

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ № 2



Фізіологія руху та механохімія м'язового скорочення

Мета: вивчити фізіологічні властивості м'язів, особливості їх функцій, механізм м'язового скорочення та розслаблення, сформулювати поняття про види та режими м'язового скорочення.

Перелік питань для проведення поточного контролю підготовленості студентів до виконання практичної роботи

1. Структурна організація та фізіологічні властивості скелетного м'яза.
2. Поняття про «саркоплазматичний матрикс», «саркоплазматичний ретикулум», «міофібрили», «міофіламенти», «рухова одиниця».
3. Механізм м'язового скорочення та розслаблення. Особливості циклу збудження і скорочення, значення кальцію.
4. Хімізм і енергетика м'язового скорочення.
5. Види скорочення м'язів. Окреме скорочення м'яза, його фази.
6. Тетанічне скорочення, його природа, види тетануса.
7. Режими м'язових скорочень.

Короткі теоретичні відомості

Практичне заняття спрямоване на засвоєння поняття про механізм м'язового скорочення та розслаблення. Передусім потрібно розглянути особливості структурної організації скелетного м'яза, поняття про «саркоплазматичний матрикс», «саркоплазматичний ретикулум», «міофібрили», «міофіламенти», «рухову одиницю».

М'язи складаються з безлічі подовжених м'язових волокон – функціональних одиниць. Вони мають циліндричну форму й розташовані паралельно одне одному. М'язове волокно – результат злиття багатьох клітин. Кожне волокно оточене мембраною – сарколемою (за будовою – звичайна мембрана).

У м'язових волокнах міститься велика кількість міофібрил, що створюють поперечну посмугованість. Кожна міофібрила складається з білкових ниток двох типів – актинових і міозинових. Між міофібрилами знаходиться безліч мітохондрій. Цитоплазма м'язового волокна називається саркоплазмою і містить мережу внутрішніх мембран – саркоплазматичний ретикулум (СПР). Цистерни ретикулуму беруть участь у захопленні й вивільненні іонів Ca^{2+} .

Поперечна посмугованість зумовлена впорядкованим розташуванням ниток актину (тонких) і міозину (товстих).

Молекули міозину розташовані в міозиновій нитці таким чином, що їхні «головки» розподіляються рівномірно по всій довжині.

Актинова нитка складається з 2-х спірально закручених молекул актину. До їх складу входять допоміжні білки – тропоміозин і тропонін. Обидва білки перешкоджають взаємодії актину з міозином при відсутності іонів Ca^{2+} .

Суть механізму скорочення полягає в тому, що при деполяризації мембрани м'язового волокна із цистерн виходить Ca^{2+} , його концентрація у ділянці міофібрил зростає у 1000 разів. Іони Ca^{2+} ініціюють скорочення, зв'язуючись з тропоніном С. При цьому зв'язок тропоніну І з актином значно послаблюється, і внаслідок цього молекули тропоміозину зміщуються вбік. Після такого руху оголюються сайти зв'язування з головками міозину. Головка міозину міцно зв'язується з актином, шийка міозинової молекули згинається, втягуючи актинове волокно між міозинових. Далі головка міозину від'єднується від актину, і цикл повторюється. При цьому відбувається розщеплення АТФ. Зв'язування однієї молекули тропоніну з іоном Ca^{2+} призводить до оголення семи сайтів зв'язування міозину. Таких «кроків» для повного скорочення здійснюється 50, при цьому м'яз скорочується на 50 % своєї початкової довжини.

Відразу ж після вивільнення Ca^{2+} саркоплазматична сітка починає відновлювати його запас шляхом активного транспортування в довгасту частину сітки. Цей процес виконує насос (помпа) $\text{Ca}^{2+}\text{-Mg}^{2+}\text{-АТФ-аза}$. У подальшому Ca^{2+} шляхом дифузії переходить у термінальні цистерни, де й зберігається до наступного ПД. Коли концентрація Ca^{2+} за межами сітки значно зменшується, тоді хімічна взаємодія між актином і міозином припиняється, і м'яз розслаблюється.

<i>Черговість явища</i>	<i>Суть процесу</i>
<i>Скорочення</i>	
1	Генерація ПД мотонейроном
2	Вивільнення ацетилхоліну в кінцевій пластинці
3	Зв'язування ацетилхоліну з нікотиновими ацетилхоліновими рецепторами постсинаптичної мембрани
4	Збільшення проникності постсинаптичної мембрани (мембрана м'язового волокна) до Na^{+} і K^{+}
5	Утворення потенціалу кінцевої пластинки
6	Утворення ПД м'язового волокна
7	Поширення деполяризації у Т-трубочках
8	Вивільнення Ca^{2+} з термінальних цистерн саркоплазматичної сітки і дифузія його в ділянку актину й міозину
9	Зв'язування Ca^{2+} з тропоніном С, оголення ділянок зв'язування міозину з актином
10	Утворення зв'язків міозину з актином і ковзання їх, що спричиняє вкорочення м'язу
<i>Розслаблення</i>	
1	Ca^{2+} повертається в саркоплазматичну сітку
2	Вивільнення Ca^{2+} , що був зв'язаний з тропоніном
3	Припинення взаємодії міозину з актином

Розрізняють декілька видів м'язових скорочень: ізотонічний, ізометричний, змішаний.

При ізотонічному скороченні виникає зміна довжини, а напруга залишається постійною. Таке скорочення відбувається в тому випадку, коли відсутній опір зміні його довжини (до скорочень такого типу відносять скорочення м'язів язика)

При ізометричному скороченні довжина м'язових волокон залишається постійною, а їх напруга зростає. Таке скорочення виникає при спробі підняти занадто великий вантаж.

Ексцентричне скорочення – м'яз розтягується в обидва боки.

У природніх умовах скорочення м'язів ніколи не бувають чисто ізотонічними чи ізометричними, вони мають змішаний характер, тобто відбувається зміна і довжини і напруження м'яза.

Для скелетного м'яза характерний ще один вид активності, який отримав назву контрактура (судомне скорочення м'яза). Це довготривале скорочення м'яза, яке продовжується незважаючи на припинення дії подразника.

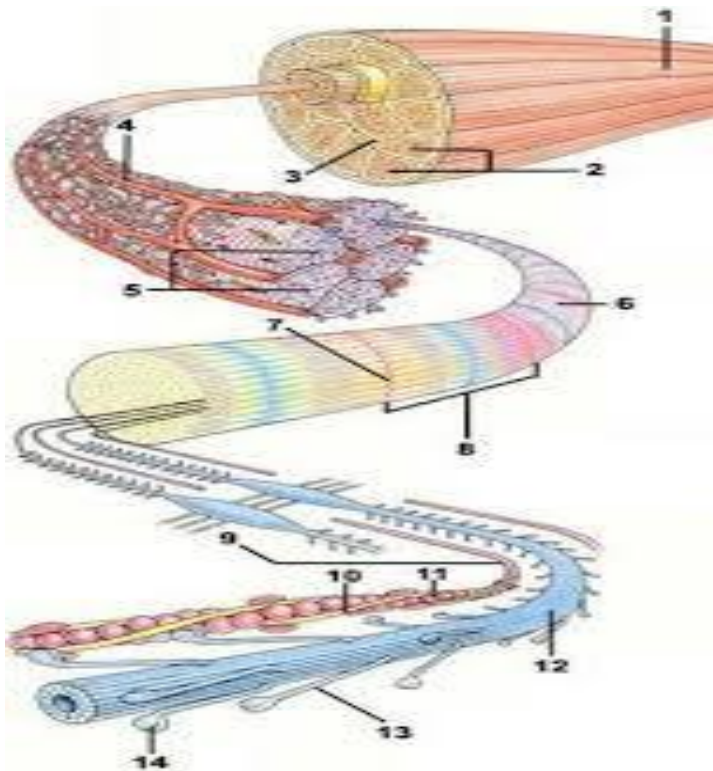
Завдання для практичного виконання

☒ Завдання 1. Заповніть таблицю визначенням понять.

Ендомізій	
Перимізій	
Епімізій	
Симпласт	
Сарколема	
Саркоплазматичний ретикулум	
Міофібрили	
Міофіламенти	
Рухова одиниця	

☒ Завдання 2. Розгляньте будову м'язового волокна. Позначте м'яз, пучки, перимізій, капіляр, м'язові волокна, міофібрили, смуга Z, саркомер, тонкий міофіламент, молекули тропоміозину та актину, товстий міофіламент, хвіст та головку молекули міозину.

- | | |
|----------|-----------|
| 1. _____ | 8. _____ |
| 2. _____ | 9. _____ |
| 3. _____ | 10. _____ |
| 4. _____ | 11. _____ |
| 5. _____ | 12. _____ |
| 6. _____ | 13. _____ |
| 7. _____ | 14. _____ |



☑ **Завдання 3.** Заповніть таблицю «Основні білки міофібрил та їх функції»

Білок	Функції
Міозин	
Актин	
Тропонін (C,I,T)	
Тропоміозин	

☑ **Завдання 4.** Прочитайте текст і вставте пропущені терміни і слова.

1. Частина _____, яка примикає до Z лінії та утворена тільки _____ протофібрилами, має назву I-дисків (ізотропних); слідом за ними розташовані А-диски (анізотропні) – частина саркомера, де має місце взаємне перекриття _____ та _____ протофібрил.
2. При вкороченні м'яза, у ході його скорочення, _____ довжина кожного саркомера. Але при цьому довжина анізотропних дисків не зменшується, а зменшується довжина _____ дисків.
3. Це є наслідком ковзання актинових протофібрил відносно _____ у напрямку до центру саркомера.
4. Структурно-функціональний елемент скорочувального апарату скелетних м'язів – _____.
5. Він утворений пучками міофібрил, які відокремлені один від одного перпендикулярними смугами – _____.
6. До них прикріплюються одним своїм кінцем тонкі _____ нитки.
7. Інші кінці цих ниток спрямовані до центру цієї структури і входять у проміжки між товстими _____ нитками.

☑ **Завдання 5.** Прочитайте текст і вставте пропущені терміни і слова.

1. *Актиновий філамент* сформований з _____ білкових компонентів: _____ (білок з $M = 42000$) і _____ кальцій-чутливих регуляторних білків: _____ і _____.
2. Фібрилярний білок – _____ довжиною 38-39 нм, розміщений між двома сусідніми ланцюгами актину.
3. Складається з двох перевитих α -спіралей і зв'язується в єдиний комплекс з F-актином у ділянці вигину молекули, забезпечуючи його стабільність.
4. У кожному актиновому філаменті дві молекули актину згорнуті, формуючи _____.
5. Молекули тропоміозину розташовані у жолобку, утвореному спірально закрученими молекулами актину, і у стані спокою прикривають активні центри актинових молекул, запобігаючи взаємодії між ними і поперечними містками міозину.
6. Молекули _____ прилягають до поверхні молекул тропоміозину.
7. *Міозиновий філамент* складається з молекул _____ (білок з $M=500000$).
8. Кожна з цих молекул сформована шістьма поліпептидними ланцюгами: двома важкими і чотирма легкими. Два важкі ланцюги згорнуті навколо один одного, формуючи подвійну спіраль. Один кінець кожної з важких ланцюгів згорнутий у грушоподібну глобулярну структуру – _____ міозину.
9. Їх складовими частинами є також 4 легкі ланцюги міозину. Подовжена частина спіралі називається _____.
10. Частина спіралі кожної молекули міозину разом з головою формує _____.
11. Хвости міозінових молекул направлені до середини _____, а головки орієнтовані так, що можуть сприяти руху актинових ниток, з'єднаних з послідовними Z-пластинками, у протилежних напрямках.

☑ **Завдання 6.** Знайдіть пару «Знайдіть пару «складові саркомера – особливості структури або функції», зазначивши номерну відповідність (наприклад, 1 – 2).

1. Актин і міозин	1. утворюють «товсті філаменти»
2. Тонкий філамент	2. ниткоподібна структура, що складається з саркомерів
3. Товстий філамент	3. мають АТФазну активність
4. Цистерни саркоплазматичного ретикулуму	4. містить мережу внутрішніх мембран – саркоплазматичний ретикулум
5. Міофібрила	5. основна одиниця міофібрил посмугованих м'язів
6. Міозинові голівки	6. складається з міозину
7. Саркомер	7. основні складові частини скоротливих ниток м'язових

	волокон
8. Хвости з кількох сотень молекул міозину	8. складається з актину і допоміжних білків – небуліну і тропонін-тропоміозинового комплексу
9. Саркоплазма	9. беруть участь у захопленні і звільненні іонів Ca^{2+}

☒ **Завдання 7.** Зазначте цифрами послідовних подій, що відбуваються при поширенні потенціалу дії.

1. Деполяризація мембрани переміщається вглиб м'язового волокна по каналцях Т-системи і саркоплазматичного ретикулуму. Це викликає вивільнення з саркоплазматичного ретикулуму через потенціал-залежні кальцієві канали великої кількості іонів кальцію в саркоплазму.

2. М'язове волокно активується імпульсами, що проходять по нервовому волокну.

3. Потенціал дії деполяризує мембрану м'язового волокна і переміщається уздовж нього так само, як потенціал дії переміщається уздовж мембрани нервового волокна.

4. При активації м'язового волокна у його плазматичній мембрані виникає потенціал дії.

☒ **Завдання 8.** Укажіть номерами правильну послідовність подій при здійсненні м'язового скорочення:

_____ вивільнення з саркоплазматичного ретикулуму через потенціалзалежні кальцієві канали іонів кальцію;

_____ поширення деполяризації мембрани по каналцях Т-системи до саркоплазматичного ретикулуму;

_____ активація м'язового волокна імпульсами, що приходять по аксонах мотонейронів зі спинного мозку;

_____ ініціація іонами кальцію взаємодії між актиновими і міозіновими філаментами;

_____ відкачування іонів кальцію з саркоплазми у саркоплазматичний ретикулум кальцієвим насосом.

☒ **Завдання 9.** Схематично замалюйте нейромоторну (рухову) одиницю, зазначте відмінності рухових одиниць.

? Питання для самоконтролю

1. Охарактеризуйте поняття про «саркоплазматичний матрикс», «саркоплазматичний ретикулум», «міофібрили», «міофіламенти», «рухова одиниця».
2. Розкрийте механізм м'язового скорочення.
3. Розкрийте механізм м'язового розслаблення.
4. Назвіть види скорочення м'язів.