

# **Лекція 7**

## **Тема: Механіка скорочення м'язового волокна**

Амплітуда скорочень,  
умовні одиниці



**Рис. 1. Крива поодинокого скорочення м'язового волокна:**

**I – крива м'язового скорочення;**

**II – крива генерації потенціалу дії м'язового волокна**

## Поодинокі м'язові скорочення включає:

- ✓ Латентний період (до 5-7 мсек.) – час від моменту нанесення подразнення до початку реакції м'язового волокна. Час необхідний для сприйняття подразнення, проведення нервових імпульсів нервовими шляхами, синаптичну передачу, генерацію ПД м'язового волокна.
- ✓ Скорочення м'язового волокна (50 мсек).
- ✓ Розслаблення м'язового волокна (понад 50 мсек).



**Рис. 2. Поодинокі скорочення**



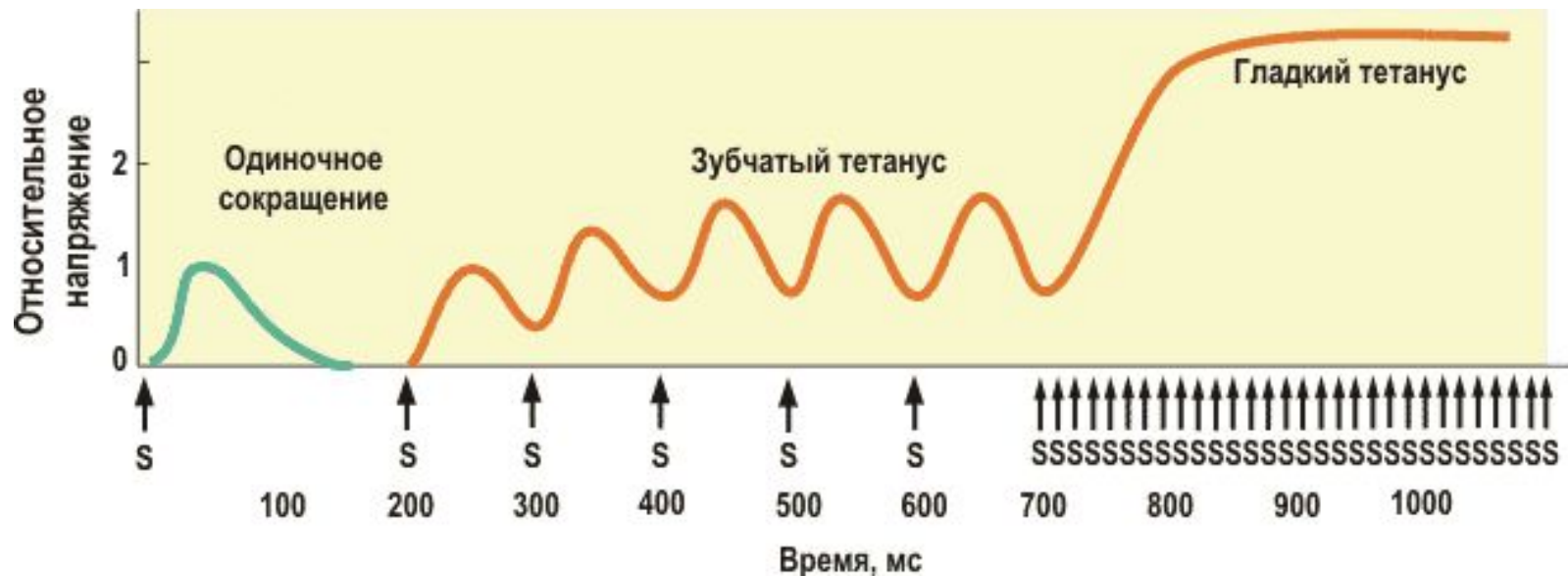
**Рис. 3. Подвійне скорочення**

# Тетанус

✓ Розрізняють такі види тетанусу:

1. Зубчастий тетанус - розвивається, коли інтервал між послідовними подразненнями більший, ніж тривалість фази скорочення м'язу;

2) Гладкий тетанус – інтервал між подразниками менше тривалості фази скорочення, але більше тривалості ПД.



**Рис. 4. Види тетанусу**

## Сила м'язу залежить від:

- ✓ 1) суми сил м'язових волокон – їх скорочувальної здатності;
- ✓ 2) кількості м'язових волокон у м'язі і кількості функціональних одиниць, що одночасно збуджуються при розвитку напруження;
- ✓ 3) вихідної довжини м'язу;
- ✓ 4) характеру регуляторних впливів;
- ✓ 5) умов взаємодії м'язу з кістками скелету;
- ✓ 6) функціонального стану м'язу.

Сила м'язів зростає при тренуваннях, знижується при голодуванні, втомі. Сила м'язів збільшується з віком і зменшується у похилому віці.

- ✓ Сила м'язу при максимальному його напруженні й збудженні, а також при найвигіднішій його вихідній довжині є *абсолютною*. Виражається у кг або ньютонках (Н).
- ✓ *Відносна* сила м'язу – це сила, що приходить на  $1\text{см}^2$  поперечного перетину м'язових волокон ( $\text{кг}/\text{см}^2$ ).
- ✓ *Розтягуність* м'язу – це здатність м'язу збільшувати довжину при дії вантажу або сили.
- ✓ Скелетні м'язи відзначаються також *еластичністю*, або *пружністю* – здатністю повертатись після деформації у вихідний стан. Відновлення вихідного стану м'язу проходить у дві фази: 1) швидка фаза, триває 1-2 сек.; 2) повільна фаза – десятки секунд.



# Структурна основа пружності м'язу:

- ✓ 1) поперечні містки;
- ✓ 2) Z-пластинки саркомерів;
- ✓ 3) ділянки прикріплення кінців міофібрил до сухожильних елементів м'язового волокна;
- ✓ 4) зовнішні сухожильні, колагенові та інші сполучнотканинні елементи м'язу та його волокон;
- ✓ 5) місця прикріплення м'язу до кісток;
- ✓ 6) поздовжня система саркоплазматичного ретикулуму;
- ✓ 7) сарколема м'язового волокна.

Перші п'ять елементів створюють послідовну пружність м'язу. Решта елементів пружності м'язу сполучені паралельно і утворюють його паралельну пружність.

# Режими м'язового скорочення

- ✓ Режим скорочення м'язу, при якому він розвиває напругу, але не змінює своєї довжини, називається *ізометричним*.

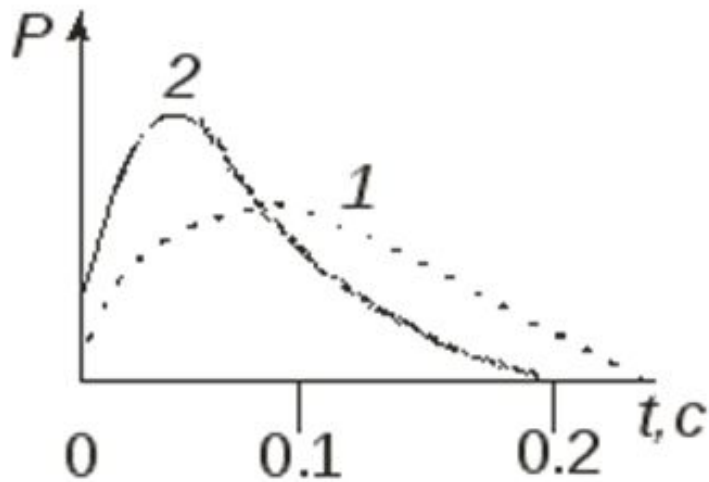
$$F_m = F_e \cdot N$$

$F_m$  - загальна сила м'язу,

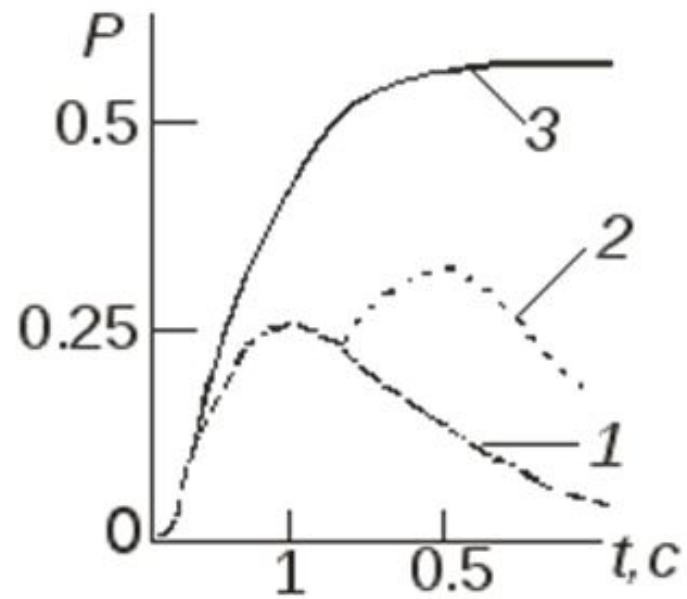
$F_e$  - сила елементарного мікропереміщення актинових міофіламентів

$N$  - кількість працюючих поперечних містків

- ✓ Якщо зовнішнє навантаження є меншим, ніж напруження м'язу, що скорочується, - м'яз вкорочується і ініціює рух. Це *концентричний, або міометричний*, режим скорочення.
- ✓ Якщо зовнішнє навантаження є більшим, ніж напруга, що може бути розвинена м'язом під час скорочення, то такий м'яз розтягується при скороченні. Це *ексцентричний, або пліометричний*, режим скорочення.



**а**



**б**

**Рис. 5. Ізометричне скорочення і форма кривих при різних способах стимуляції: а - одиноке ізометричне скорочення (1) і активний компонент (2) скоротливого елемента при поодинокому ізометричному скороченні м'язового волокна, б- сумація і злиття поодиноких скорочень (1) в зубчатий (2) і злитий (3) тетанус.**

**Сила скорочення  $P$  - в ньютонках.**

- ✓ *Ізотонічний режим м'язового скорочення*  
супроводжується вкороченням м'язу при сталих напрузі і навантаженні.
- ✓ У природніх умовах цей режим роботи м'язів відповідає циклічним і балістичним рухам, тобто ходінню, бігу, їзді на велосипеді, киданню предметів тощо.
- ✓ Особливості ізотонічного скорочення:
  - 1) величина й швидкість вкорочення тим більша, чим менший діє вантаж;
  - 2) укорочення досягає свого максимуму тим раніше, чим більший вантаж;
  - 3) чим більший вантаж, тим пізніше після подразнення починається вкорочення і тим раніше воно закінчується.

- ✓ У природних умовах ні один із режимів м'язового скорочення не зустрічається в чистому вигляді. М'яз при скороченні одночасно і вкорочується, і розвиває певну напругу. Такий режим скорочення є *проміжним, або ауксотонічним.*

# Робота м'язу

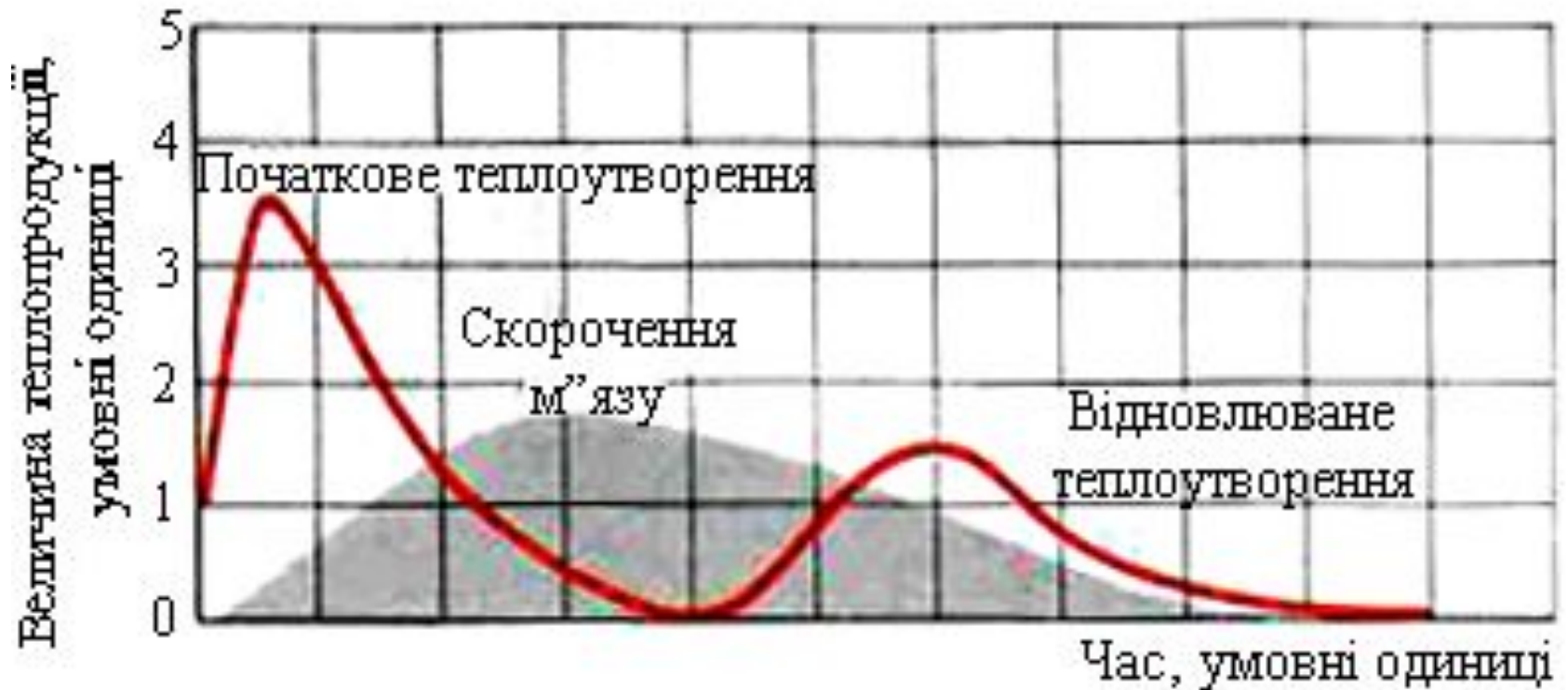
- ✓ Розрізняють **внутрішню** й **зовнішню** роботу.
- ✓ *Внутрішня робота* пов'язана з тертям у м'язовому волокні при його скороченні; рухом катіонів і аніонів як при збудженні, так і в процесі відновлення; з перетворенням енергії при ендотермічних процесах.
- ✓ *Зовнішня робота* виконується при переміщенні певного вантажу, тіла або його частин у просторі. Під час цієї роботи зростає утворення тепла.

- ✓ Коефіцієнтом корисної дії (ККД,  $\eta$ ) є відношення енергії, витраченої на роботу м'язів ( $A$ ) до всієї енергії, створеної у м'язах під час роботи ( $Q$ ). Загальні енергетичні витрати складаються із витрат на механічну роботу і на утворення тепла ( $H$ ), тобто:

$$Q = A + H, \text{ звідки } \eta = \frac{A}{Q}$$

# Фази теплотворення

- ✓ початкова
- ✓ відновлювальна



**Рис. 6. Графік теплопродукції м'язу в ході одиночного скорочення.**



# Початкова фаза теплоутворення

- Триває від моменту стимуляції до завершення процесу скорочення.
- Під час цієї фази виділяється теплота, що включає:
  - 1) теплоту активації, пов'язану з кальцієвими і насосними процесами, а саме, із вивільненням йонів кальцію з цистерн саркоплазматичного ретикулуму; з активацією тропоміозинової системи; з активацією кальцієвого, калієвого і натрієвого насосів;
  - 2) теплоту скорочення, що виділяється при трансформації хімічної енергії у механічну безпосередньо у скорочувальному елементі.

# Відновлювальна фаза теплоутворення

- ✓ Забезпечує утворення теплоти (теплоти розслаблення), яка пов'язана із витратами енергії поза роботою скорочувальних міофіламентів. А саме, з біохімічними процесами ресинтезу АТФ і креатинфосфату – гліколітичним і аеробним шляхом рефосфорилування, із відновленням йонних градієнтів концентрації за допомогою йонних насосів. Указані процеси супроводжуються утворенням і виділенням значної кількості тепла.

# Зовнішня робота м'язу поділяється на динамічну та статичну.

- ✓ *Динамічна робота* скелетних м'язів забезпечує рухи тіла і його частин у просторі. Динамічна робота м'язу ( $A$ ) вимірюється добутком ваги піднятого ним вантажу ( $P$ ) на висоту його підйому ( $S$ ), тобто на висоту скорочення м'язу.

$$A = PS.$$

- ✓ Для виміру останньої використовується: 1) час рухової реакції, або латентний період рухового рефлексу; 2) тривалість окремого руху при мінімальній напрузі м'язів; 3) кількість рухів в одиницю часу. Швидкість рухів залежить від характеру й ритму імпульсів від ЦНС, від функціональних властивостей м'язів під час рухів, від будови м'язів.

- ✓ **Статичне зусилля, або м'язовий тонус** - тривале напруження м'язів, що зберігає положення тіла у гравітаційному полі, підтримання пози. М'язовий тонус забезпечується роботою повільних м'язових волокон.
- ✓ **Контрактура** – це стійке, залишкове скорочення м'язу, що супроводжується сповільненим розслабленням. Контрактури бувають вроджені й набуті.

- ✓ **Гнучкістю** називається здатність виконувати рухи з великою амплітудою.
- ✓ Виділяють активну і пасивну гнучкість.
- ✓ **Активна гнучкість** — здатність виконувати рухи в суглобі з великою амплітудою за рахунок активності м'язових груп, що проходять через цей суглоб (приклад: амплітуда підйому ноги в позі “ластівка”).
- ✓ **Пасивна гнучкість** визначається найвищою амплітудою, котру можна досягти за рахунок прикладених зовнішніх сил. Показники пасивної гнучкості більші відповідних показників активної гнучкості. Різниця між ними називається дефіцитом активної гнучкості.



**б**

**а**

**Рис. 7. Види гнучкості:**

**а – пасивна гнучкість; б – активна гнучкість**

# Втома

- ✓ *Втома м'язів* – тимчасове зниження працездатності або втрата працездатності в результаті попередньої роботи.
- ✓ Залежить від: 1) величини виконаної роботи;  
2) величини нервового навантаження м'язу, при частіших подразненнях втома настає швидше.
- ✓ Ознаками втоми є:
  - поступове зменшення амплітуди скорочень,
  - зростання їх тривалості,
  - наростання контрактури.

# Теорії втоми

- ✓ 1. Теорія виснаження (Шифф, 1868). Утома настає в результаті виснаження запасів речовин, що вивільняють енергію для м'язового скорочення. Так, ізольований м'яз зменшує свою працездатність або навіть перестає скорочуватись, коли запас глікогену складатиме половину вихідної кількості.
- ✓ 2. Теорія засмічення (Пфлюгер, 1872). Втома настає при накопиченні у м'язі кінцевих продуктів обміну речовин – фосфорної й молочної кислот.



- ✓ 3. Теорія удушення (Ферворн, 1903). Утома розвивається в умовах нестачі кисню – кисневого боргу. За цих умов під час м'язової роботи функції нервової системи понижуються. Це і є основною причиною втоми. Кисневий борг ліквідується при посиленому кровообігу й диханні як під час роботи, так і після її завершення. Ліквідація кисневого боргу завершується лише після повного окислення залишкових продуктів обміну речовин і повного завершення відновлювальних процесів.
  
- ✓ 4. Теорія втоми, в якій головна роль відводиться ЦНС (Сеченов, 1903). Утома настає при дії умовних подразників. При цьому посилюється гальмування умовних і безумовних рефлексів. На розвиток втоми впливає надходження аферентних імпульсів у головний мозок і емоції. Довільна м'язова діяльність втомлює більше, ніж мимовільна. Суттєве значення у розвитку втоми має функціональний стан головного мозку. Останній змінюється при гіпоксії, гіпоглікемії, гіпертермії, накопиченні метаболітів у крові, зсувів функцій внутрішніх органів, особливо серцево-судинної й дихальної систем.

# Фази проходження втоми при м'язовій роботі:

- ✓ 1) фаза компенсованої втоми — у ній, не зважаючи на зростання утруднення, людина зберігає інтенсивність виконання рухів (наприклад, швидкість бігу на початковому рівні);
- ✓ 2) фаза декомпенсованої втоми — у ній людина, не зважаючи на всі намагання, не може зберегти необхідну інтенсивність виконання рухів.

# Витривалість

- ✓ *Витривалістю* називається здатність протистояти втомі.
- ✓ Основним мірилом витривалості вважають час, протягом якого людина здатна підтримувати задану інтенсивність руху. Для виміру витривалості можна використовувати й інші ергометричні показники.

**Дякую за увагу!**