

Лекція 2. ФІЗІОЛОГІЯ М'ЯЗІВ. РОБОТА І СИЛА М'ЯЗІВ. ВТОМА

М'язове волокно

М'язи складаються з безлічі подовжених м'язових волокон - функціональних одиниць. Вони мають циліндричну форму й розташовані паралельно один 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. Цистерни ретикулума беруть участь у захопленні й вивільненні йонів Ca^{2+} .

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

Молекули міозину розташовані в міозиновій нитці таким чином, що їх "голівки" розподіляються рівномірно по всій довжині.

Актинова нитка складається з 2-х спіральньо закручених молекул актину. У їх склад входять допоміжні білки - тропоміозин і тропонін. Обидва білки перешкоджають взаємодії актину з міозином при відсутності йонів Ca^{2+} .

Суть механізму скорочення полягає в тому, що при деполяризації мембрани м'язового волокна із цистерн виходить Ca^{2+} , його концентрація в ділянці міофібрил зростає в 1000 разів. Йони 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 йоном Ca^{2+} призводить до оголення семи сайтів зв'язування міозину. Таких «гребків» 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) Ca^{2+} - Mg^{2+} -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.

Коротко послідовність процесів при скороченні й розслабленні м'яза представлено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Послідовність явищ при скороченні й розслабленні м'язів

Черговість явища	Суть процесу
Скорочення	
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
Розслаблення	
1	Ca^{2+} повертається в саркоплазматичну сітку
2	Вивільнення Ca^{2+} , що був зв'язаний з тропоніном
3	Припинення взаємодії міозину з актином

Типи скорочення м'язів

У відповідь на стимуляцію м'яз виконує механічну роботу (скорочується). Це призводить або до укорочення м'яза, або, якщо обидва кінці нерухомо закріплені - до розвитку напруги без зміни довжини.

Якщо м'яз коротшає - це **ізотонічні скорочення**, а якщо при скороченні не відбувається змін довжини - це **ізومترічні скорочення**.

Одиночне скорочення. Під дією одиночного стимулу м'яз починає скорочуватися через дуже корот-

кий час (0,0025-0,01 с) - латентний період. Потім м'яз швидко коротшає, у ньому розвивається напруга (0,04 с). Потім - більш довгий період розслаблення (0,05 с). Такий цикл зветься **одиначним скороченням** (рис.3.1).

Суммація скорочень. Якщо під час ритмічного подразнення інтервал між першим і другим (та кожними наступними) стимулами значний (більше три валості одиначного скорочення), то реєструють одиначні відповіді (скорочення).

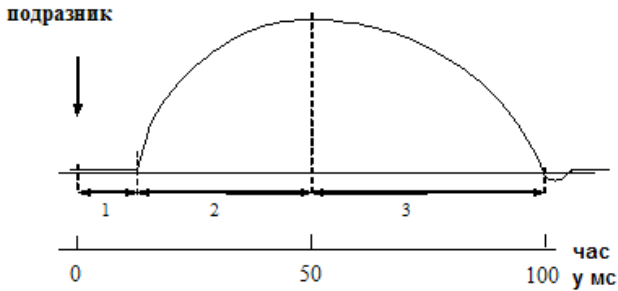


Рис. 3.1. Одиначне м'язове скорочення: 1 – латентна фаза; 2 – фаза скорочення; 3 – фаза розслаблення

Якщо при збільшенні частоти подразнення час між стимулами зменшується так, що другий стимул (та кожен наступний) подається в той момент, коли м'яз ще скорочується, то друге скорочення накладається на перше. Напруга другого скорочення більше першого. Зі збільшенням частоти стимуляції окремі скорочення зливаються, графік має вигляд плавної лінії, що

досягає певного рівня і довго на ньому залишається. Це стан тетанусу (рис. 3.2).

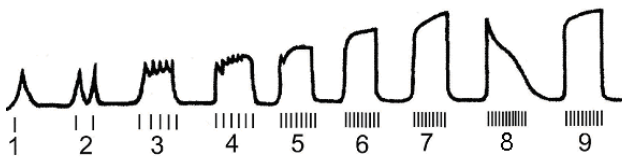
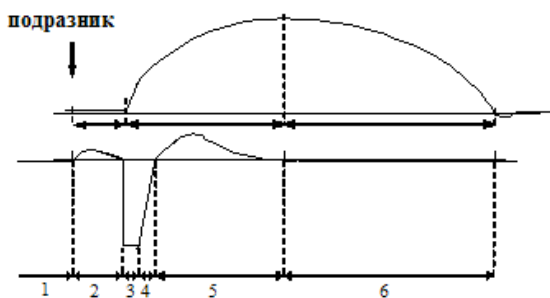


Рис. 3.2. Особливості м'язового скорочення при дії подразників з різною частотою

А – реєстрація м'язового скорочення, **Б** – частота дії подразника. 1 – одиначне м'язове скорочення, 2 – сумація двох скорочень, 3,4 – формування зубчастого тета-нусу, 5,6 – формування гладкого (суцільного) тетанусу, 7,9 – оптимум, 8 – песимум.

Розрізняють зубчастий і гладенький тетанус. Якщо наступні подразнення наносяться в період розслаблення, виникає **зубчастий тетанус**, у період вкорочення – **гладенький тетанус**. Якщо наступні подразнення наносяться в період найбільшої збудливості (екзальтаційна фаза) (рис.3.3), виникає **оптимум**. Якщо наступні подразнення наносяться в період зниженої збудливості (фаза відносної рефрактерності), виникає **песимум**.



А **Рис. 3.3 Співвідношення фаз скорочення (А) та збудливості (Б) поперечно-посмугованих м'язів:** 1,6 – нормальна збудливість; 2,5 – супернормальна збудливість; 3 – абсолютна рефрактерність; 4 – відносна рефрактерність.

Б Тетанічні скорочення не можуть тривати довго, оскільки м'яз втомлюється.