

# Физиология возбудимых тканей

## Свойства возбудимых тканей:

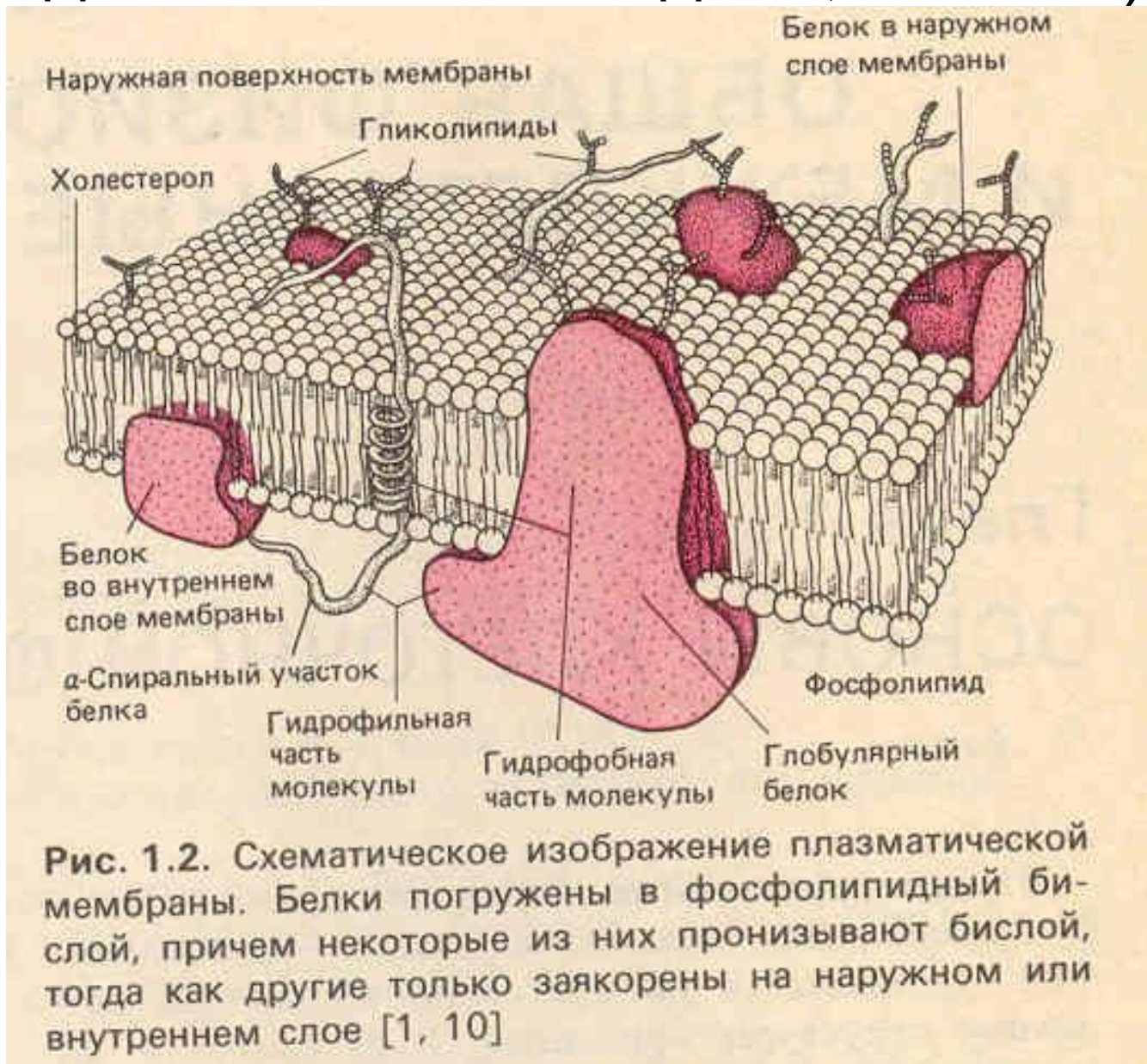
- **Раздражимость** – способность реагировать в ответ на внешнее раздражение изменением обмена веществ
- **Возбудимость** – способность реагировать возбуждением в ответ на внешнее раздражение

## Специфические и неспецифические реакции

Опыты Гальвани (1-й опыт, Вольта, 2-й опыт)

Опыты Дюбуа-Реймона (вторичный тетанус)

# Строение клеточных мембран (жидко-мозаичная модель, 6-12 нм)



# Функции клеточных мембран

- барьерные;
- регуляторные;
- электрические
- Медиаторные

Емкость, проводимость,  
проницаемость

# Строение и функции ионных каналов мембраны клетки (0,5-0,7 нм).

Т а б л и ц а 2.1. Важнейшие ионные каналы и ионные токи возбудимых клеток

Тип канала	Функция	Ток	Блокатор канала
Калиевый (в покое)	Генерация потенциала покоя	$I_{K^+}$ (утечка)	ТЭА
Натриевый	Генерация потенциала действия	$I_{Na^+}$	ТТХ
Кальциевый	Генерация медленных потенциалов	$I_{Ca^{2+}}$	D-600, верапамил
Калиевый (задержанное выпрямление)	Обеспечение реполяризации	$I_{K^+}$ (задержка)	ТЭА
Калиевый кальций-активируемый	Ограничение деполяризации, обусловленной током $Ca^{2+}$	$I_{K^+ Ca^{2+}}$	ТЭА

П р и м е ч а н и е. ТЭА — тетраэтиламмоний; ТТХ — тетродотоксин.

# Свойства клеточных каналов

- Селективность
- Проводимость

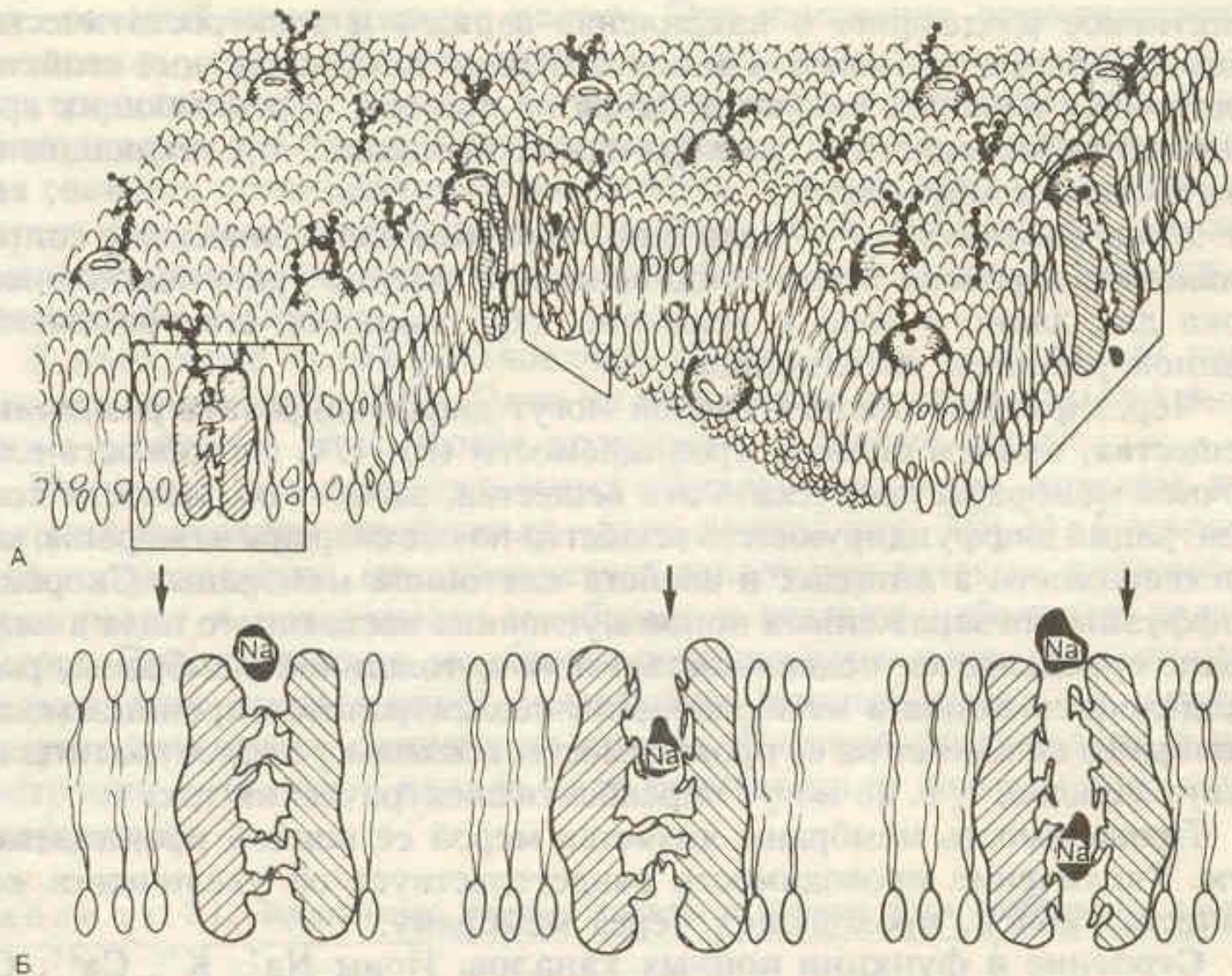


Рис. 2.1. Трехмерная жидкостно-мозаичная модель клеточной мембраны по Singer—Nicolson.

А — фосфолипидный бислой, в котором погружены белки; Б — различные моменты движения ионов  $\text{Na}^+$  через натриевый канал.

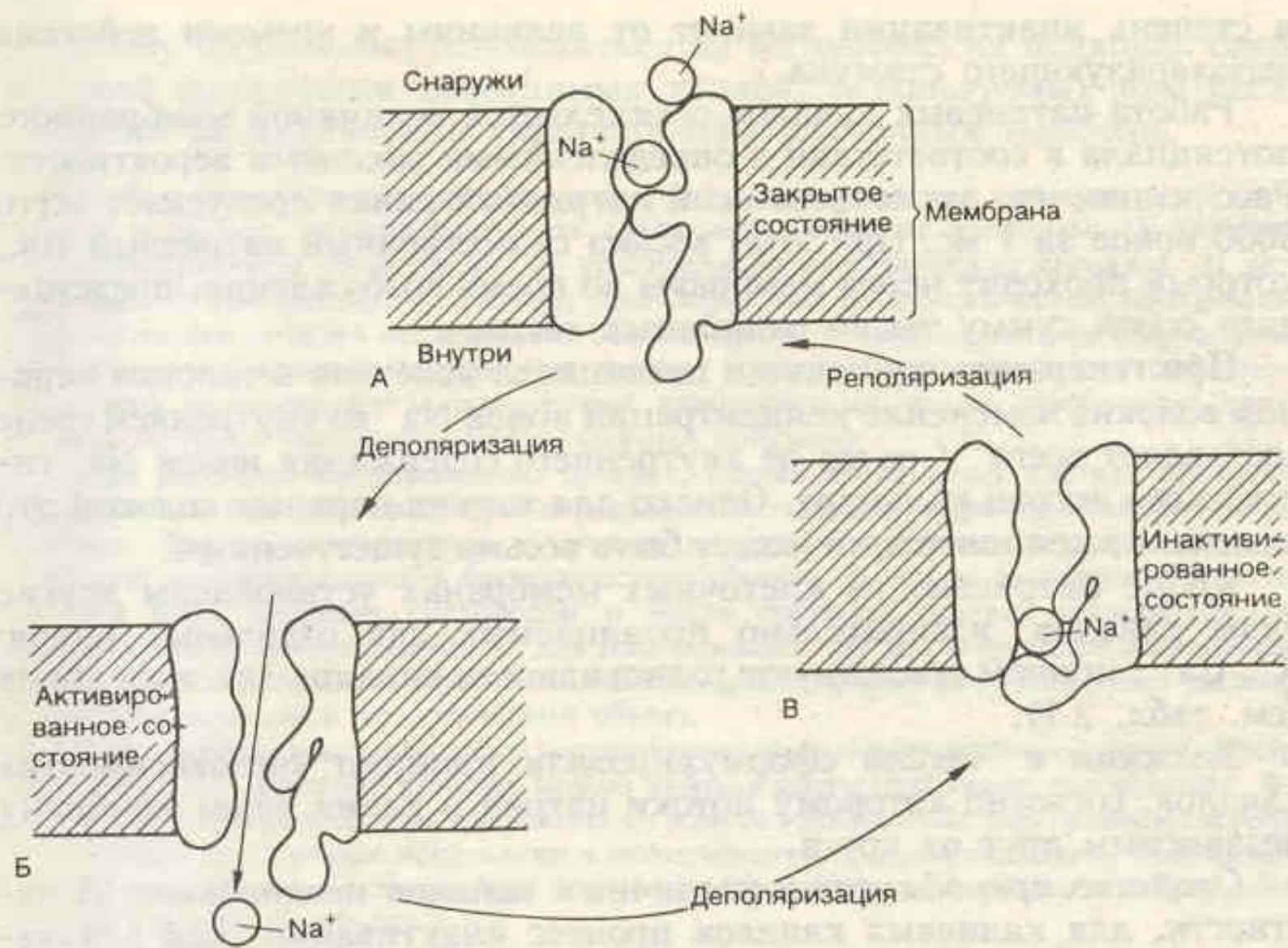
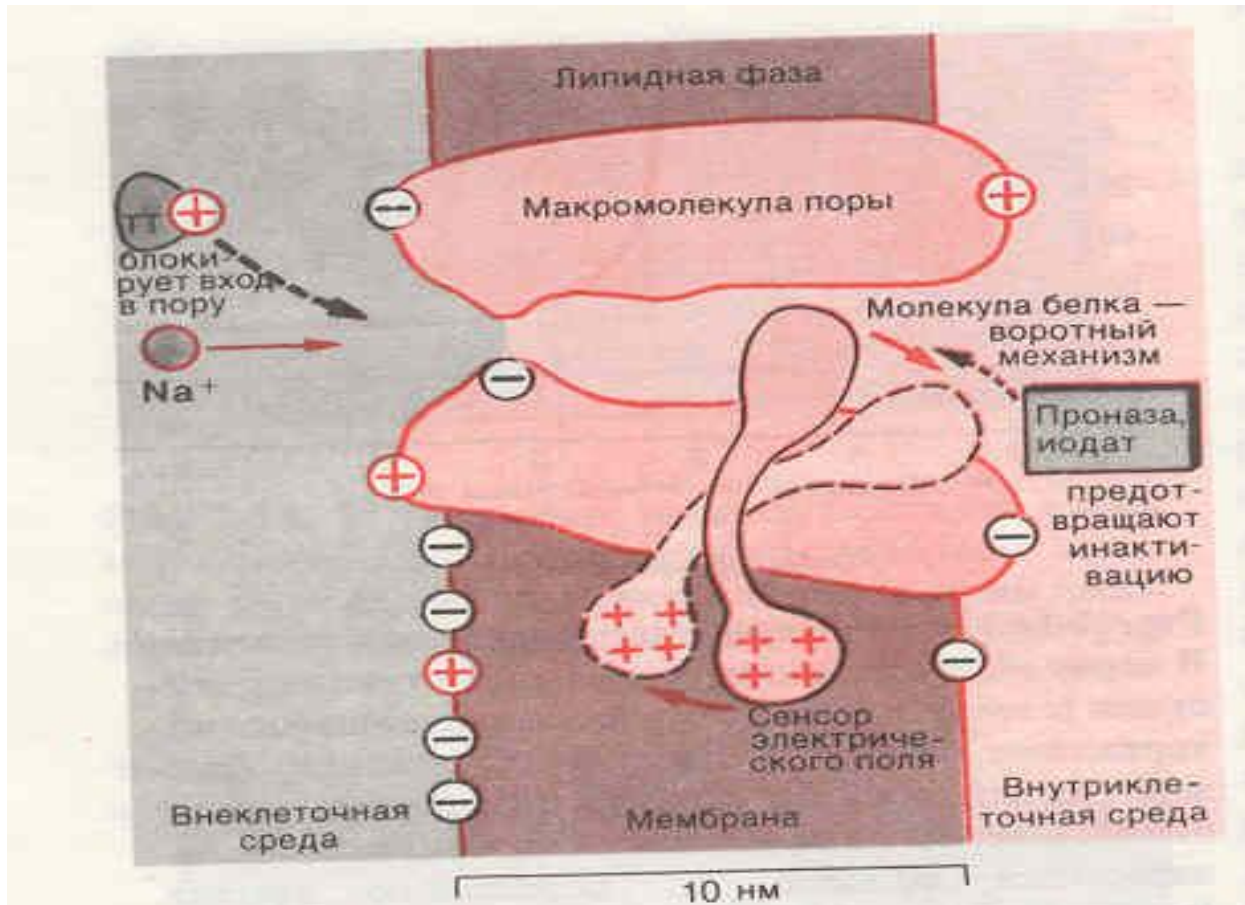


Рис. 2.4. Работа натриевых каналов и «воротных» механизмов.

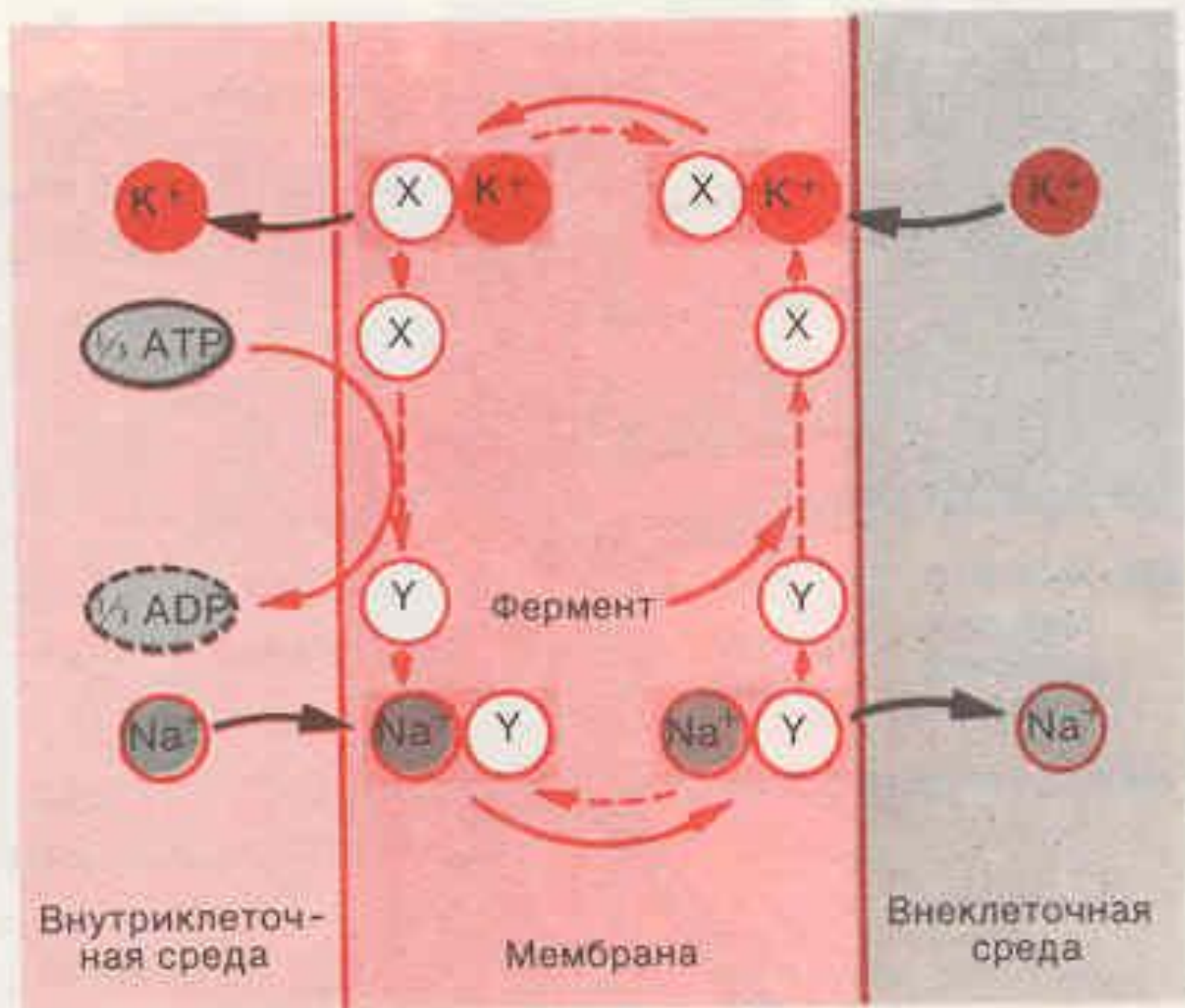
А — в покое m-активационные ворота («m-ворота») закрыты; Б — при возбуждении «m-ворота» открыты; В — закрытие «p-ворот» (инактивация) при деполаризации.



# Модель натриевого канала

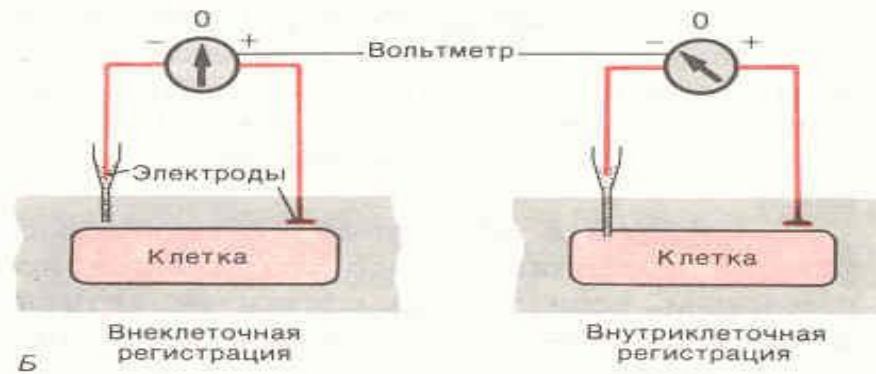
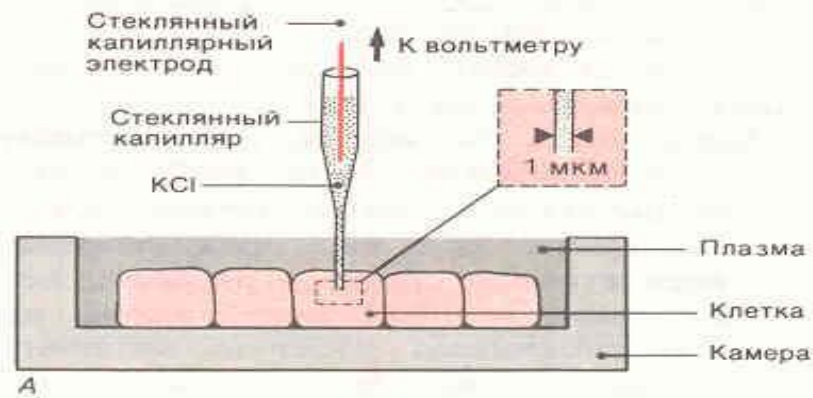


**Рис. 1-17.** Схематическая модель  $\text{Na}^+$ -канала в мембране. Компоненты мембраны и ионы изображены в приближенном масштабе. Ионы  $\text{Na}^+$  способны проходить через пору; прерывистыми стрелками показано место действия ингибиторов — тетродотоксина (ТТ), который блокирует вход в пору, проназы и иодата, которые предотвращают инактивацию [10, 18].



# Методы изучения возбудимых клеток

- Микроэлектродный метод регистрации электрического потенциала мембраны.
- Методы раздражения возбудимой клетки.



**Рис. 1-2.** Внутриклеточная регистрация мембранного потенциала. *А.* Клетка помещена в камеру, заполненную плазмой крови (или физиологическим раствором). *Б. Слева:* оба электрода, отводящий и референтный, находятся вне клетки – вольтметр регистрирует между ними нулевую разность потенциалов. *Справа:* отводящий электрод введен в клетку, а референтный находится вне клетки – вольтметр регистрирует величину потенциала покоя. *В.* Потенциал до и после введения электрода в клетку.

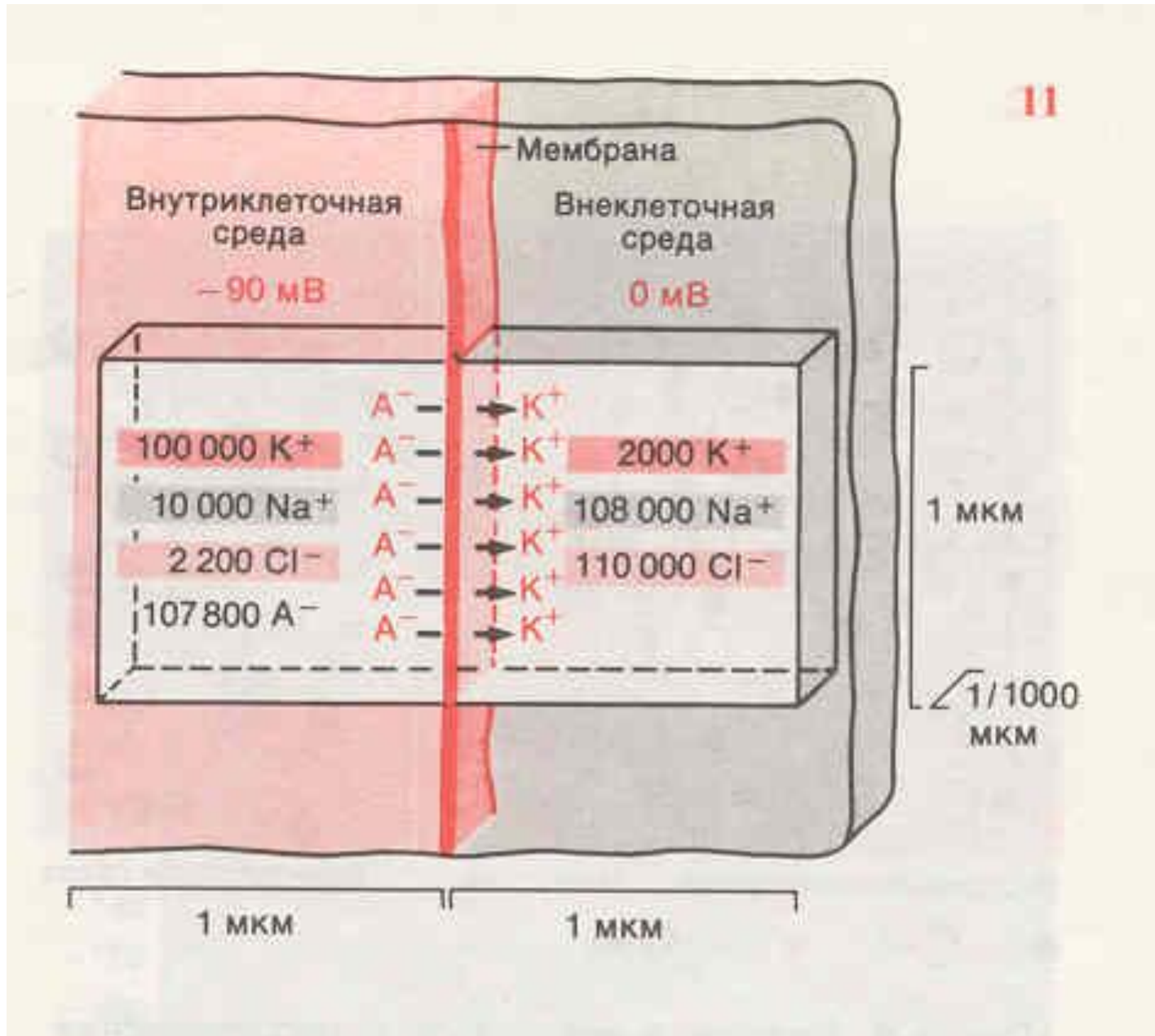
Потенциал покоя

Таблица 1-1. Внутри- и внеклеточные концентрации ионов для мышечной клетки теплокровного животного, ммоль/л

Внутриклеточная		Внеклеточная	
Na <sup>+</sup>	12	Na <sup>+</sup>	145
K <sup>+</sup>	155	K <sup>+</sup>	4
Cl <sup>-</sup>	4	Другие катионы	5
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	8	Cl <sup>-</sup>	120
A <sup>-</sup>	155	HCO <sub>3</sub>	27
Мембранный потенциал	-90 мВ	Другие анионы	7

$$E = \frac{RT}{ZF} \ln \frac{K_o^+}{K_i^+}$$

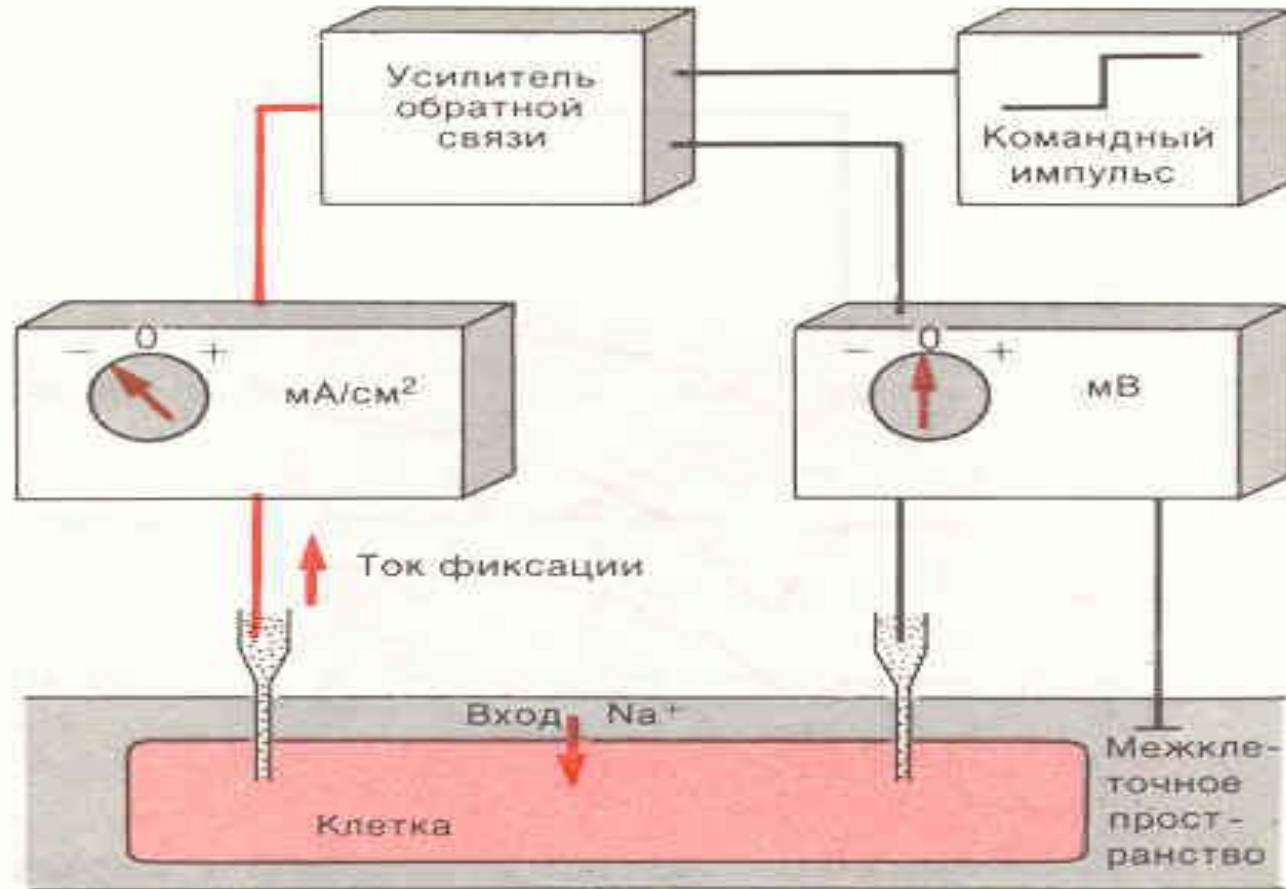
# Содержание ионов внутри и снаружи клетки



Потенциал действия



# Voltage-clamp



**Рис. 1-11.** Фиксация потенциала. Регистрируемый потенциал сопоставляется с командным потенциалом, и всякое различие между ними устраняется путем автоматического пропускания соответствующего по величине компенсаторного тока.



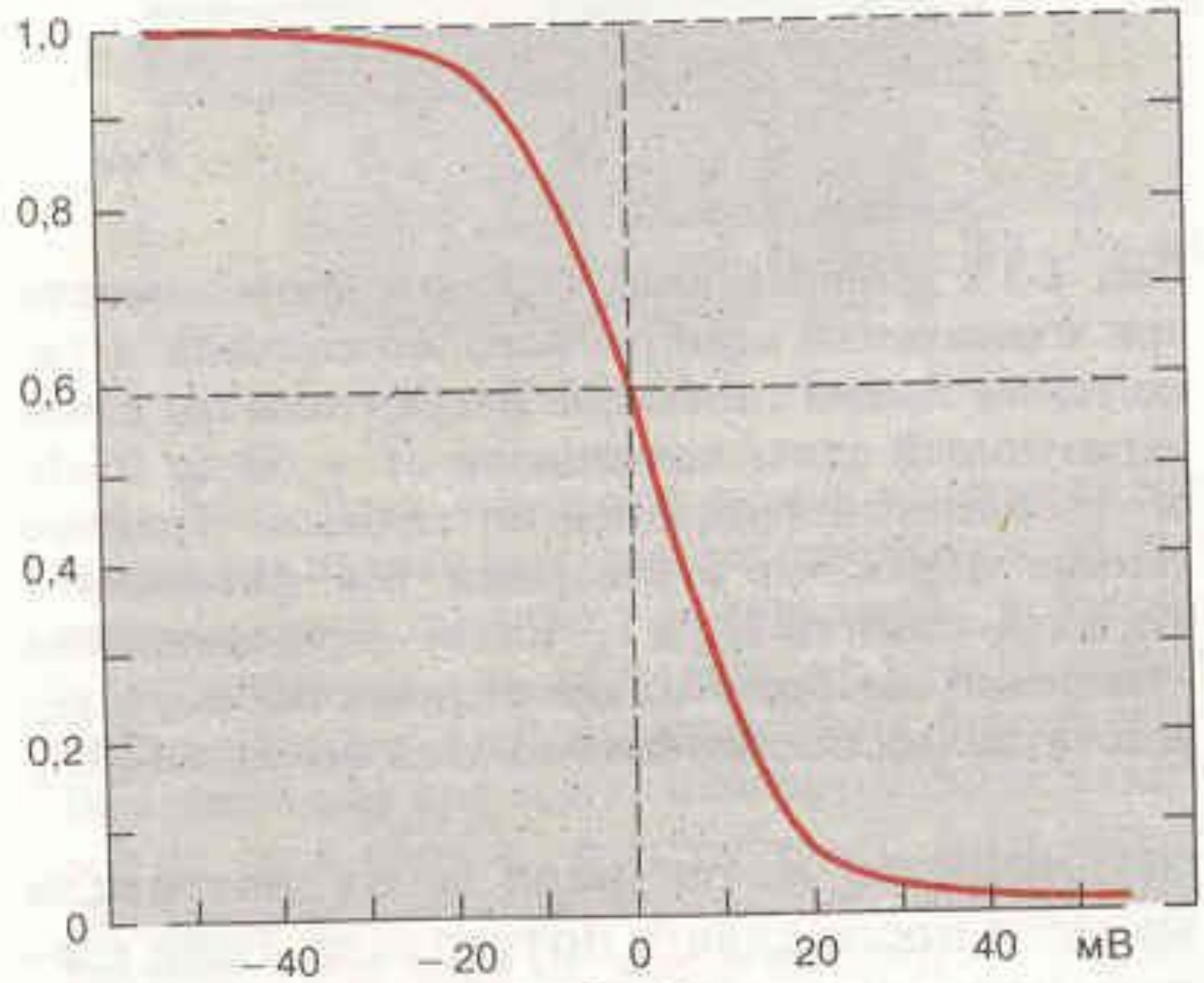
**Рис. 1-10.** Фазы потенциала действия; временной ход потенциала действия в нерве. Описание в тексте.



**Рис. 1-14.** Мембранные проводимости во время потенциала действия в гигантском аксоне кальмара.  $g_{Na}$  и  $g_K$  рассчитывали, подавая серии деполяризующих скачков (см. рис. 1-12, 1-13) [23].

$I_{Na \max}$

Потенциал покоя



$E - E_0$



## Нобелевская премия 1963 года в области физиологии и медицины



Алан Ходжкин

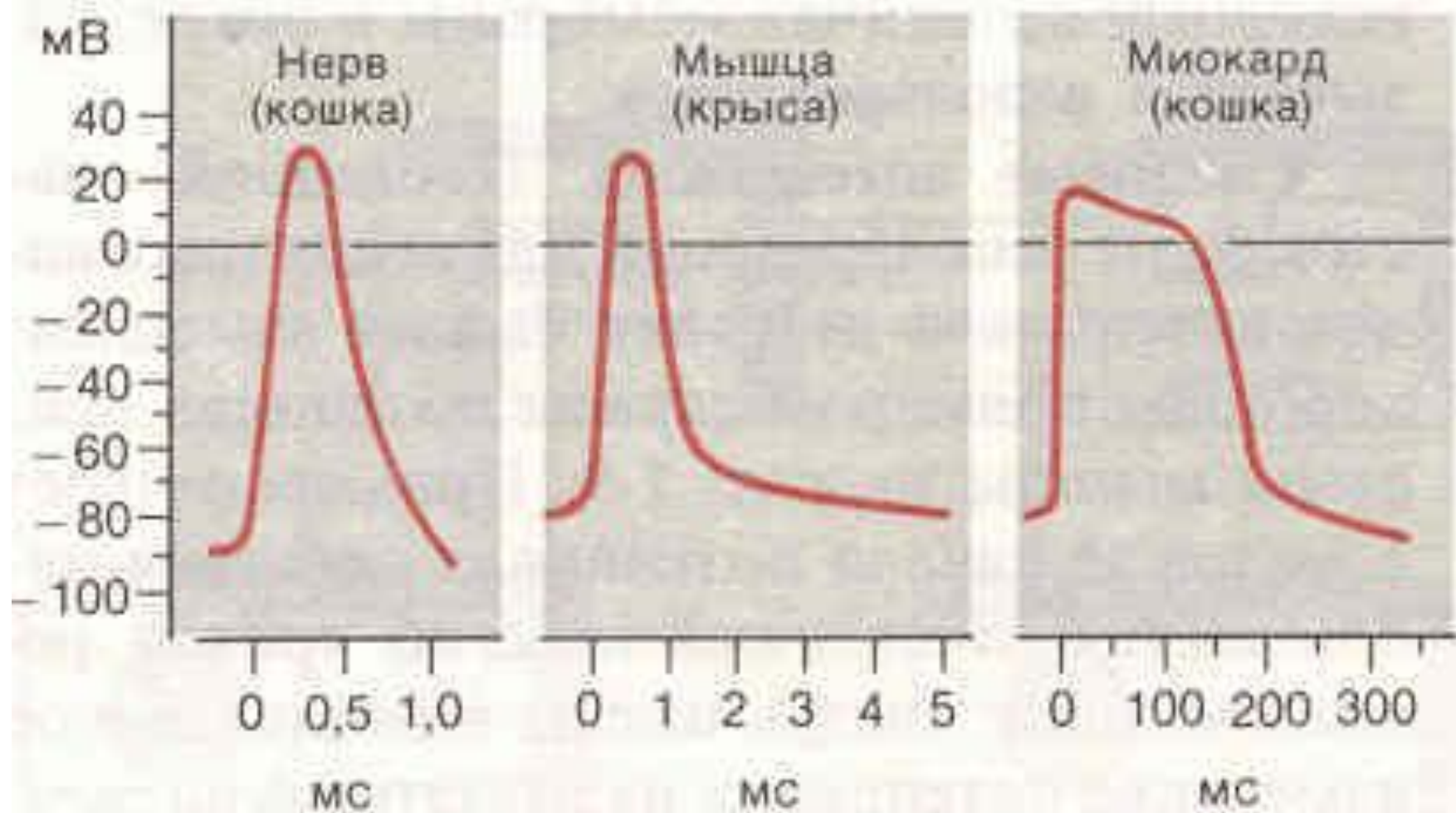


Эндрю Хаксли



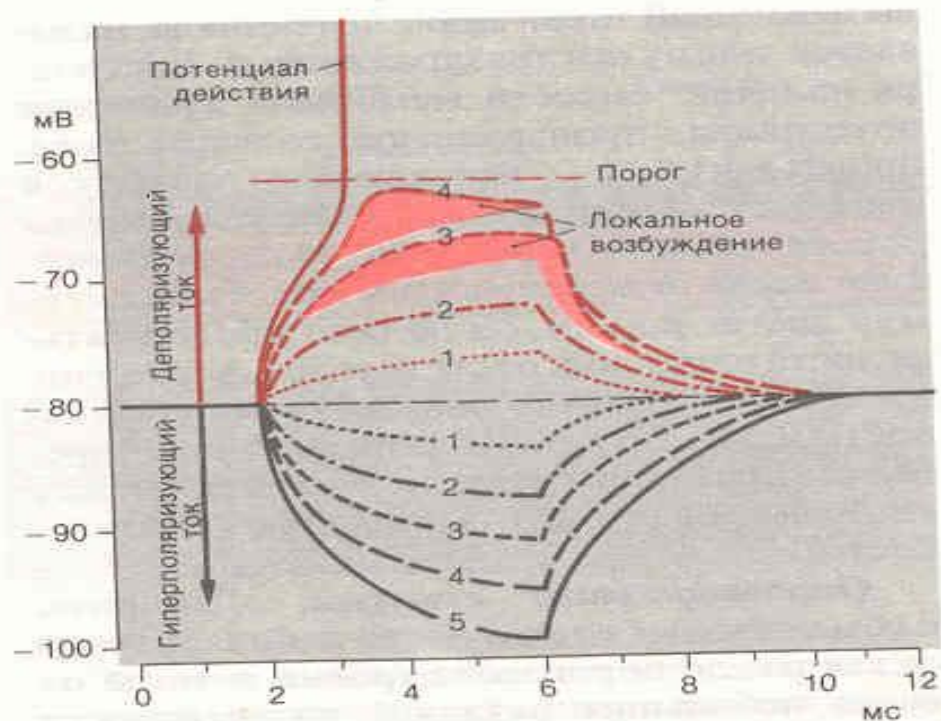
Сэр Джон Эклс

«За открытия ионных механизмов возбуждения и торможения нервных клеток»



**Рис. 1-9.** Потенциалы действия в различных тка-

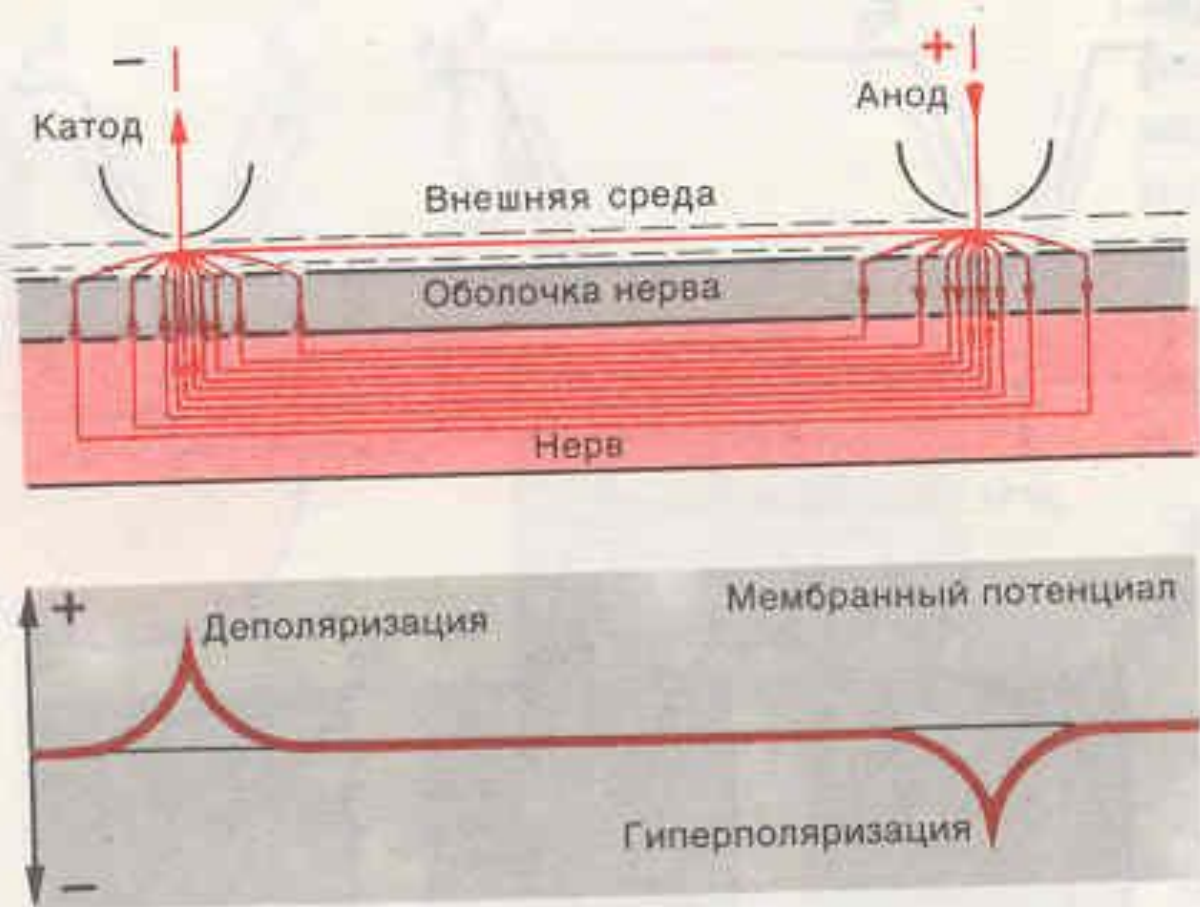
# Действие различных форм электрического тока на заряд мембраны



**Рис. 1-22.** Электротонические потенциалы и локальные ответы. Гиперполяризующие толчки тока (длительностью 4 мс) с относительной амплитудой 1, 2, 3, 4 и 5 вызывают пропорциональные по амплитуде электротонические потенциалы. При деполяризующих токах с амплитудой 1 и 2 возникающие потенциалы являются зеркальным отражением потенциалов при соответствующих гиперполяризующих токах. При деполяризующих толчках с амплитудой 3 и 4 электротонические потенциалы выше тех, которые возникают при деполяризации менее  $-70$  мВ (область превышения затушевана розовым). Ток с амплитудой 5 производит деполяризацию, которая превышает порог и вызывает потенциал действия.



# Полярный закон действия тока

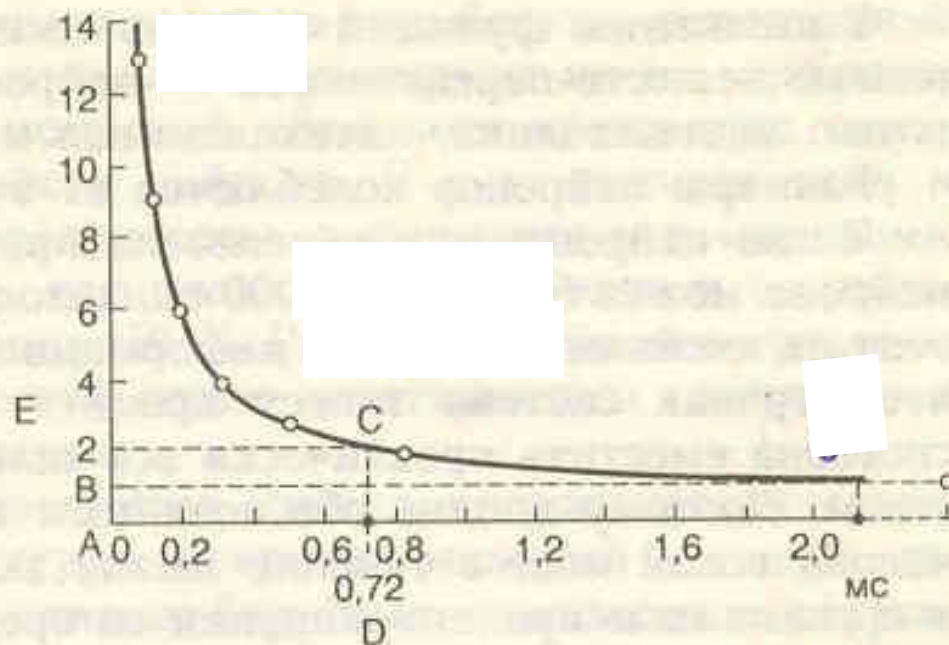


**Рис. 1-21.** Схема внеклеточного приложения тока. Ток идет от анода к катоду (оба электрода — вне нерва), частично через пленку жидкости на поверхности нерва, а частично через оболочку нерва и в продольном направлении внутри волокна. Кривая внизу показывает вызываемые током изменения мембранного потенциала нервного волокна [28].

# Порог раздражения, полезное время раздражения, хронаксия

Рис. 2.15. Кривая "сила — длительность".

AB — реобазис; AC — порог времени; AE — двойная реобазис; AD — хронаксия. По оси абсцисс — продолжительность действия стимула, по оси ординат — величина реобазиса.



# Парабиоз

**Лабильность** – количество элементарных реакций в единицу времени

Оптимум - возбуждение

Пессимум - торможение

**Парабиоз** – состояние ткани, лабильность которой не удовлетворяет требованиям раздражителя

**Стадии парабиоза:**

- уравнивательная
- парадоксальная
- тормозная