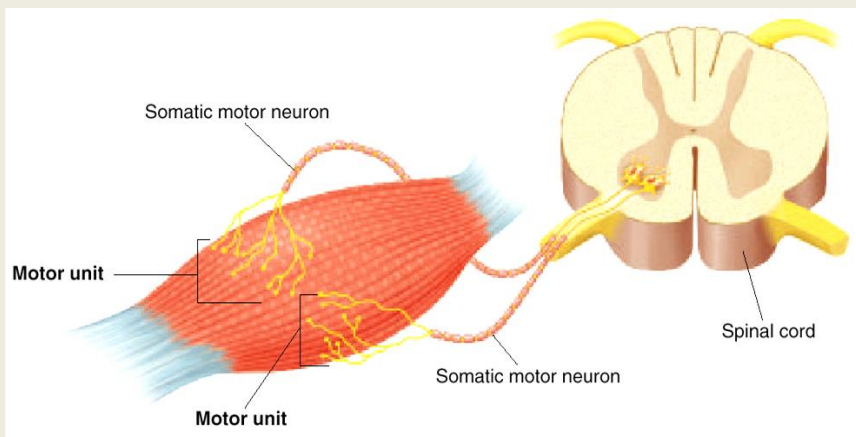


Гомельский государственный
медицинский университет
Кафедра нормальной и патологической
физиологии

ФИЗИОЛОГИЯ МЫШЦ

Лекция для студентов 2 курса

профессор кафедры
доктор биологических наук,
доцент Мельник В.А.



План лекции:

1. Классификация мышечных тканей, их физиологические свойства.

2. Формы и типы мышечного сокращения. Режимы сокращения мышц. Конtrakтура.

3. Сила и работа мышечного волокна. Двигательные единицы. Композиция (состав мышц).

4. Структура мышечного волокна. Теория сокращения мышц (скольжение нитей). Расслабление и утомление мышц. Тренировка. Гипертрофия и атрофия мышц.

5. Физиологические особенности гладких мышц.

а. Строение гладких мышц;

б. Классификация гладких мышц;

в. Сокращение гладкой мышцы;

г. Стресс-релаксация (пластичность) гладкой мышцы;

д. Рост гладкой мышцы и ее чувствительность к физиологически активным веществам.

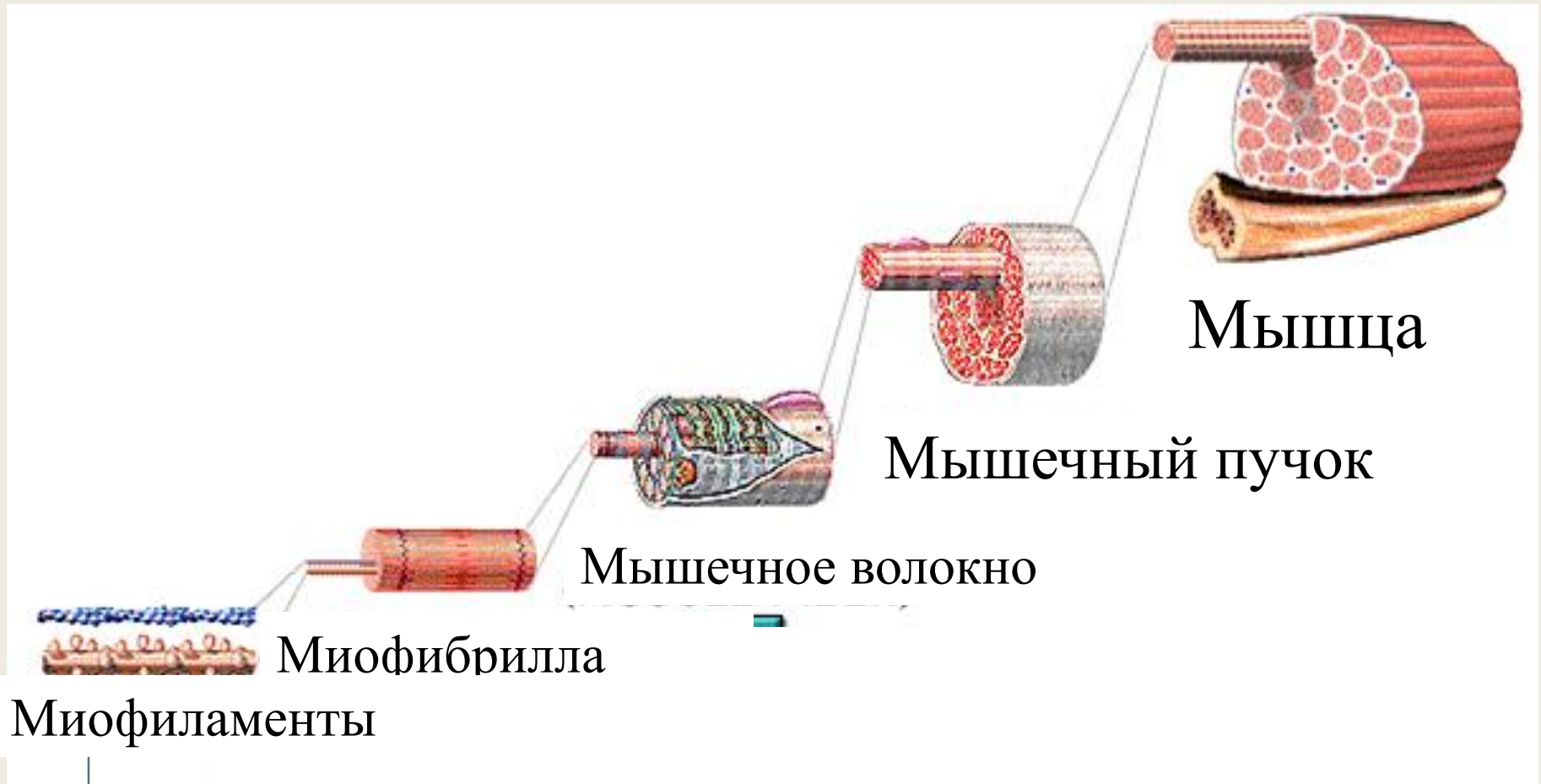
1. Классификация мышечных тканей, их физиологические свойства.

В организме человека по структуре и физиологическим свойствам выделяют:

3 типа мышечной ткани:

- 1. Поперечно - полосатую (скелетную).**
- 2. Гладкую.**
- 3. Сердечную.**

Уровни организации скелетной МЫШЦЫ



Поперечно-полосатая (скелетная) мышечная

ткань Тканевыми элементами служат мышечные волокна - **симпласты**, которые содержат 4 элемента, обеспечивающих сократительную функцию мышц:

а) **миофибриллы**, образованные параллельно ориентированными нитями актина и миозина, соединенные концами друг с другом;

б) **тропонин-тропомиозин регулирующий комплекс** (управляет актом сокращения);

в) **саркоплазматический ретикулум**, образующий систему Т-трубочек и L-каналов, которые содержат ионизированный кальций, запускающий сокращение;

г) **систему энергетического обеспечения** (митохондриальные комплексы).

Гладкомышечная ткань. Тканевым элементом является гладкомышечная клетка - **МИОЦИТ** веретеновидной или звездчатой формы. Сократительные элементы представлены:

а) **МИОЗИНОВЫМИ НИТЯМИ**, проходящими вдоль оси клетки и **АКТИНОВЫМИ НИТЯМИ**, образующими 3-мерную сеть;

б) **слабо развитым тропонин-тропомиозиновым комплексом;**

в) **не развитым эндоплазматическим ретикулумом**, (необходимый для инициирования мышечного сокращения);

г) **системой энергетического обеспечения.**

В функциональном отношении

различают:

➤ ***фазные*** **мышечные** **волокна**
(обеспечивают движения, связанные с перемещением тела в пространстве)

➤ ***тонические*** **мышечные** **волокна**
(обеспечивают длительно протекающие сократительные процессы, например, сохранение позы).

Фазные мышечные волокна подразделяются на:

- **быстрые**
- **медленные.**

Различия между ними заключаются в:

- длительности сокращения,
- силе сокращения (быстрые обладают большей силой сокращения),
- времени наступления утомления (медленные менее утомляемы).

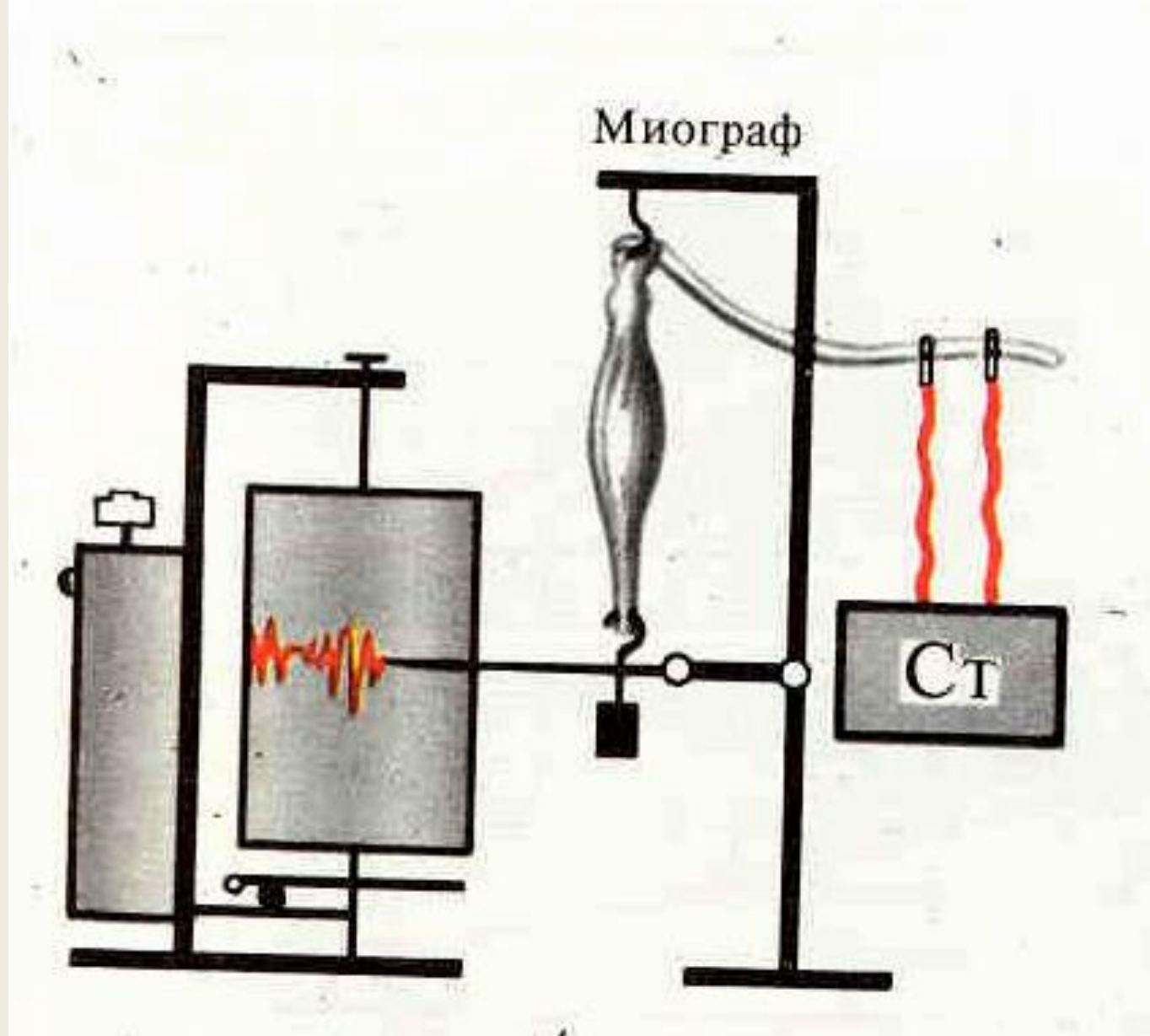
Все типы мышц обладают свойствами:

1. Возбудимость.

2. Проводимость.

3. Сократимость (изменение длины или напряжения) и способность расслабляться.

4. Эластичность – способность развивать напряжение при растяжении



Миография

2. Формы и типы мышечного сокращения.

Режимы сокращения мышц.

Различают несколько форм и типов мышечных сокращений.

1. Динамическая форма:

а) *Изотонический* тип или концентрационный (мышца укорачивается, но не изменяет своего напряжения). Например, ходьба.

б) *Эксцентрический* тип. Если нагрузка на мышцу больше, чем ее напряжение, то мышца растягивается. Например, при опускании тяжелого предмета.

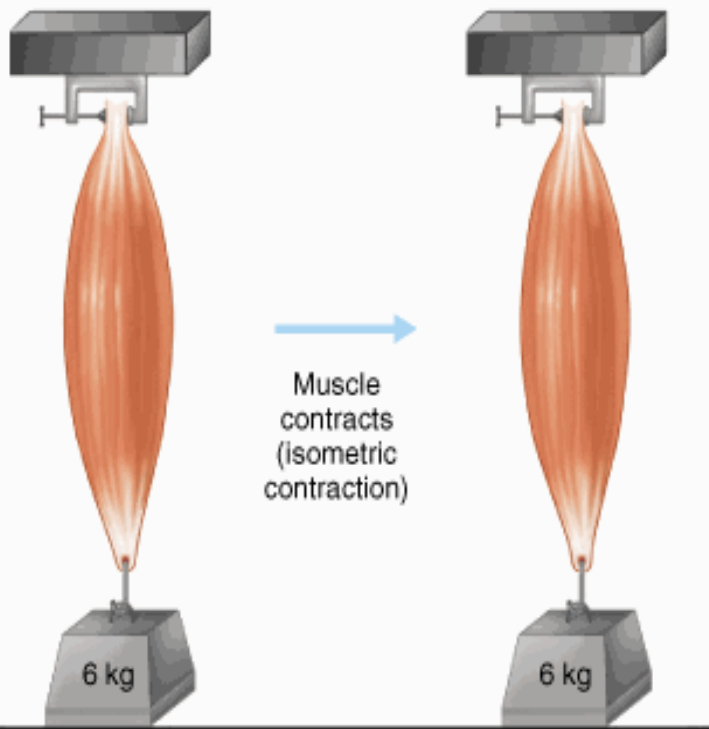
2. Статическая форма

а) *Изометрический* (мышца изменяет свое напряжение, но не изменяет длины.).

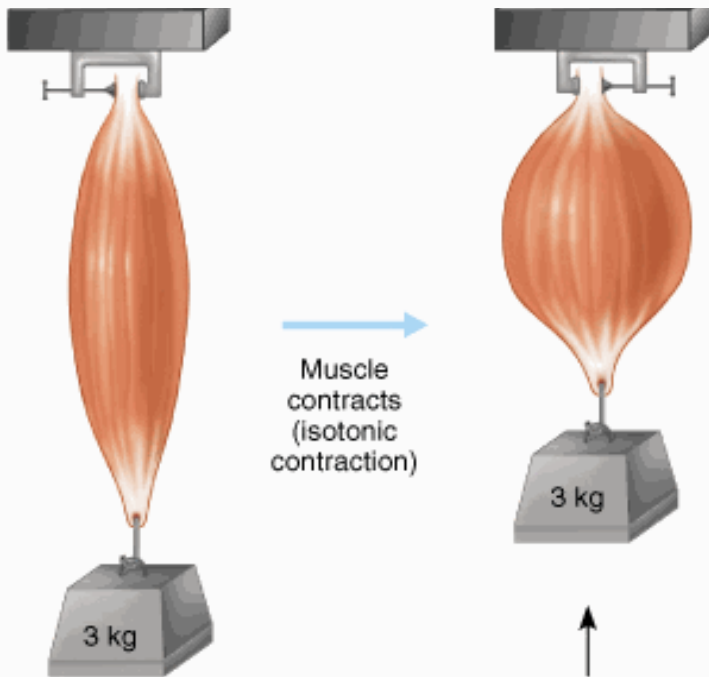
3. Смешанная

Изометрическое сокращения

Muscle contracts (isometric contraction)



Muscle contracts (isotonic contraction)



Изометрическое сокращения

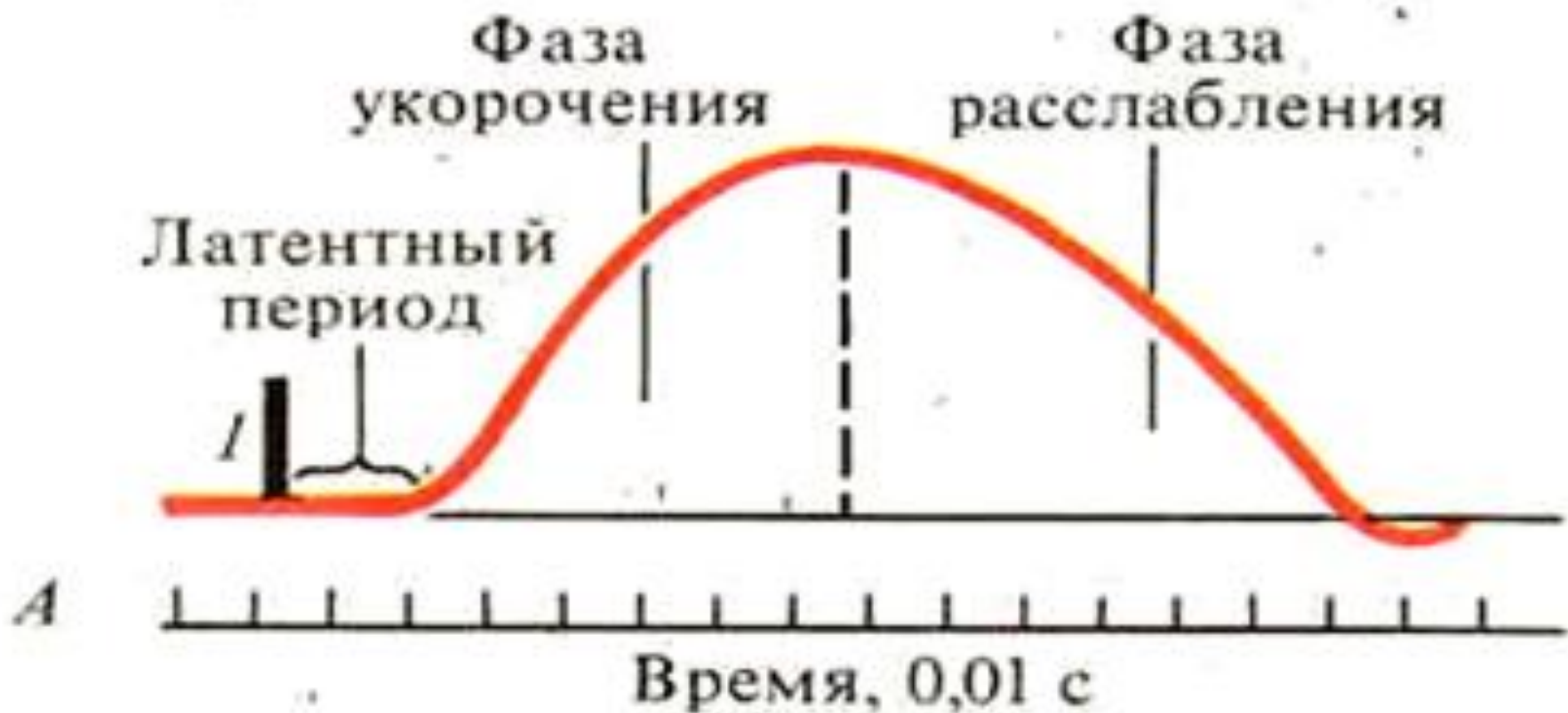
Режимы сокращения мышц.

- **Одиночное.**
- **Тетаническое мышечные сокращения.**



Фазы одиночного мышечного сокращения:

- 1. Латентный (скрытый) период** – время после действия раздражителя до начала сокращения.
- 2. Фаза укорочения** (при изотоническом сокращении) или **фаза напряжения** (при изометрическом сокращении).
- 3. Фаза расслабления.**

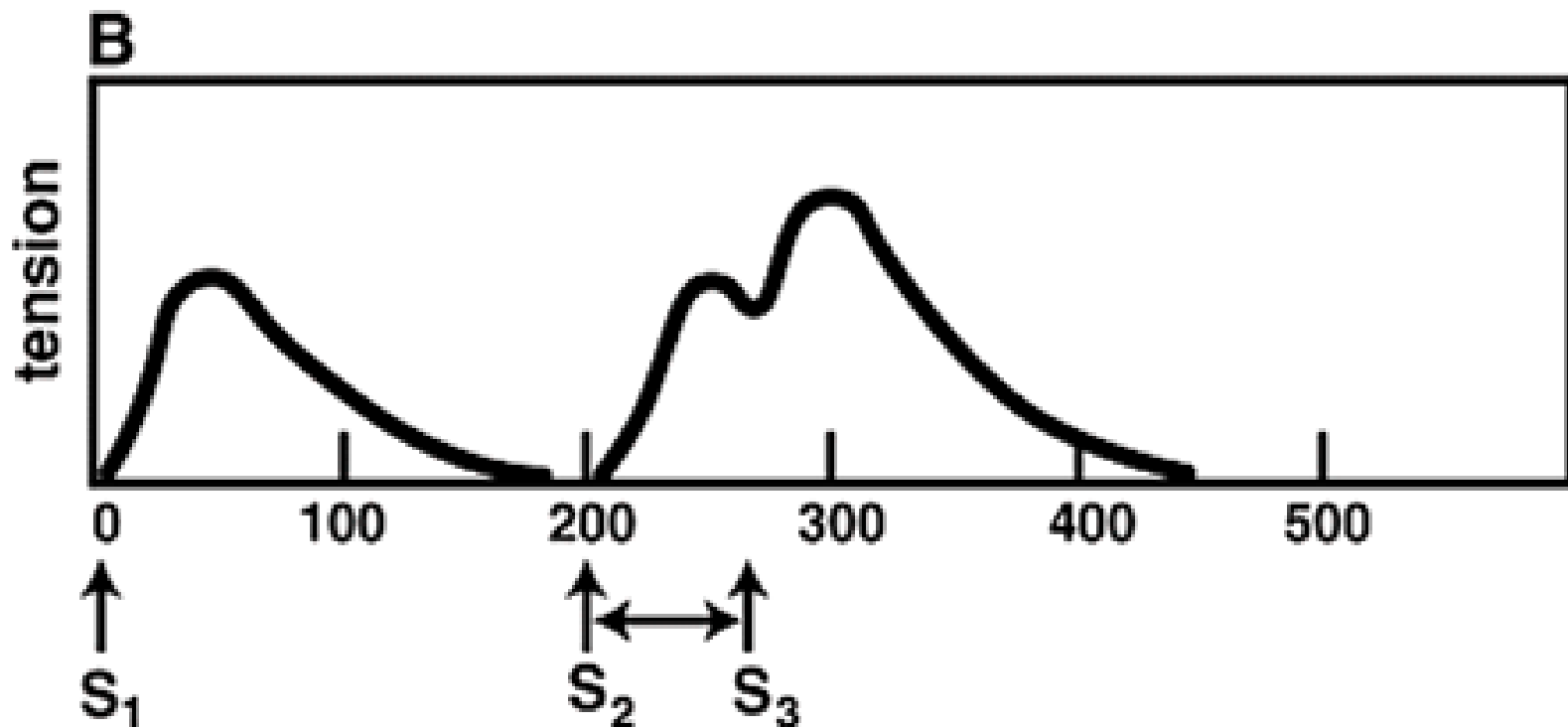


Фазы одиночного мышечного сокращения

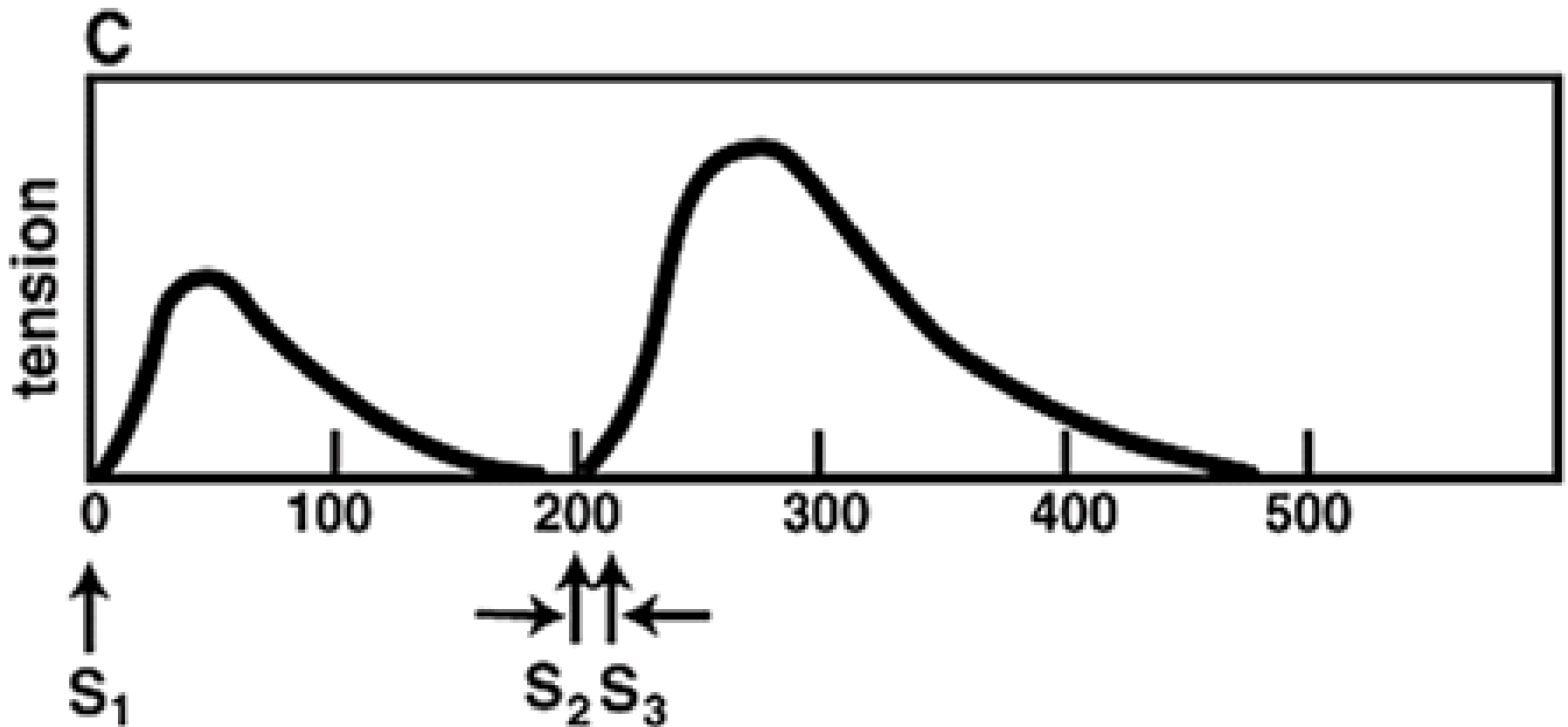
Наложение двух следующих друг за другом импульсов называется **суммацией**.

Выделяют два вида суммации:

1. Если второй раздражитель поступает в момент, когда мышца начала расслабляться, то кривая имеет вершину отдельную от вершины первого сокращения. Этот вид суммации называется **неполной**.



2. Если второй раздражитель поступает в момент, когда сокращение мышцы еще не дошло до вершины т.е. мышца не начала расслабляться, то оба сокращения сливаются в единое целое. Этот вид суммации называется **ПОЛНОЙ**.



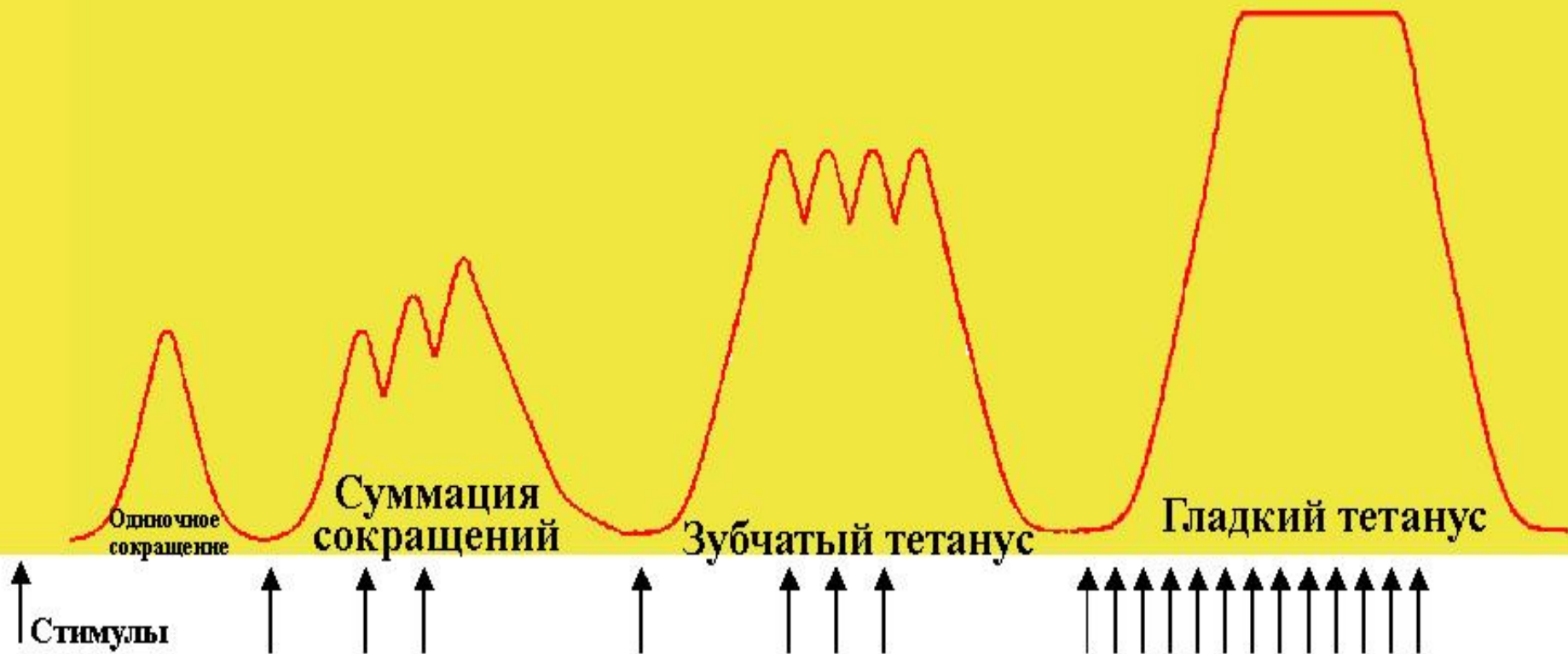
Длительное и сильное сокращения
мышцы, под влиянием ритма импульсов
с последующим расслаблением
называется **тетанусом**.

Выделяют два вида тетануса:

1. Зубчатый.

2. Гладкий.

Слитные сокращения





**Оптимальный и пессимальный
режимы работы мышц**

Контрактура – стойкое непрерывное стационарное обратимое сокращение мышцы с сильно замедленным ее расслаблением.

Выделяют 3 вида контрактур:

1. Калиевая.

2. Кофеиновая.

3. Посттетаническая.

3. Сила и работа мышечного волокна.

Двигательные единицы.

Сила мышцы зависит от морфологических свойств и физиологического состояния мышцы:

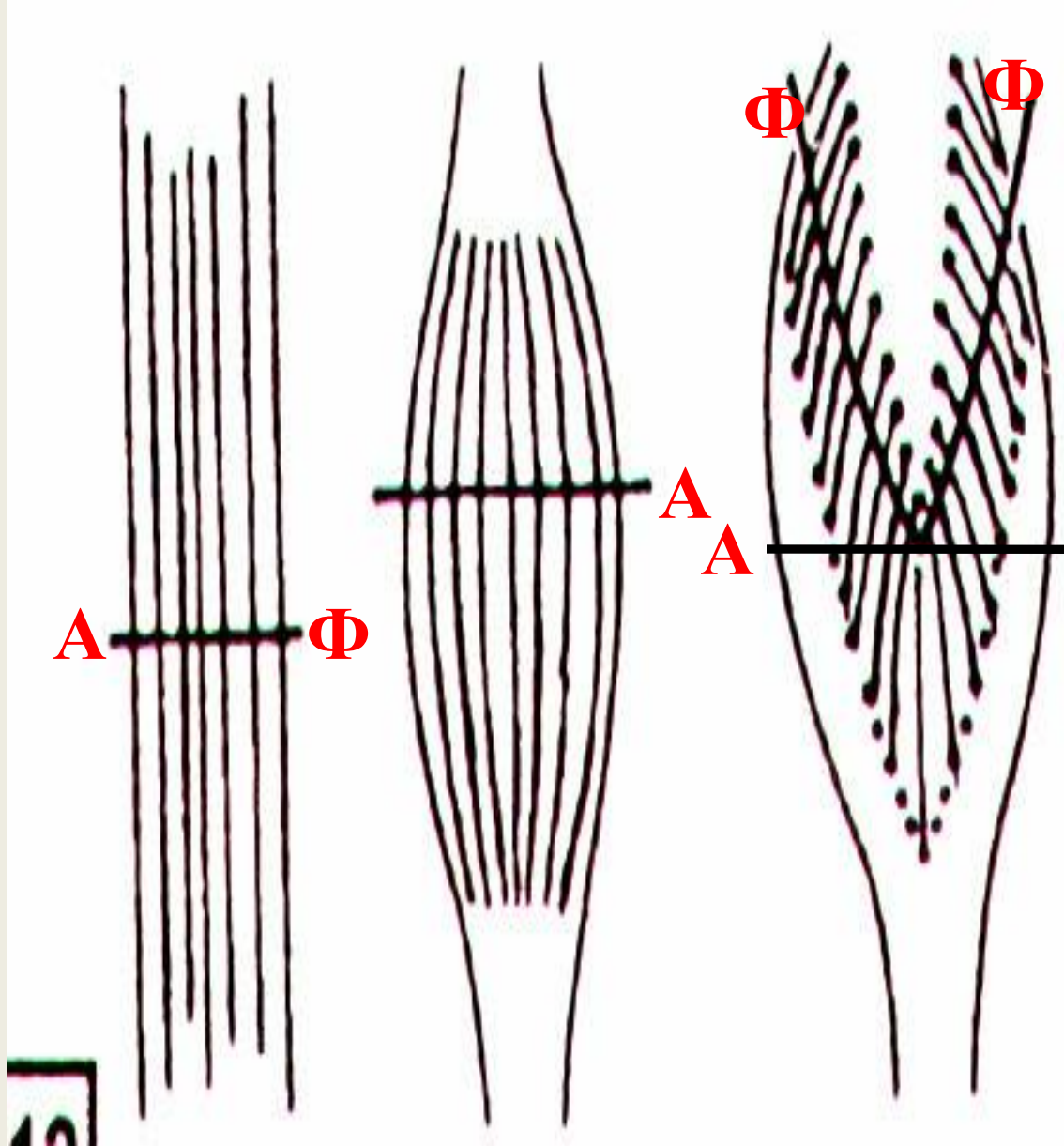
1. Исходной длины мышцы (длины покоя).

2. Диаметра мышцы или поперечного сечения.

Выделяют два диаметра:

а) анатомический диаметр — поперечное сечение мышц.

б) физиологический диаметр — перпендикулярное сечение каждого мышечного волокна.



**Анатомический (А) и физиологический (Ф)
диаметры мышечных волокон**

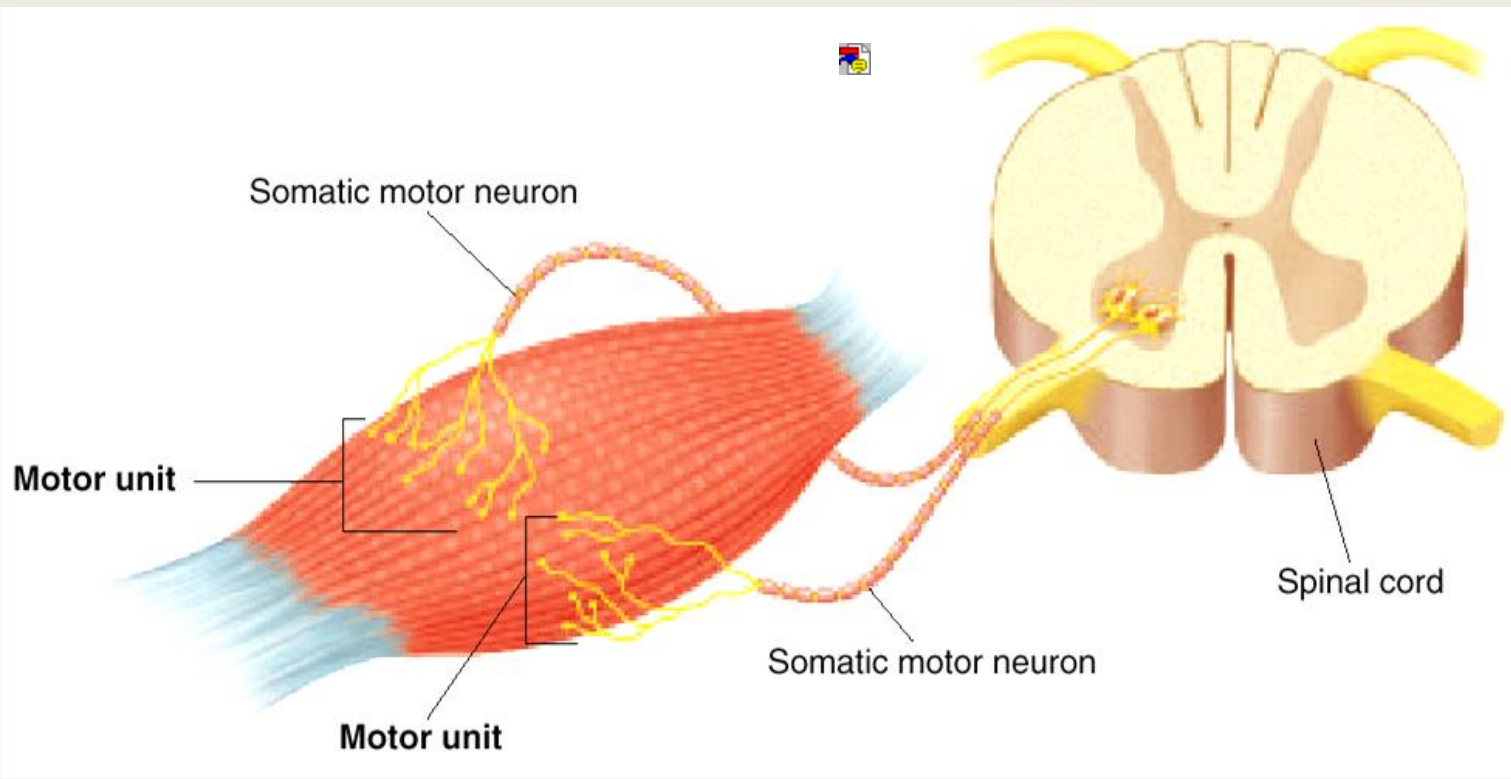
Выделяют два вида силы мышцы:

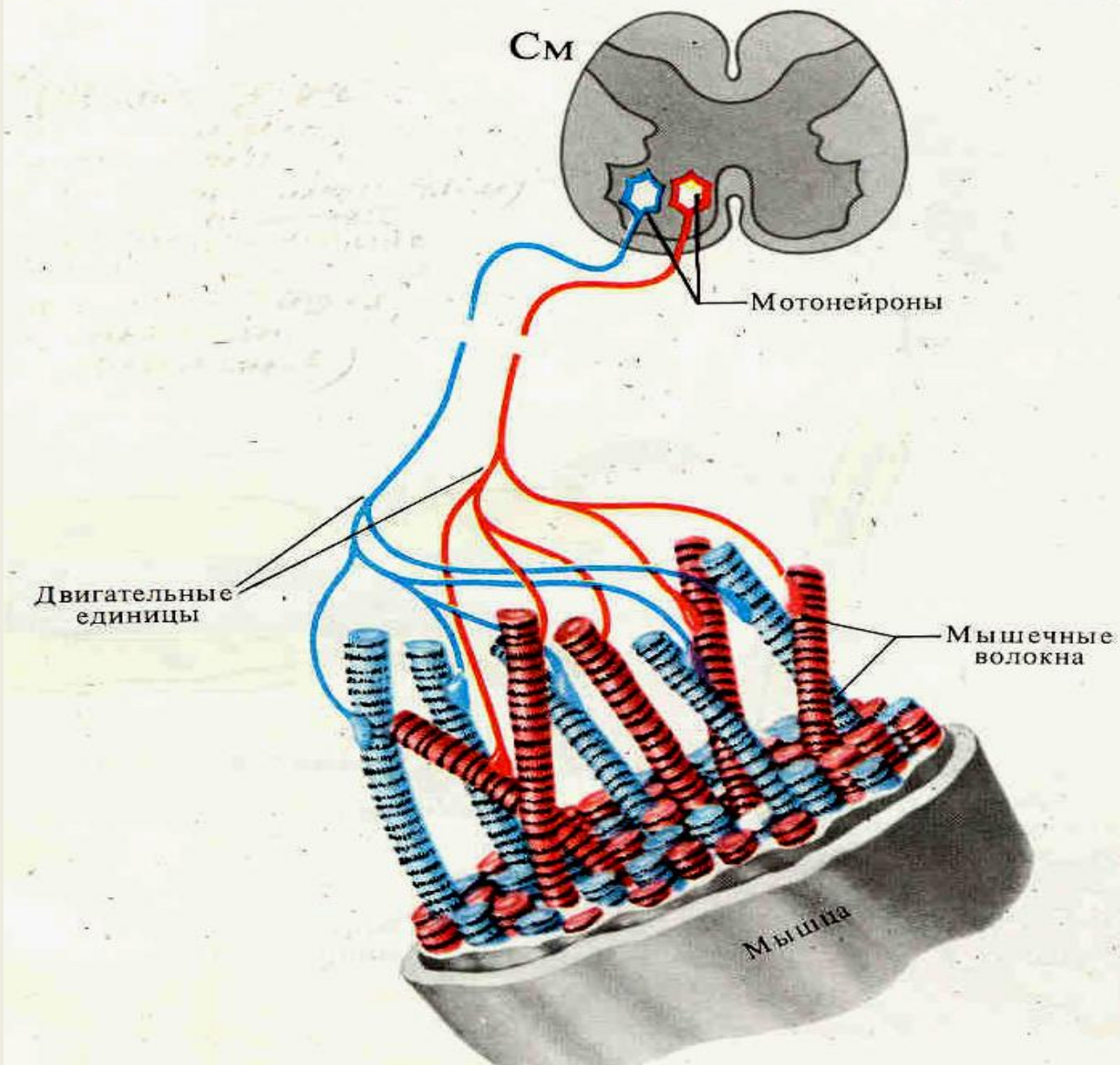
1. Абсолютная сила — отношение максимальной силы к физиологическому диаметру.

2. Относительная сила — отношение максимальной силы к анатомическому диаметру.

Строение моторной (двигательной) единицы

Двигательная единица – мотонейрон с группой иннервируемых им мышечных волокон.





Строение моторной единицы

**По строению двигательные единицы
делятся на:**

- 1. Малые двигательные единицы**
- 2. Большие двигательные единицы**

**По функциональному значению
двигательные единицы делятся на:**

- 1. Медленные двигательные единицы.**
- 2. Быстрые двигательные единицы.**

Медленные мышечные волокна обладают:

- 1. Богатой капиллярной сетью.**
- 2. Содержат много миофибрилл.**
- 3. Содержит много миоглобина (т.е. способны связывать большое количество кислорода).**
- 4. В них содержится много жиров.**

Отличительные особенности быстрых мышечных волокон:

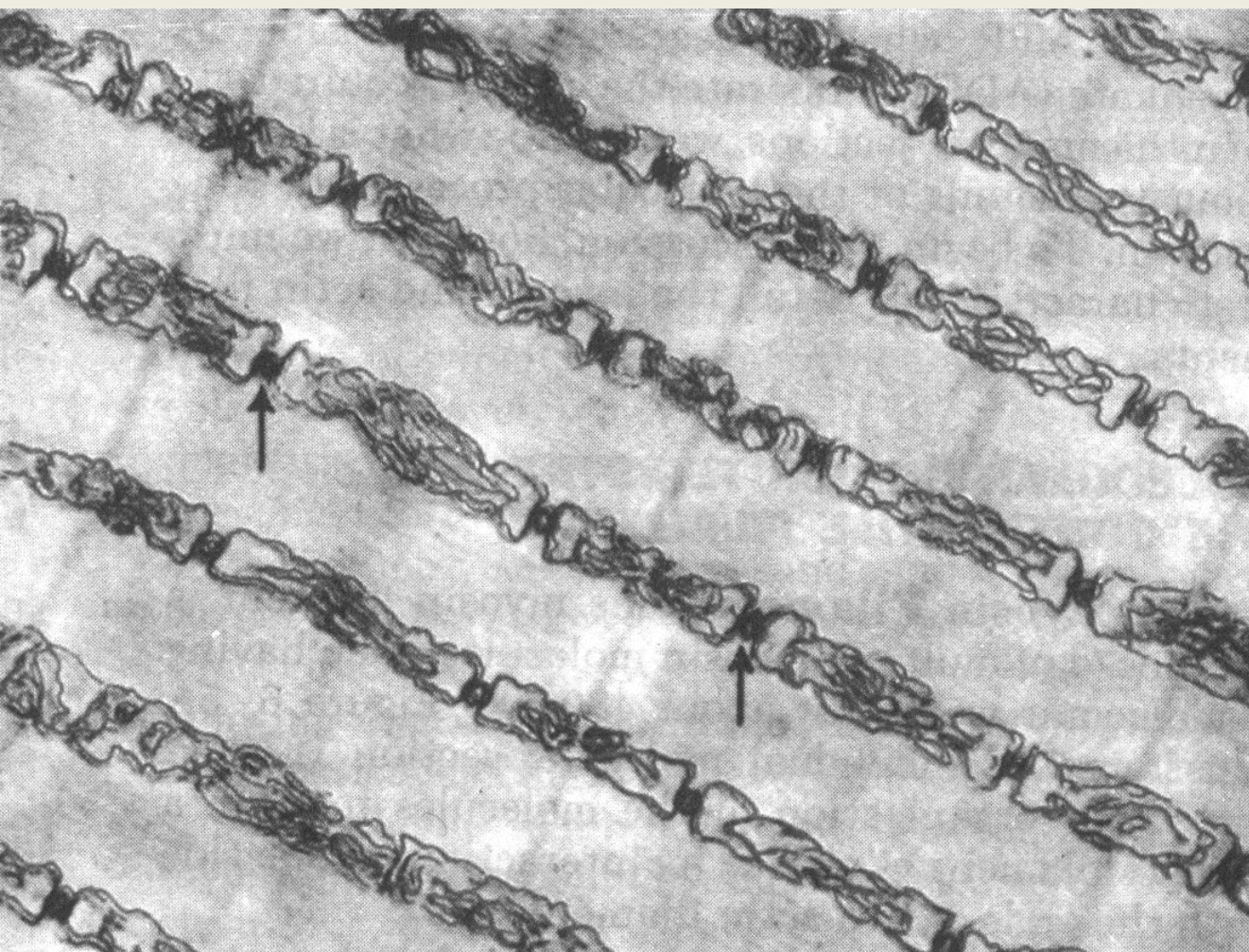
- 1. Содержат большее, чем медленные волокна, миоглобина.**
- 2. Обладают большей скоростью и силой сокращения.**
- 3. Содержат мало капилляров.**
- 4. Содержат мало жиров.**

4. Структура мышечного волокна.

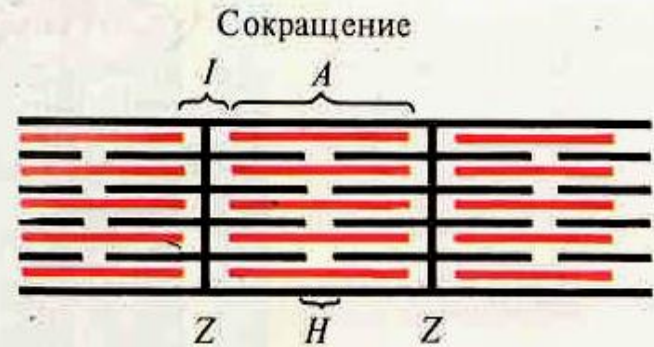
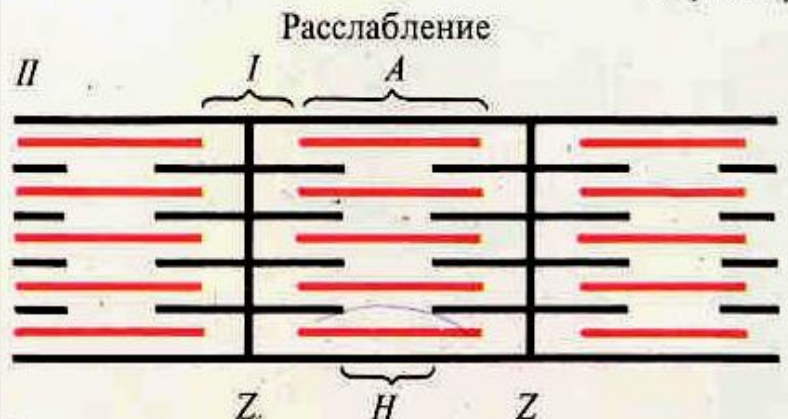
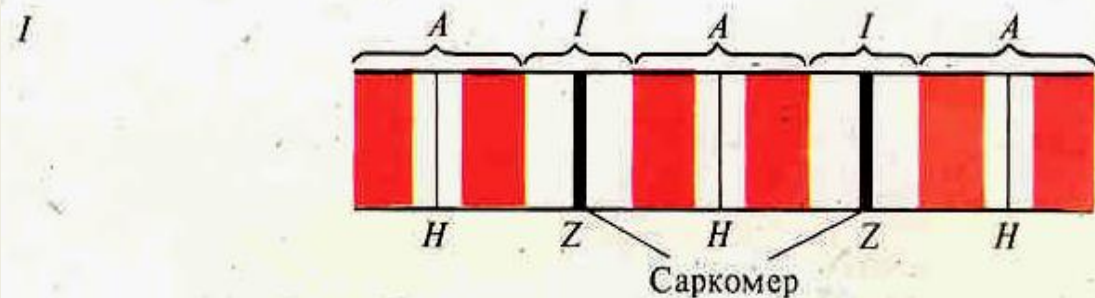
Теория сокращения мышц (скольжение нитей). Расслабление и утомление мышц.

**Тренировка. Гипертрофия и атрофия
мышц.**

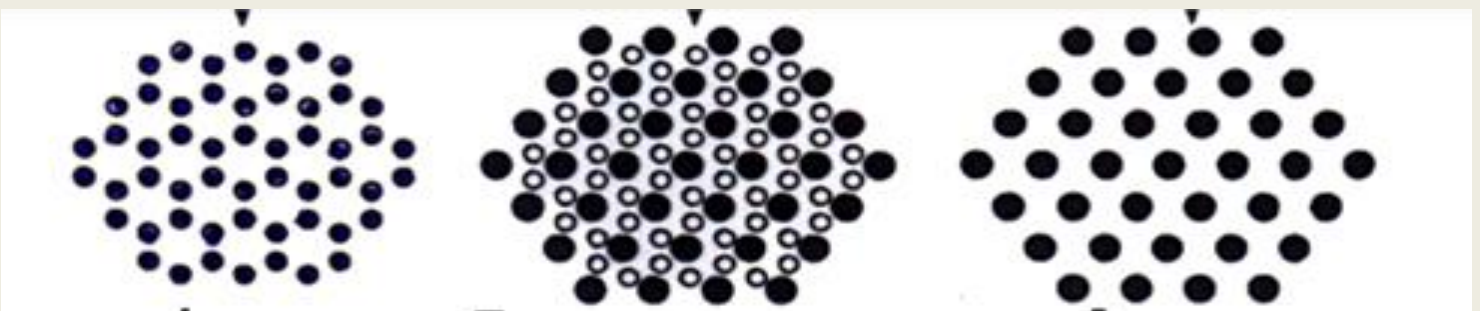
Электронная микрофотография саркоплазматического ретикулума



**Стрелками
показано
поперечное
сечение
Т-трубочек**



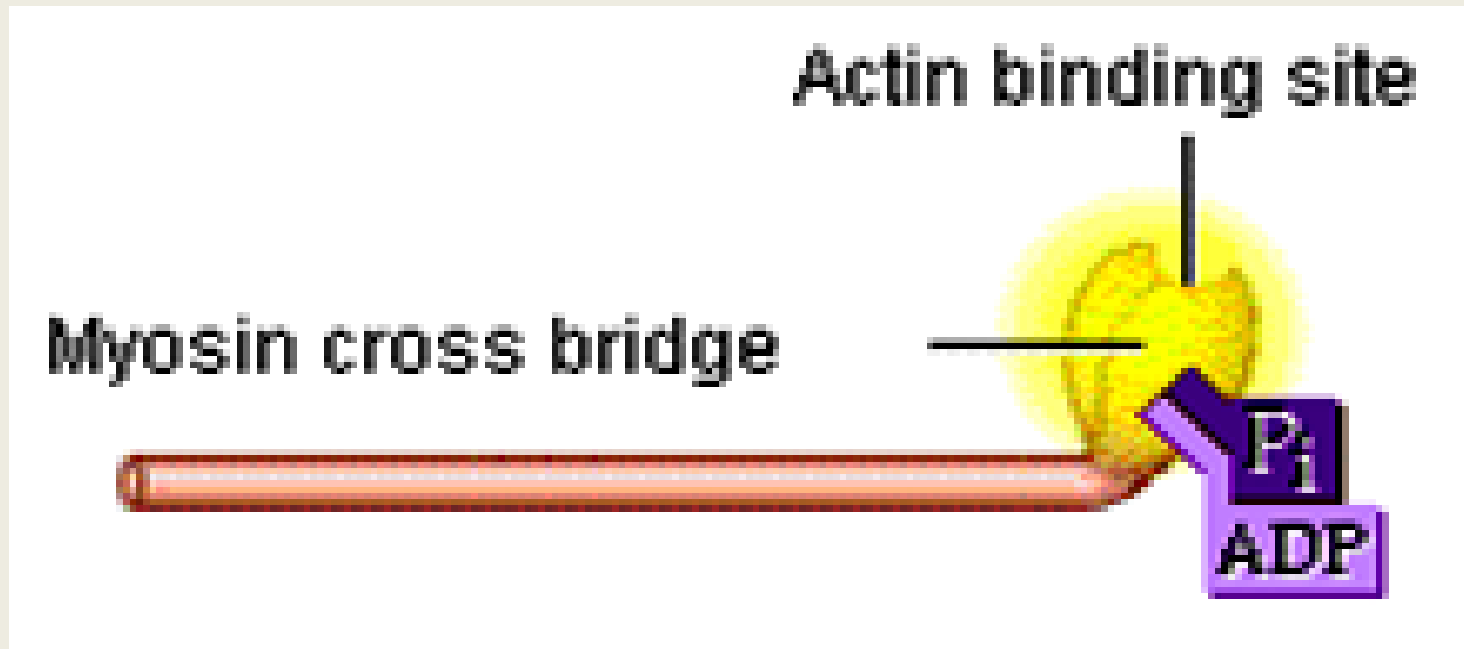
1



Строение миофибриллы

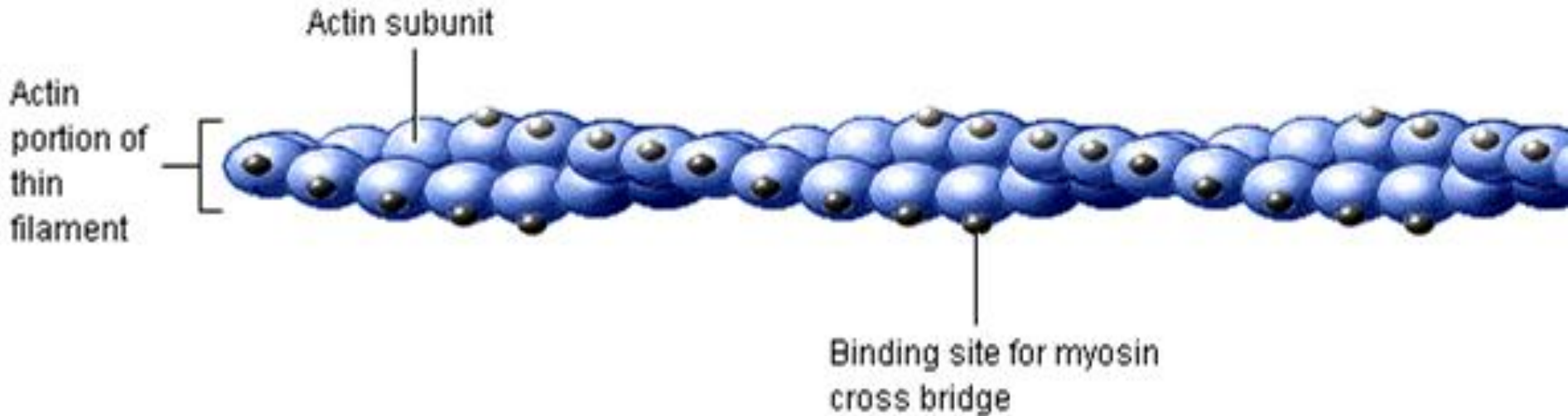
1. Сократительные белки:

Миозин – образован из тяжелых и легких цепей (по мол.массе), которые образуют хвост и 2 головки. Каждый толстый филамент имеет 500 головок. На каждой головке имеется 2 участка связывания – один для актина, другой – для АТФ. Сайт связывания АТФ обладает АТФ-азной активностью для гидролиза АТФ

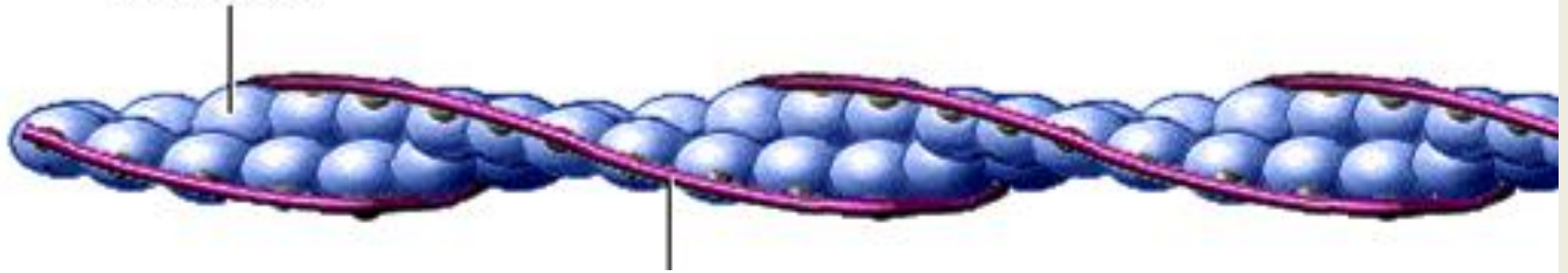


1. Сократительные белки:

- **АКТИН** — две спирально скрученные нити фибриллярного актина (F-актин), образованные из глобулярного актина (G-актин)

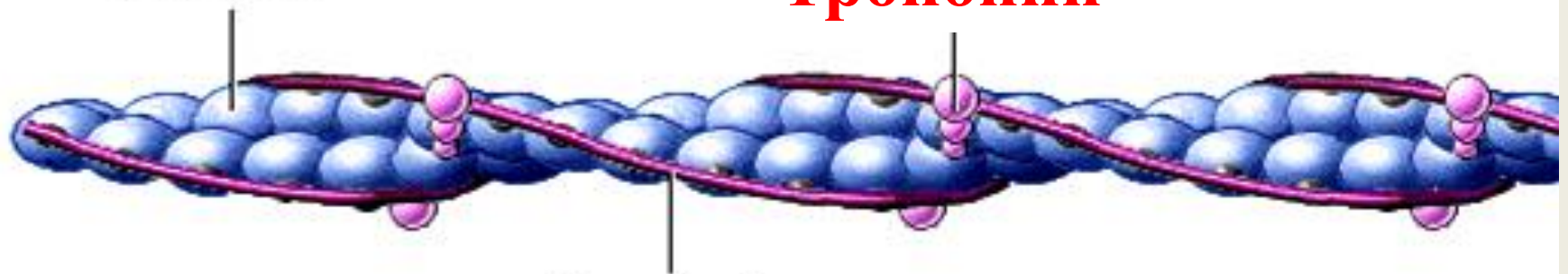


Actin subunit



Тропомиозин

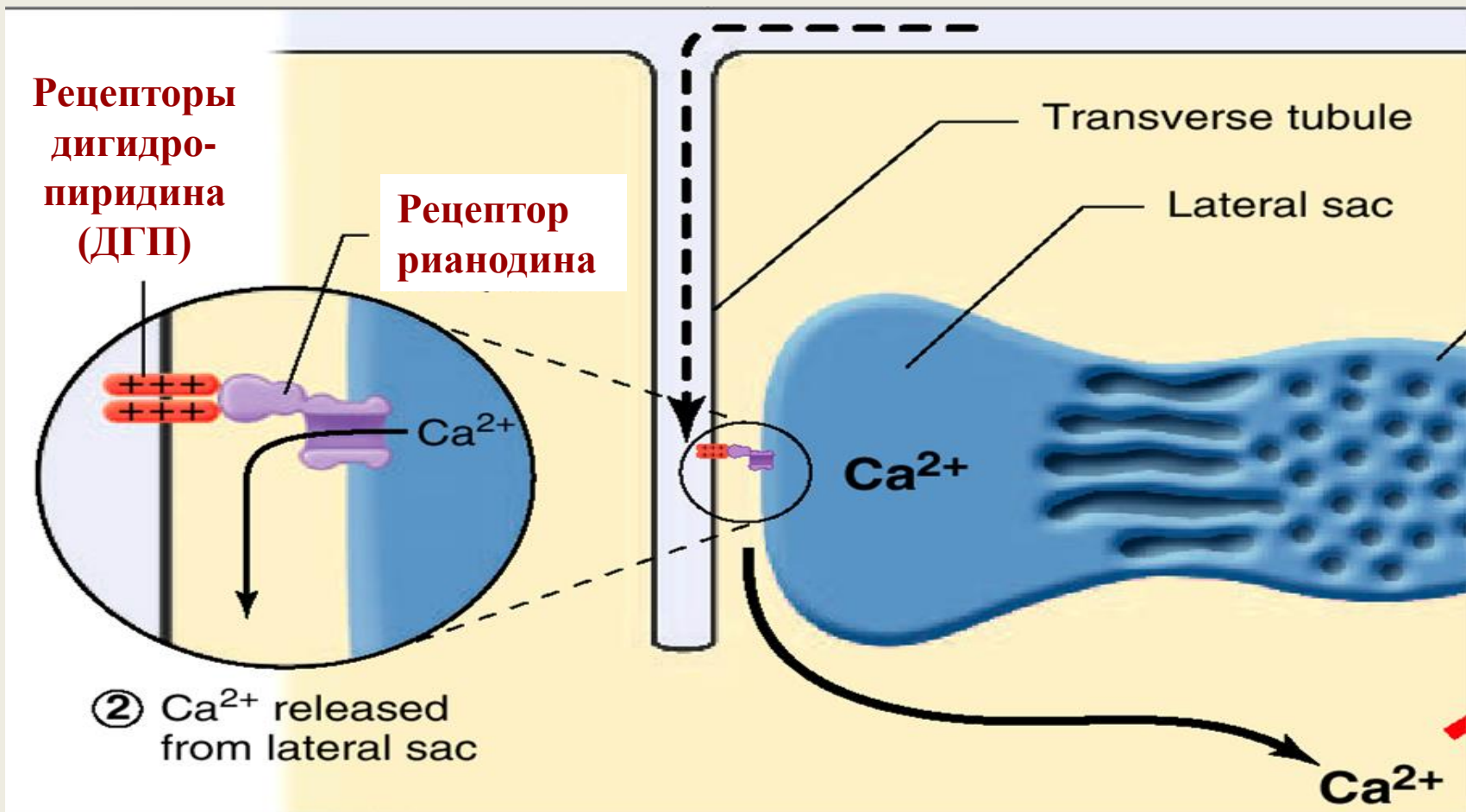
Actin subunit



Тропонин

Tropomyosin

Теория мышечного сокращения

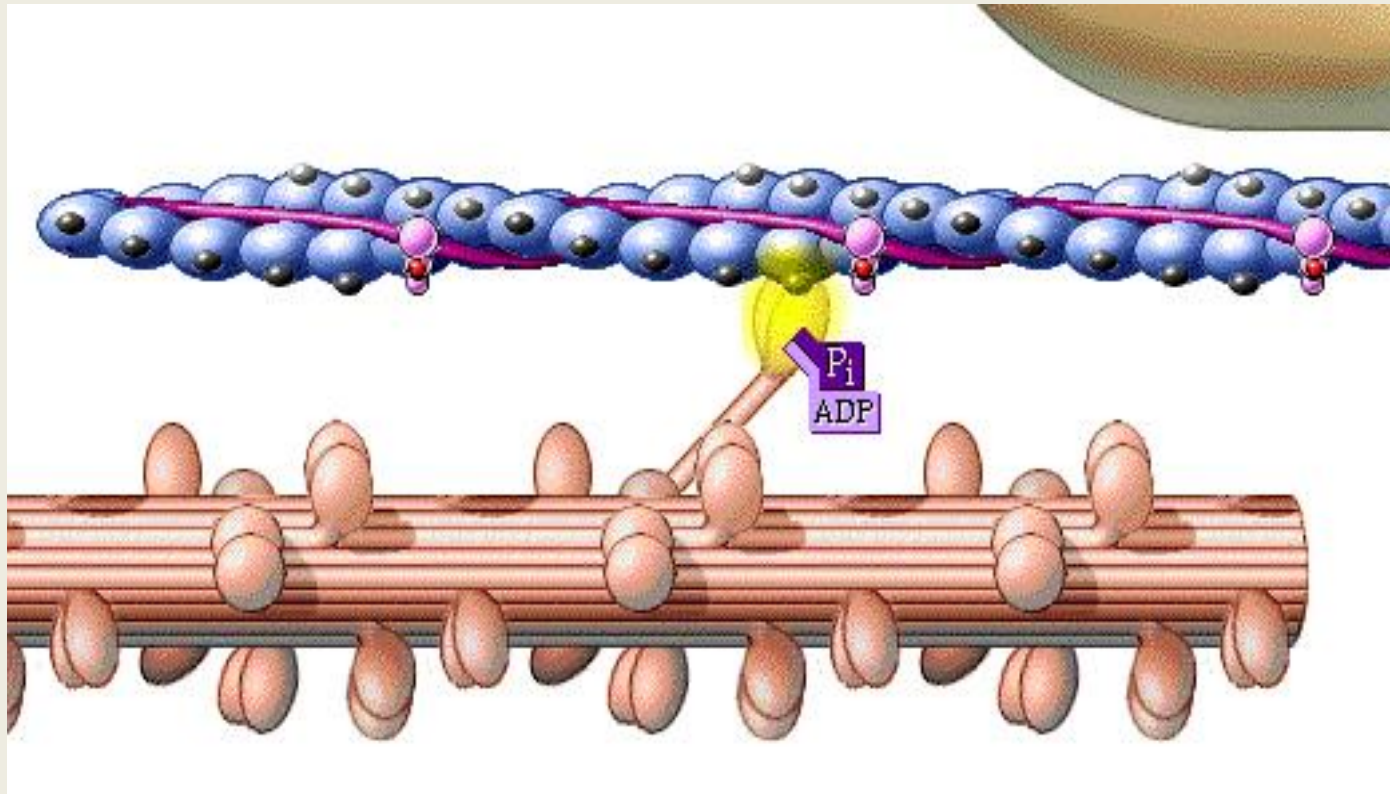


Одиночный цикл образования поперечных мостиков

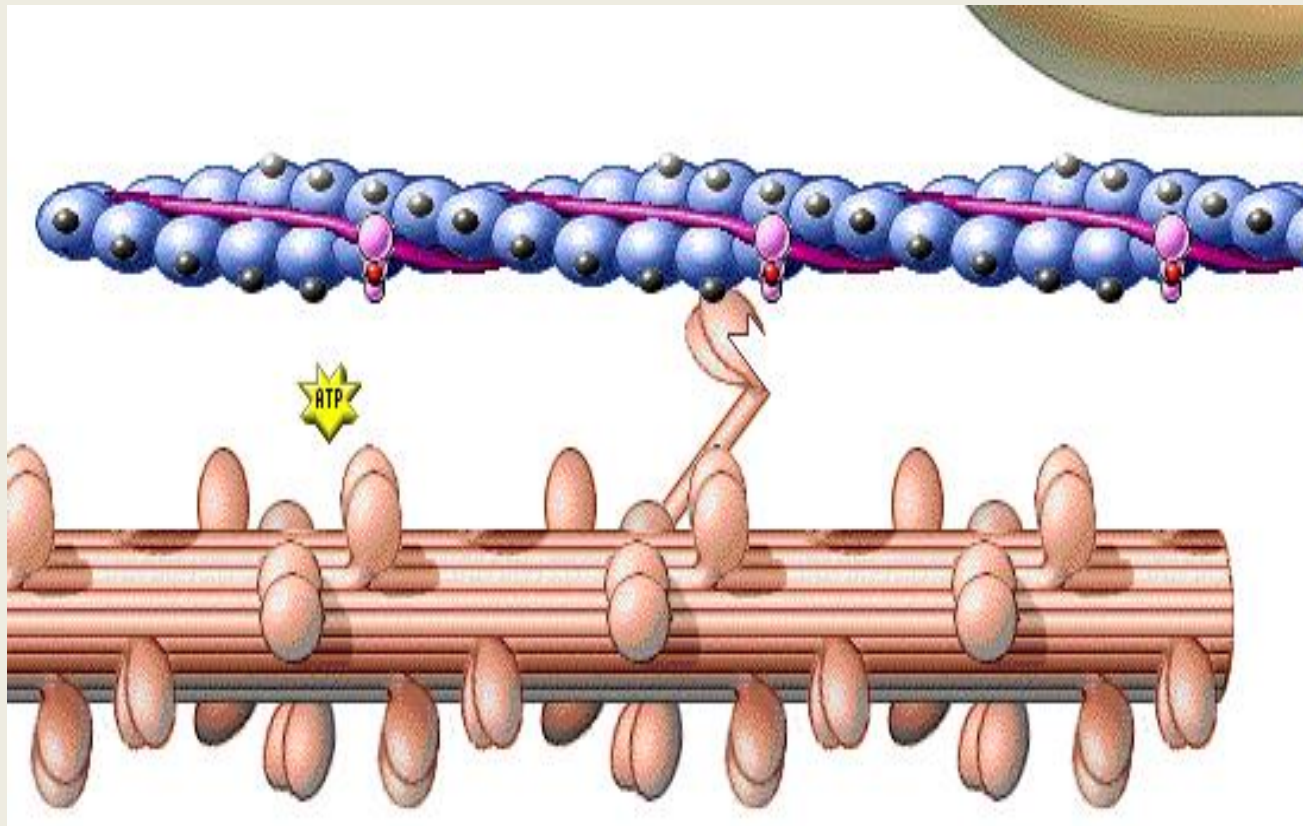
1. **Выход ионов Са** из саркоплазматического ретикулума (СПР), связывание с С-субъединицей тропонина, смещение тропонина на актиновой нити, освобождение актиновых центров актина для связывания с миозином.



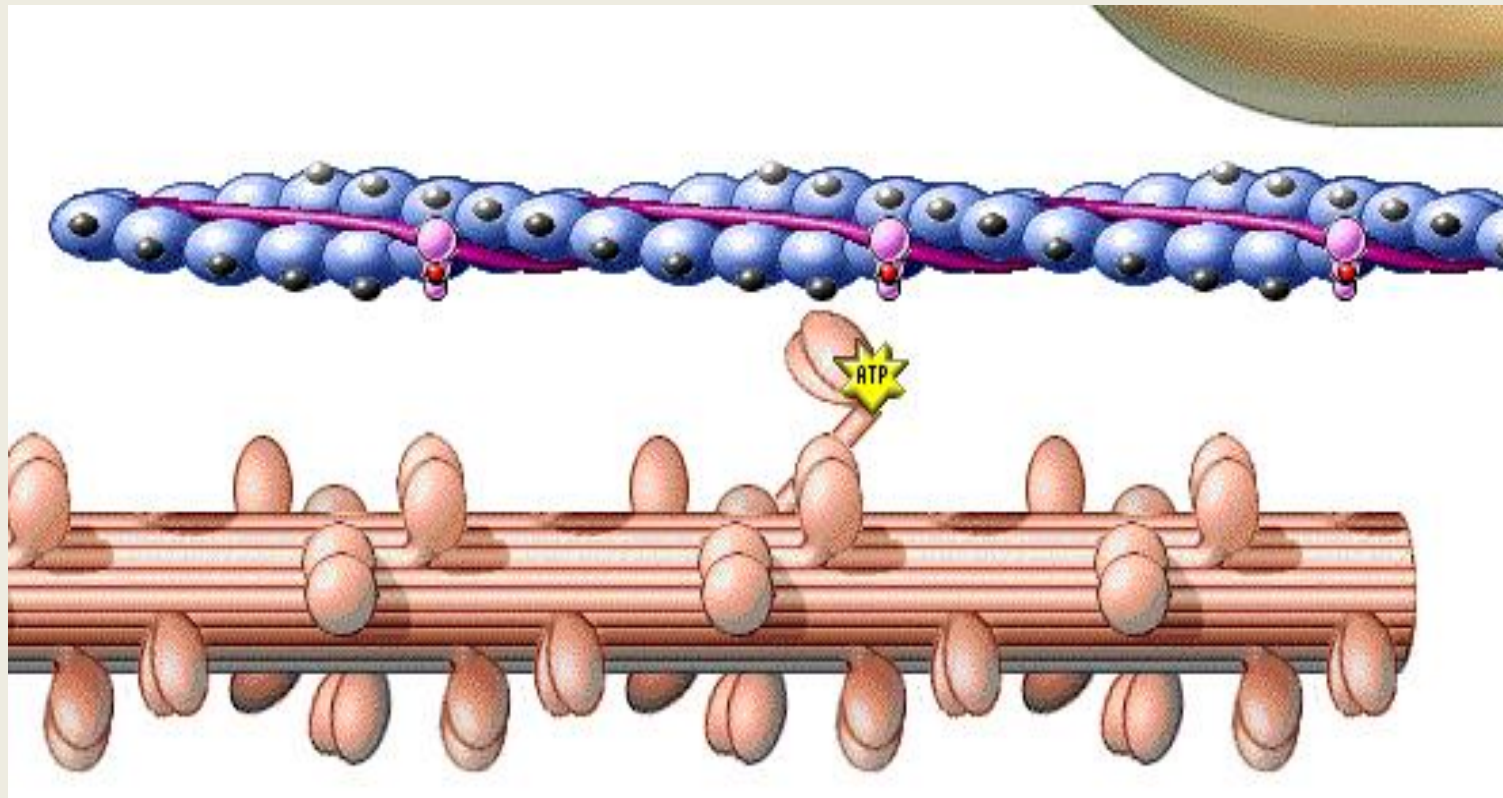
2. Связывание головок миозина с актином — образование **поперечных мостиков** (головка миозина энергизирована: АТФ расщеплена, но АДФ и фосфат не отсоединились).



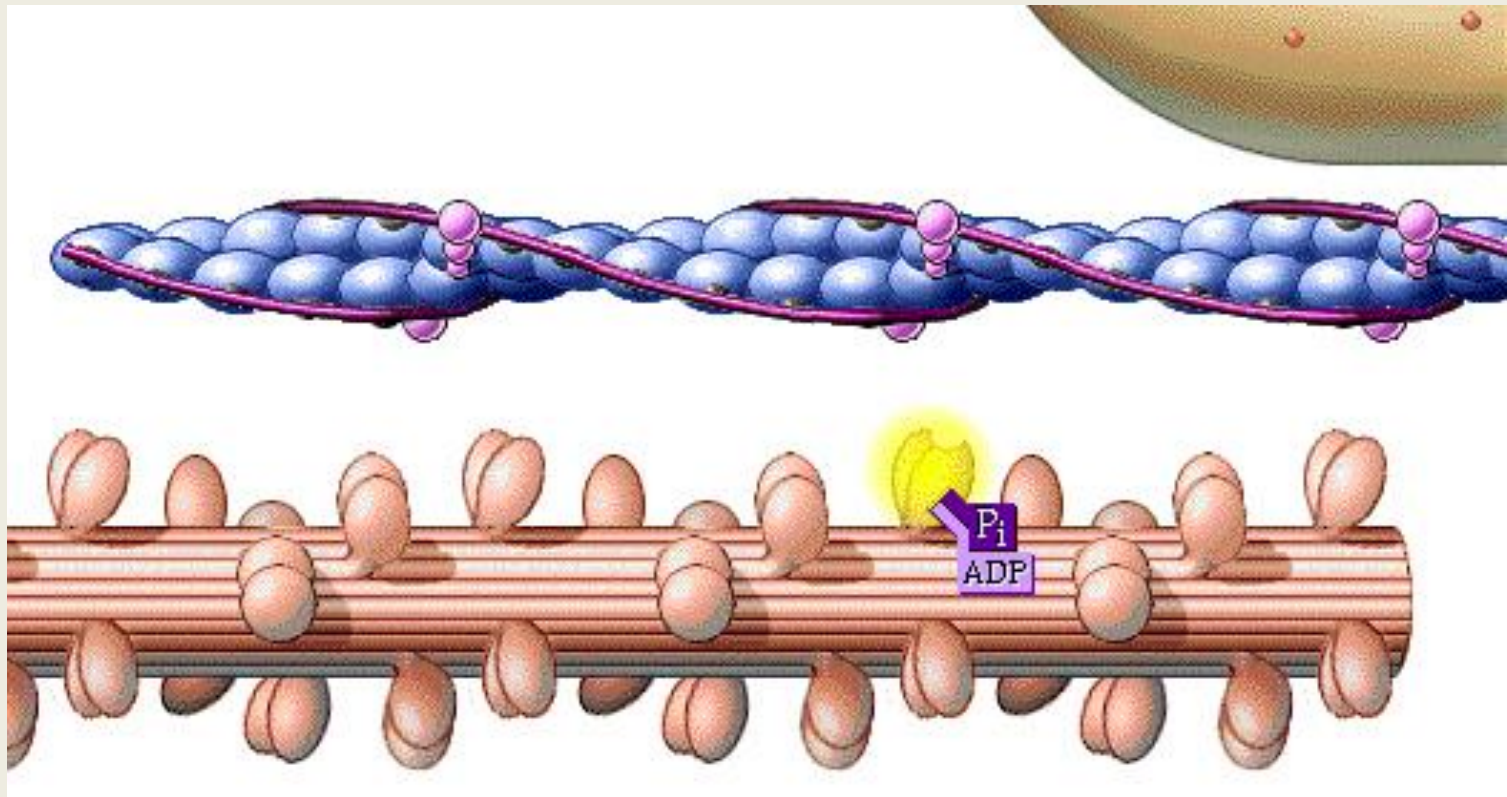
3. Завершение гидролиза АТФ (АДФ и фосфат отсоединяются), **поворот головки** миозина, **скольжение нитей** актина, укорочение саркомера.



4. Присоединение **новой молекулы АТФ**,
разъединение мостиков между актином и
МИОЗИНОМ.



5. **Энергизация головки миозина** — частичный гидролиз АТФ (АДФ и фосфат не отделяются), восстановление исходной конформации головки миозана.

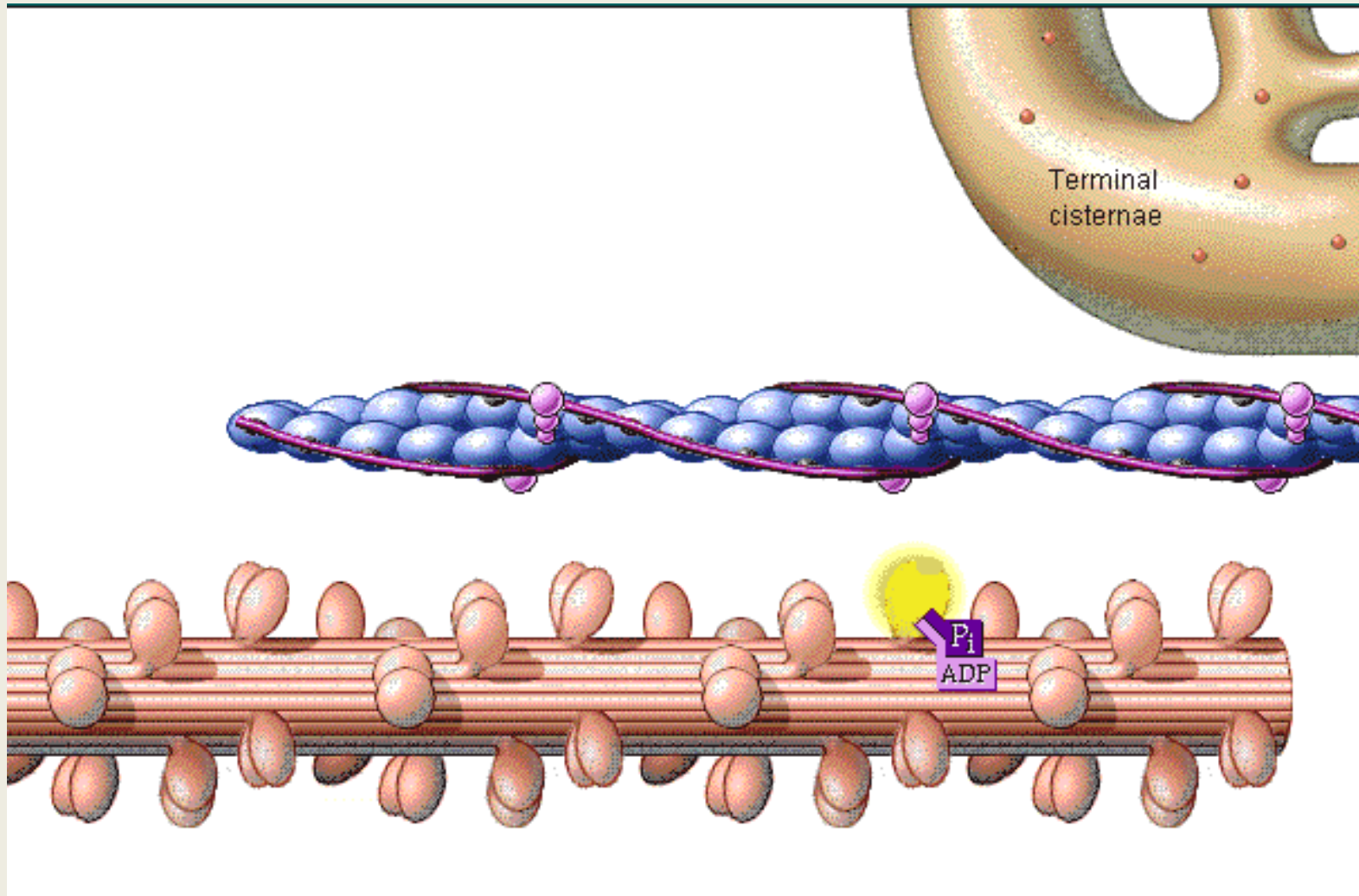


6. **Откачивание ионов Са** назад в СПР. Кальций в саркоплазме активирует Са-АТФ-азу, кальциевый насос осуществляет активный перенос этого иона в СПР.

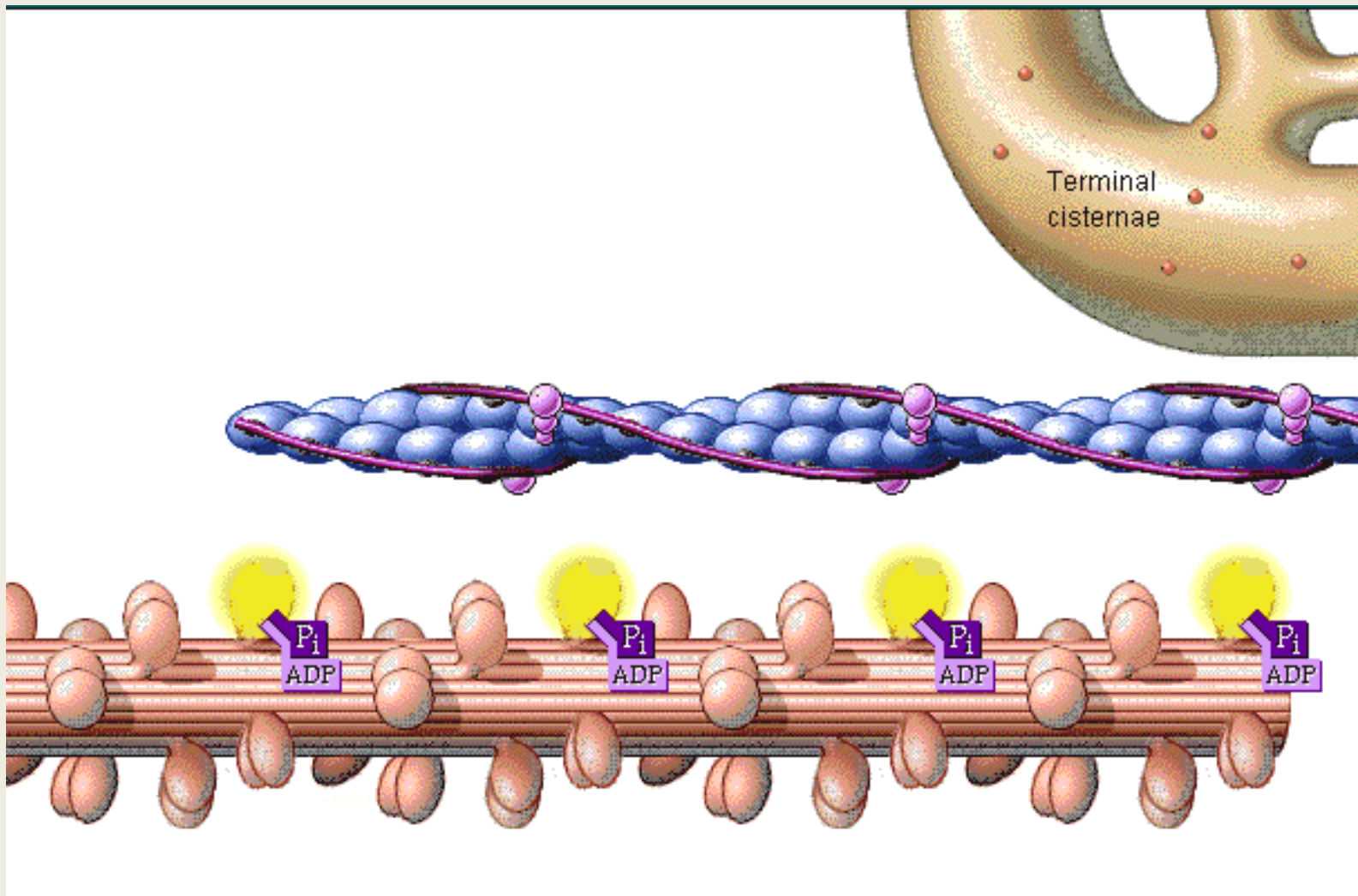
Затраты АТФ. Энергия АТФ расходуется на:

- **образование поперечных мостиков,** осуществляющих продольное скольжение актиновых филаментов (основная часть энергии гидролиза АТФ);
- **Са²⁺-насос:** выкачивание Са²⁺ из саркоплазмы в саркоплазматический ретикулум после окончания сокращения;
- **Na⁺/K⁺-насос:** перемещение ионов натрия и калия через мембрану МВ для обеспечения соответствующего ионного состава вне- и внутриклеточной среды.

Энергетические потребности. Мышечное сокращение требует значительных энергетических затрат. Основной источник энергии — гидролиз макроэрга АТФ. В митохондриях в процессе цикла трикарбоновых кислот и окислительного фосфорилирования генерируется АТФ. **Гликоген** запасается в саркоплазме в виде включений. Анаэробный гликолиз сопряжён с синтезом АТФ. Креатинфосфокиназа, связанная в области М-линии, катализирует перенос фосфата от **фосфокреатина** на АДФ с образованием креатина и АТФ. **Миоглобин**, как и Нb, обратимо связывает кислород. Запасы кислорода необходимы для синтеза АТФ при длительной непрерывной работе мышцы. На один рабочий цикл затрачивается 1 молекула АТФ. В МВ концентрация АТФ равна 4 ммоль/л. Такого запаса энергии достаточно для поддержания сокращения не более 1–2 сек.



Terminal cisternae

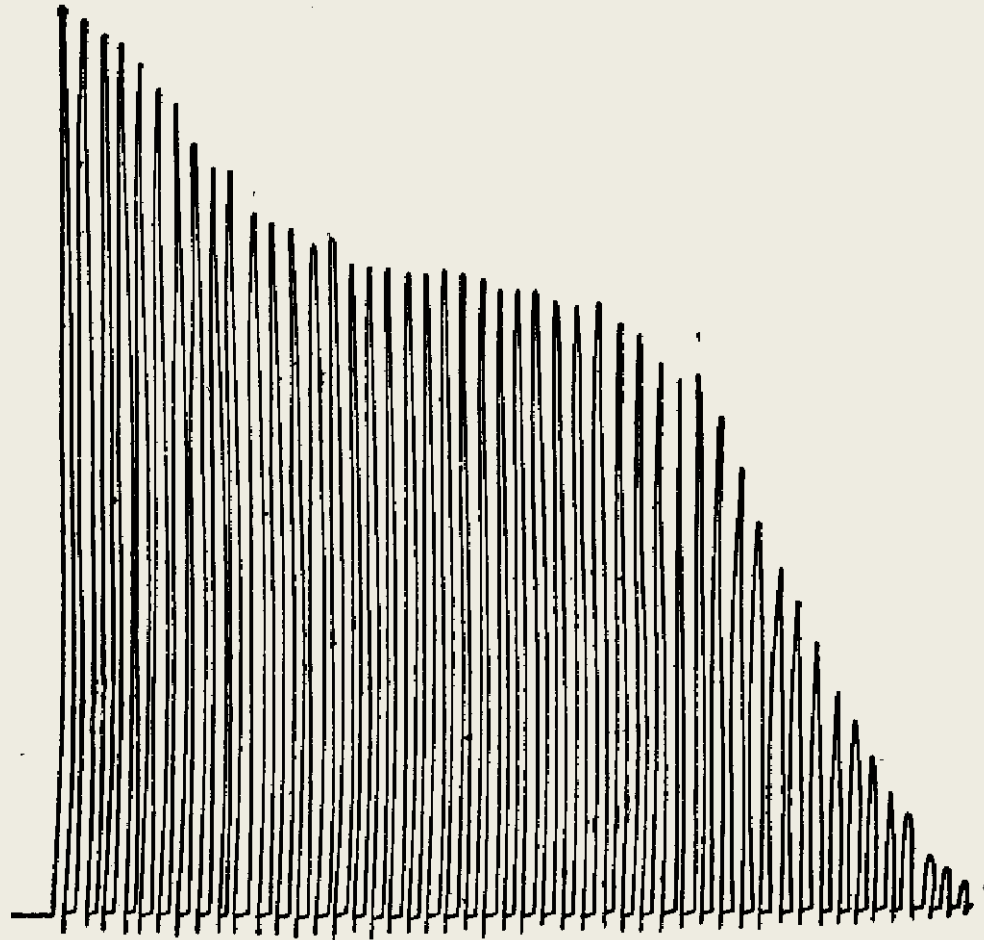


Утомление — временное снижение работоспособности, наступающее в процессе выполнения мышечной работы и исчезающее после отдыха.

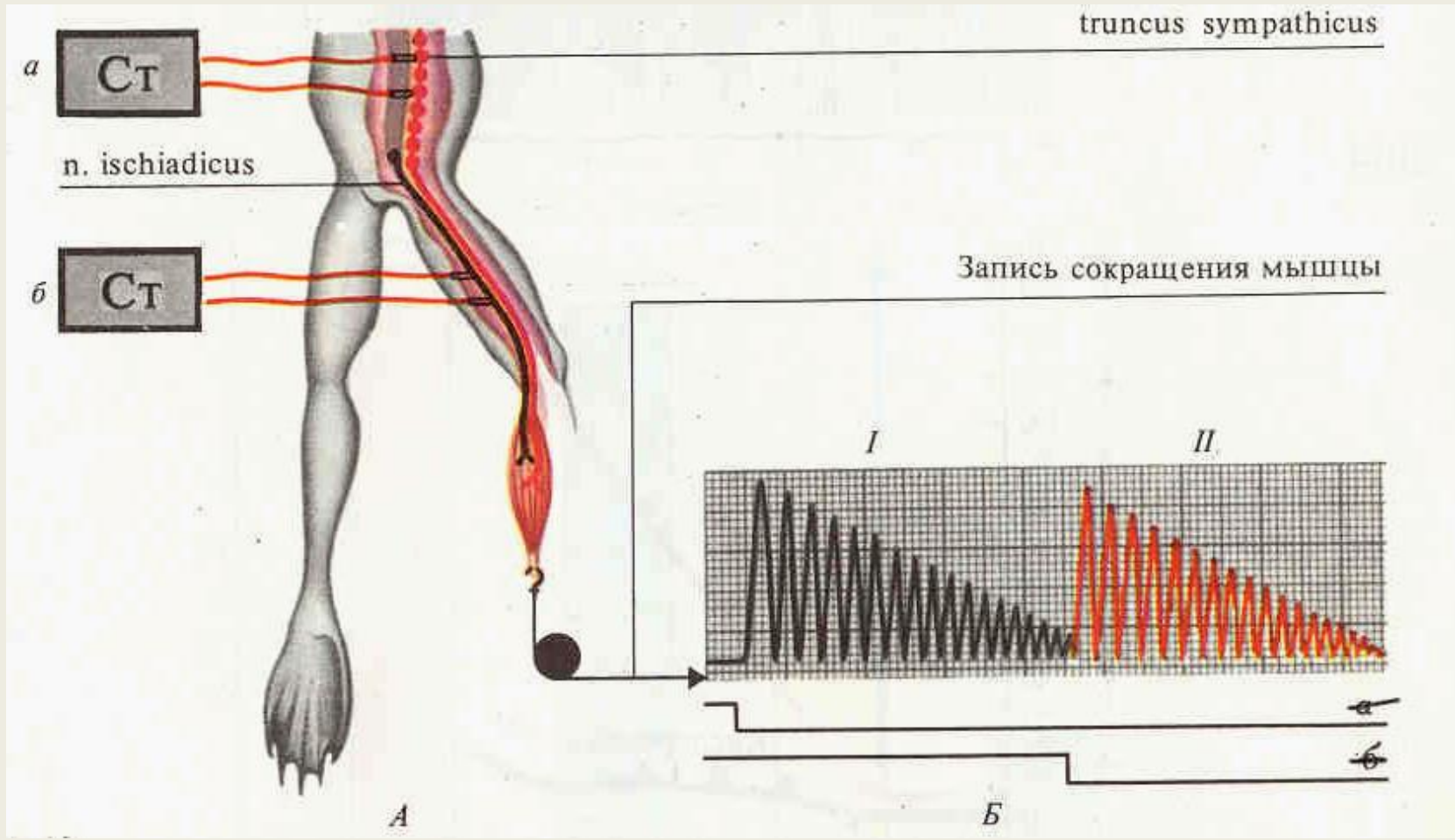
Причины утомления:

1. Накопление продуктов обмена (молочная кислота) в мышцах, что ведет к угнетению генерации потенциала действия.
2. Кислородное голодание, т.е. к мышце не успевают доставляться кислород.
3. Истощение энергии.
4. Центральная-нервная теория утомления. По этой теории утомление нервных клеток наступает быстрее, чем мышц.
5. Утомление синапсов, через которые импульсы передаются к мышцам.

Кривая утомления мышцы



Феномен Орбели-Гинецинского



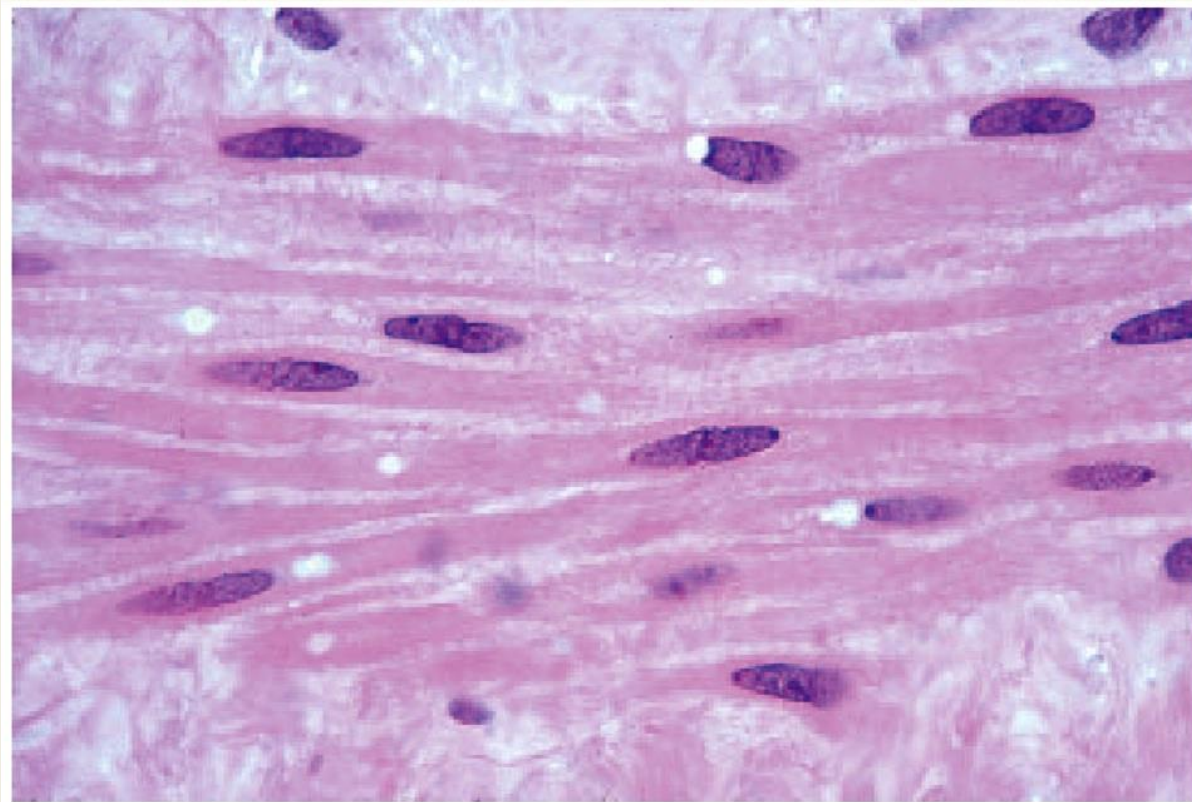
Виды гипертрофии:

1. Миофибриллярный тип.

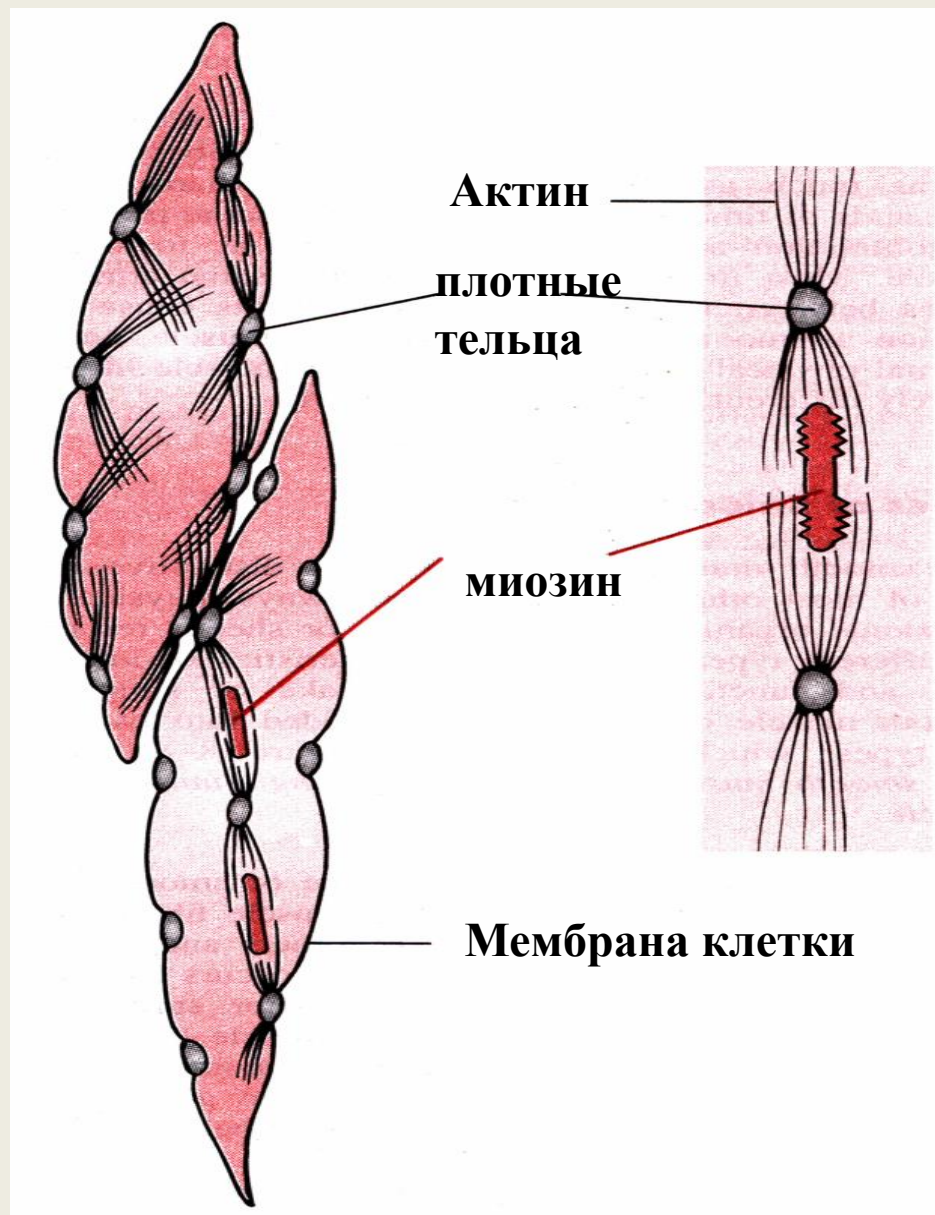
2. Саркоплазматический тип

5. Физиологические особенности гладких мышц.

Строение гладкой мышцы.



Особенности электронномикроскопического строения гладкомышечных клеток



Гладкая мышца играет важную роль в регуляции:

- просвета воздухоносных путей,
- тонуса кровеносных сосудов,
- двигательной активности ЖКТ,
- матки и др.

Классификация гладких мышц:

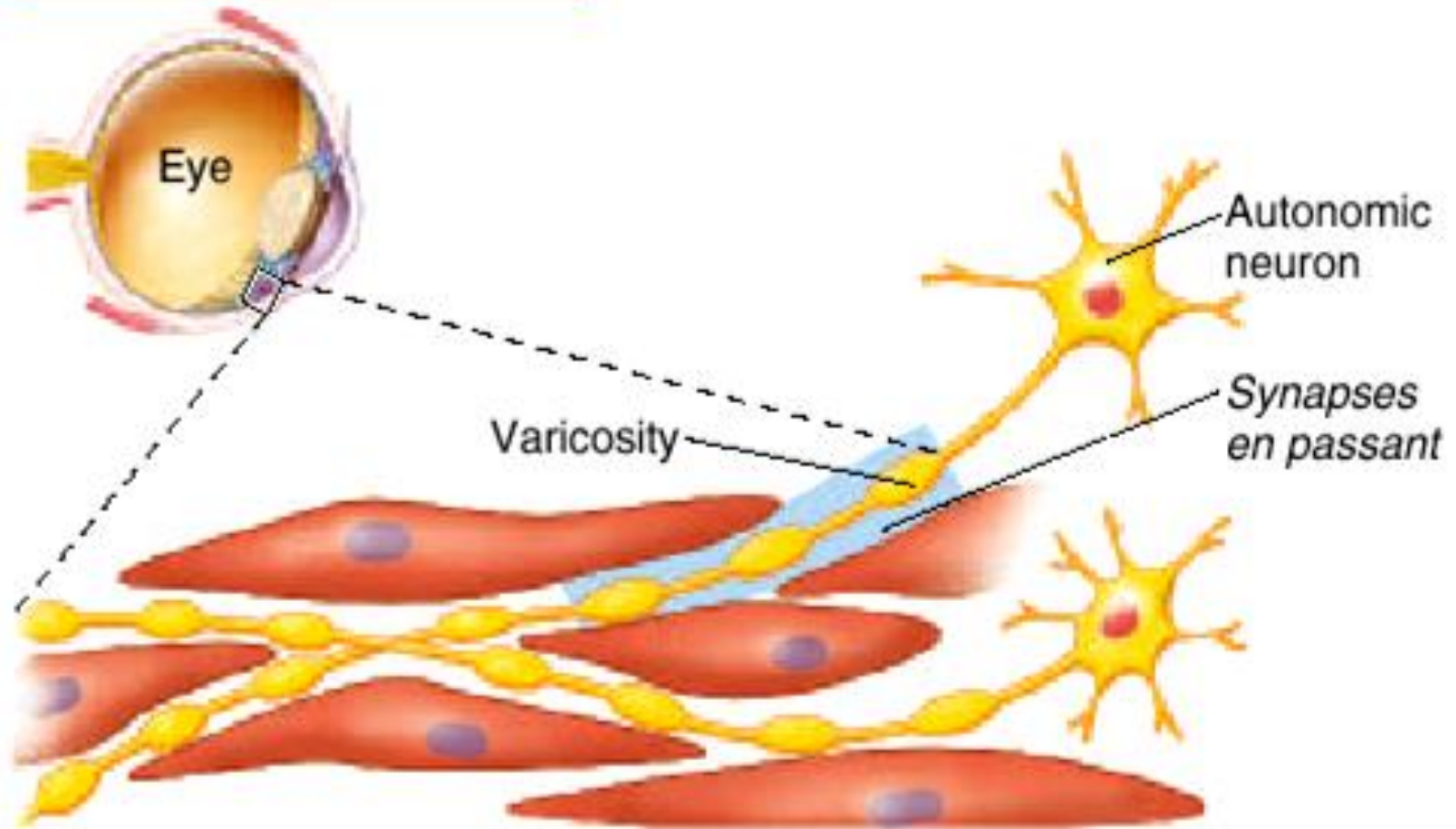
- **Мультиунитарные**, входят в состав цилиарной мышцы, мышц радужки глаза, мышцы поднимающей волос.
- **Унитарные (висцеральная)**, находятся во всех внутренних органах, протоках пищеварительных желез, кровеносных и лимфатических сосудах, коже.

Мультиунитарная гладкая мышца.

- состоит из отдельных гладкомышечных клеток, каждая из которых, находится независимо друг от друга;
- имеет большую плотность иннервации;
- как и поперечнополосатые мышечные волокна, снаружи покрыты веществом, напоминающим базальную мембрану, в состав которого входят, изолирующие клетки друг от друга, коллагеновые и гликопротеиновые волокна;
- каждая мышечная клетка может сокращаться отдельно и ее активность регулируется нервными импульсами;

Мультиунитарная гладкая мышца

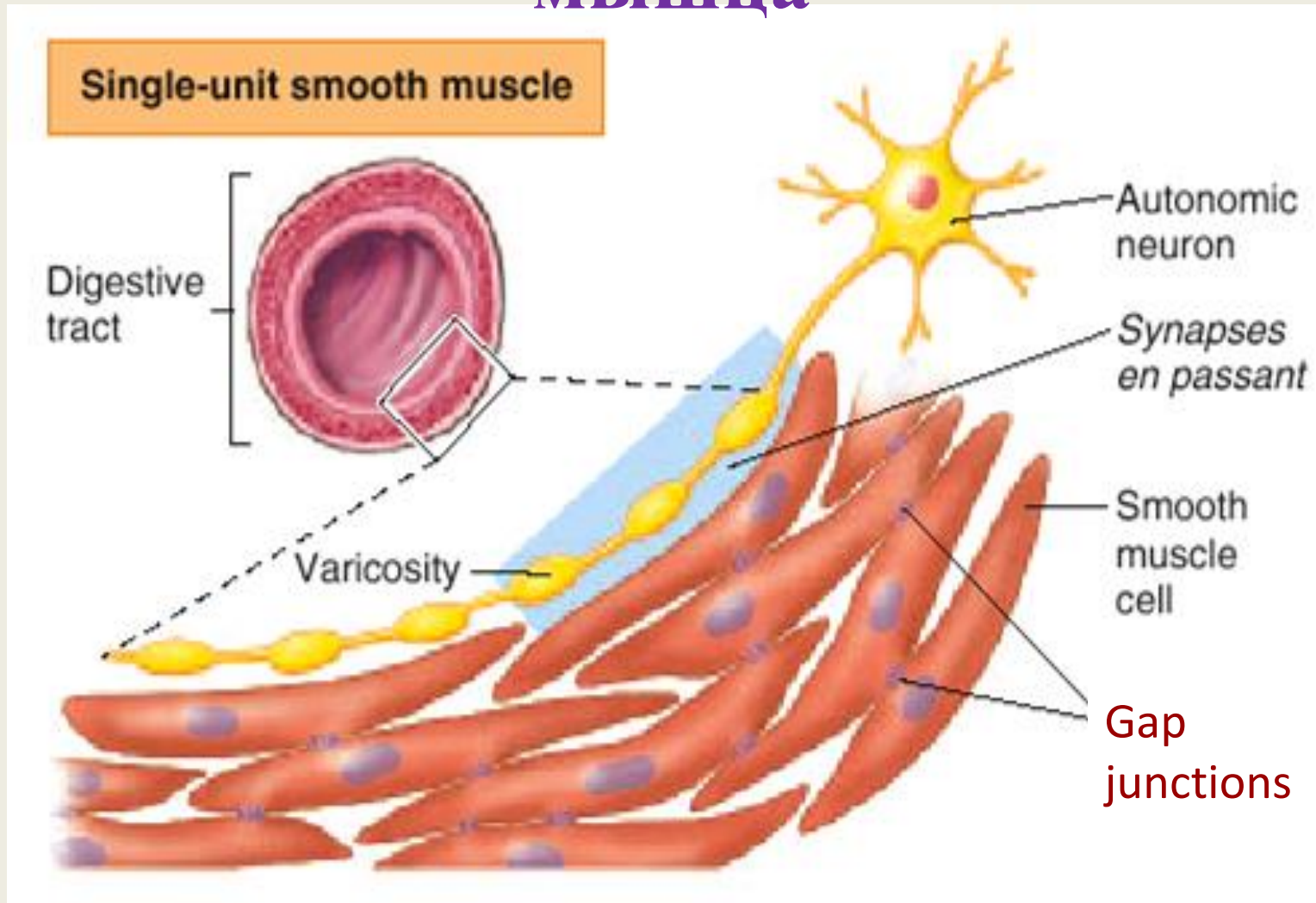
Multiunit smooth muscle



Унитарная гладкая мышца (висцеральная).

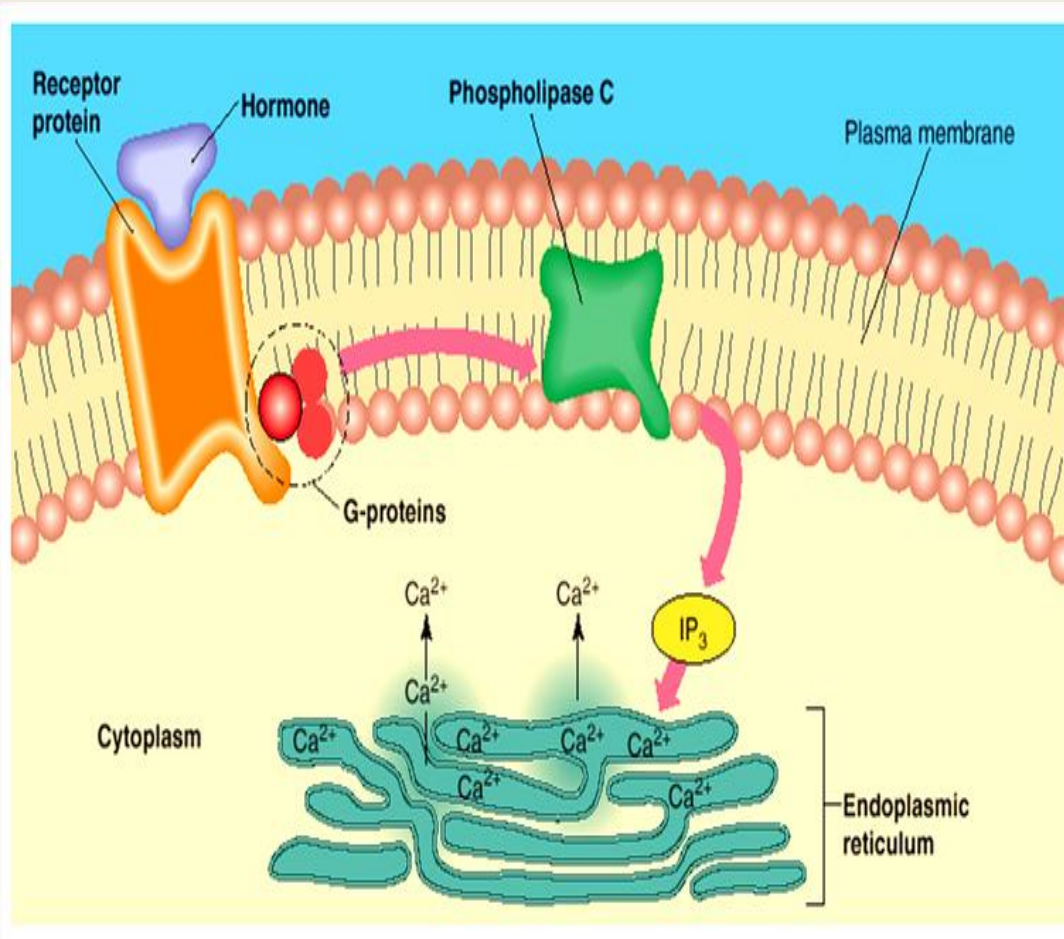
- представляет собой пласт или пучок, а сарколеммы отдельных миоцитов имеют множественные точки соприкосновения.
- мембраны рядом расположенных клеток образуют множественные плотные контакты (gap junctions), через которые ионы имеют возможность свободно передвигаться из одной клетки в другую
- потенциал действия, возникающий на мембране гладкомышечной клетки, и ионные потоки могут распространяться по мышечному волокну, обеспечивая возможность одновременного сокращения большого количества отдельных клеток. Данный тип взаимодействия известен как **функциональный синцитий**.

Унитарная (висцеральная) гладкая мышца



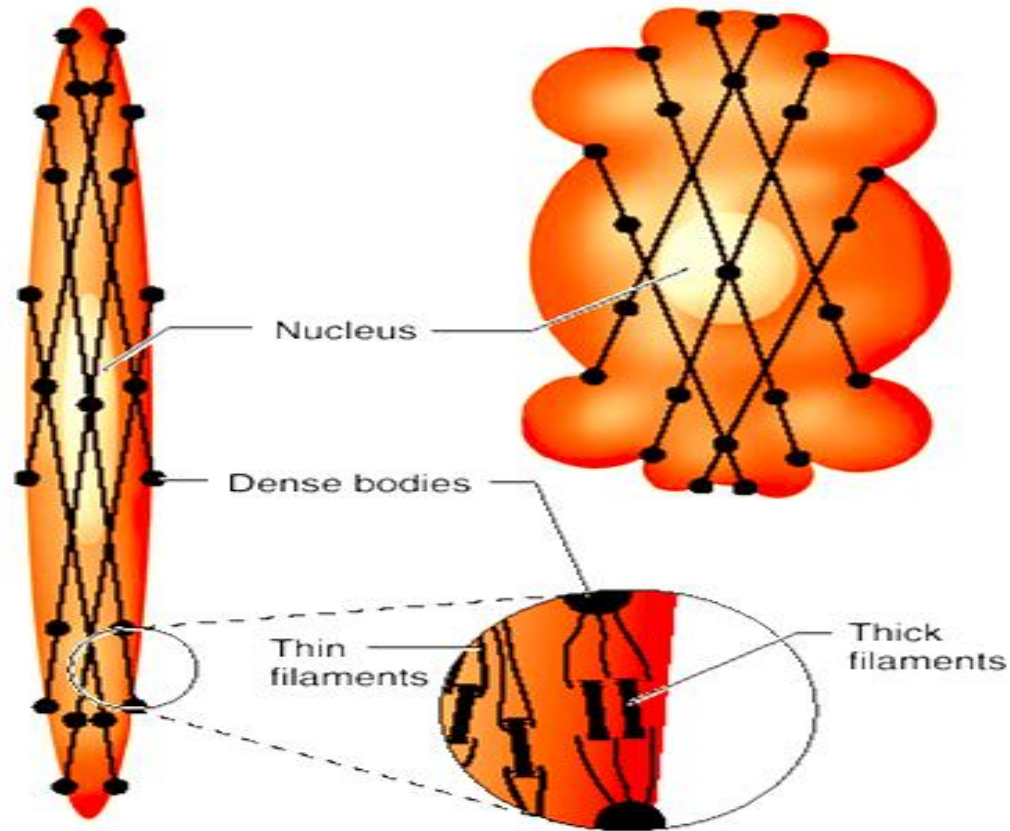
Сокращение гладкой мышцы

Агонист (адреналин, норадреналин, ангиотензин, вазопрессин) через свой рецептор активирует G-белок (Gp), который в свою очередь активирует **фосфолипазу C**. Фосфолипаза C катализирует образование инозитолтрифосфата (**ИТФ**). Инозитолтрифосфат стимулирует высвобождение Ca^{2+} из кальциевых депо. Ca^{2+} связывается с **кальмодулином**, активирующим **киназу** миозина, которая фосфорилирует легкую цепь миозина. Это приводит к гидролизу АТФ и запускает цикл образования поперечных мостиков.



Relaxed

Contracted



Расслабление.

При уменьшении содержания Ca^{2+} в миоплазме (постоянное откачивание Ca^{2+} в депо кальция) происходит дефосфорилирование лёгкой цепи миозина при помощи **фосфатазы** лёгких цепей миозина. Дефосфорилированный миозин теряет сродство к актину, что предотвращает образование поперечных мостиков. Расслабление ГМК заканчивается разборкой миозиновых нитей.

**Стресс-релаксация
(пластичность) гладкой мышцы.**

Важной особенностью висцеральной гладкой мышцы многих полых органов является ее способность изменять напряжение без закономерной связи с ее длиной. Например, внезапное увеличение объема жидкости в полости мочевого пузыря, сопровождается растяжением гладкой мышцы его стенки, что обязательно приводит к увеличению внутрипузырного давления. Однако в последующие от 15 сек до нескольких минут, несмотря на постоянно действующую растягивающую силу внутрипузырное давление возвращается к почти исходному значению и сокращение не наступает. Такую способность сохранения при растяжении длину, без изменения напряжения называют **пластичностью ГМ**.

**Рост гладкой мышцы,
чувствительность к действию
физиологически активных
веществ**

Гладкие мышцы обладают высокой чувствительностью к различным физиологически активным веществам: адреналину, норадреналину, АХ, гистамину и др. находящимся в крови. Это обусловлено наличием специфических рецепторов мембраны ГМК. В отличие от них скелетные мышцы отвечают на действие веществ только через синапс.

Действие биологически активных веществ на гладкие мышцы находящиеся в различных органах не однозначно. Так, ацетилхолин возбуждает гладкие мышцы, которые находятся во внутренних органах, но тормозит в сосудах; адреналин способен расслаблять небеременную матку, но вызывает сокращение беременной.



**Спасибо за внимание!
До свидания**