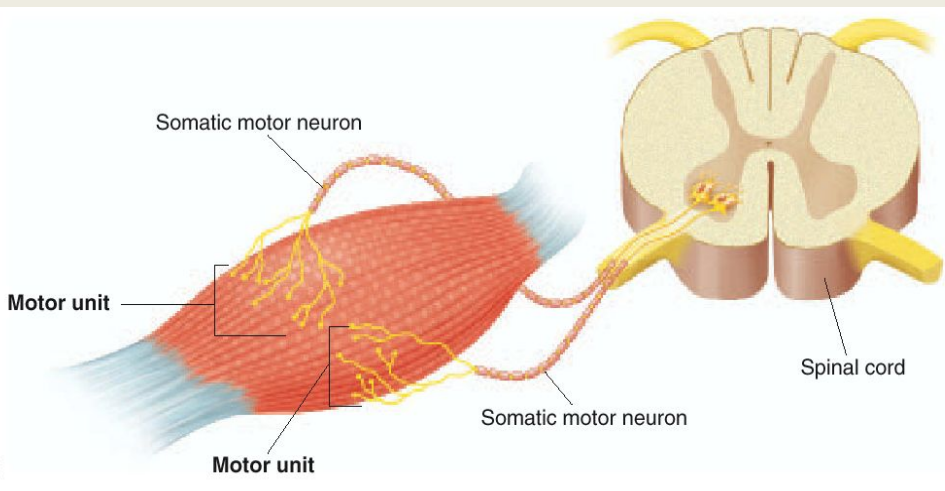


Гомельский государственный
медицинский университет
Кафедра нормальной физиологии

Физиология мышц

Старший преподаватель, к.б.н. Мельник С.Н.
Лекция для студентов 2 курса



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.

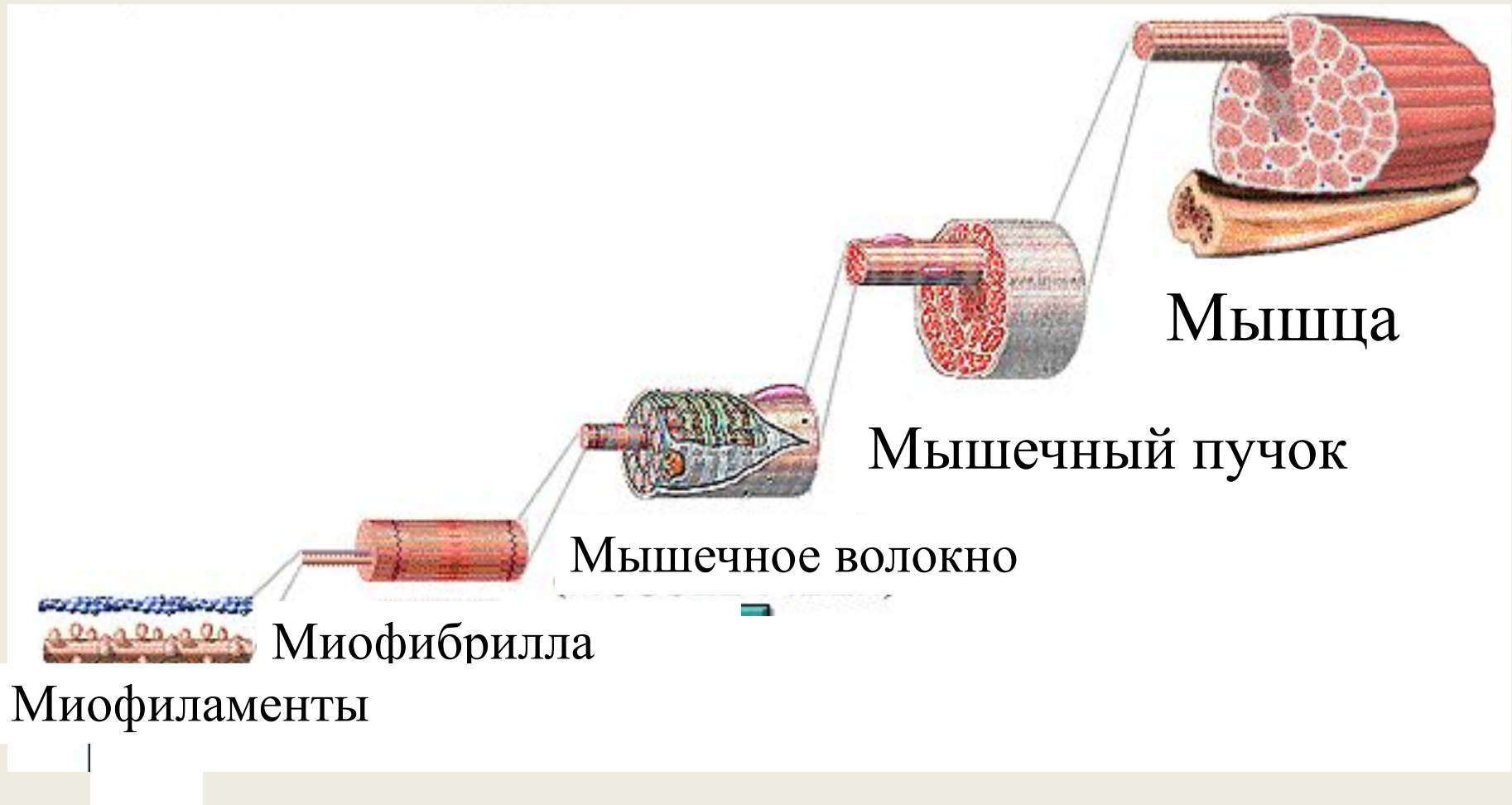
1. Классификация мышечных тканей, их физиологические свойства.

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:

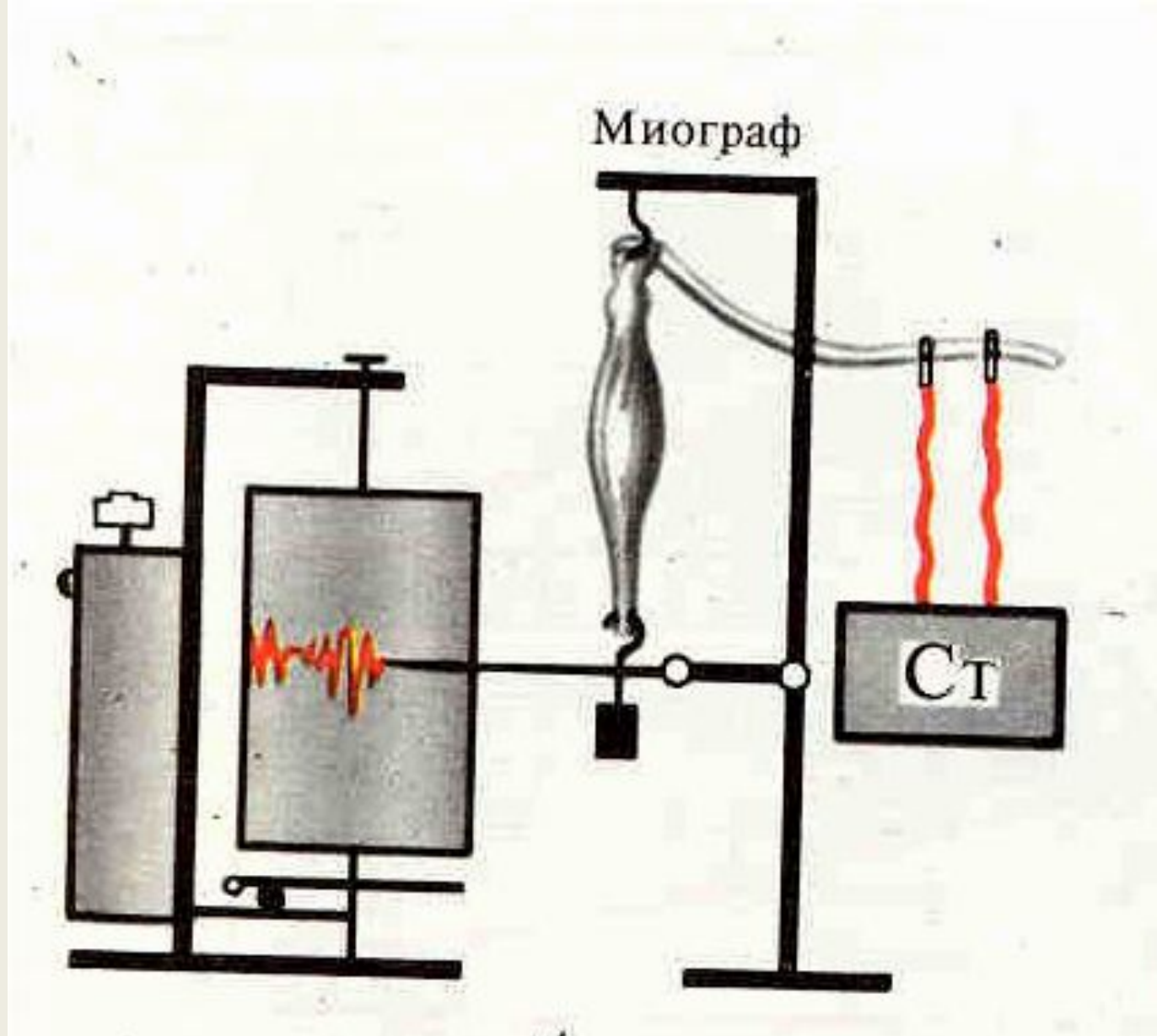
- быстрые**
- медленные мышечные волокна.**

Различия между ними заключаются в:

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

Все типы мышц обладают некоторыми 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.

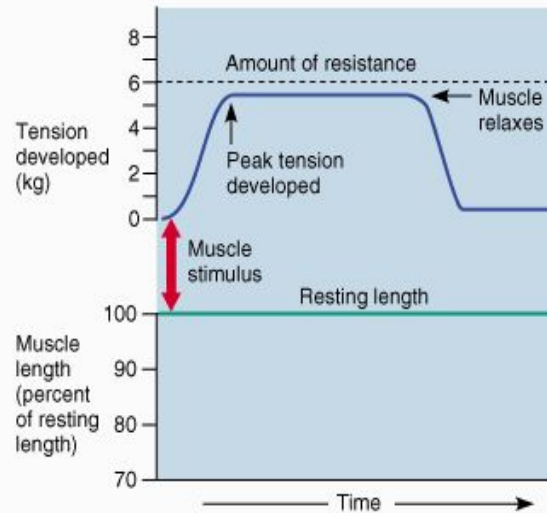
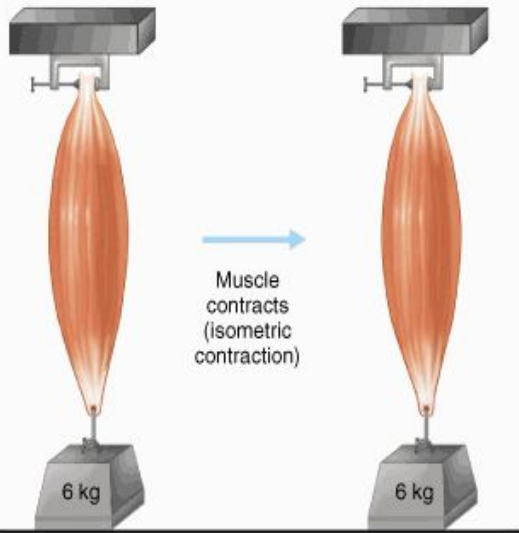
б) *Эксцентрический* тип. Если нагрузка на мышцу больше, чем ее напряжение, то мышца растягивается. Например, при опускании тяжелого предмета.

2. Статическая форма

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

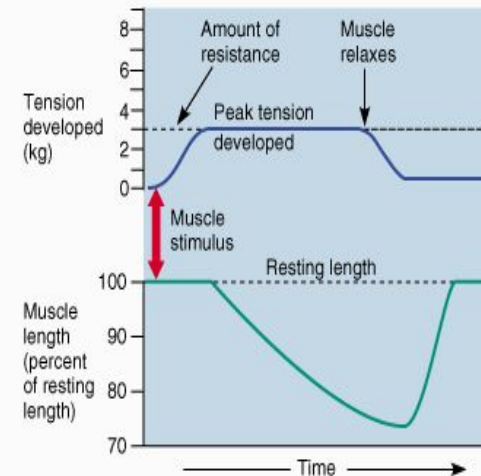
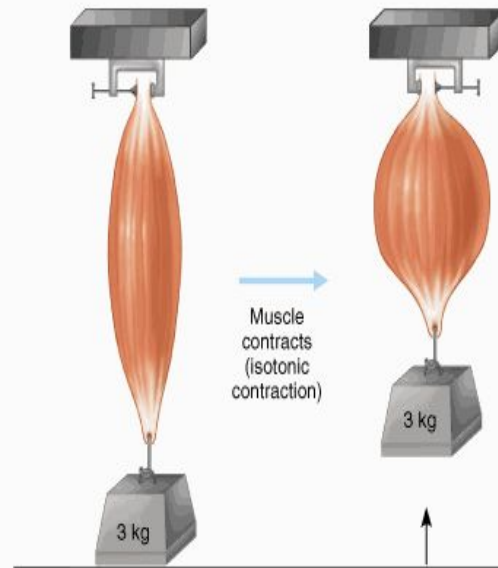
3. Смешанная

Изометрическое и изотоническое сокращения



(b) Isometric contraction

Copyright © 2001 Benjamin Cummings, an imprint of Addison Wesley Longman, Inc.



(a) Isotonic (concentric) contraction

Copyright © 2001 Benjamin Cummings, an imprint of Addison Wesley Longman, Inc.

Режимы сокращения мышц.

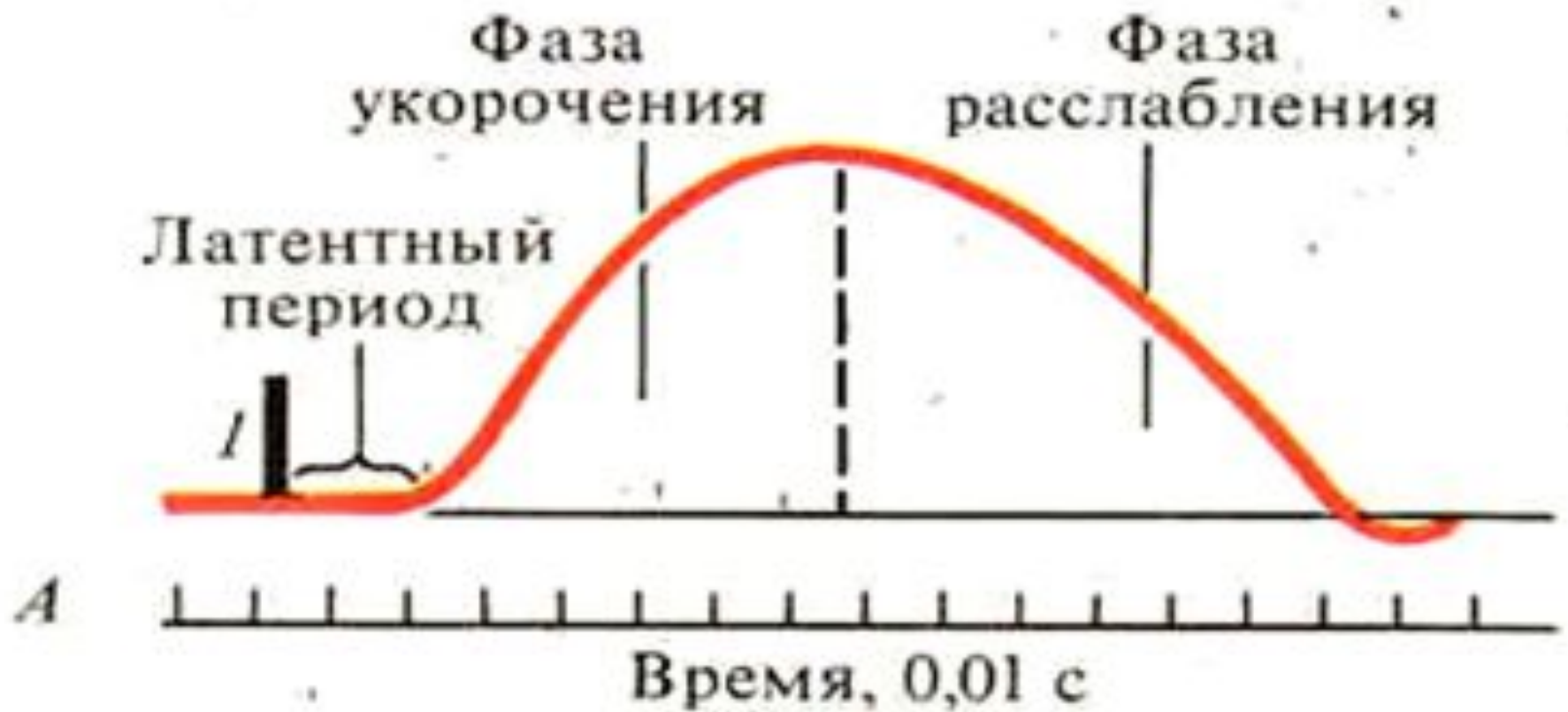
□ Одиночное.

□ 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.**

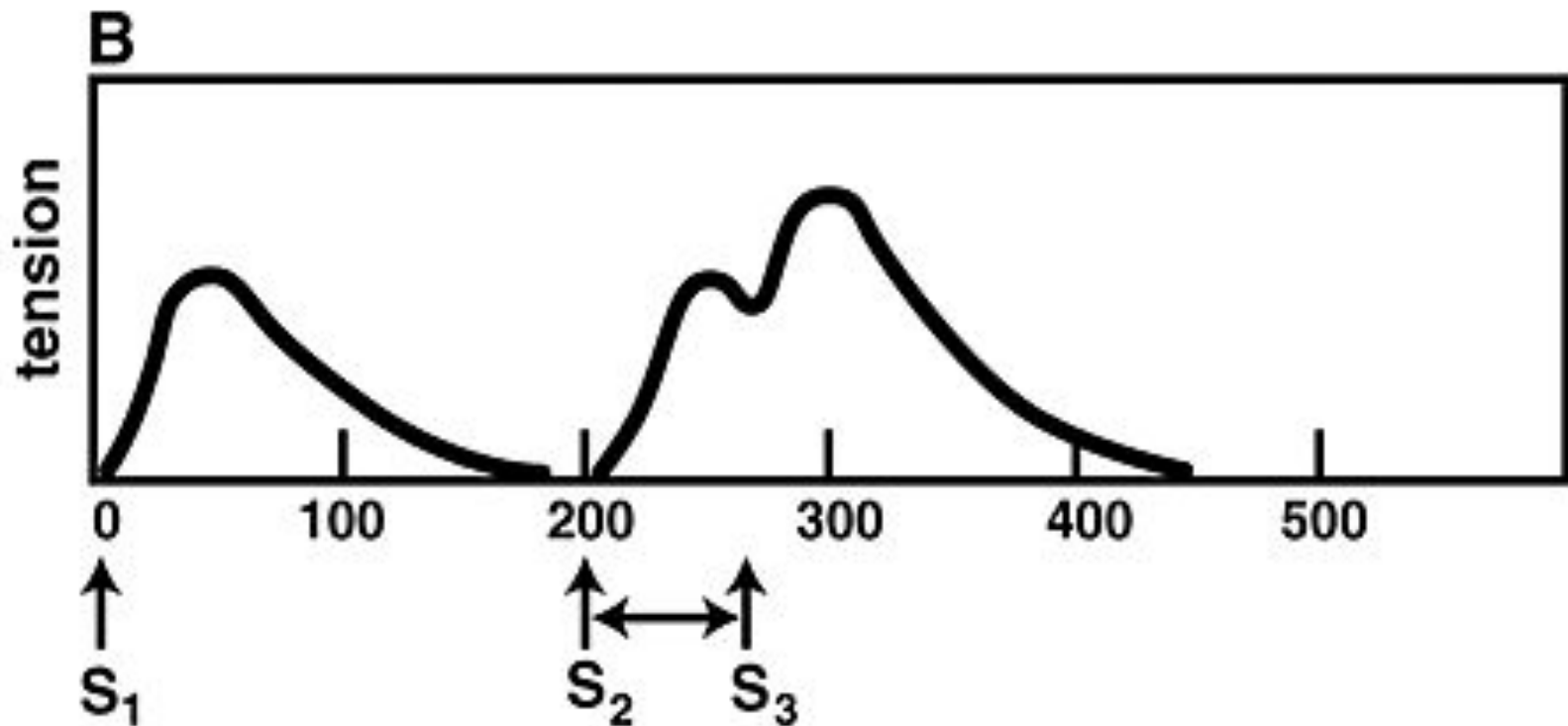


Фазы одиночного мышечного сокращения

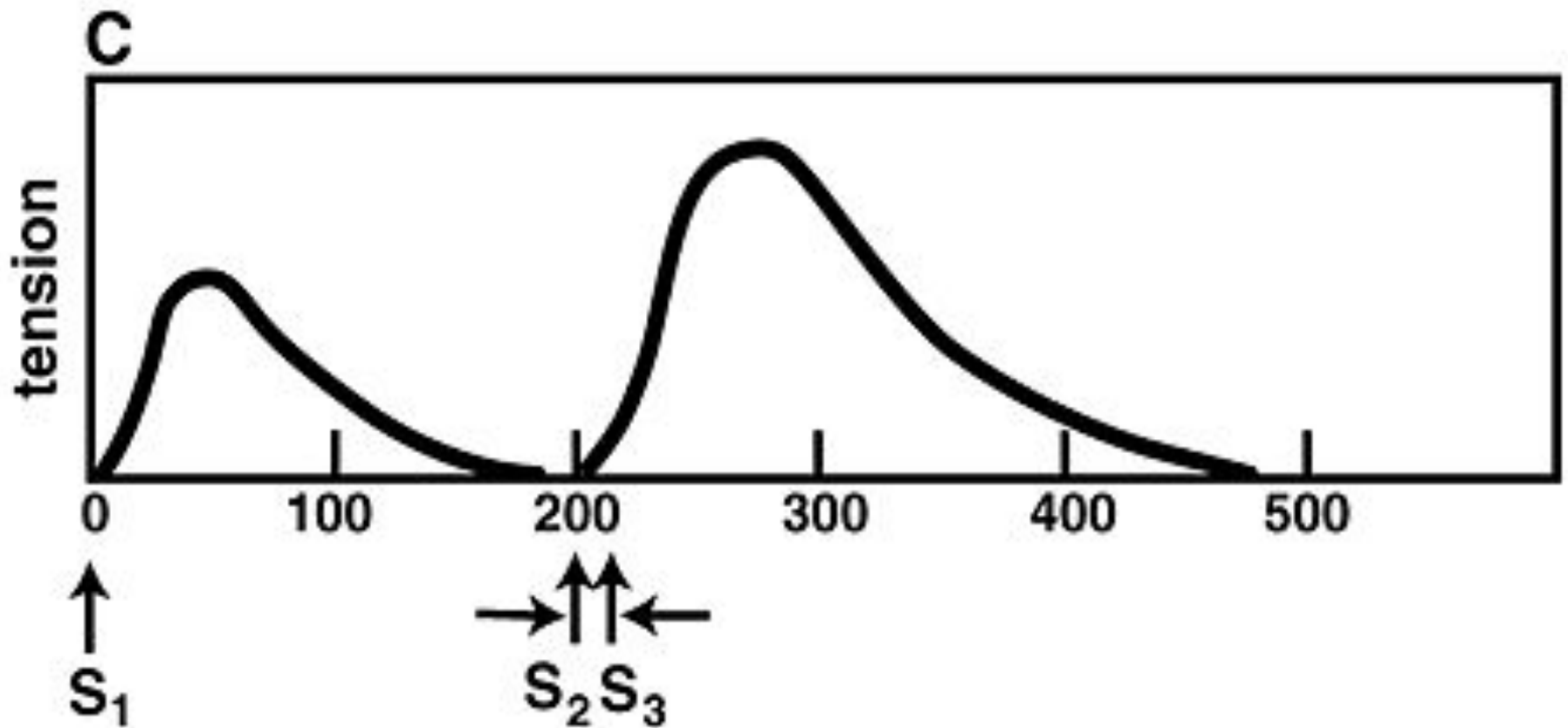
Наложение двух следующих друг за другом импульсов называется **суммацией**.

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**.



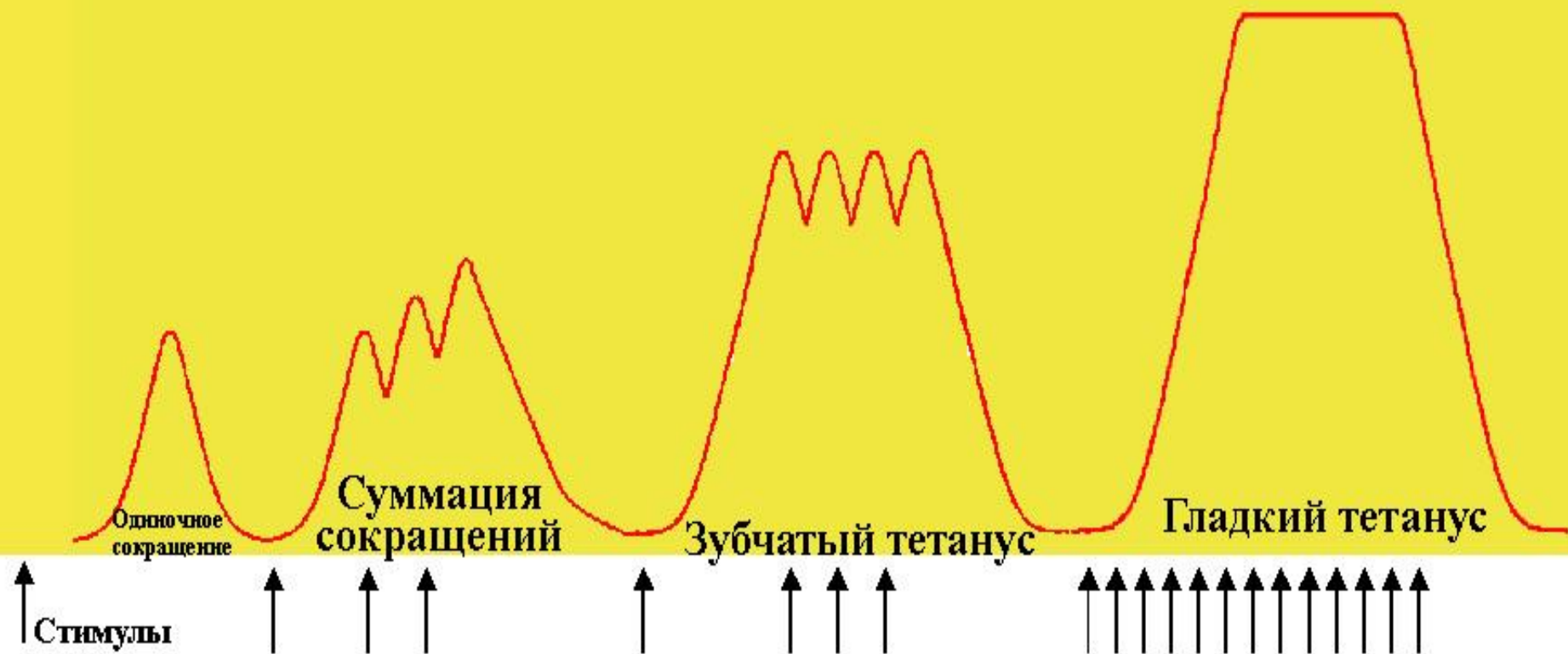
Длительное и сильное сокращения
мышцы, под влиянием ритма импульсов
с последующим расслаблением
называется **тетанусом**.

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:

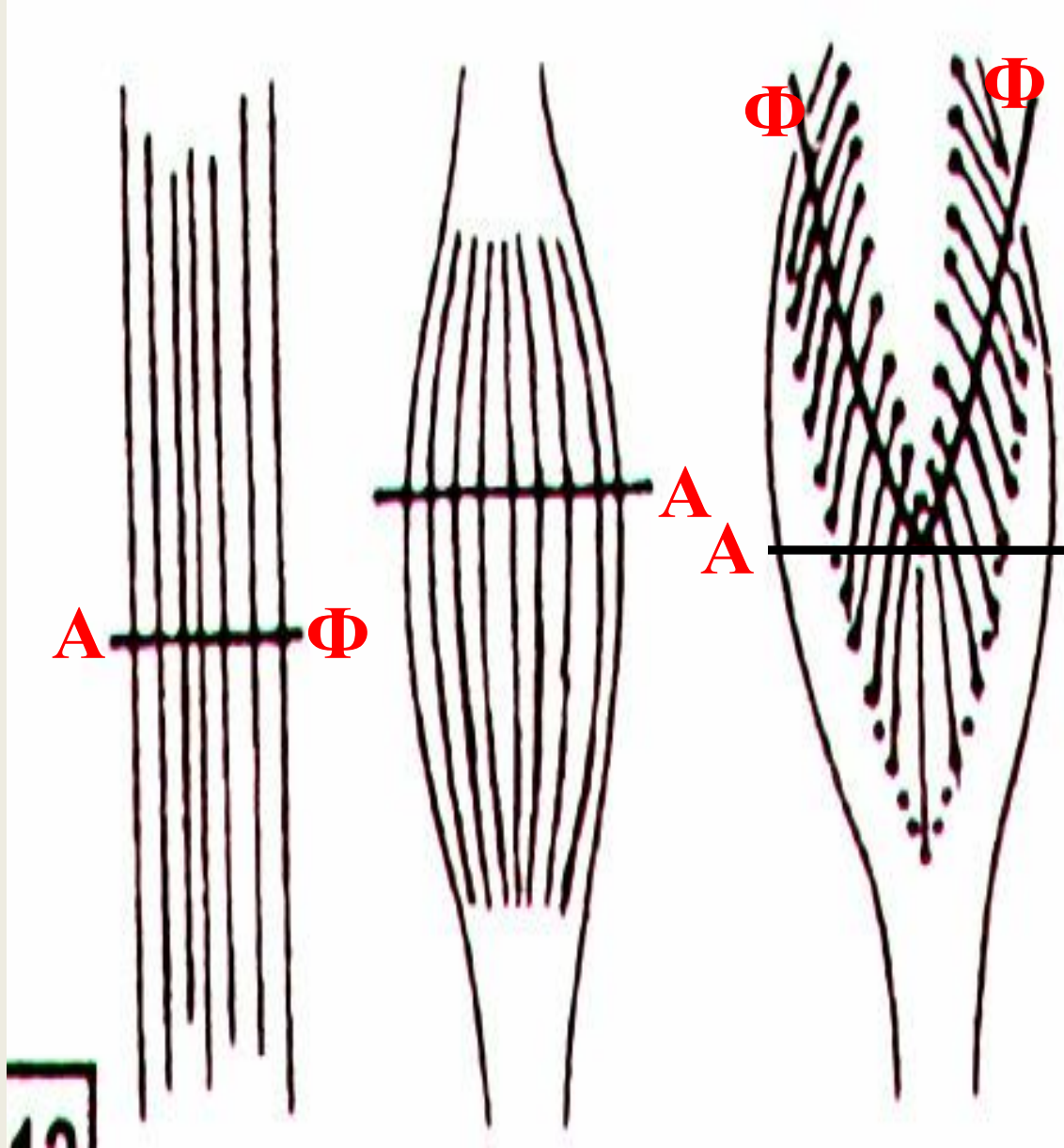
1. Исходной длины мышцы (длинны покоя).

2. Диаметра мышцы или поперечного сечения.

Выделяют два диаметра:

а) **анатомический диаметр** — поперечное сечение мышц.

б) **физиологический диаметр** — перпендикулярное сечение каждого мышечного волокна.



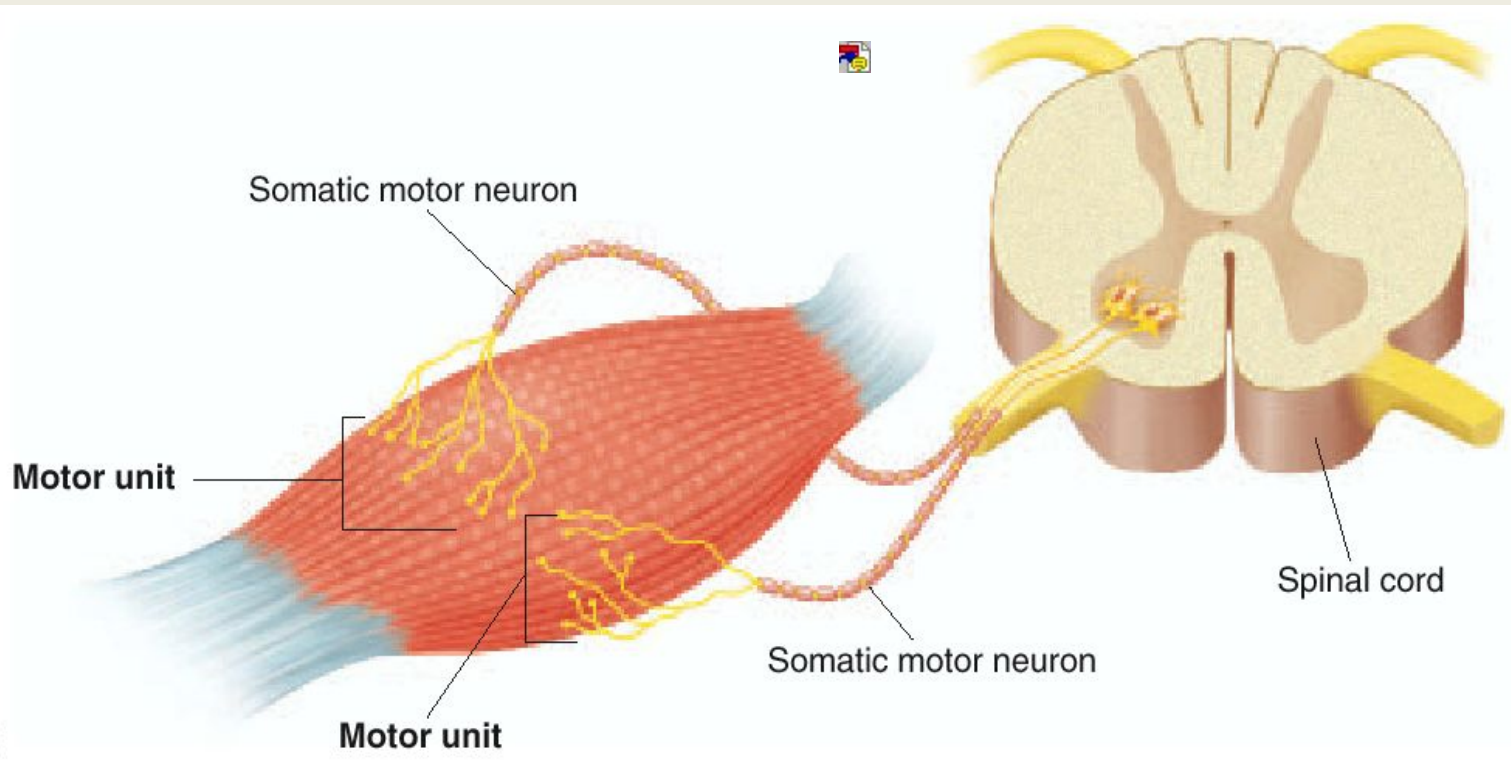
**Анатомический (А) и физиологический (Ф)
диаметры мышечных волокон**

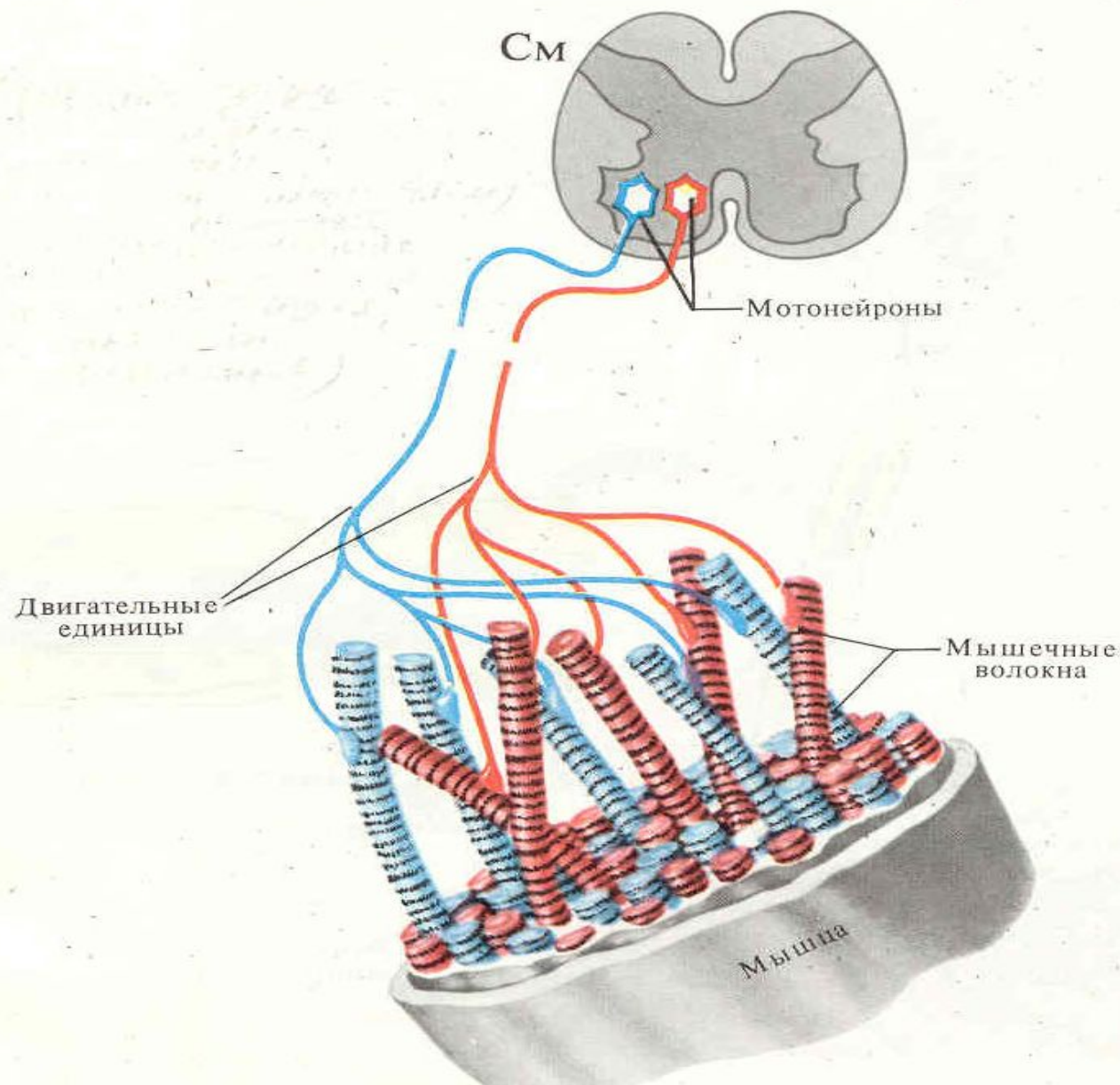
Выделяют два вида силы мышцы:

- 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:

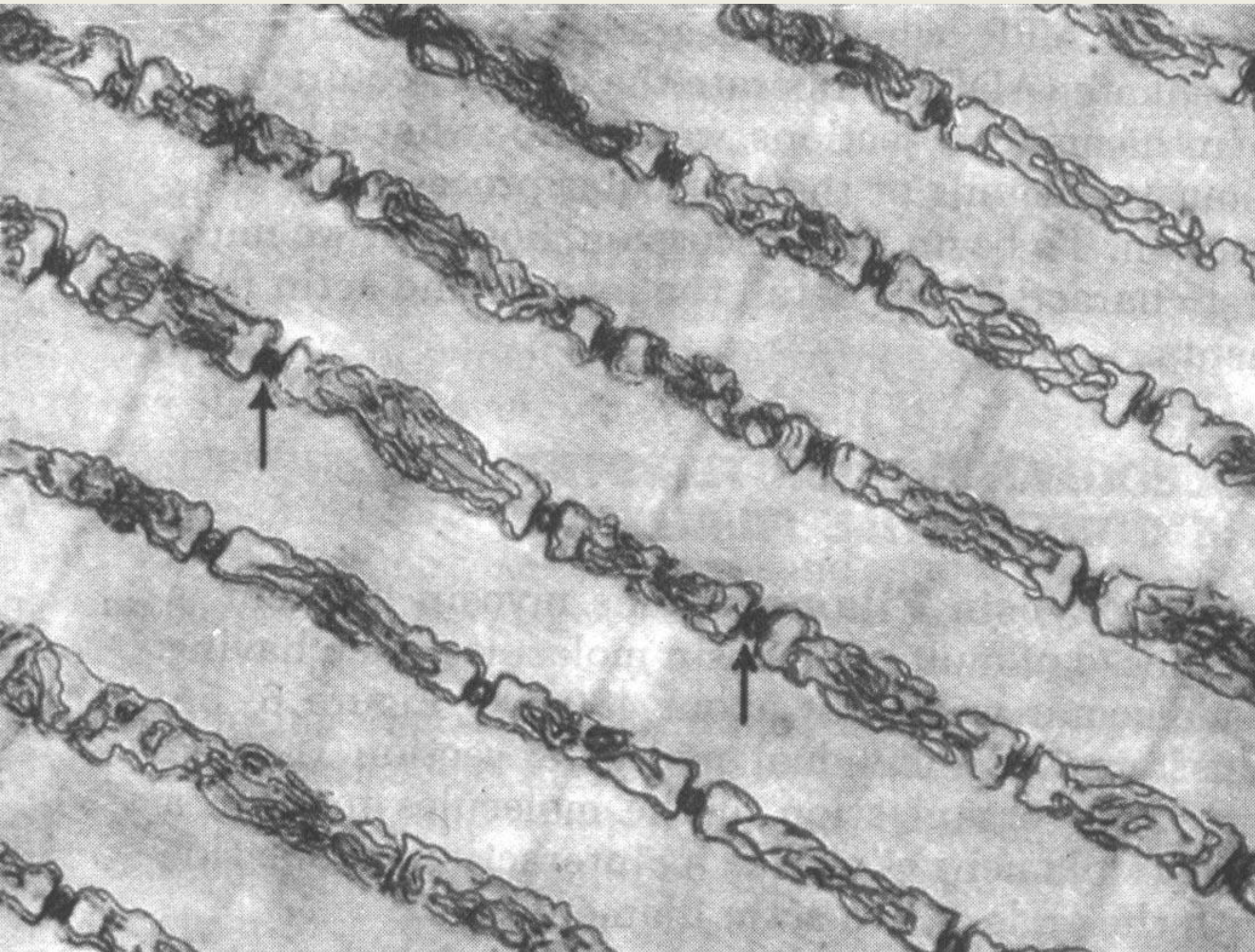
- 1. Богатой капиллярной сетью.**
- 2. Содержат много миофибрилл.**
- 3. Содержит много миоглобина (т.е. способны связывать большое количество кислорода).**
- 4. В них содержится много жиров.**

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.**

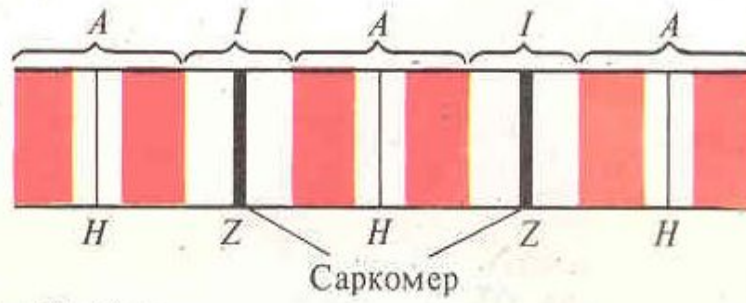
**4. Структура мышечного волокна.
Теория сокращения мышц (скольжение
нитей). Расслабление и утомление мышц.
Тренировка. Гипертрофия и атрофия
мышц.**

Электронная микрофотография саркоплазматического ретикулума



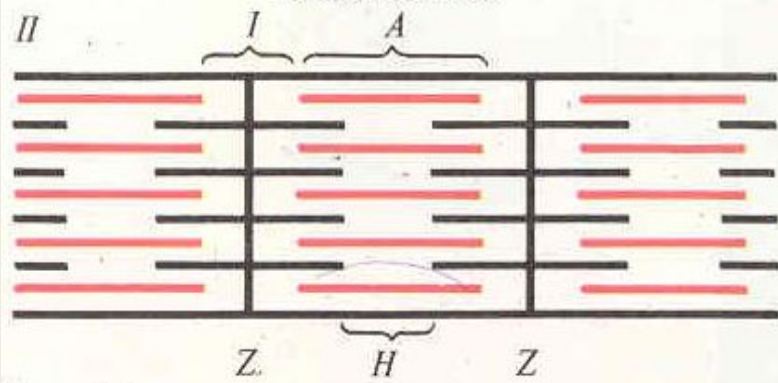
**Стрелками
показано
поперечное
сечение
Т-трубочек**

I

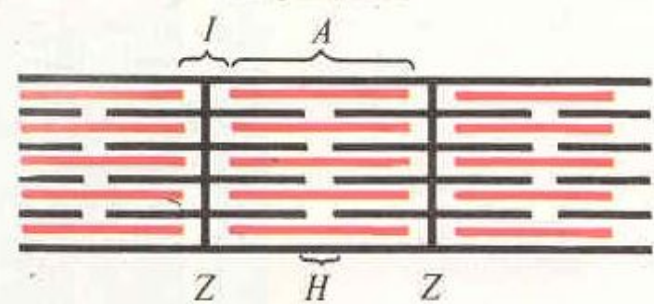


II

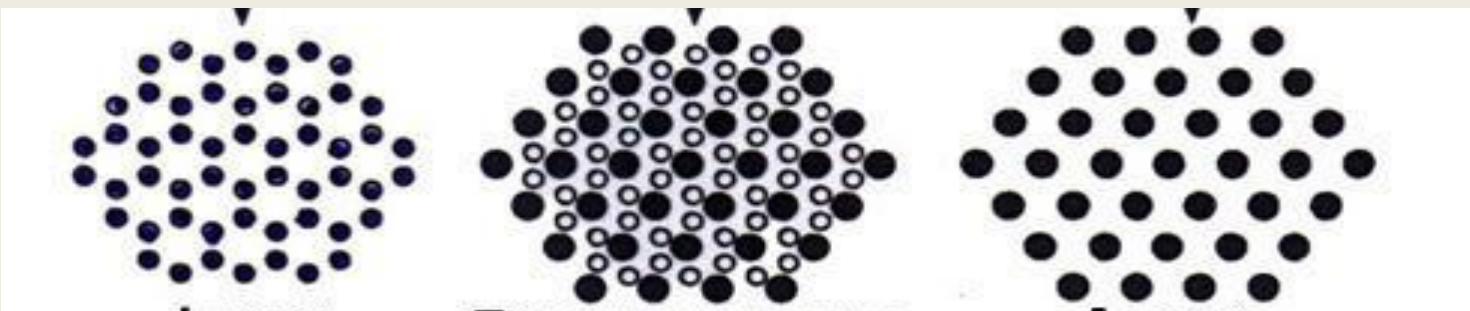
Расслабление



Сокращение



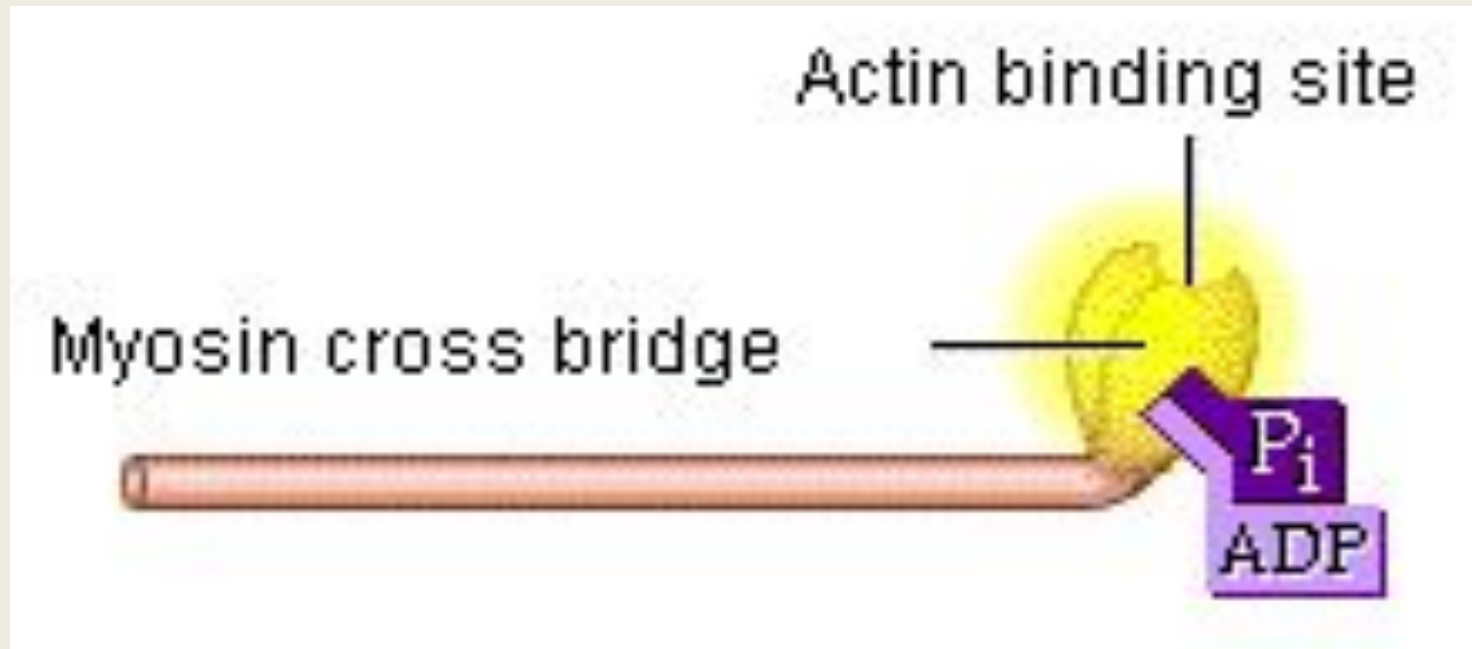
1



Строение миофибриллы

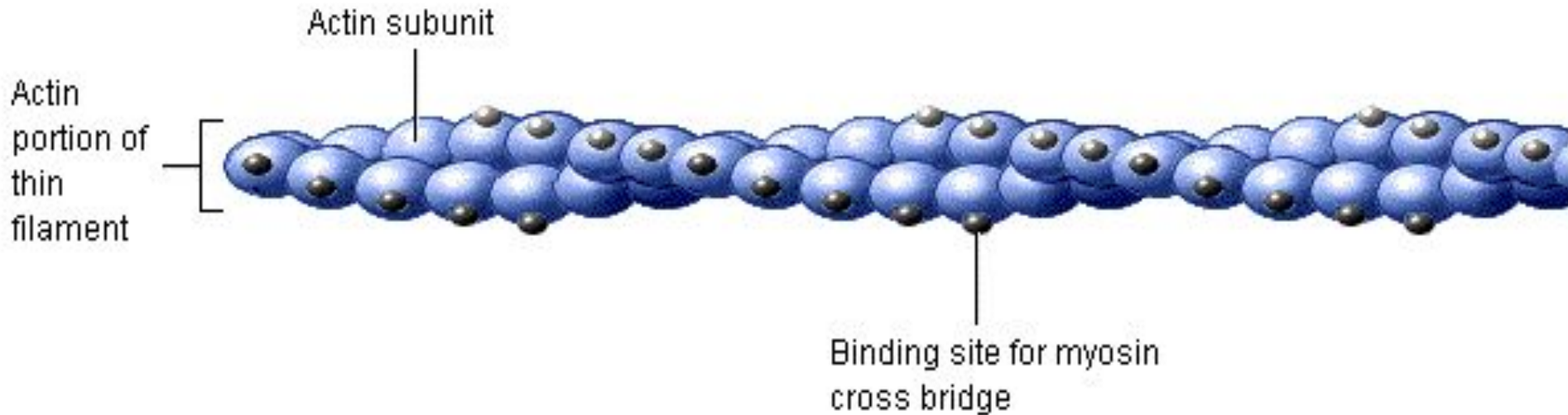
1. Сократительные белки:

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

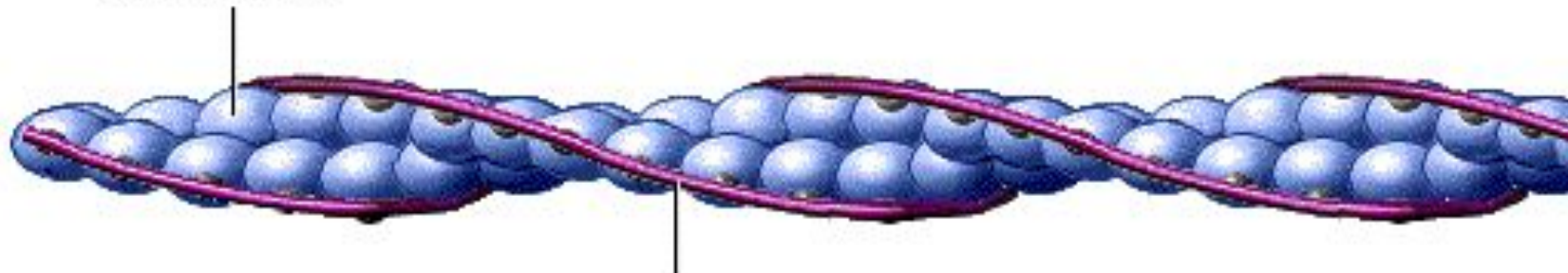


1. Сократительные белки:

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

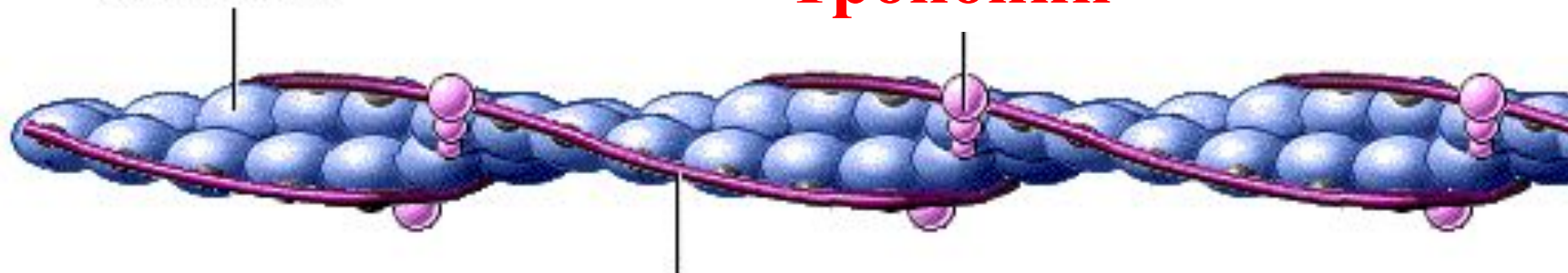


Actin subunit



Тропомиозин

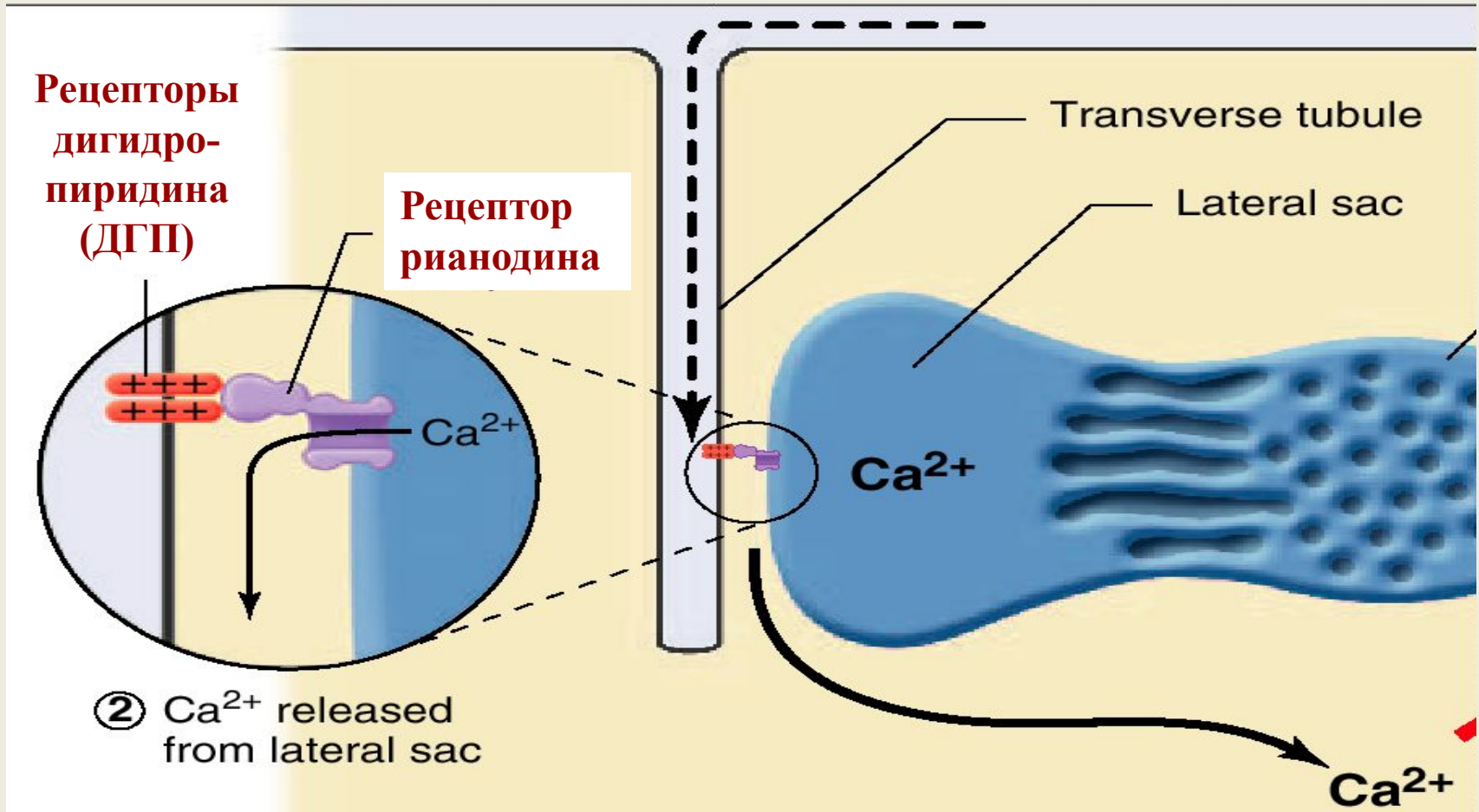
Actin subunit



Тропонин

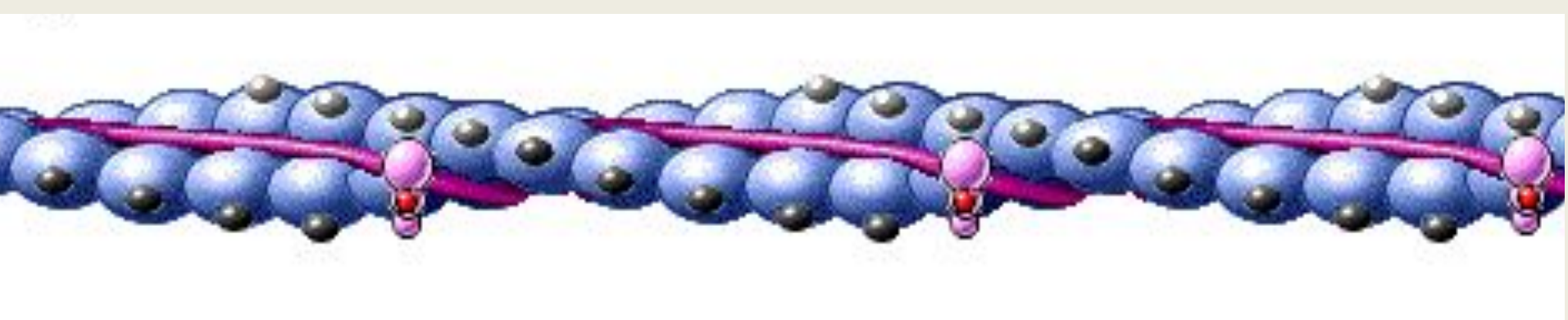
Tropomyosin

Теория мышечного сокращения

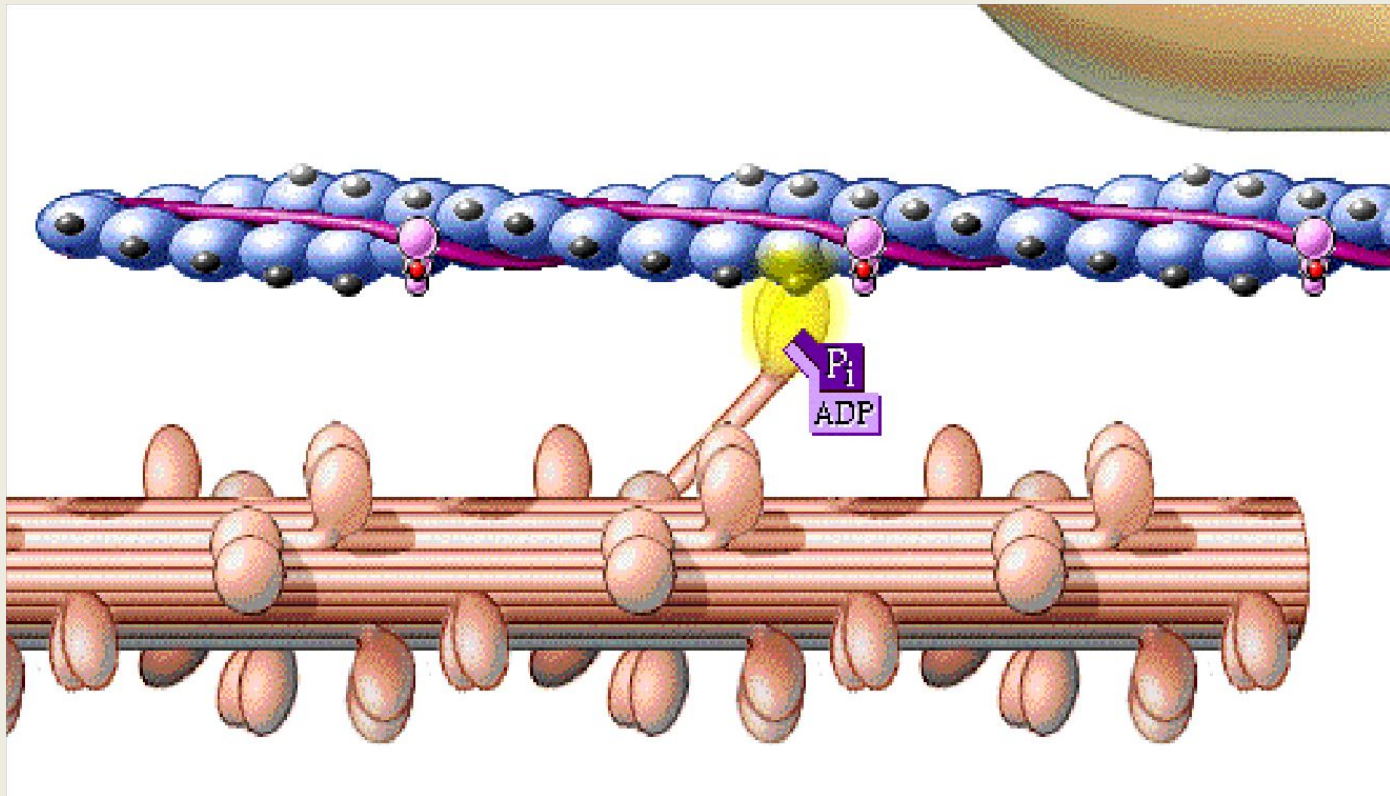


Одиночный цикл образования поперечных мостиков

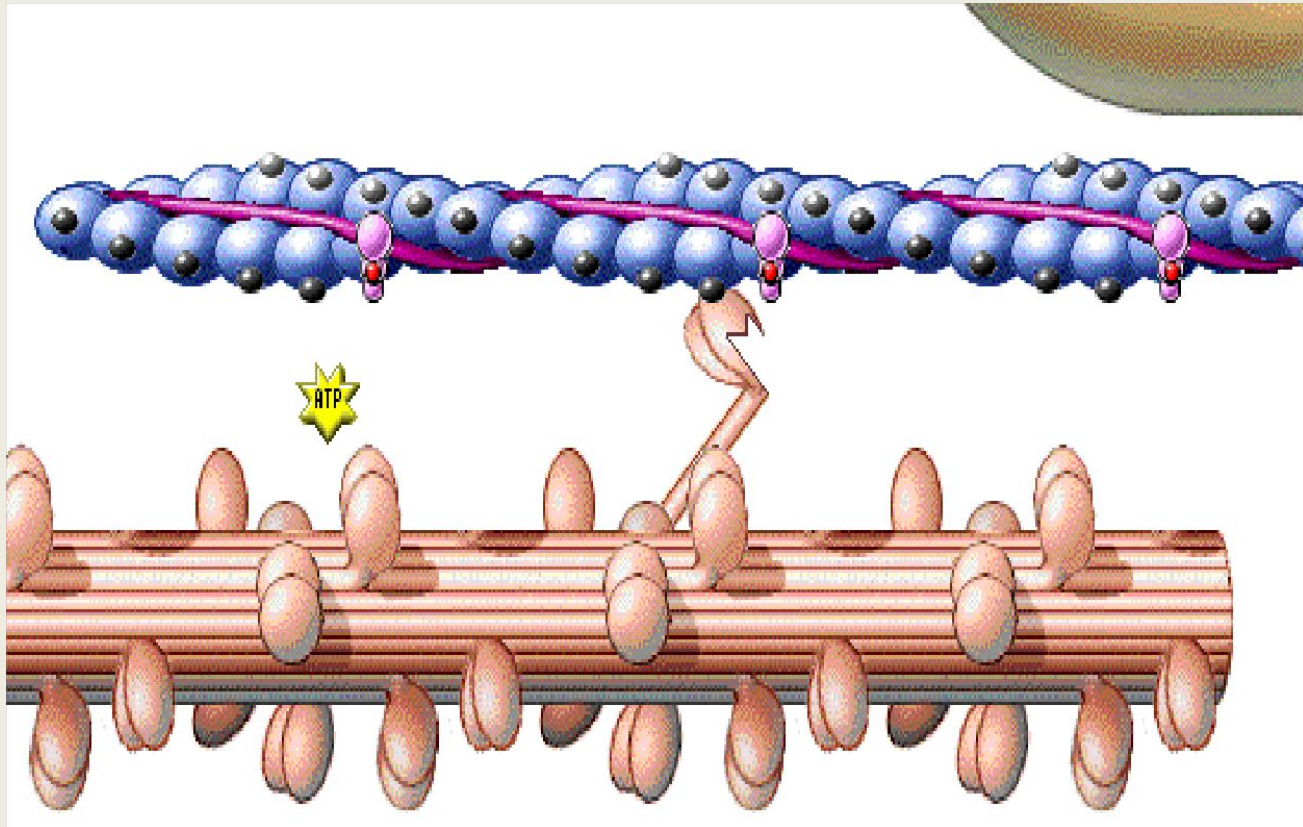
1. **Выход ионов Са** из саркоплазматического ретикулума (СПР), связывание с С-субъединицей тропонина, смещение тропонина на актиновой нити, освобождение актиновых центров актина для связывания с миозином.



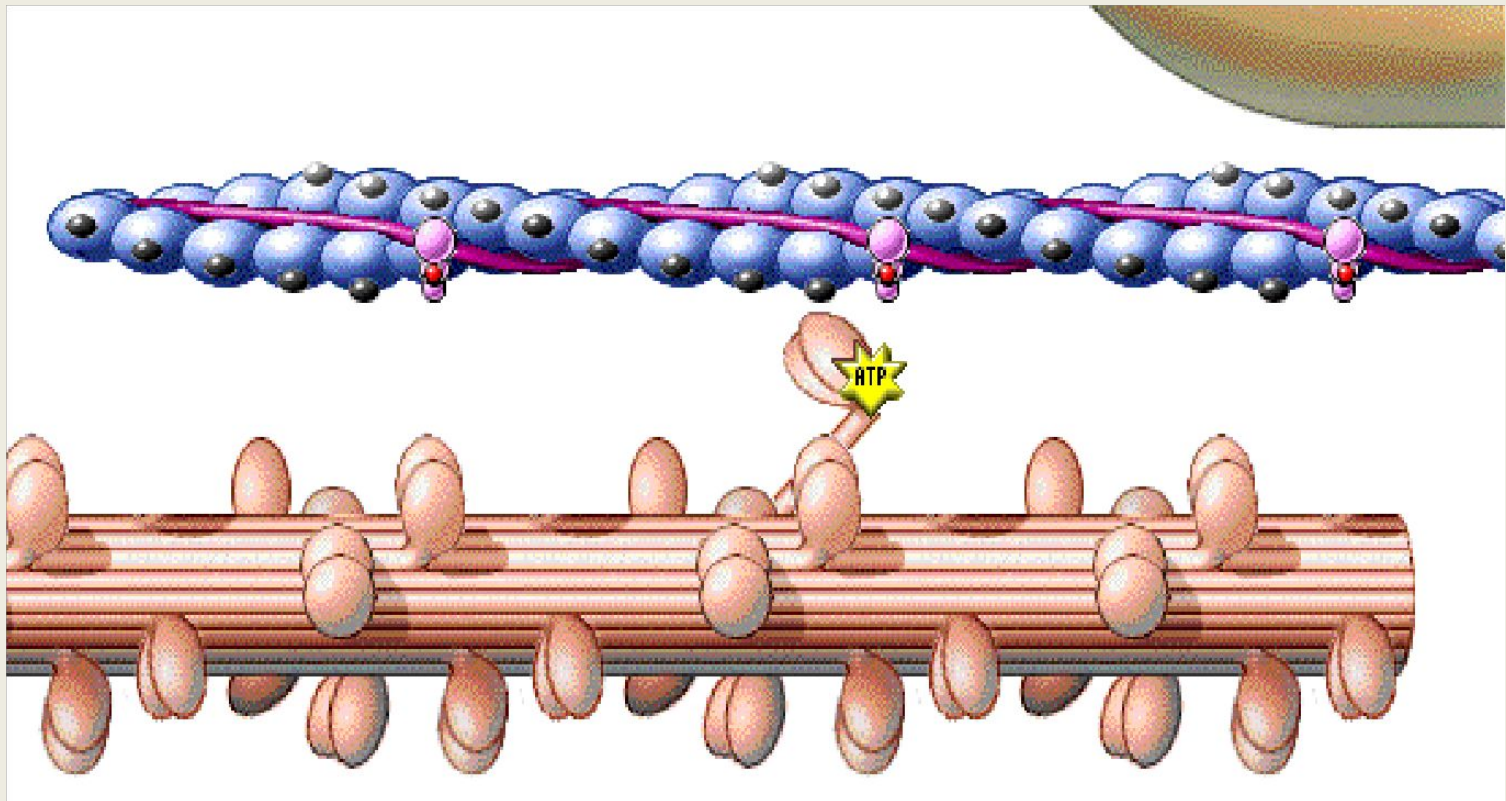
2. Связывание головок миозина с актином — образование **поперечных мостиков** (головка миозина энергизирована: АТФ расщеплена, но АДФ и фосфат не отсоединились).



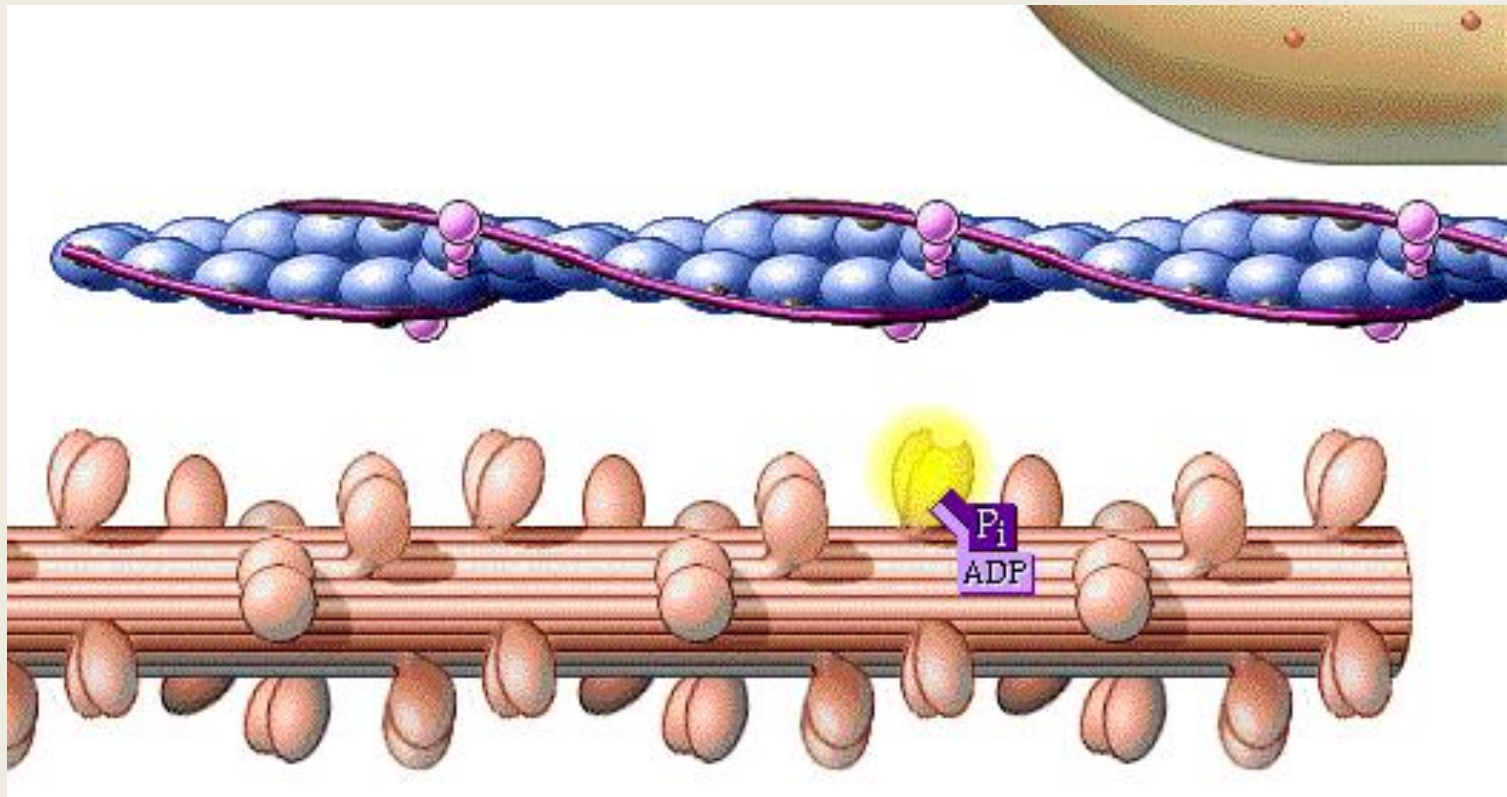
3. Завершение гидролиза АТФ (АДФ и фосфат отсоединяются), **поворот головки** миозина, **скольжение** нитей актина, укорочение саркомера.



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.

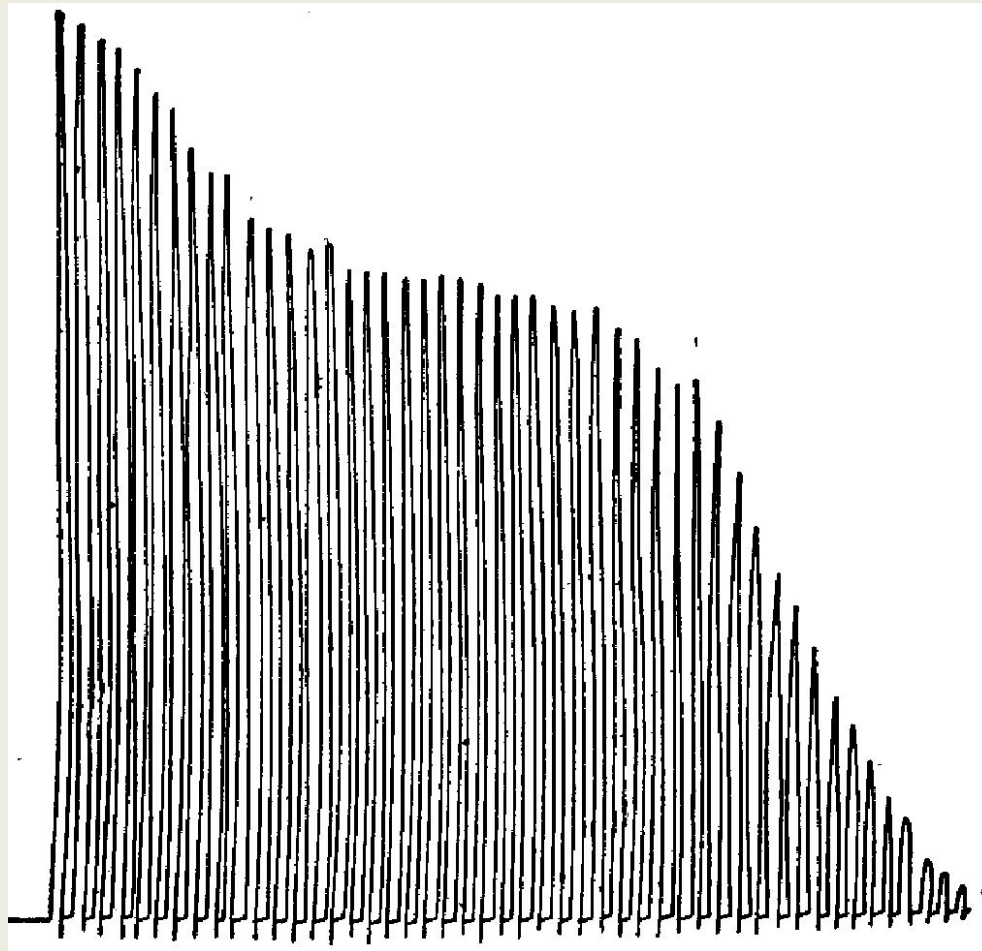
Энергетические потребности. Мышечное сокращение требует значительных энергетических затрат. Основной источник энергии — гидролиз макроэрга АТФ. В митохондриях в процессе цикла трикарбоновых кислот и окислительного фосфорилирования генерируется АТФ. **Гликоген** запасается в саркоплазме в виде включений. 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 Hb, 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.

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

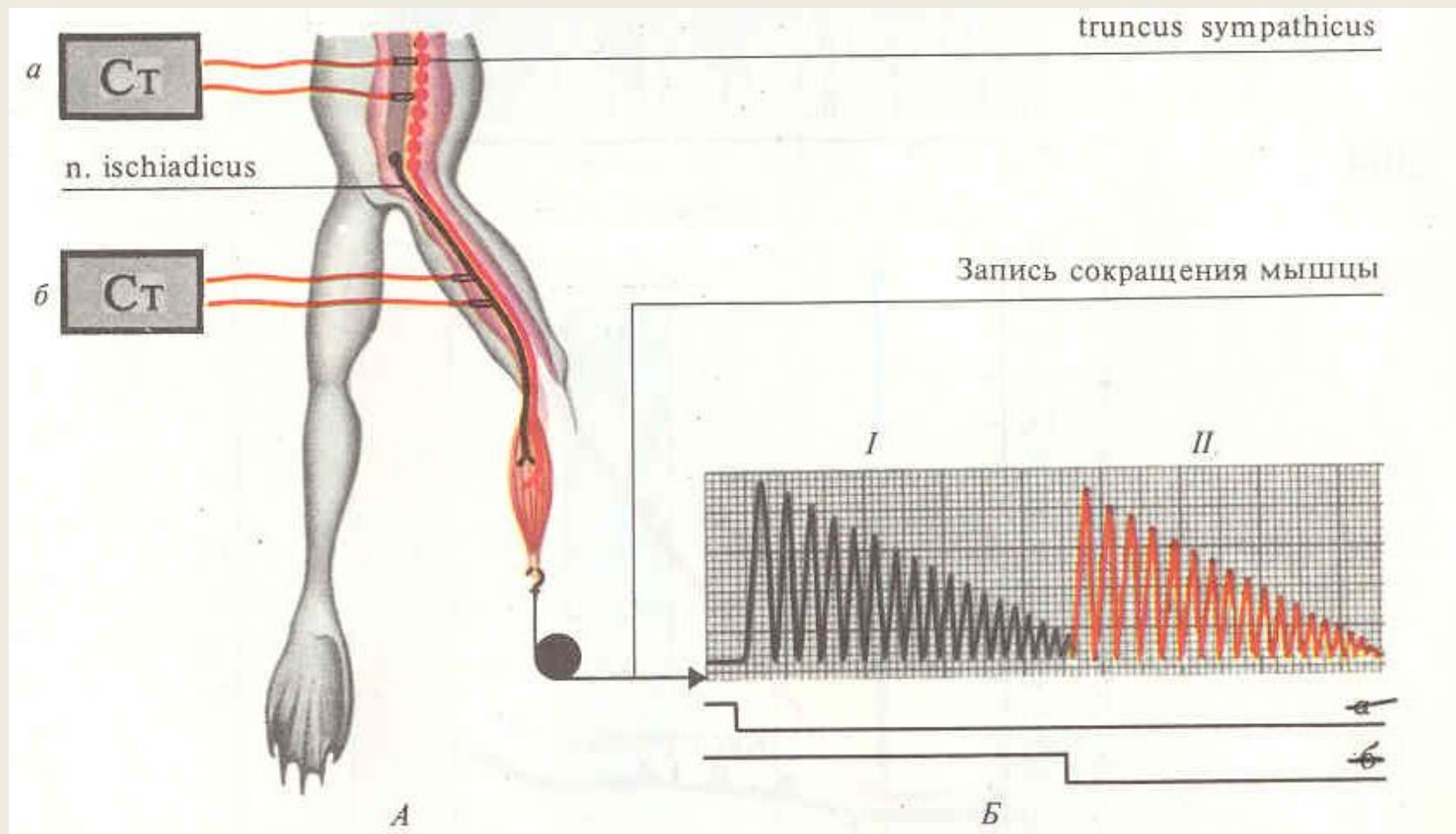
Причины утомления:

1. Накопление продуктов обмена (молочная кислота) в мышцах, что ведет к угнетению генерации потенциала действия.
2. Кислородное голодание, т.е. к мышце не успевает доставляться кислород.
3. Истощение энергии.
4. Центральное-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

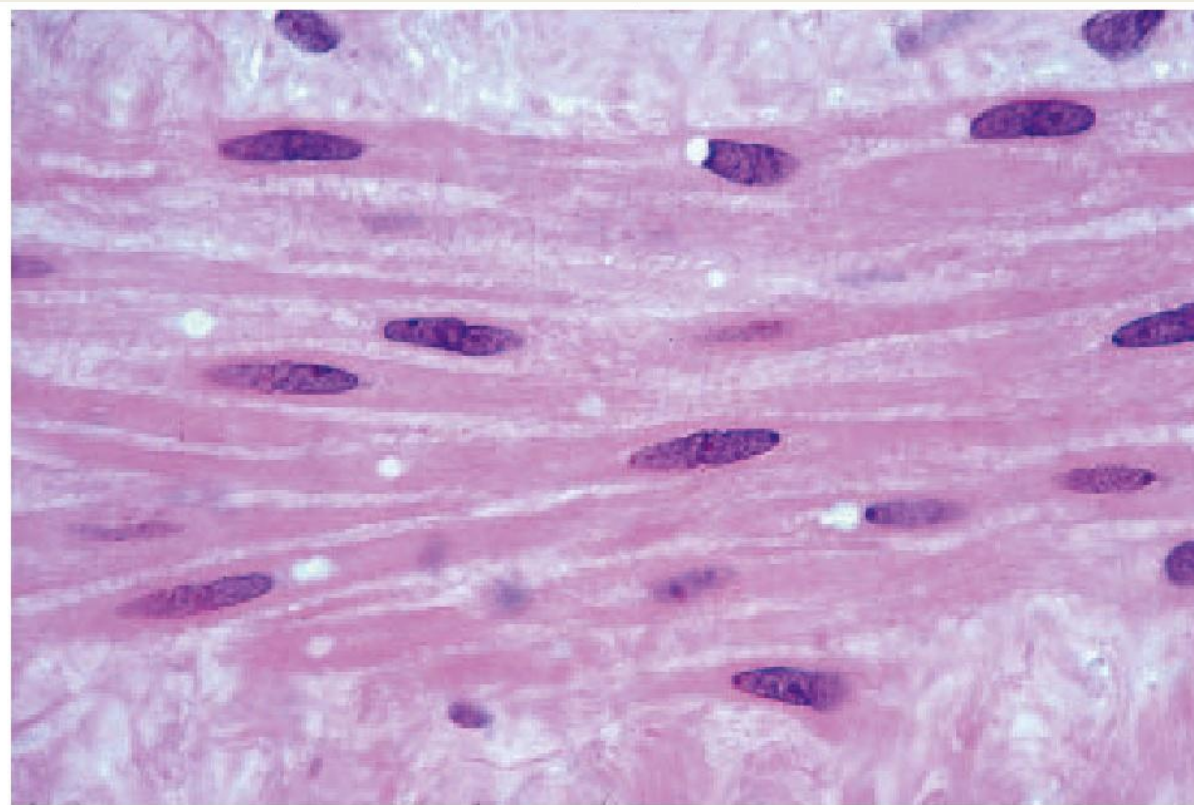


Виды гипертрофии:

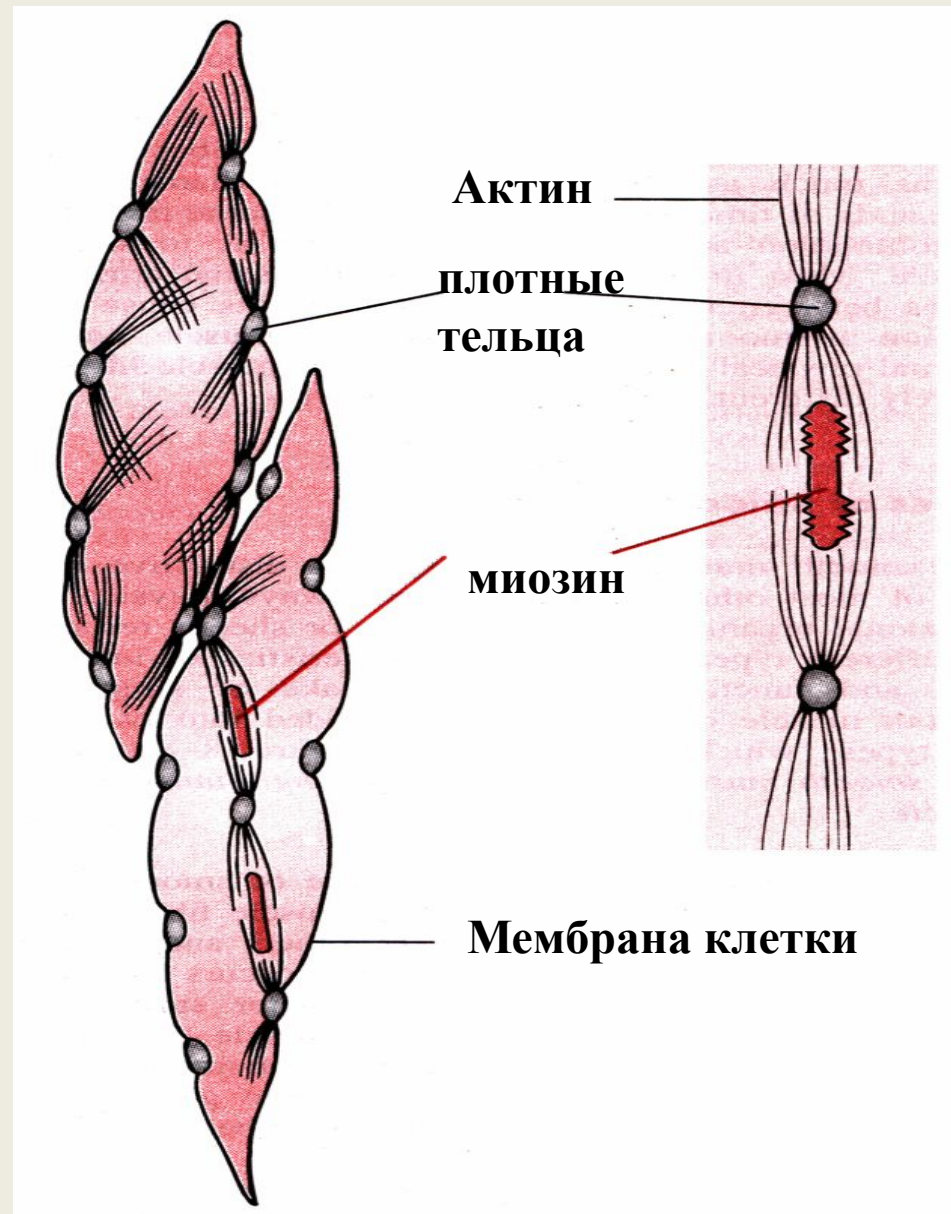
1. Миофибриллярный тип.
2. Саркоплазматический тип

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:

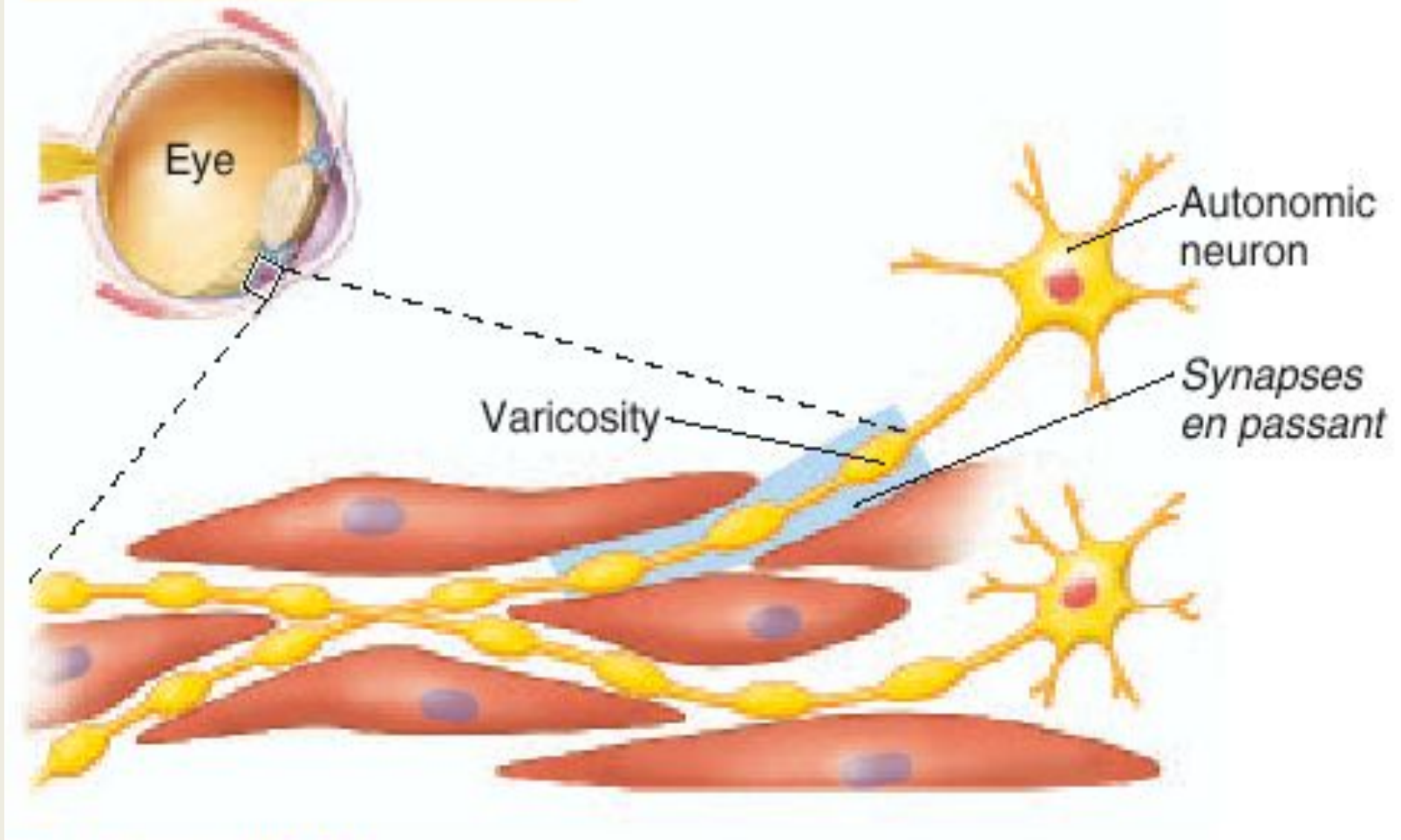
- **Мультиунитарные**, входят в состав цилиарной мышцы, мышц радужки глаза, мышцы поднимающей волос.
- **Унитарные (висцеральная)**, находятся во всех внутренних органах, протоках пищеварительных желез, кровеносных и лимфатических сосудах, коже.

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

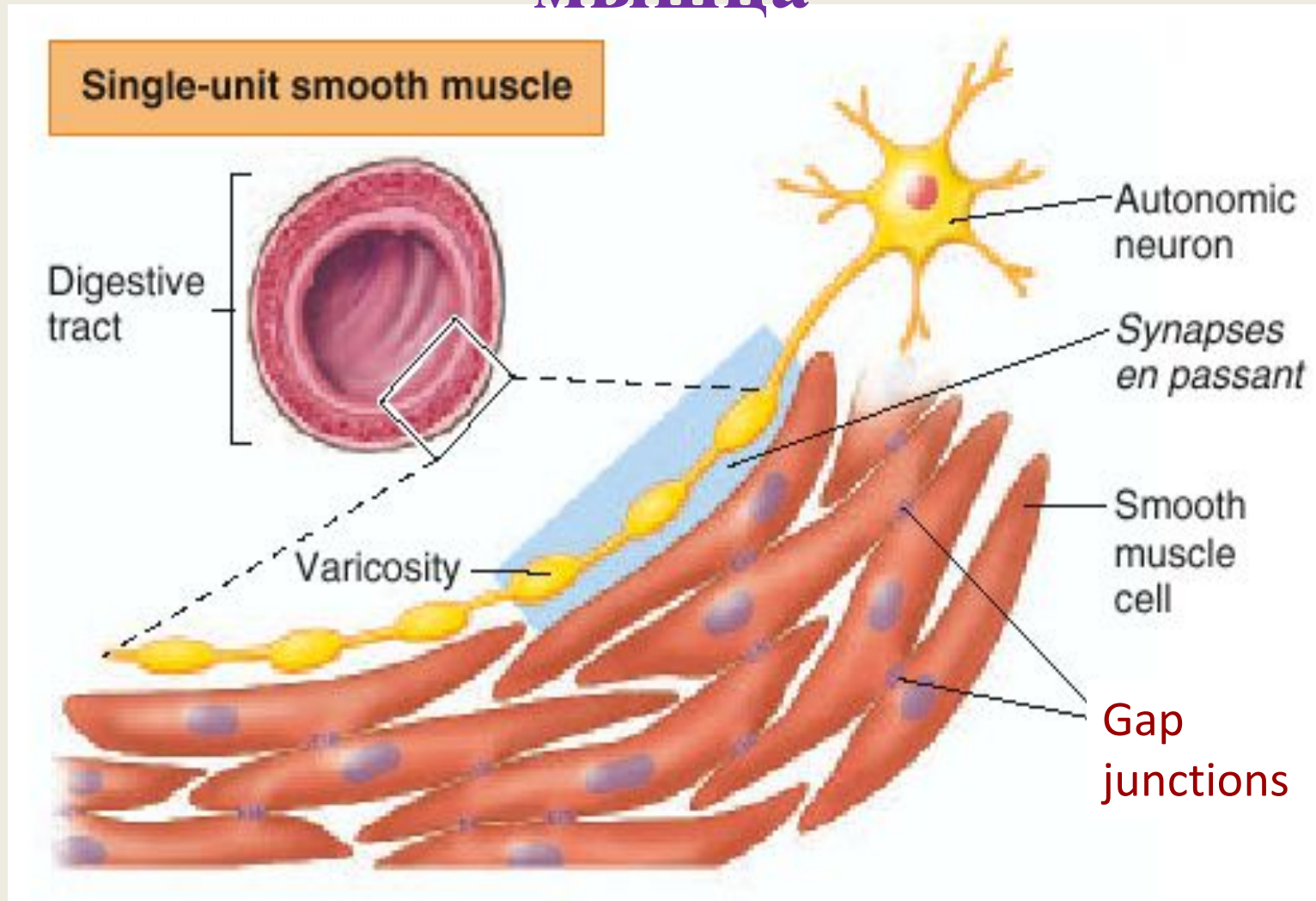
Multiunit smooth muscle



Унитарная гладкая мышца (висцеральная).

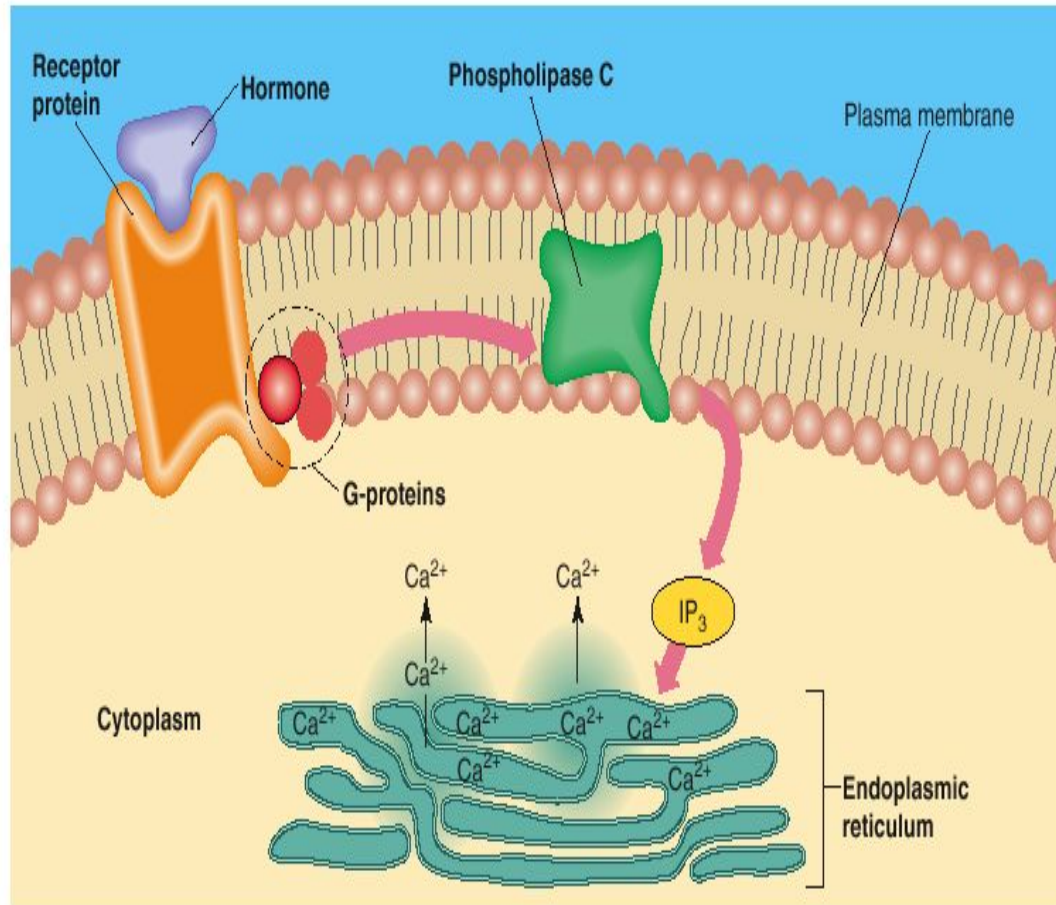
- представляет собой пласт или пучок, а сарколеммы отдельных миоцитов имеют множественные точки соприкосновения.
- мембраны рядом расположенных клеток образуют множественные плотные контакты (gap junctions), через которые ионы имеют возможность свободно передвигаться из одной клетки в другую
- потенциал 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.

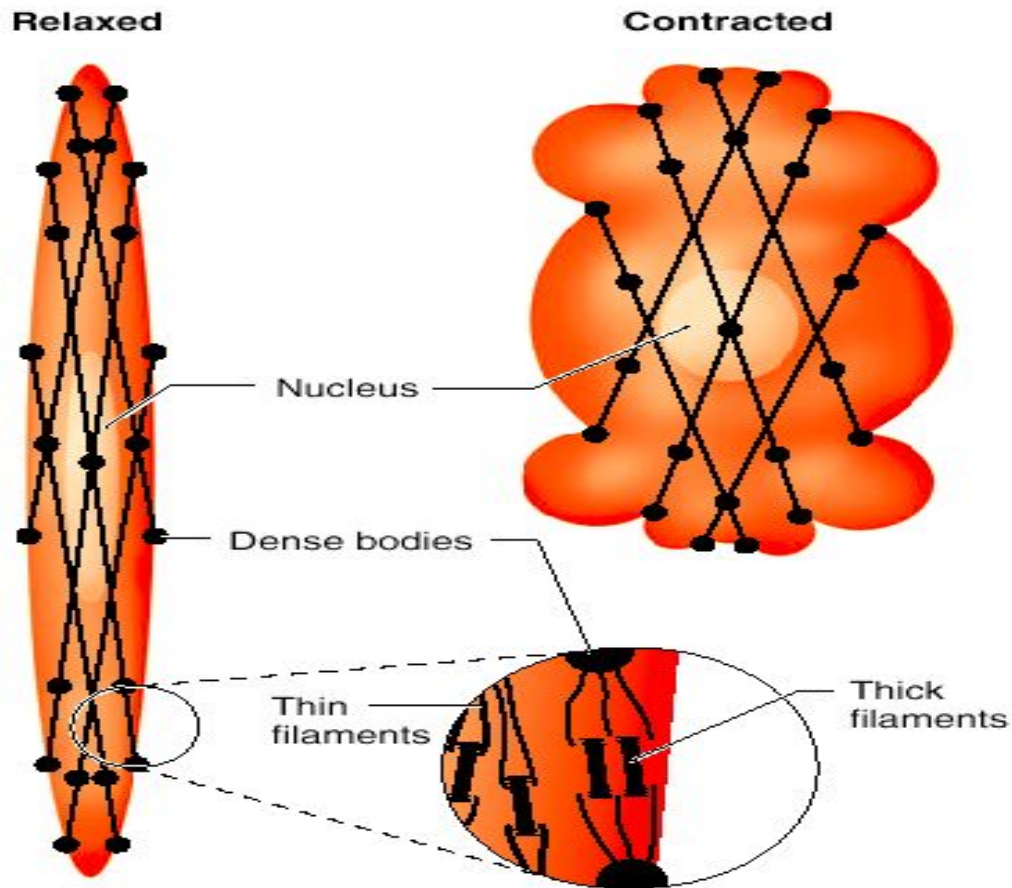
Унитарная (висцеральная) гладкая мышца



Сокращение гладкой мышцы

Агонист (адреналин, норадреналин, ангиотензин, вазопрессин) через свой рецептор активирует G-белок (Gr), который в свою очередь активирует **фосфолипазу С**. Фосфолипаза С 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.





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 длины, 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