

# ФИЗИОЛОГИЯ НЕРВОВ И МЫШЦ

*Проф. Мухина И.В.*

Лекция №5

Лечебный факультет

# ФИЗИОЛОГИЯ НЕРВОВ ИЛИ НЕРВНЫХ ПРОВОДНИКОВ

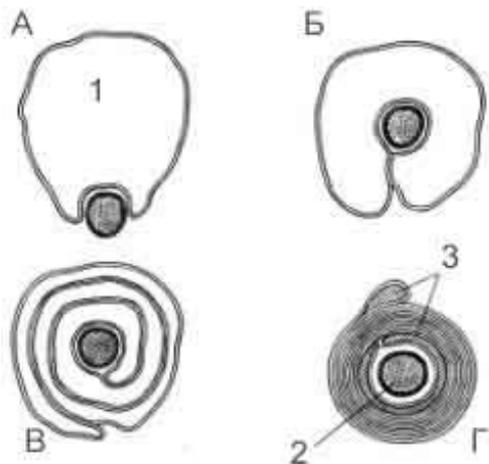
- Нервное волокно (нервный проводник) представляет собой отросток нейрона, заключенный в глиальную оболочку. Нервные волокна образуют нервные пучки, совокупность которых формирует нервный ствол, или **нерв**.

# **Морфологическая организация нервных проводников**

Различают два вида нервных волокон:

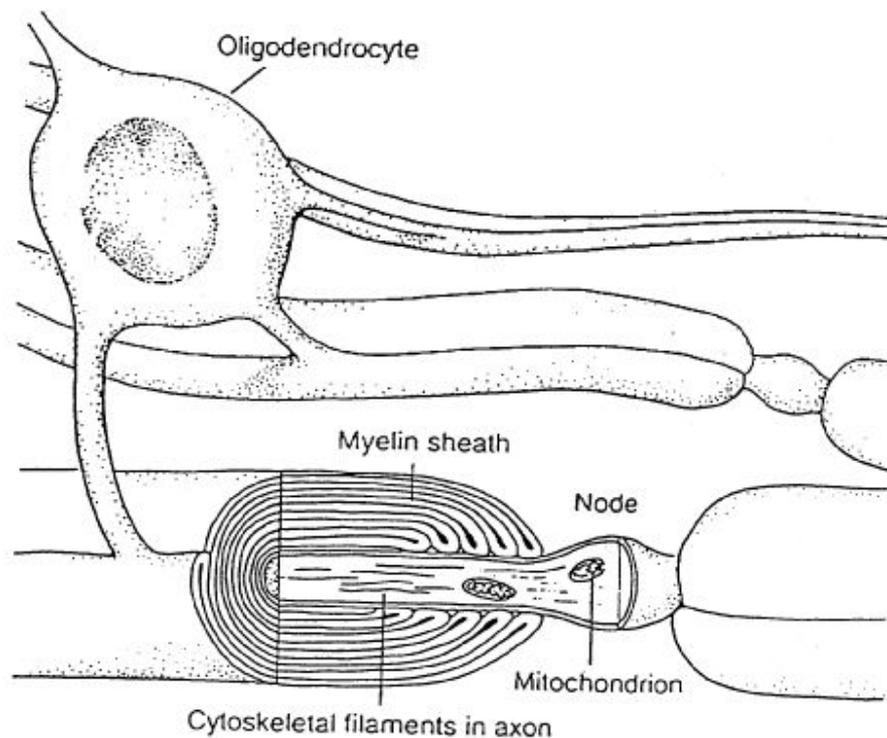
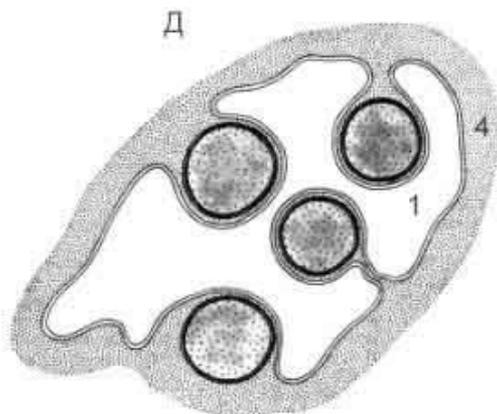
- Немиелинизированные (безмякотные).
- Миелинизированные (мякотные)

## Формирование миелиновой оболочки вокруг аксона на разных стадиях его развития (А–Г)



1 – леммоцит (олигодендроцит или Шванновская клетка), 2 – миелиновое волокно, 3 – миелиновая оболочка, 4 – безмиелиновое волокно,

## Соотношение леммоцита и безмиелиновых волокон (Д)



# Классификация нервных волокон по Эрлангеру-Гассеру

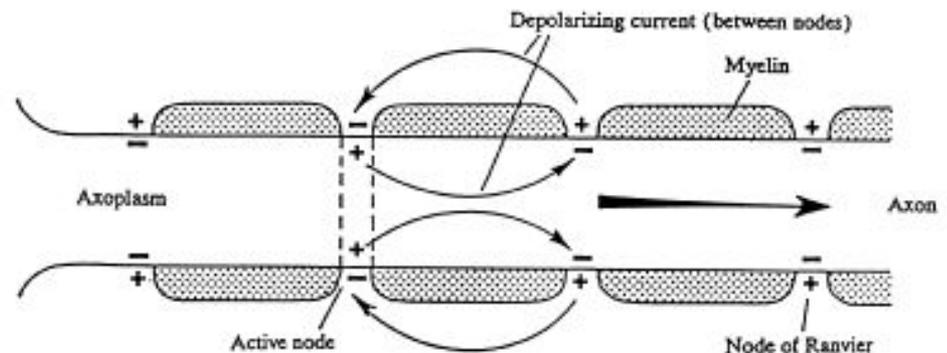
Тип волокна	Средний диаметр (мкм)	Скорость проведения (м/с)	Функции
<b>A <math>\alpha</math></b>	<b>15</b>	<b>70-120</b>	<b>Первичные афференты мышечных веретен, двигательные волокна скелетных мышц</b>
<b>A <math>\beta</math></b>	<b>8</b>	<b>30-70</b>	<b>Кожные афференты прикосновения и давления</b>
<b>A <math>\gamma</math></b>	<b>5</b>	<b>15-30</b>	<b>Двигательные волокна мышечных веретен</b>
<b>A <math>\delta</math></b>	<b>&lt;3</b>	<b>12-30</b>	<b>Кожные афференты температуры, боли</b>
<b>B</b>	<b>3</b>	<b>3-15</b>	<b>Симпатические преганглионарные волокна</b>
<b>C</b> (немиелинизированные)	<b>1</b>	<b>0,5-2</b>	<b>Симпатические постганглионарные волокна. Кожные афференты боли</b>

# МЕХАНИЗМ ПРОВЕДЕНИЯ В НЕРВНЫХ ВОЛОКНАХ

- Проводимость – специализированное свойство нервного волокна.
- Возбуждение распространяется **посредством электротонической связи** от возбужденного участка мембраны к еще не возбужденному

## Различают распространение возбуждения по нервному волокну:

1. непрерывное (характерно для немиелинизированных волокон);
2. сальтаторное (характерно для миелинизированных волокон).



# **Законы проведения возбуждения в нервных волокнах**

- ***1. Закон двустороннего проведения.***
- ***2. Закон анатомической и физиологической целостности.***
- ***3. Закон изолированного проведения.***
- ***4. Закон бездекрементного проведения.***

# 1. Закон двустороннего проведения

- ***Возбуждение, возникающее в одном участке нерва, распространяется в обе стороны от места своего возникновения.***
- Это можно доказать, если на нервное волокно наложить регистрирующие электроды на некотором расстоянии друг от друга, а между ними нанести раздражение. Возбуждение зафиксируют электроды по обе стороны от места раздражения. В организме возбуждение всегда распространяется по аксону от тела клетки (ортодромно).

## 2. Закон анатомической и физиологической целостности

- *Возбуждение может распространяться по нервному волокну только в случае его морфологической и функциональной целостности.*
- Различные факторы, воздействующие на нервное волокно (наркотические вещества, охлаждение и т. д.) приводят к нарушению физиологической целостности, т. е. к **нарушению механизмов передачи** возбуждения. Несмотря на сохранение его анатомической целостности, проведение возбуждения в таких условиях нарушается.

### 3. Закон изолированного проведения

- ***Возбуждение, распространяющееся по волокну, входящему в состав нерва, не передается на соседние нервные волокна.***
- Способность нервного волокна к изолированному проведению возбуждения обусловлена наличием оболочек, а также тем, что **сопротивление жидкости**, заполняющей межволоконные пространства, значительно **ниже**, чем сопротивление мембраны волокна. Поэтому ток, выйдя из возбужденного волокна, шунтируется в жидкости и оказывается слабым для возбуждения соседних волокон.

## 4. Закон бездекрементного проведения

- Амплитуда потенциала действия не изменяется с увеличением расстояния от места его возникновения.

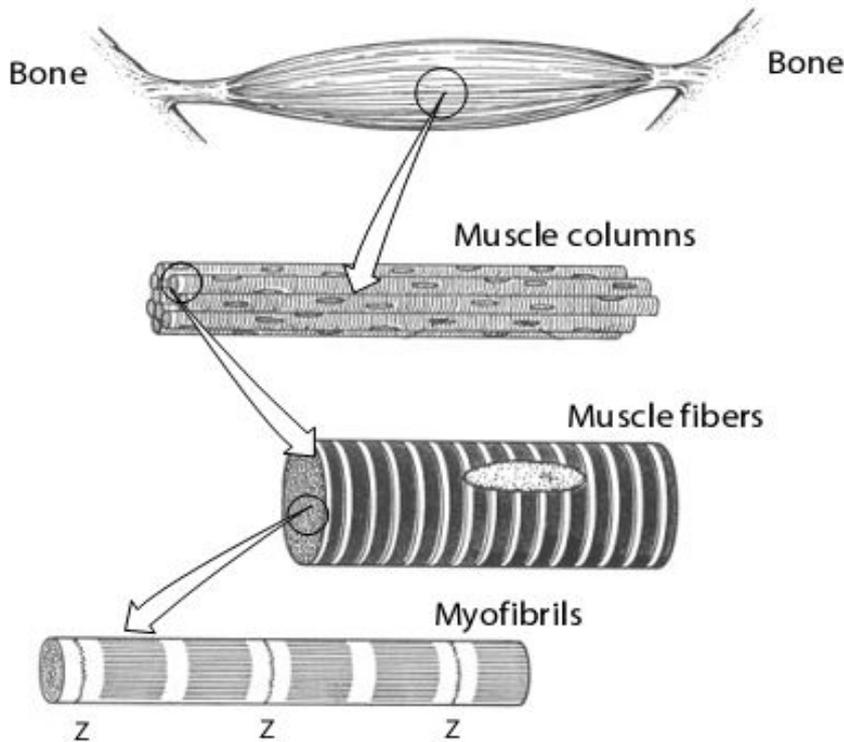
# **ФИЗИОЛОГИЯ МЫШЦ**

# Физиологические свойства мышц

- Кроме общих свойств, характерных для всех возбудимых систем - **возбудимость, проводимость, лабильность** ( $200 - 300 \text{ с}^{-1}$ ), скелетные мышцы обладают специфическим свойством – **сократимостью**.
- **Сократимость – способность мышцы изменять длину или напряжение в ответ на действие раздражителя.**

Показатели	Скелетная мышца	Мышца сердца	Гладкая мышца
Хронаксия, мс	0,08–0,4	2–3	20–40
Длительность рефрактерного периода, с	0,005–0,01	0,3–0,4	десятые доли секунды
Скорость проведения возбуждения, мс	6–11	1–4	0,5–1
Длительность одиночных сокращений, с	0,05–0,1	0,5–0,8	десятки секунд

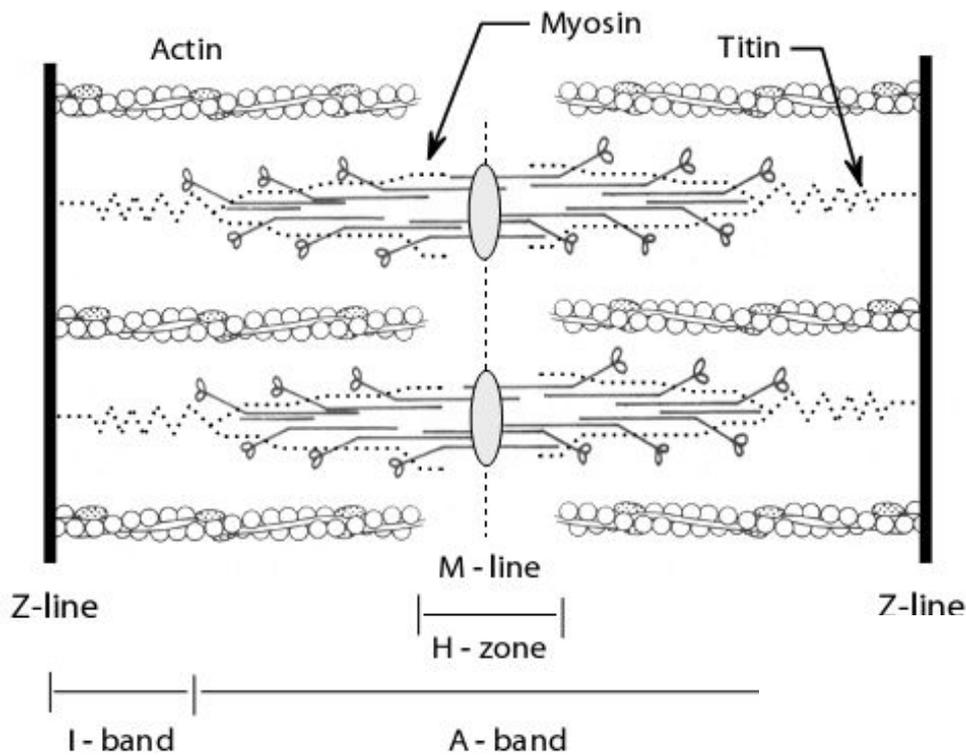
# Скелетные мышцы



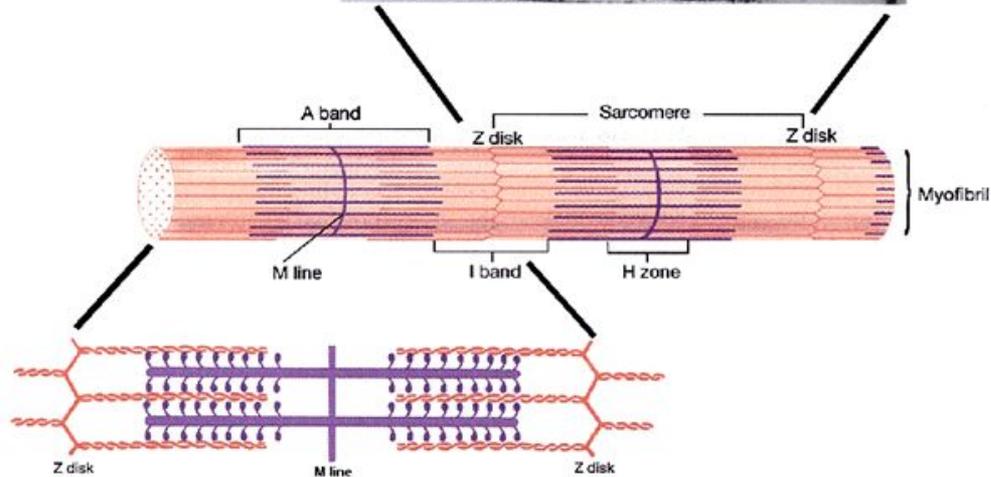
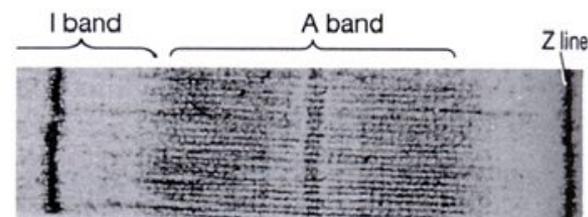
Мышечное волокно – многоядерное образование, имеет:

1. плазматическую мембрану (сарколемму) от которой внутрь отходят многочисленные поперечные трубочки – Т-система,
2. цитоплазму (саркоплазму), в которой находятся саркоплазматический ретикулум – продольные трубочки и их расширения – цистерны, ядра, миофибриллы, митохондрии и др. и многочисленные органеллы.
3. миофибриллы – сократительный аппарат мышцы (в одном волокне до 2000). Миофибриллы расположены параллельно друг другу так, что А- и I-диски (band) одних миофибрилл точно совпадают с другими, обуславливая поперечную исчерченность всего волокна. Каждая миофибрилла состоит в среднем из 2500 миофиламентов (протофибрилл) двух типов:
  - тонких нитей сократительного белка **актина** (А),
  - толстых нитей сократительного белка - **миозина** (М).

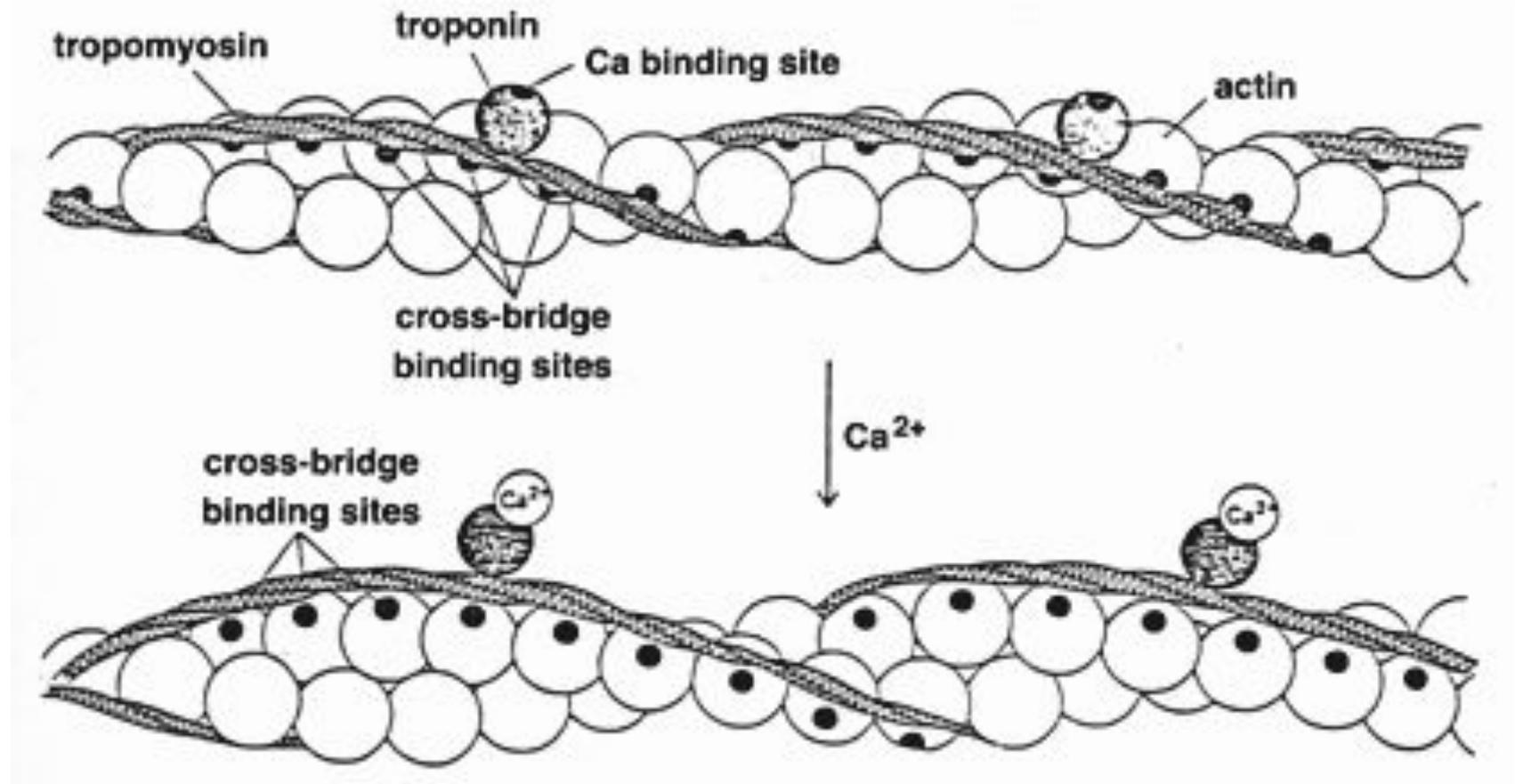
**Мышца – мышечное волокно – миофибриллы - миофиламенты**



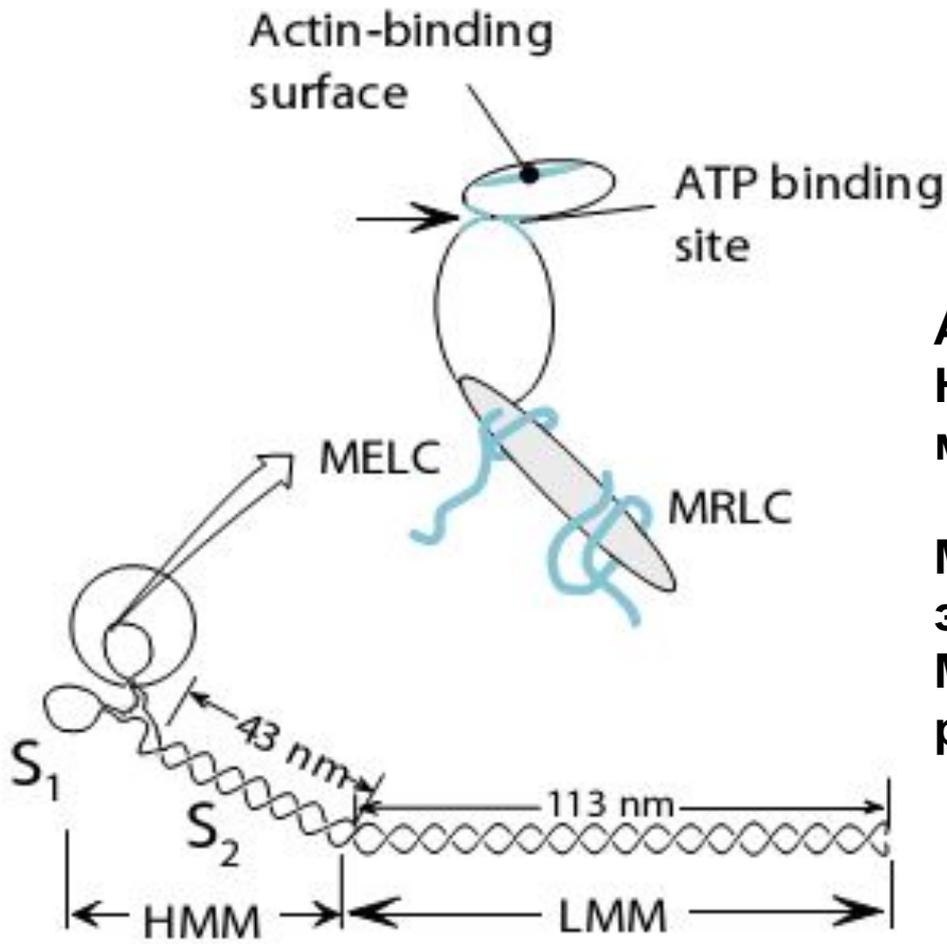
# Соотношение актиновых и миозиновых нитей в саркомере



# Строение актиновых нитей



# Строение молекулы миозина



**АТФ** – аденозинтрифосфат;  
**НММ** – тяжелые цепи  
меромиозина;  
**ЛММ** – легкие цепи мeroмиозина;  
**МELC** – миозиновые  
эссенциальные легкие цепи;  
**MRLC** – миозиновые  
регуляторные легкие цепи

# Механизм развития сокращения мышцы

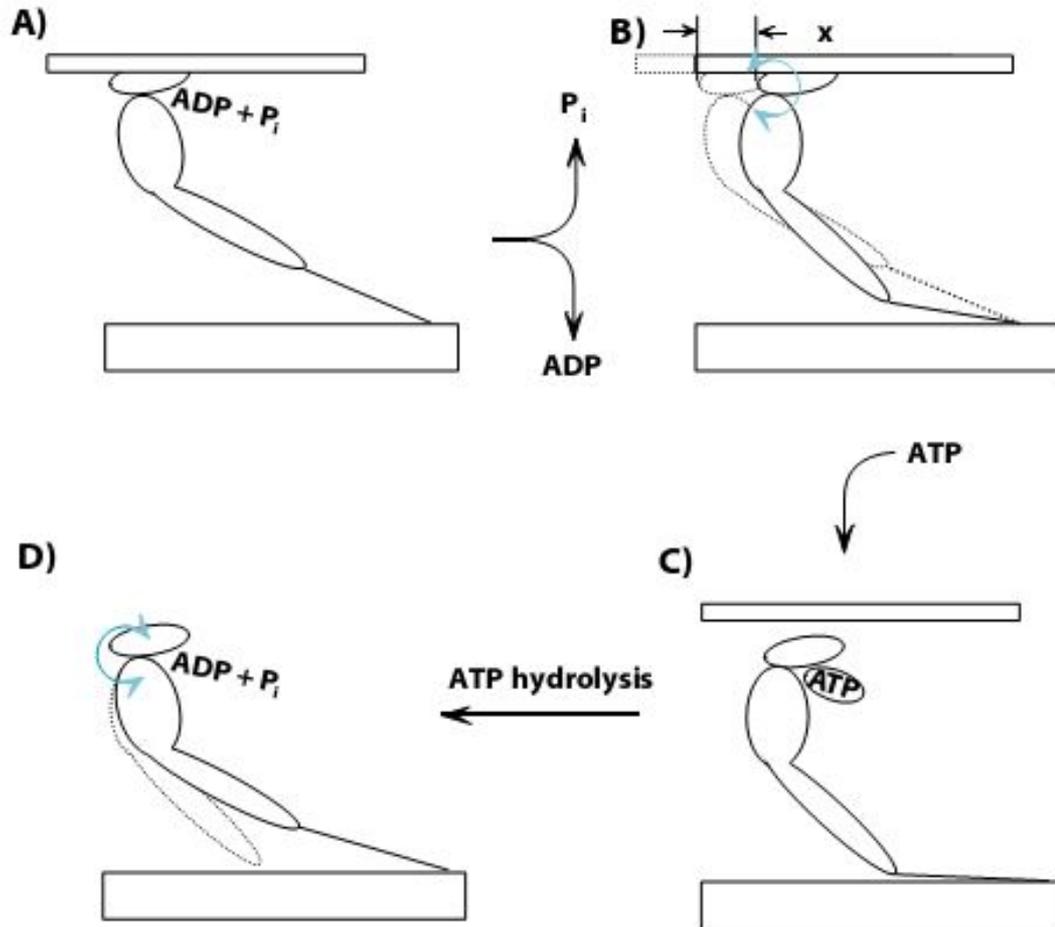
При сокращении актиновые и миозиновые нити не укорачиваются, а скользят относительно друг друга. Причиной скольжения является поступление к актиновым филаментам ионов кальция.

- **1.** При распространении **ПД** по мембране миофибриллы на поперечную трубочку, продольную систему происходит высвобождение **Ca<sup>2+</sup>** из цистерн СГР (с  $10^{-7}$  до  $10^{-5}$ М).
- **2.** При связывании **Ca<sup>2+</sup>** с тропонином (кальмодулином) молекула деформируется таким образом, что тропомиозин как бы заталкивается в желобок между двумя цепочками актина, открывая участки для прикрепления миозиновых поперечных мостиков.
- **3.** В результате освобождения активного центра актина к нему присоединяется головка миозина. При этом активируется **АТФаза**, расположенная в головке миозина. Полный гидролиз **АДФ·Фн** сопровождается поворотом головки на  $45^\circ$ . При повороте миозин продвигается по актину на один «шаг» или «гребок», равный 10-20 нм.
- **4.** АДФ и Фн отходят, а на их место присоединяется новая молекула **АТФ**, что приводит к разрыву связи миозина с актином. После присоединения молекулы АТФ сразу же происходит ее частичный гидролиз и образуется высокоэнергетическое соединение **АДФ·Фн**.
- Накоплению в системе продольных трубочек **Ca<sup>2+</sup>** и поддержанию его низкой концентрации в цитоплазме у протофибрилл способствует **Са-насос** - **Са-зависимая АТФ-аза**.

## **Электромеханическое сопряжение**

**Контрактура - стойкое длительное сокращение мышцы, сохраняющееся после прекращения действия раздражителя. Кратковременная контрактура может развиваться после тетанического сокращения в результате накопления в саркоплазме большого количества  $Ca^{2+}$ ; длительная (иногда необратимая) контрактура может возникать в результате отравления ядами, нарушений метаболизма.**

# Механизм «гребка» при развитии мышечного сокращения



# ТИПЫ МЫШЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

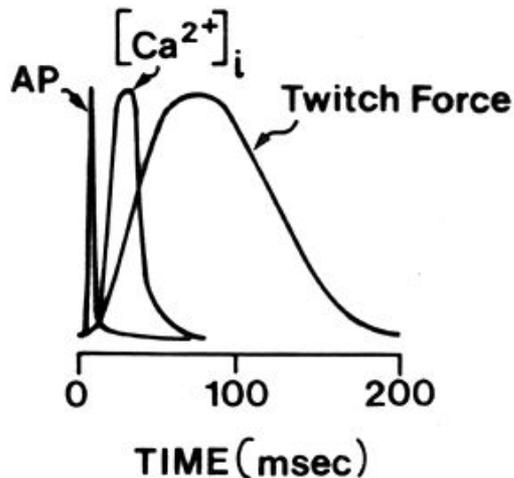
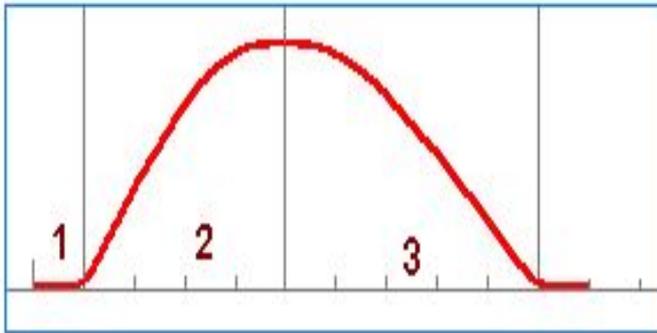
В зависимости от условий, в которых мышца осуществляет сокращение, принято различать следующие типы (режимы):

- 1. **изотоническое** – неизменное напряжение при изменении длины,
- 2. **изометрическое** - неизменная длина при изменении напряжения,
- 3. **смешанное** – *ауксотоническое* или *ауксометрическое*.

В целостном **организме** наблюдаются в основном смешанные сокращения с преобладанием изменения либо длины, либо напряжения

# ВИДЫ МЫШЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

1. *Одиночное сокращение;*
2. *Тетаническое сокращение.*



- При раздражении одиночным стимулом мышца отвечает одиночным сокращением, в котором выделяют три фазы:
- **1. Латентная** (скрытая) – от начала раздражения до начала укорочения. Она длится около 2,5-10 мс. Именно в этот период происходит генерация ПД и выброс  $Ca^{2+}$  из цистерн в саркоплазму мышечного волокна.
  - 2. Фаза **укорочения** (напряжения) - до 40 – 50 мс у медленных двигательных единиц.
  - 3. Фаза **расслабления** - до 50 – 60 мс.

# Тетаническое сокращение

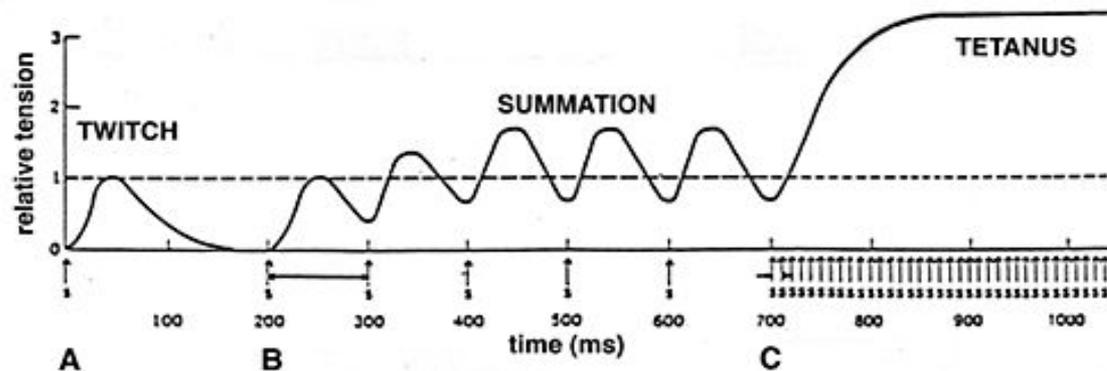
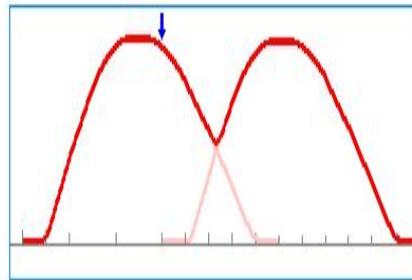
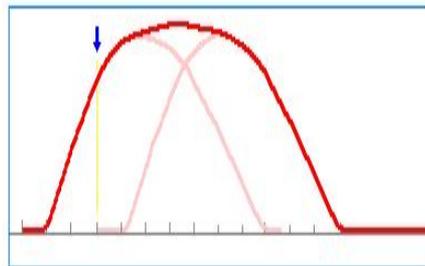


Схема формирования одиночных и тетанических сокращений скелетной мышцы



- **Зубчатый** – если очередной импульс приходится на фазу расслабления - происходит неполная суммация.



- **Гладкий** - если очередной импульс приходится на фазу укорочения - происходит полная суммация.

# ДВИГАТЕЛЬНЫЕ ЕДИНИЦЫ

Мышцы иннервируются **мотонейронами**. Каждый аксон мотонейрона иннервирует группу мышечных волокон.

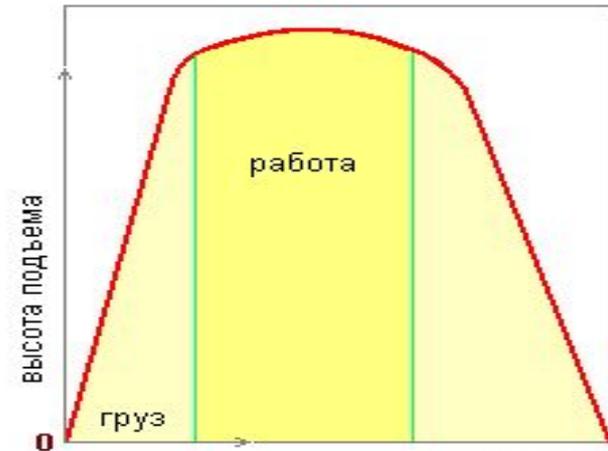
- **Мотонейрон вместе с иннервируемыми им мышечными волокнами называется двигательной единицей**.  
Количество мышечных волокон колеблется от 10-20 (мышцы глаза, кисти) до 2000 (камбаловидная мышца).
- Различают **быстрые и медленные двигательные единицы**.
- **Время** сокращения быстрых двигательных единиц - 10-30 мс, медленных – 100 мс и более.

# **Мышечные волокна, которые входят в состав двигательных единиц, неоднородны**

- Волокна, входящие в состав одной мышцы, могут отличаться по многим признакам: по количеству митохондрий и гликогена, по степени развития саркоплазматического ретикулума, по характеру иннервации и т.д. Детальное изучение биохимических, метаболических и гистохимических характеристик мышечных волокон, входящих в состав поперечнополосатых мышц млекопитающих позволило выделить четыре основные группы волокон:
- **Медленные тонические мышечные волокна;**
- **Медленные фазические волокна;**
- **Быстрые фазические гликолитические волокна;**
- **Быстрые фазические окислительные волокна.**

# Физические свойства скелетной мышцы

- 1. Растяжимость – способность изменять длину под действием растягивающей силы.
- 2. Эластичность – способность принимать первоначальную длину или форму после прекращения растягивающей или деформирующей силы.
- 3. Работоспособность. Совершаемая мышцей работа измеряется в кг·м и представляет собой произведение величины груза на высоту подъема (величину укорочения). Работа увеличивается с возрастанием груза до некоторого его значения, после чего дальнейшее увеличение груза ведет к снижению работы за счет уменьшения высоты подъема груза. *Работа окажется равной 0, когда груза нет или мышца не сможет поднять груз.*



**Сила мышц** - максимальная величина груза, который она в состоянии поднять. Для сравнения силы разных мышц определяют их удельную силу, для чего максимальный груз относится к физиологическому поперечному сечению.

# Утомление

- – физиологическое состояние мышцы, которое развивается после совершения длительной работы и проявляется снижением амплитуды сокращений, удлинением латентного периода сокращения и фазы расслабления.

Причинами утомления являются:

1. истощение запаса АТФ,
  2. накопление в мышце продуктов метаболизма.
- Утомляемость мышцы при ритмической работе меньше, чем утомляемость синапсов. Поэтому при совершении организмом мышечной работы утомление первоначально развивается на уровне синапсов ЦНС и нейро-мышечных синапсов.

# ГЛАДКИЕ МЫШЦЫ

- Гладкие мышцы построены из веретенообразных одноядерных мышечных клеток, связанных между собой **нексусами**. Нексусы обеспечивают распространение ПД с одного мышечного волокна на другое.

Гладкомышечная ткань представляет собой **функциональный синтиций**.

# ОСОБЕННОСТИ ГЛАДКИХ МЫШЦ

- 1. Распространение возбуждения происходит за счет **нексусов**. Эти области с низким электрическим сопротивлением обеспечивают электротоническую передачу деполяризации от возбужденных клеток к соседним.
- 2. Гладкие мышцы осуществляют **медленные движения** (от с до мин) и длительные тонические сокращения (например, сфинктер мочевого пузыря).
- 3. Гладкие мышцы обладают **пластичностью**, несвойственной скелетным мышцам. Пластичность – способность сохранять приданную мышце при растяжении длину. Например, пластичность мышцы мочевого пузыря предотвращает избыточное повышение давления внутри его по мере наполнения.
- 4. Гладким мышцам свойственна **автоматия** – способность самовозбуждаться. Автоматия обусловлена наличием спонтанно самовозбуждающихся **клеток (пейсмекеров)**. У гладких мышц артерий, семенных протоков, радужки, а также у ресничных мышц спонтанная активность обычно слабая или ее вообще нет. Поэтому природа их активности не миогенная, а нейрогенная.

# Вопросы для студентов

- 1. Посредством какого механизма передается возбуждение от одного участка нервного волокна к другому?
- 2. Чем обусловлена способность нервного волокна к изолированному проведению возбуждения?
- 3. Какая из фаз механизма мышечного сокращения является энергозависимой?
- 4. В каком случае при тетаническом раздражении происходит полная суммация сокращений?