



ЛЕКЦИЯ № 2

ФИЗИОЛОГИЯ НЕРВНОГО ВОЛОКНА.

**ПЕРЕДАЧА ВОЗБУЖДЕНИЯ ПО
НЕРВНОМУ ВОЛОКНУ И ЧЕРЕЗ
НЕРВНО-МЫШЕЧНЫЙ СИНАПС.**

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

- 1. Структурно-функциональная характеристика нервного волокна.**
- 2. Механизм проведения нервного импульса по миелиновым и безмиелиновым волокнам.**
- 3. Функциональная классификация нервных волокон по Эрлангеру-Гассеру.**
- 4. Законы проведения возбуждения по нервным волокнам.**
- 5. Структурно-функциональная характеристика нервно-мышечного синапса. Механизм проведения возбуждения через нервно-мышечный синапс.**

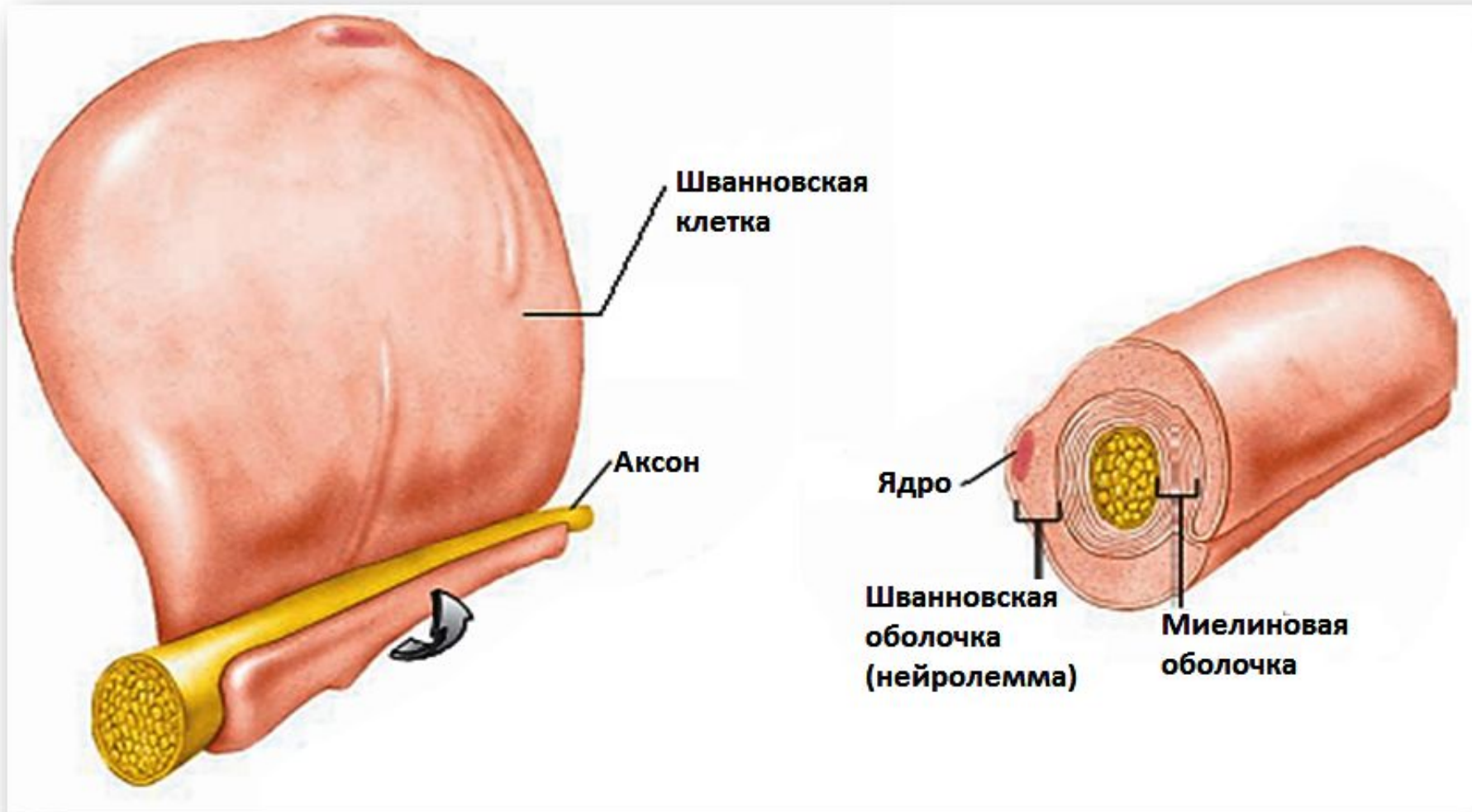
ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ:

- 1) Получать информацию от рецепторов – специализированных клеток и органов, которые воспринимают изменения внутренней и внешней среды организма;**
- 2) Обработать эту информацию и осуществлять соответствующую ответную реакцию, что называется нервной интеграцией;**
- 3) Передавать эту информацию эффекторным клеткам и органам (собственно другим нейронам и их обраткам, мышечным и железистым клеткам), которые осуществляют ответную реакцию организма.**

СТРУКТУРА И ФУНКЦИИ НЕРВНЫХ ВОЛОКОН



ФОРМИРОВАНИЕ МИЕЛИНОВОЙ ОБОЛОЧКИ ВОКРУГ ПЕРИФЕРИЧЕСКОГО АКСОНА



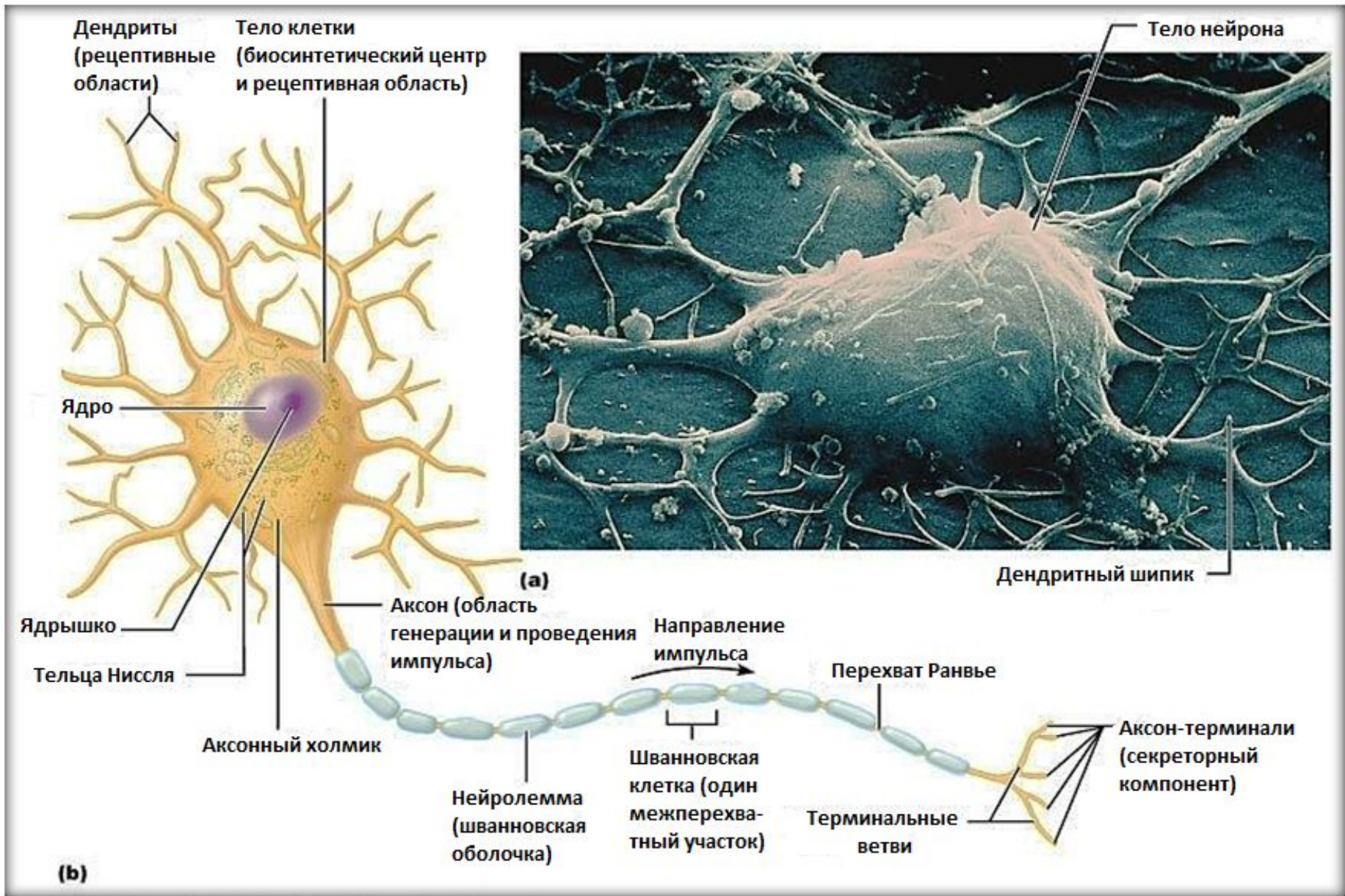


СХЕМА СТРОЕНИЯ НЕЙРОНА

СТРУКТУРНЫЕ КОМПОНЕНТЫ НЕЙРОНА И ИХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ

- 1) Рецептивная, или функционально-дендритическая зона, где суммируются локальные потенциалы, генерируемые в синаптических соединениях дендритов;
- 2) Тело нейрона – биосинтетический центр нейромедиаторов и обширная рецептивная область;
- 3) Аксональный холмик – место, где генерируются распространяющиеся потенциалы действия;
- 4) Аксональный отросток (или аксон), передающий распространяющиеся импульсы к нервным окончаниям;
- 5) Нервные окончания, в которых потенциалы действия вызывают высвобождение в синаптических щелях нейромедиаторов.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛОЗАВИСИМЫХ **Na⁺** КАНАЛОВ

<i>Отдел нервного волокна</i>	<i>Концентрация потенциалозависимых Na⁺ каналов на мм²</i>
<i>Миелиновые волокна</i>	
<i>Тело клетки</i>	50-75
<i>Начальный сегмент</i>	300-500
<i>Перехваты Ранвье</i>	2000-12000
<i>Миелиновая поверхность</i>	менее 25
<i>Аксон-терминаль</i>	20-75
<i>Безмиелиновые волокна</i>	
<i>Равномерно распределены вдоль аксона</i>	100-150

(источник: Ganong's review of medical physiology (23rd edition) / Kim E. Barrett, Susan M. Barman, Scott Boitano, Heddwen L. Brooks. – McGrawHill Lange, 2010.)

ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МИЕЛИНОВЫХ НЕРВНЫХ ВОЛОКОН

Мембрана
осевого цилиндра

- Генерация нервного импульса
- Проведение нервного импульса

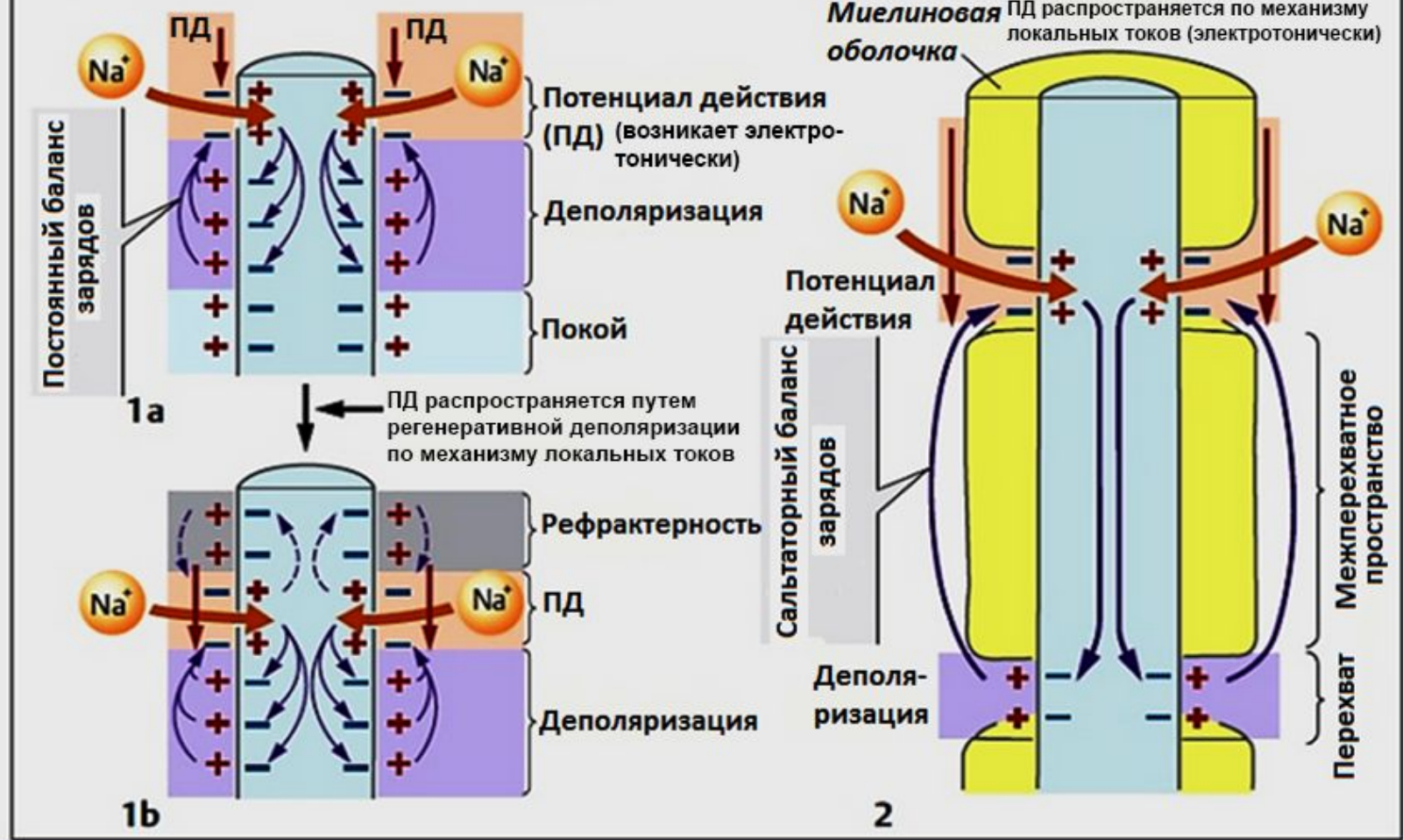
Миелиновая
оболочка

- Электрическая изоляция
- Трофическая функция

Нейрофибриллы
Микротрубочки
Транспортные
филаменты

- Транспорт веществ и органелл клетки

Непрерывное (1а, 1в) и сальтаторное (2) распространение ПД



Безмиелиновые волокна

Миелиновые волокна

МЕХАНИЗМ НЕПРЕРЫВНОГО ПРОВЕДЕНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ ПО БЕЗМИЕЛИНОВЫМ НЕРВНЫМ ВОЛОКНАМ

- 1. Безмиелиновое нервное волокно имеет Na^+ каналы на протяжении всей своей длины.**
- 2. Когда потенциал действия возникает в триггерной зоне, Na^+ входит в аксон и диффундирует в смежные области прямо под плазматической мембраной.**
- 3. Возникающая в результате деполяризация возбуждает потенциалозависимые Na^+ каналы дистальнее потенциала действия (электротонически, механизм – локальные точки).**
- 4. Натриевые и калиевые каналы открываются и закрываются так же, как в триггерной зоне, и возникает новый потенциал действия. В то же время проксимальный участок нервного волокна находится в рефрактерном периоде и не может возбудиться.**
- 5. Эта цепная реакция продолжается, пока передающийся**

МЕХАНИЗМ САЛЬТАТОРНОГО ПРОВЕДЕНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ ПО МИЕЛИНОВЫМ НЕРВНЫМ ВОЛОКНАМ

- 1. Na⁺ каналы в высокой концентрации находятся в перехватах и практически отсутствуют в участках мембраны аксона под миелиновой оболочкой. Таким образом, потенциалы действия возникают только в перехватах Ранвье.**
- 2. В момент возбуждения поверхность мембраны перехвата А становится электронегативной по отношению к следующему перехвату В. Это вызывает локальный ток, идущий к перехвату В.**
- 3. Ток, идущий к перехвату В, возбуждает его и вызывает перезарядку его мембраны.**
- 4. Возбуждение все еще продолжается в перехвате А, и он становится рефрактерным на некоторое время, так что перехват В способен возбудить только следующий перехват.**
- 5. Сальтаторное проведение ПД возможно, поскольку амплитуда ПД в каждом перехвате в 5-6 раз выше порогового уровня, необходимого для возбуждения соседнего перехвата.**
- 6. При определенных условиях, ПД может «перепрыгивать» через один-два межперехватных участка.**

НЕКОТОРЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА САЛЬТАТОРНОГО МЕХАНИЗМА ПРОВЕДЕНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ

- 1) Возбуждение распространяется через относительно большой участок нервного волокна, так что оно проводится значительно быстрее, чем при непрерывном проведении по безмиелиновому волокну такого же диаметра. В миелиновых волокнах расстояние между соседними перехватами Ранвье пропорционально диаметру волокна в соотношении 1:10.**
- 2) Сальтаторное проведение является энергосберегающим, поскольку возбуждается менее 1% поверхности мембраны. Таким образом, для восстановления ионной концентрации на работу Na^+/K^+ насоса затрачивается меньшее количество АТФ.**

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ НЕРВНЫХ ВОЛОКОН (ЭРЛАНГЕР И ГАССЕР, 1937)

Тип волокна	Диаметр, мкм	Скорость проведения возбуждения, м/с	Функции
$A\alpha$	12-22	70-120	Двигательные волокна скелетных мышц, афферентные волокна от мышечных рецепторов
$A\beta$	8-12	40-70	Афферентные волокна от тактильных рецепторов
$A\gamma$	4-8	15-40	Афферентные волокна от тактильных рецепторов и рецепторов давления; эфферентные волокна к мышечным веретенам
$A\delta$	1-4	5-15	Афферентные волокна от некоторых тепловых, болевых рецепторов и рецепторов давления
B	1-3,5	3-18	Преганглионарные волокна автономной нервной системы
C	0,5-2,0	0,5-3	Постганглионарные волокна автономной нервной системы, афферентные волокна от некоторых тепловых, болевых рецепторов и рецепторов давления

ЗАКОНЫ ПРОВЕДЕНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ ПО НЕРВНОМУ ВОЛОКНУ

1) Анатомо-физиологическая целостность нервного волокна.

Анатомическая целостность волокна является обязательным условием для проведения импульсов, поскольку перерезка нерва, так же, как и любое повреждение клеточной мембраны, препятствует проведению.

Проведение прерывается, если нарушена физиологическая целостность волокна (блокада натриевых каналов тетрадоксином или местной анестезией, резкое охлаждение и др.). Проведение также нарушается во время длительной деполяризации мембраны (например, при накоплении ионов K^+ в межклеточном пространстве при ишемии)

ЗАКОНЫ ПРОВЕДЕНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ ПО НЕРВНОМУ ВОЛОКНУ

2) Двустороннее (билатеральное) проведение возбуждения.

При стимуляции, возбуждение передается по нервному волокну как в центробежном, так и в центростремительном направлении. Это может быть доказано следующим экспериментом.

Из начального сегмента аксона при нанесении на него раздражителя потенциал действия проводится в двух направлениях: по аксону к нервным окончаниям и по телу нейрона к дендритам.

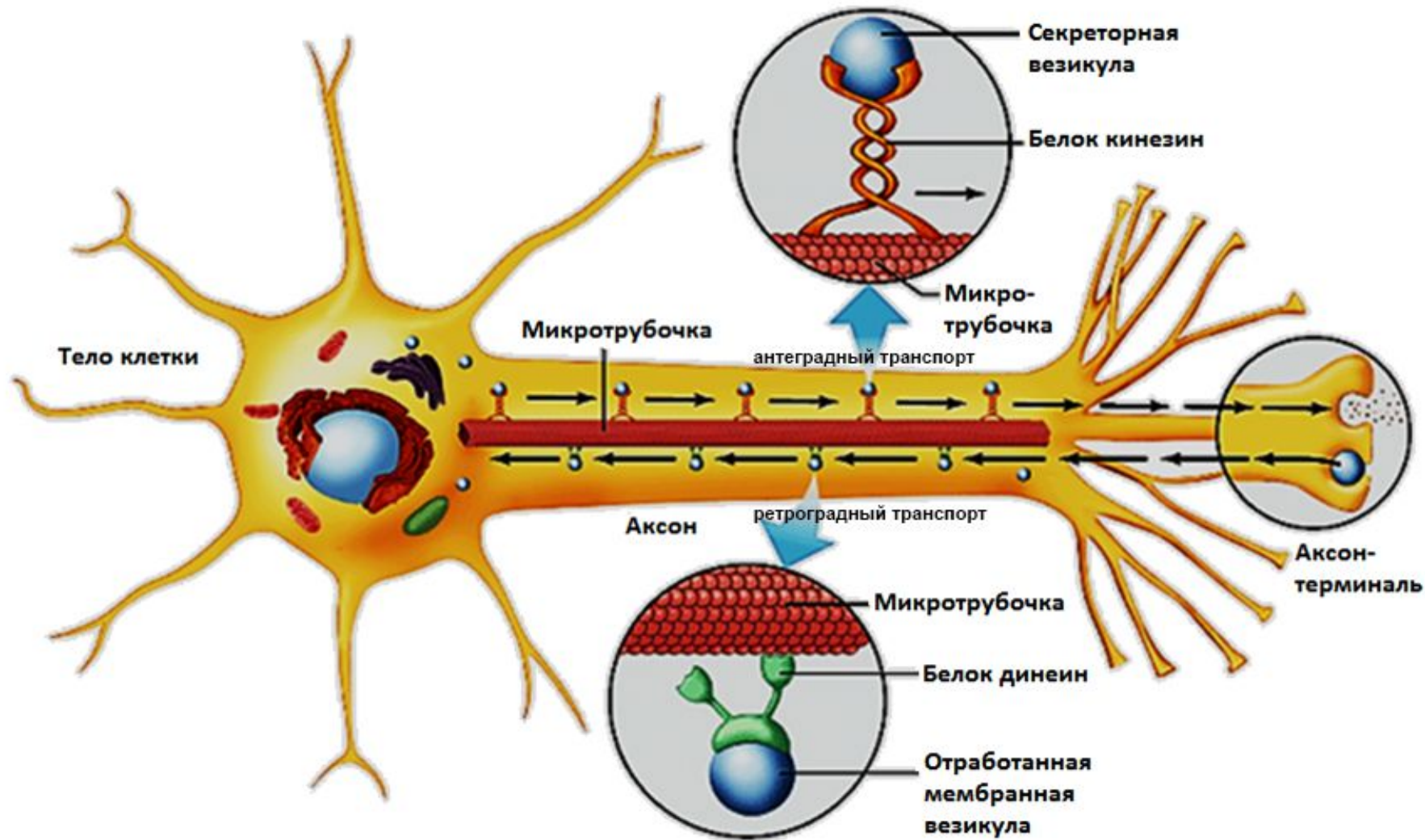
ЗАКОНЫ ПРОВЕДЕНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ ПО НЕРВНОМУ ВОЛОКНУ

3) Изолированное проведение возбуждения

В периферическом нерве импульсы проводятся по каждому волокну изолированно, т.е. они не переходят с одного волокна на другое и вызывают ответную реакцию только в клетках, с которыми нервное волокно контактирует через синапс.

Это важно, поскольку любой периферический нерв состоит из большого количества нервных волокон – двигательных, сенсорных и вегетативных – которые иннервируют различные клетки и ткани, иногда расположенные на большом расстоянии и различные по структуре и функциям.

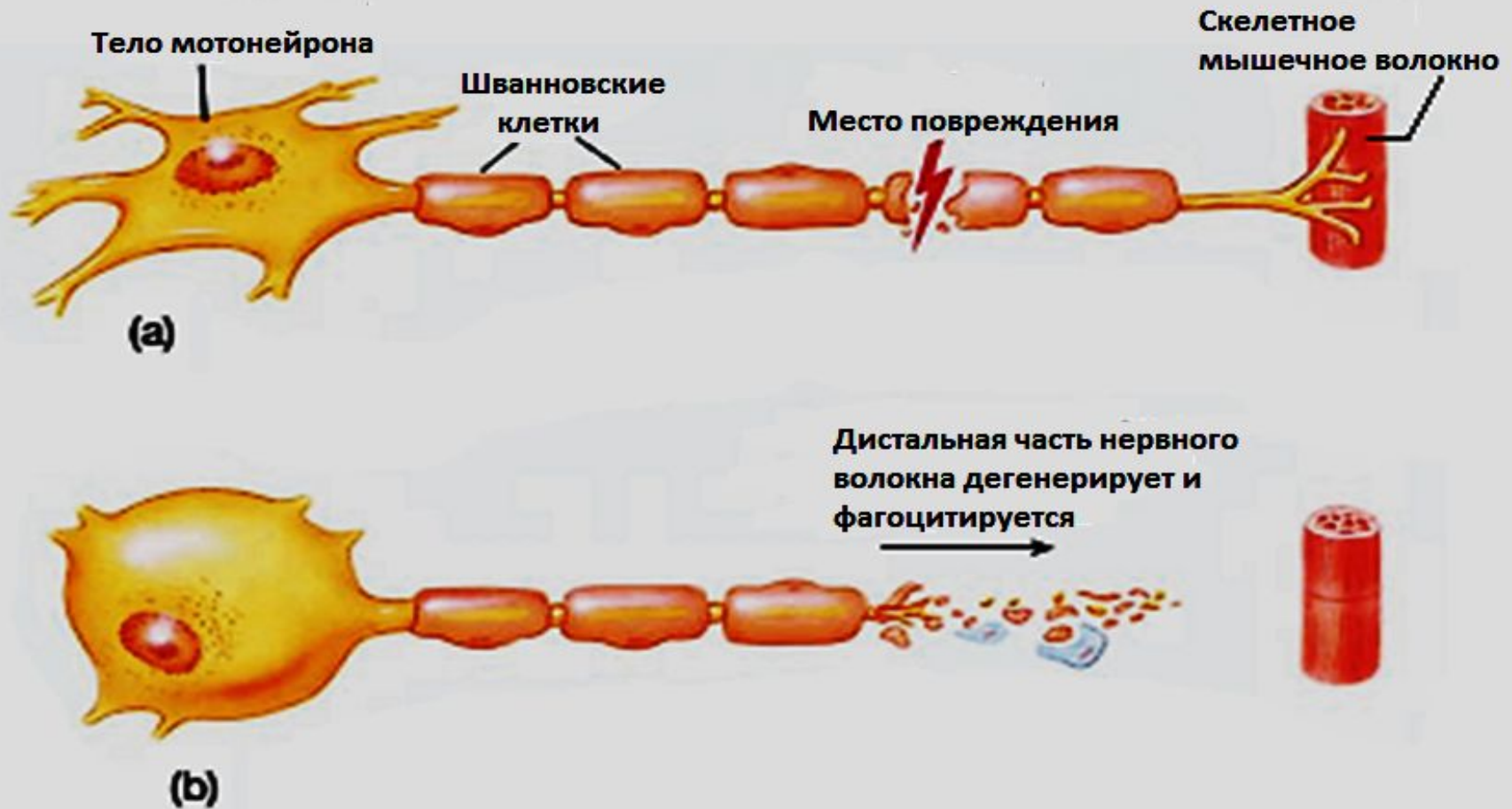
Изолированное проведение нервного импульса возможно благодаря тому, что сопротивление межклеточной жидкости значительно ниже сопротивления мембраны нервного волокна. Вот почему большая часть тока, возникающего между возбужденными (деполяризованными) участками мембраны и участками мембраны, находящимися в состоянии покоя, проходит по межклеточным щелям без проникновения в соседние волокна.



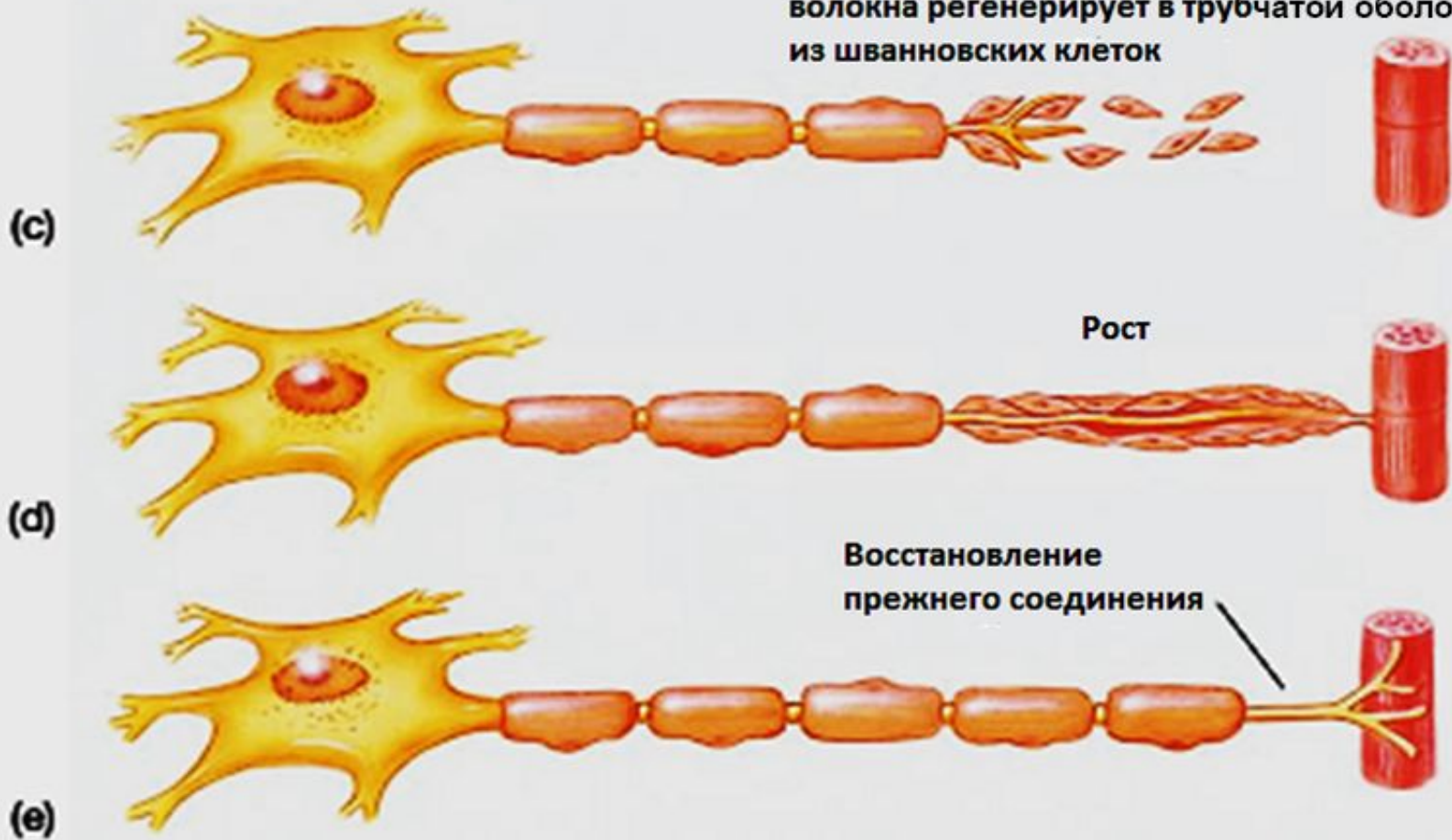
АКСОТРАНСПОРТ ПО МИКРОТРУБОЧКАМ

(ИСТОЧНИК: BARRET KE, BARMAN SM, VOITANO S, BROOKS H: GANONG'S REVIEW OF MEDICAL PHYSIOLOGY, 23TH EDITION: [HTTP://WWW.ASSECCMEDICINE.COM](http://www.asseccmedicine.com))

ДЕГЕНЕРАЦИЯ НЕРВНОГО ВОЛОКНА ПОСЛЕ ПЕРЕРЕЗКИ (ВАЛЛЕРОВСКАЯ ДЕГЕНЕРАЦИЯ)



Проксимальный конец
поврежденного осевого цилиндра
волокна регенерирует в трубчатой оболочке
из шванновских клеток



ПРОЦЕСС РЕГЕНЕРАЦИИ НЕЙРОНА

МЕХАНИЗМЫ ПРОВЕДЕНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ ПО НЕРВНЫМ ВОЛОКНАМ



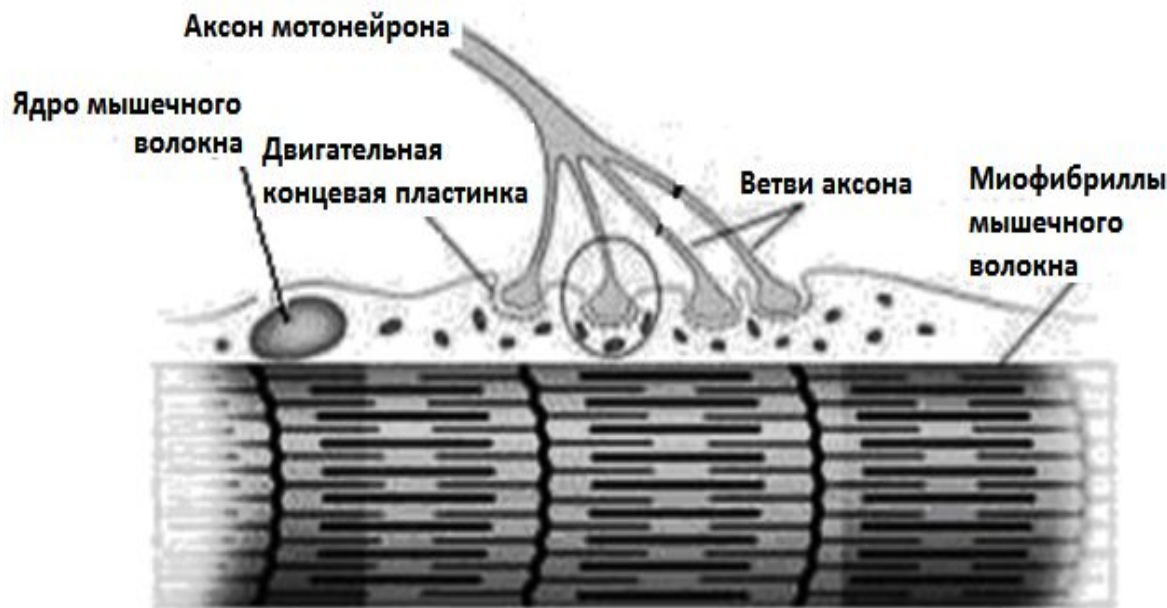
5. ПРОВЕДЕНИЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ ЧЕРЕЗ НЕРВНО-МЫШЕЧНЫЙ СИНАПС

Синапс – это функциональное соединение между нервным волокном и иннервируемой тканью.

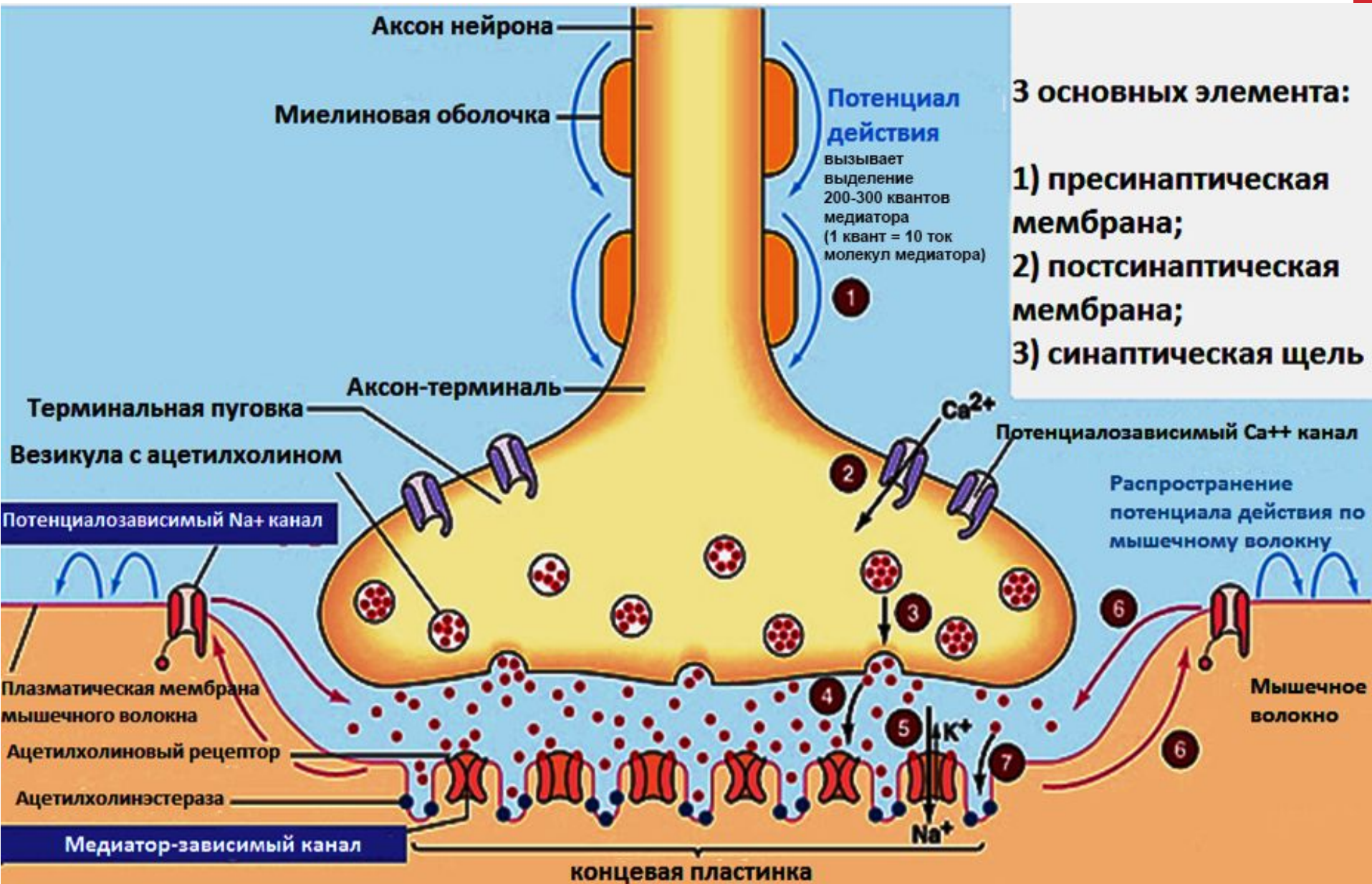
Функция: синапс обеспечивает передачу возбуждения от нервного волокна к иннервируемой им ткани – мышечной, нервной или железистой.

Если нервное волокно иннервирует мышечную ткань, синапс называется **нервно-мышечным**.

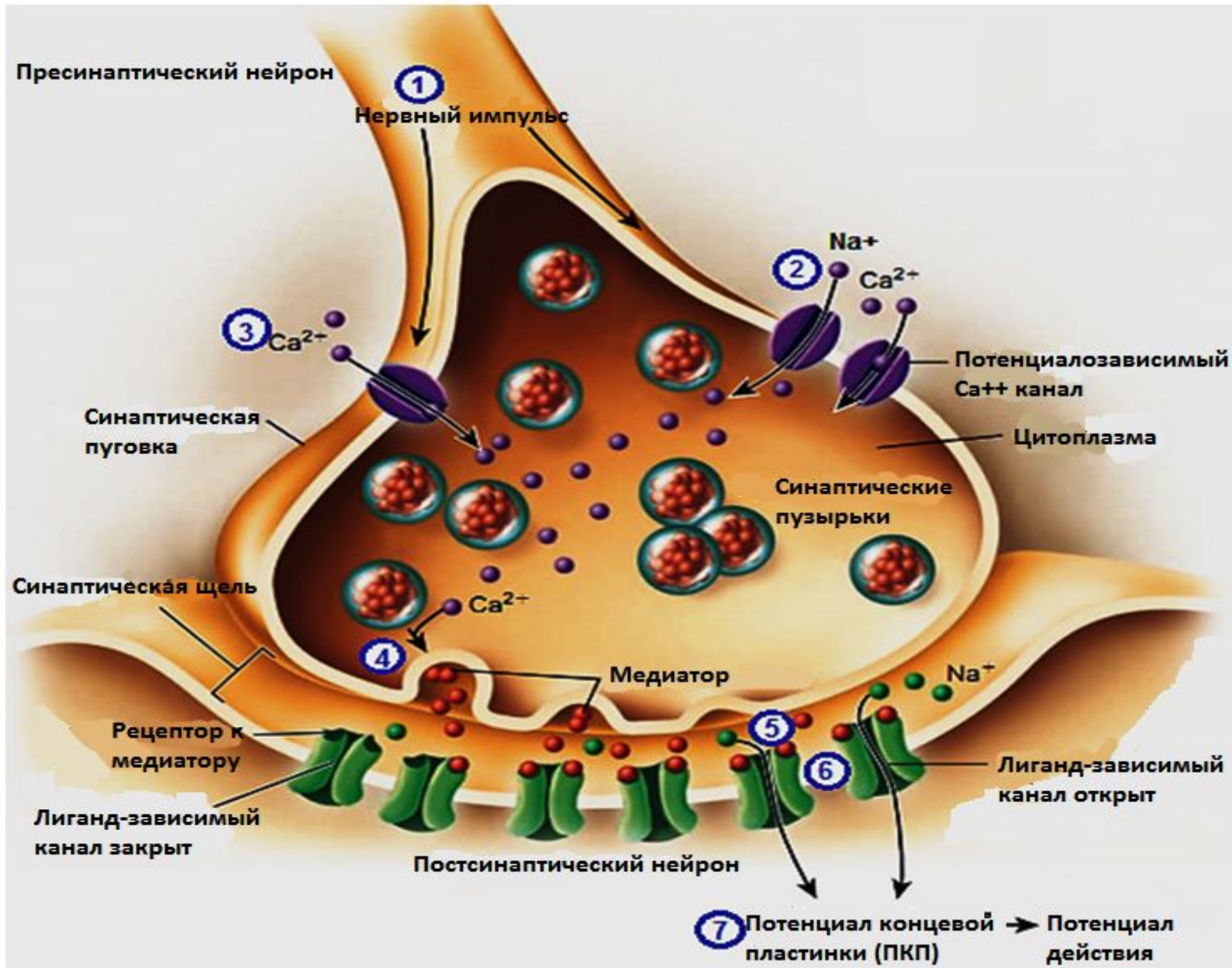
Каждое разветвление аксона заканчивается аксон-терминалью выпуклостью, похожей на луковицу, это синаптическая пуговка, которая располагается в углублении сарколеммы. Эта часть сарколеммы называется **концевой пластинкой**.



СТРУКТУРА СИНАПСА



СТАДИИ ПРОВЕДЕНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ ЧЕРЕЗ НЕРВНО-МЫШЕЧНЫЙ СИНАПС



СТАДИИ ПЕРЕДАЧИ ВОЗБУЖДЕНИЯ ЧЕРЕЗ НЕРВНО-МЫШЕЧНЫЙ СИНАПС

I. Трансформация электрического сигнала в химический:

- 1) Потенциал действия (ПД) передается к пресинаптическому окончанию;**
- 2) Деполяризация пресинаптической мембраны и открытие Ca^{2+} -каналов;**
- 3) Ионы Ca^{2+} входят в пресинаптическое окончание;**
- 4) Ферментативное разрушение везикул и высвобождение медиатора в синаптическую щель путем экзоцитоза (один ПД вызывает высвобождение 200-300 квантов медиатора);**
- 5) Ацетилхолин (АХ) взаимодействует с рецепторами (N-холинорецепторами) на постсинаптической мембране.**

II. Трансформация химического сигнала в электрический:

- 1) Открытие Na^+ -каналов и Na^+ входит в клетку по концентрационному и электрическому градиенту, а K^+ выходит из клетки по градиенту концентрации. Преобладает ток Na^+ в клетку;**
- 2) Деполяризация постсинаптической мембраны – возбуждающий постсинаптический потенциал (ВПСП), который в нервно-мышечном синапсе называется потенциалом концевой пластинки (ПКП). ВПСП имеет высокую амплитуду (30-40 мВ), которая превышает критический уровень деполяризации, вызывает ПД в миоците и распространение этого ПД без затухания с последующим сокращением мышц.**
- 3) Излишки медиатора разрушаются ацетилхолинэстеразой до холина и ацетата.**

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОВЕДЕНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ ПО НЕРВНОМУ ВОЛОКНУ И ЧЕРЕЗ НЕРВНО-МЫШЕЧНЫЙ СИНАПС

Параметры	Нервное волокно	Нервно-мышечный синапс
Направление проведения возбуждения	Двустороннее проведение возбуждения	Одностороннее проведение возбуждения
Скорость проведения возбуждения	Высокая	Низкая (синаптическая задержка)
Лабильность	Высокая (500-1000 имп/сек)	Низкая (150 имп/сек)
Утомляемость	Низкая	Высокая