The background of the slide features a detailed illustration of a neuron. The cell body (soma) is at the bottom left, with several dendrites extending upwards and outwards. The axon extends from the cell body towards the right. Several glowing spots, in shades of red and yellow, are scattered across the neuron, representing areas of electrical activity or neurotransmitter release. The overall color palette is muted, with greys and blues, punctuated by the bright, warm colors of the glowing spots.

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.**

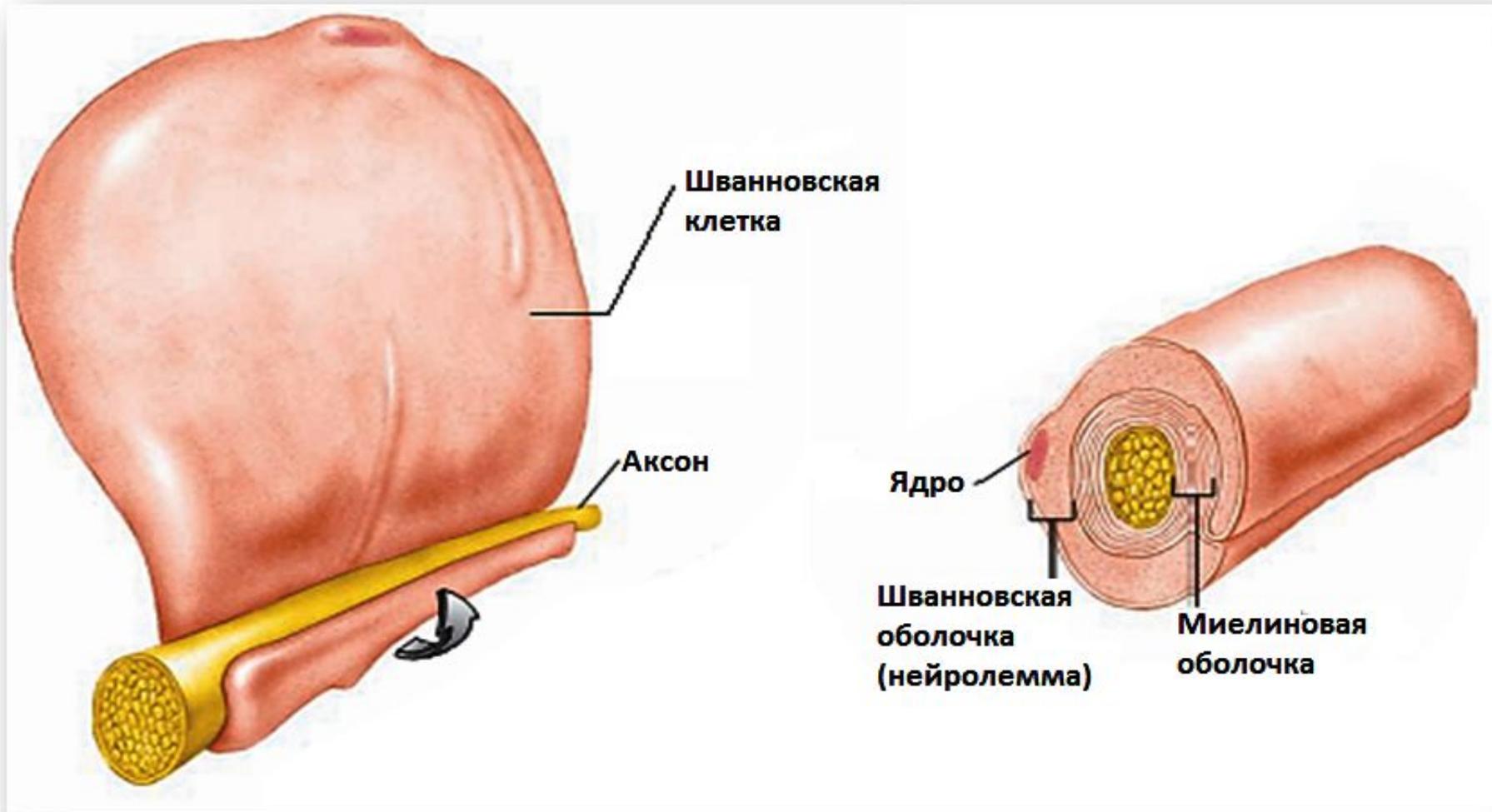
ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ:

- 1) Получать информацию от рецепторов – специализированных клеток и органов, которые воспринимают изменения внутренней и внешней среды организма;**
- 2) Обрабатывать 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



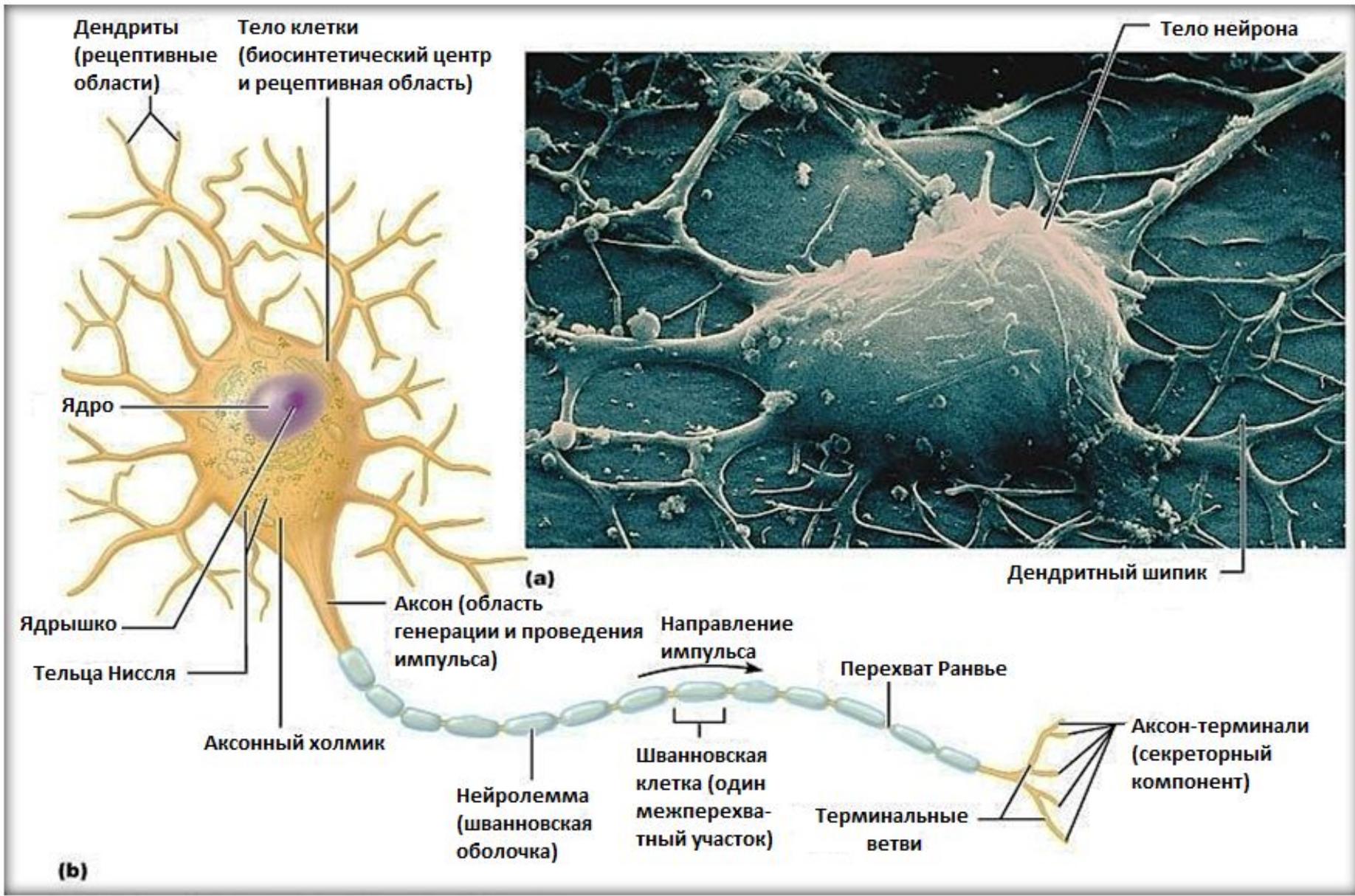


СХЕМА СТРОЕНИЯ НЕЙРОНА

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

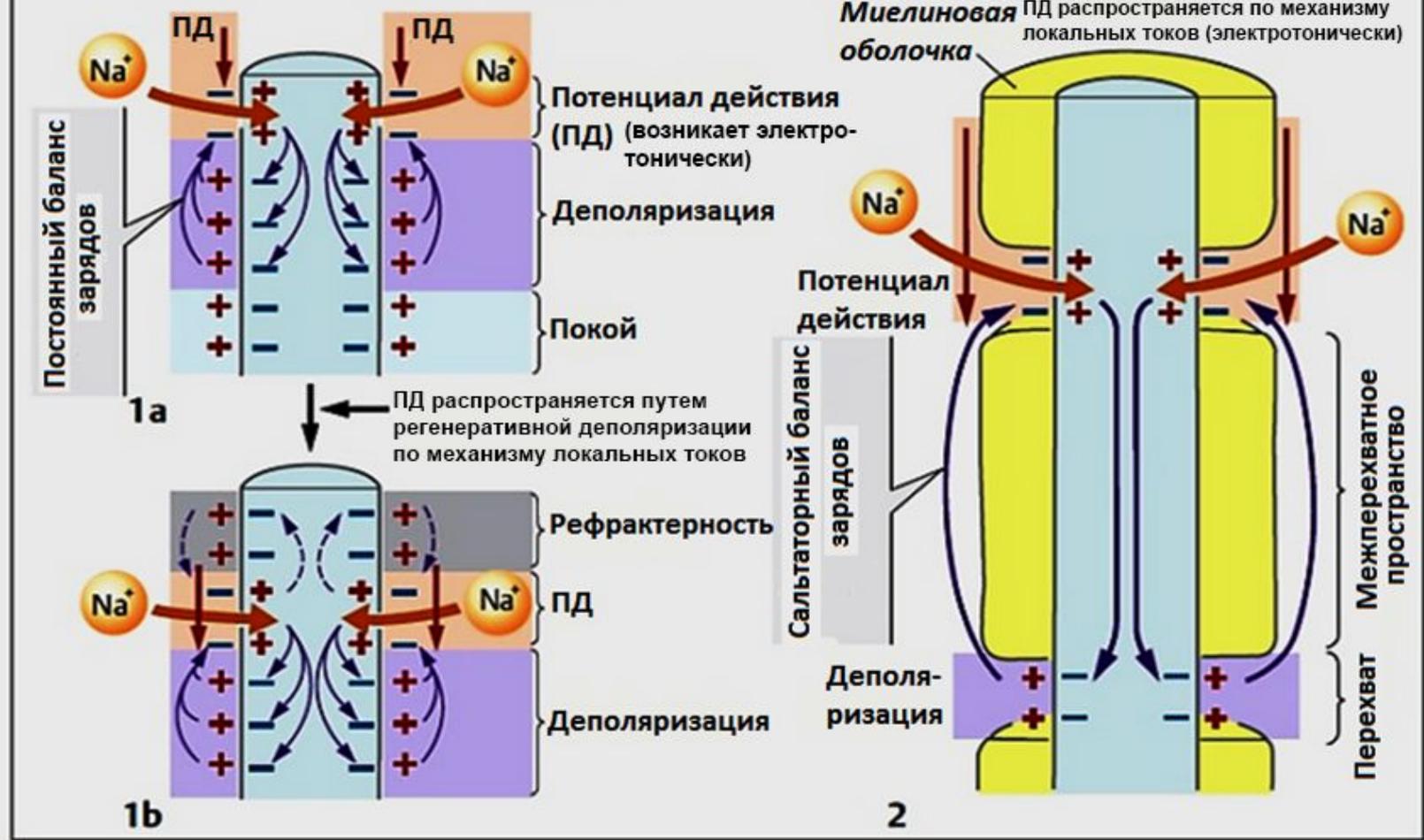
Миелиновая
оболочка

- 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 электроотрицательной 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_α	12-22	70-120	Двигательные волокна скелетных мышц, афферентные волокна от мышечных рецепторов
A_β	8-12	40-70	Афферентные волокна от тактильных рецепторов
A_γ	4-8	15-40	Афферентные волокна от тактильных рецепторов и рецепторов давления; эфферентные волокна к мышечным веретенам
A_δ	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.

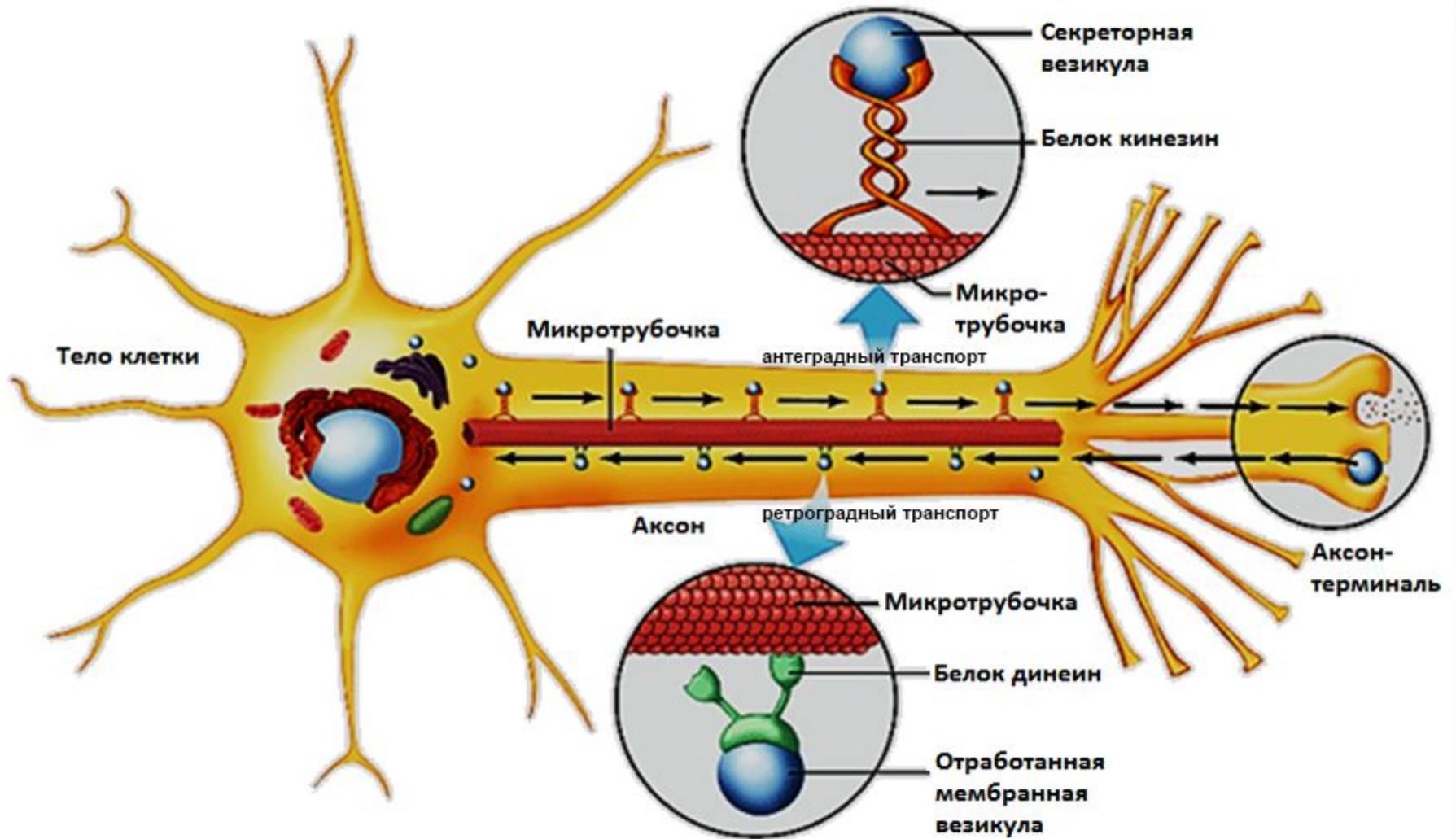
ЗАКОНЫ ПРОВЕДЕНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ ПО НЕРВНОМУ ВОЛОКНУ

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.

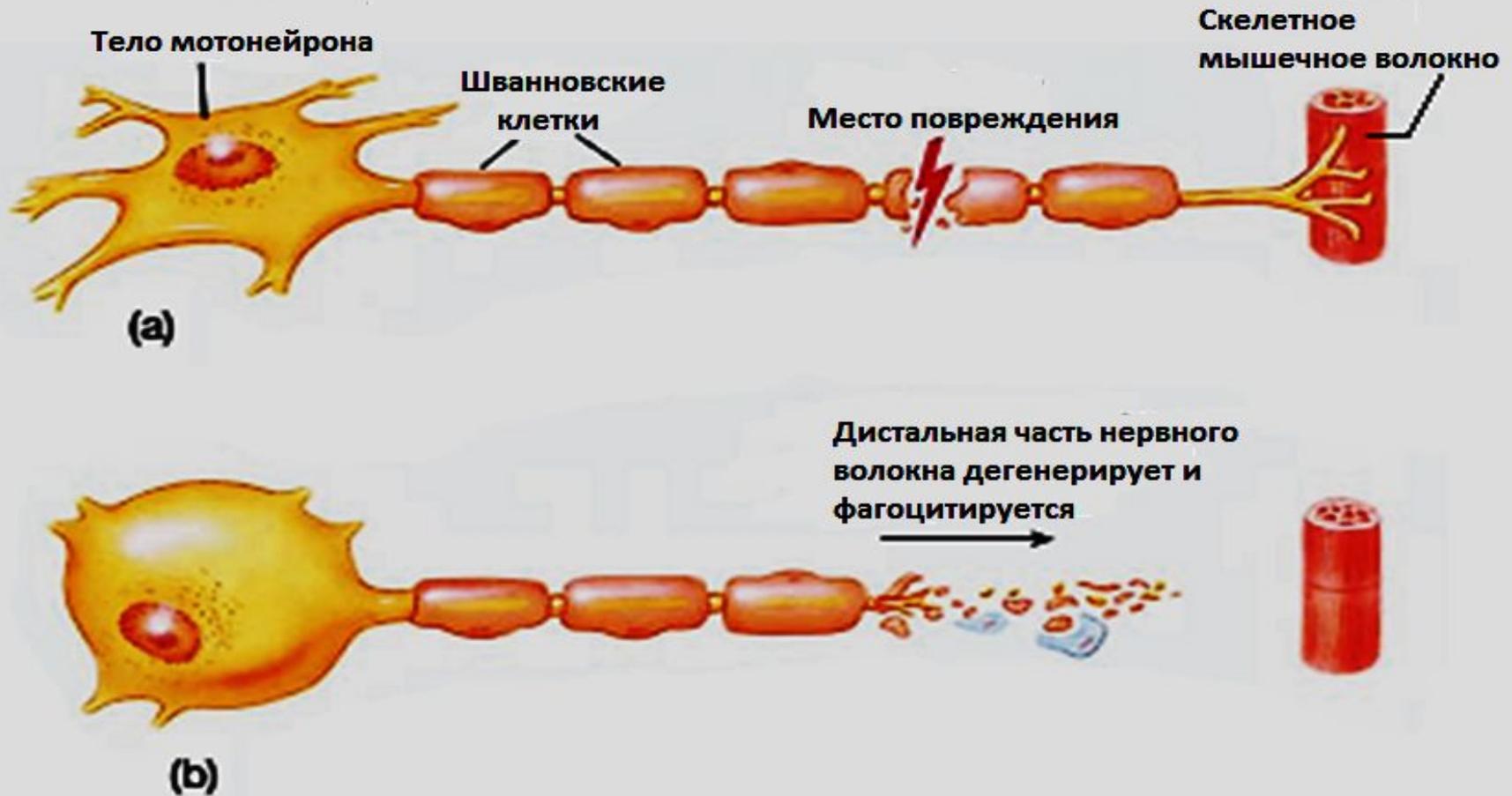
Изолированное проведение нервного импульса возможно благодаря тому, что сопротивление межклеточной жидкости значительно ниже сопротивления мембраны нервного волокна. Вот почему большая часть тока, возникающего между возбужденными (деполяризованными) участками мембраны и участками мембраны, находящимися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



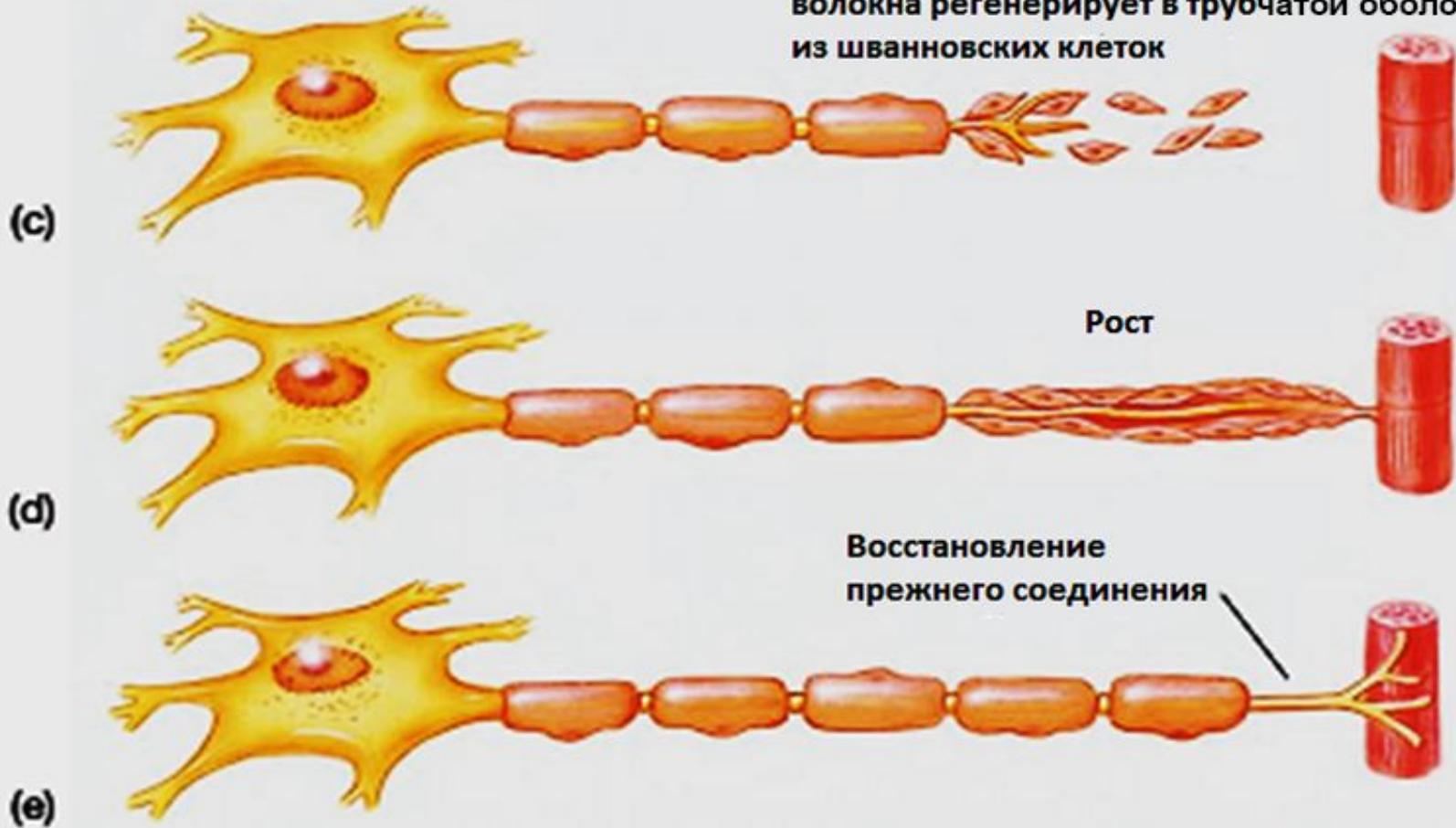
АКСОТРАНСПОРТ ПО МИКРОТРУБОЧКАМ

(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)

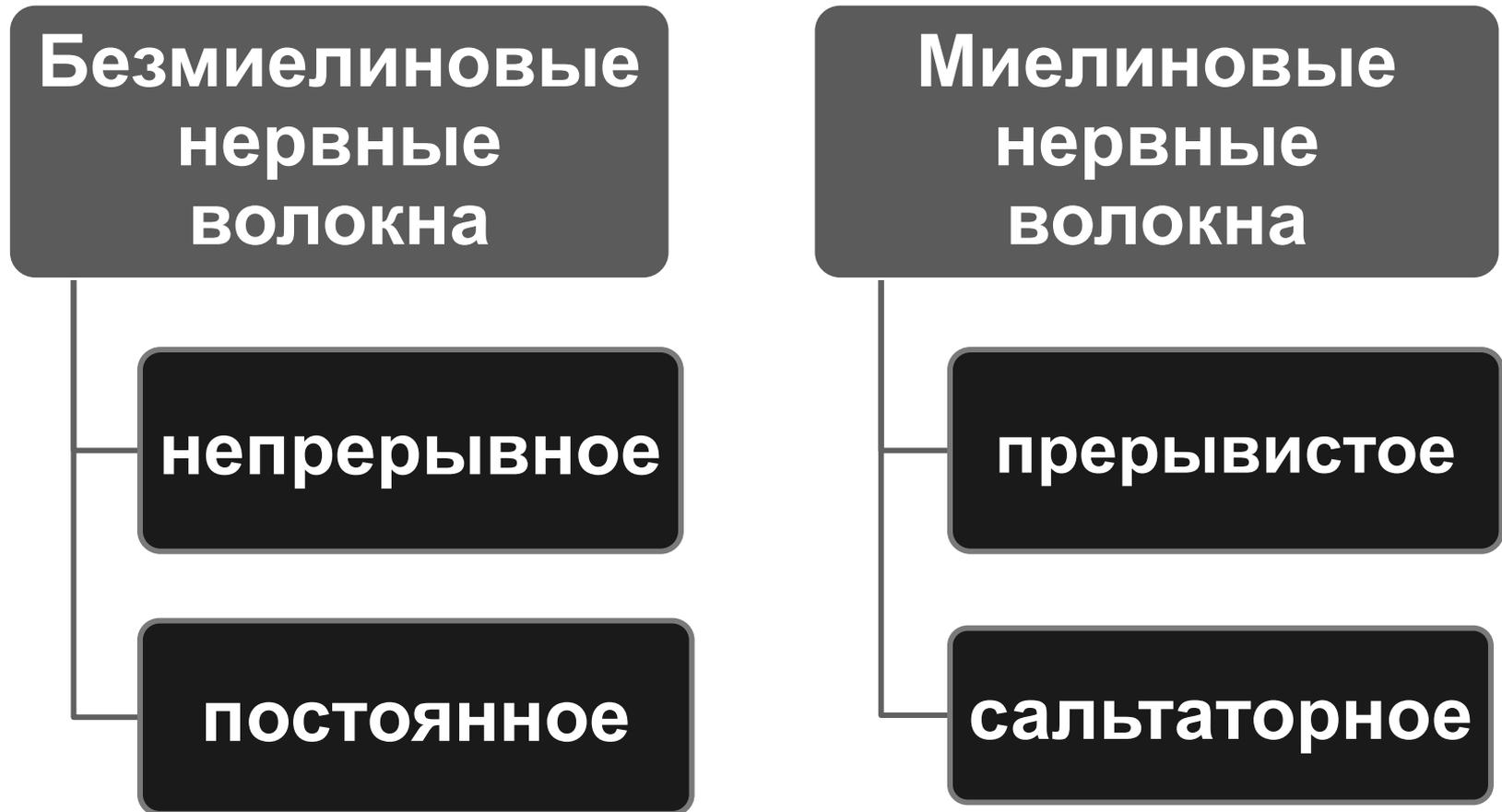


Проксимальный конец
поврежденного осевого цилиндра
волокна регенерирует в трубчатой оболочке
из шванновских клеток



ПРОЦЕСС РЕГЕНЕРАЦИИ НЕЙРОНА

МЕХАНИЗМЫ ПРОВЕДЕНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ ПО НЕРВНЫМ ВОЛОКНАМ



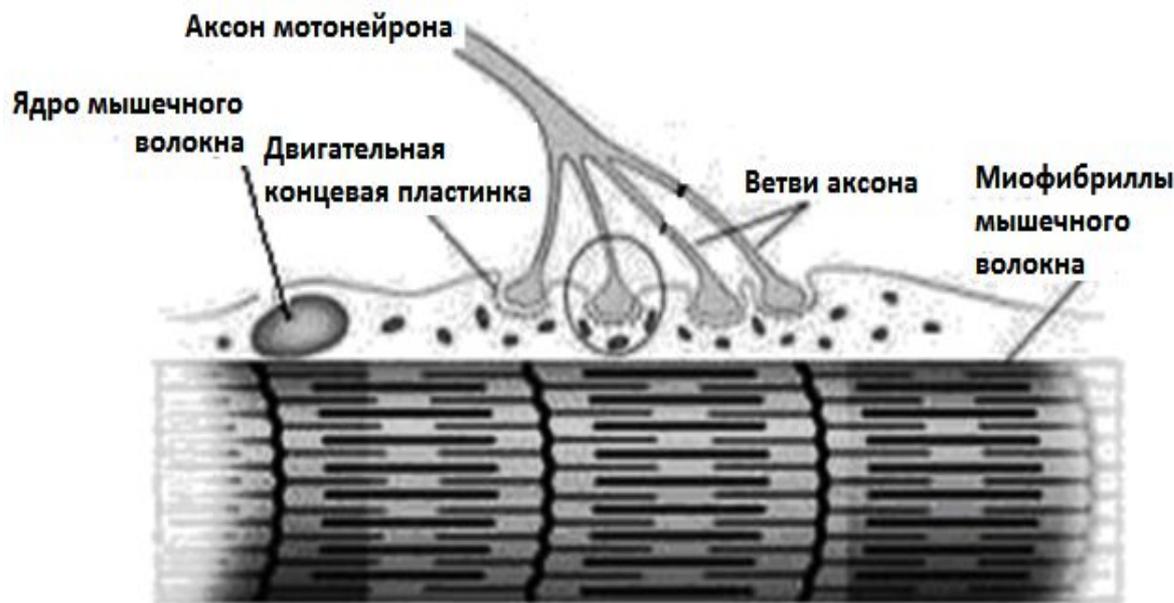
5. ПРОВЕДЕНИЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ ЧЕРЕЗ НЕРВНО-МЫШЕЧНЫЙ СИНАПС

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

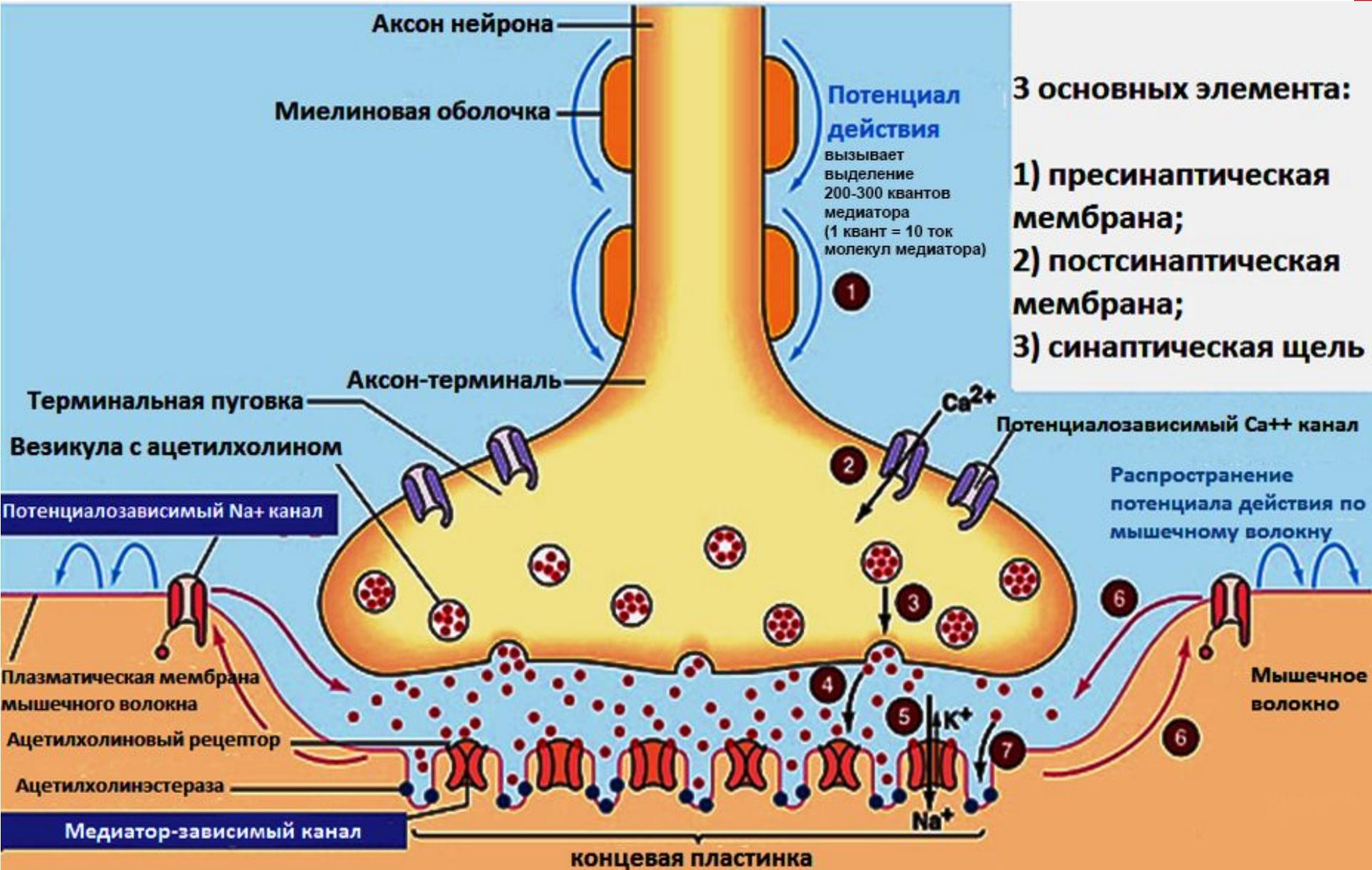
Функция: синапс обеспечивает передачу возбуждения от нервного волокна к иннервируемой им ткани – мышечной, нервной или железистой.

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

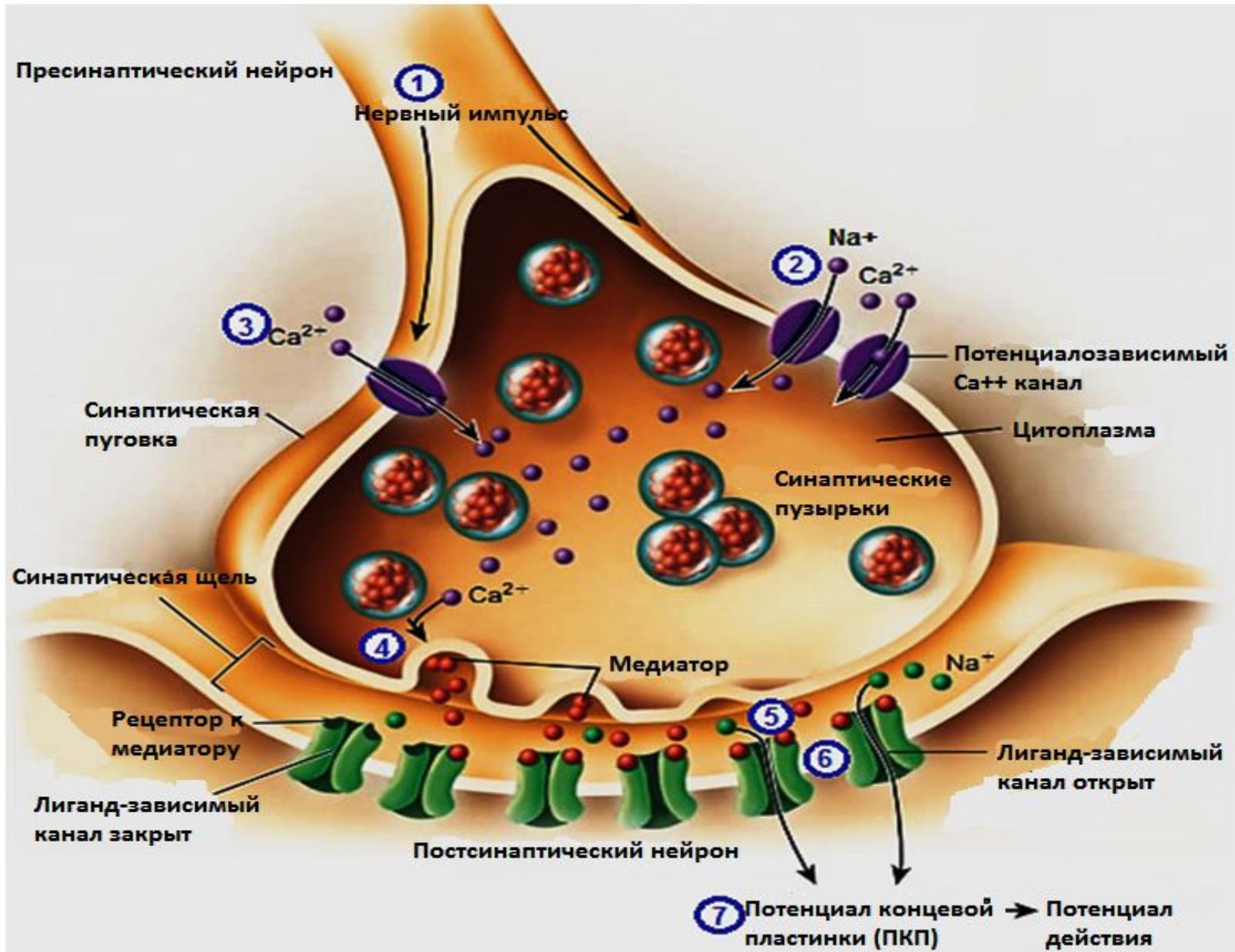
Каждое разветвление аксона заканчивается аксон-терминалью выпуклостью, похожей на луковицу, это синаптическая пуговка, которая располагается в углублении сарколеммы. Эта часть сарколеммы называется **концевой пластинкой**.



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