скользнення нитей

была выдвинута

на основании двух независимых наблюдений

□ Huxley and Niedergerke (1954), световая микроскопия: во время сокращения происходит сужение I-дисков, тогда как ширина A-дисков не изменяется

□ Huxley and Hanson (1954), электронная микроскопия: во время сокращения длина толстых и тонких филаментов не изменяется



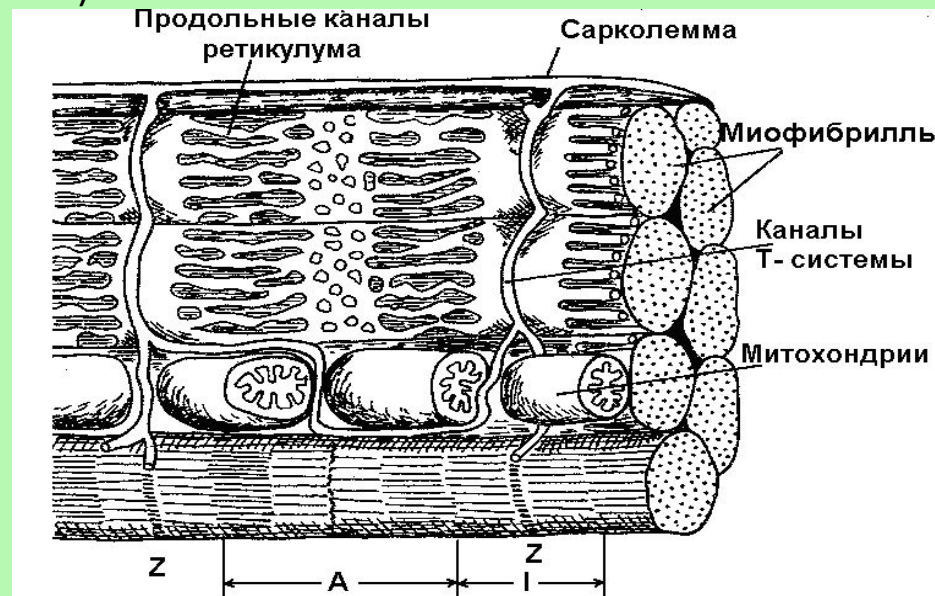
Мал. 128. Механізм м'язового скорочення: *a* — модель механізму руху, міозинова нитка з поперечними містками, які прикріплені до сусідніх актинових ниток, згори — при розслабленому стані м'яза, знизу — під час "веслувальних" рухів містків; *б* — модель створення сили поперечними містками, зліва — у стані спокою, справа — під час "веслувального" руху поперечного містка

Механізм м'язового скорочення

- (1) Поява імпульсу в руховому нейроні і його передача на мязове волокно;
- (2) Вивільнення ацетилхоліну у кінцевій пластинці м'язового волокна;
- (3) Зв'язування ацетилхоліну з нікотиновими ацетилхоліновими рецепторами - деполяризація мембрани мязового волокна;
- (4) Збільшення проникності мембрани кінцевої пластинки до іонів Na^+ і K^+
- (5) Утворення ПД кінцевої пластинки
- (6) Поширення ПД в середину мязового волокна по Т-системі
- (7) Вивільнення Ca^{2+} з термінальних цистерн саркоплазматичної сітки і дифузія його в товсті і тонкі волокна;
- (8) Зв'язування Ca^{2+} з тропоніном, на актинових нитках відкриваються ділянки для зв'язування міозину з актином
- (9) Утворення перехресних зв'язків між актином та міозином і ковзання тонких волокон по товстих, що спричинює вкорочення м'яза (головка міозину приєднується до актину і повертається на 45° . Цей рух нагадує рух весла).

(1) Механізм розслаблення м'яза

- (1) Ca^{2+} повертається в саркоплазматичну сітку
- (2) Вивільнення Ca^{2+} , що був зв'язаний з тропоніном
- (3) Припинення взаємодії між актином і міозином .



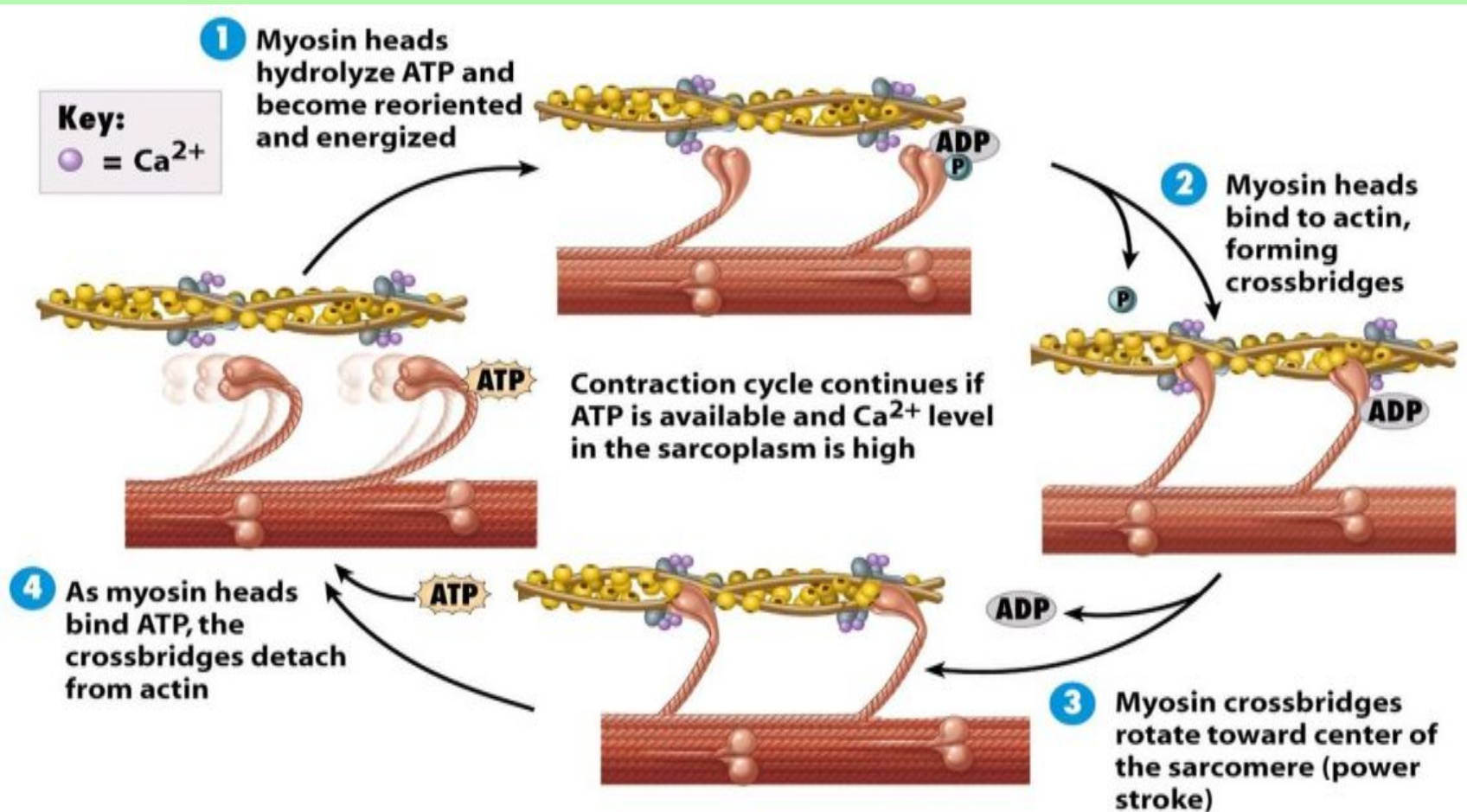


Figure 10-7 Principles of Anatomy and Physiology, 11/e
 © 2006 John Wiley & Sons

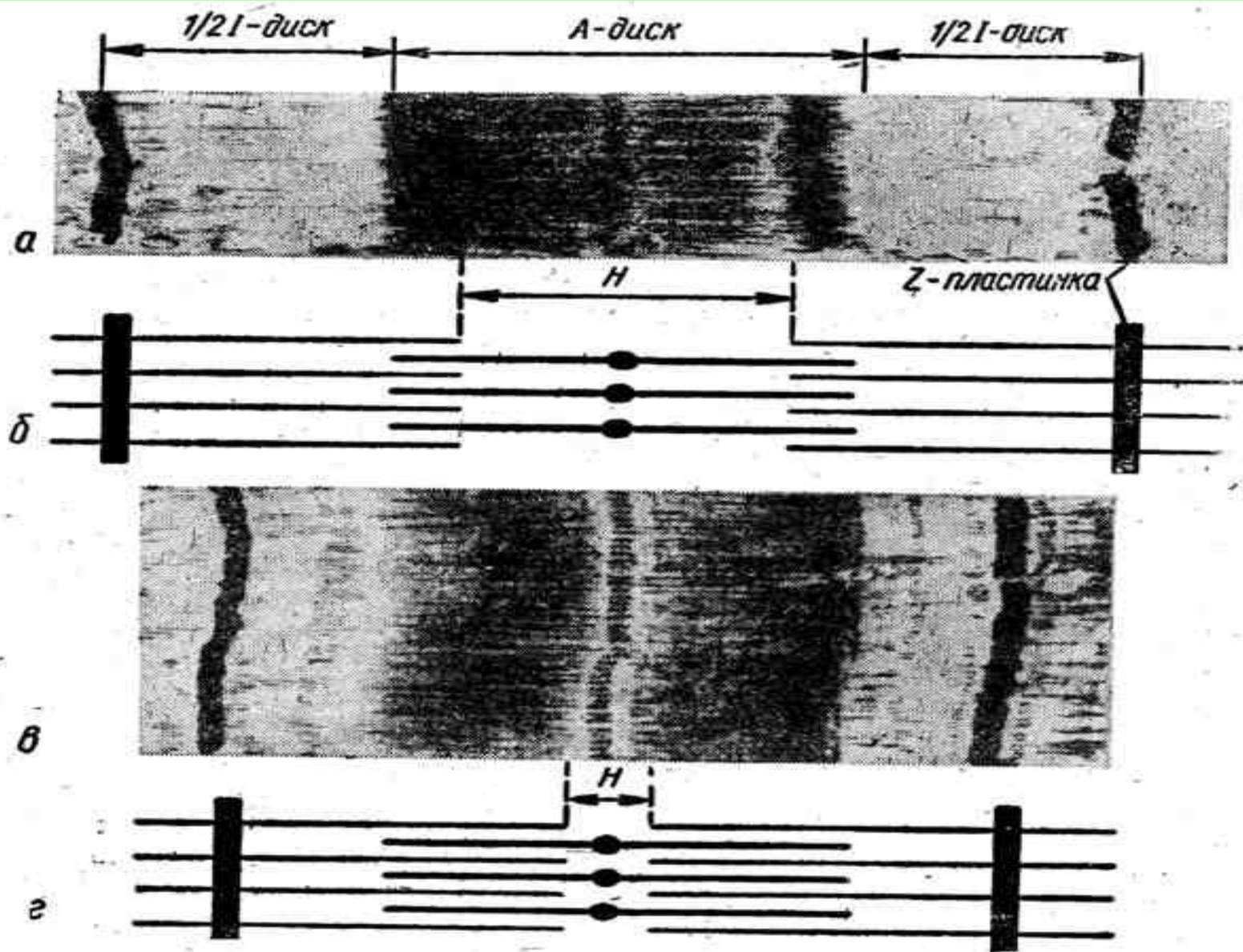


Рис. 38. Строение миофибриллы:

$a, в$ — электронная микрофотография миомера; $б, г$ — схемы его строения; $a, б$ — миофибрилла в состоянии расслабления; $в, г$ — в состоянии сокращения. На рисунке изображены анизотропный диск (A-диск), по обе стороны которого расположены по половине изотропных дисков ($1/2 I$ -диска).

Умови скорочення м'яза

I. Наявність АТФ

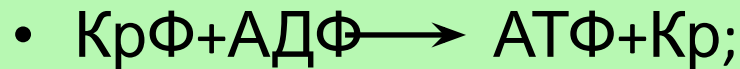
- для розриву з'єднання між актином і міозином;
- для обертання головки міозина;
- для роботи натрій-калієвого насосу;
- для роботи Ca^{2+} насосу.

I. Наявність Ca^{2+}

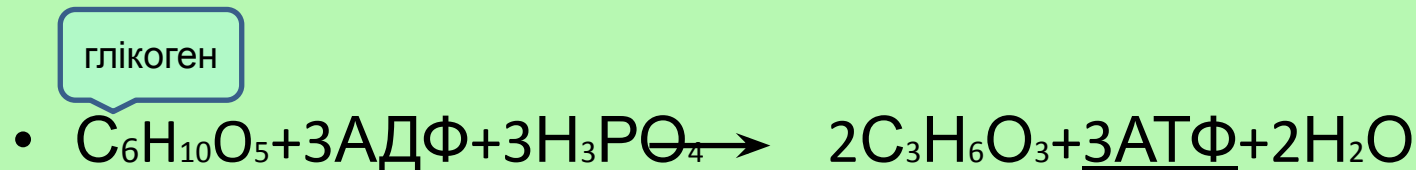
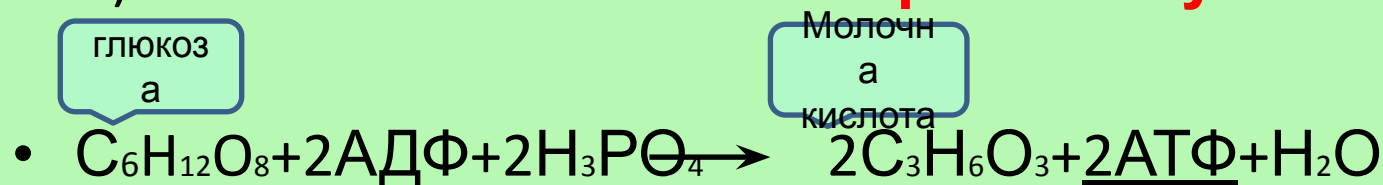
Енегрозабезпечення м'язової діяльності

- 1. Анаеробний ресинтез (відновлення) АТФ.

- а) **креатинфосфатний механізм ресинтезу;**



- б) **гліколітичний механізм ресинтезу:**



- 2. Аеробний ресинтез АТФ.

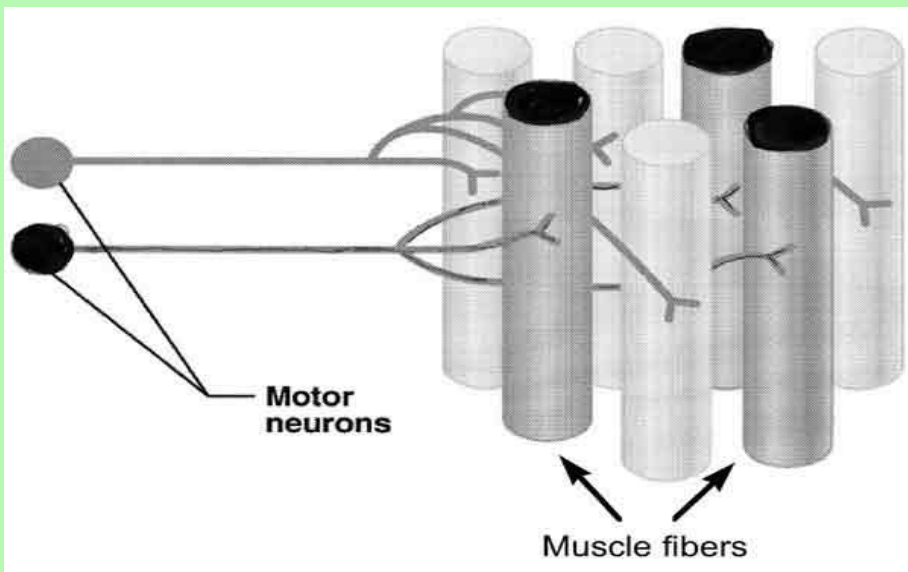


Регуляція м'язового скорочення

• НЕРВОВА

ГУМОРАЛЬНА

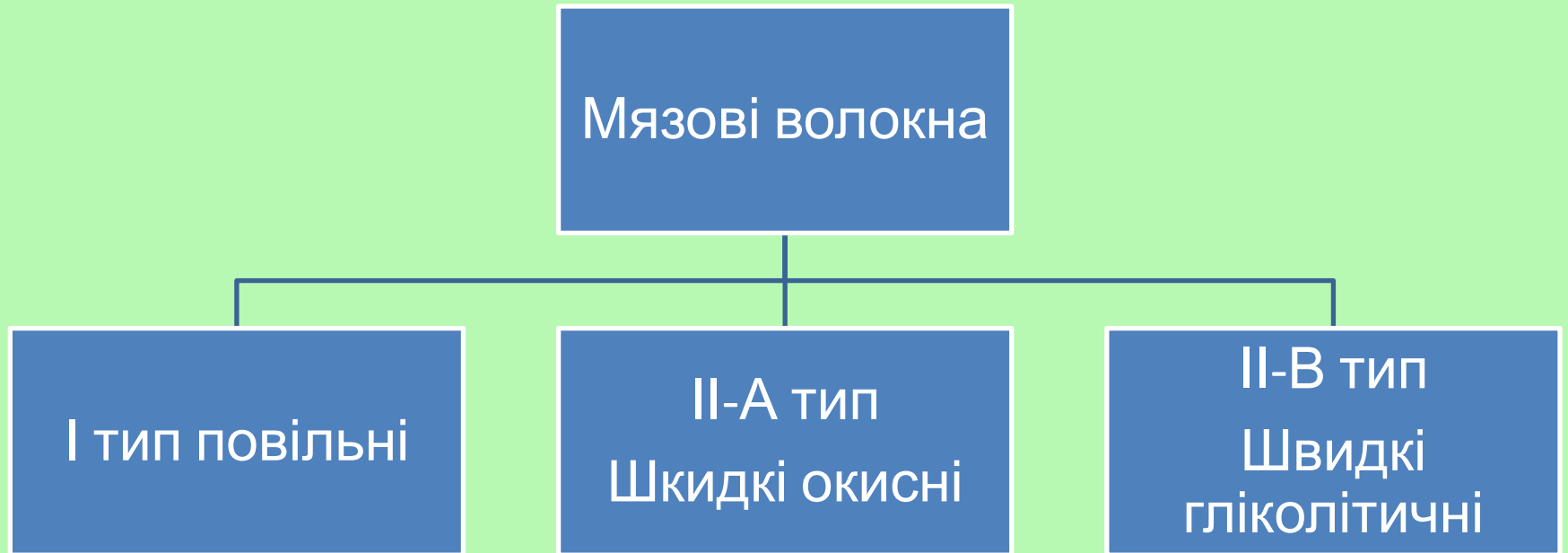
Нервова регуляція через мотонейрони регулює роботу різної кількості мязових волокон та утворює **рухову одиницю**.



Двигательная единица = мотонейрон
+ группа иннервируемых им
мышечных волокон

- За будовою розрізняють **малі** та **великі** РО.
- За функцією – тонічні (повільні) та фазні (швидкі).
- **Малі РО** інервуються тонким аксоном з кількома кінцевими гілочками, які охоплюють тільки 10-12 волокон м'яза, утворюючи на кожному з них лише одне нервово-м'язове сполучення. Вони входять до складу м'язів лица, кистей, пальців рук.
- **Великі РО** інервуються відносно товстими аксонами, які утворюють велику кількість розгалужень, що закінчуються на тисячах м'язових волокон. Входять до складу великих м'язів тулуба, кінцівок, мають вищий поріг збудливості, високу витривалість і розвивають значну силу.
- **Фазні РО** – товщі, мають більшу кількість міофібрил, і тому розвивають більшу силу, ніж тонічні.
- **Тонічні РО** мають добре розвинену капілярну сітку, що забезпечує їх краще кровопостачання. Входять до складу червоних м'язів, а фазні – до білих.

Типи м'язових волокон



Свойства различных типов фазических мышечных волокон

Свойства	Медленные (тип I)	Быстрые окислительные (тип IIA)	Быстрые гликолитические (тип IIB)
Соотношение рианодиновых (RyR) и дигидропиридиновых (DHPR) рецепторов	Доля RyR, связанных с DHPR, меньше (выброс Ca^{2+} из СПР происходит медленнее)		Каждый второй RyR связан с тетрадой DHPR (быстрый выброс Ca^{2+} из СПР)
АТФ-азная активность миозина	Низкая	Высокая	Высокая
Скорость укорочения	Низкая	Высокая	Высокая
Сила сокращения	Небольшая	Средняя	Большая
Способ синтеза АТФ	Окислительное фосфорилирование	Окислительное фосфорилирование + гликолиз	Гликолиз
Окраска	«Красная»	«Красная»	«Белая»
Содержание миоглобина	Высокое	Высокое	Низкое
Митохондрий	Много	Много	Мало
Плотность капилляров	Высокая	Высокая	Низкая
Устойчивость к утомлению	Высокая	Высокая	Низкая

Режими скорочення м'язів

- Характер скорочення посмугованого м'яза залежить від частоти подразнення або імпульсації рухових нейронів, що його інервують.
- **Поодинокі скорочення** – механічна відповідь м'яза на невелику частоту імпульсації (1-5 Гц).
- **Тетанічне скорочення** - механічна відповідь м'яза на велику частоту імпульсації (20-30, 100 Гц) – результат сумації поодиноких скорочень

- **Види тетанічного скорочення**

зубчастий тетанус

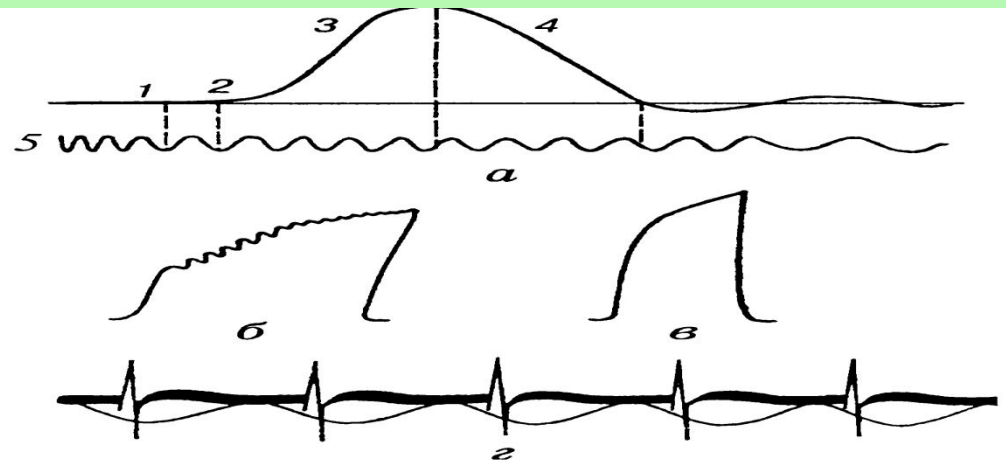
гладкий тетанус

Зубчастий тетанус – наступний імпульс надходить у період розслаблення м'яза (20-30 Гц).

Гладкий тетанус - нова хвиля скорочення починається на максимальній амплітуді попереднього скорочення.

****Тетанус – сильне і тривале скорочення м'яза.**

Тонічне скорочення – тривале скорочення м'яза, що відбувається з незначними енергетичними затратами і повільним розвитком стомлення. (Гладкі м'язи та Скелетні, що підтримують вертикальне положення тіла – м'язи шиї, спини).



Мал. 125. Типи м'язових скорочень (а – в), співвідношення електричної і скоротливої активності м'яза (z):

а – поодинокі скорочення; тетанус: б – зубчастий; в – повний (гладкий); 1 – подразнення; 1–2 – латентний період; 3 – фаза вкорочення; 4 – фаза розслаблення; 5 – позначка часу (0,1 с)

Типи м'язових скорочень

Ізометричне скорочення (від гр. isos - сталий, metros - довжина) – м'яз скорочується (розвиток напруги), не змінюючи своєї довжини.

Ізотонічне скорочення (від гр. isos - сталий, tonus - напруження) – м'яз скорочується, не змінюючи свого напруження.

Ауксотонічне скорочення – м'яз скорочується (змінює напруження) і змінює се



Форми скорочення м'язів

- **Динамічна** – м'яз по чергово скорочується і розслаблюється.
- **Статична** – м'яз, тривало напружуючись, не може подолати опір, напруження в м'язі постійно зростає (ізометричний режим скорочення).



Сила і робота м'язів

- **Сила** – це напруга, яку розвиває м'яз під час скорочення.

Фактори, від яких залежить сила м'яза

1. Товщина волокна
2. Кількість одночасно працюючих м'язових волокон
3. Розтягнення м'яза (довжини)
4. Кількість активованих рухових одиниць.

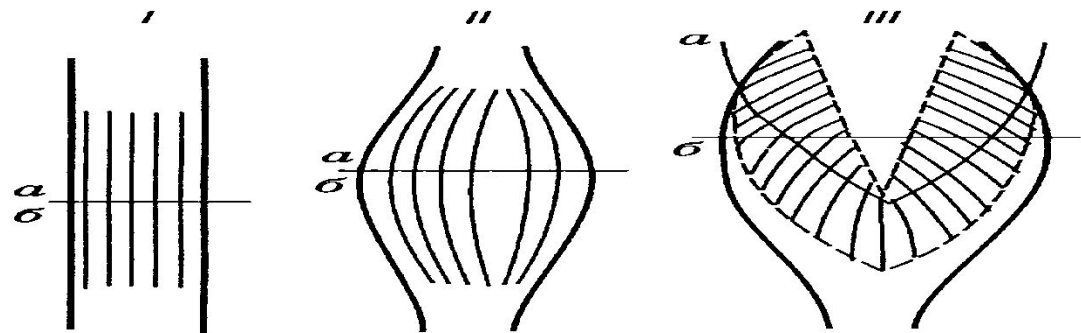
Максимальна сила – сила, що розвиває м'яз під час скорочення, коли він ледве зрушує з місця максимальний вантаж.

Абсолютна сила – мах. Сила / на площу фізіологічного поперечника м'яза.

Відносна сила – мах. Сила / на площу анатомічного поперечника м'яза.

* **фізіологічний поперечник** – розсічення м'яза поперечно до кожного волокна.

* **анатомічний поперечник** - розсічення м'яза перпендикулярно до кожного волокна.



Мал. 132. Розміщення м'язових волокон у різних м'язах:

a – фізіологічний і *б* – анатомічний поперечники у паралельноволокнистому (I), веретеноподібному (II) і перистому (III) м'язах

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

