

# **Лекция №3**

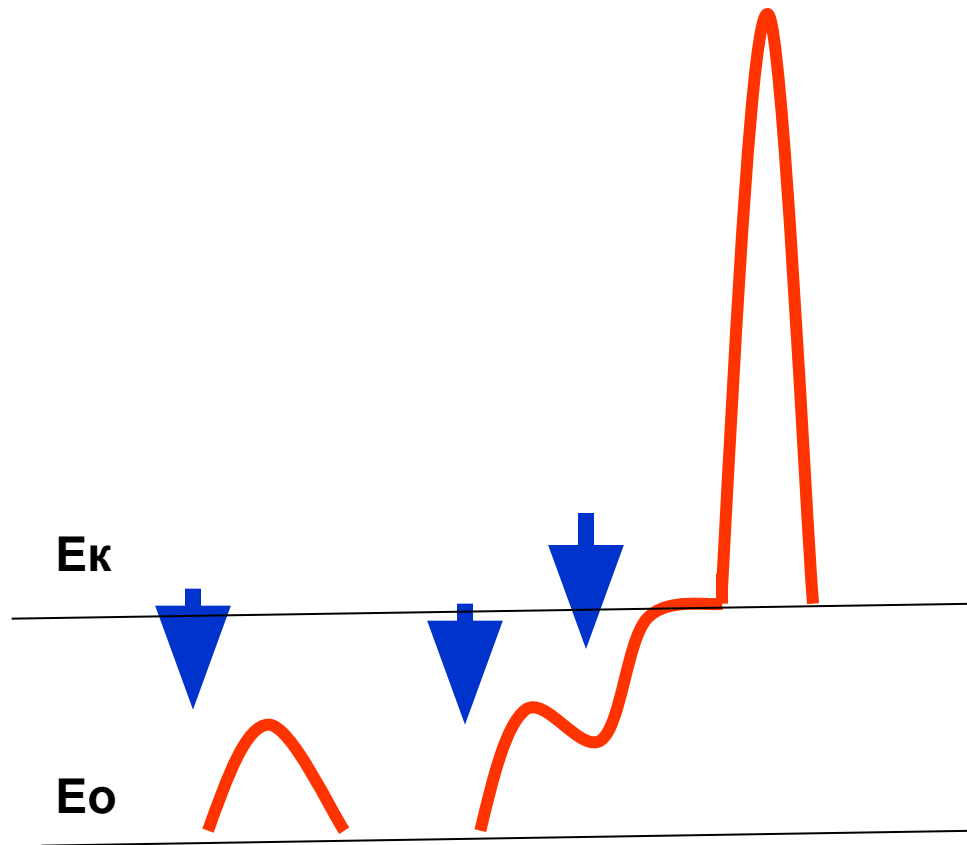
## **Законы действия постоянного тока на возбудимые ткани**

# 2

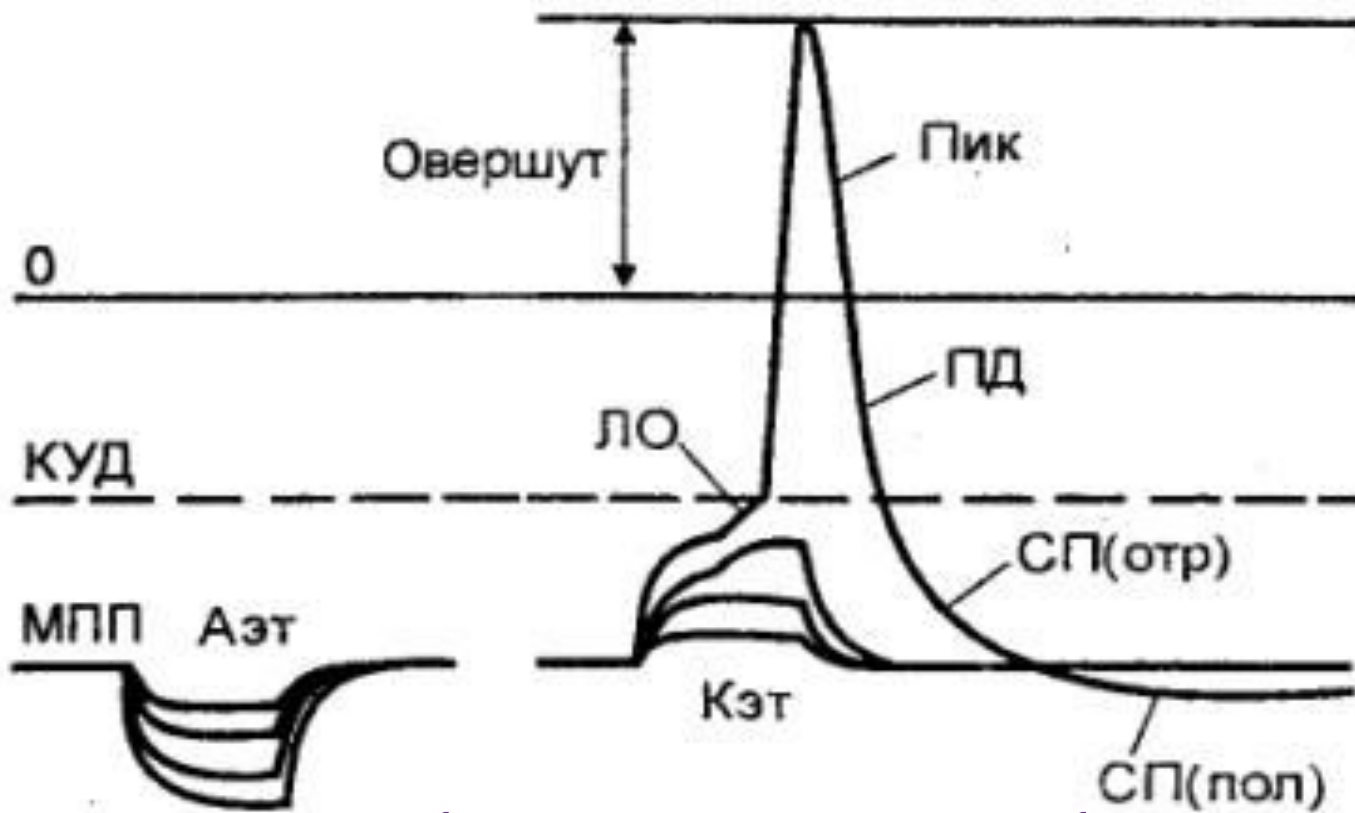
## Локальный ответ

**Отличия локального ответа от потенциала действия:**

1. Возникает на подпороговые раздражители.
2. Не распространяется.
3. Не подчиняется правилу “Все или ничего”.
4. Способен к суммации.
5. Возбудимость в период локального ответа повышена.



**Если локальный ответ достигнет уровня критической деполяризации, он перерастает в потенциал действия.**

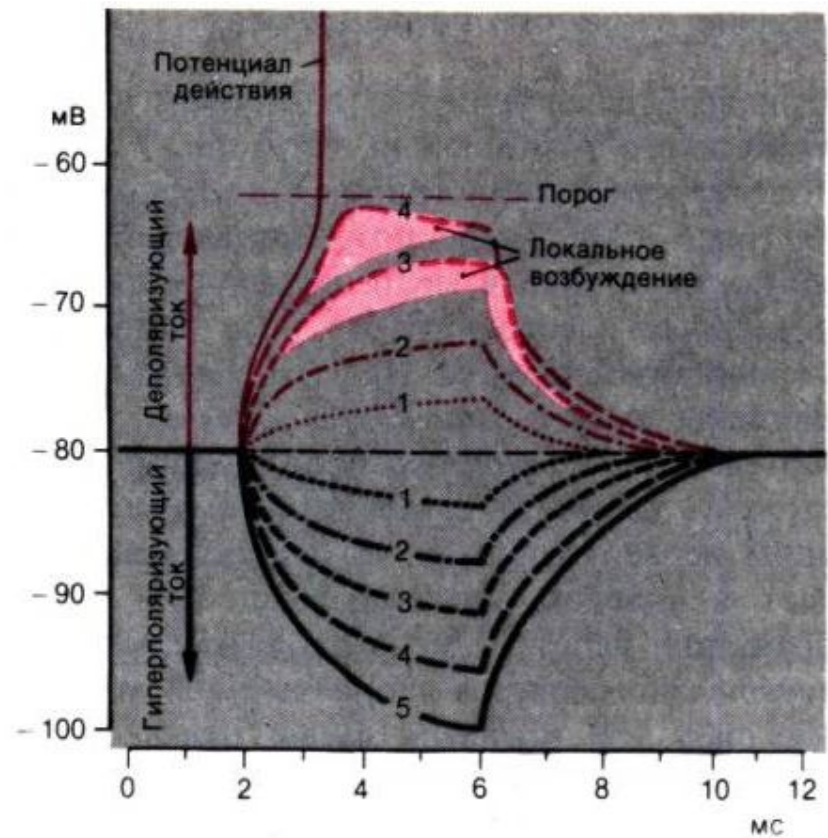
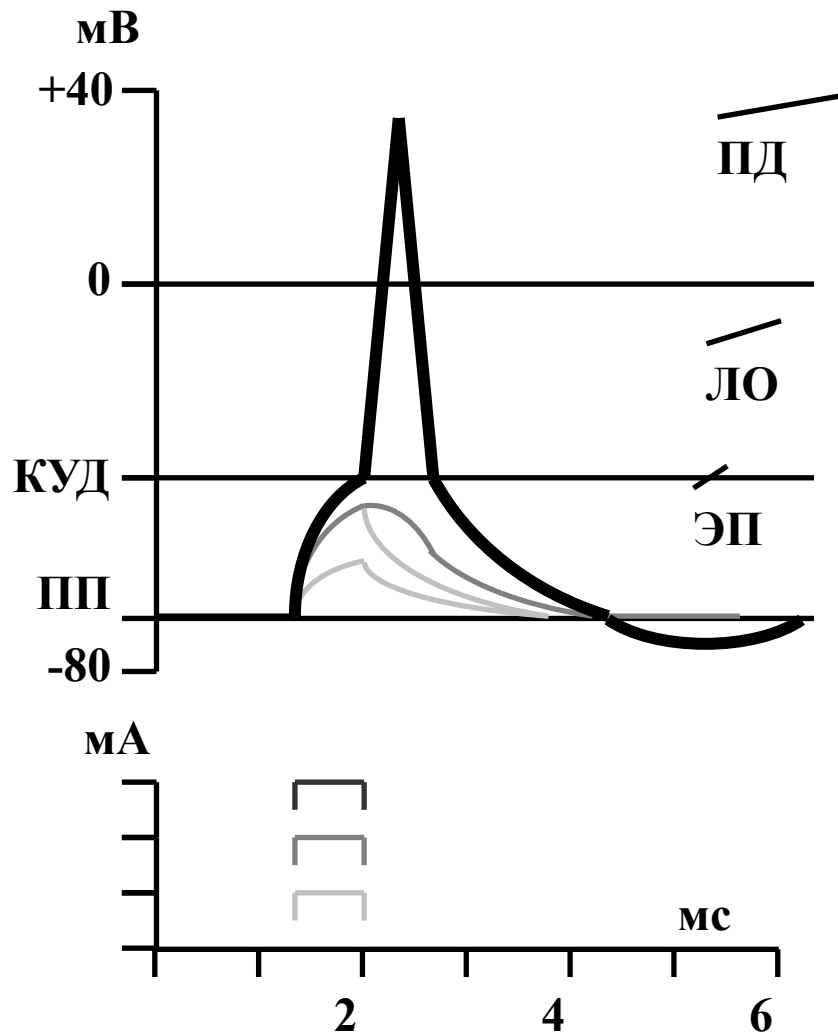


3

## Основные электрофизиологические феномены в нервном волокне

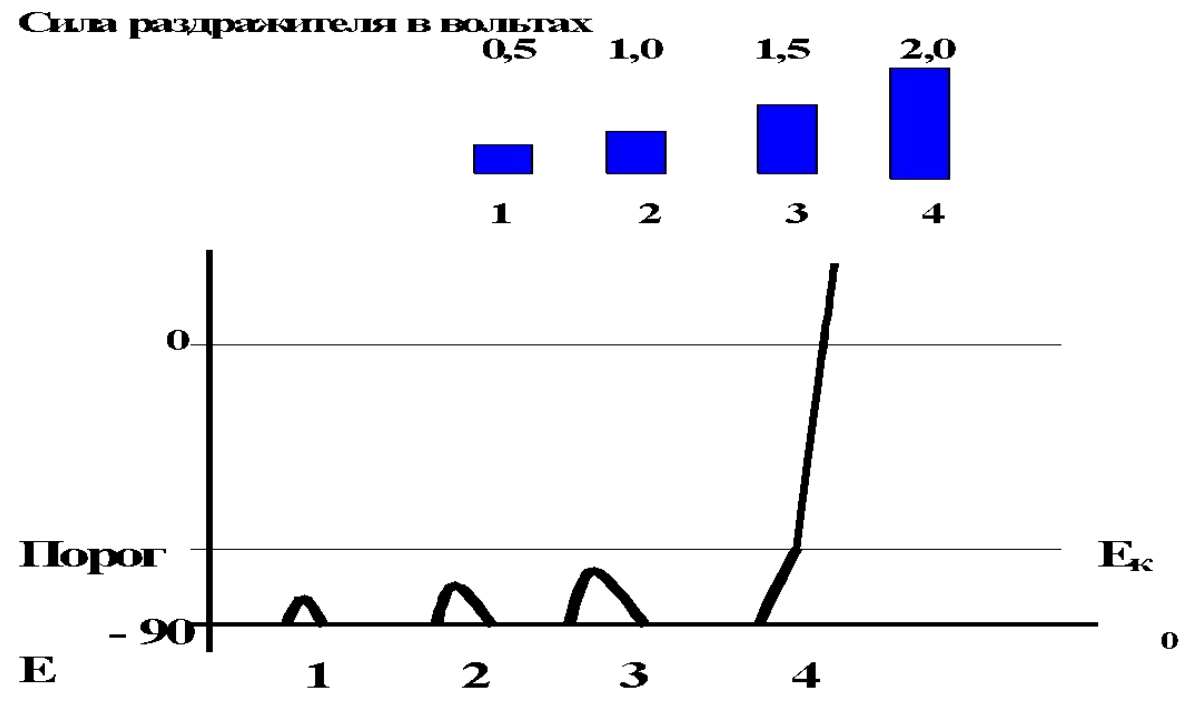
Аэт — анаэлектротон, КУД — критический уровень деполяризации, Кэт — катэлектротон, ЛО — локальный (подпороговый активный) ответ, МПП — мембранный потенциал покоя, ПД — потенциал действия, СП (отр и пол) — следовые потенциалы отрицательный и положительный (временные соотношения пика ПД и СП не выдержаны; отрицательный СП и особенно положительный СП значительно длительнее).

# 4 Отличие локального ответа от электротонического потенциала

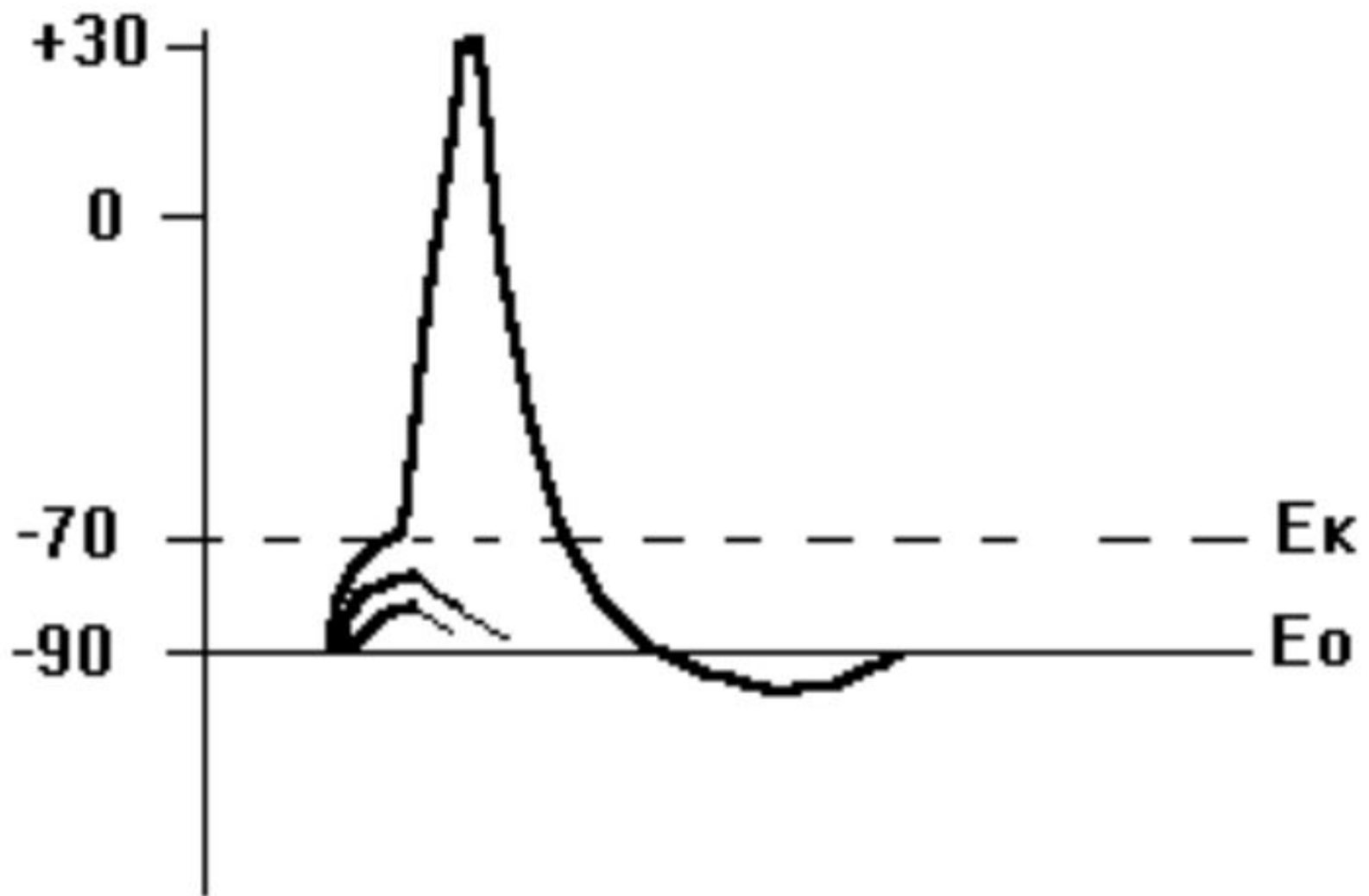


# 5

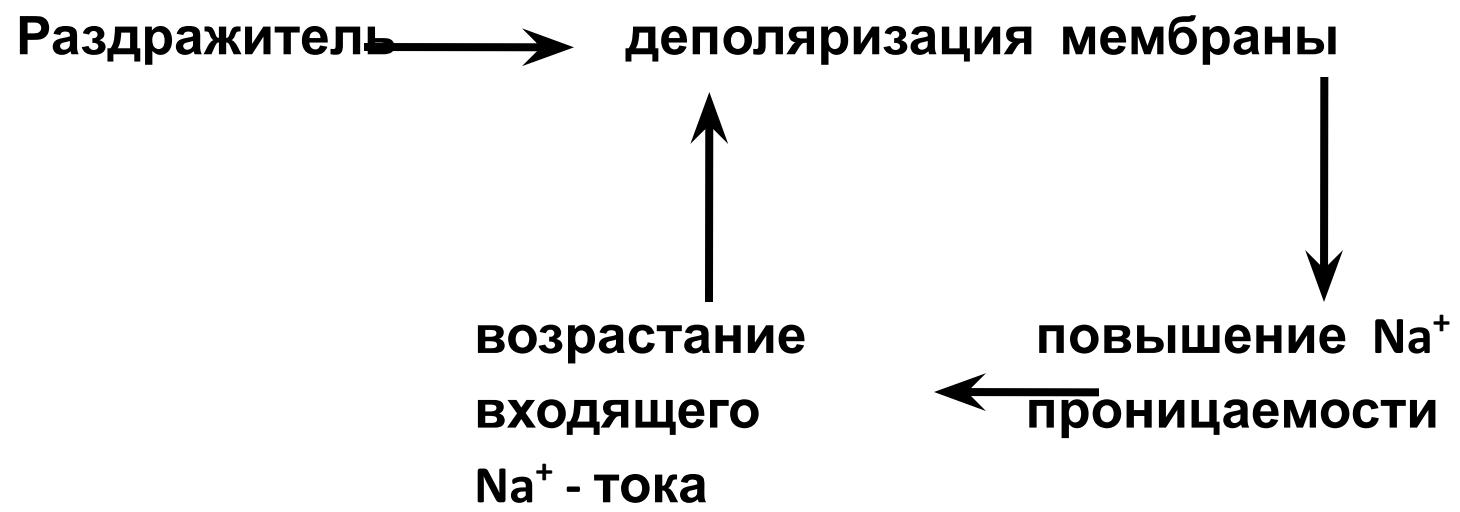
## Локальные ответы и закон силы



# ЗАКОН “ВСЕ ИЛИ НИЧЕГО”

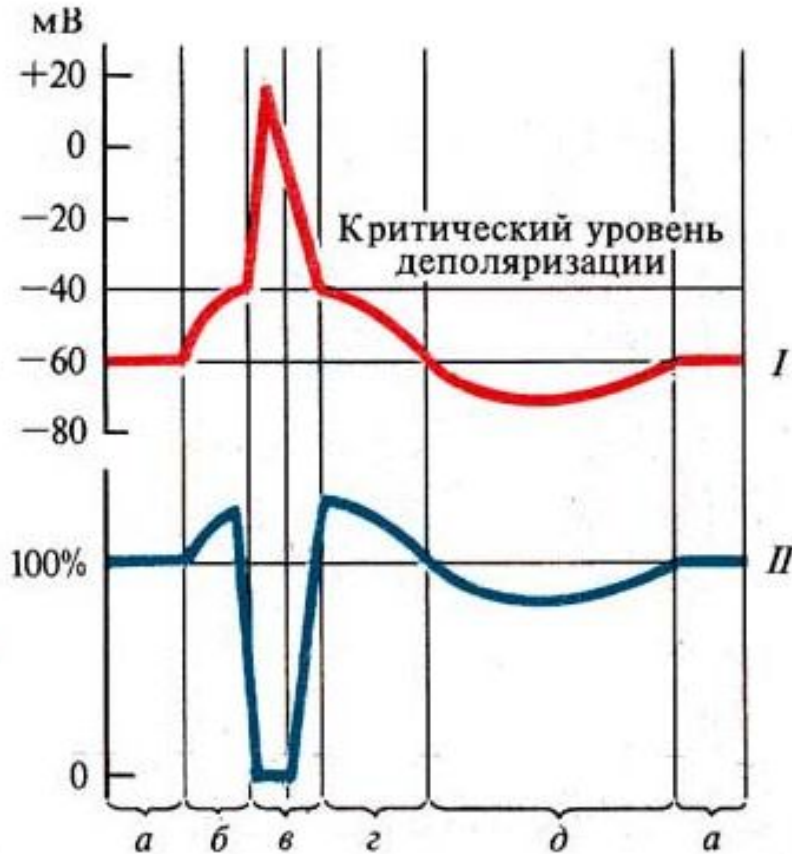


# ЦИКЛ ХОДЖКИНА-ХАКСЛИ



## 8

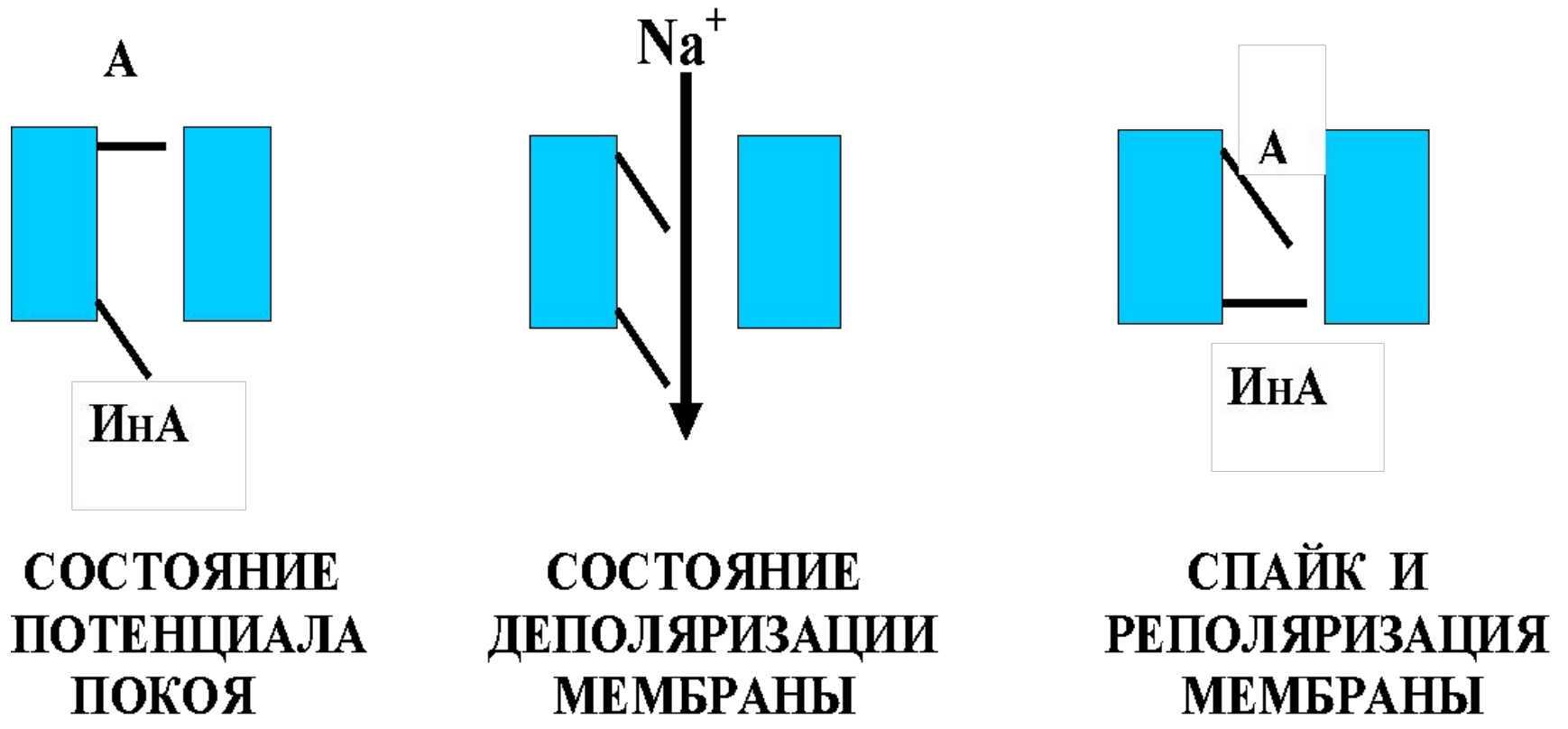
# Изменение возбудимости клетки в разные фазы ПД



- а — мембранный потенциал (**исходная возбудимость**),
- б — локальный ответ (**повышенная возбудимость**),
- в — потенциал действия (**абсолютная и относительная рефрактерность**),
- г — следовая деполяризация (**супернормальная возбудимость**),
- д — следовая гиперполяризация (**субнормальная возбудимость**)



# СОСТОЯНИЕ НАТРИЕВЫХ КАНАЛОВ



# Полярный закон Пфлюгера

Возбуждение возникает в момент замыкания цепи под катодом, а в момент размыкания цепи под анодом.

**11** Полярный закон действия тока – возбуждение возникает под катодом при замыкании и под анодом при размыкании тока

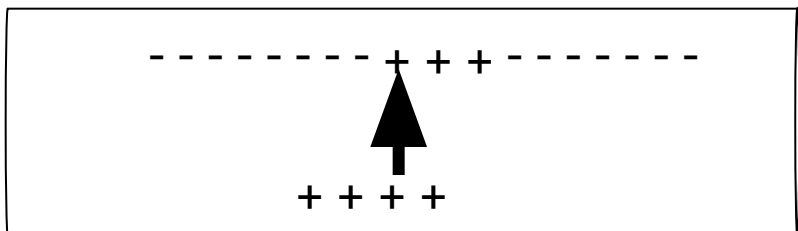
**Цепь событий, развивающихся под катодом раздражающего тока:**

- *пассивная деполяризация мембраны*
- *повышение натриевой проницаемости*
- *усиление потока  $Na^{++}$  внутрь волокна*
- *активная деполяризация мембраны*
- *локальный ответ*
- *достижение критического уровня ( $E_k$ )*
- *регенеративная деполяризация*
- *потенциал действия (ПД).*

# Пассивные изменения

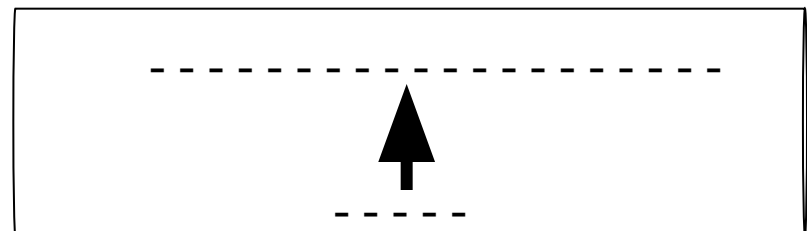
КАТОД

«-»



АНОД

«+»



## Пассивные изменения

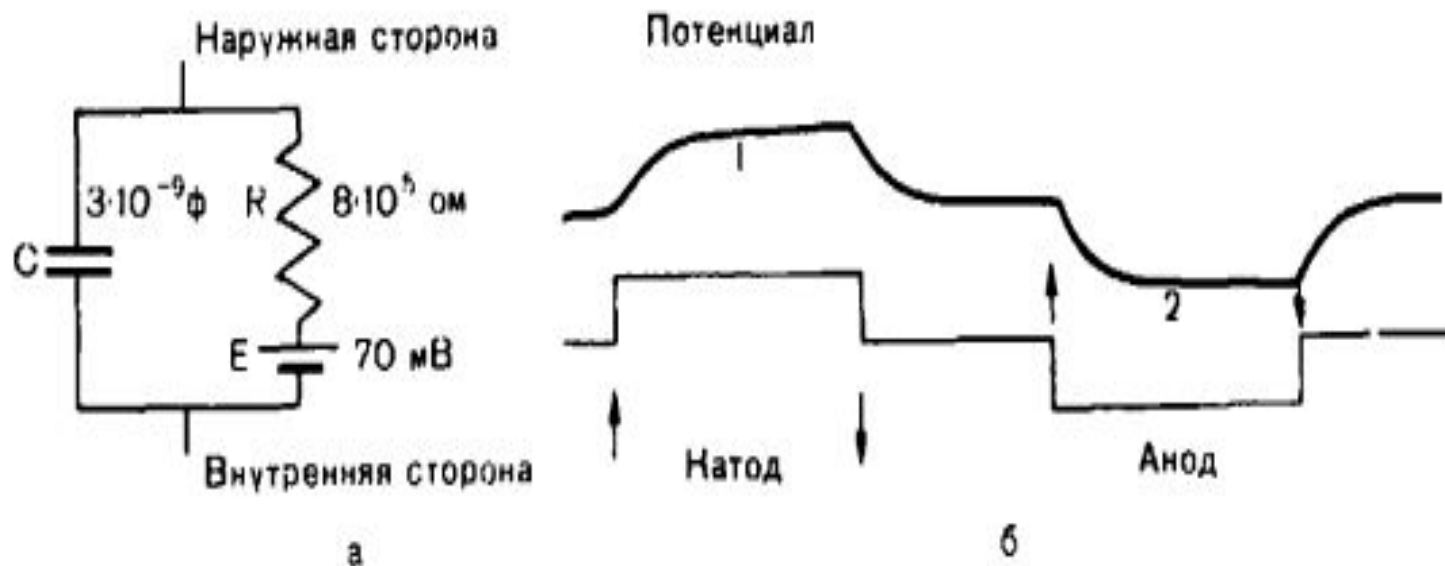


Рис. 13. Простейшая электрическая схема, воспроизводящая электрические свойства мембраны (а) и изменения мембранного потенциала под катодом и анодом постоянного тока подпороговой силы (б).

а:  $C$  — емкость мембраны,  $R$  — сопротивление,  $E$  — электродвижущая сила мембраны в покое (потенциал покоя). Приведены средние значения  $R$ ,  $C$  и  $E$  для мотонейрона, б — деполяризация мембраны (1) под катодом и гиперполяризация (2) под анодом при прохождении через нервное волокно слабого подпорогового тока.

14

## Закон физиологического электротона

В момент замыкания цепи возбудимость и проводимость под катодом увеличиваются – **катэлектротон**;  
а под анодом – уменьшаются – **анэлектротон**;

При размыкании цепи возбудимость под катодом уменьшается – **обратный катэлектротон**;  
а под анодом – увеличивается – **обратный анэлектротон**.

# 15 Катэлектротон и анэлектротон

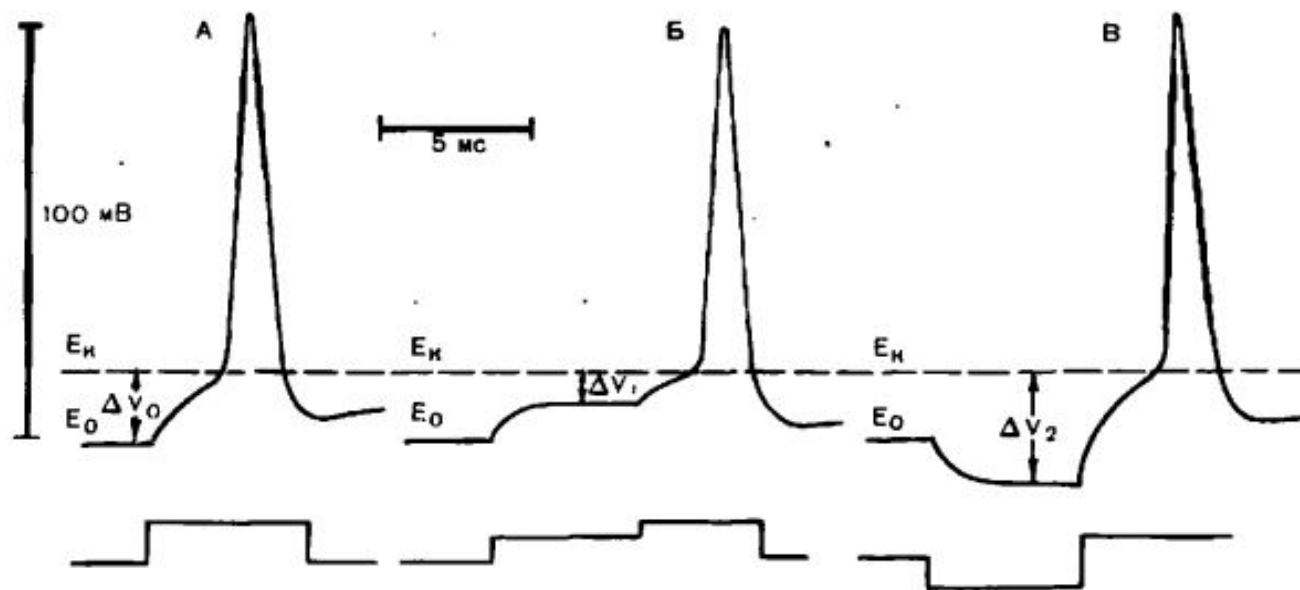


Рис. 18. Соотношения между исходным уровнем потенциала покоя ( $E_0$ ), критическим уровнем деполаризации ( $E_k$ ) и пороговым потенциалом ( $\Delta V$ ), в норме (А) и при электротоне (Б, В).

Б — катэлектротоническое снижение порога  $\Delta V_1$  наступает в результате приближения потенциала покоя  $E_0$  к критическому уровню деполаризации  $E_k$ ; В — анэлектротоническое повышение порога  $\Delta V_2$  является следствием удаления исходного уровня потенциала покоя  $E_0$  от  $E_k$ . Нижняя линия — раздражающий и поляризующий токи: катодный ток — вверх, анодный ток — вниз.

# 16

## Катодическая депрессия Вериго (1889 г.)

- При длительно действующей деполяризации током мембраны, развиваются процессы повышающие критический уровень деполяризации. Это связано с развитием инактивации натриевых каналов и активации калиевых.
- Одновременно с увеличением порога, происходит снижение амплитуды ПД и крутизны его нарастания.

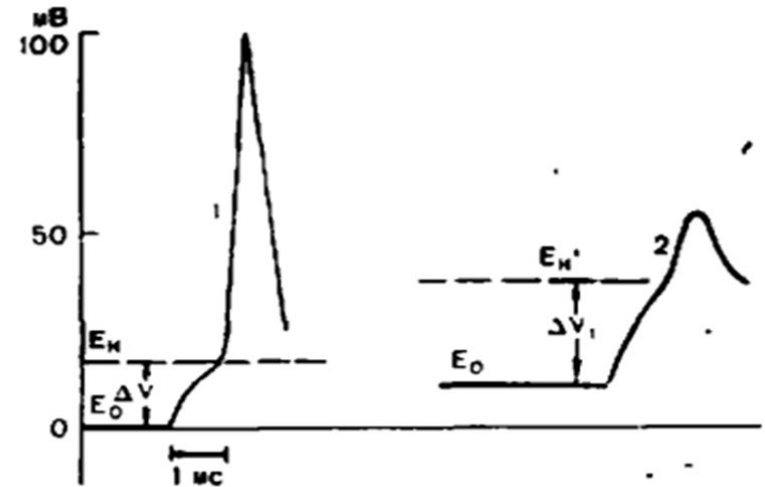
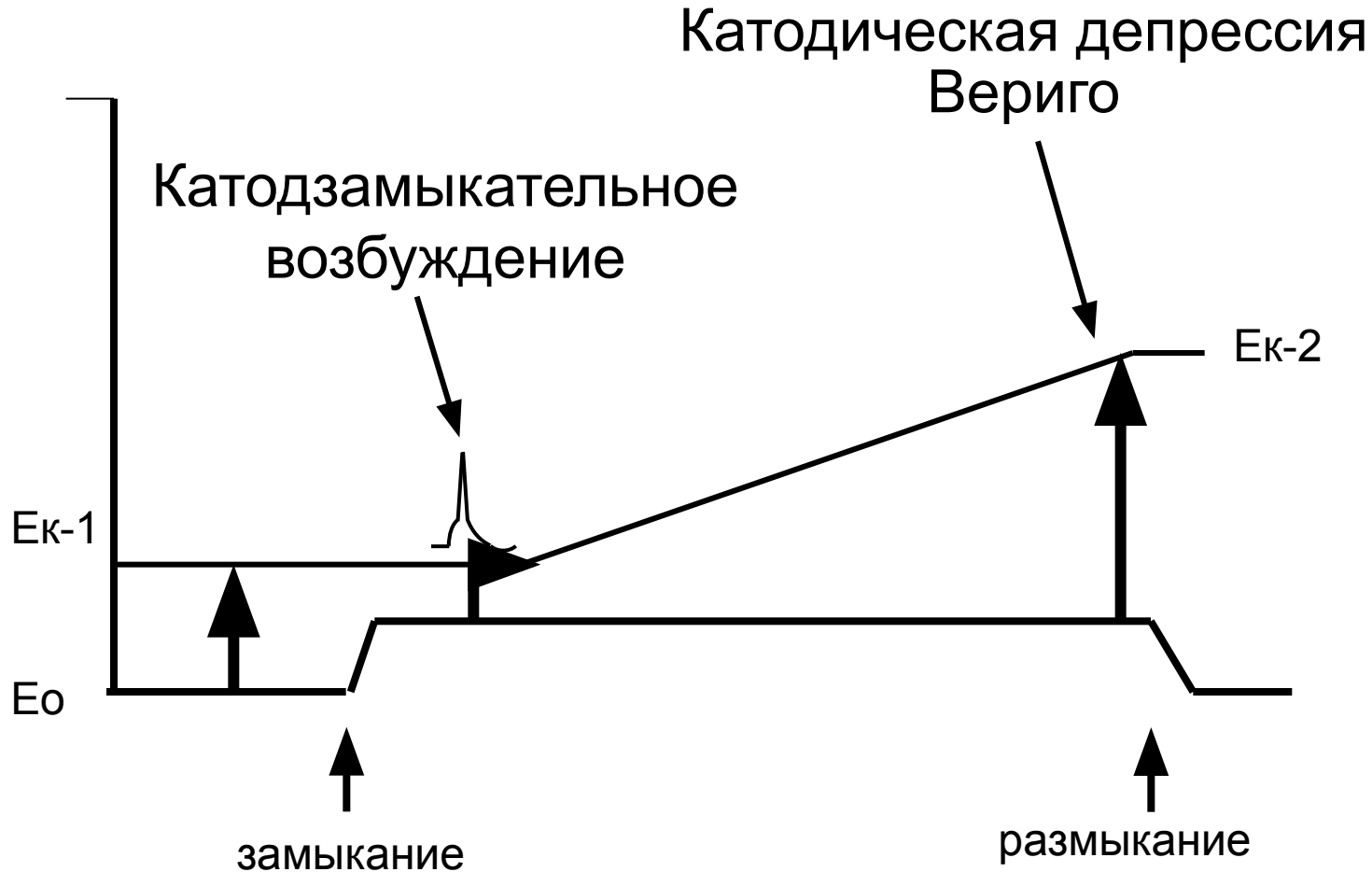


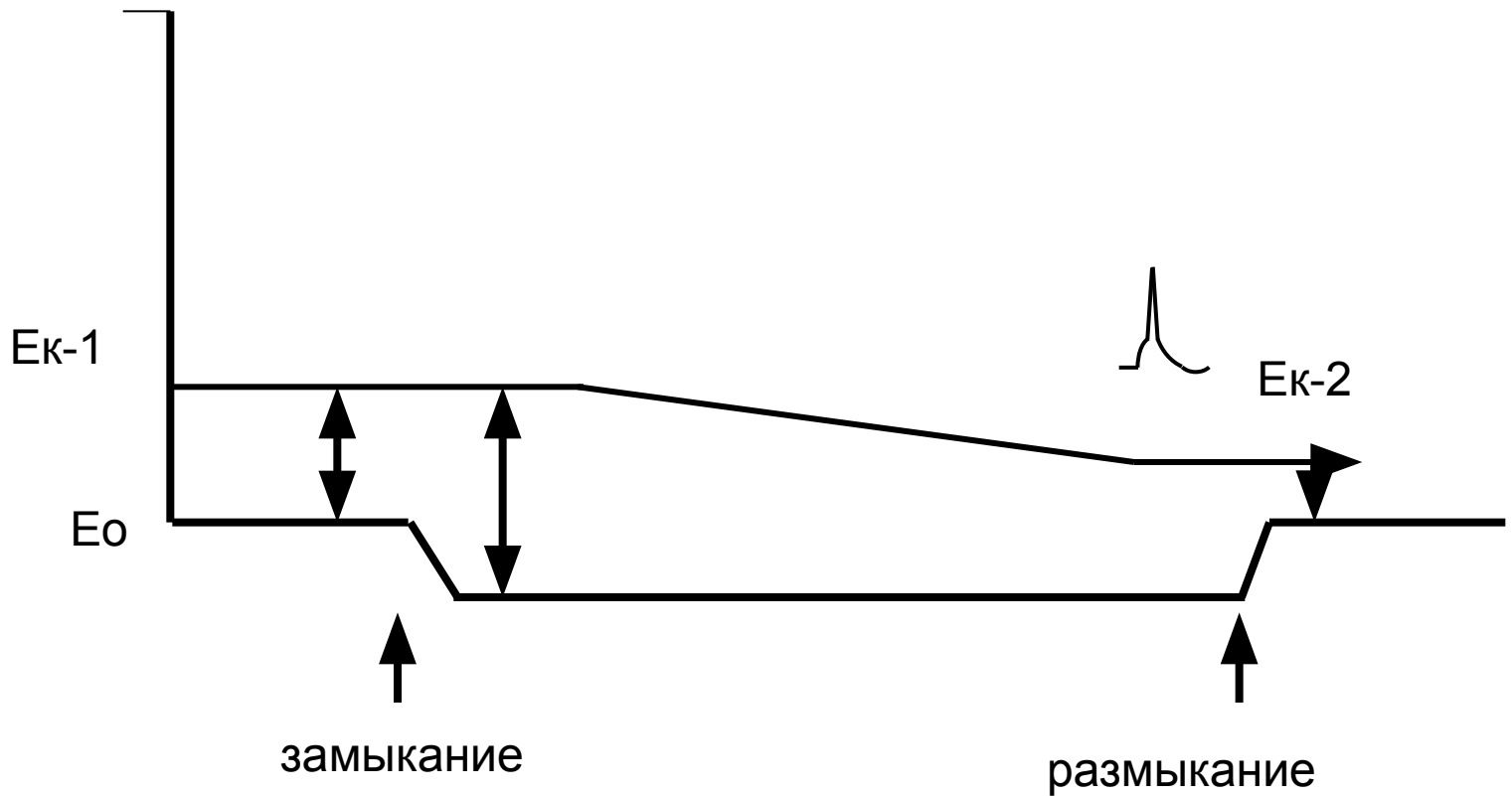
Рис. 19. Катодическая депрессия Вериго. 1 — ответ нормального нервного волокна на пороговый раздражающий ток; 2 — ответ того же волокна через 10 с после начала действия катода подпорогового постоянного тока.  $E_0$ ,  $E_N$  и  $\Delta V$  — исходные величины потенциала покоя, критического уровня деполяризации и порогового потенциала.  $E_N'$ ,  $E_0'$  и  $\Delta V_1$  — величины тех же параметров во время катодической депрессии.



# Изменения возбудимости при длительном действии катода



# Изменения возбудимости при длительном действии анода



# 19 Возникновение анод-размыкательного возбуждения

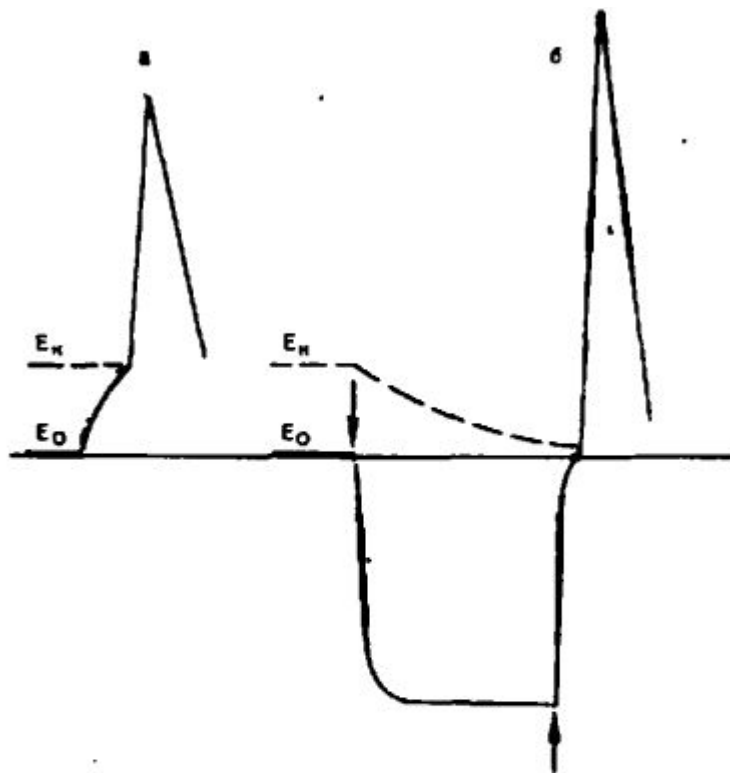
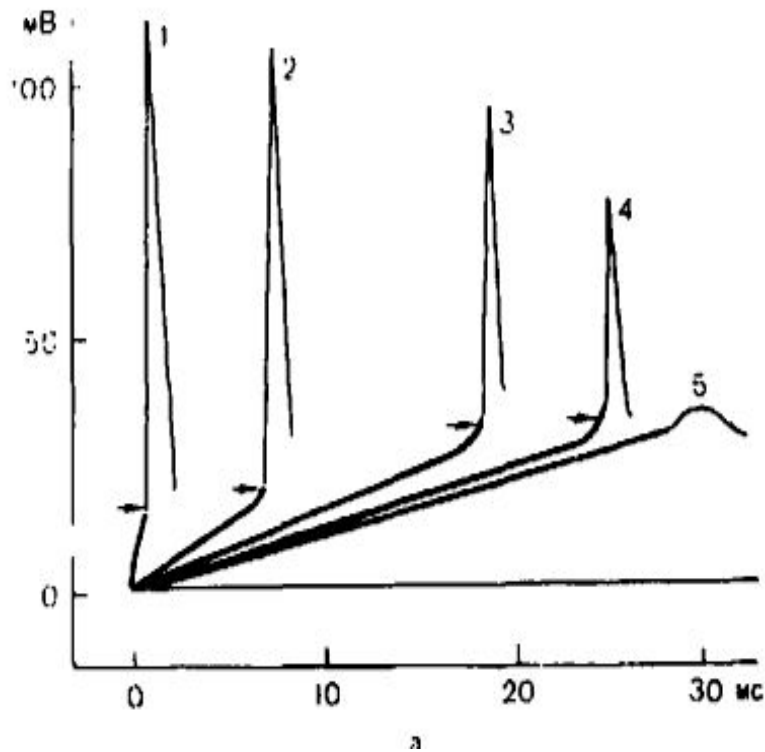


Рис. 20. Возникновение анодно-размыкательного возбуждения.

а — потенциал действия, возникающий под катодом при замыкании тока; б — потенциал действия, возникший под анодом при размыкании сильного тока. Стрелкой вниз показано включение анодного тока, стрелкой вверх его выключение.

- Аккомодация (от лат. Accommodatio - приспособление, приношение) - общее свойство возбудимых тканей.
- Аккомодация - повышение порога возбуждения к медленно нарастающему или постоянно действующему раздражителю.
- Закон крутизны нарастания раздражителя (Законы раздражения): Чем выше крутизна нарастания раздражителя во времени, тем больше до известного предела величина функционального ответа.



В основе аккомодации лежит развитие постепенной инактивация натриевых каналов и повышение калиевой проводимости, возникающие во время медленно нарастающей деполяризации мембраны.

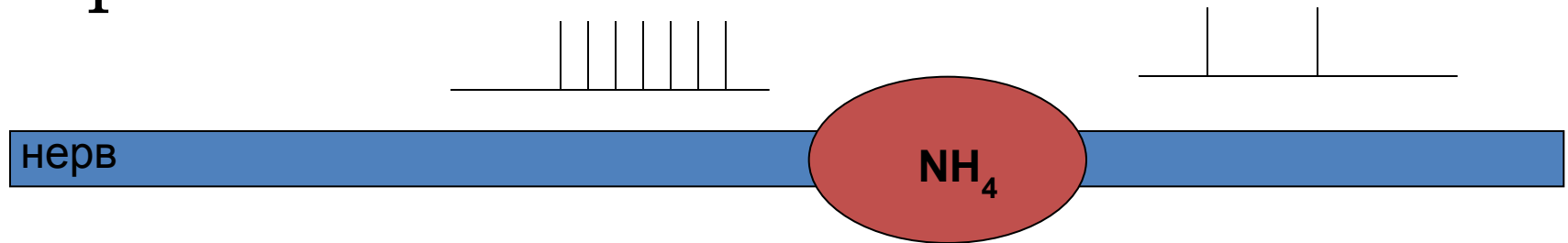
**Местное нераспространяющееся и углубляющееся во времени возбуждение.**

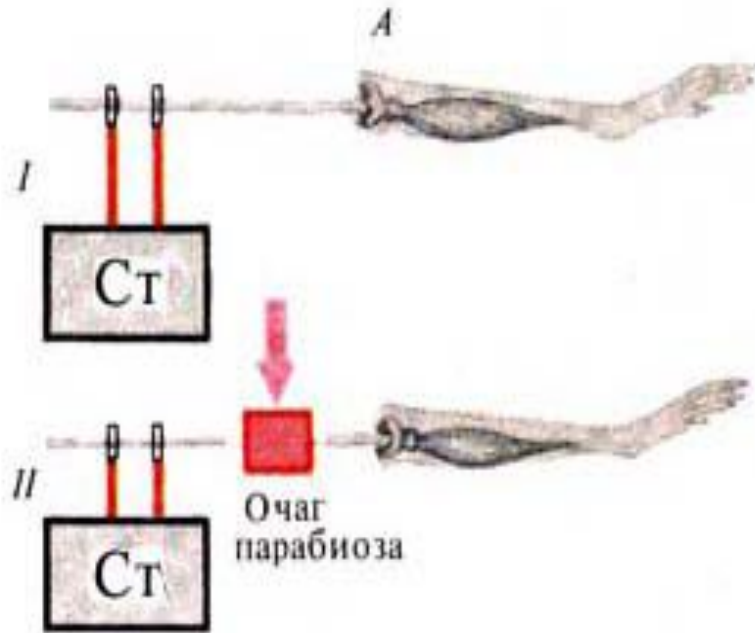
Обнаружен Введенским при исследовании способности нерва проводить высокочастотные разряды импульсов после воздействия на нерв различных химических агентов.

В дальнейшем было показано, что состояние парабиоза можно вызвать действием раздражителя любой природы.

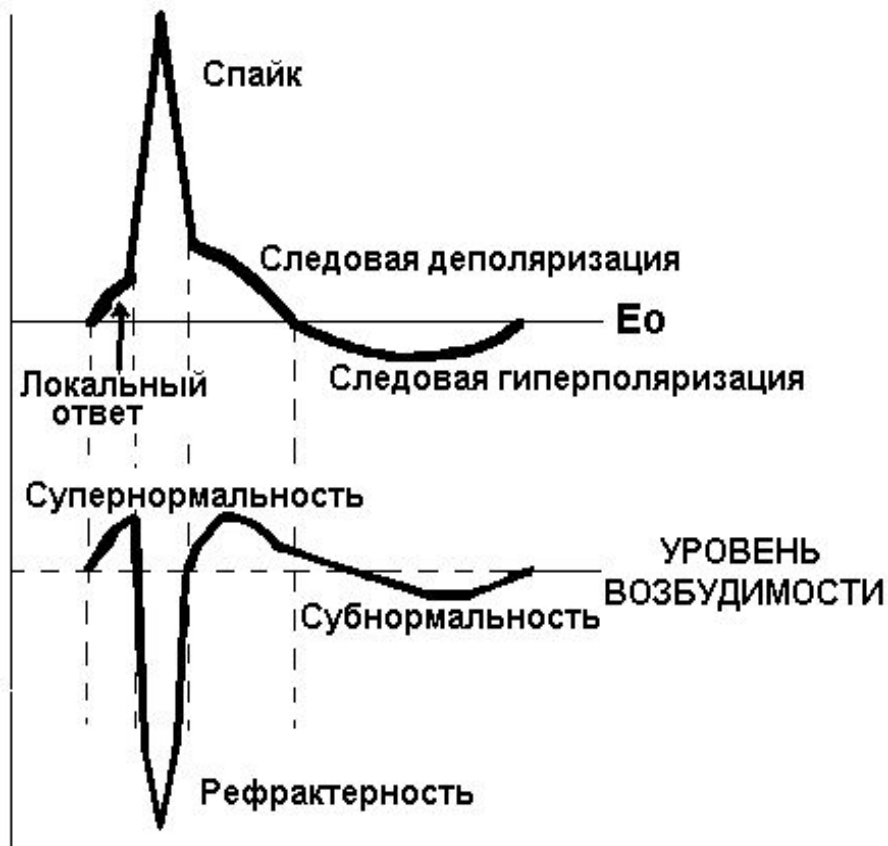
# Парабиоз и его фазы

- Уравнительная
- Парадоксальная
- Тормозная

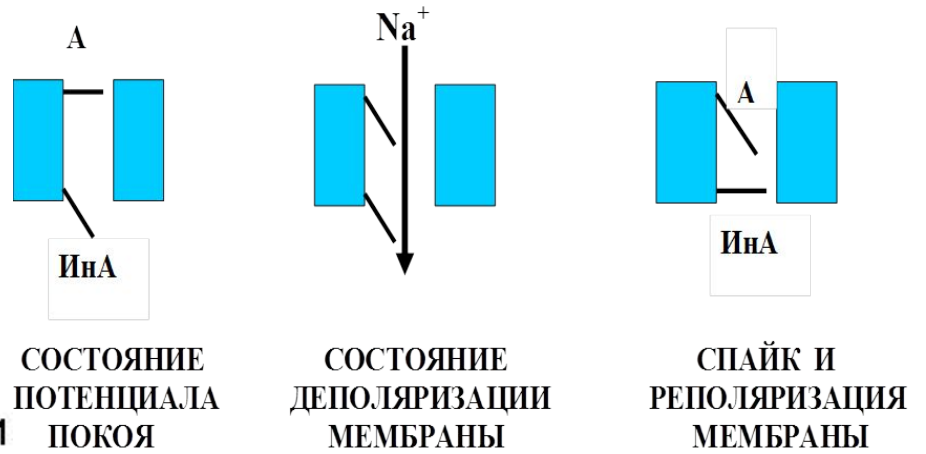








### СОСТОЯНИЕ НАТРИЕВЫХ КАНАЛОВ

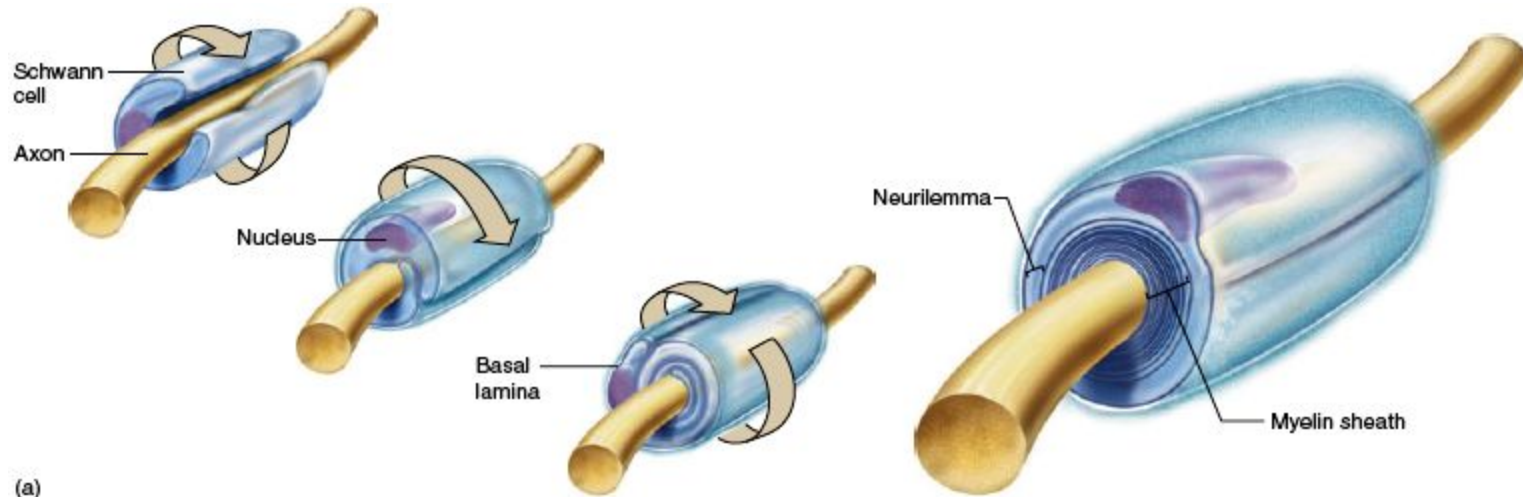


- Введенский впервые обратил внимание на то, что способность ткани воспроизводить задаваемый ритм связана с ее функциональным состоянием – **лабильностью**.
- Явление парабиоза широко распространено в природе – зимняя спячка (анабиоз), как хладнокровных, так и теплокровных (медведи).
- Использование наркотических веществ позволяет проводить многочасовые операции, а анестетики – блокируют болевые ощущения.
- Открытие парабиоза, а затем пессимального торможения, позволило Введенскому выдвинуть положение о **тормозных явлениях** в нервах, как о **стойком нераспространяющемся возбуждении**.

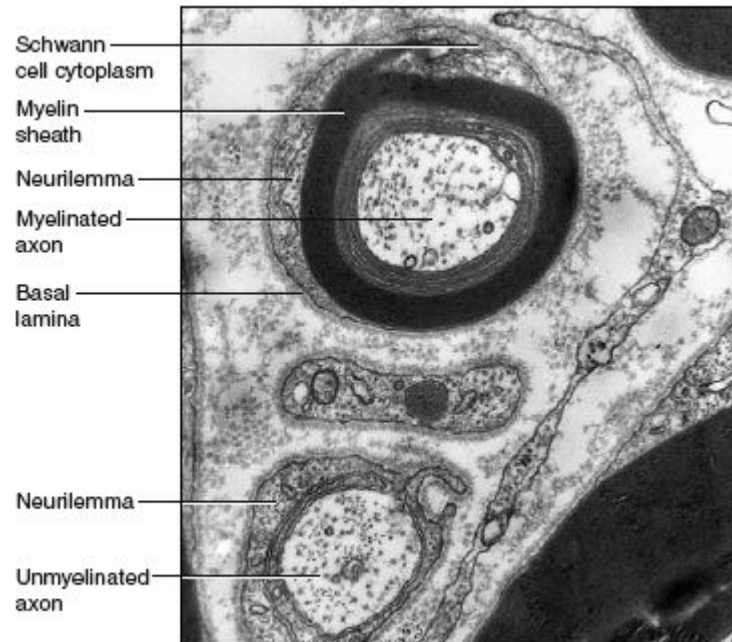
# **Проведение возбуждения по нервному волокну**

**Законы проведения  
возбуждения по нерву**

# Образование миелинового волокна



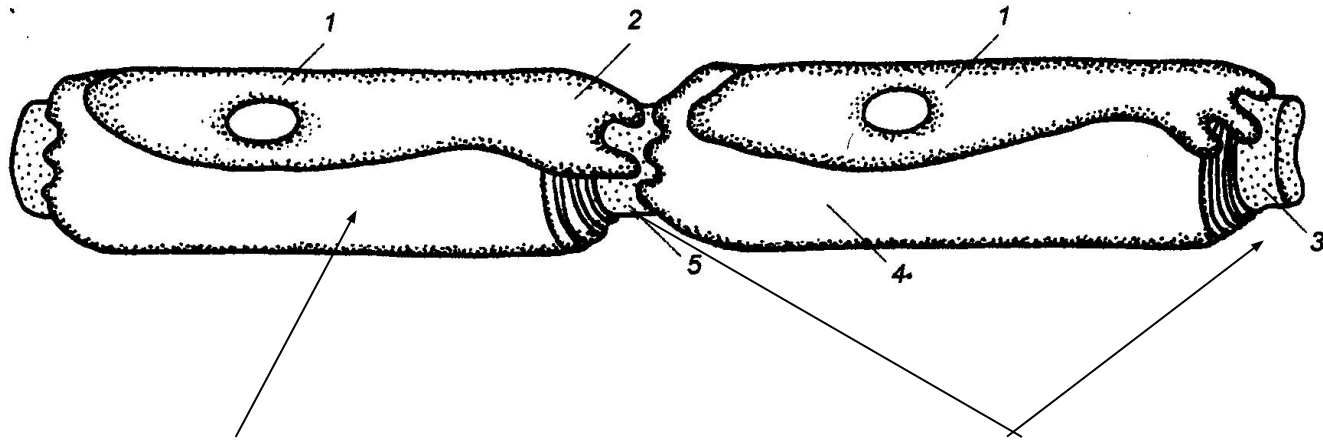
(a)



(b)

3  $\mu$ m

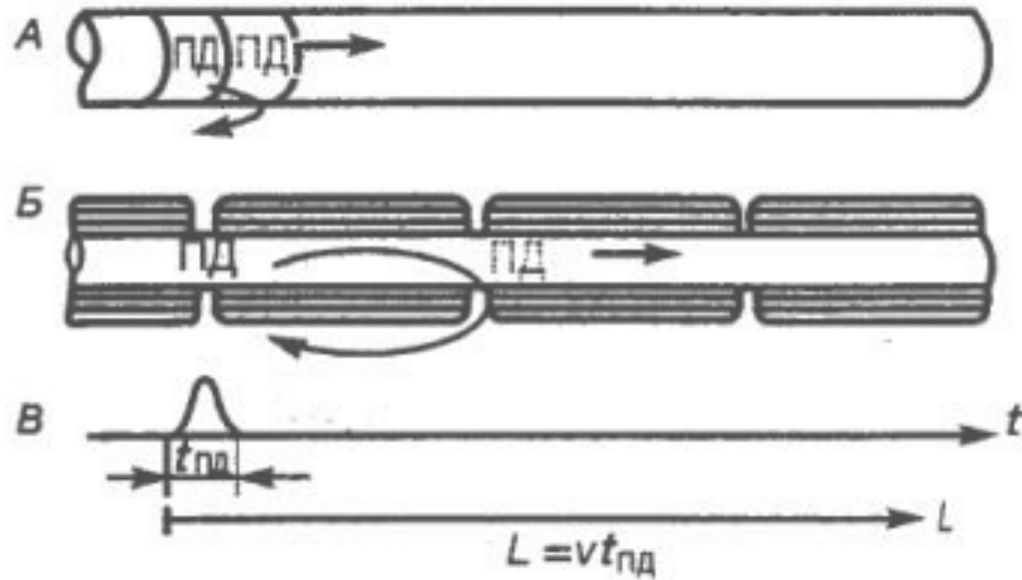
# 29 Миелиновое нервное волокно

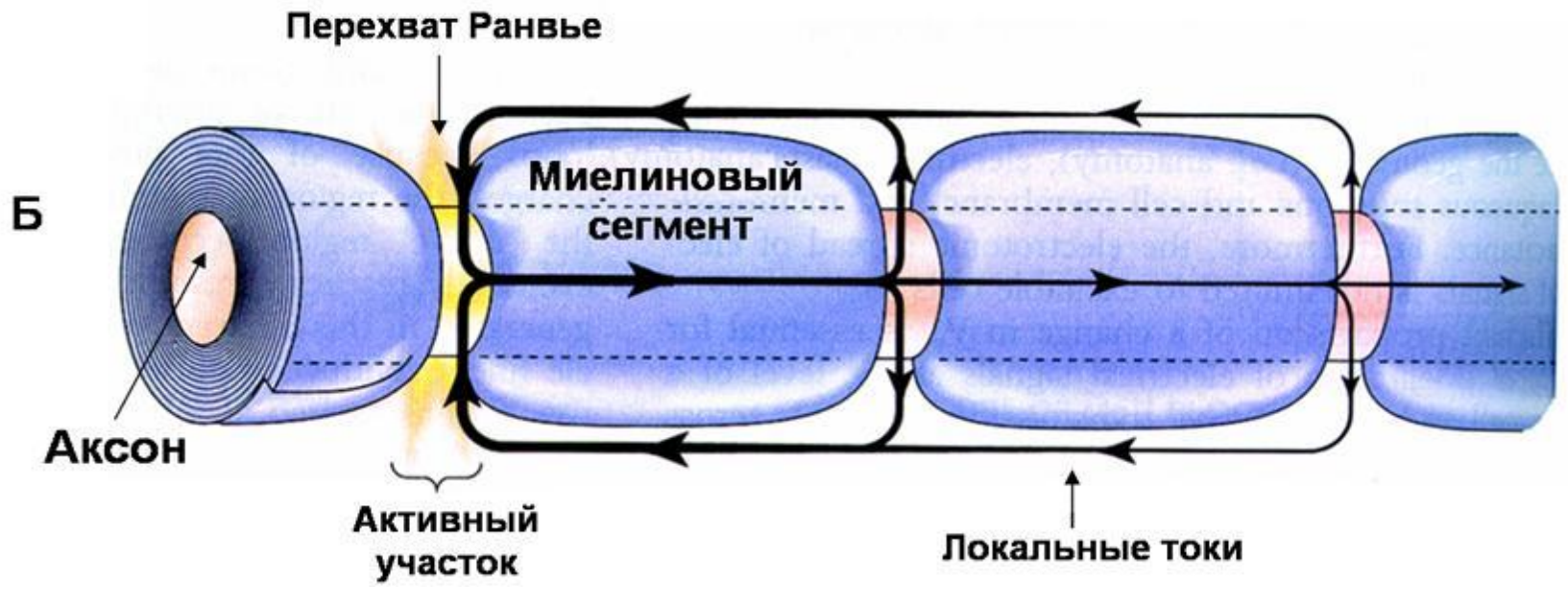
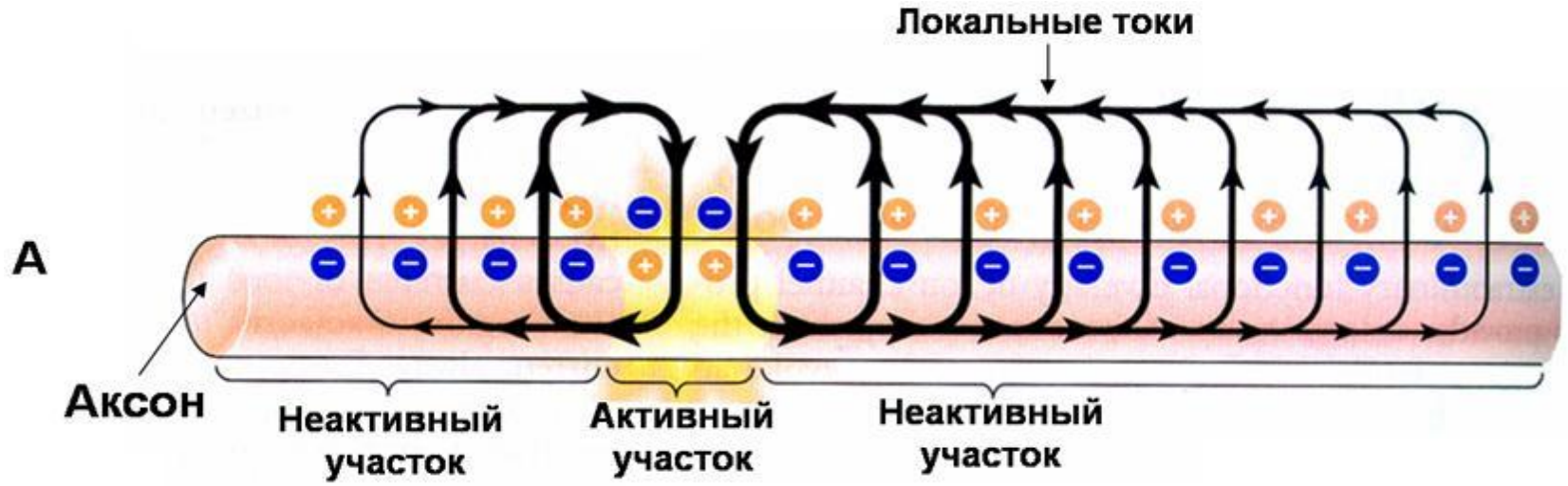


миелин

перехваты Ранвье

# 30 Скорость передачи сигнала по нервным волокнам





**В основе распространения возбуждения - возникновение местных токов между деполяризованным и покоящимся участками.**

Между различно заряженными участками мембраны возникает локальный ионный ток, который деполяризует мембрану до критического уровня. Причем подпороговый деполяризующий мембрану ток идет по аксоплазме, то есть - изнутри.

В результате этой подпороговой деполяризации открываются Na-каналы и возрастает входящий Na ток.

**Отношение величины ПД к пороговому току называется фактором надежности:**

$$\frac{\text{Амплитуда ПД, мВ}}{\text{Величина Екр, мВ}}$$

- Плотность Na<sup>+</sup>-каналов в перехватах Ранвье: 10 000/мм<sup>2</sup>, что в 200 раз больше, чем в нервном волокне гигантского аксона кальмара.
- Входящий Na<sup>+</sup>-ток, пронизывающий невозбужденную мембрану в непосредственной близости от ее возбужденного участка в 5-6 раз выше порогового тока. То есть фактор надежности настолько высок, что позволяет перескакивать ПД через несколько перехватов Ранвье, при их блокаде анестетиками.



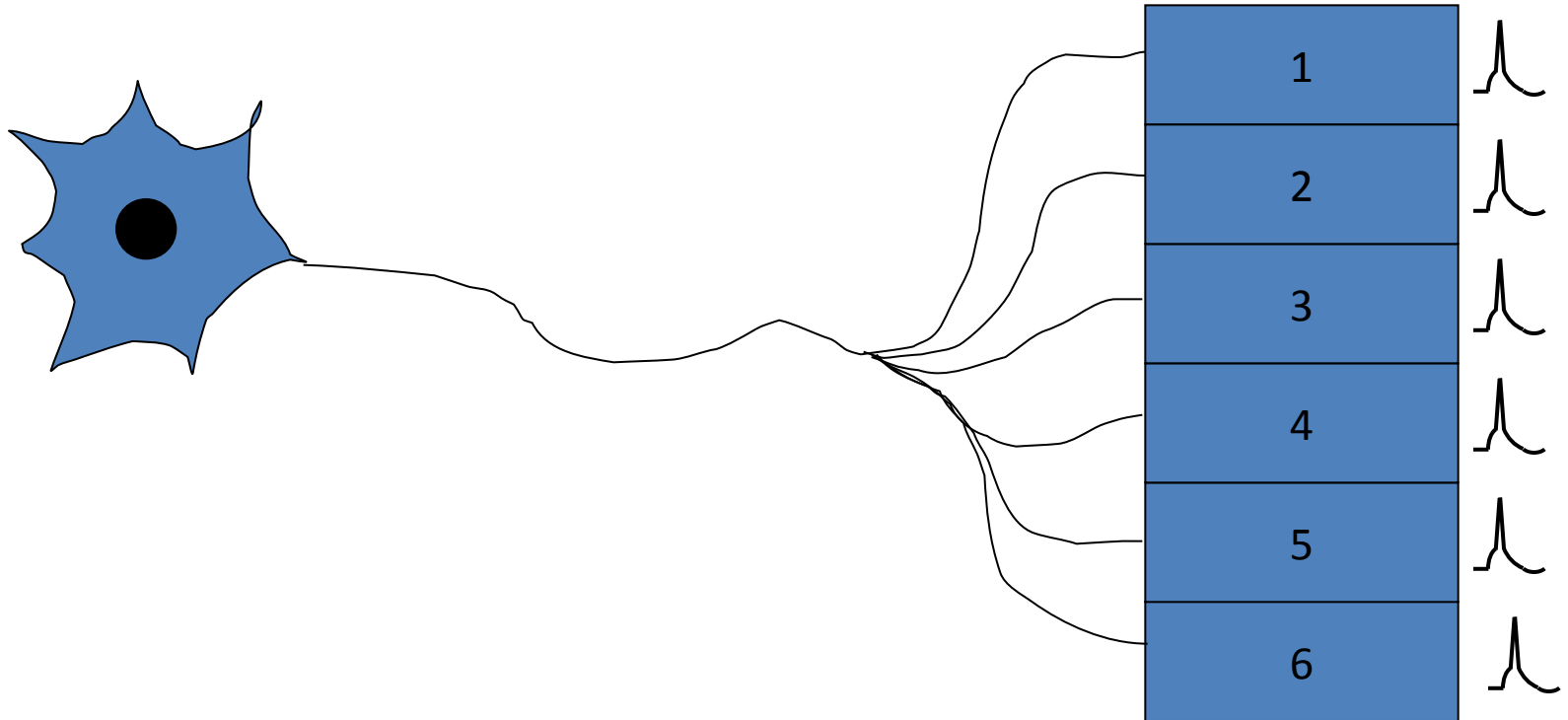
# 33      **Законы проведения возбуждения по нерву**

1. Закон физиологической непрерывности
2. Закон двустороннего проведения
3. Закон изолированного проведения
4. Закон бездекрементного (незатухающего) проведения возбуждения
5. Закон относительной неутомляемости нерва (открыт Введенским)

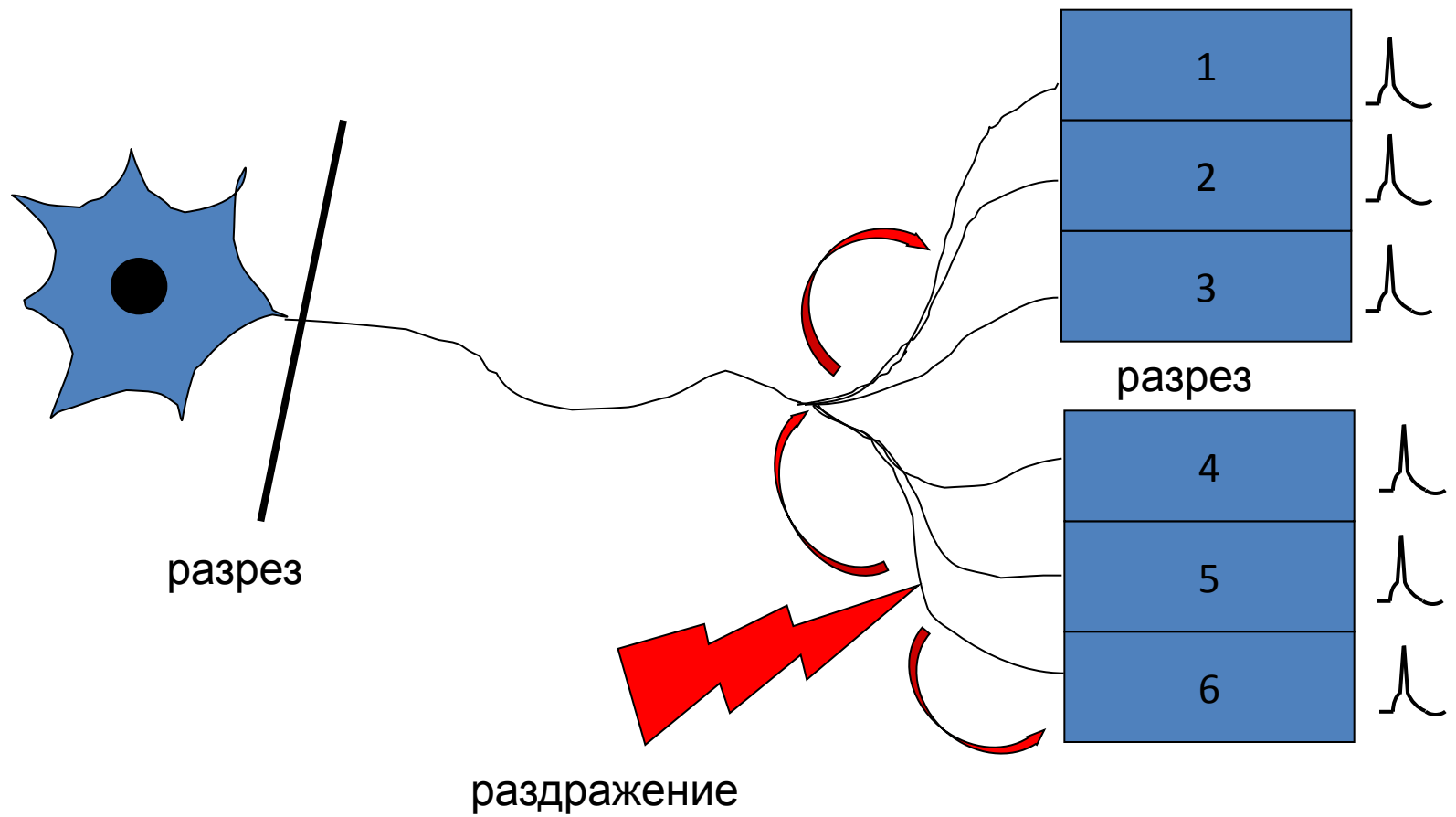
**34**      **Двустороннее проведение  
возбуждения экспериментально  
доказано:**

Бабухиным А.И. (1877) на  
электрическом органе нильского  
сома.

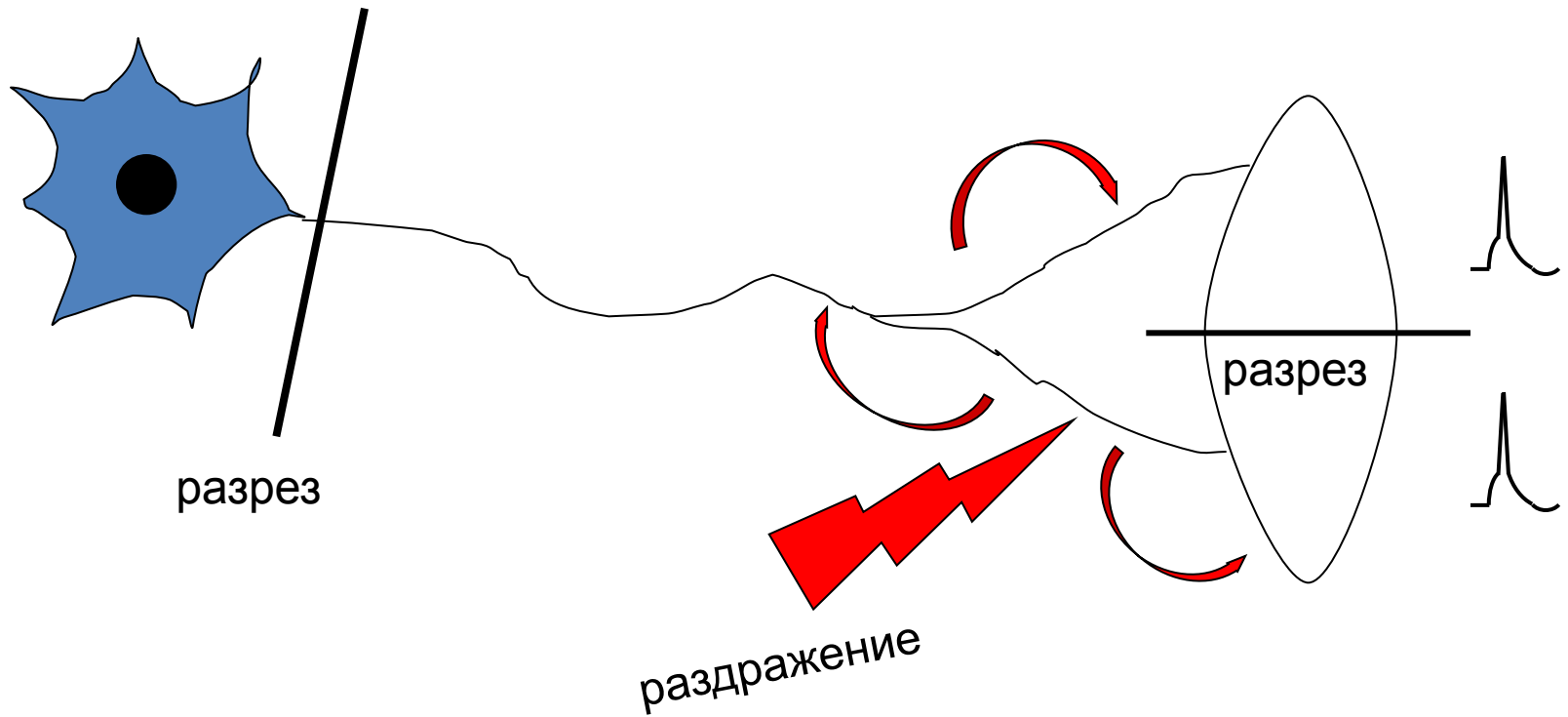
Кюне В. (1886) на икроножной  
мышце лягушки.



# Опыт Бабухина А.И.



# Опыт Кюне В.



## 38 Классификация нервных волокон

- **Волокна типа А ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$ )** – мякотные толстые моторные волокна, скорость проведения возбуждения до 120 м/сек.
- **Волокна типа В** – тонкие мякотные волокна, чаще чувствительные, скорость проведения 3-18 м/сек.
- **Волокна типа С** – безмякотные, вегетативные, скорость проведения не больше 3 мсек.

# Типы нервных волокон, их свойства и функциональное назначение

Тип	Диаметр (мкм)	Миелинизация	Скорость проведения (м/с)	Функциональное назначение
A $\alpha$	12–20	сильная	70–120	Двигательные волокна соматической НС; чувствительные волокна проприорецепторов
A $\beta$	5–12	сильная	30–70	Чувствительные волокна кожных рецепторов
A $\gamma$	3–16	сильная	15–30	Чувствительные волокна проприорецепторов
A $\delta$	2–5	сильная	12–30	Чувствительные волокна терморецепторов, ноцицепторов
B	1–3	слабая	3–15	Преганглионарные волокна симпатической НС
C	0,3–1,3	отсутствует	0,5–2,3	Постганглионарные волокна симпатической НС; чувствительные волокна терморецепторов, ноцицепторов, некоторых механорецепторов