

Общая физиология возбудимых систем

Физиология мышечного
сокращения

План лекции

- Виды и свойства мышечной ткани
- Механизм мышечного сокращения
- Электромеханическое сопряжение
- Фазы одиночного мышечного сокращения
- Суммированное сокращение
- Понятие о парабииозе
- Работа и утомление мышц

Виды мышечной ткани

- Поперечно-полосатая скелетная мускулатура: фазные и тонические сокращения
- Гладкие мышцы – непроизвольные тонические сокращения мышц внутренних органов
- Поперечно-полосатая сердечная мышца

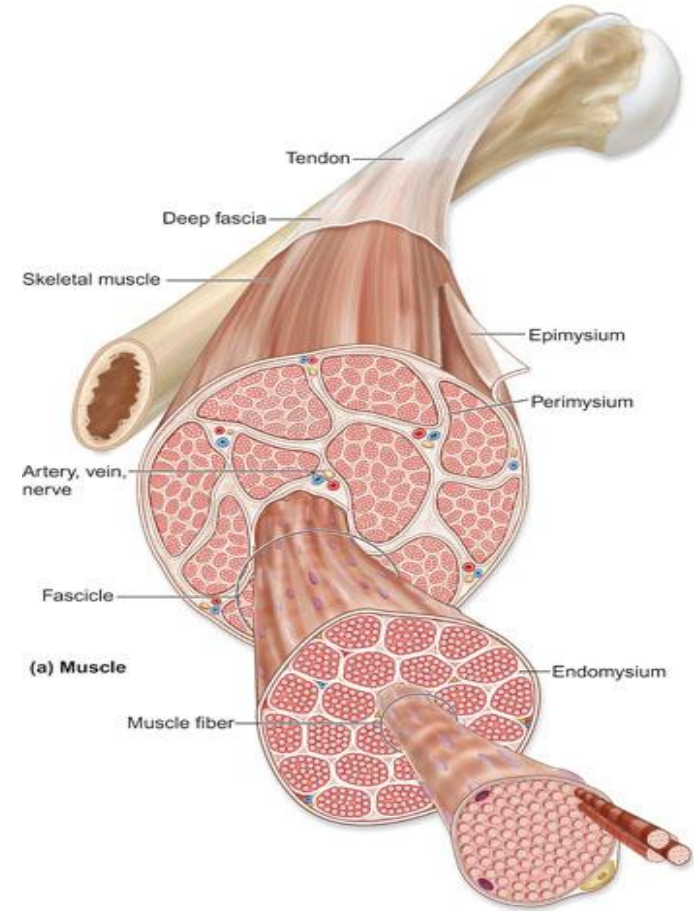
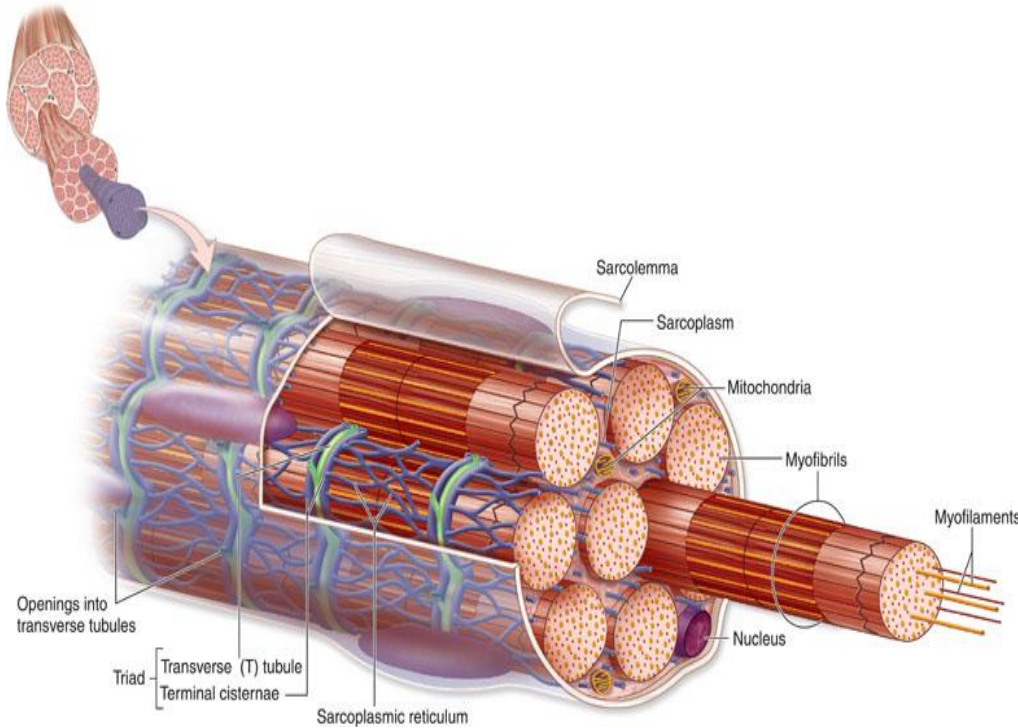
Свойства скелетных мышц

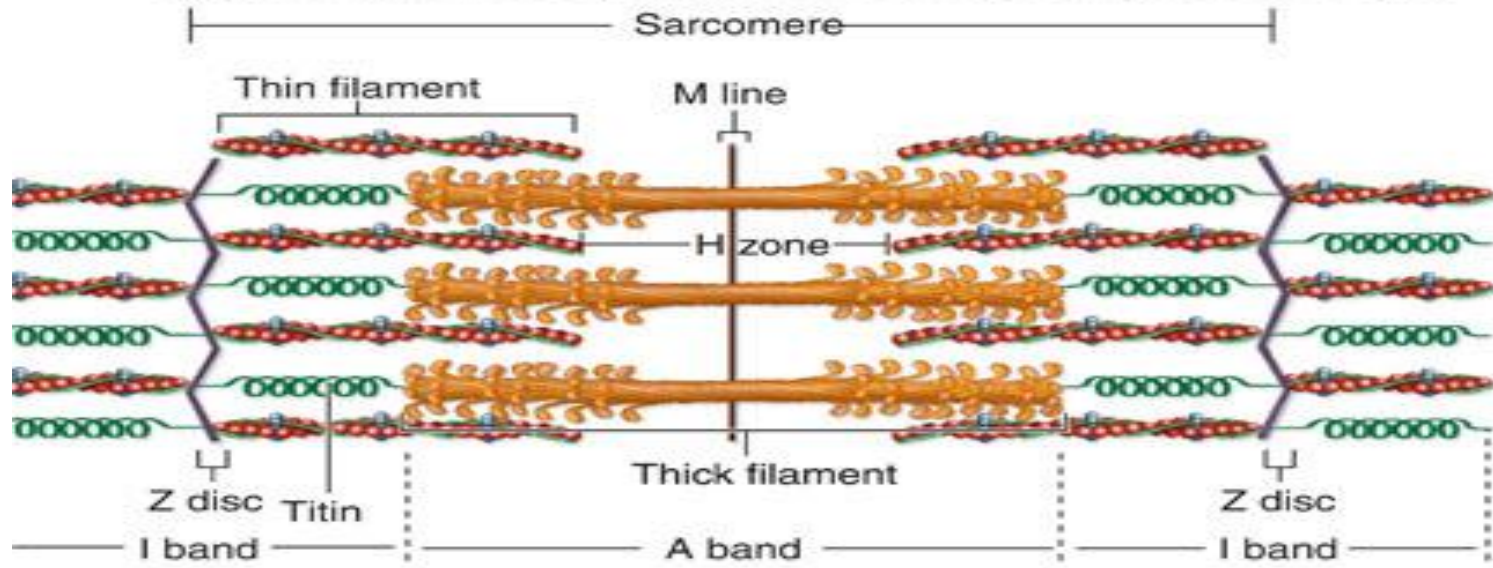
- **Возбудимость**
- **Проводимость**
- **Сократимость**

Строение скелетной мышцы

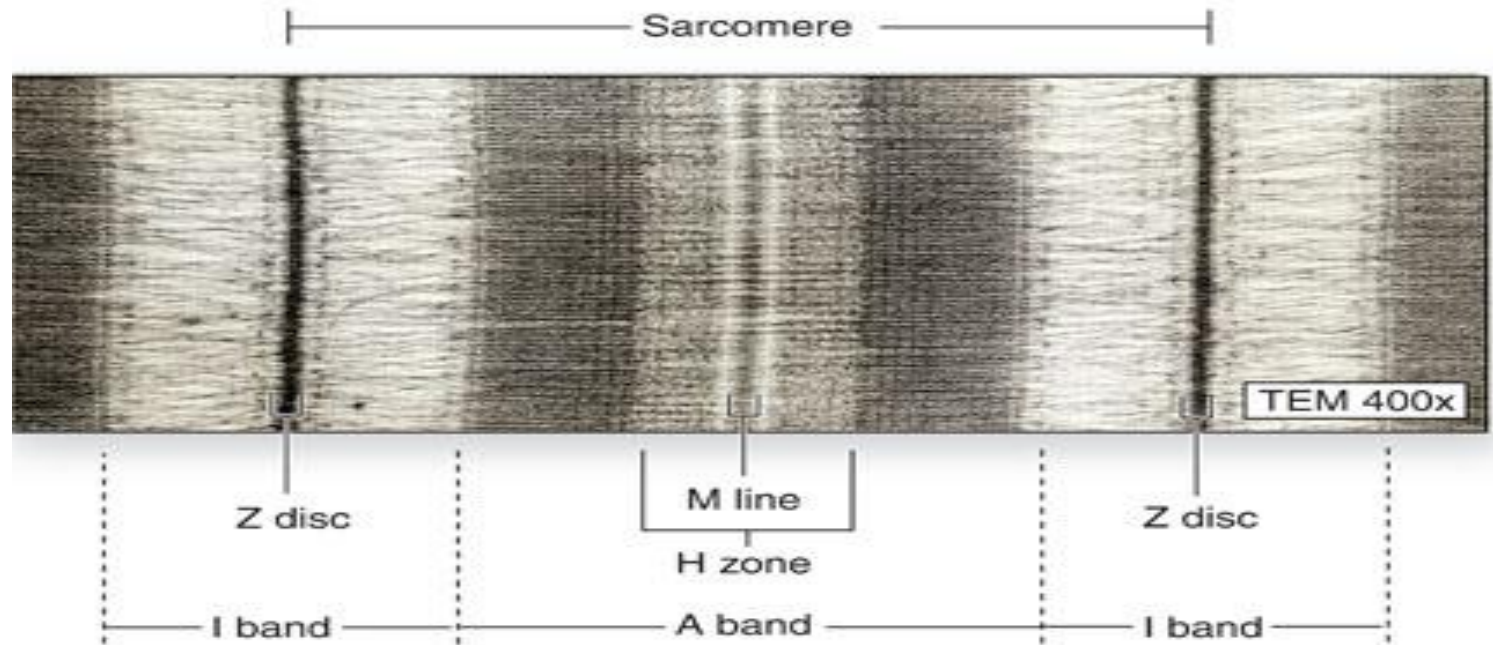
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



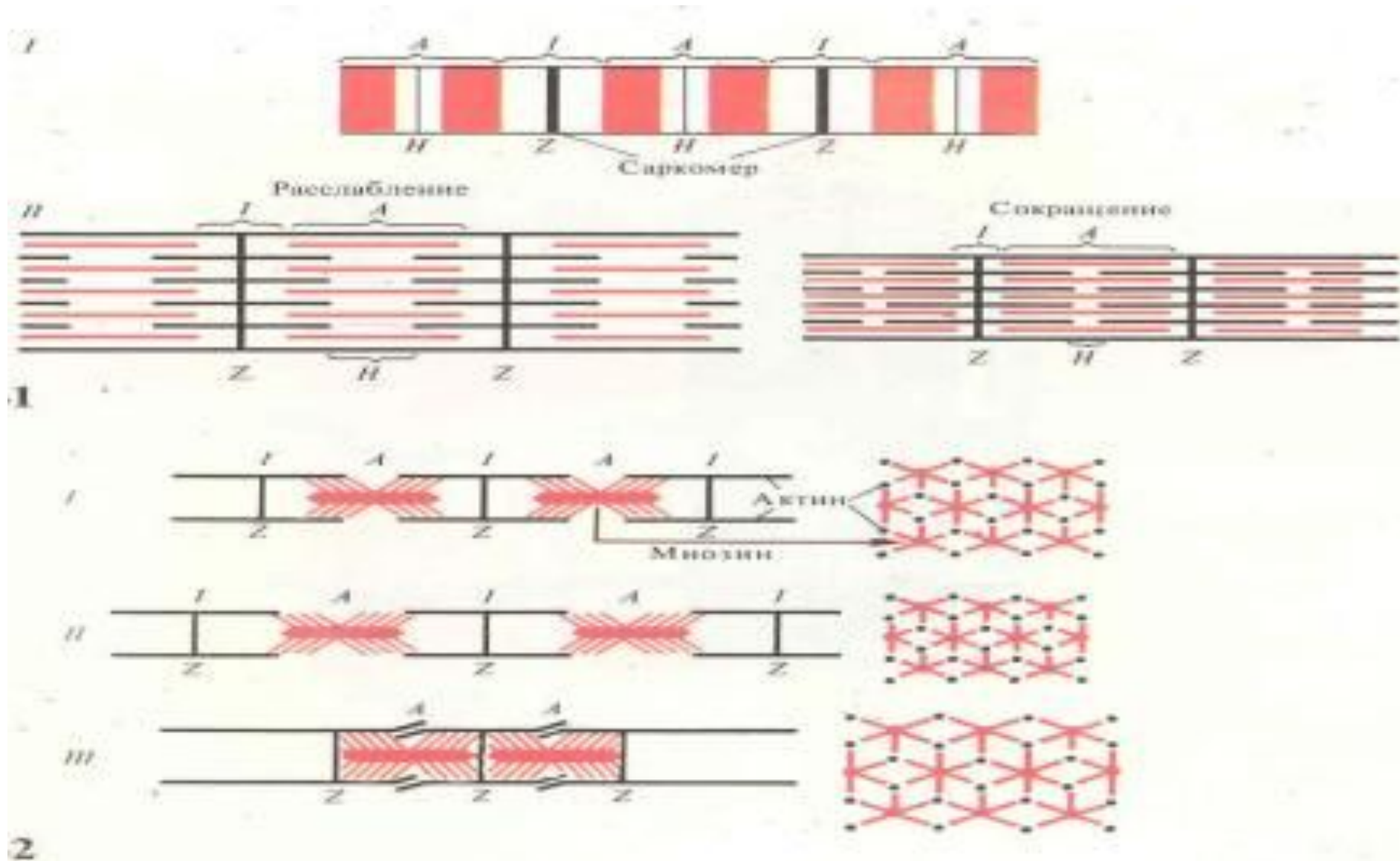


b)

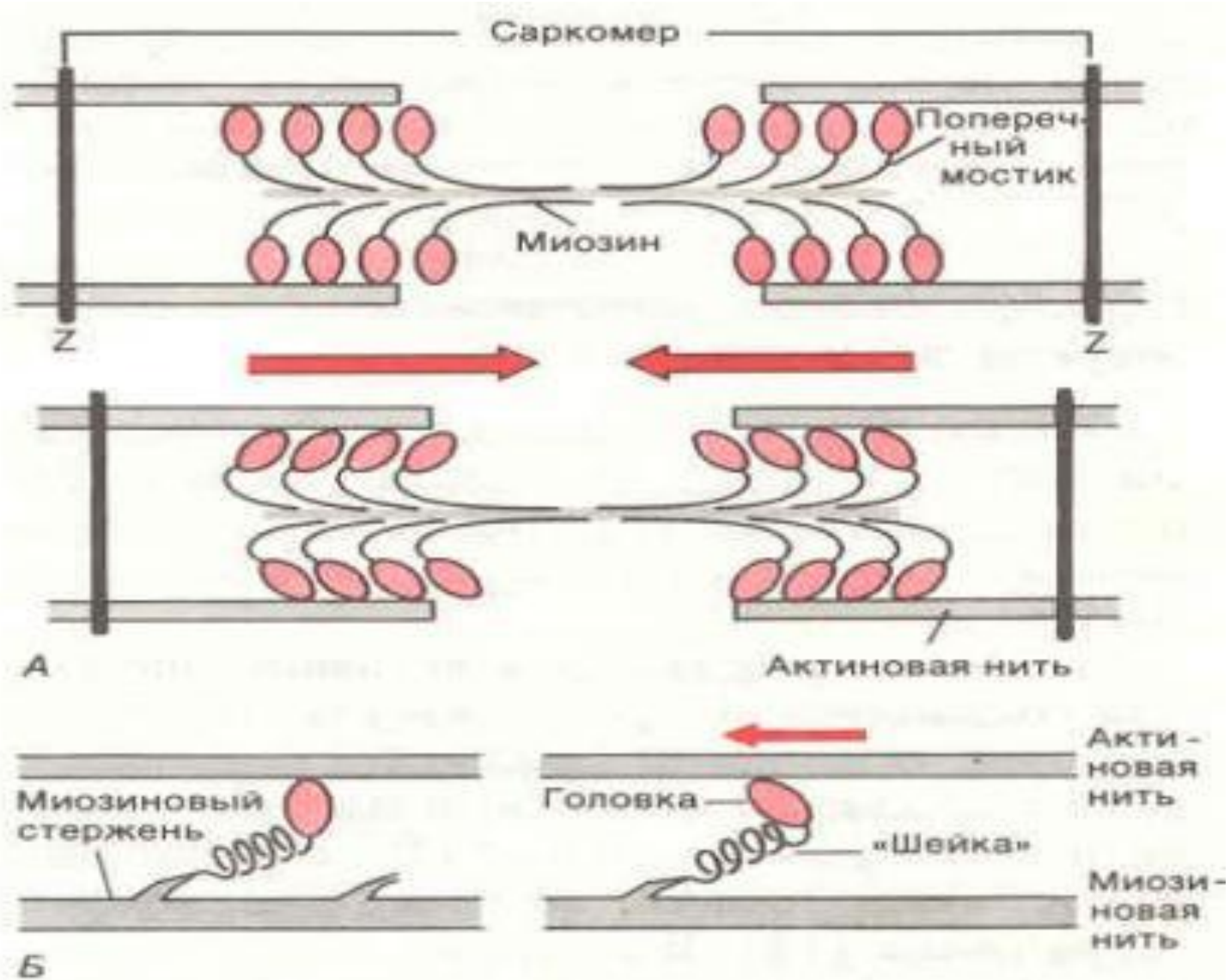


c)

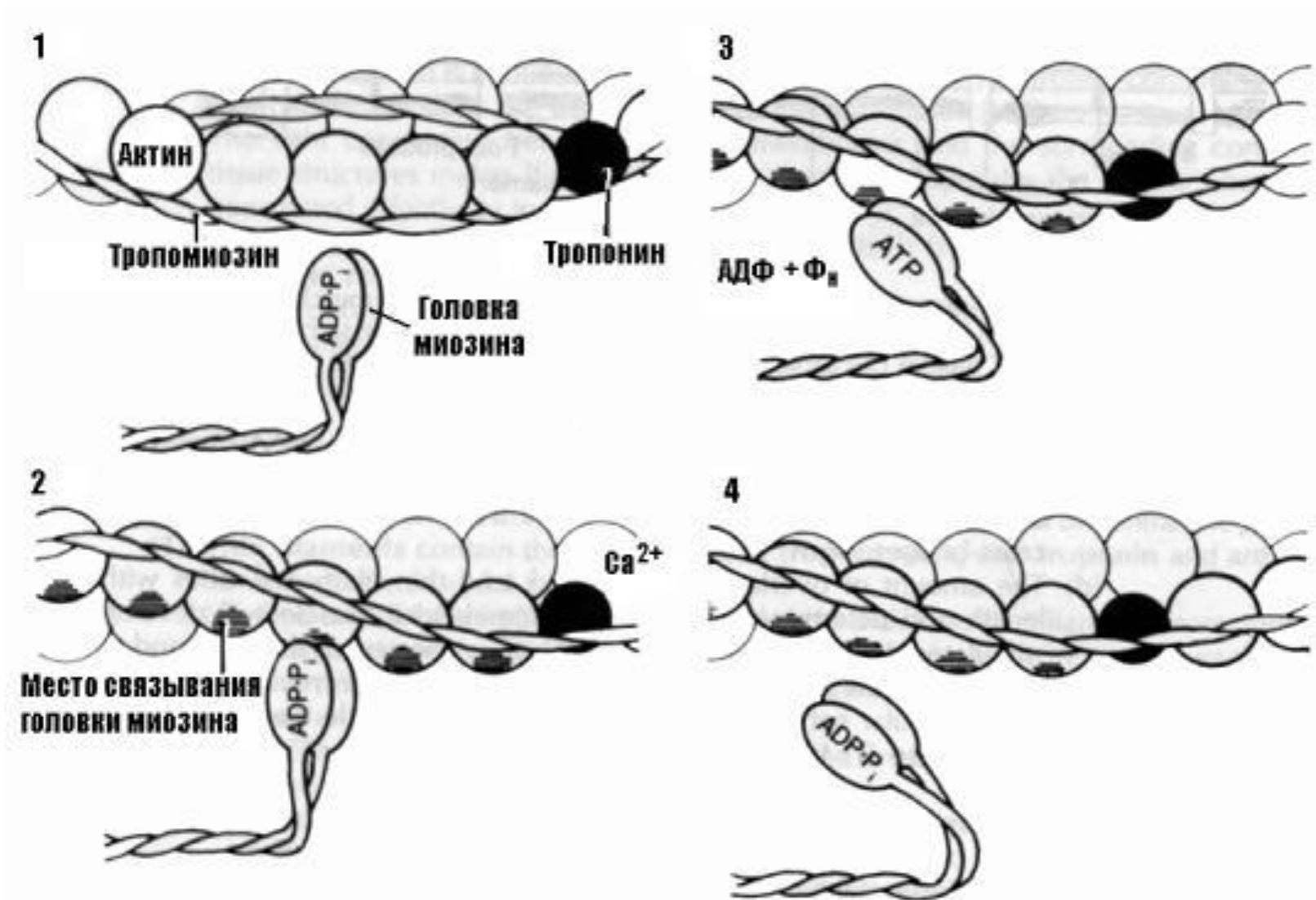
СТРОЕНИЕ МЫШЕЧНОГО ВОЛОКНА И МИОФИБРИЛЛЫ



Поперечные мостики и механизм сокращения



МЕХАНИЗМ МЫШЕЧНОГО СОКРАЩЕНИЯ



Электромеханическое сопряжение (ЭМС)

- Сокращение – результат возбуждения мембраны мышечного волокна
- Передача сигнала о сокращении от возбужденной мембраны к миофибриллам в глубине волокна – **электромеханическое сопряжение** – состоит из нескольких последовательных процессов, ключевую роль в этом играют **ионы кальция**

Строение моторной единицы

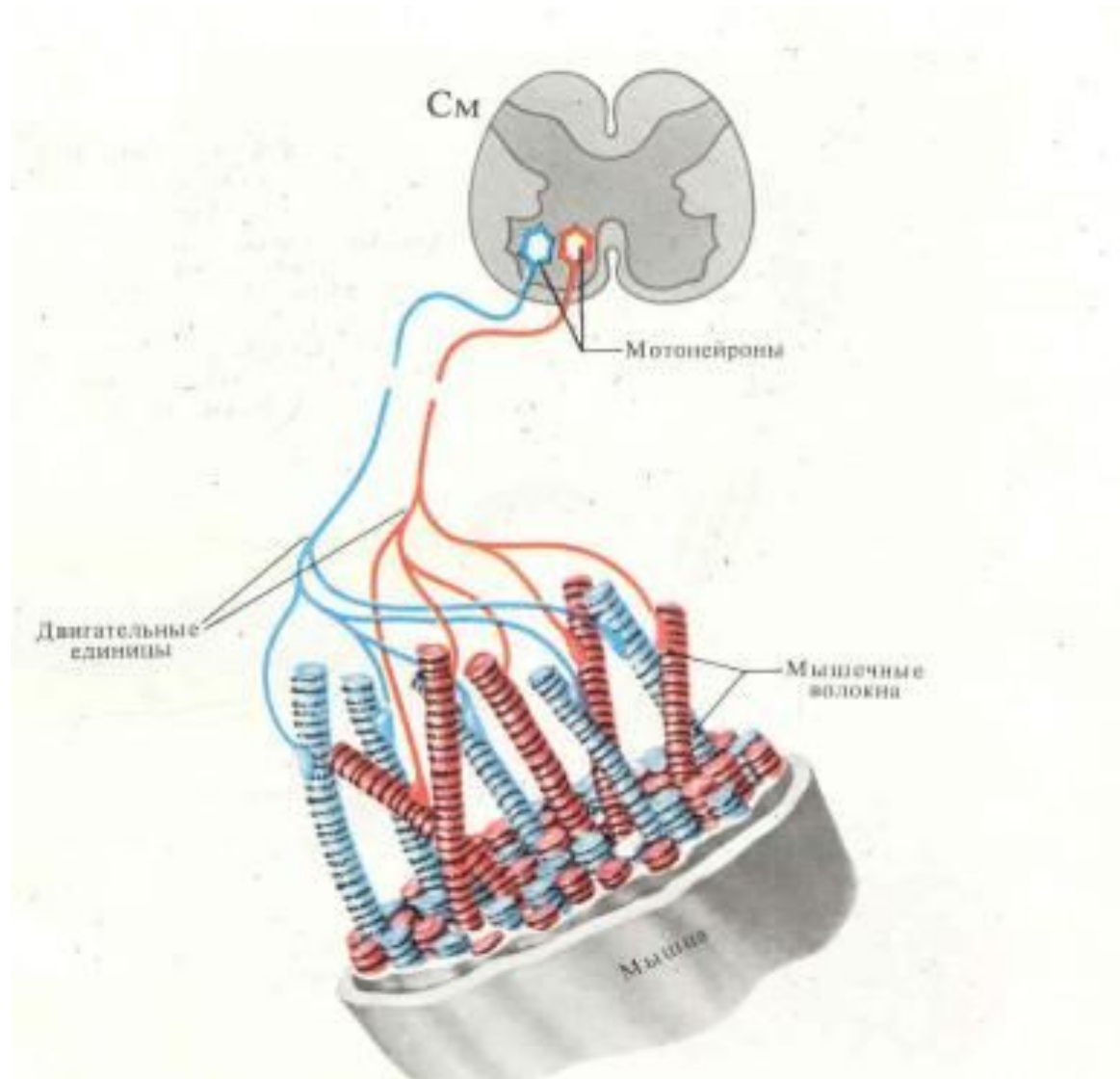
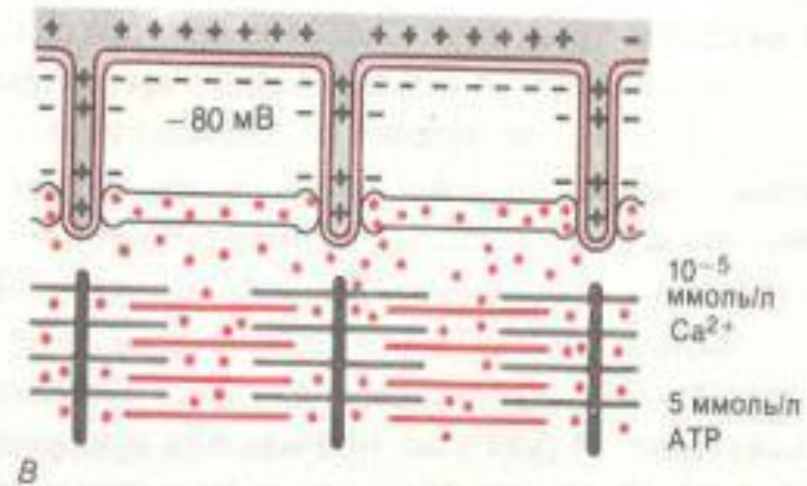
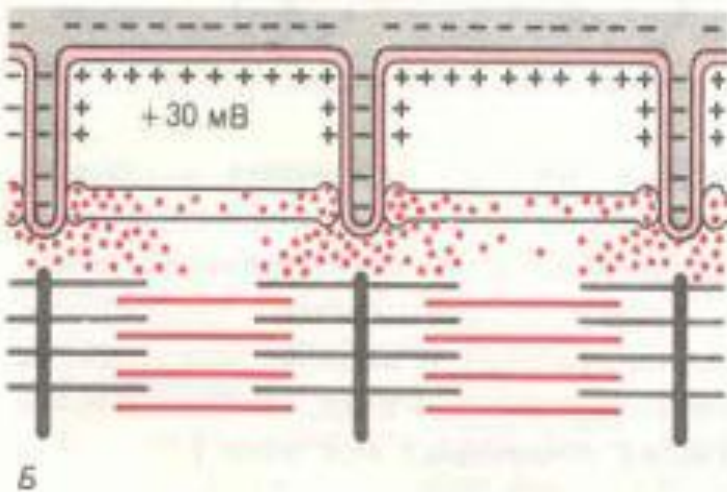
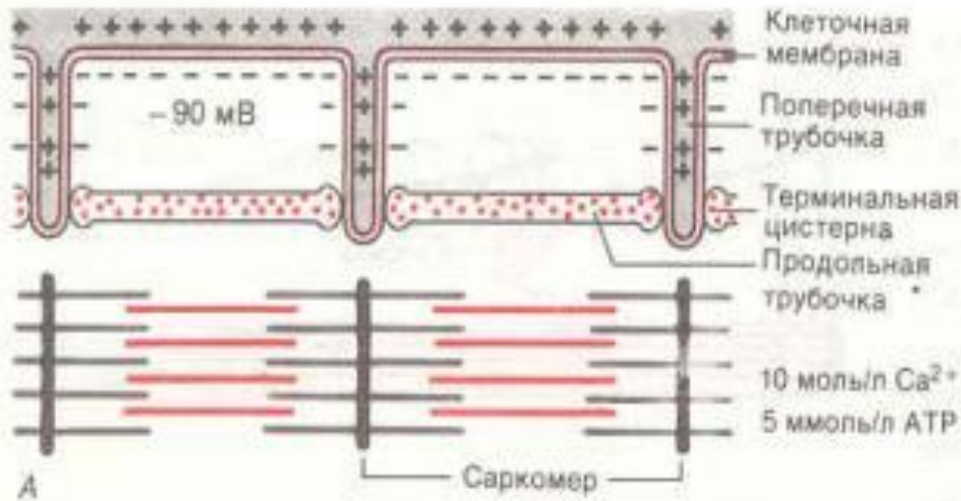


Схема электрохимического сопряжения



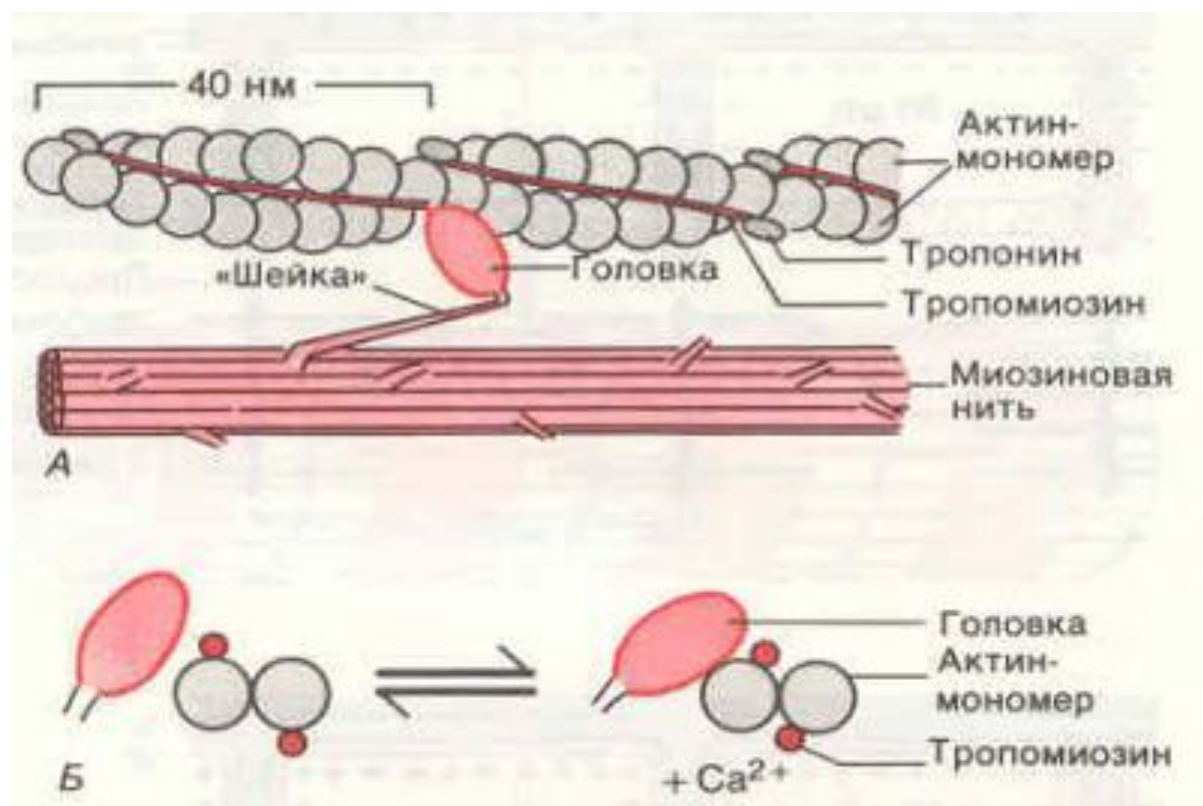


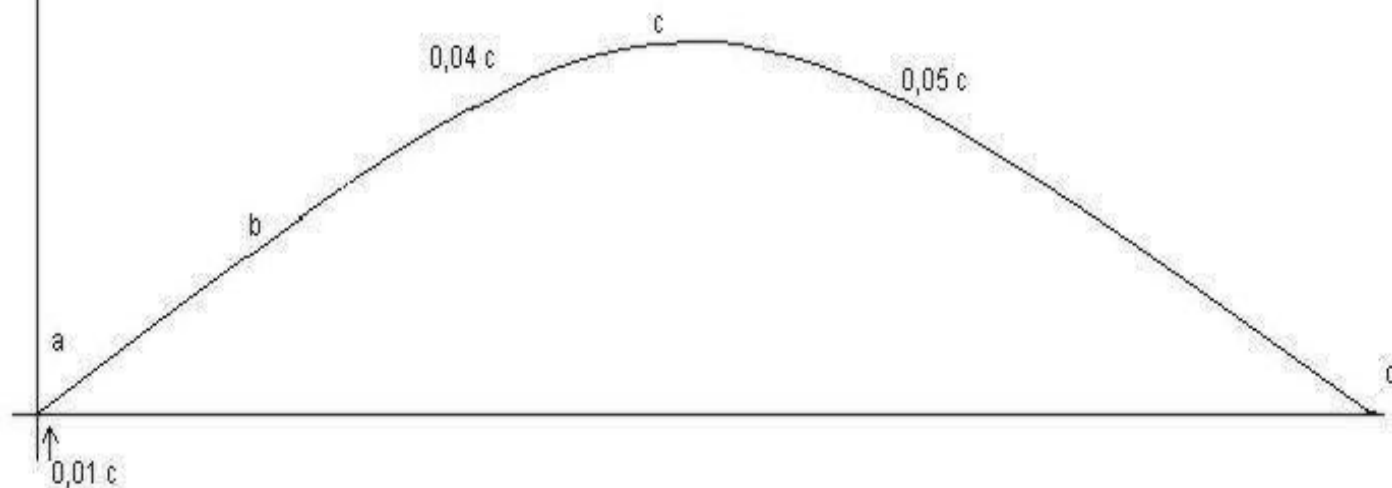
Рис. 2-4. Действие Ca^{2+} во время активации. А. Изображение актиновой и миозиновой нитей на продольном сечении. Б. Поперечное сечение волокна. Когда Ca^{2+} связывается с тропонином, тропомиозин скользит в желобке между двумя субъединицами актиновой нити, обнажая участки прикрепления поперечных мостиков [2].

Последовательность процессов при ЭМС

- 1. Раздражение.**
- 2. Возникновение ПД.**
- 3. Проведение его вдоль клеточной мембраны и вглубь волокна по трубочкам Т-систем.**
- 4. Деполяризация мембраны саркоплазматического ретикулума.**
- 5. Освобождение Ca^{++} из триад и диффузия его к миофибриллам.**
- 6. Взаимодействие Ca^{++} с тропонином и выделение энергии АТФ.**
- 7. Скольжение актиновых и миозиновых нитей.**
- 8. Сокращение мышцы.**
- 9. Понижение концентрации Ca^{++} в межфибрилярном пространстве из-за работы Са-насоса.**
- 10. Расслабление мышцы.**

Кривая одиночного сокращения икроножной мышцы лагушки

- a - момент нанесения раздражения
- b - начало сокращения
- ab - латентный период (скрытый)
- bc - фаза сокращения
- cd - фаза расслабления



Энергетика мышечного сокращения

Сокращение и расслабление мышцы – активный процесс, использование энергии АТФ:

- Возбуждение мышцы – работа Na-K насоса;
- Сокращение мышцы- разъединение поперечных мостиков и прикрепление к новым участкам
- Расслабление – для работы Са насоса

Контрактура мышц

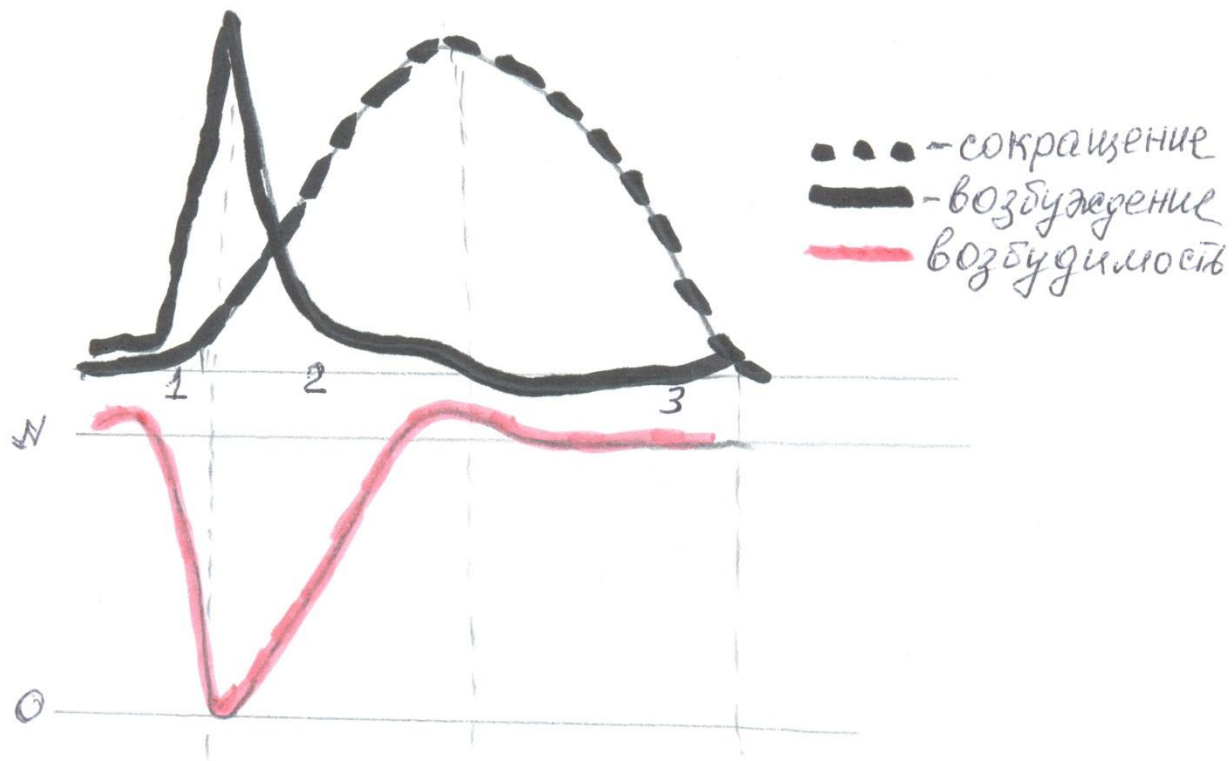
Ресинтез АТФ за счет креатинфосфата, гликолитических и окислительных процессов.

При снижении АТФ возникает состояние длительного сокращения – *контрактура мышц*

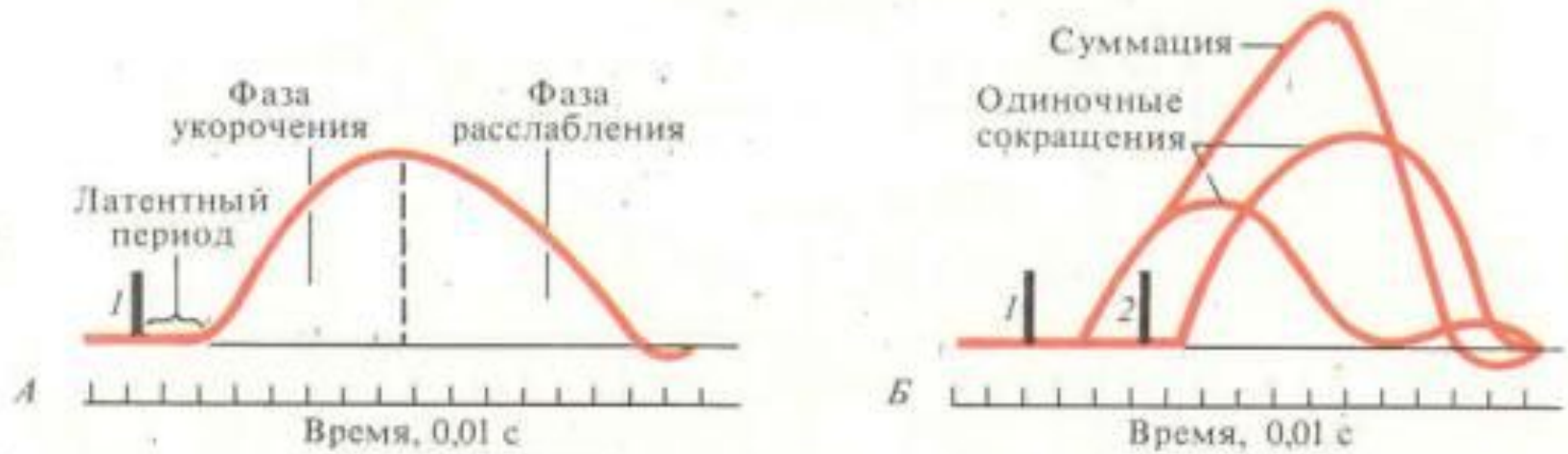
Фазы одиночного мышечного сокращения

Механические		электрические	возбудимость
Латентный период (0,01с)		Деполаризация и пик ПД	Абсолютная рефрактерность
Укорочение (0,04с.)	начальное	реполяризация	Относительная рефрактерность
	максимальное	Следовая деполяризация	Супернормальная (экзальтация)
Расслабление (0,05с)		Потенциал покоя	Исходная (нормальная)

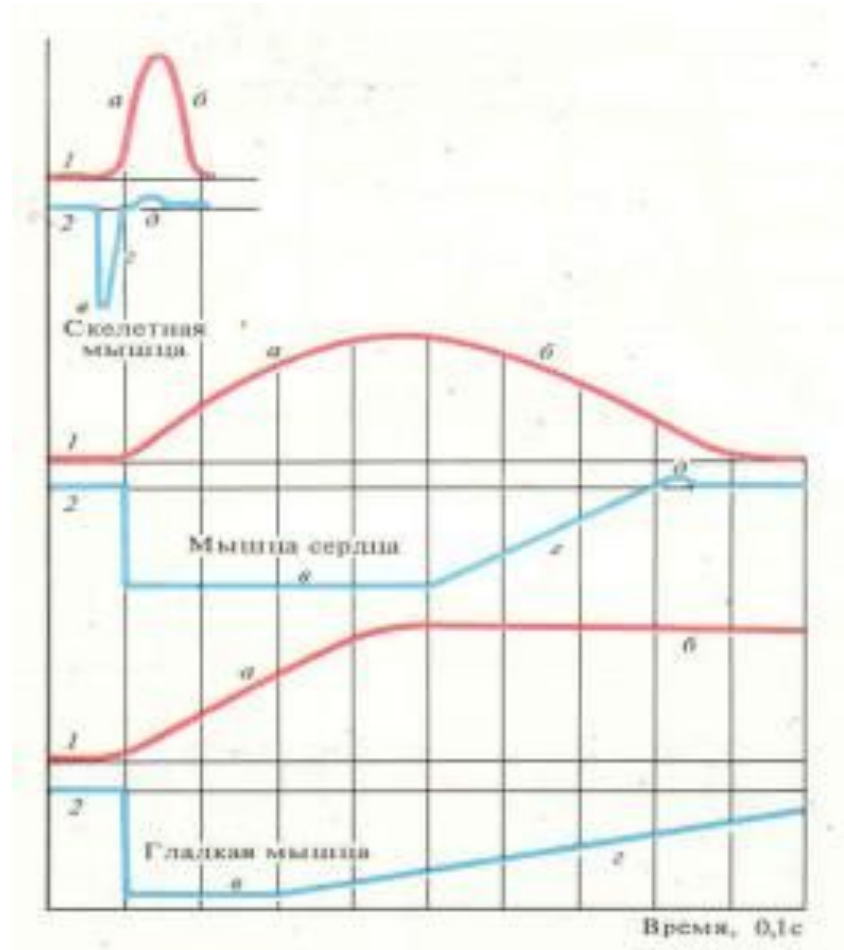
Соотношение возбуждения, сокращения и возбудимости



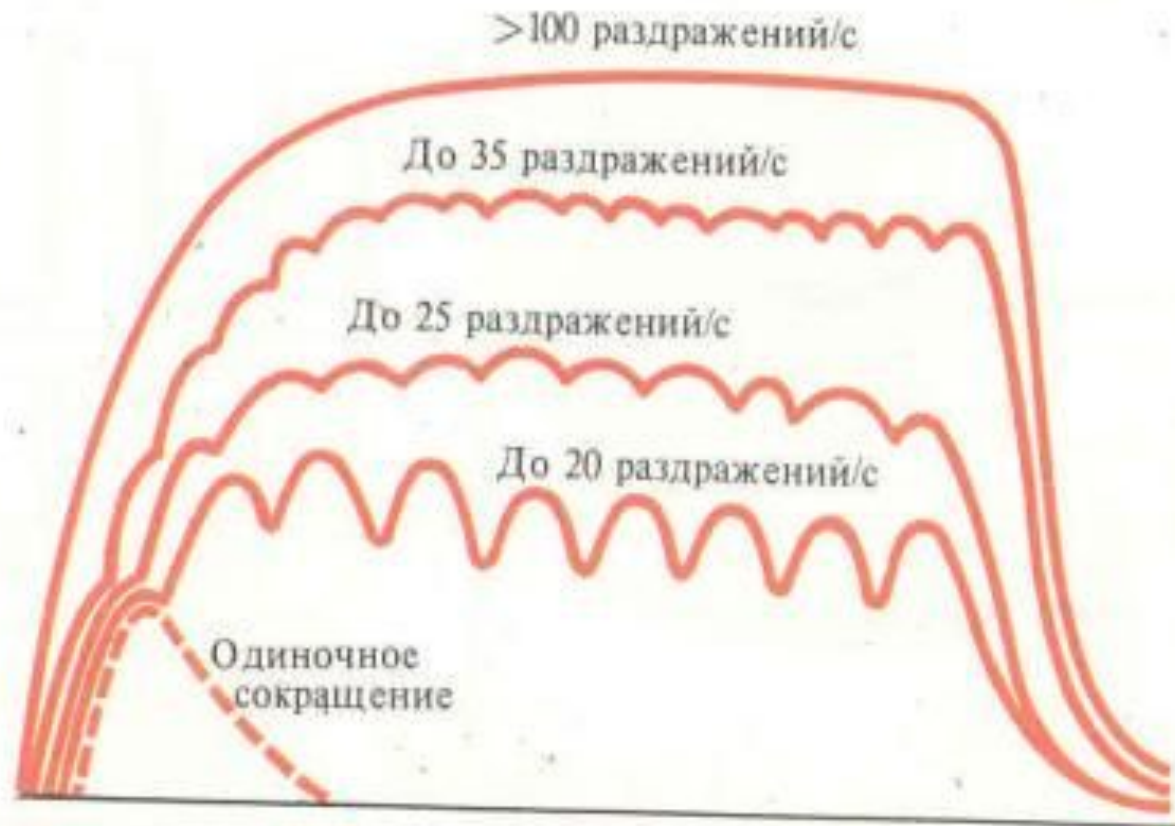
Одиночное и тетаническое сокращения



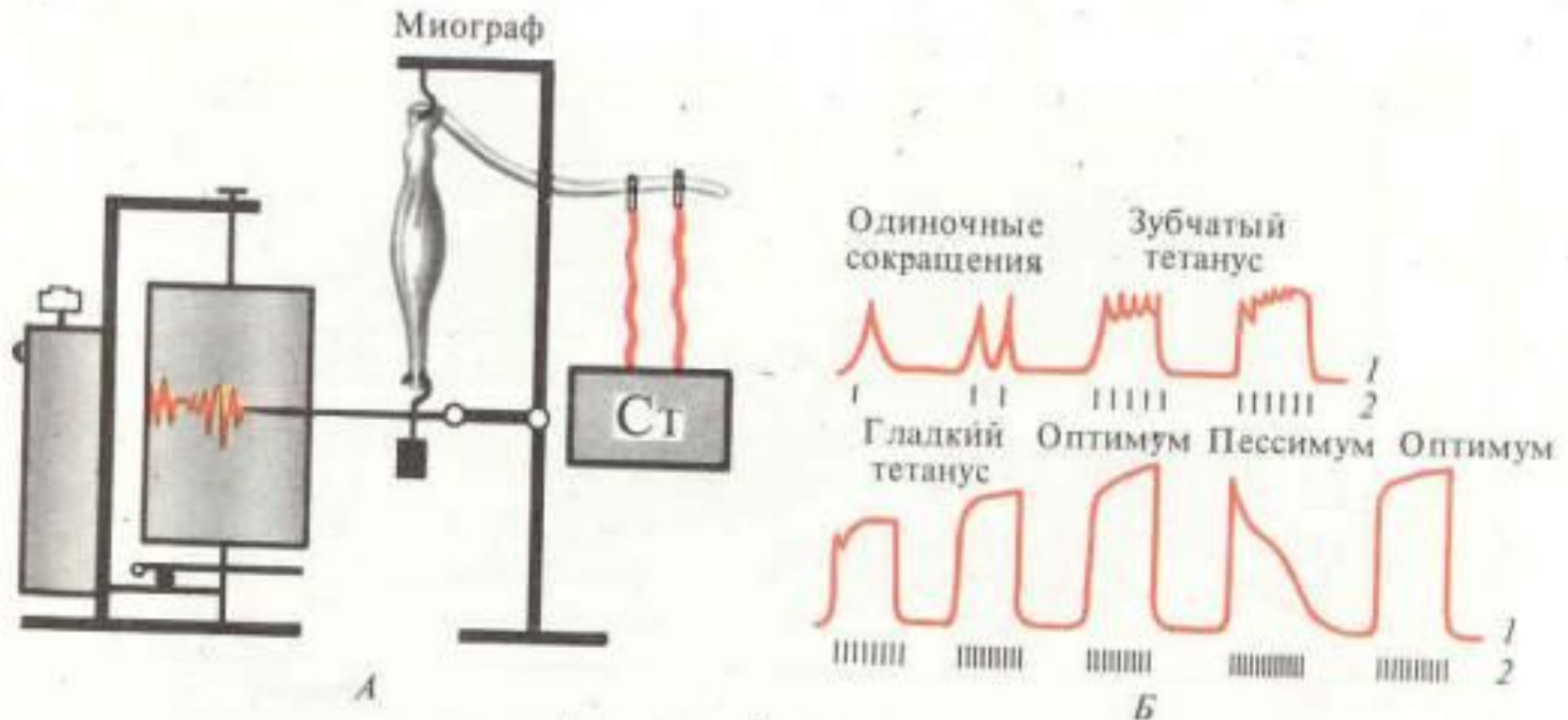
Сократимость и возбудимость разных мышц



Формирование тетануса в зависимости от частоты раздражения



Оптimum и пессимум частоты



250

Примечание. Явления пессимума и парабноза возможны в условиях эксперимента.

Парабиоз и его фазы

- Уравнительная
- Парадоксальная
- Тормозная

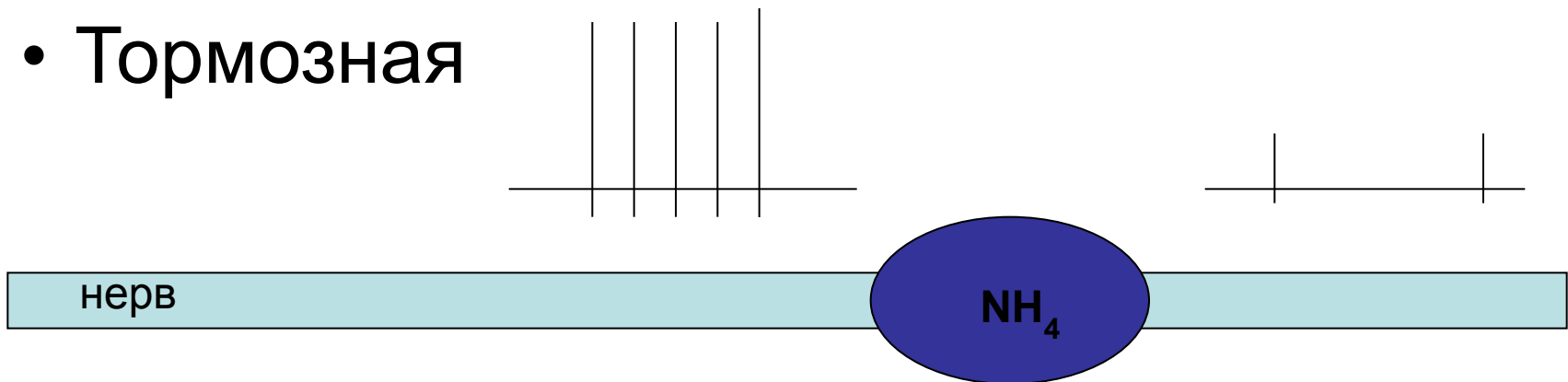
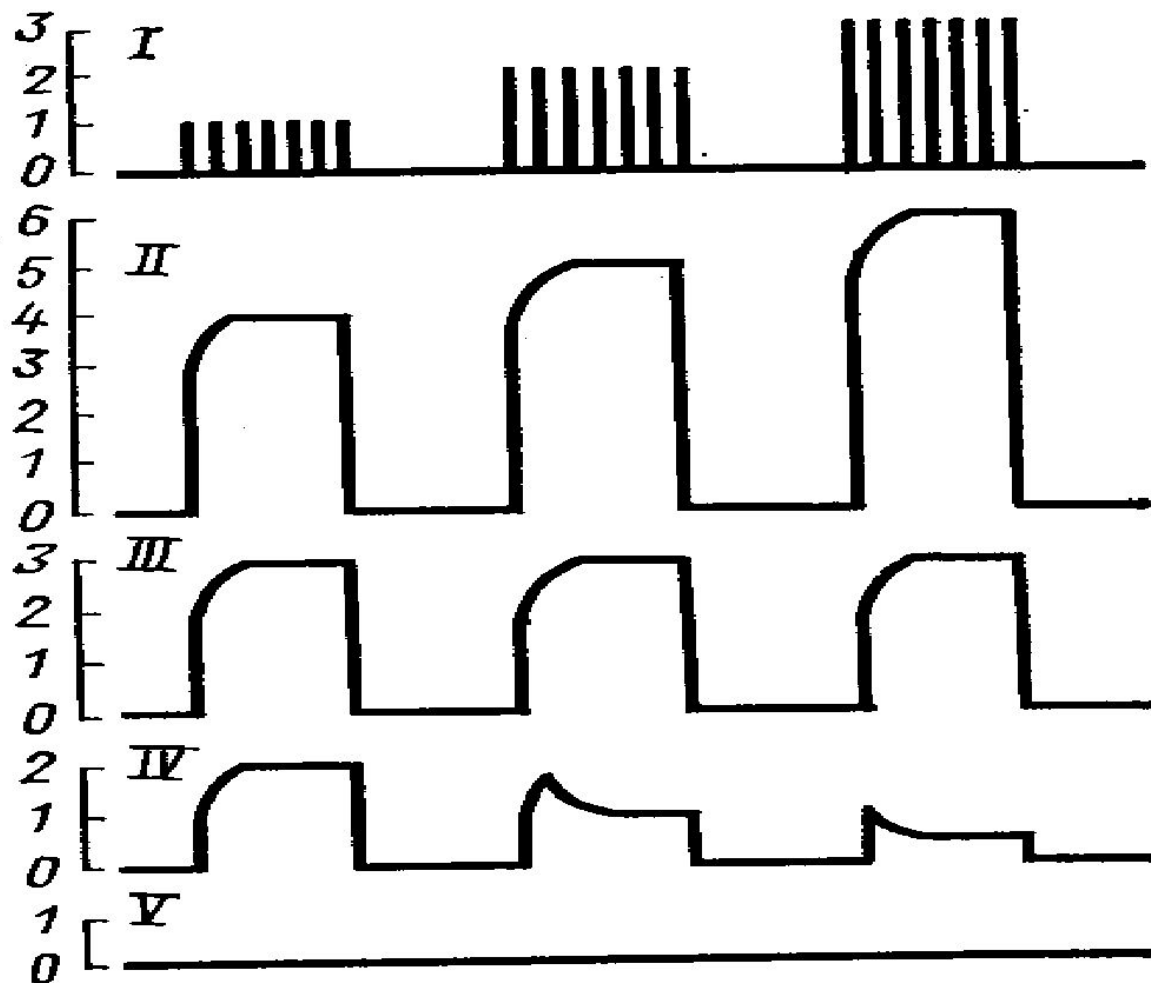


Рис. 78. Парабиоз и его фазы. *I* — раздражители разной силы и ответные реакции на них; *II* — до парабиоза; *III* — в уравнительную; *IV* — парадоксальную; *V* — тормозную фазу парабиоза



Режимы мышечных сокращений



Изотонический режим



Изометрический режим

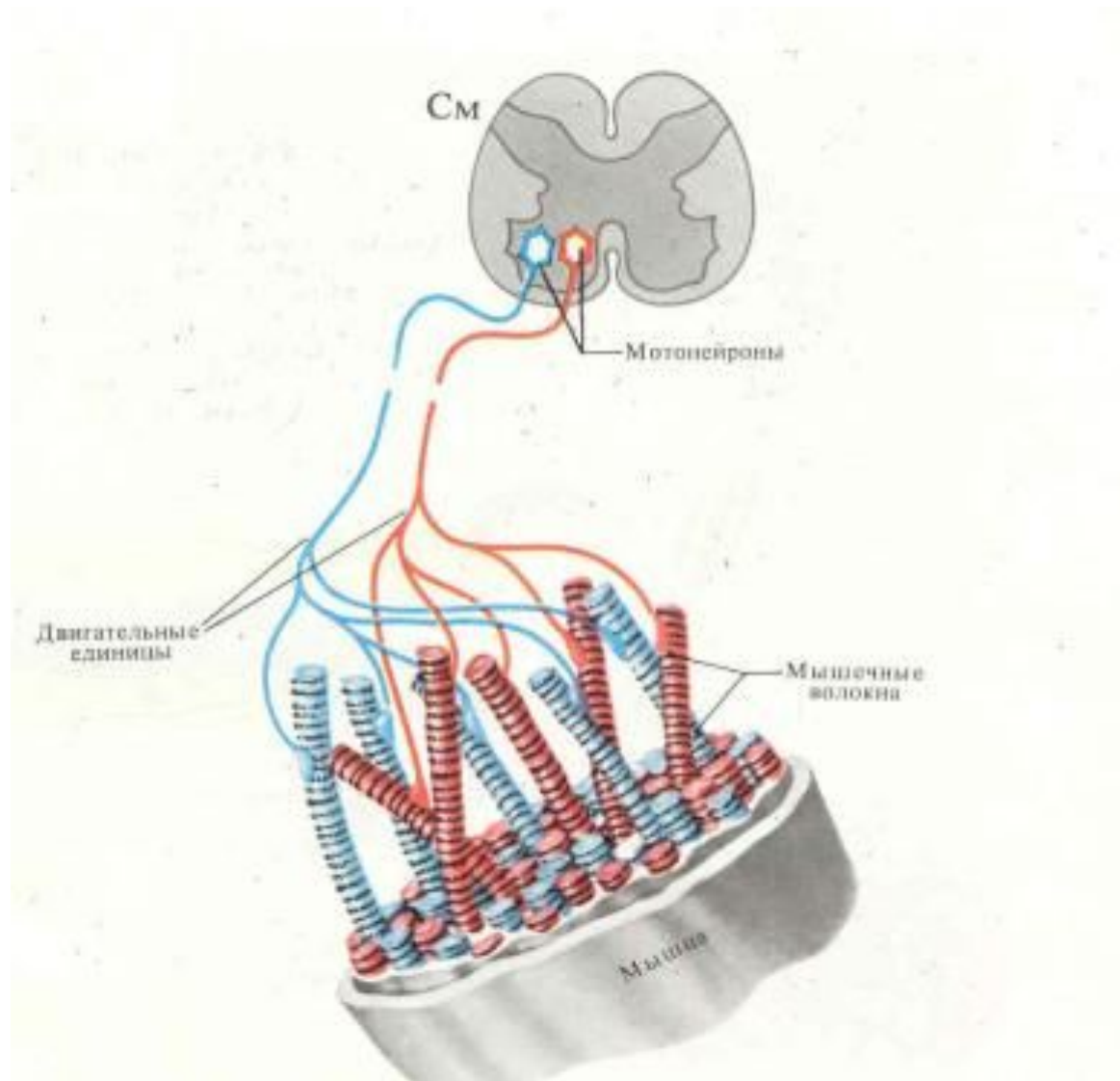


Смешанный режим

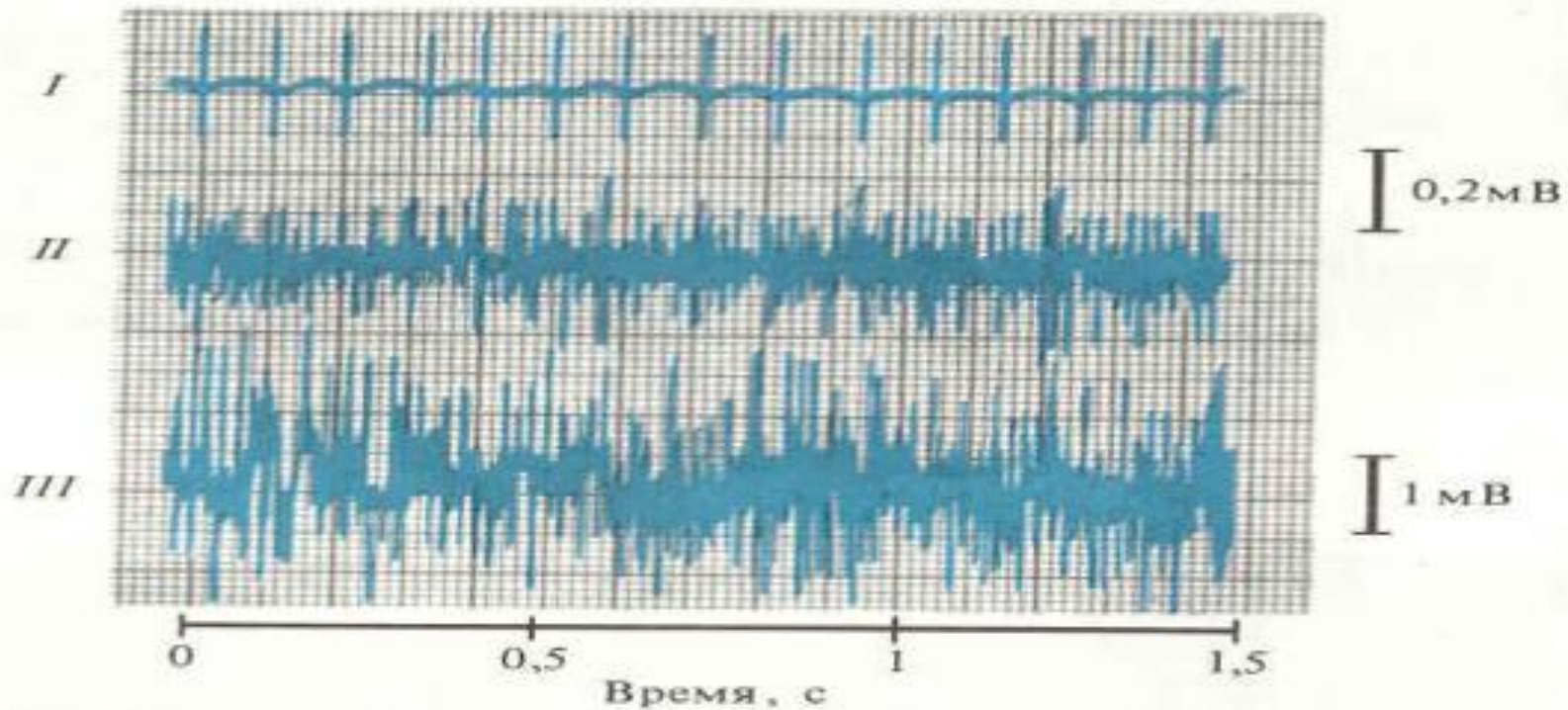
Сила мышц

- Максимальный груз, который мышца в состоянии поднять, или максимальное напряжение, которое она может развить при изометрическом сокращении.
- Зависит от физиологического поперечного сечения – сумма поперечных сечений всех её волокон, имеет значение расположение волокон (продольные, косые, перистые), количество сократительных белков (тренированность мышцы)
- Зависит от количества одновременно работающих двигательных единиц

Строение моторной единицы



ЭМГ при разной силе сокращения



Электромиограмма скелетной мышцы человека при разной силе сокращения:

I — потенциалы действия, генерируемые одной двигательной единицей, *II* — потенциалы действия, генерируемые несколькими двигательными единицами при небольшом напряжении мышцы, *III* — увеличение числа работающих двигательных единиц при нарастании напряжений

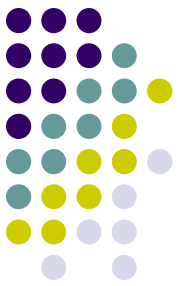
Характер функционирования двигательных единиц при разных видах нагрузки.
А — одновременное функционирование; Б — поочередное



Работа мышц

Произведение груза на величину укорочения мышцы: $A = P \times h$; работа совершается при смешанном (ауксотоническом) режиме сокращения.

Наибольшая работа совершается при средних нагрузках (правило средних нагрузок)



Виды работы

- Динамическая – работа при перемещении груза
- Статическая – при удержании груза
- Уступающая – при опускании груза
- Локальная – в работе участвует $<1/3$ мышц
- Региональная – участвует до $2/3$ мышц
- Общая – выполняется более $2/3$ мышц

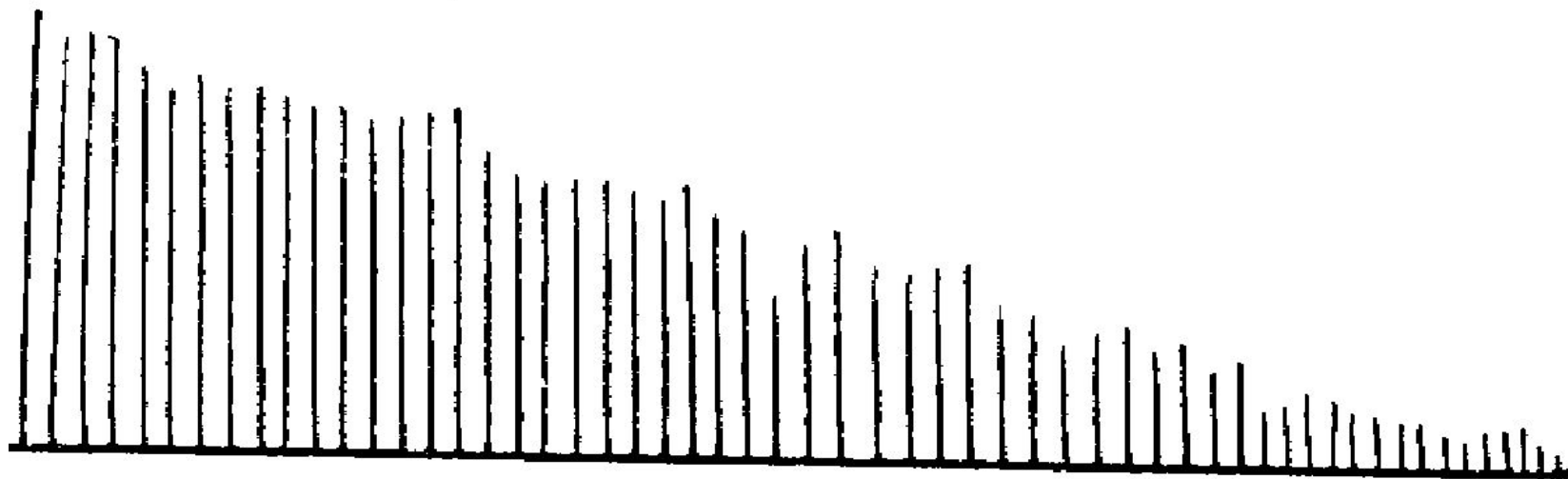
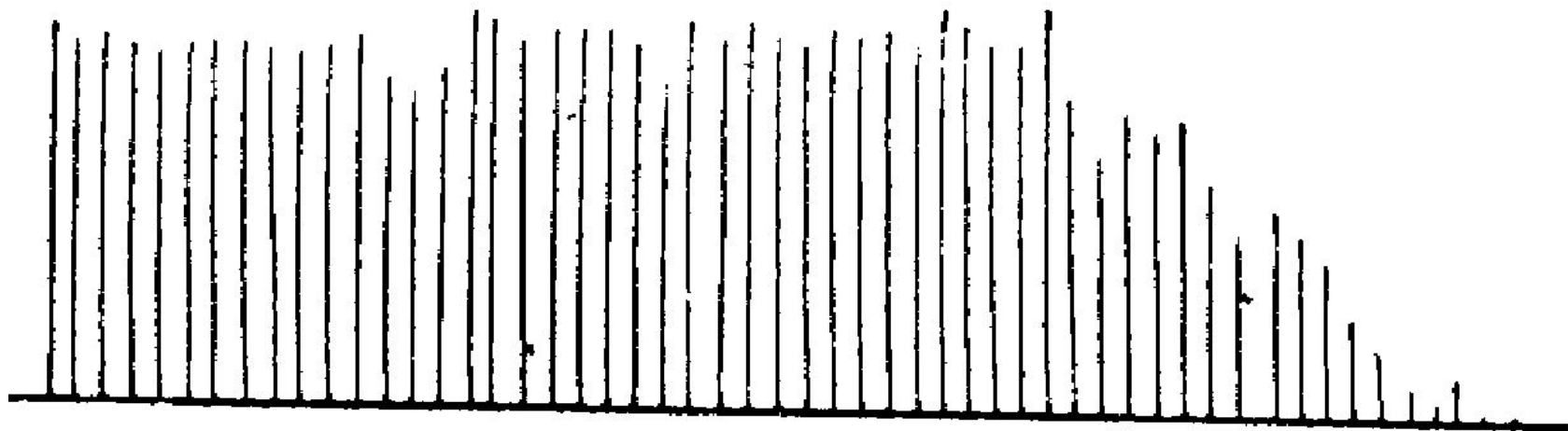
Утомление мышц

Временное понижение работоспособности мышцы, наступающее в результате работы и исчезающее после отдыха.

Признаки утомления мышцы:

- Снижение амплитуды сокращения
- Увеличение латентного периода
- Удлинение периода расслабления

Эргограммы утомления



Причины утомления мышцы

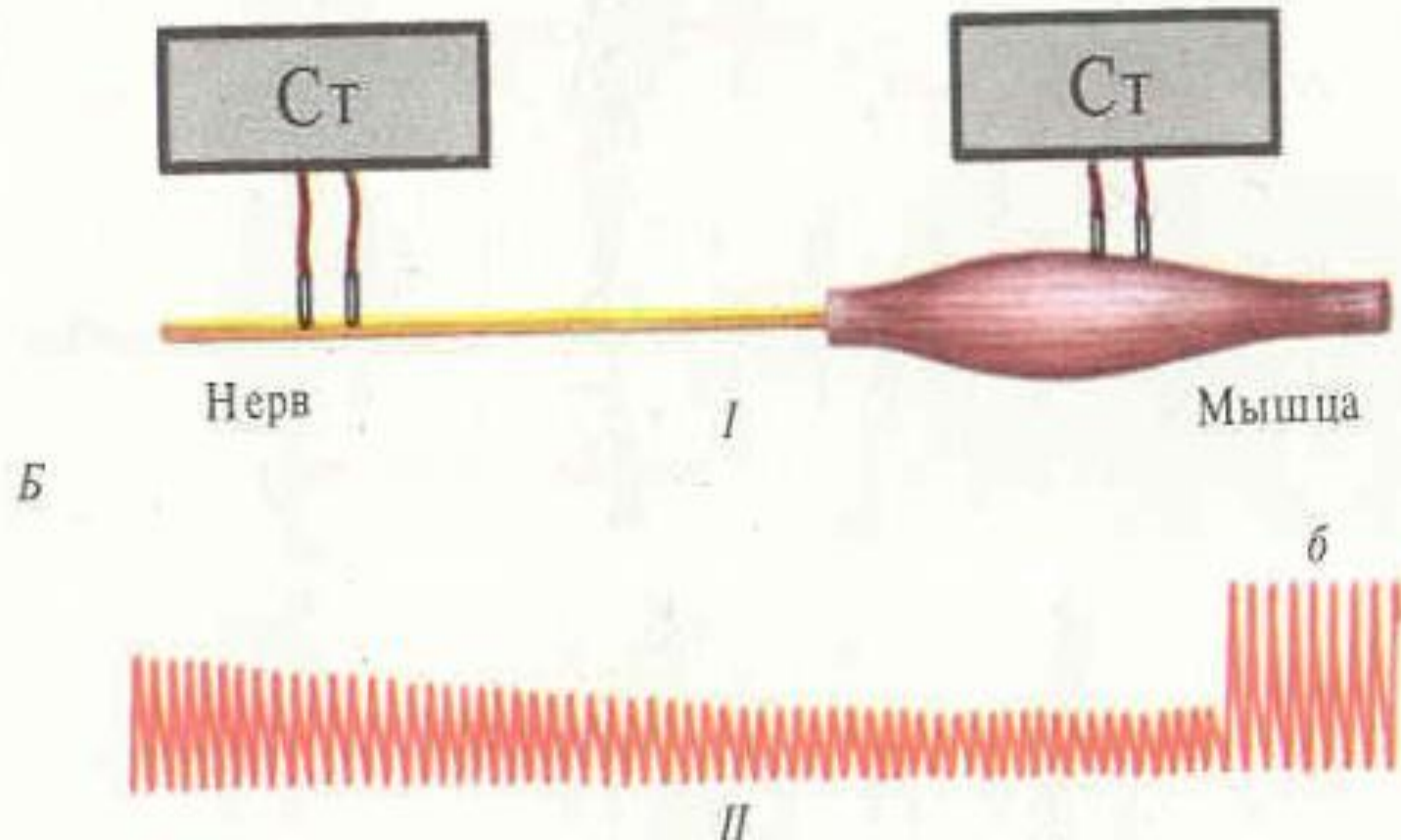
- **Местные :**

1. Накопление продуктов обмена и их диффузия в межклеточное вещество
2. Истощение энергетических запасов

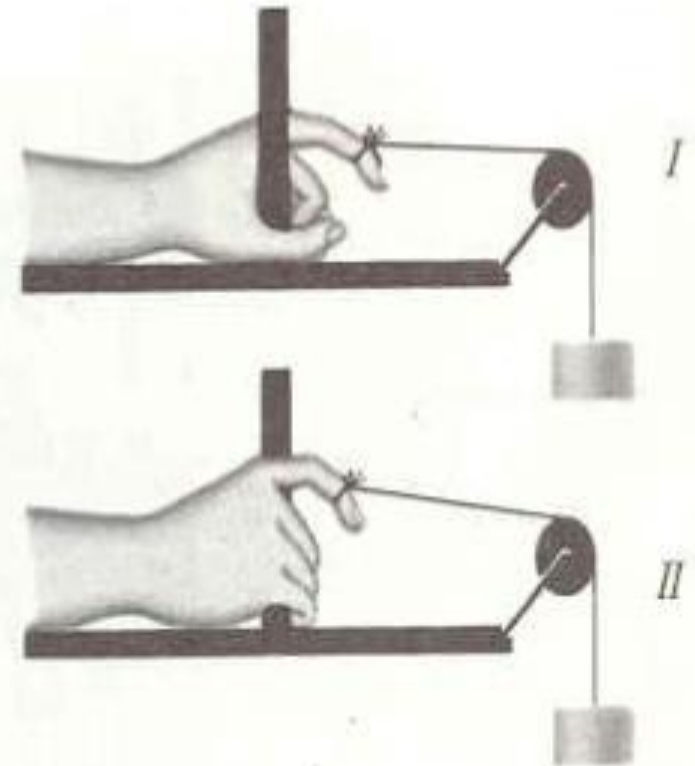
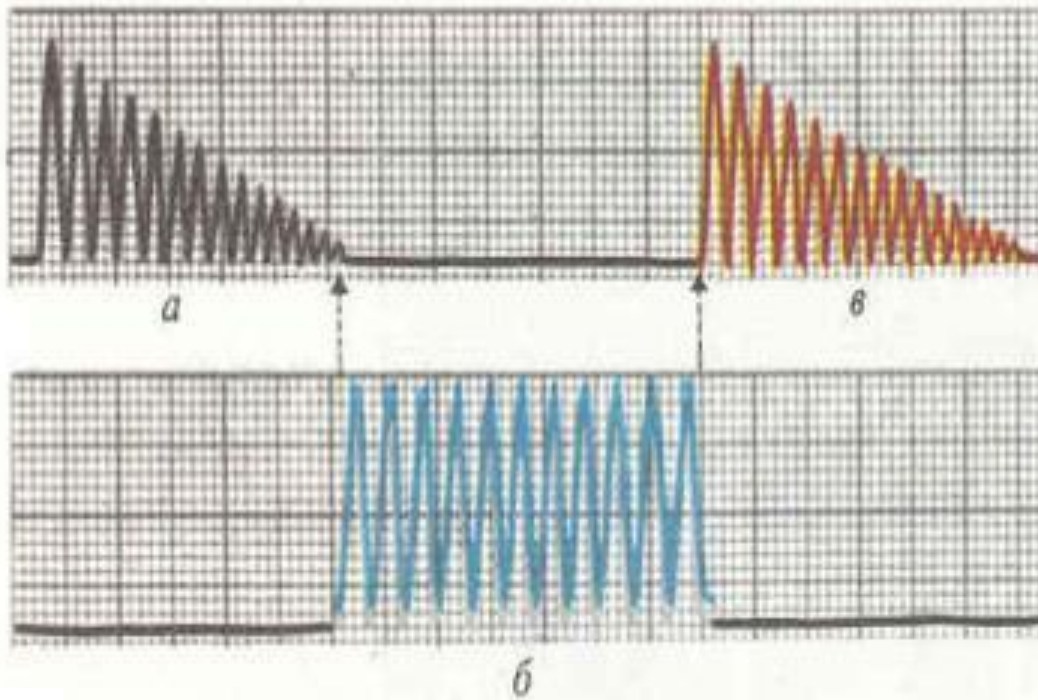
- **Центральные :**

1. Утомление двигательных центров (центральных синапсов)
2. Утомление нервно-мышечных синапсов

Локализация утомления в нервно-мышечном препарате



Работа и утомление



Физиологические особенности гладких мышц

- Тоническое сокращение- длительное стойкое сокращение при малых затратах энергии
- Наличие плотных контактов (нексусы) между клетками- беспрепятственное проведение возбуждения от одной группы клеток к другой
- Способность к автоматии – спонтанная генерация ПД (самовозбуждение), обусловленная медленной следовой деполяризацией
- Пластичность – способность сохранять приданную растяжением длину без изменения напряжения
- В формировании ПД участвуют медленные кальциевые каналы: медленное нарастание и снижение ПД.