

## Лекція

### Тема: Хімічна будова м'язів та хімізм м'язового скорочення

#### План

1. Субмікроскопічна будова м'язової клітини:
  - 1.1 Сарколема.
  - 1.2 Саркоплазма.
  - 1.3 М'язові фібрили.
2. Хімічна структура м'язів:
  - 2.1 М'язові білки.
  - 2.2 Екстрактивні речовини м'язів.
3. Хімічний склад м'язів серця.
4. Ініціація м'язового скорочення.
5. Хімізм м'язового скорочення.
6. Розслаблення м'язів.

#### 1. Субмікроскопічна будова м'язової клітини

Структурною одиницею скелетних м'язів є м'язове волокно.

Воно представляє собою багатоядерну клітину, яка має кілька см в довжину та 0,1-0,2 мм в ширину.

М'язове волокно знаходиться в оболонці, яка називається **сарколема**.

На її поверхні знаходяться закінчення рухомих нервів. Всередині знаходяться м'язові фібрили, ядра м'язової клітини.

Простір між фібрилами та ядрами називають **саркоплазмою**. В саркоплазмі знаходяться саркоплазматичний ретикулум, мітохондрії, рибосоми.

#### 1.1 Сарколема

**Сарколема** – є білково-ліпоїдною мембраною, вона регулює проникнення різних речовин в м'язову клітину і з клітини в міжклітинний простір.

Виконує роль діелектрика: ізолює два іонних басейни. Це забезпечується її структурою (гідрофобні молекули ліпоїдів з бідками утворюють різницю потенціалів).

На поверхні сарколеми розташовані **колагенові волокна**, вони надають міцність та еластичність.

В звичайних умовах через сарколему не можуть проходити великі молекули білків, гексозо фосфатні ефіри, а легко проникають такі речовини як глюкоза, молочна та піровіноградна кислоти, амінокислоти, короткі пептиди, різні іони. Вільні жирні кислоти проникають в м'язову клітину в комплексі з низькомолекулярними білками: альбумінами. Однак проникнення багатьох речовин не тільки проходить згідно законів осмосу але й носить активний характер (іони натрію та калію можуть проходити проти осмотичного тиску, ця робота йде за рахунок АТФ).

## 1.2 Саркоплазма

**Саркоплазма** – складний білково-колоїдний розчин. Однак вона має визначений упорядкований характер. Завдяки саркоплазматичному ретикулуму в системі білково-ліпоїдних мембран, які розділяють її на окремі цистерни і басейни. Вони утворюють систему трубок, які сполучають поверхню сарколеми з внутрішнім складом м'язової клітини.

## 1.3 М'язові фібрили

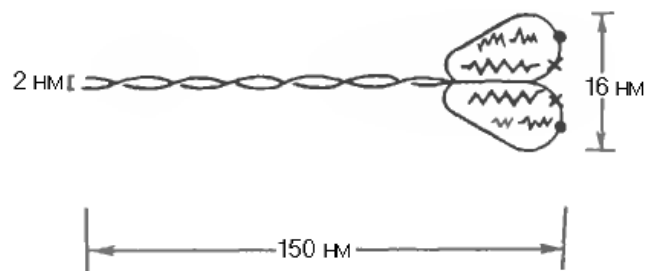
В середині м'язового волокна в саркоплазмі знаходяться **скорочувальні протофібрили**.

Вони є двох основних типів: **товсті**, товщиною 15-17 нм – **міозинові протофібрили**; **тонкі**, товщиною приблизно 6 нм – **актинові протофібрили**.

## 2. Хімічна структура м'язів

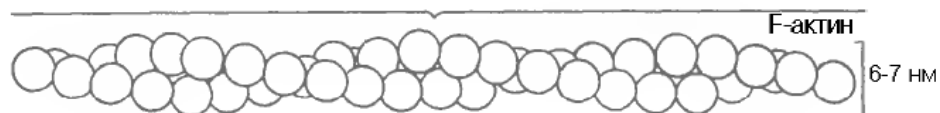
### 2.1 М'язові білки

**Міозинові протофібрили** мають головку. В основі головки міозину знаходиться фермент АТФаза, а на самій головці знаходяться легкі ланцюги і молекули АТФ.



Молекула міозину

**Актинові протофібрили** мають активні центри (відстань між актином та міозином близько 40 нм).



Молекула актину

Крім актину в клітинних протофібрилах є інші білки **тропоміозин**, **тропонін**, **кальвомодулін (тропоніновий комплекс)**.

## 2.2 Екстрактивні речовини м'язів

До них відносять N-складові екстрактивних речовин (креатин), дипептиди (ансерін, карнозін), трипептиди (глутатіон), глютамін, глютамінова кислота.

В невеликій кількості в м'язах є амінокислоти, сечовина, сечова кислота, уридин, аденозин, аденін, гуанін, гіпоксантін, ксантін.

## 3. Хімічний склад м'язів серця

За вмістом води та білків м'язи серця мало чим відрізняються від скелетних м'язів.

В м'язах серця менше АТФ, креатин фосфату, креатину, глікогену, але більше глютаміну, глютамінової кислоти, фосфатидів.

## 4. Ініціація м'язового скорочення

Вивчали цю тему Енгельгард та Любимова. Вони проводили ряд дослідів в Санкт Петербурзі під керівництвом професора Яковлева.

Було встановлено, що білок **міозин** є не тільки основною складовою частиною скорочувального комплексу м'язових фібрил, а є білком – ферментом, який каталізує розщеплення АТФ на АДФ та ортофосфорну кислоту. Ця реакція проходить в **анаеробних умовах** і супроводжується виділенням приблизно 8 ккал енергії на 1 г молекули виділеної ортофосфорної кислоти.



Інші досліди показали: міозин під впливом розщеплення АТФ набуває еластичний характер (суть досліду: виділені клітини міозину опускали в розчин АТФ, виймали, прикріплювали вантаж, спостерігали, що міозин розтягувався та не розривався).

**Актин** не може розщеплювати АТФ, комплекс актин + міозин розщеплює АТФ (звісно більший вклад дає міозин).

Встановлено, що ця АТФазна активність міозину пов'язана з наявністю в його складі тіо-груп.

### М'язове скорочення:

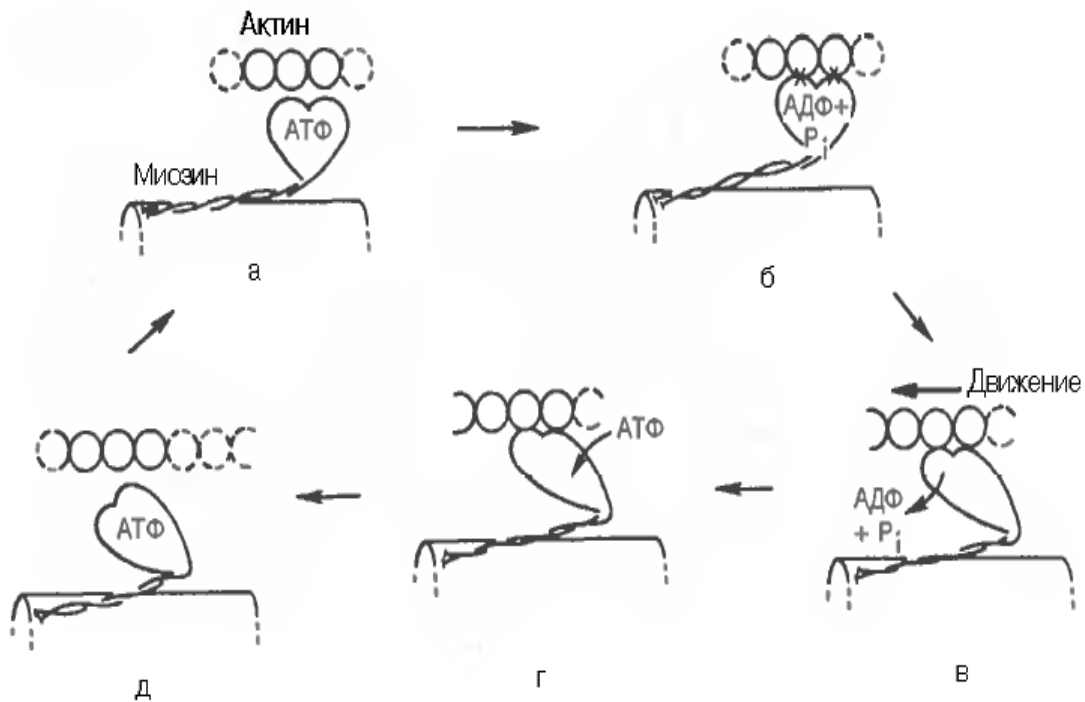
При виконанні роботи, по зовнішній мембрані йде потенціал дії. Цей потенціал проникає в середину м'язового волокна, потім передається на мембрани цистерн. Відбувається деполяризація мембрани цистерн. В результаті відкриваються кальцієві канали та починається інтенсивний викид катіонів кальцію  $\text{Ca}^{2+}$  в саркоплазму. Отже,  **$\text{Ca}^{2+}$ -ініціатор м'язового скорочення.**

Після цього велике значення відіграє **тропоніновий комплекс**. Він приєднує катіони кальцію, відбувається активація АТФази та використання

енергії АТФ для зв'язку активного центру актинового протофібрилу та головки міозину.

В результаті взаємодії актину з міозином відбувається скорочення м'язів. Якщо немає потенціалу дії, то активний центр покривається тропоніновим комплексом і взаємодії не має.

Ці процеси відбуваються тільки тоді, коли концентрація катіонів кальцію в саркоплазмі збільшується в 100 та більше разів.



Біохімічний цикл м'язового скорочення

## 5. Хімізм м'язового скорочення

1.  $\text{АТФ} + \text{міозин} \rightarrow \text{АДФ} + \text{міозин}\sim\text{фосфат}$
2.  $\text{міозин}\sim\text{фосфат} + \text{актин} \rightarrow \text{міозин}\sim\text{актин} + \text{фосфат}$
3.  $\text{міозин}\sim\text{актин} \rightarrow \text{міозин} - \text{актин} + \text{Е}$
4.  $\text{міозин} - \text{актин} + \text{НОН} \rightarrow \text{міозин} + \text{актин}$

## 6. Розслаблення м'язів

Всі ці процеси повторюються до тих пір, доки в саркоплазмі є катіони кальцію, в вказаній концентрації, та АТФ. Якщо немає нової деполяризації, то катіони кальцію повертаються в цистерни саркоплазматичного ретикулуму, він відкачується кальцієвим насосом, який розташований на мембрані саркоплазматичного ретикулуму. Робота цього насосу потребує АТФ.

Результатом відкачування катіонів кальцію з саркоплазми є розрив всіх зв'язків актину та міозину і розслаблення м'язів.