



ТАМБОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Г.Р. ДЕРЖАВИНА

Лекция на тему: ФИЗИОЛОГИЯ ВОЗБУДИМЫХ ТКАНЕЙ

Шутова С.В., к.б.н.,
доцент

Тамбов 2019

1. ОБЩАЯ ФИЗИОЛОГИЯ ВОЗБУДИМЫХ ТКАНЕЙ

1.1 Раздражимость и возбудимость живых систем

1.2 «Животное электричество». опыты Гальвани и Матеучи

1.3 Мембранный потенциал покоя. Метод регистрации, механизмы происхождения и поддержания

1.4 Потенциал действия. Электрографические, электрохимические и функциональные проявления

1.5. Парабизм. Оптимум и пессимум раздражения

2. НЕРВНОЕ ВОЛОКНО

2.1. Понятие и классификация нервных волокон

2.2 Свойства нервных волокон

2.3 Механизмы проведения возбуждения

3. СИНАПС

3.1 Классификация синапсов

3.2 Этапы и механизмы синаптической передачи в химических синапсах

3.3 Свойства синапсов

4. СЕНСОРНЫЕ РЕЦЕПТОРЫ

4.1 Виды и свойства рецепторов

4.2 Кодирование свойств раздражителей в рецепторах

4.3 Понятие о рецептивном поле и рефлексогенных зонах

5. ЖЕЛЕЗА

5.1 Виды желез

5.2 Секреторный цикл

6. МЫШЦА

6.1 Виды и основные функции мышц

6.2 Скелетные мышцы

6.2.1 Иннервация скелетных мышц

6.2.2 Классификация двигательных единиц

6.2.3 Строение скелетной мышцы.

6.2.4 Механизм сокращения мышечного волокна

6.2.5 Механика мышцы. Физические свойства и режимы мышечных сокращений

6.2.6. Энергетика мышцы. Системы восстановления АТФ, коэффициент полезного действия и тепловой выход мышцы

6.3 Гладкие мышцы

6.3.1 Расположение и строение гладких мышц

6.3.2 Функциональные особенности гладких мышц

6.4 Кардиомиоциты позвоночных

1. ОБЩАЯ ФИЗИОЛОГИЯ ВОЗБУДИМЫХ ТКАНЕЙ

1.1 Раздражимость и возбудимость живых систем

СОСТОЯНИЕ СИСТЕМЫ



Состояние покоя - при отсутствии специальных раздражающих воздействий.



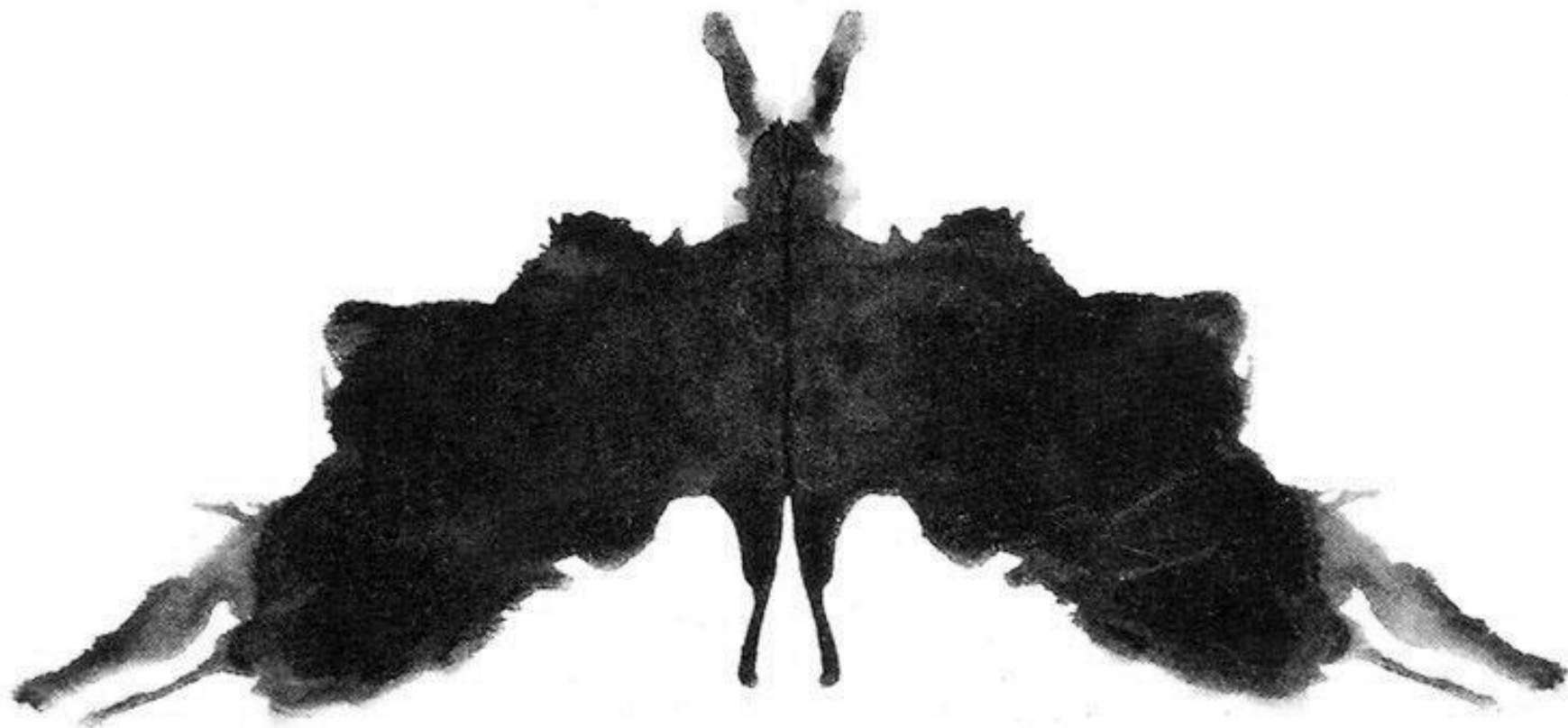
Активное состояние - при изменениях внешней или внутренней среды (т.е. при воздействии *раздражителей*).

Способность всех живых систем реагировать на раздражители изменением своих свойств (обмен веществ и др.) называют **раздражимостью**.



Реакция – изменение (усиление или ослабление) деятельности живой системы в ответ на раздражение.





Способность биосистемы отвечать на раздражение активной специфической реакцией называется **возбудимостью**.

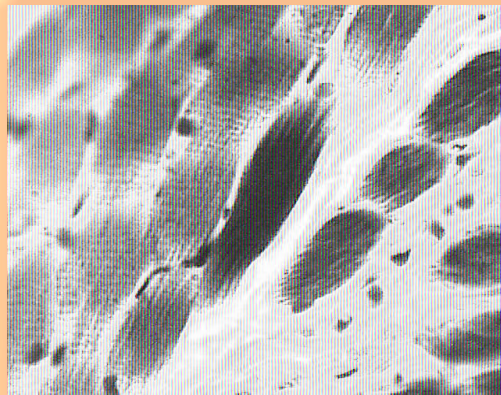
Клетки, способные к возбуждению называют **возбудимыми**.



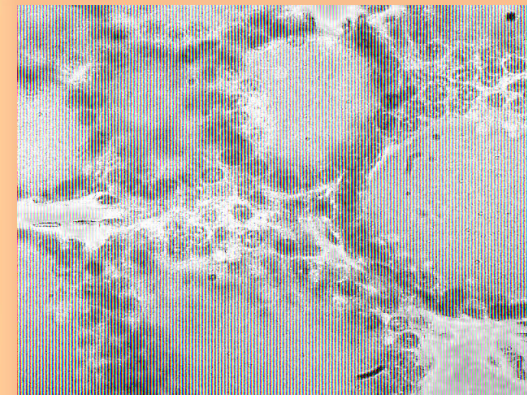
ВОЗБУДИМЫЕ КЛЕТКИ



нервные



мышечные

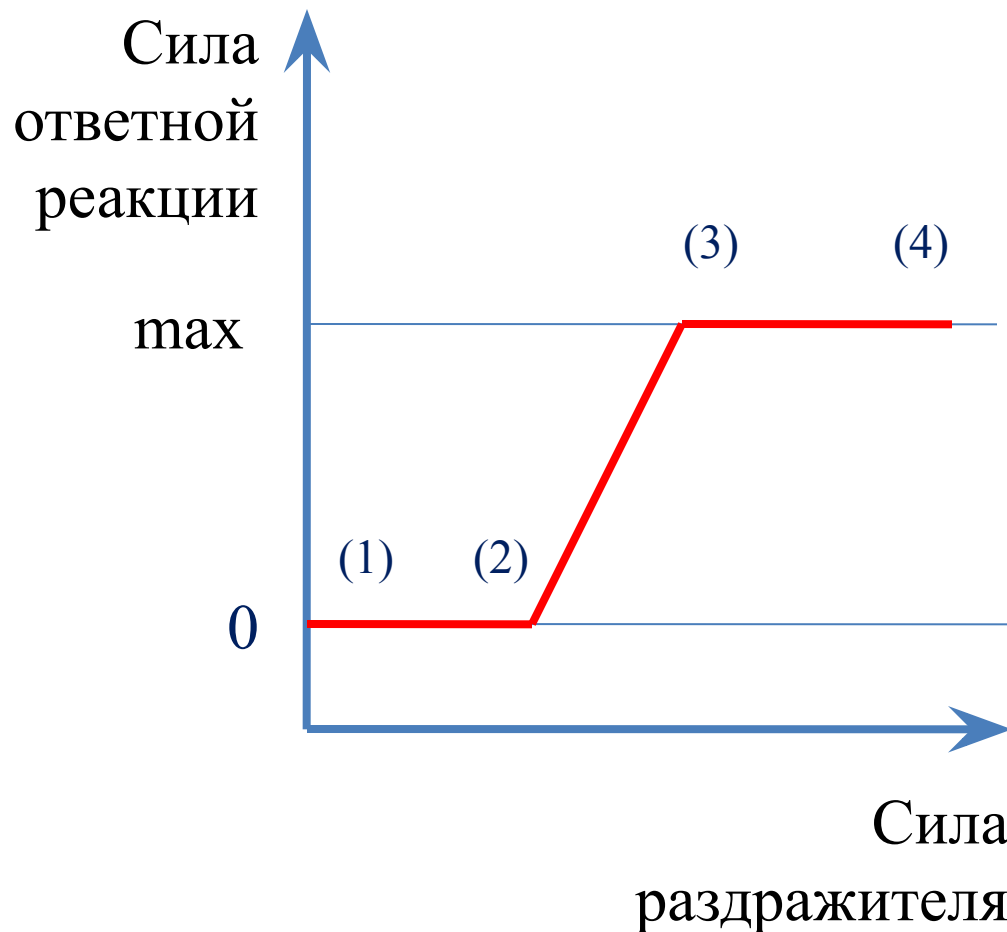


секреторные



Классификация раздражителей

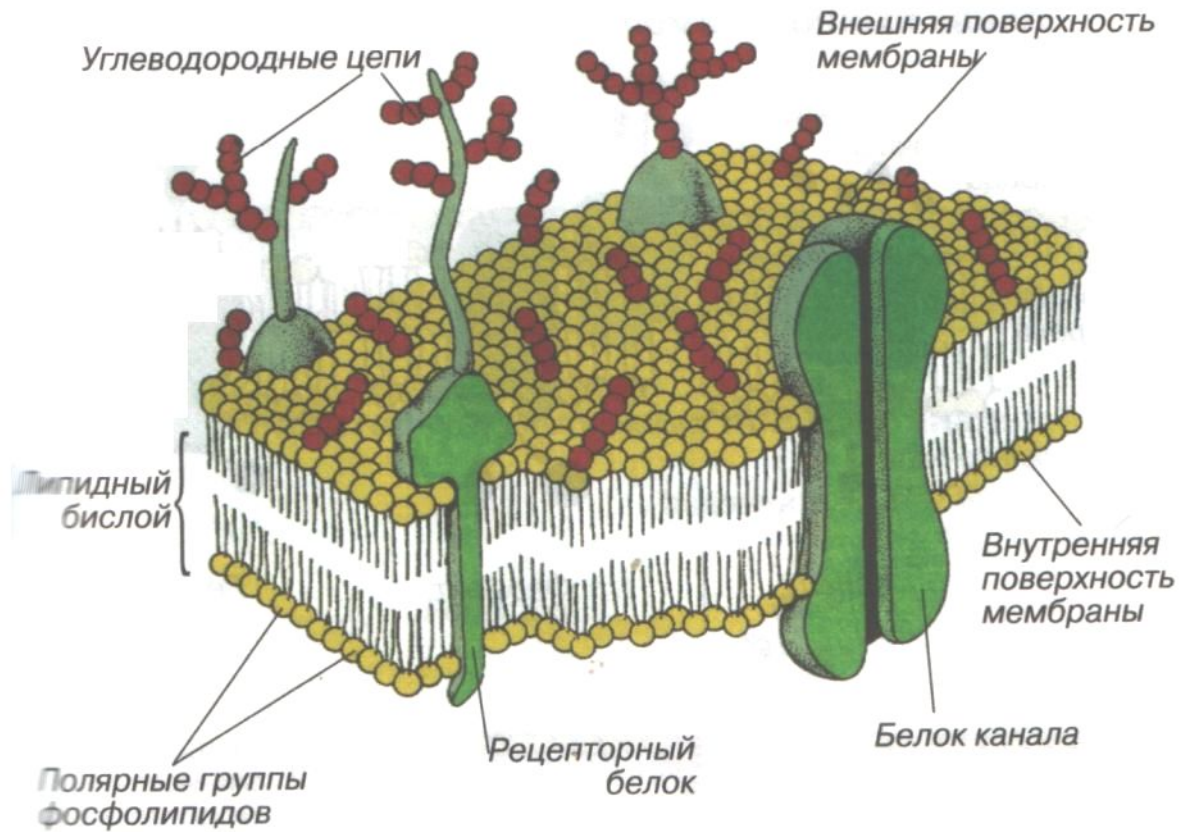
1. По биологической значимости - адекватные и неадекватные.
2. По качественному признаку - физические (температурные, звуковые, световые, электрические, механические и др.) и химические раздражители.
3. По количественному признаку - подпороговые (1-2), пороговые (2), субмаксимальные (2-3), максимальные (3) и супермаксимальные (3-4).



Количественная характеристика раздражителей

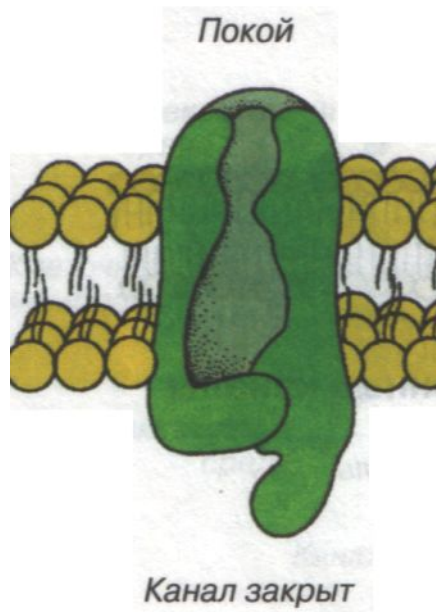
подпороговые (1-2),
 пороговые (2),
 сверхпороговые (2-3),
 максимальные (3)
 сверхмаксимальные (3-4).

Структура мембраны возбудимых клеток

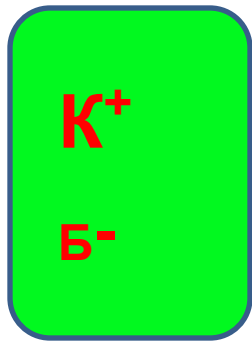




Белок-канал



Различия состава внутри- и внеклеточной жидкостей



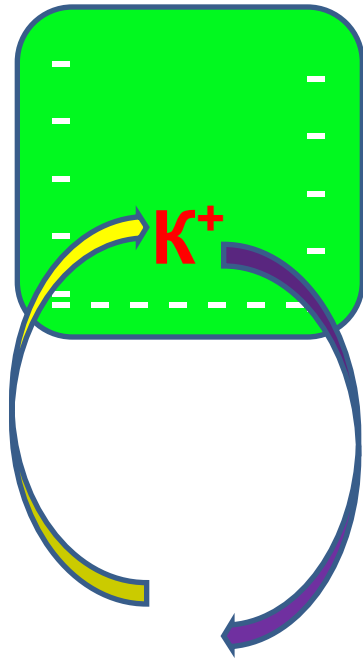
Ионы	Внутриклеточная концентрация	Внеклеточная концентрация
Na^+	12 ммоль * л ⁻¹	<u>145 ммоль * л⁻¹</u>
K^+	<u>155 ммоль * л⁻¹</u>	4 ммоль * л ⁻¹
Ca^+	10^{-8} - 10^{-7} ммоль * л ⁻¹	2 ммоль * л ⁻¹
Cl^-	4 ммоль * л ⁻¹	<u>120 ммоль * л⁻¹</u>
Белки	<u>155 ммоль * л⁻¹</u>	Прочие анионы
-		5 ммоль * л ⁻¹



Избирательная проницаемость – это способность мембраны пропускать одни вещества, и не пропускать другие.



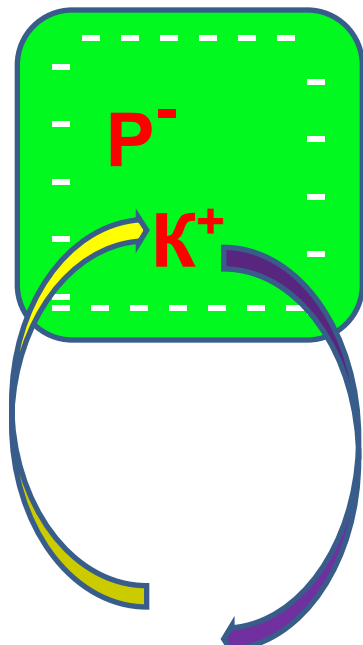
Электрохимический градиент - это движущая сила потока частиц, которая является **электрического градиента** и **химического градиента**.



VIDEO: Gradients



Электрoхимический градиент иона - это движущая сила потока ионов, которая является комбинацией мембранного потенциала (**электрический градиент**) и градиента концентрации ионов (**химический градиент**).



Cl⁻

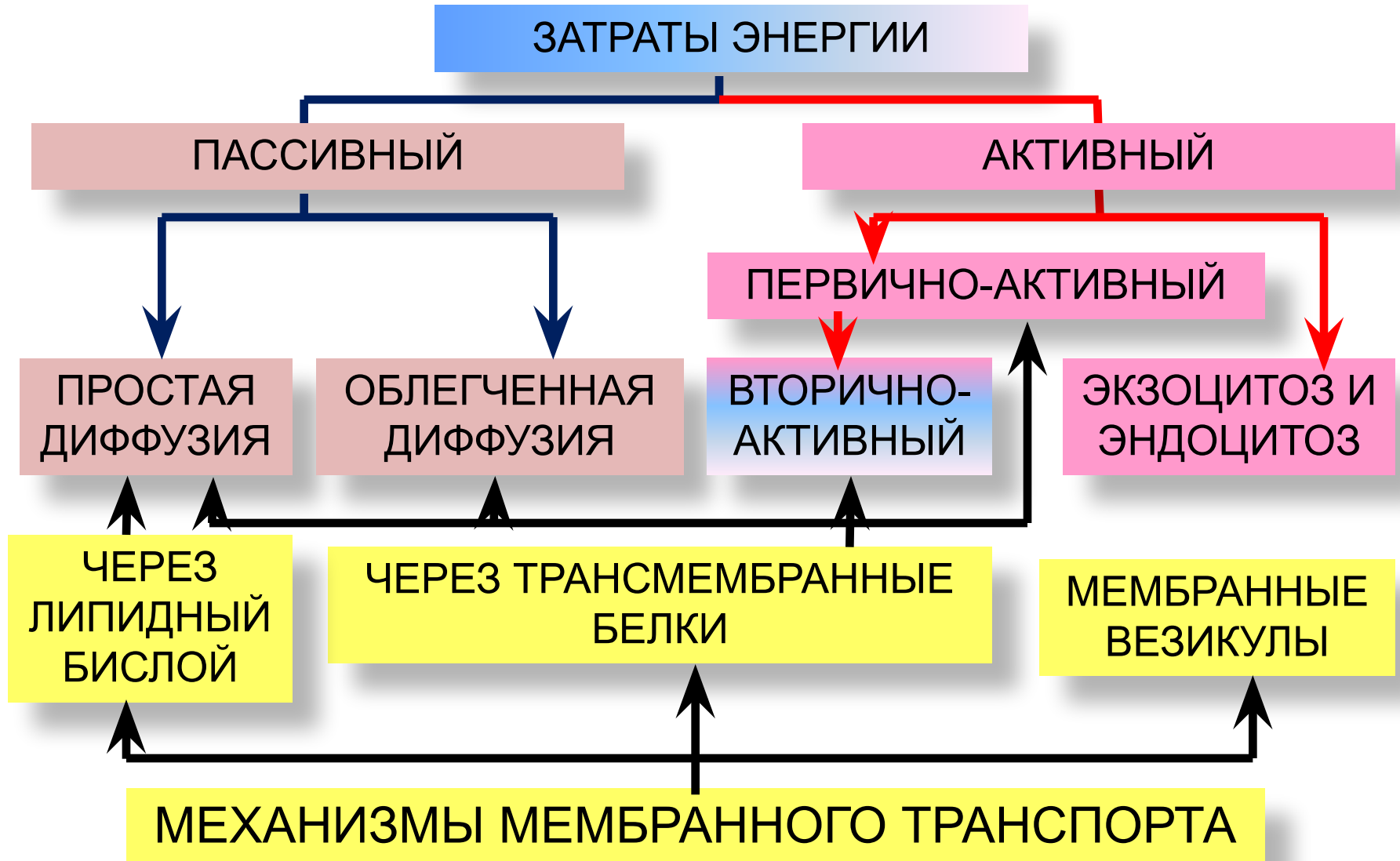
Na⁺

Ca²⁺

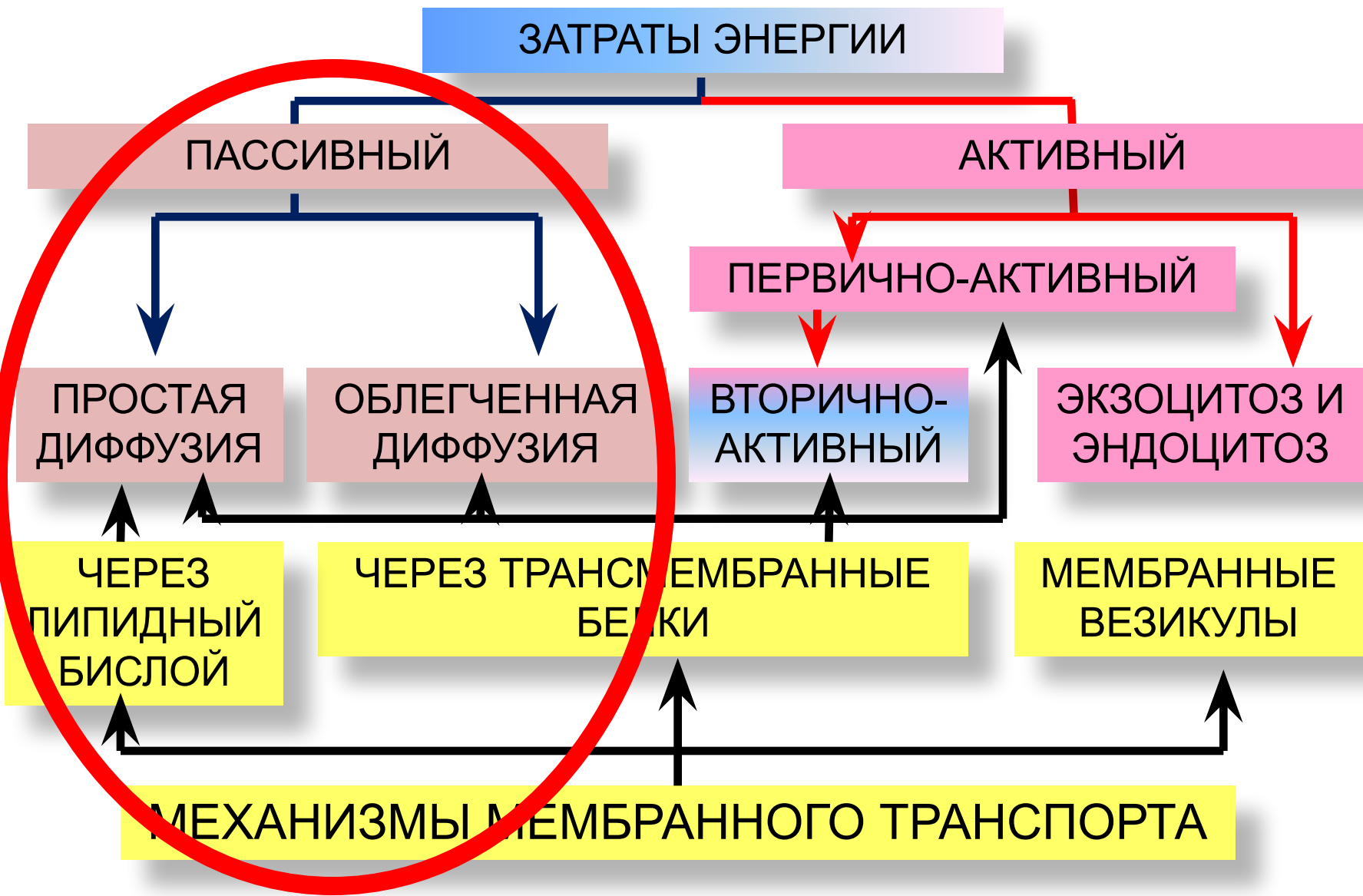
Ионы	Химический градиент	Электрический градиент
Na ⁺	в клетку	в клетку
K ⁺	из клетки	в клетку
Ca ⁺	в клетку	в клетку
Cl ⁻	в клетку	из клетки



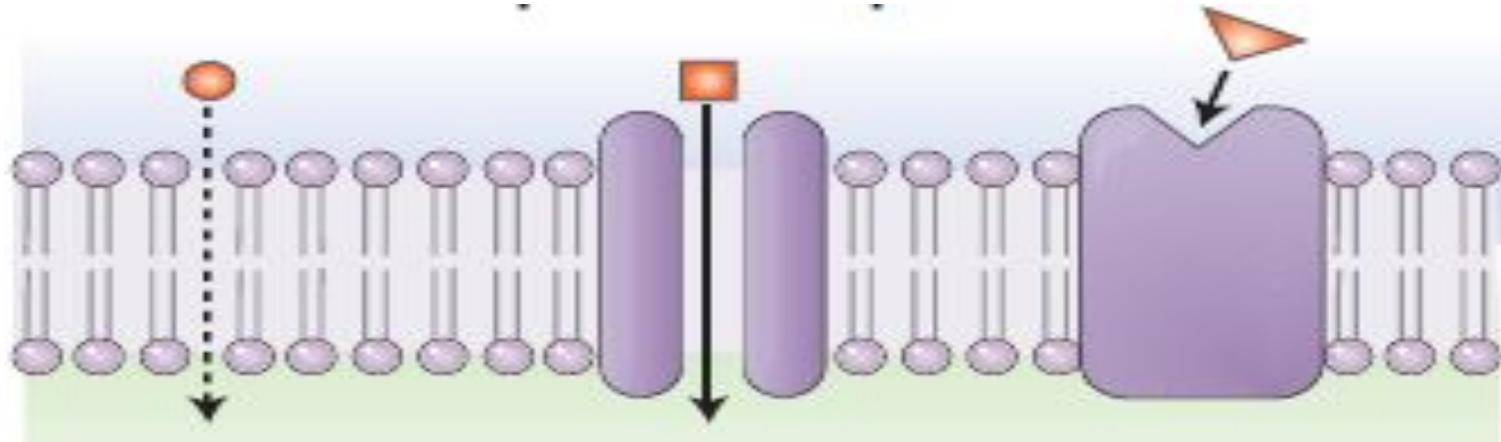
Классификация систем мембранного транспорта



Классификация систем мембранного транспорта



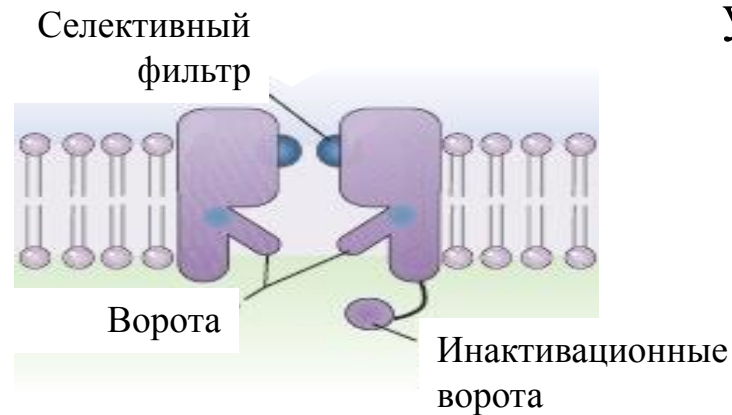
Пассивный транспорт



Простая диффузия
через липидный
бислой

Простая диффузия
через канал

Облегченная
диффузия через
унипорт

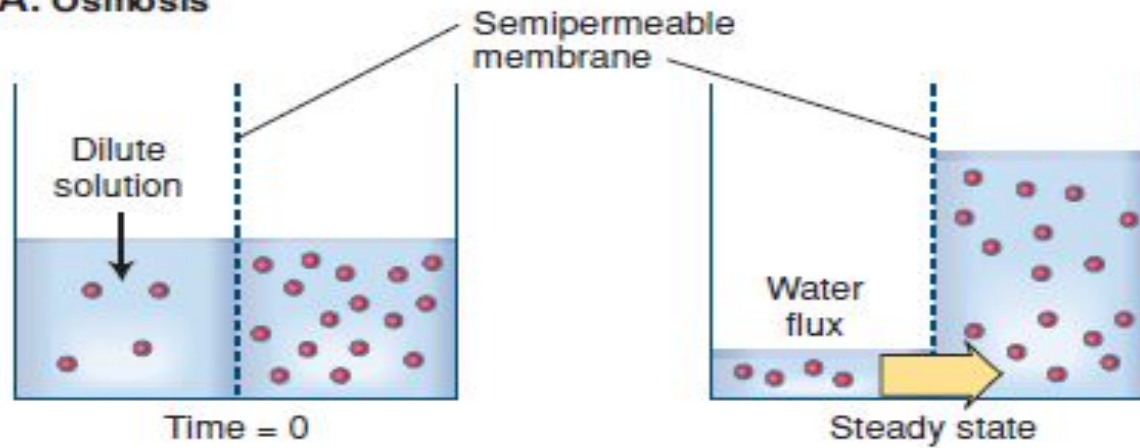


VIDEO: Ligand gated ion channels structure and function

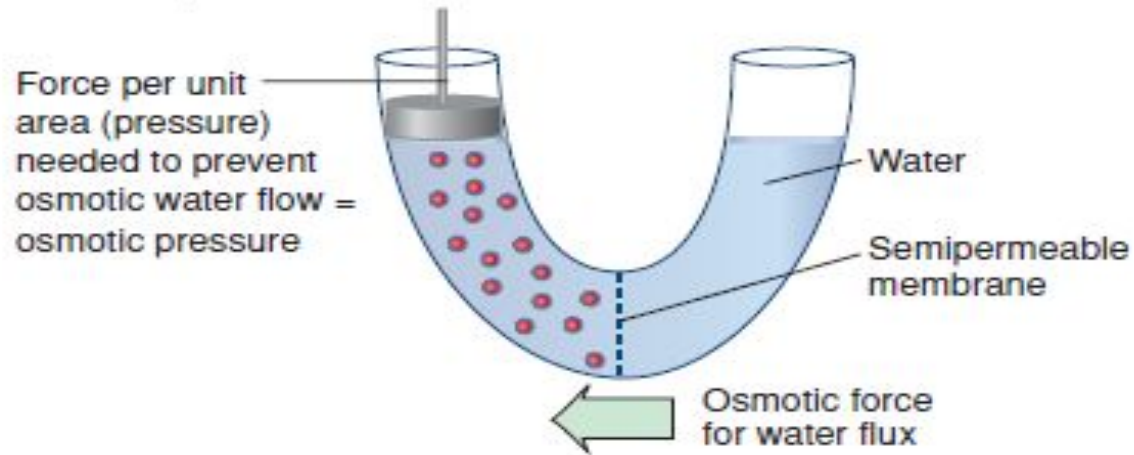


Осмоз

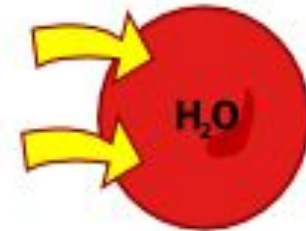
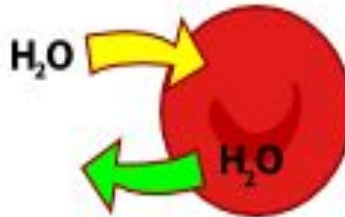
A. Osmosis



B. Concept of osmotic pressure



ОСМОЛЯРНСТЬ



Гипертонический раствор
NaCl (> 0,9%)

Изотонический раствор
NaCl (0,9%)

Гипотонический раствор
NaCl (< 0,9%)



VIDEO: Isotonic Solution, Hypertonic Solution, Hypotonic Solution





Дистиллированная вода или раствор соли???

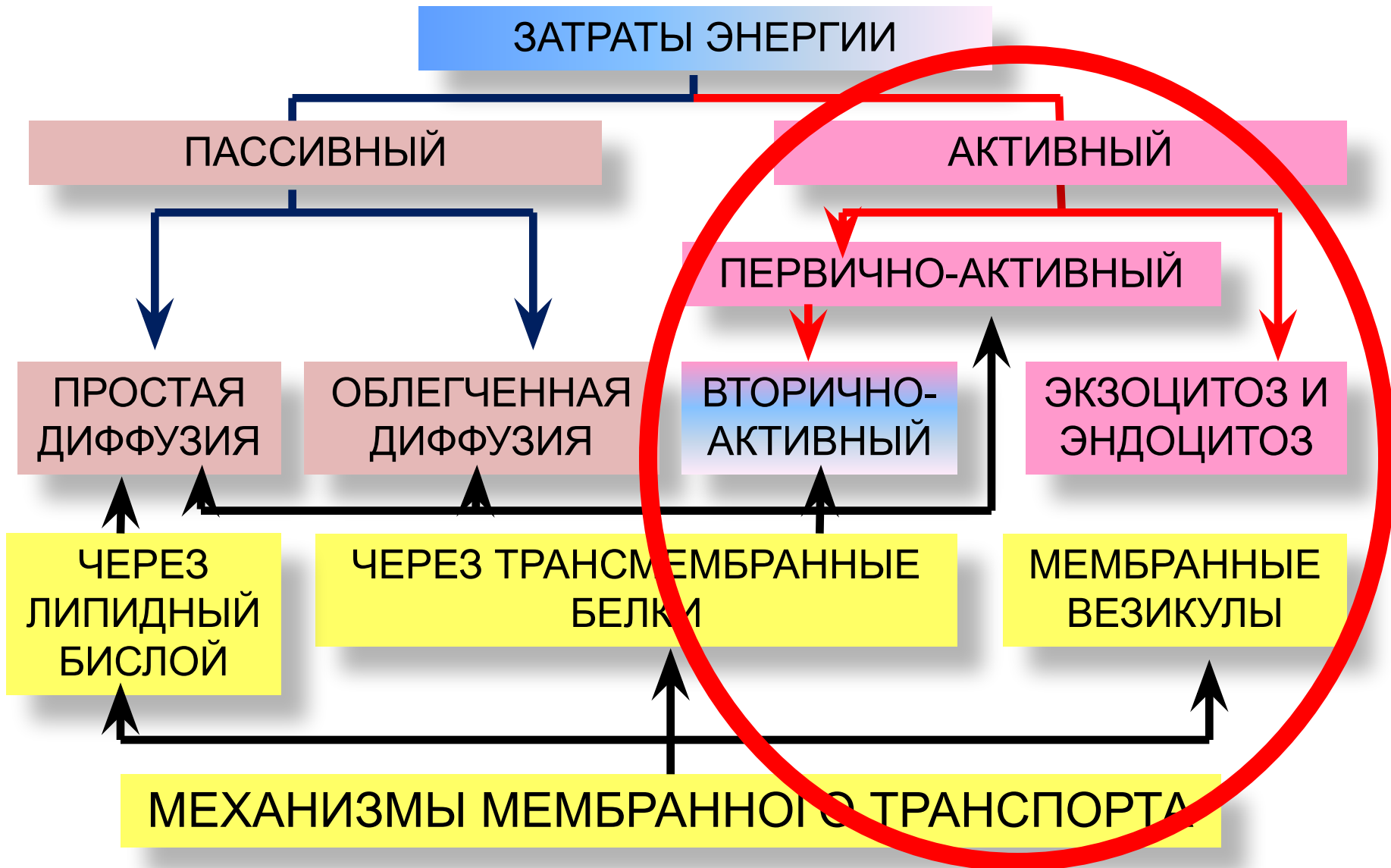




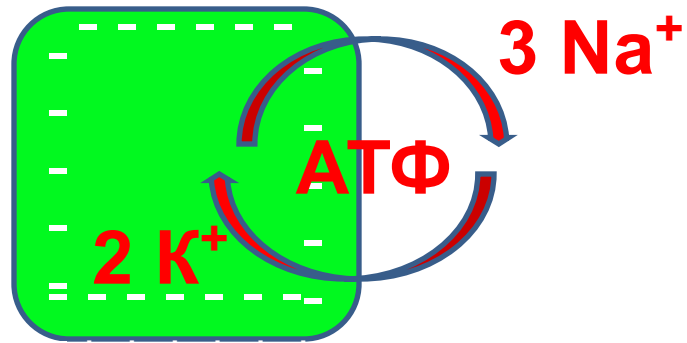
Можно ли пить соленую воду?



Классификация систем мембранного транспорта



Na/K-насос

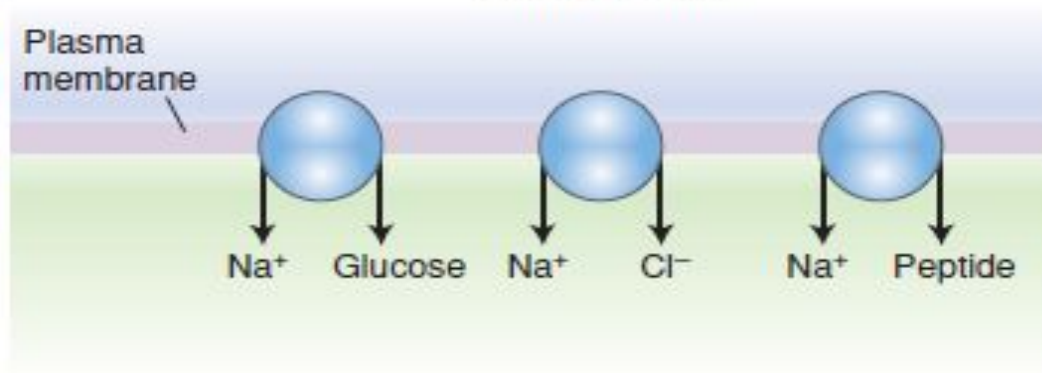


VIDEO: Pomp

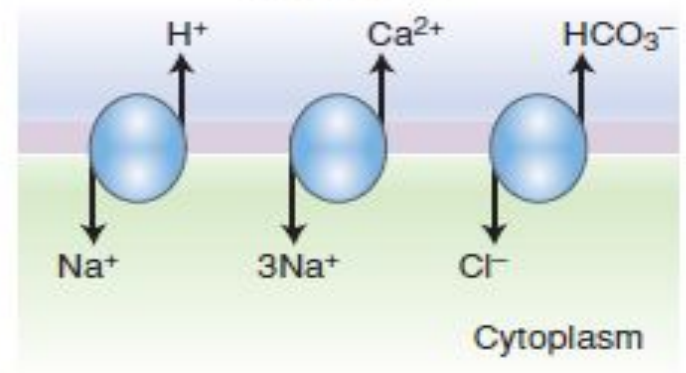


Виды вторично активного транспорта

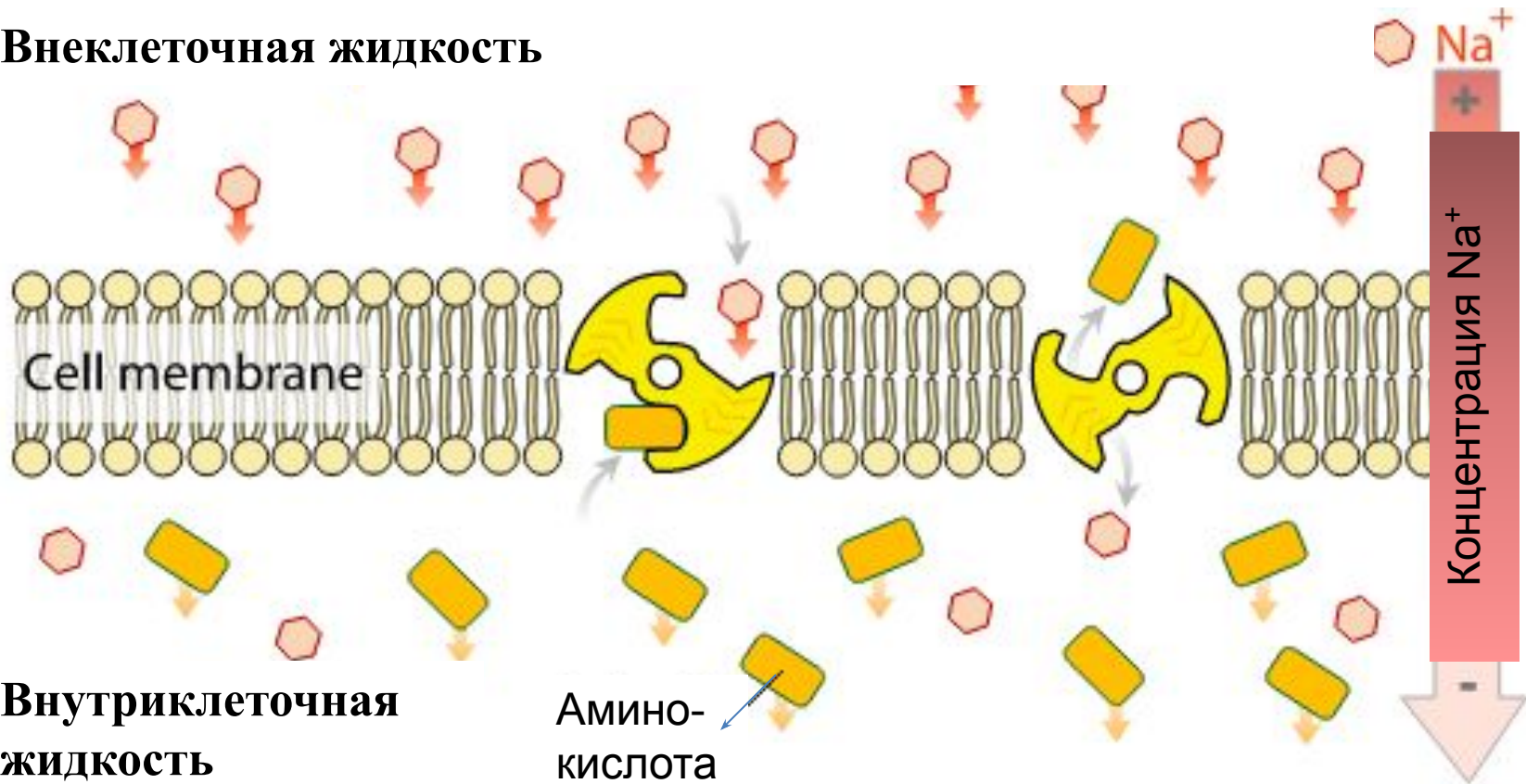
Котранспорт (симпорт)



Обменник (антипорт)



Внеклеточная жидкость

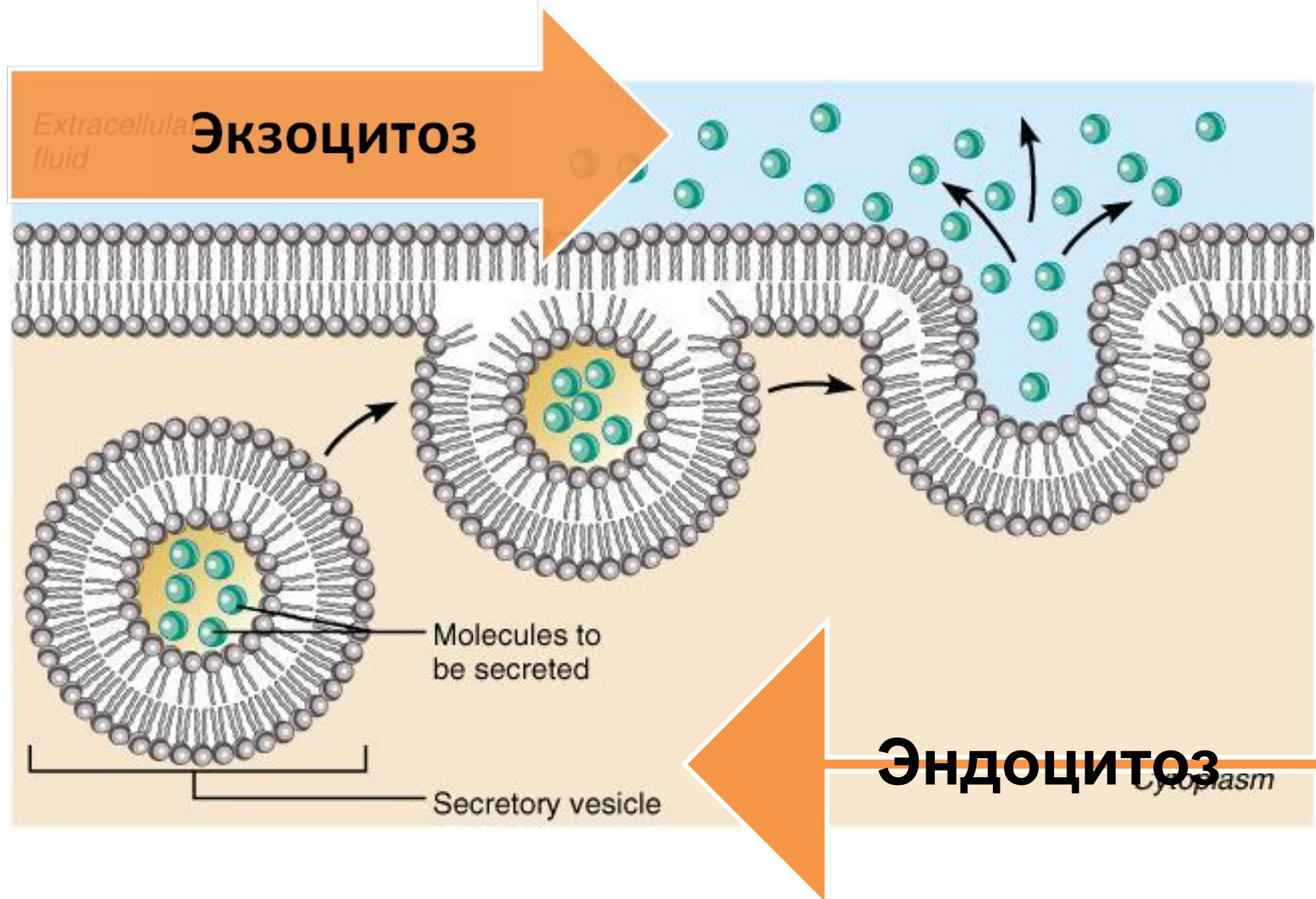


Внутриклеточная жидкость

Схема вторично активного транспорта



Экзоцитоз и эндоцитоз



VIDEO: Neutrophil phagocytosis



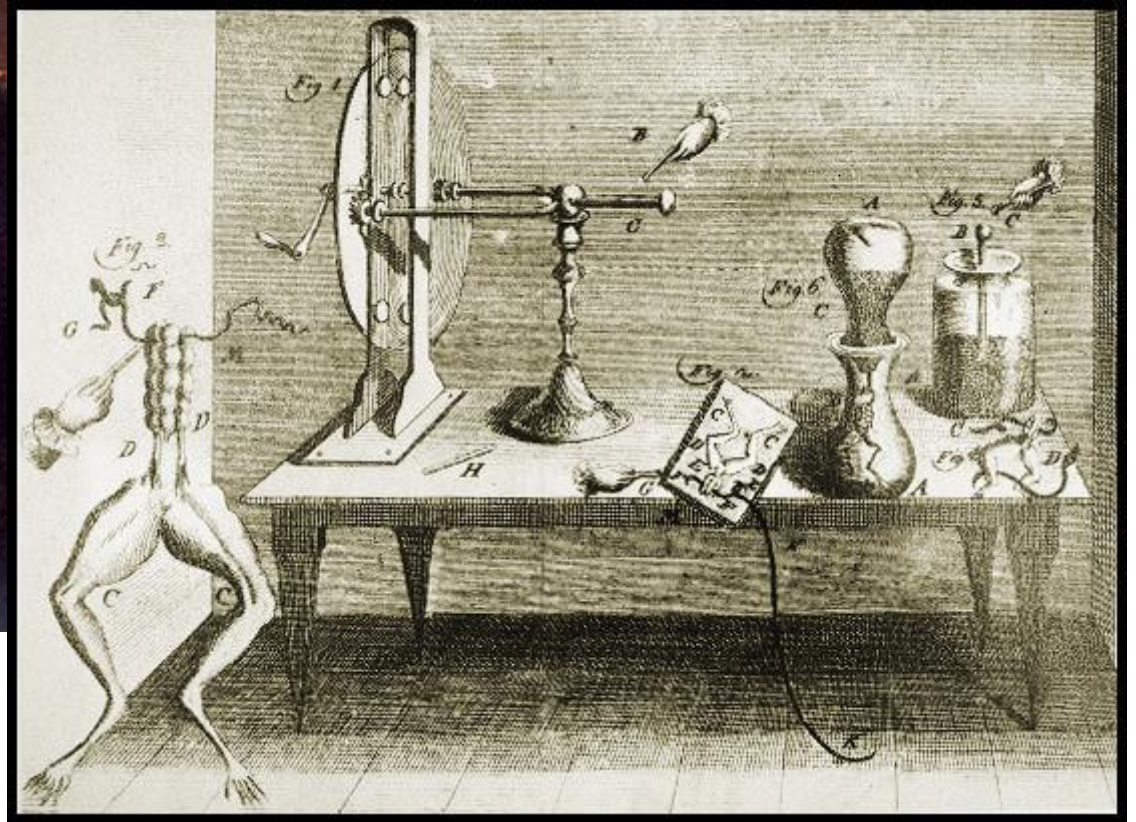
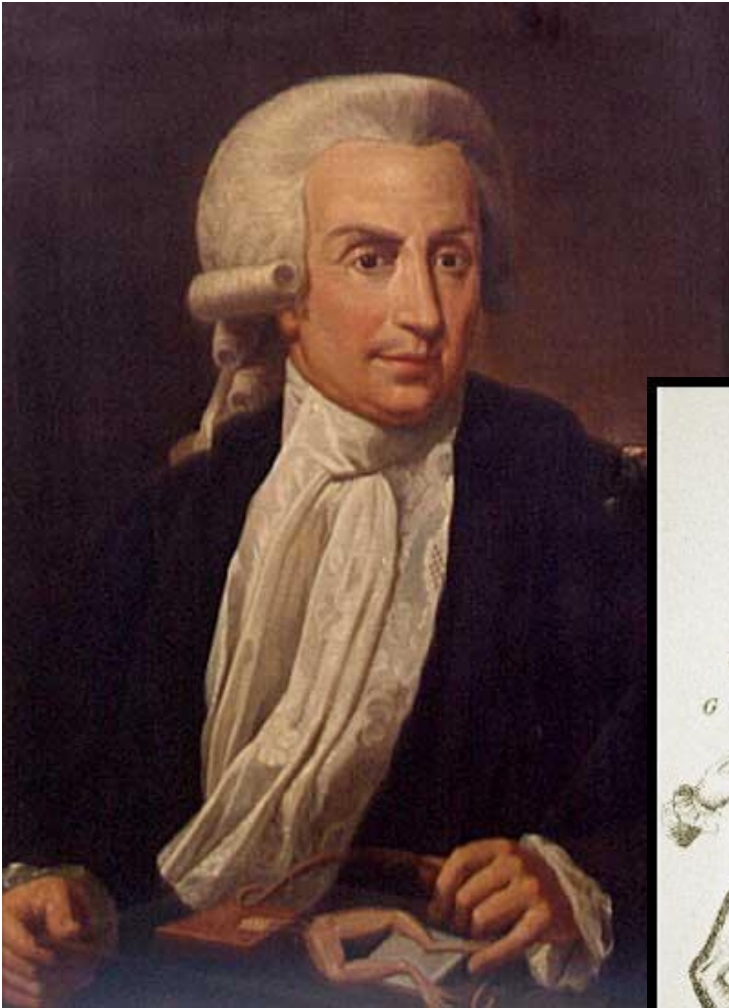
VIDEO: Membrane Transport



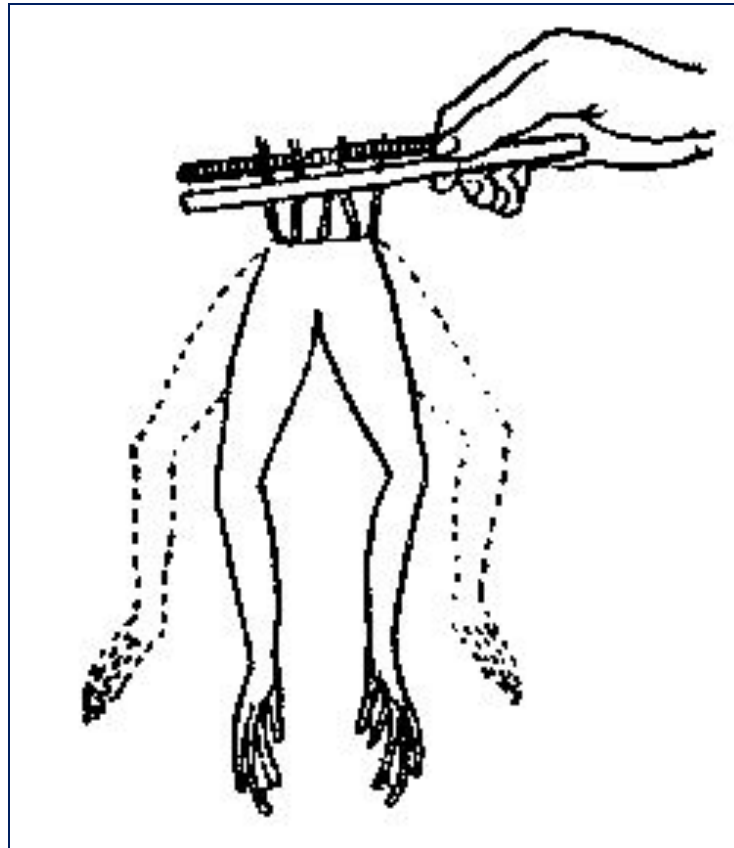
1.2 «Животное электричество». Опыты Гальвани и Матеучи



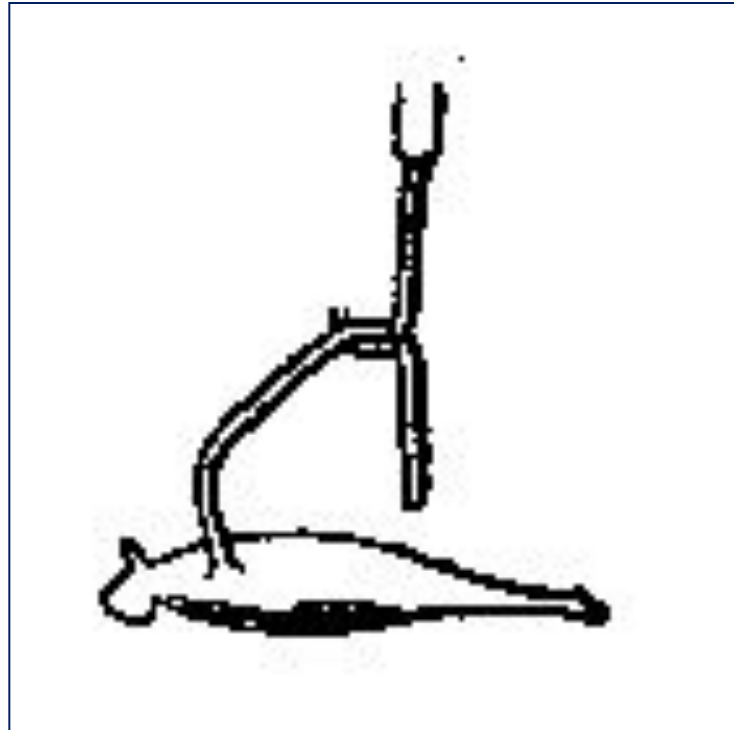
Луиджи Гальвани



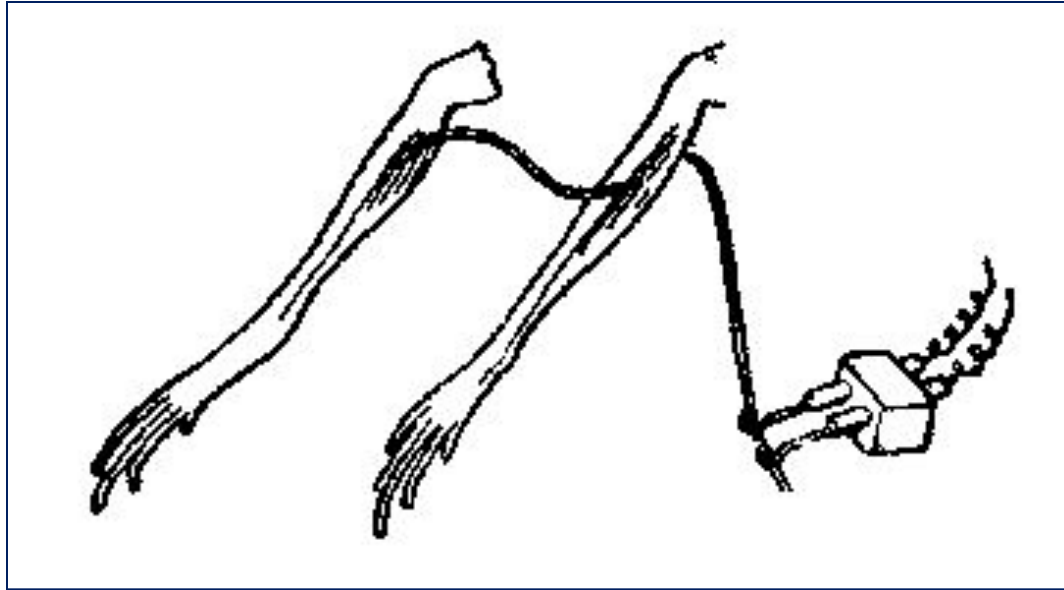
Первый опыт Гальвани



Второй опыт Гальвани



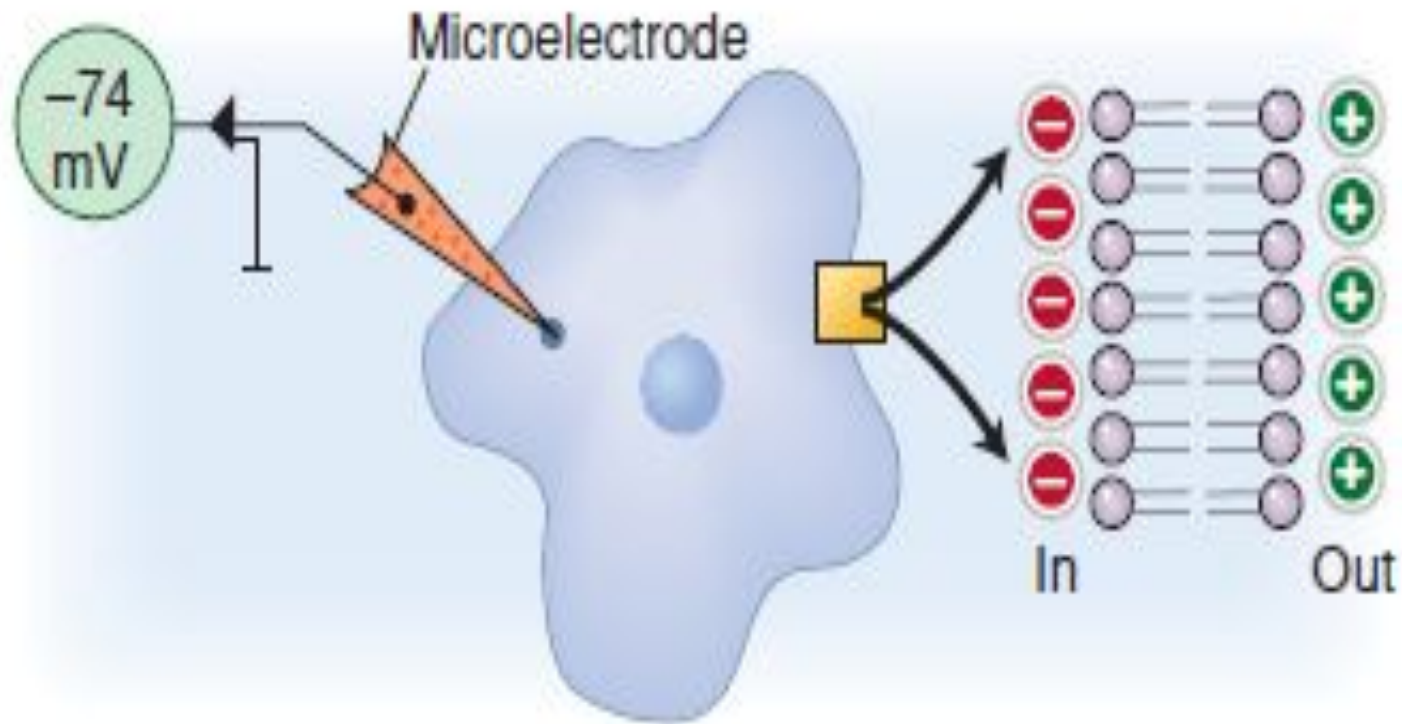
Опыт Матеуччи



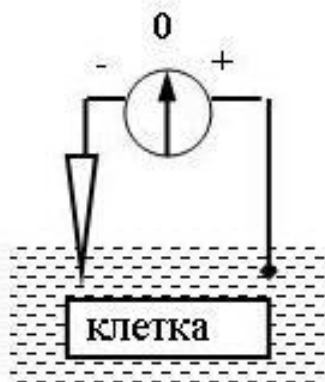
1.3 Мембранный потенциал покоя. Метод регистрации, механизмы происхождения и поддержания



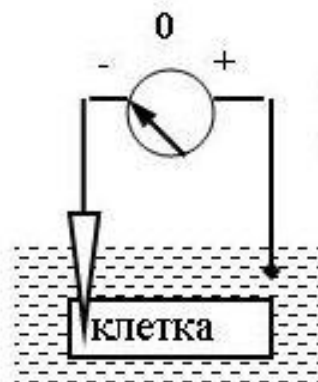
Исследование биоэлектрических явлений в клетке



Регистрация мембранного потенциала покоя



(А) Внеклеточная регистрация

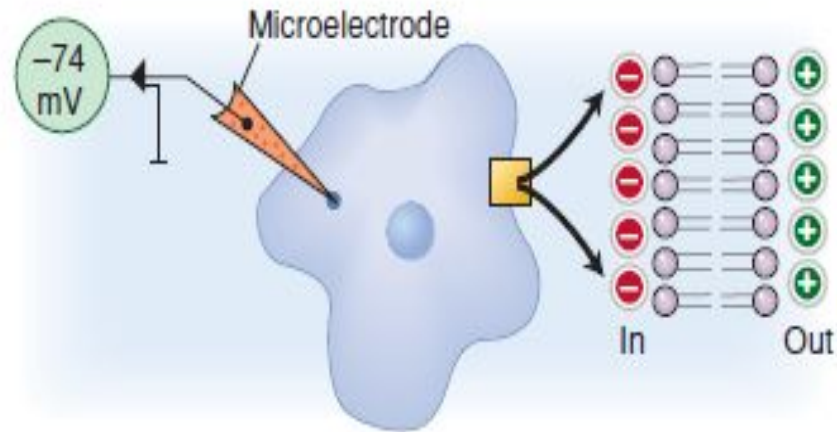


(Б) Внутриклеточная регистрация



Регистрация мембранного потенциала покоя

A. Resting membrane potential

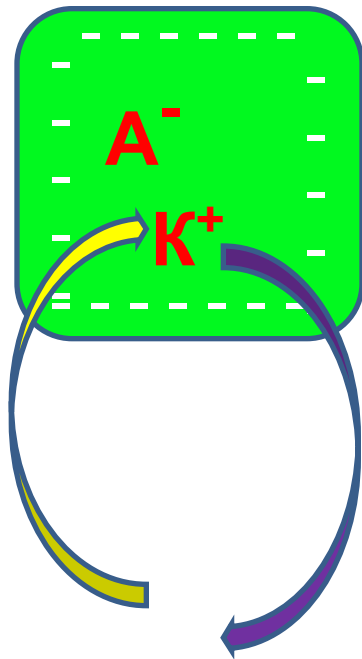


Video: Neuron Resting Potential.mp4





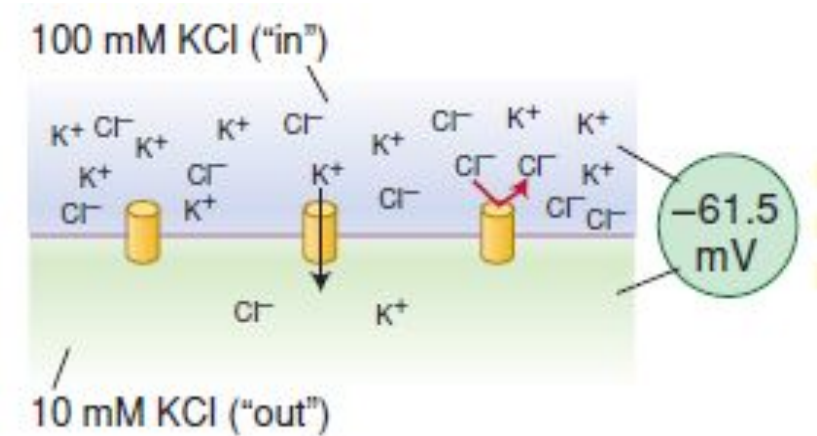
Мембранная теория происхождения МПП



Cl^-

Na^+

Ca^{2+}



Расчет равновесного потенциала.

Уравнение Нернста.

$$E_{K^+} = \frac{RT}{F} \ln \frac{[K^+_{нар}]}{[K^+_{внутр}]}$$

где E_{K^+} - равновесный потенциал для K^+ ; R – газовая постоянная; T – абсолютная температура; F – число Фарадея; $[K^+_{нар}]$ и $[K^+_{внутр}]$ – наружная и внутр. концентрации K^+ .



Расчет равновесного потенциала.

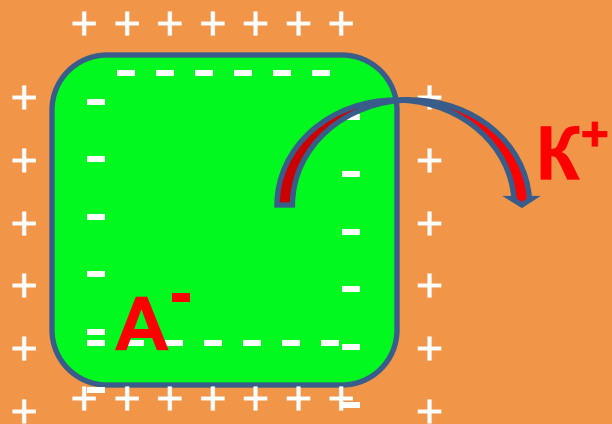
Уравнение Гольдмана.

$$E_m = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_{K^+} [K^+]_{нар} + P_{Na^+} [Na^+]_{нар} + P_{Cl^-} [Cl^-]_{внутр}}{P_{K^+} [K^+]_{внутр} + P_{Na^+} [Na^+]_{внутр} + P_{Cl^-} [Cl^-]_{нар}}$$

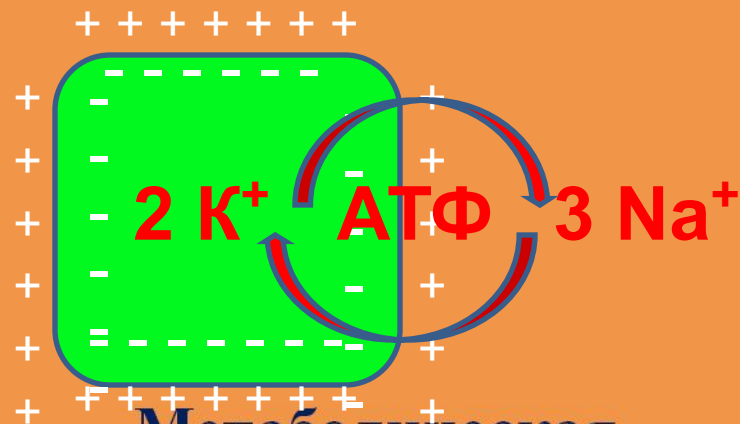
где E_m – мембранный потенциал, P — проницаемость мембраны для соответствующих ионов.

Ее часто выражают в относительных величинах, принимая P_K за единицу. Для мембраны аксона кальмара в покое отношение $P_K : P_{Na} : P_{Cl} = 1 : 0,04 : 0,45$.

КОМПОНЕНТЫ МПП



Ионная компонента зависит от концентрационных градиентов ионов и мембранных проницаемостей для них.



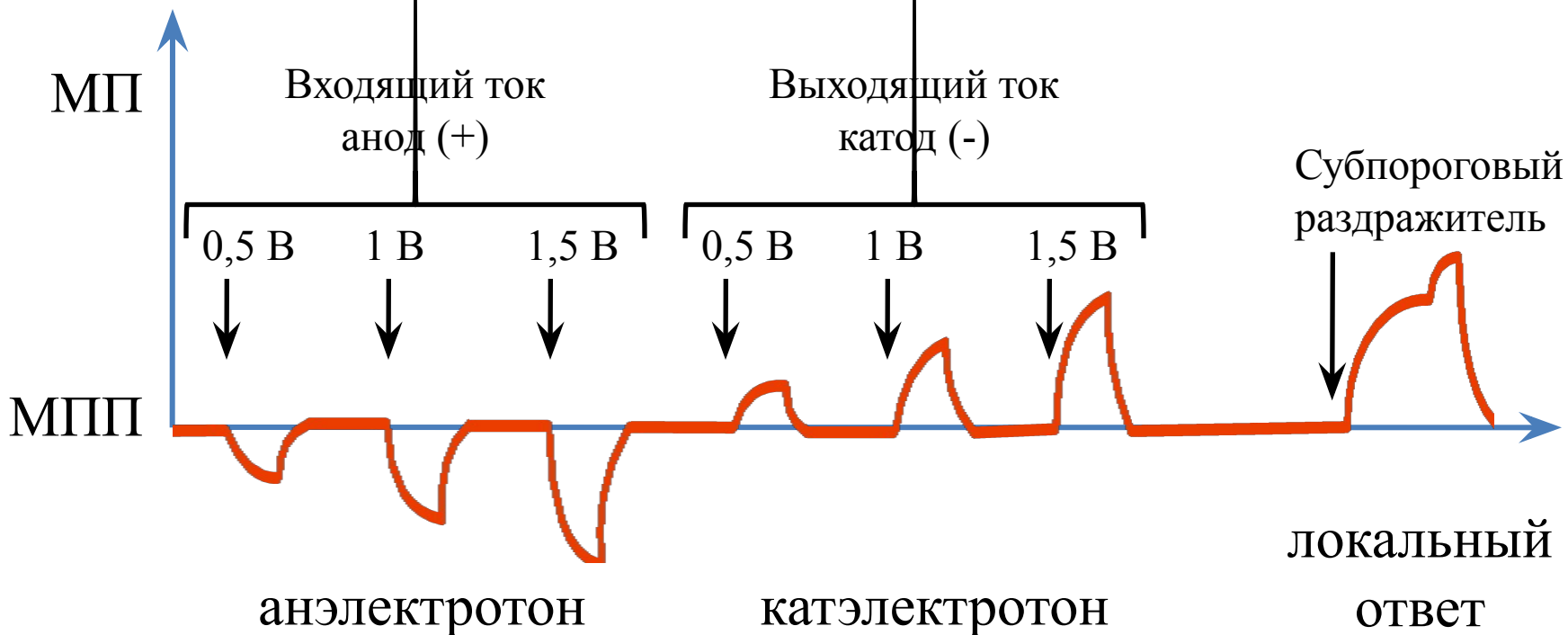
Метаболическая компонента: Na/K-насос выкачивает из цитоплазмы 3 иона Na^+ в обмен на 2 иона K^+ с использованием энергии АТФ.



1.4 Потенциал действия. Электрографические, электрохимические и функциональные проявления

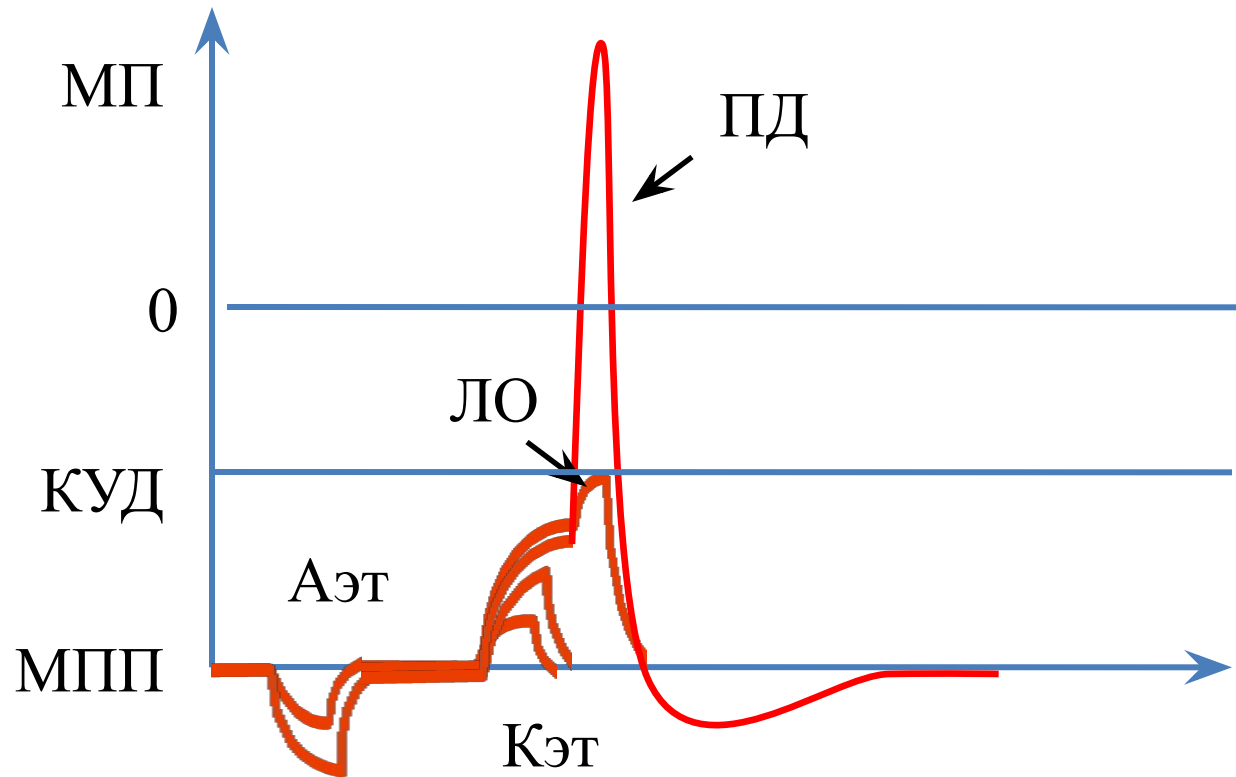


Электротонические явления

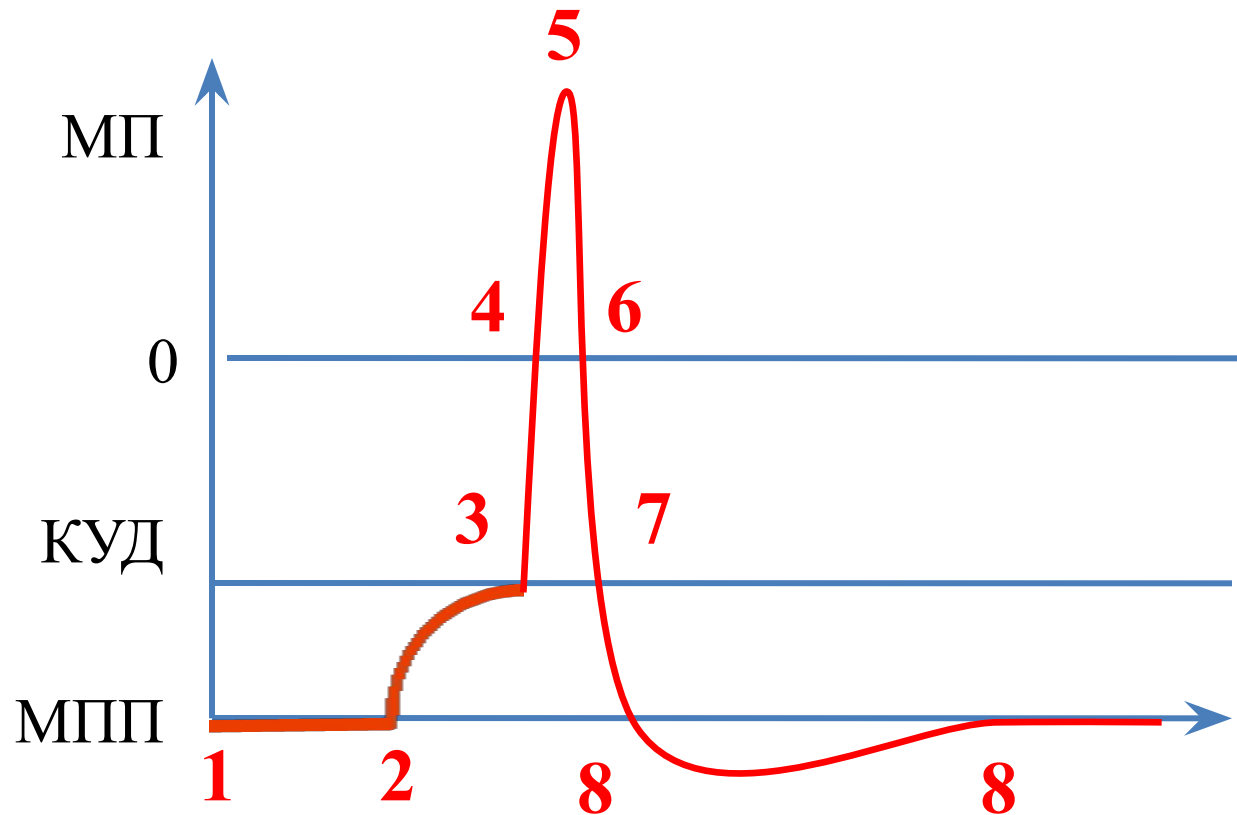


Возникающая в области приложения анода (его заряд «+») гиперполяризация мембраны называется **анэлектротон**ом, уменьшение мембранного потенциала в области приложения катода (заряд «-») – **катэлектротон**ом.

Электротонические явления



Электрографические проявления ПД

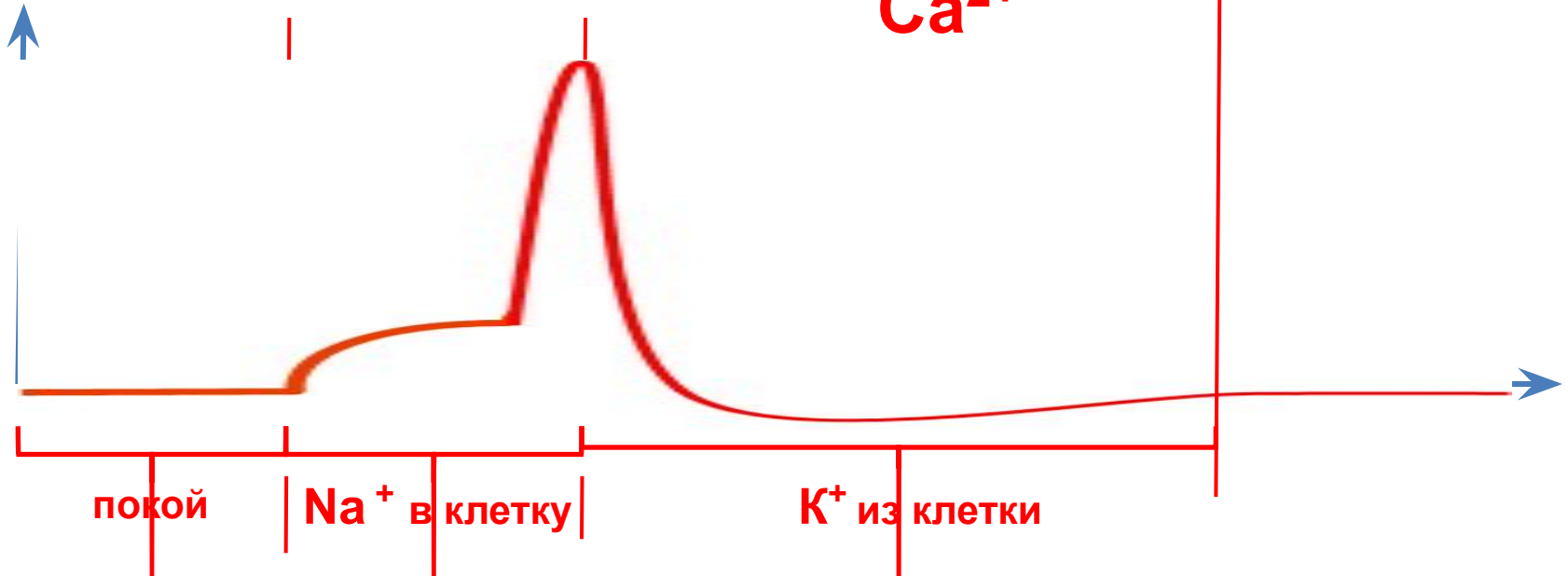
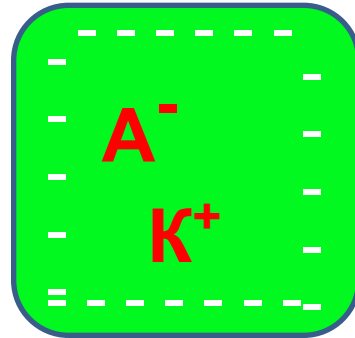


Электрохимические проявления

Cl^-

Na^+

Ca^{2+}



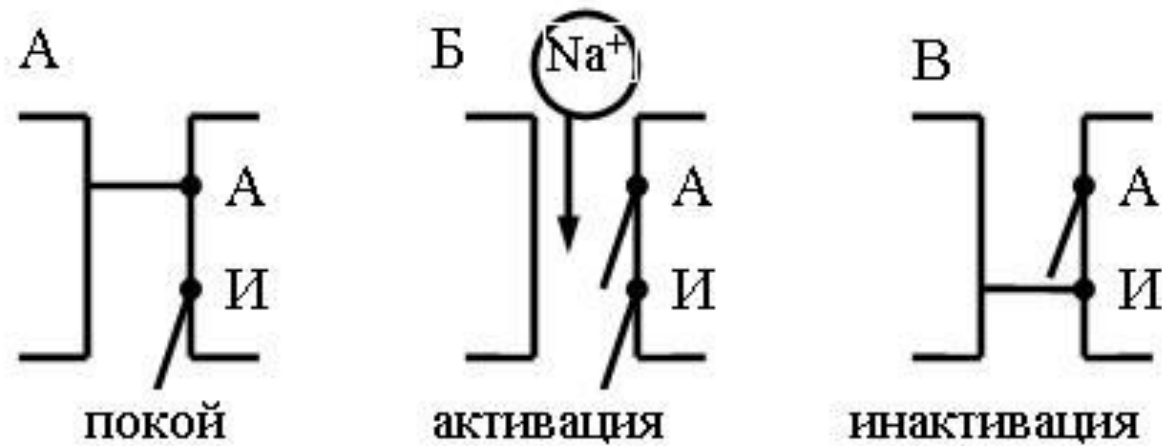


Рис. 8 Работа ворот натриевых каналов мембраны

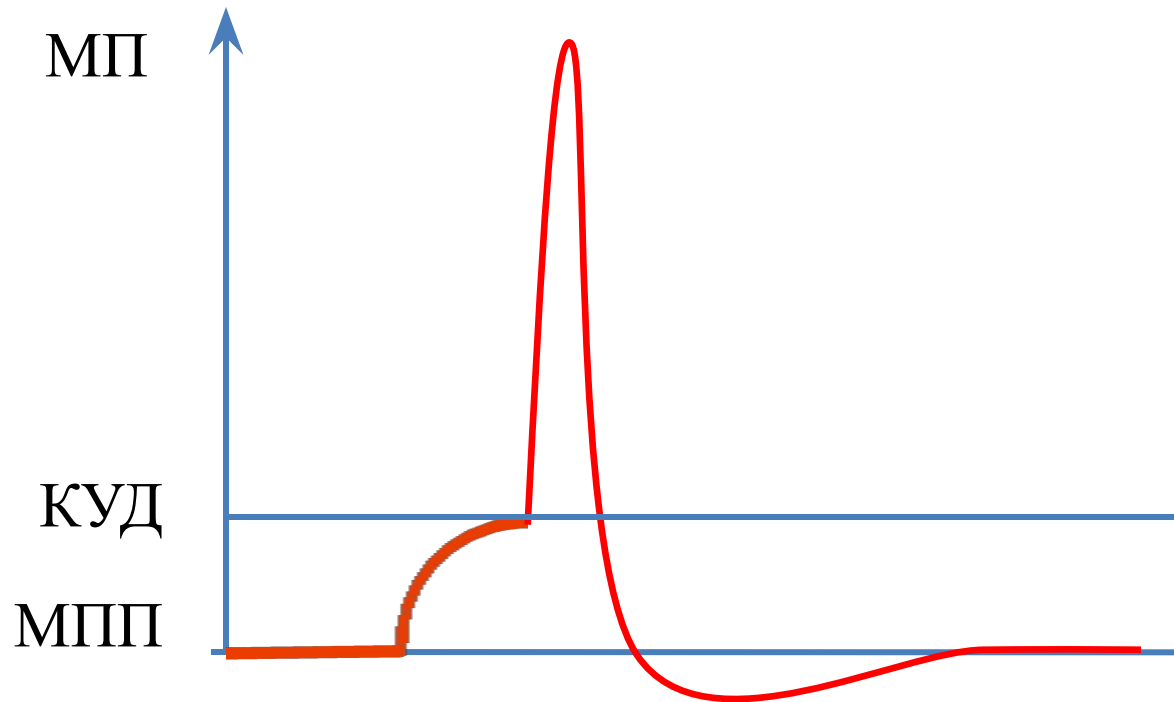
Video: Voltage Gated Channels and the Action Potential.mp4



Video: The Action Potential.mp4



Закон «Все или ничего»

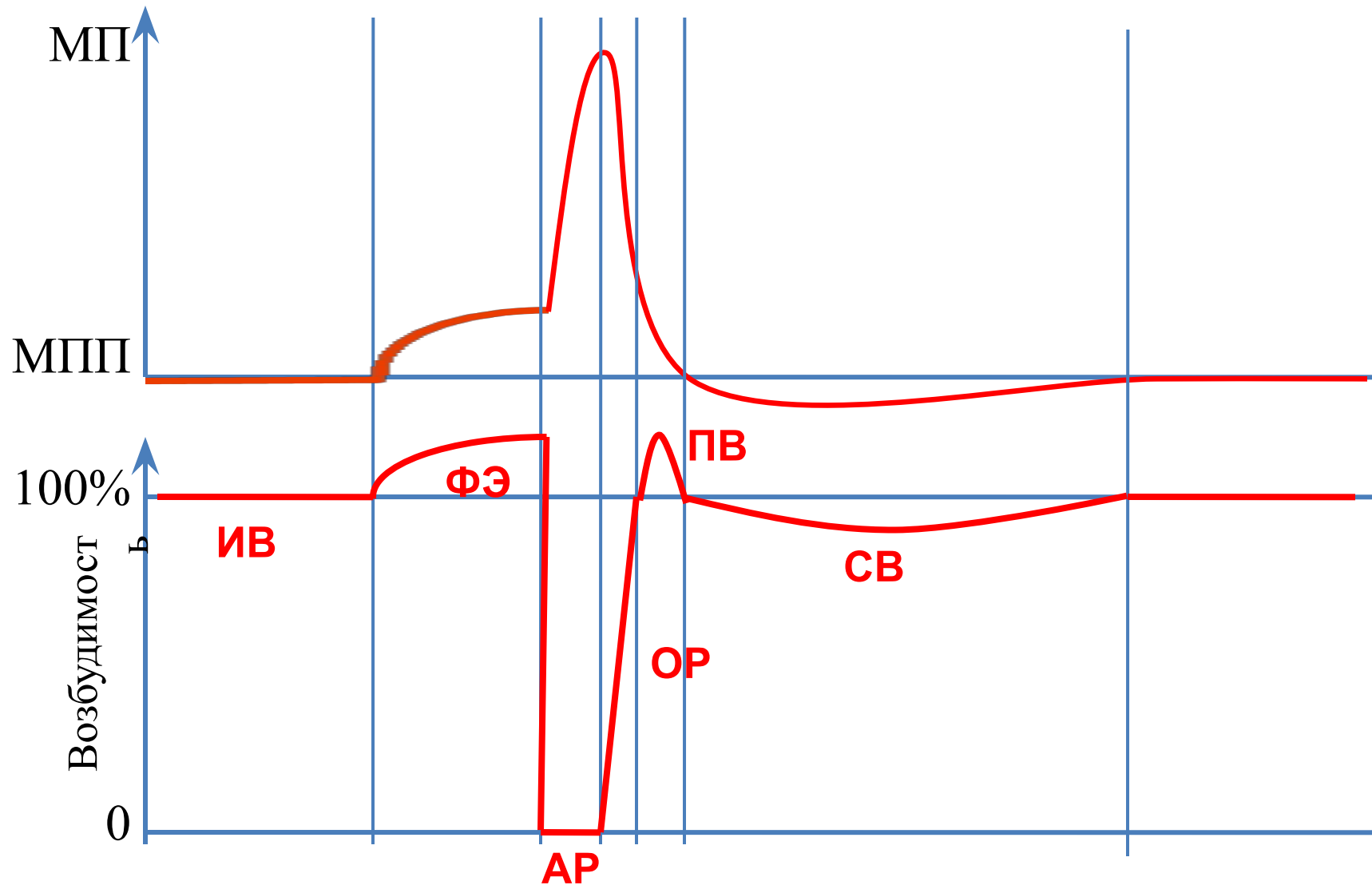


Закон «все или ничего» для потенциала действия

Только **два вида реакции** на разные сигналы:



Функциональные проявления



1.5. Парабиоз. Оптимум и пессимум раздражения

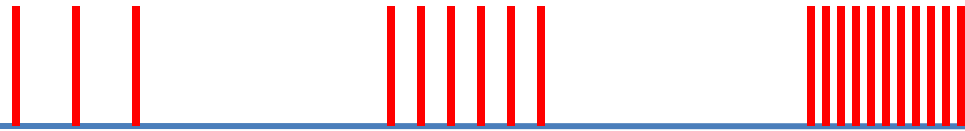


Процесс трансформации возбудимости нерва при его повреждении получил название **«парабиоз»**.



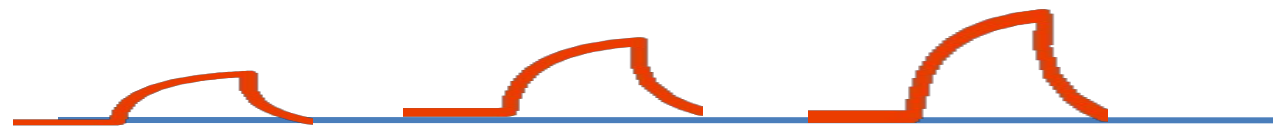
Парабиоз

Раздражители
разной частоты



2 Гц 4 Гц 8 Гц

Нормальные
ответные реакции



2 Гц 4 Гц 8 Гц

Уравнительная
фаза



2 Гц 4 Гц 8 Гц

Парадоксальная
фаза



2 Гц 4 Гц 8 Гц

Тормозная фаза



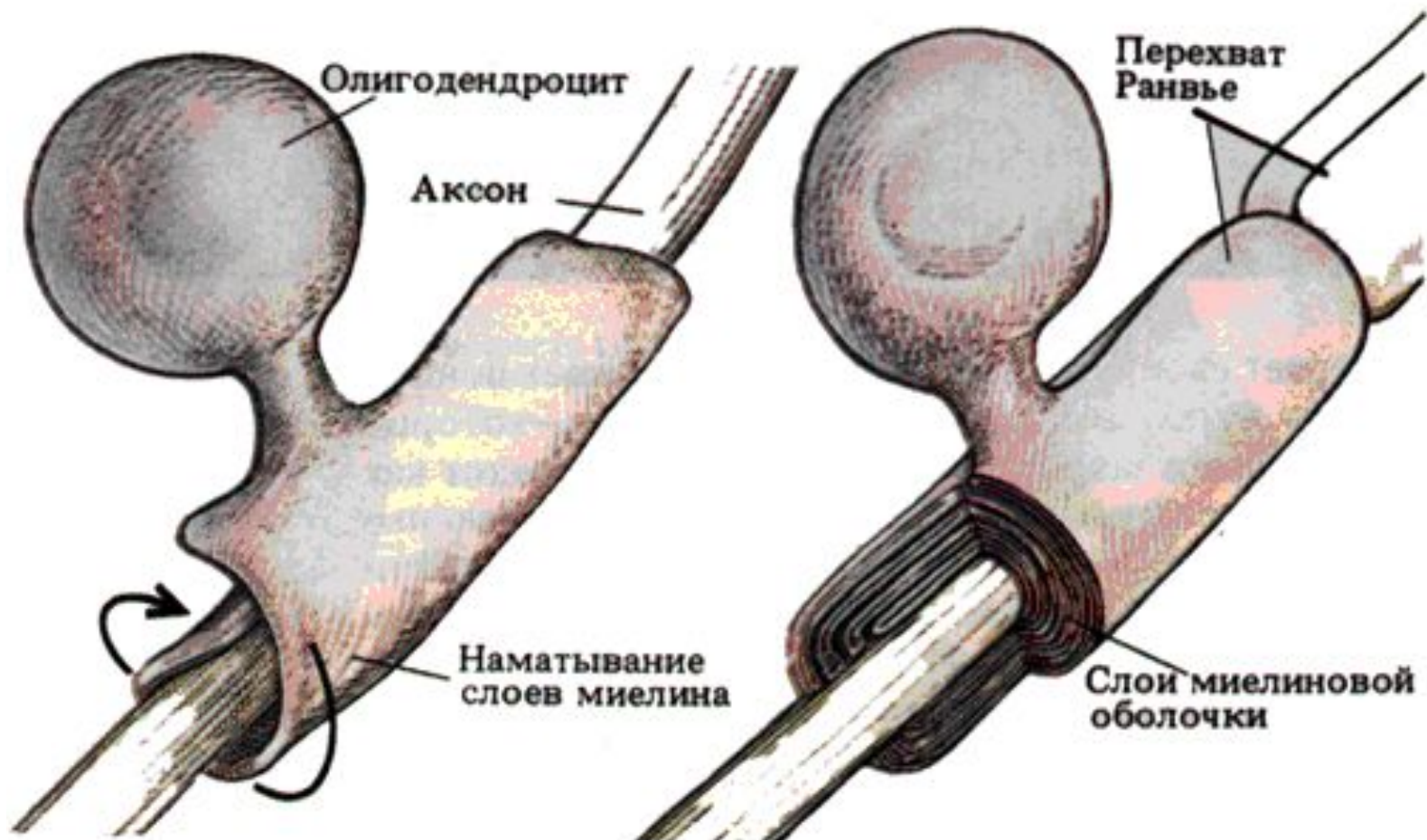
2 Гц 4 Гц 8 Гц

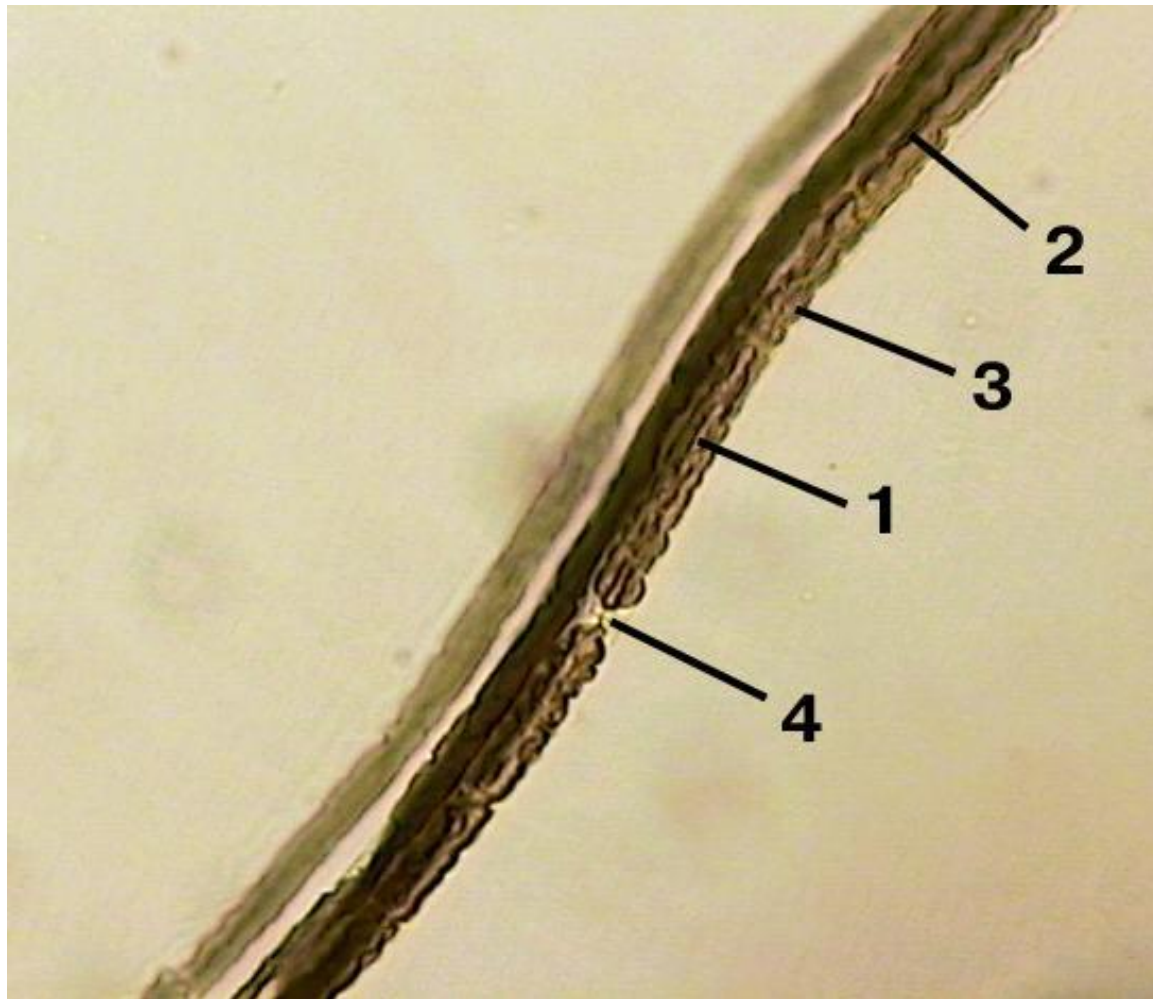
2. НЕРВНОЕ ВОЛОКНО

2.1. Понятие и классификация нервных волокон



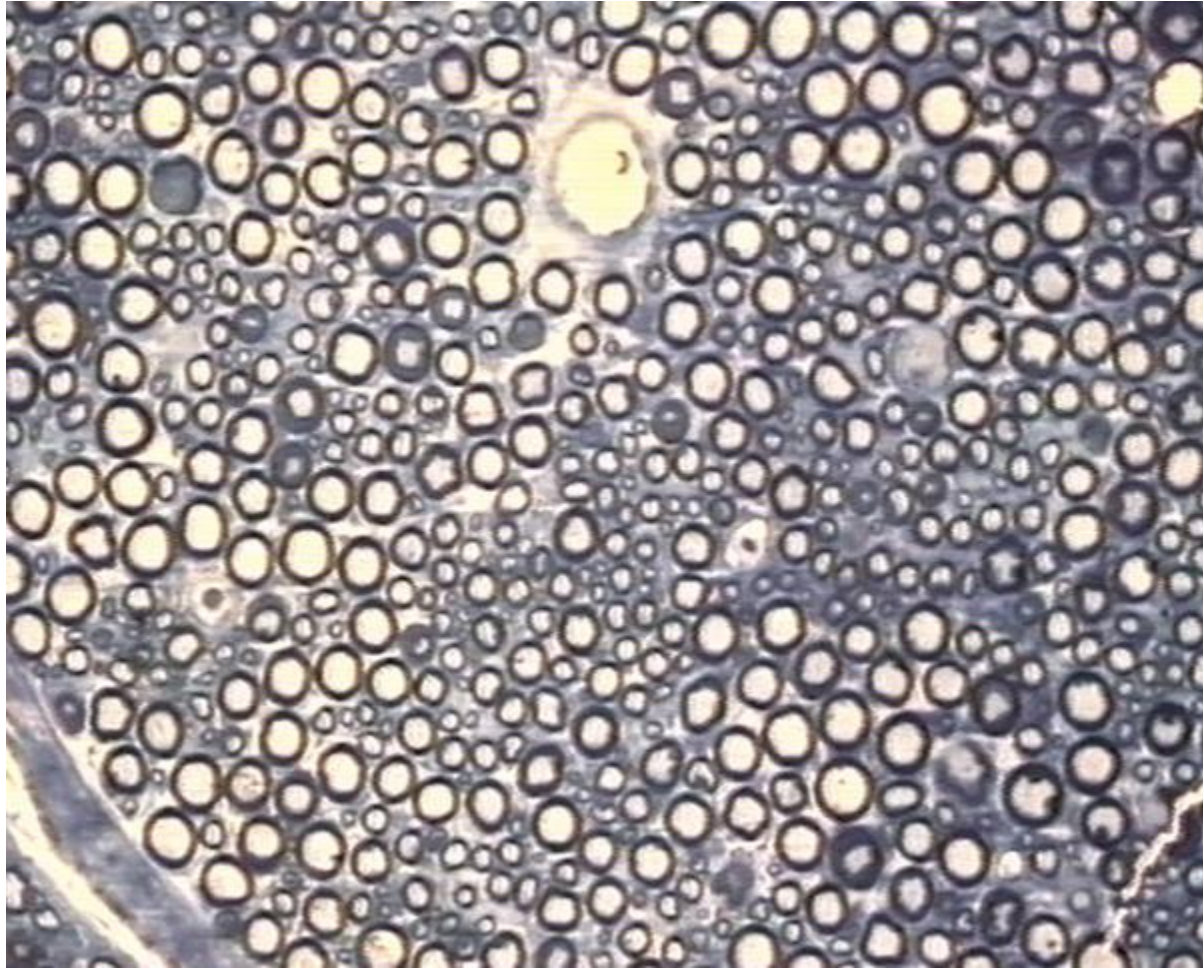
Миелиновое волокно





Миелиновое нервное волокно. 1 – аксон, 2 – миелиновая оболочка, 4 – перехват Ранвье.





Нервный ствол в поперечном разрезе



2.2 Свойства нервных волокон



Классификация нервных волокон

Тип волокна	Диаметр волокна, мкм	Характер передаваемой информации	Скорость проведения, м/с	Длительность ПД, мс	t° блокирования, °C	Возбудимость, у.е.	
A	α	12-20	Произвольные движения, проприорецепция	70-120	0,4-0,5	+19	1 ед.
	β	5-12	Осязание, давление	30-70	0,4-0,5
	γ	3-16	Чувствительность мышечных веретен	15-30	0,4-0,5
	δ	2-5	Болевая, температурная чувствительность	12-30	0,4-0,5
B	1-3	Преганглионарные волокна вегетативной НС	3-15	1,2	
C	0,3-1,3	Болевая, температурная чувствительность, механорецепция, постганглионарные волокна вегетативной НС	0,5-2,3	2	+3	50 ед.	

2.3 Механизмы проведения возбуждения

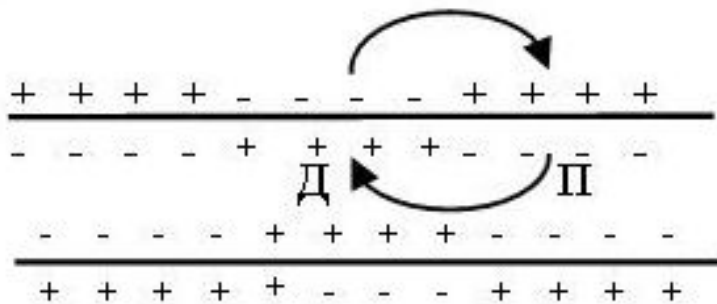


Video: Action_Potentials.mp4



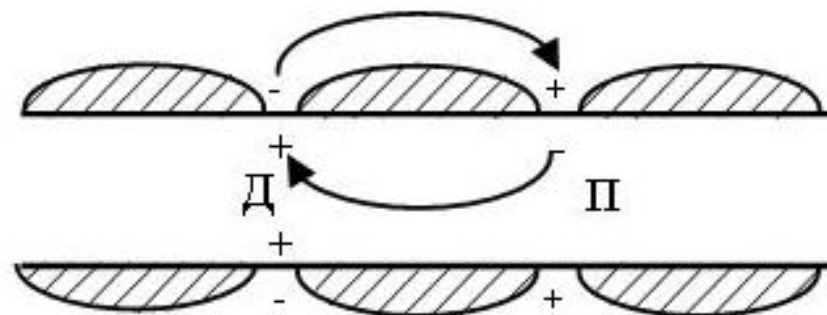
Проведение возбуждения по нервному волокну

Безмиелиновое волокно



Безмиелиновое волокно

Миелиновое волокно



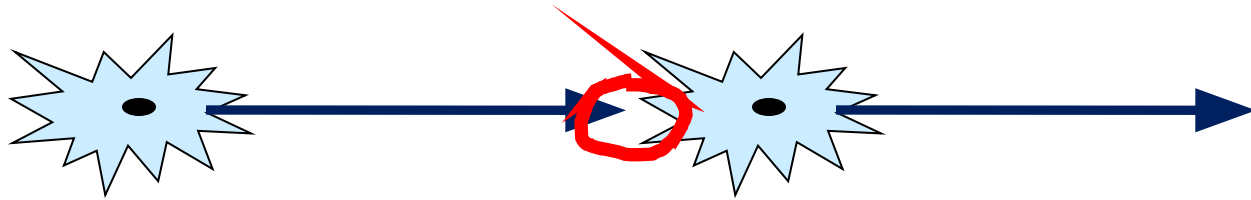
Миелинизированное волокно



3. СИНАПС

3.1 Классификация синапсов

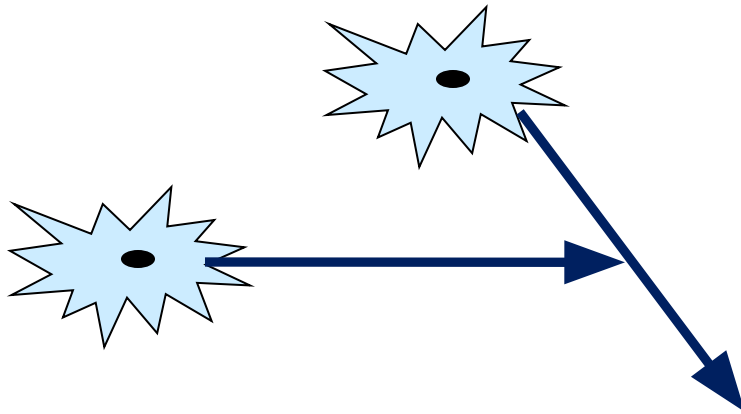




Синапс – это специализированное структурно-функциональное образование, обеспечивающее контакт между возбудимыми клетками в виде передачи возбуждения с сохранением его информационной значимости.

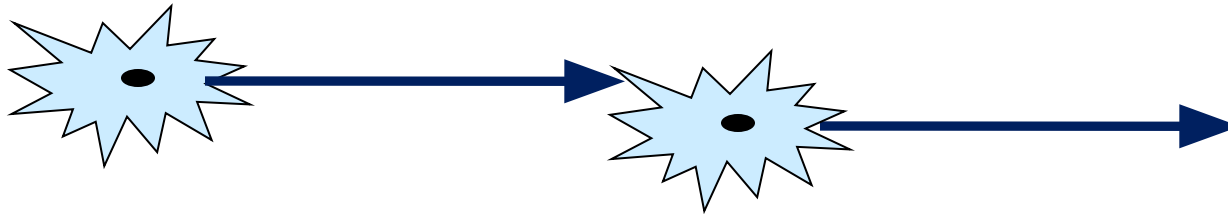
Классификация синапсов по морфологическому принципу

1) аксо-аксональные



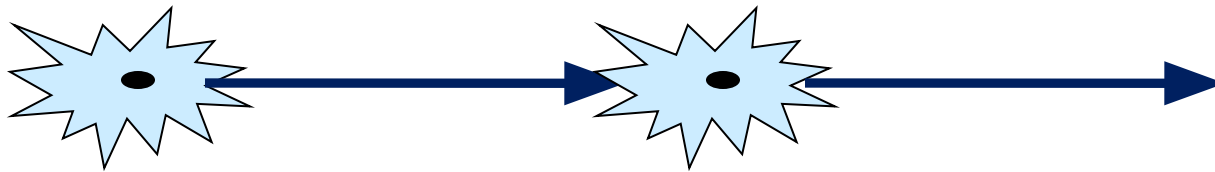
Классификация синапсов по морфологическому принципу

2) аксодендрические



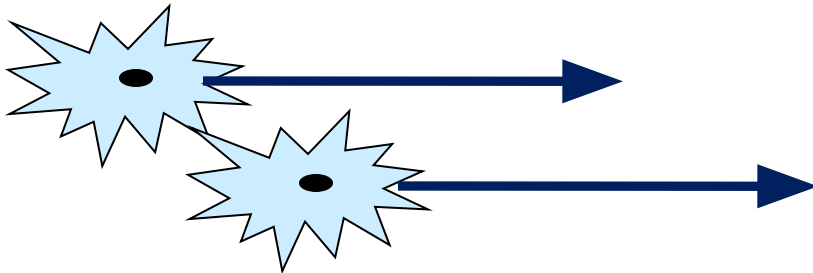
Классификация синапсов по морфологическому принципу

3) аксосоматические



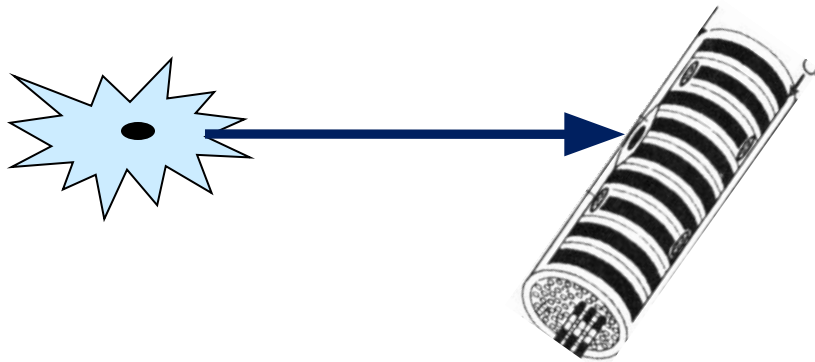
Классификация синапсов по морфологическому принципу

4) дендродендрические



Классификация синапсов по морфологическому принципу

5) нервно-мышечные



Классификация синапсов по способу передачи возбуждения

- 1) электрические синапсы
- 2) химические синапсы

Схема строения электрического синапса

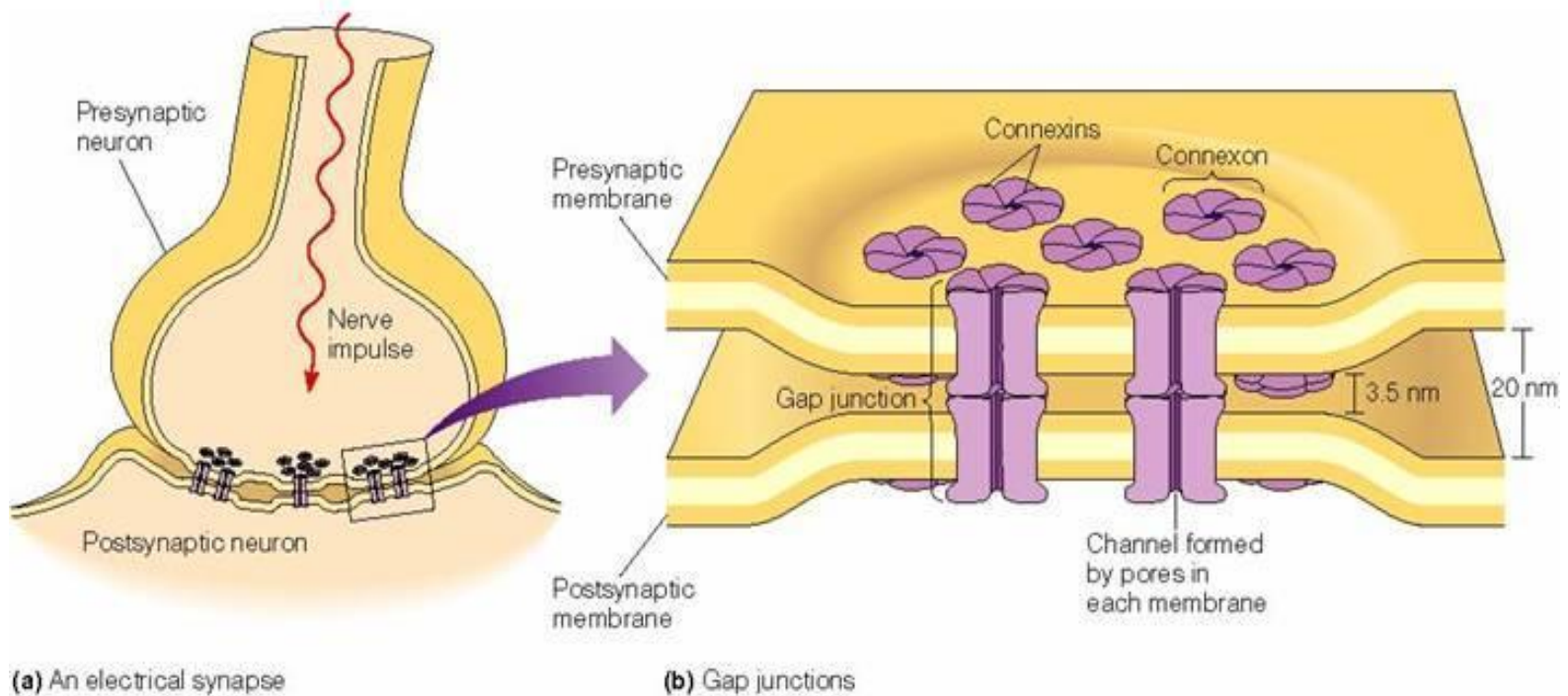


Схема строения химического синапса

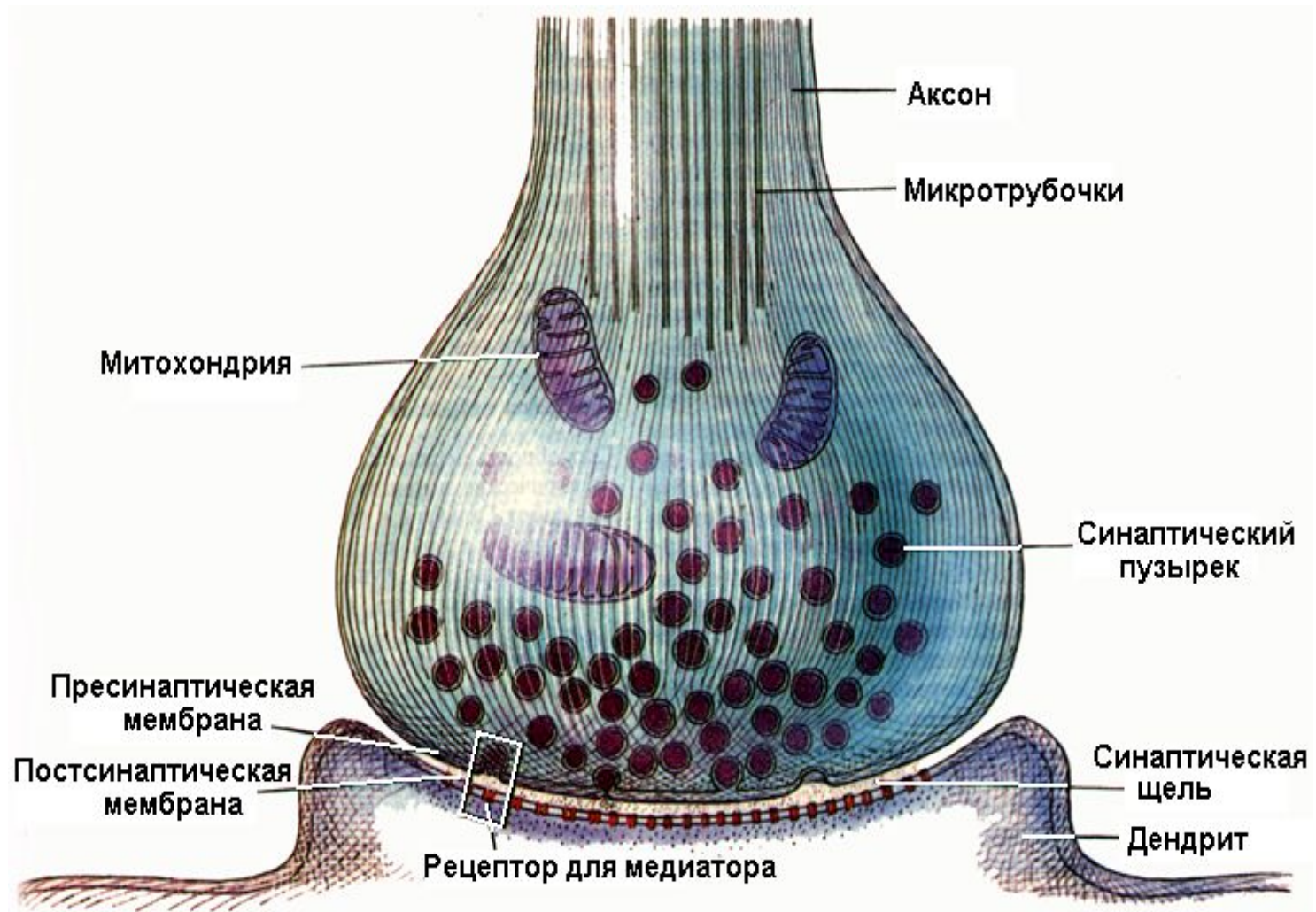
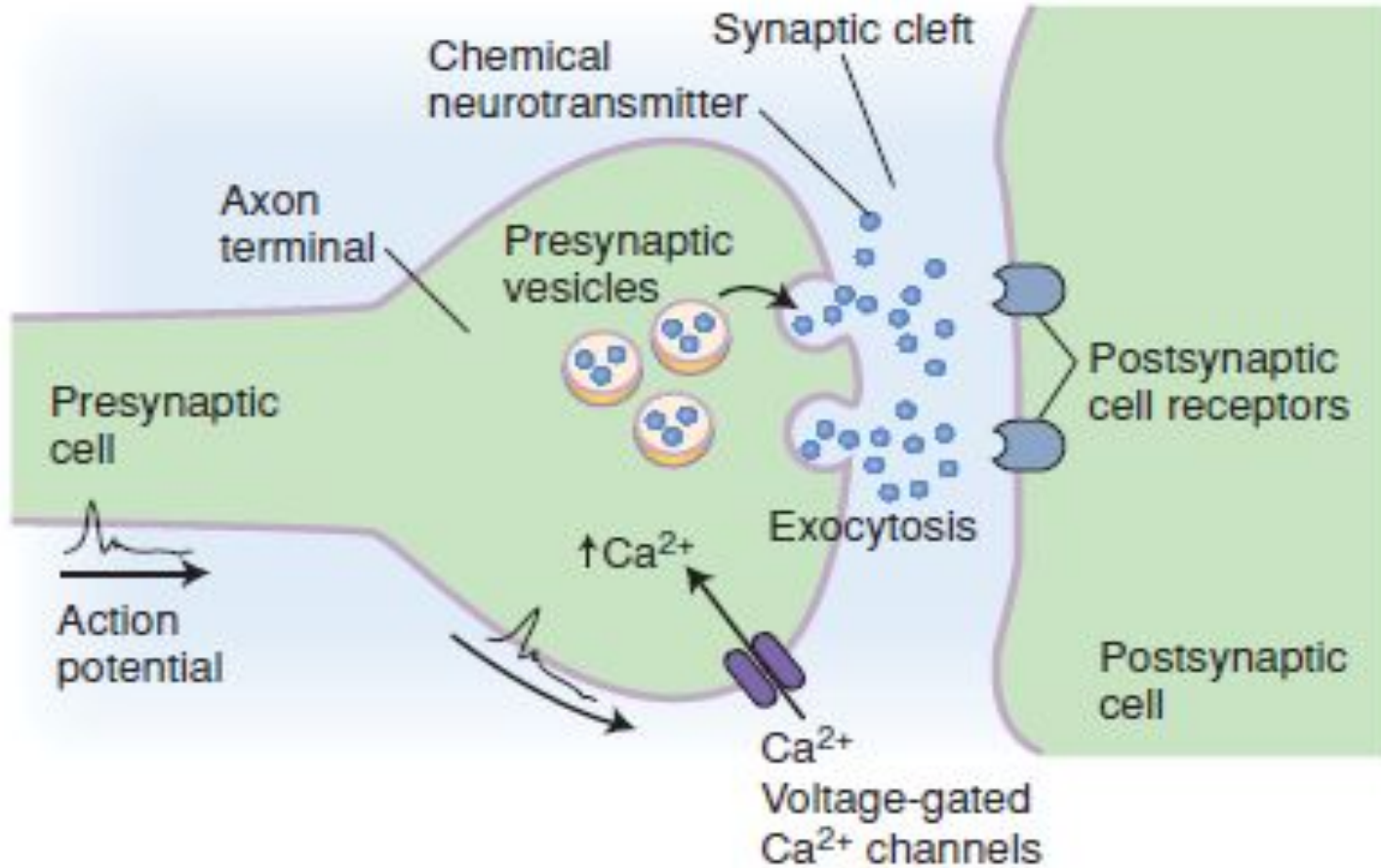


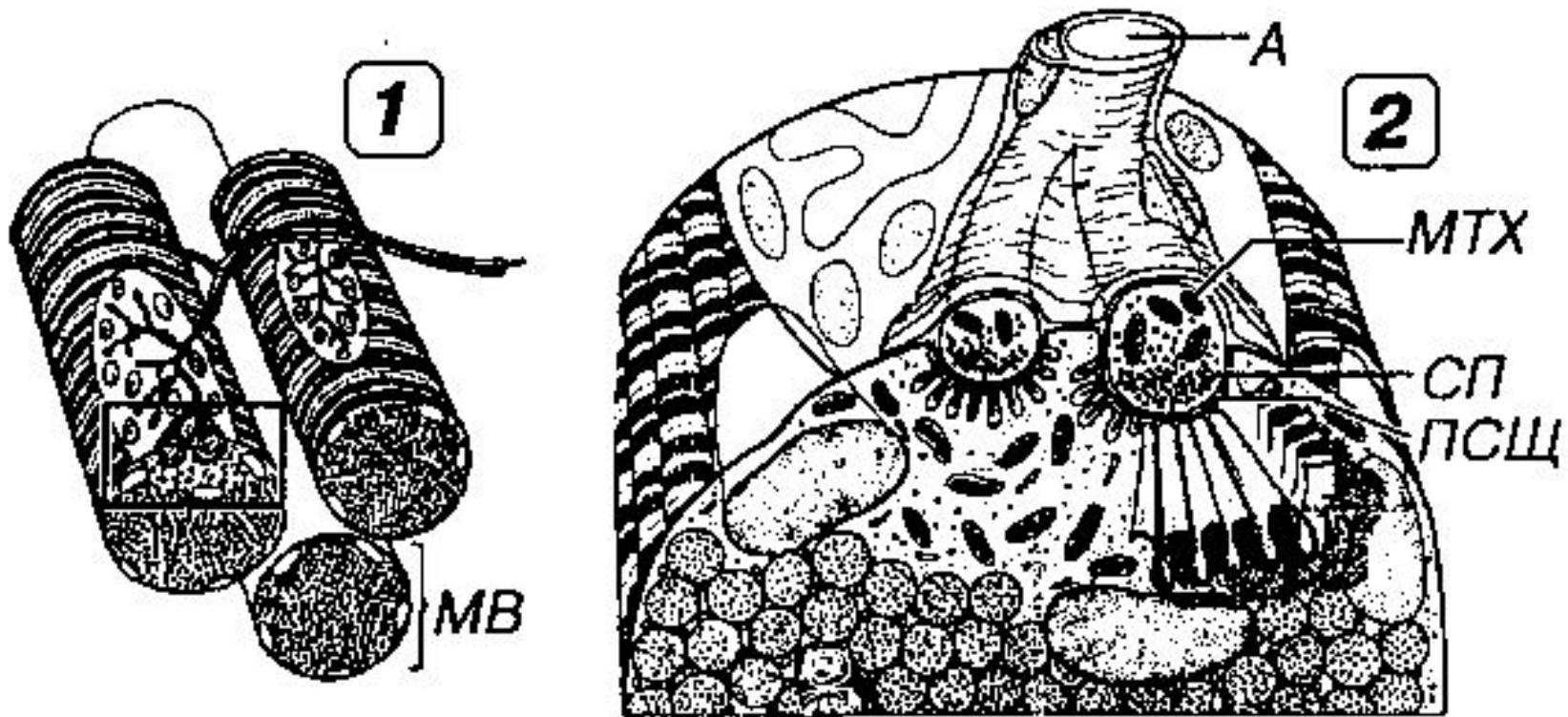
Схема строения химического синапса



Video: Synaptic_Transmission.mp4

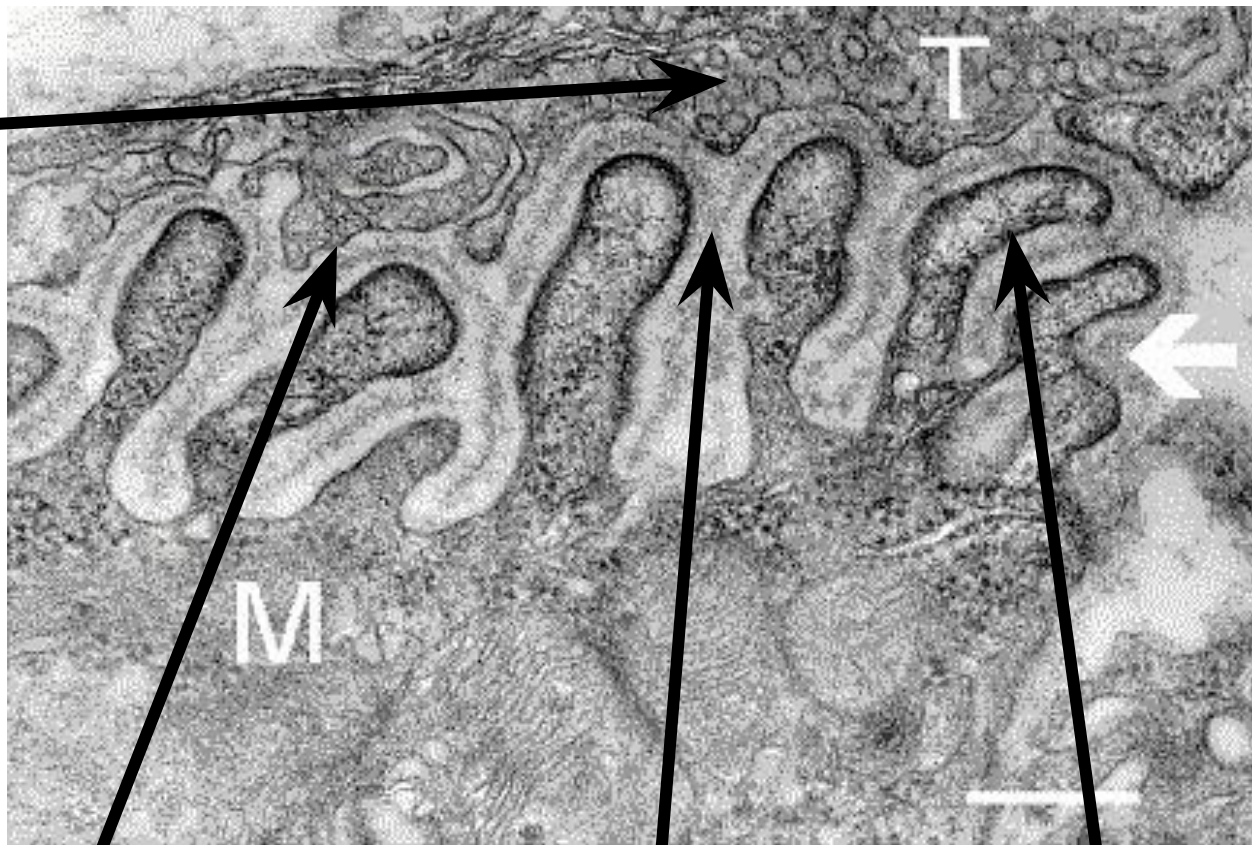


Эфферентные (эффекторные) окончания передают сигналы от нервной системы на исполнительные органы (мышцы, железы) и в зависимости от природы иннервируемого органа подразделяются на *двигательные* и *секреторные*.



**Схема строения нервно-мышечного синапса
(нейромоторной бляшки)**

Нейромышечный синапс



Везикулы

Пресинаптическая мембрана

Синаптическая щель

Постсинаптическая мембрана

Video: Function of Neuromuscular Junction.mp4



Нейрохимическая классификация синапсов:

Адренергические (адреналин, норадреналин)

Холинергические (ацетилхолин)

Гамк-эргические (ГАМК)

Глицинергические

Дофаминэргические



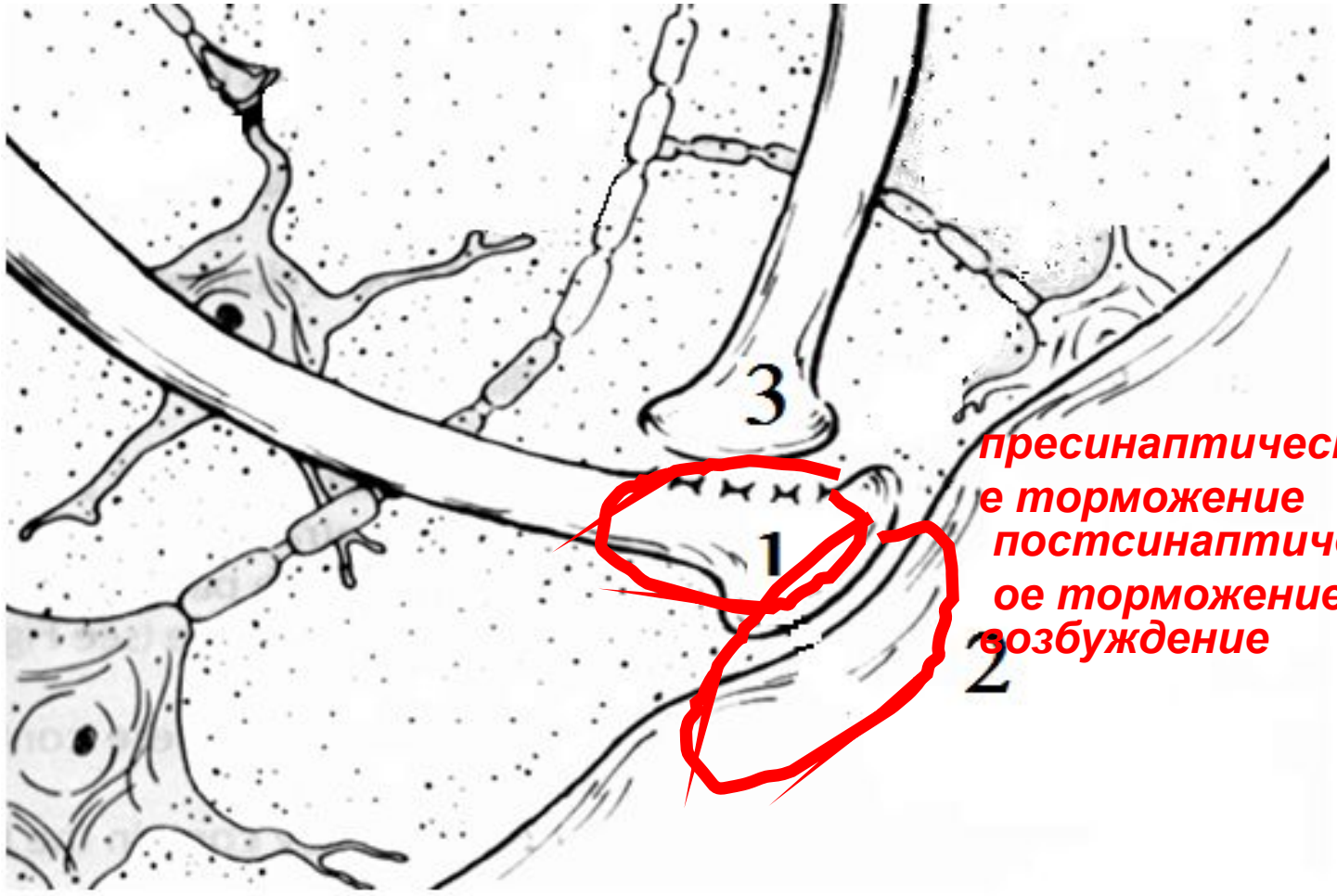
Video: Synaptic_Transmission.mp4



Video: Function of Neuromuscular Junction.mp4



Классификация синапсов по конечному физиологическому эффекту



пресинаптическое торможение
постсинаптическое торможение
возбуждение

3.2 Этапы и механизмы синаптической передачи в химических синапсах



Этапы синаптической передачи в химических синапсах:

Синтез медиатора

Секреция медиатора

Взаимодействие медиатора с
постсинаптической мембраной

Инактивация медиатора

3.3 Свойства синапсов



Свойства синапсов:

Пластичность

Одностороннее проведение возбуждения

Синаптическая задержка

Низкая лабильность

Утомляемость

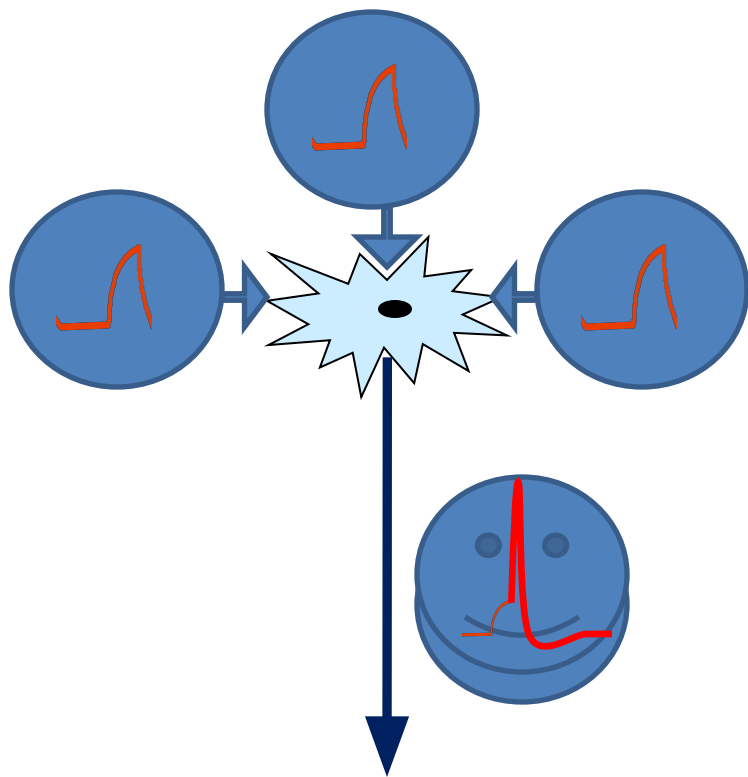
Трансформация возбуждения

Высокая чувствительность к химическим веществам

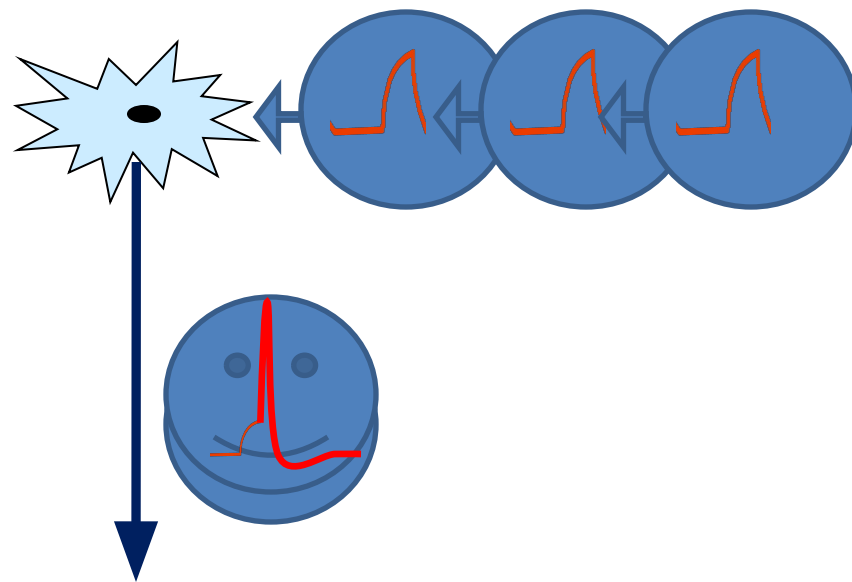
Суммация возбуждения



Суммация возбуждения:



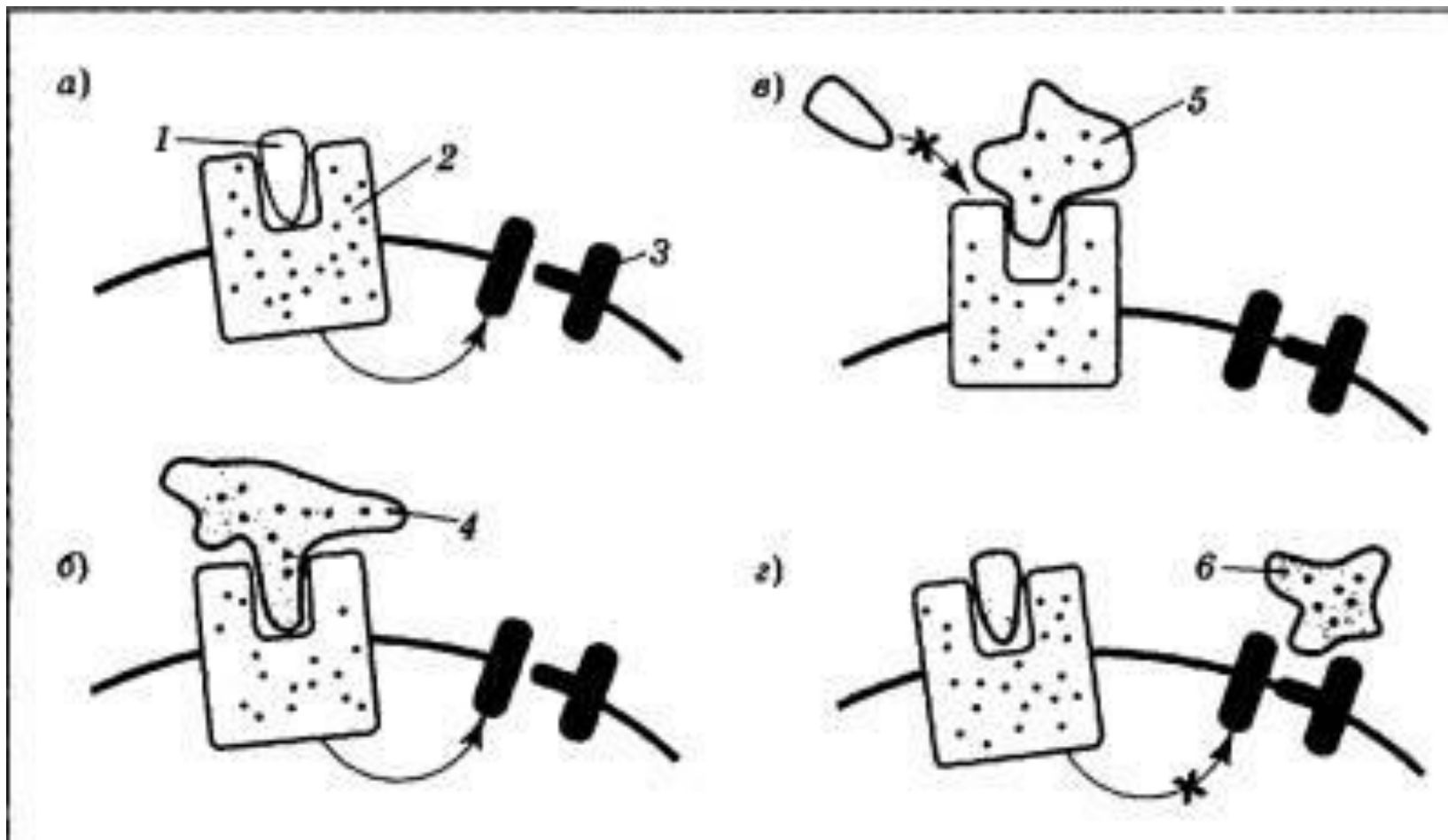
Пространственная
суммация



Временная
суммация



Механизмы чувствительности синапсов к различным химическим веществам



4. СЕНСОРНЫЕ РЕЦЕПТОРЫ



4. СЕНСОРНЫЕ РЕЦЕПТОРЫ



Рецептор - периферическая специализированная часть анализатора, посредством которой воздействие раздражителей внешнего мира и внутренней среды организма трансформируется в процесс нервного возбуждения.

Сенсорная система (или анализатор по И.П. Павлову) - это часть нервной системы, состоящая из воспринимающих элементов - рецепторов, получающих стимулы из внешней или внутренней среды, нервных путей, передающих информацию от рецепторов в мозг, и нервных центров, которые перерабатывают эту информацию.

4.1 Виды и свойства рецепторов



Психофизиологическая классификация рецепторов:

- зрительные,
- слуховые,
- обонятельные,
- вкусовые,
- осязательные рецепторы,
- барорецепторы,
- терморецепторы,
- проприорецепторы,
- вестибулорецепторы,
- рецепторы боли (ноцицепторы).

Классификация рецепторов по расположению:

- *экстерорецепторы* - рецепторы, воспринимающие раздражение из окружающей среды.
- *интерорецепторы* - рецепторы, воспринимающие раздражения из внутренней среды организма.

Классификация рецепторов по характеру контакта со средой:

- ***дистантные рецепторы*** - рецепторы, получающие информацию на расстоянии от источника раздражения (зрительные, слуховые) ;
- ***контактные рецепторы*** - рецепторы, возбуждающиеся при непосредственном соприкосновении с раздражителем (обонятельные, вкусовые, тактильные).

Классификация рецепторов в зависимости от природы раздражителя:

- механорецепторы ;
- барорецепторы;
- фонорецепторы;
- ноцицептивные рецепторы;
- отолитовые рецепторы;
- хеморецепторы;
- осморорецепторы;
- терморецепторы;
- фоторецепторы;
- проприорецепторы.



Классификация рецепторов по формированию импульса:

- первичночувствующие,
- вторичночувствующие.



4.2 Кодирование свойств раздражителей в рецепторах



Кодирование – это совершаемое по определенным правилам преобразование информации в условную форму (код). В сенсорной системе используется **двоичное** кодирование сигналов, то есть кодирование наличием или отсутствием электрического импульса в тот или иной момент времени.

Виды кодирования:

- паттерн (рисунок) импульсов
- число возбужденных нейронов
- химическое кодирование
- позиционное кодирование

4.3 Понятие о рецептивном поле и рефлексогенных зонах



Определенное множество рецепторов, связанных с отдельным афферентным волокном, называется **рецептивным полем**.

Область расположения рецепторов, раздражение которых вызывает определенный рефлекс (например, раздражение слизистой оболочки носа - чихание) называют **рефлексогенной зоной**.

5. ЖЕЛЕЗА



Железа представляет собой орган, паренхима которого сформирована из высокодифференцированных железистых клеток (гланулоцитов), основная функция которых — секреция.

Секреция – процесс образования в клетке и последующего выделения специфического продукта (секрета).

Функции секреции:

- образование и выделение пищеварительных соков, молока, слезной жидкости, пота;
- образование и выделение гормонов;
- образование и выделение биологически активных веществ нервными клетками (нейросекреция).

5.1 Виды желез



В зависимости от типа секреции:

- экзокринная железа;
- эндокринная железа;
- смешанные железы.

Способы секреции:

- мерокриновый,
- апокриновый,
- голокриновый.

Возбуждение секреторной клетки сопровождается дискретными изменениями поляризованности мембраны — **секреторными потенциалами.**



Мышцы у всех высших животных являются
важнейшими исполнительными (рабочими) органами
– **эффекторами.**

5.2 Секреторный цикл



Секреторный цикл – сложный процесс синтеза и выделения секретлируемого продукта

6. МЫШЦА

6.1 Виды и основные функции мышц



ВИДЫ МЫШЦ

СКЕЛЕТНЫЕ МЫШЦЫ

Все виды произвольных движений – ходьба, бег, плавание, речь, письмо, мимика, а также движения глазных яблок и слуховых косточек, дыхание и глотание.

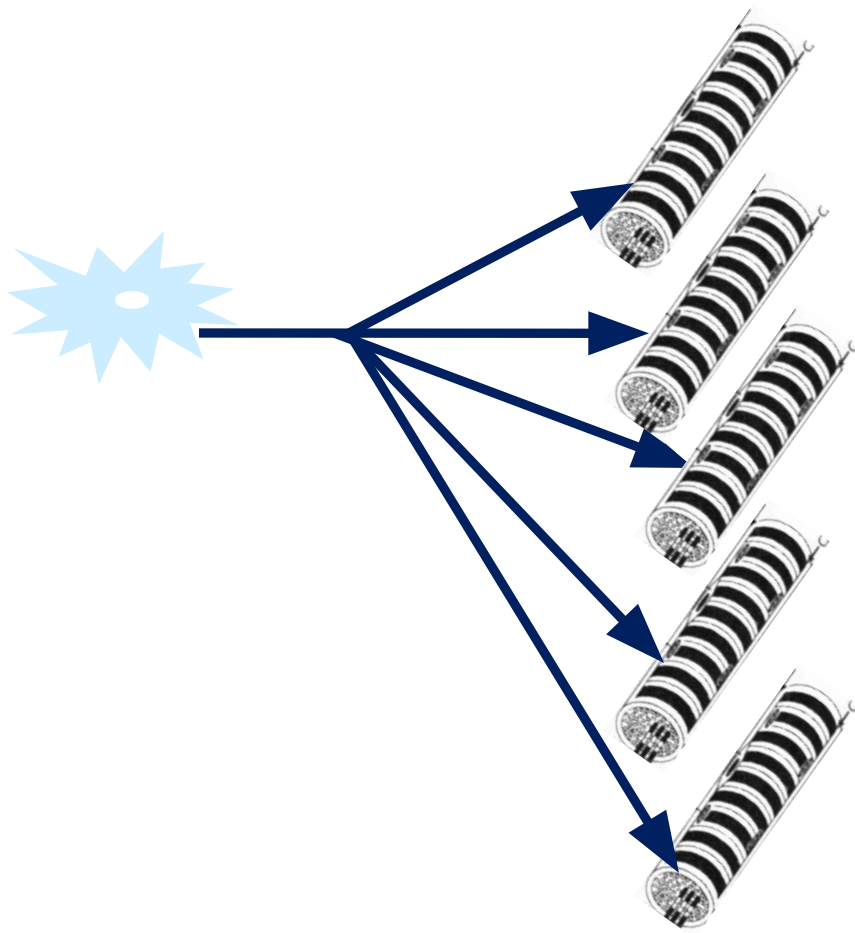
СЕРДЕЧНАЯ И ГЛАДКИЕ МЫШЦЫ

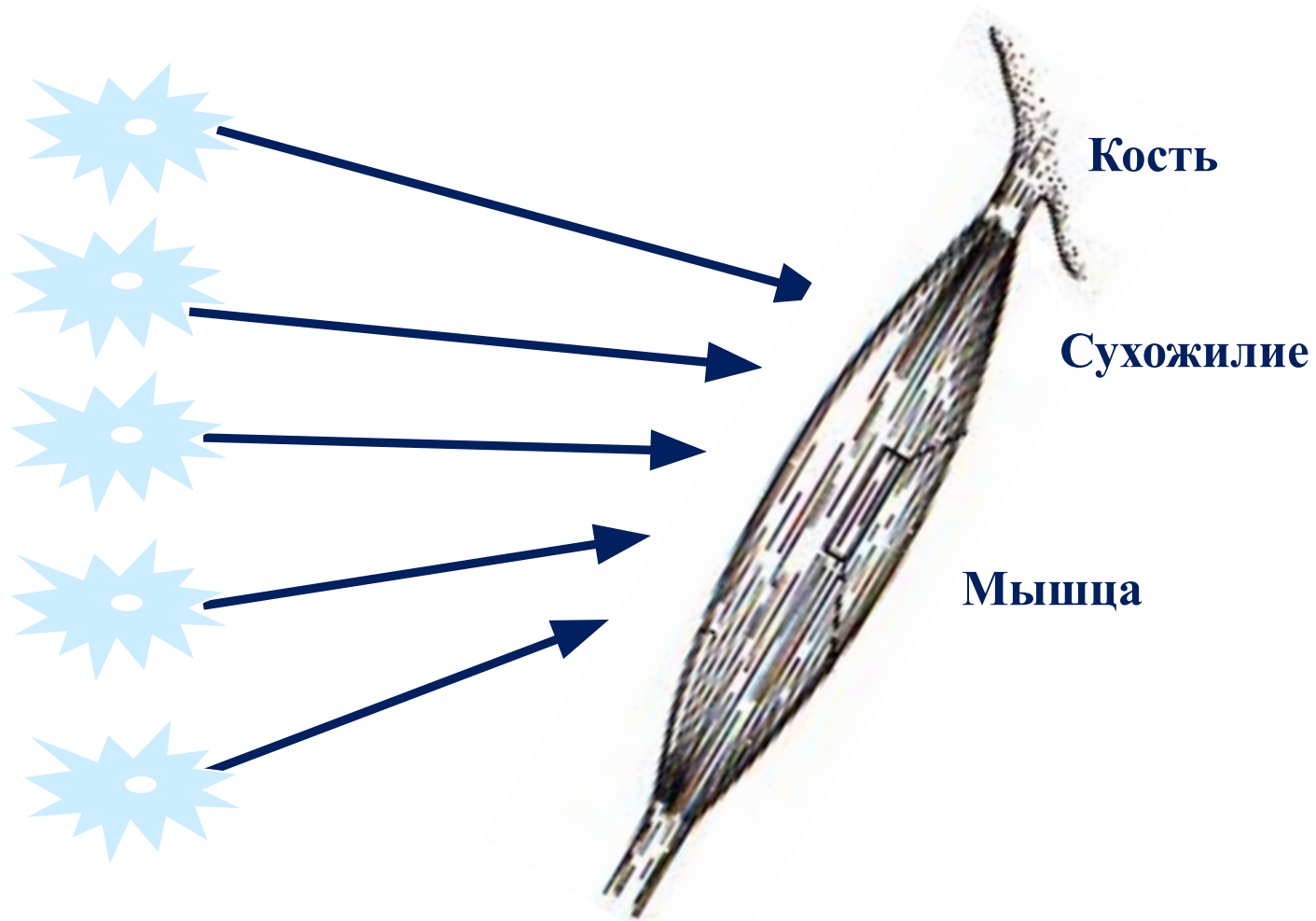
Все виды непроизвольных движений – сокращения сердца, перистальтика желудка и кишечника, изменение тонуса кровеносных сосудов, сохранение пластического тонуса мочевого пузыря .

6.2 Скелетные мышцы

6.2.1 Иннервация скелетных мышц







Video: Muscular System, Neuromuscular Junction.mp4



6.2.2 Классификация двигательных единиц



Классификация двигательных единиц:

1. Медленные неутомляемые ДЕ
2. Быстрые, легко утомляемые ДЕ
3. Быстрые, устойчивые к утомлению

Сравнение медленных и быстрых мышечных волокон

Характеристика	Медленно сокращающиеся (тип I)	Быстро сокращающиеся (тип II)
Цвет	Красный (миоглобин)	Белый (мало миоглобина)
Метаболизм	Окислительный	Гликолитический
Митохондрии	Обильно	Несколько
Гликогена	Низкий	Высокий
Утомляемость	Низкая	Высокая
Толщина	Тонкие	Толстые

Два варианта преобладания мышечных волокон



Больше белых
мышечных волокон



Больше красных
мышечных волокон



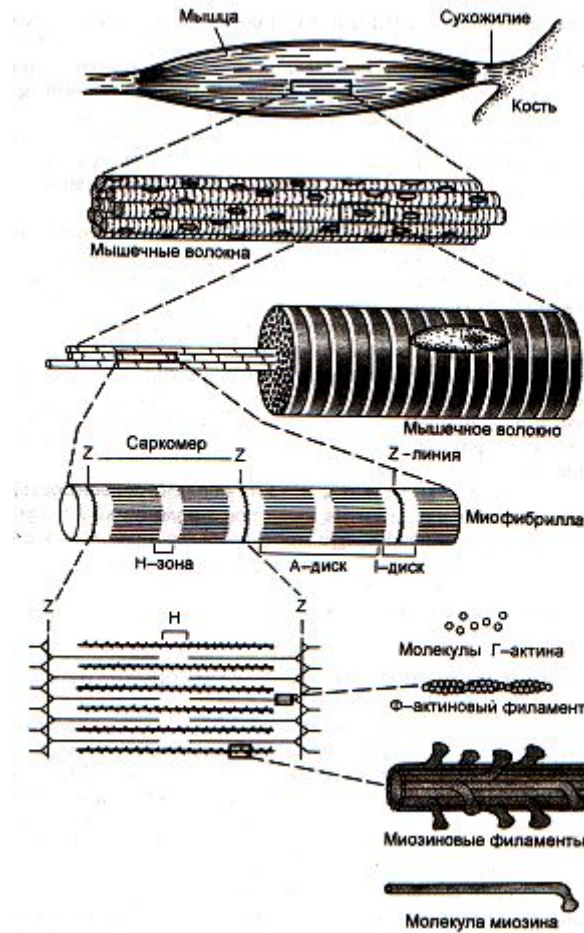
6.2.3 Строение скелетной мышцы.



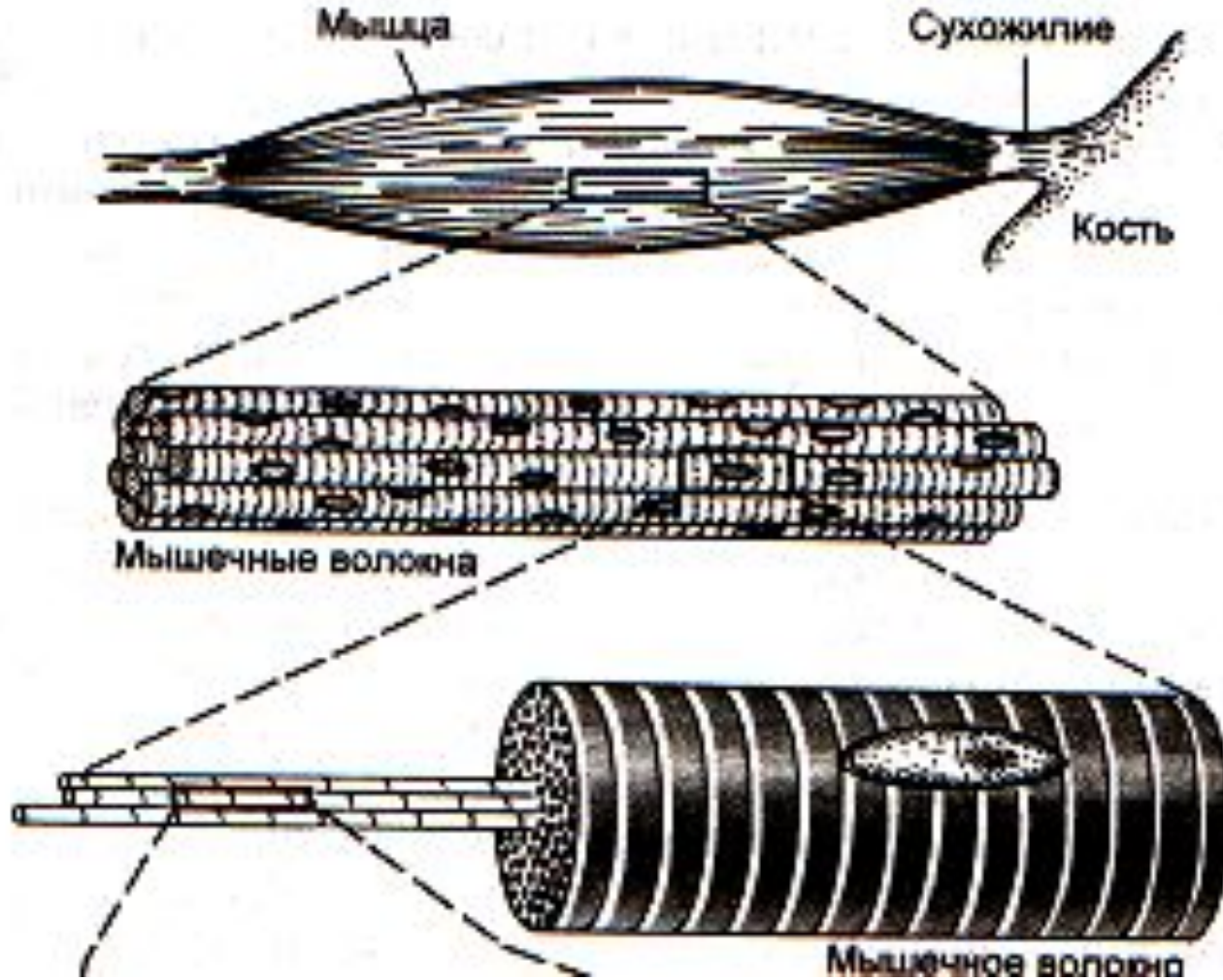
Video: Muscle Structure and Function.mp4



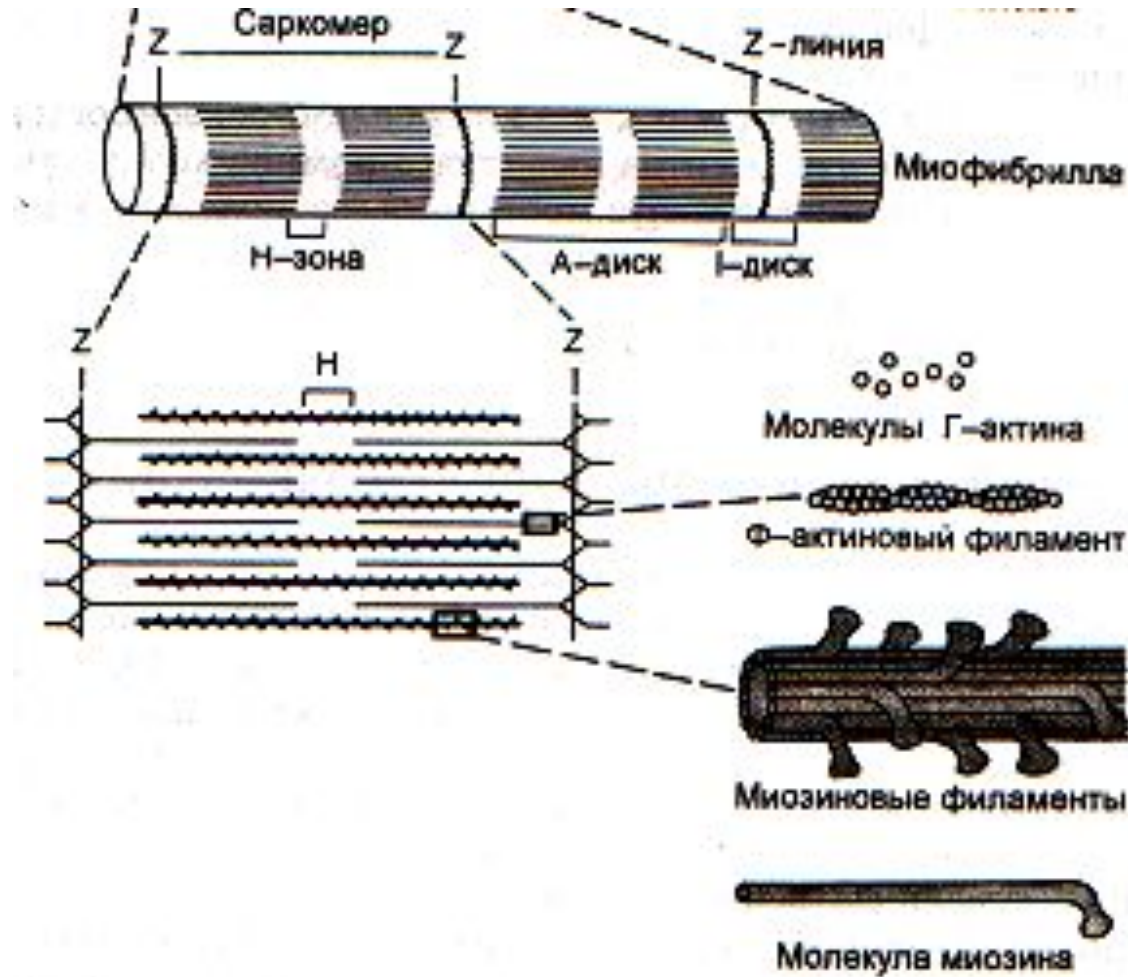
Строение скелетной мышцы:



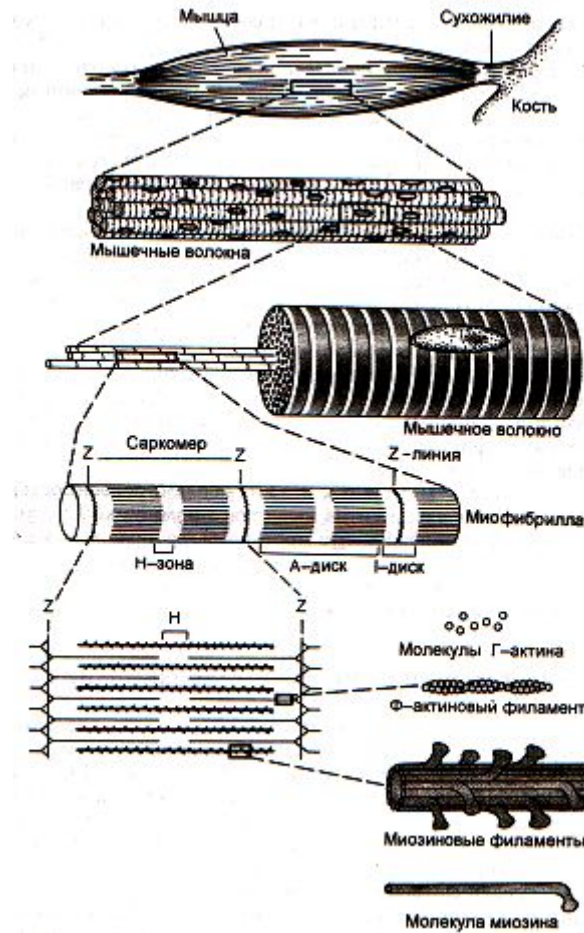
Строение скелетной мышцы:



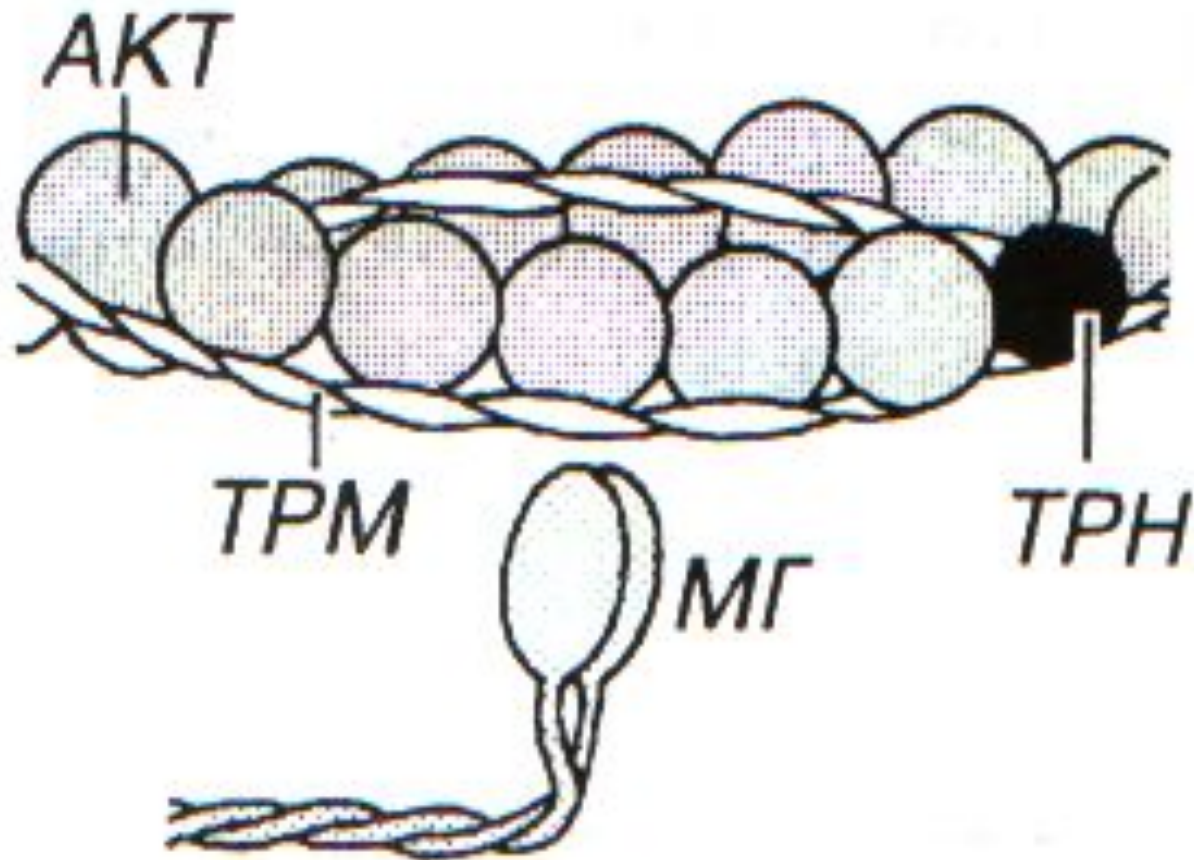
Строение скелетной мышцы:



Строение скелетной мышцы:



Строение актина и миозина:



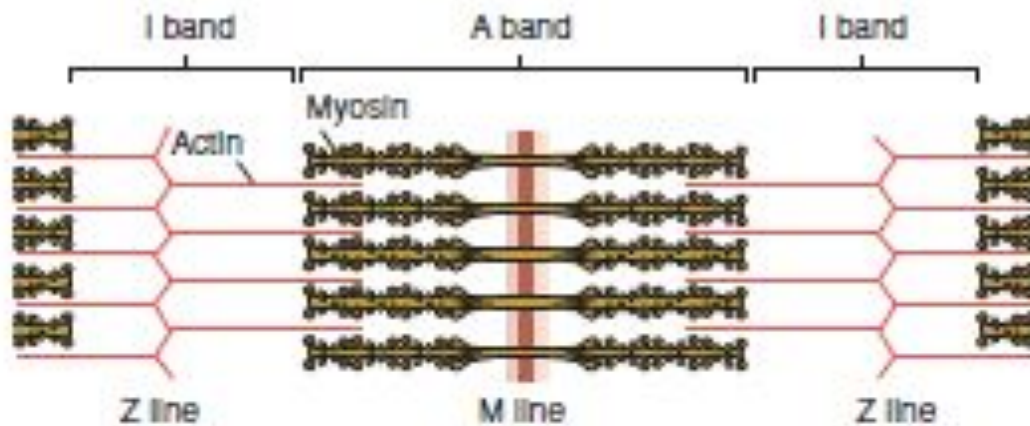
Video: How a muscle contraction is signalled - Animation.mp4



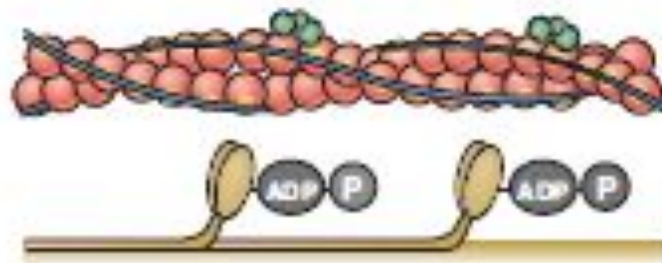
6.2.4 Механизм сокращения мышечного волокна



Механизм сокращения мышечного волокна:



1. Sarcomere before muscle shortening

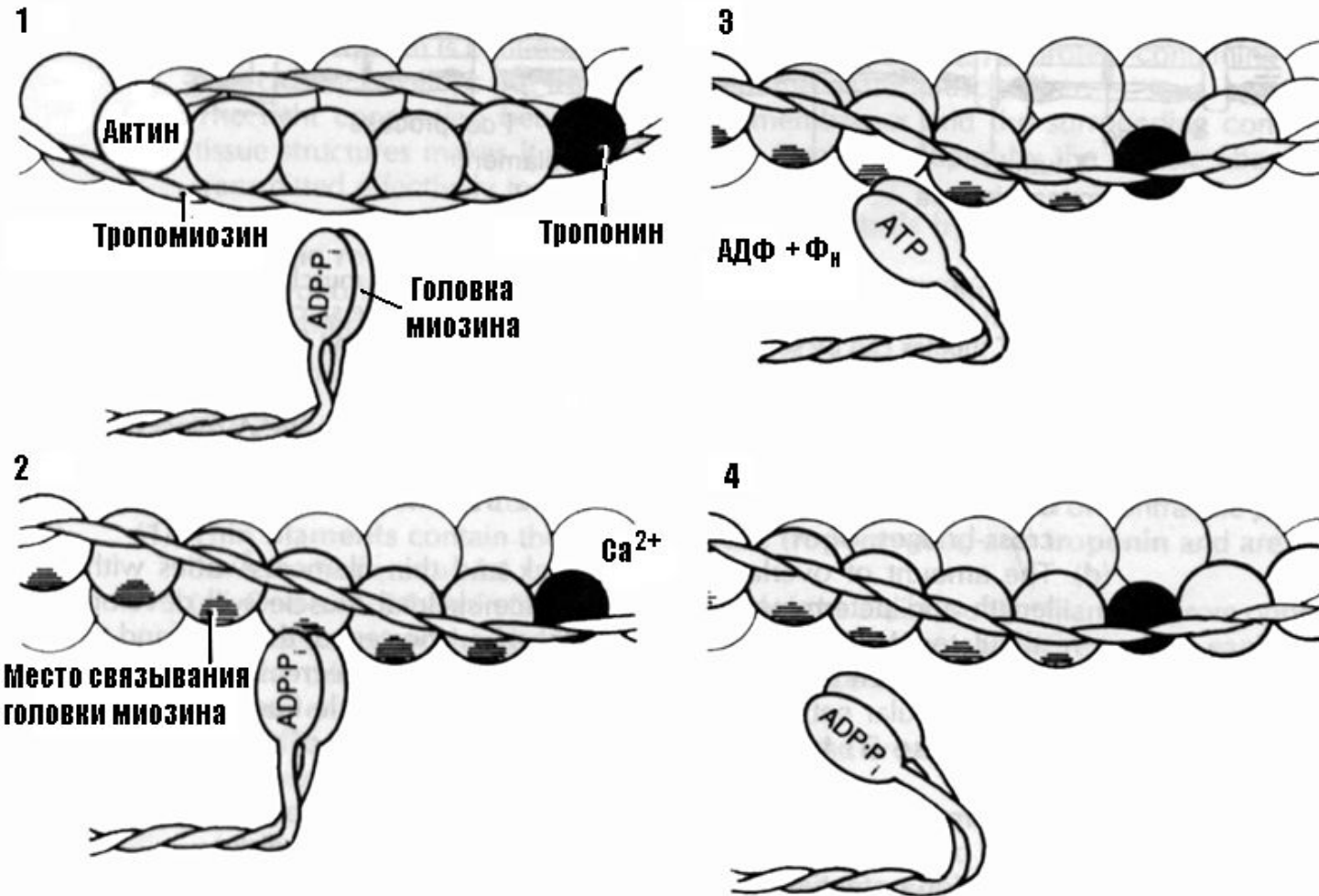


2. Low Ca^{2+} ; actin active sites unavailable

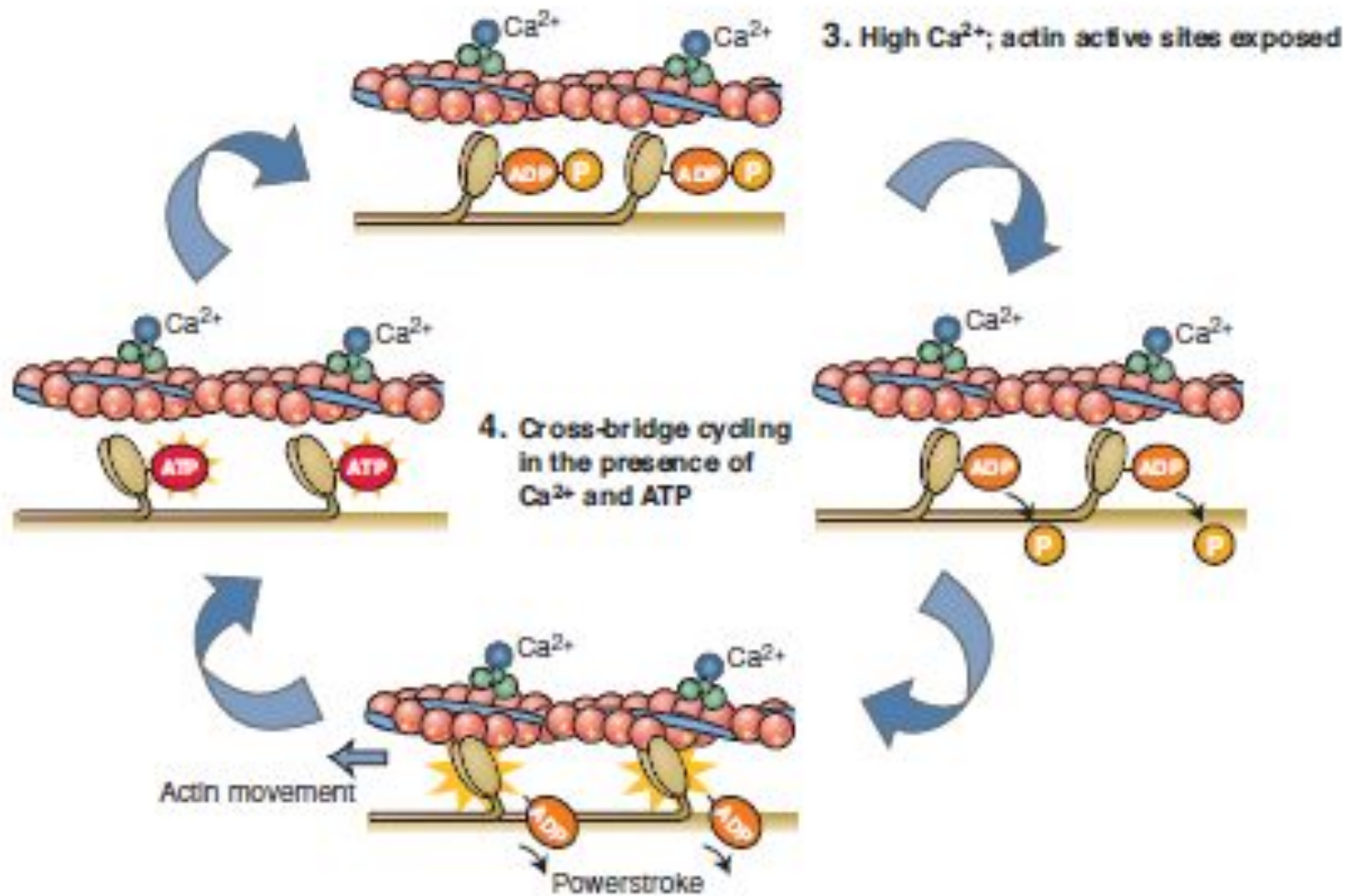


Теория скольжения нитей: мышечное сокращение происходит при последовательном связывании нескольких центров миозиновой головки поперечного мостика с определенными участками на актиновых филаментах.

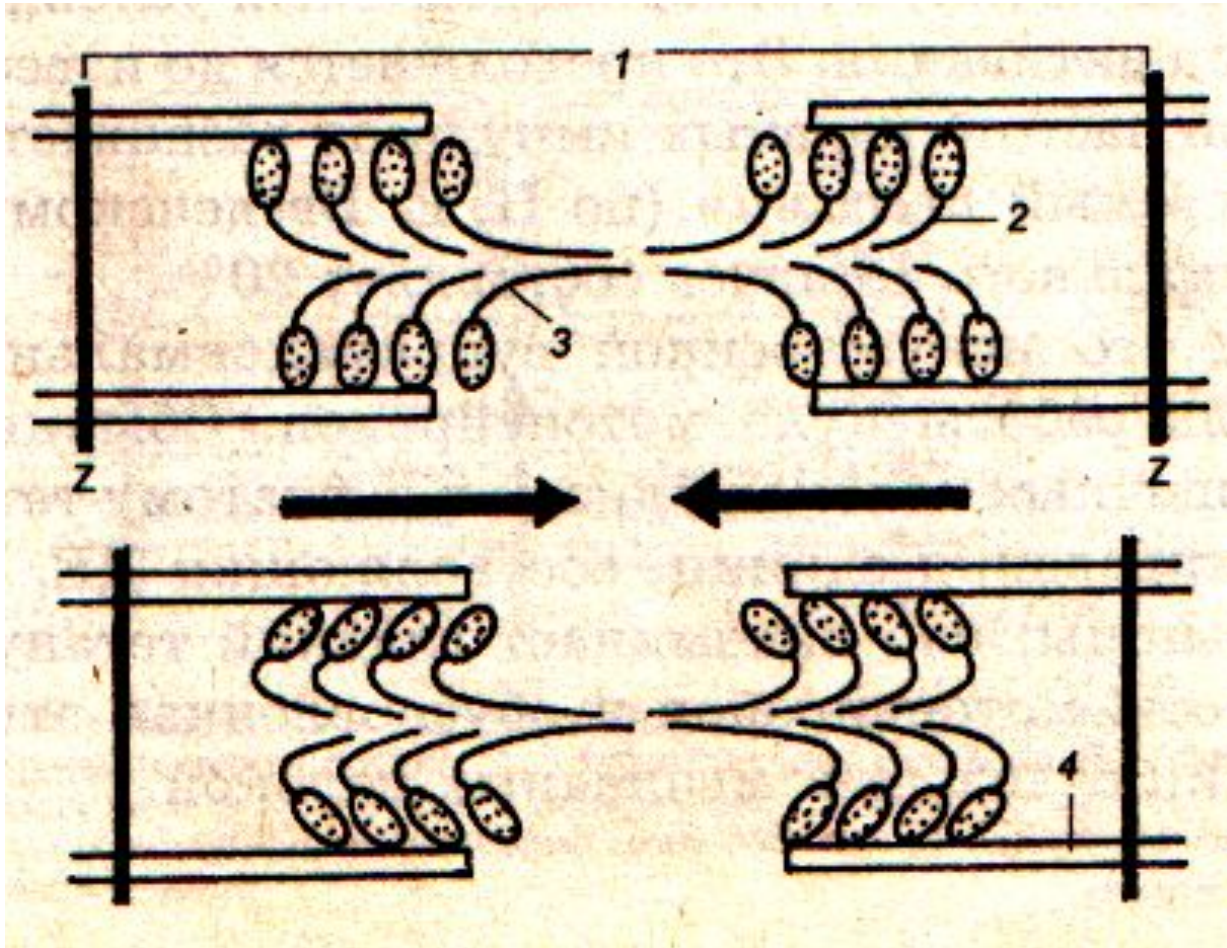
Механизм сокращения мышечного волокна:



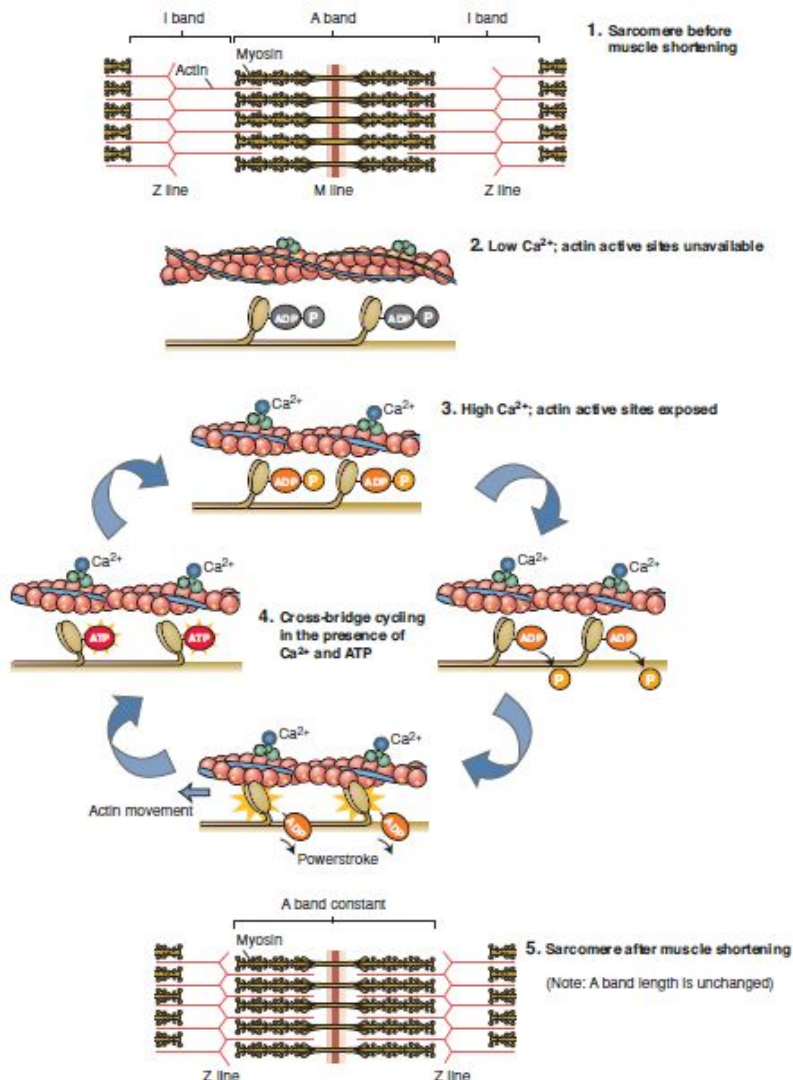
Механизм сокращения мышечного волокна:



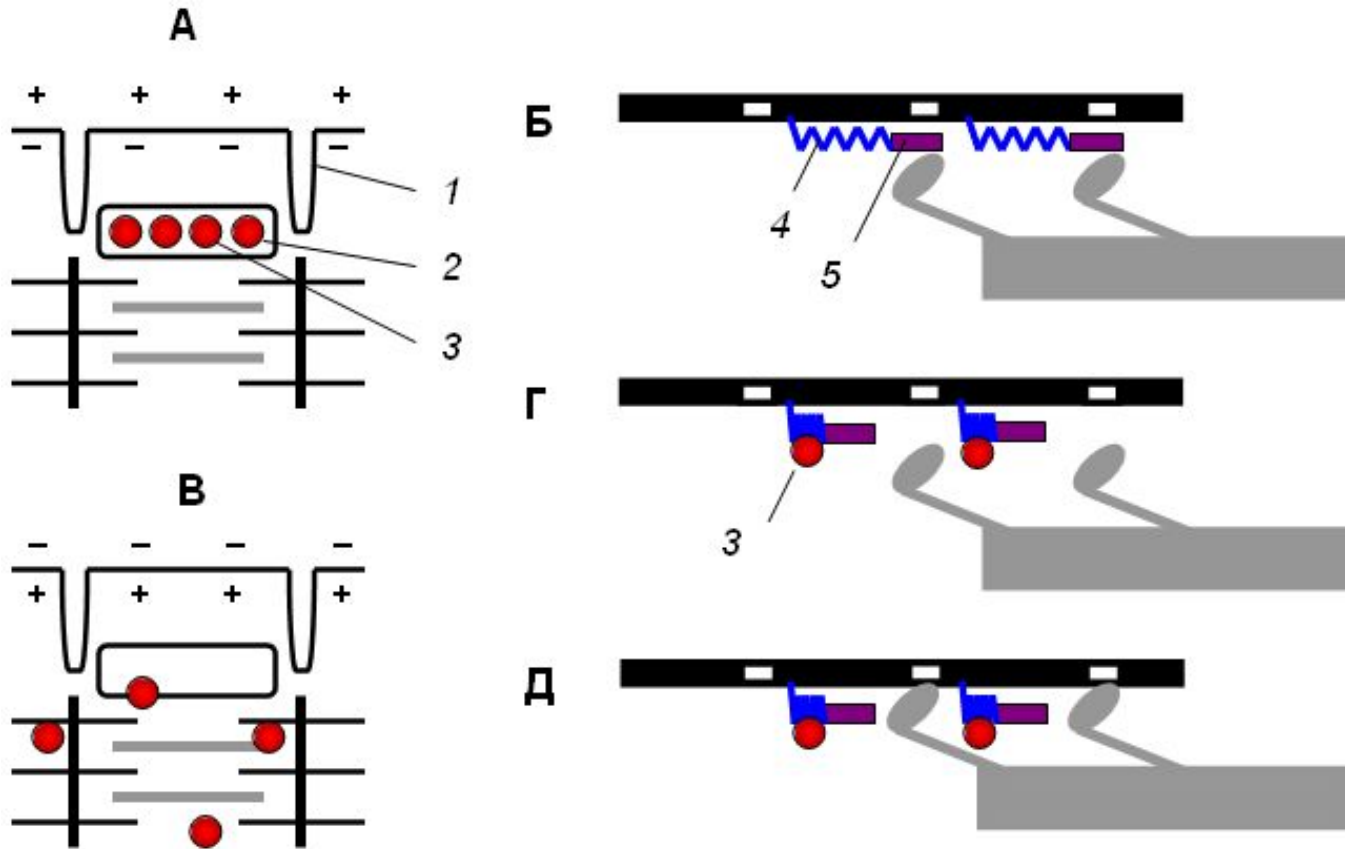
Механизм сокращения мышечного волокна:



Теория скольжения нитей



Механизм сокращения мышечного волокна:



- 1 – поперечная трубочка саркоплазматической мембраны,
2 – саркоплазматический ретикулум,
3 – ион Ca^{2+} ,
4 – молекула тропонина,

Совокупность процессов, обуславливающих распределение ПД вглубь мышечного волокна, выход ионов Ca^{2+} из саркоплазматического ретикулума, взаимодействие сократительных белков и укорочение мышечного волокна называется **электромеханическим сопряжением**.

Video: Steps of Muscle Contraction.mp4



6.2.5 Механика мышцы. Физические свойства и режимы мышечных сокращений



Физические свойства скелетных мышц:

1. Растяжимость
2. Эластичность
3. Сила мышцы
4. Способность совершать работу.



Закон средних нагрузок: максимальная работа мышц производится при средних величинах нагрузок.



Режимы мышечных сокращений:

Изотонический

Изометрический

Ауксотонический

Ауксометрический



Фазы одиночного мышечного сокращения:

латентный период - время от начала действия раздражителя до начала ответной реакции



фаза сокращения (фаза укорочения)

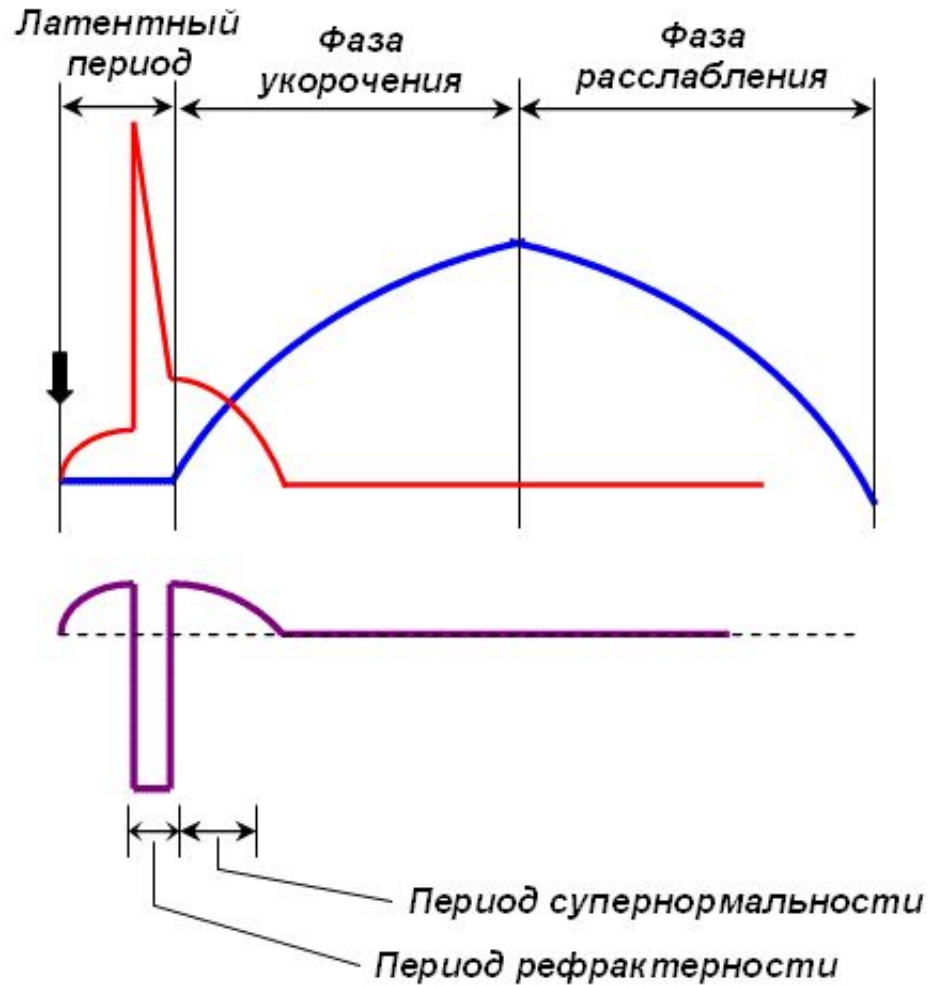


фаза расслабления

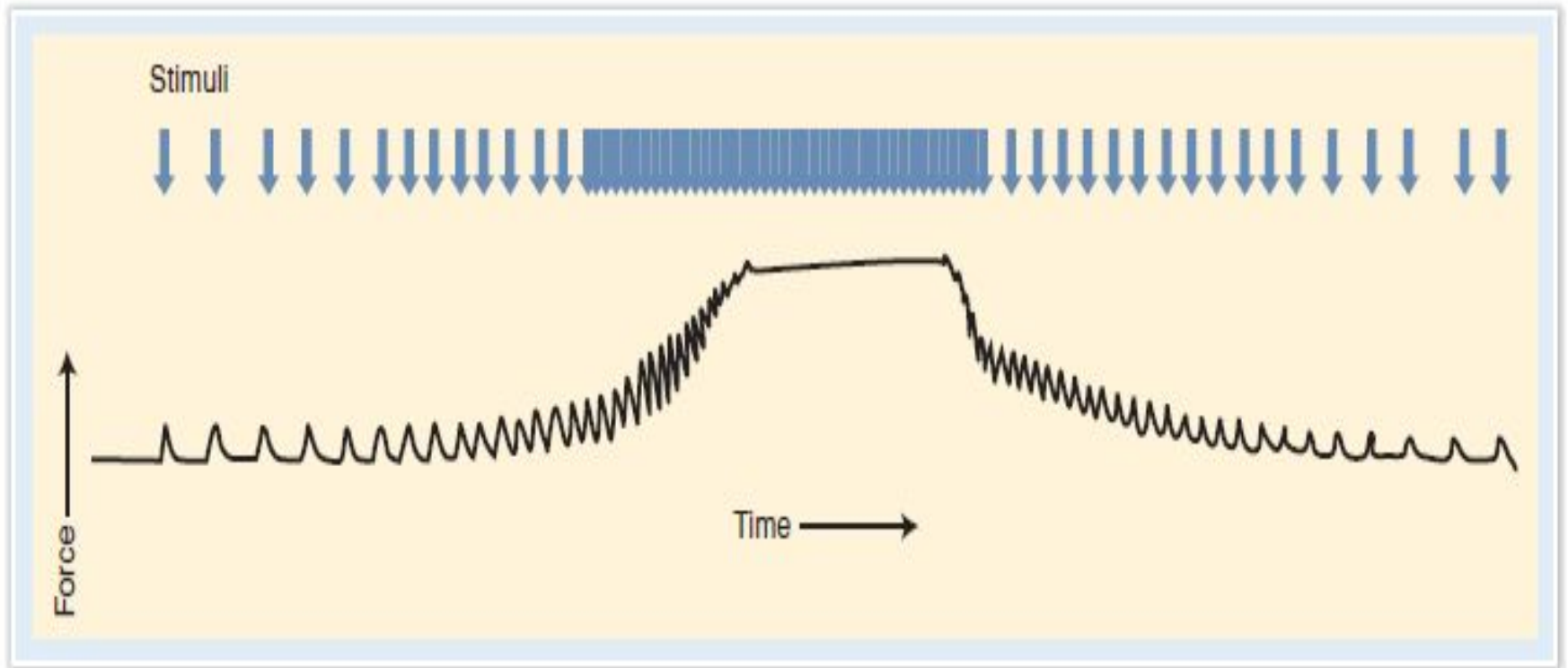
Длительное сокращение мышцы, возникающее в ответ на ритмическое раздражение получило название **тетанического сокращения** или **тетануса**.



Одиночное мышечное сокращение

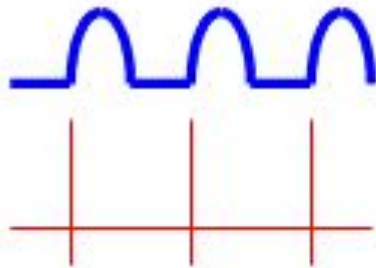


Тетанус

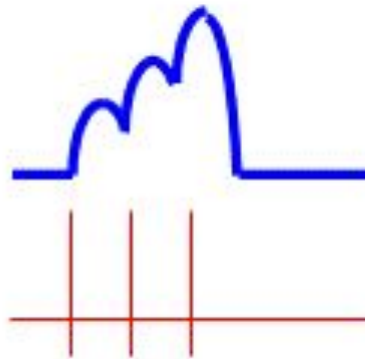


Тетанус

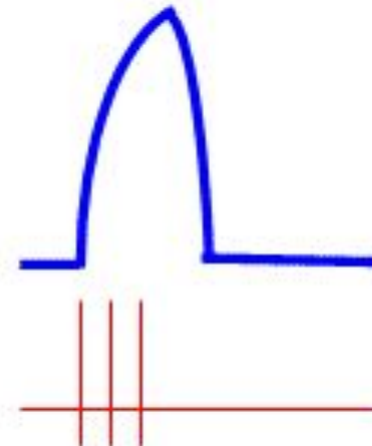
Одиночное сокращение



Зубчатый тетанус



Гладкий тетанус



6.2.6. Энергетика мышцы. Системы восстановления АТФ, коэффициент полезного действия и тепловой выход мышцы



Системы восстановления АТФ

фосфогенная система

**система окислительного
фосфорилирования**

гликолитическая система



Video: How does Creatine work.mp4



Коэффициент полезного действия (КПД) мышцы

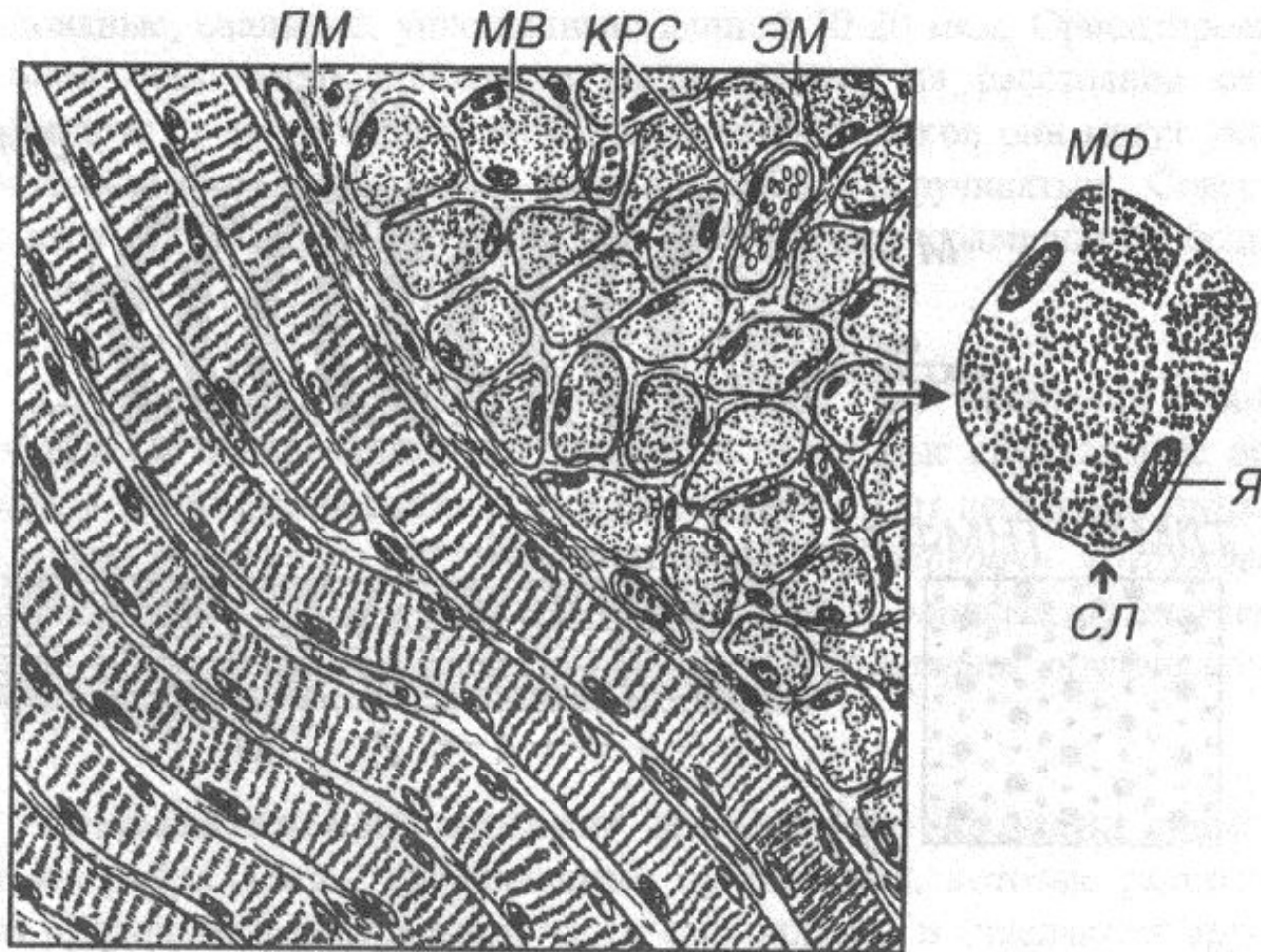
$$КПД = \frac{A}{A + Q}$$

где A – совершаемая работа, а Q - тепловой выход мышцы.

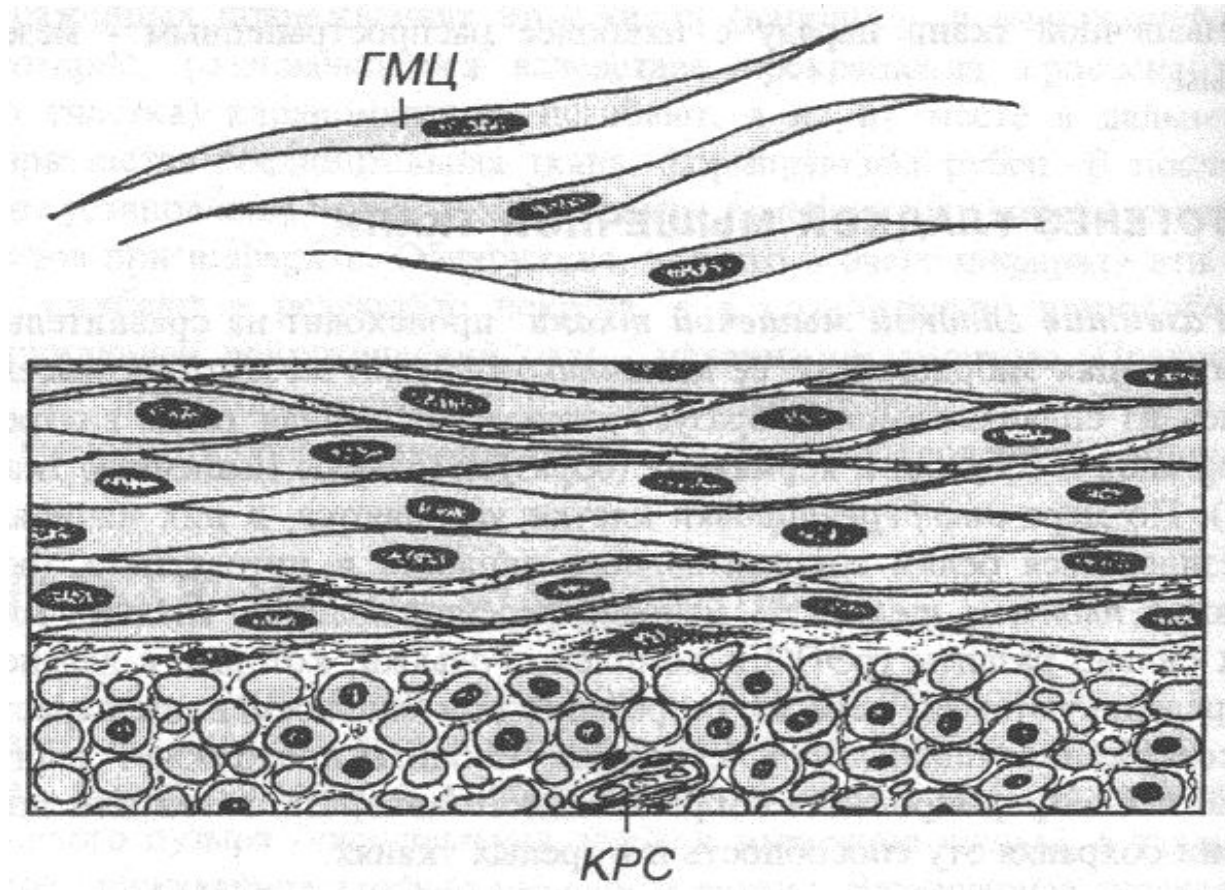
6.3 Гладкие мышцы



Скелетная мышечная ткань



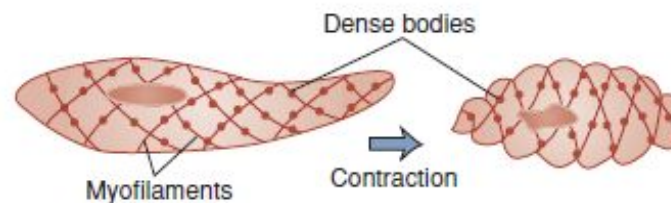
Гладкая мышечная ткань



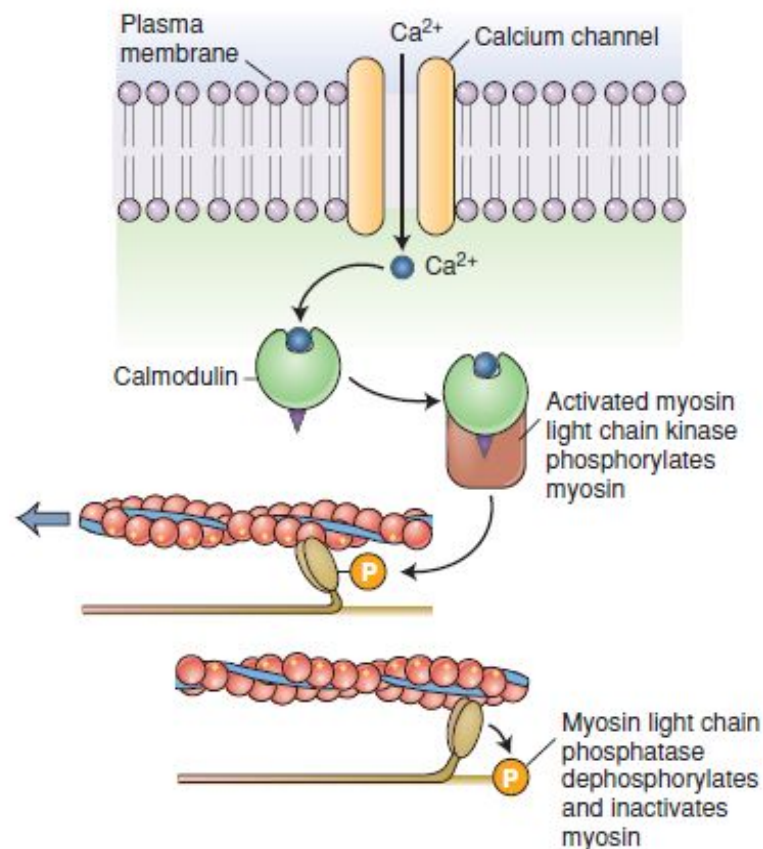
**А. Структура
гладкомышечных
клеток.**

**В. Механизм
сокращения.**

A. Morphology of single smooth muscle cells



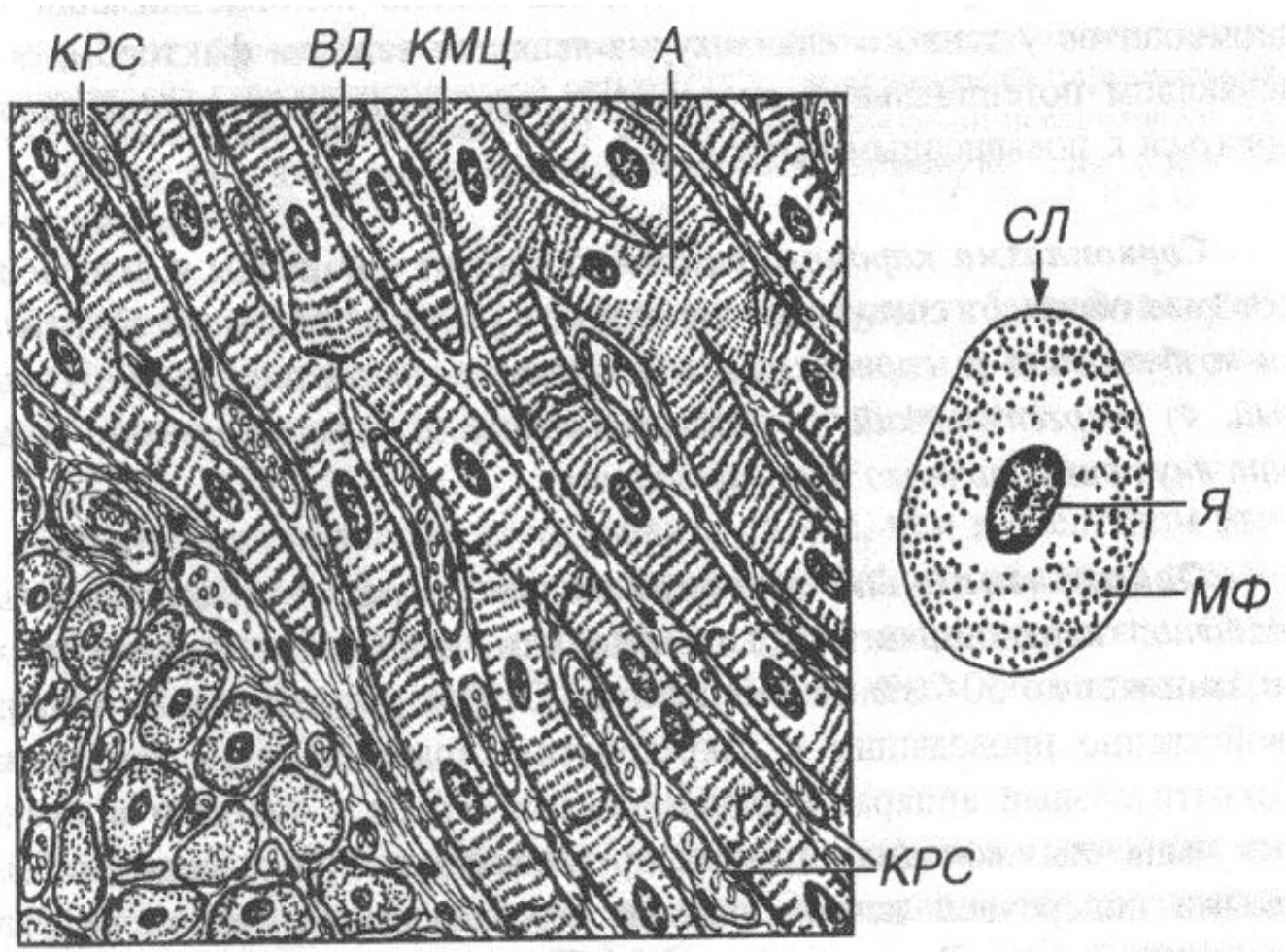
B. Excitation-contraction coupling in smooth muscle



6.4 Кардиомиоциты позвоночных



Сердечная мышечная ткань



Спасибо за внимание!

