

№2 дәріс.

Электрқозушылық түсінігі.

Биопотенциалдар.

*Кардиомиоцит пен жүйке
талшығының әсер потенциалы*

Жоспары:

- Электрқозушылық түсінігі.
- Тыныштық потенциалы.
- Мембраналық потенциалдарды өлшеу әдістері.
- Кардиомиоцит пен жүйке талшығының әсер потенциалы

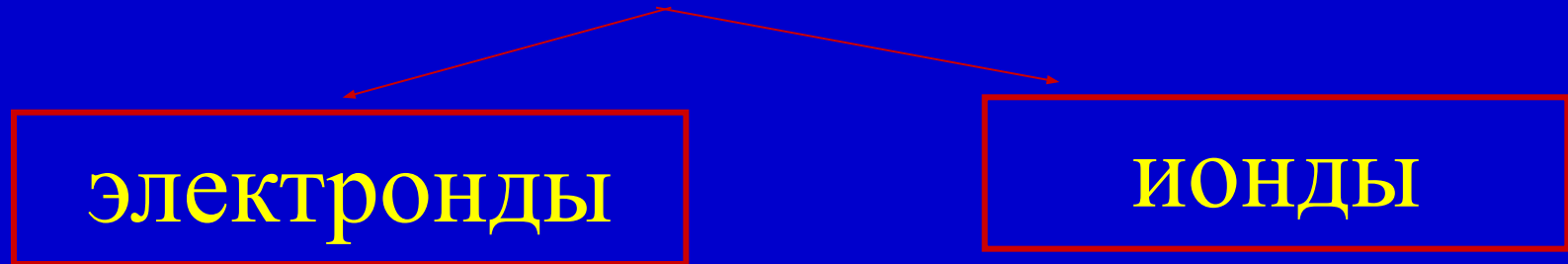
Потенциалдар айырымы – бұл әр түрлі таңбадағы электр зарядтарының кеңістіктік бөлінуі болып табылады.

**Тірі ағза жасушаларында,
ұлпаларында пайда болатын
потенциал айырмасын –
биоэлектрлік потенциал д.а.**

**Тірі ағзада биоэлектрлік
потенциалдардың пайда болуы
жасуша мембранасында әр түрлі
физико - химиялық
градиенттердің болуына
*байланысты.***

Медицинада электр өрісін зерттеуде ұлпалар мен мүшелердің биопотенциалдарын тіркеуге негізделінген диагностикалық әдістер: электрокардиография,
электроэнцефалография,
электромиография.

Ерітінділерде пайда болатын потенциалдар:



- **Электронды типтегі потенциалдар** — еркін электрондардың, ал
- **Ион типтегі потенциалдар** — иондардың болуынан пайда болады.

Ион типті потенциалдар

```
graph TD; A[Ион типті потенциалдар] --> B[Диффузиялық]; A --> C[Мембраналық]; A --> D[Фаза аралық];
```

Диффузиялық

Мембраналық

Фаза аралық

Диффузия құбылысында
пайда болатын, араласатын
ерітінділерді аламыз.
Концентрациясы көптен
азға қарай жүреді

**Фаза (күй, екі түрлі) аралық
потенциалдар
араласпайтын екі сұйықтың
шекарасында пайда болады.**

Ағзада тіркелетін
биопотенциалдар –
мембраналық потенциал.

Осыған байланысты
мембрананың сыртқы және ішкі
беттеріндегі потенциалдар
айырымын - *мембраналық
потенциал* д. а.

$$\Delta\varphi_M = \varphi_{iшкi} - \varphi_{сырт}$$

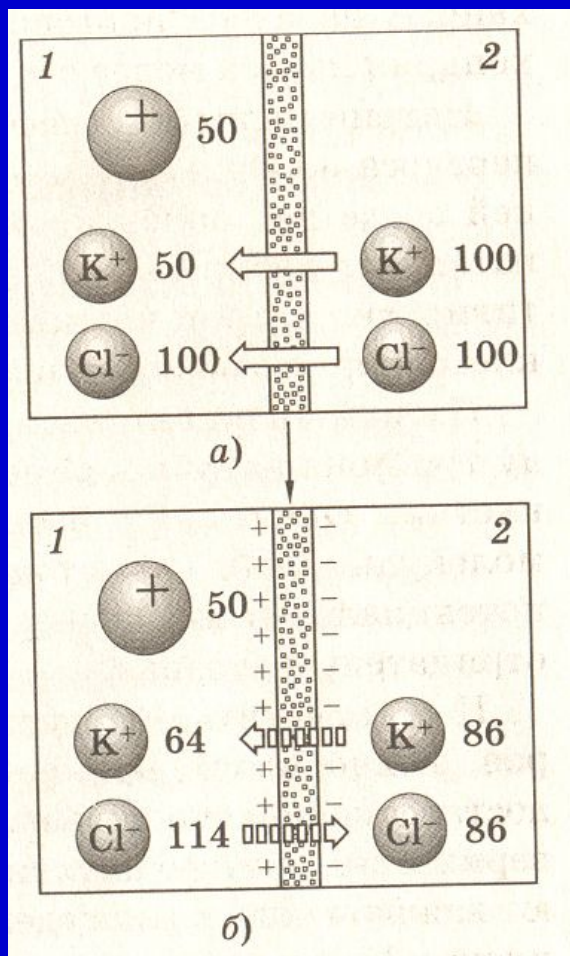
Мембраналық потенциал

- **Тыныштық күй** (қозғалыс жоқ кезде пайда болады)
- **Әрекет** *болып екіге бөлінеді*

- I. Жасушаның беттік (сыртқы) мембранасының өткізгіштігі түрлі иондар үшін бірдей емес (таңдайды)
- II. Мембрананың екі жағындағы белгілі бір иондардың концентрациясы әртүрлі

Аталған екі фактордың нәтижесінде жасушадағы цитоплазма мен қоршаған орта арасында потенциалдар айырымы пайда болады, оны тыныштық күй потенциалы (ТКП) д.а.

Мембрананың сыртқы және ішкі жағы (моделдік жүйесі)



*Иондар үшін тепе-теңдік күйге
сәйкес келетін
Нернст теңдеуі:*

$$\Delta\varphi = \varphi_M = -\frac{RT}{ZF} \ln \frac{[C_2]}{[C_1]}$$

ТКП-ның болуына

Na^{+} , K^{+} және Cl^{-}

иондары себеп болады. Бұл иондар
ағынының қосындылық
тығыздығы:

$$J = J_{Na^{+}} + J_{K^{+}} - J_{Cl^{-}}$$

$$J = J_{Na^+} + J_{K^+} - J_{Cl^-}$$

$$\varphi_M = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_{Na} [Na^+]_i + P_K [K^+]_i + P_{Cl} [Cl^-]_o}{P_{Na} [Na^+]_o + P_K [K^+]_o + P_{Cl} [Cl^-]_i}$$

Гольдман-Ходжкин-Катц тендеуі

Иондар өтімділігі ағзаның күйіне байланысты болады. *ТК-гі* физиологиялық шарттарға байланысты түрлі иондардың өтімділік коэффициенттерінің қатынастары төмендегідей:

$$P_K : P_{Na} : P_{Cl} = 1 : 0.04 : 0.45$$

**ТКП-на тек ғана К және Na
иондары ғана үлестерін қосады.
Мысалы, 30 град.С-ғы потенциал
шамасы:**

$$\varphi_M = \frac{8,31 \cdot 303}{9,6 \cdot 10^4} \ln \frac{340 + 0,45 \cdot 592}{10,4 + 0,45 \cdot 114} \approx 59,7 \text{ мВ}$$

Гольдман-Ходжкин-Катц
формуласымен есептелінген
тыныштық күй потенциалы
~~60~~**мВ болды.**

Гольдман теңдеуімен есептелінген
мембраналық потенциал мәні
Нернст теңдеуімен есептелінген
потенциалдан біршама аз.

Нернст және Гольдман теңдеулерінде иондардың мембрана арқылы активті тасмалдануы ескерілмеген. Мембраналық потенциалды есептеуде электрогендік иондық насостың жұмысы есебімен *1972 ж. Томас* теңдеуі алынды:

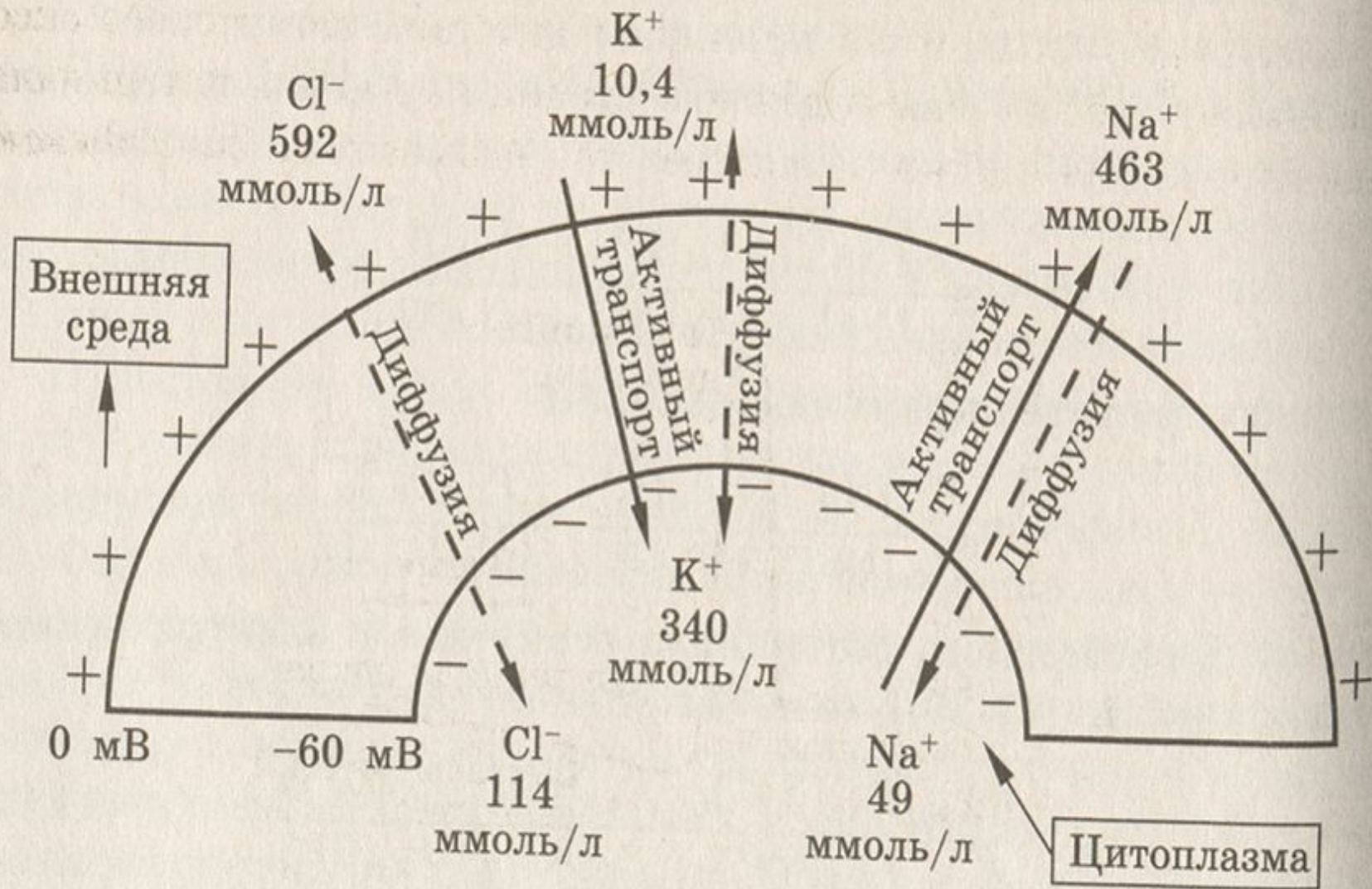
$$\varphi_I = -\frac{RT}{F} \ln \frac{mP_K [K^+]_i + P_{Na} [Na^+]_i}{mP_K [K^+]_o + P_{Na} [Na^+]_o}$$

Мұндағы m — мембрана арқылы иондық насоспен тартылған натрий иондары мөлшерінің калий иондарының мөлшеріне қатынасын көрсетеді.

$m \approx 1$ мембраналық потенциалды құруда калий концентрациясы градиентінің енгізілуін күшейтеді.

Сондықтан *Томас теңдеуімен* есептелінген мембраналық потенциалдың мәні *Гольдман теңдеуі* бойынша есептелінген потенциалдан үлкен және оның мәні ұсақ жасуша үшін жүргізілген тәжірибе мәніне жуық.

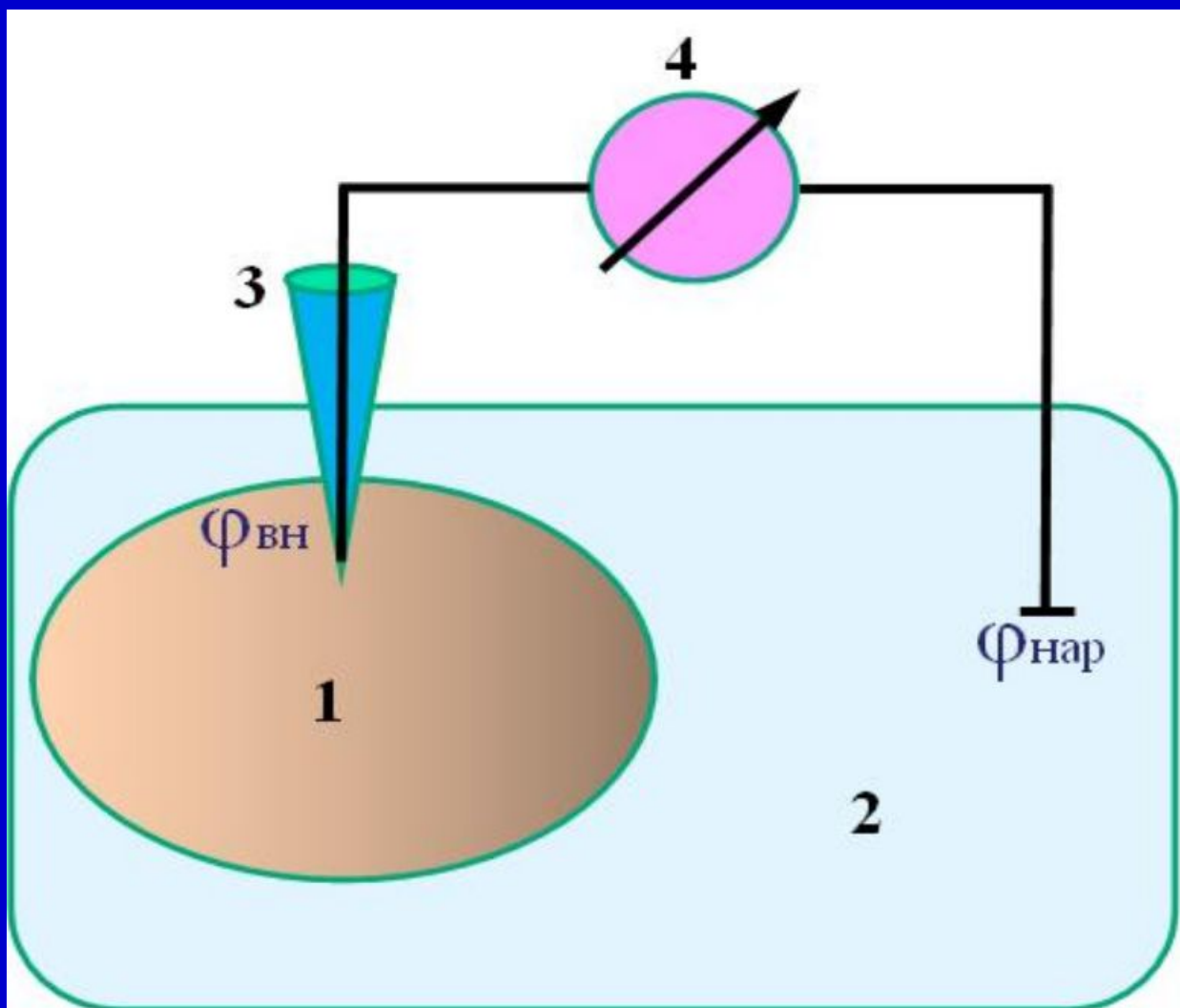
Жасушадағы биоэнергетикалық процесстердің және Na^{+} , K^{+} насосының жұмысының бұзылуы потенциалдың азаюуына ықпал етеді. Мұндай жағдайда мембраналық потенциал *Гольдман* теңдеуімен сипатталады.



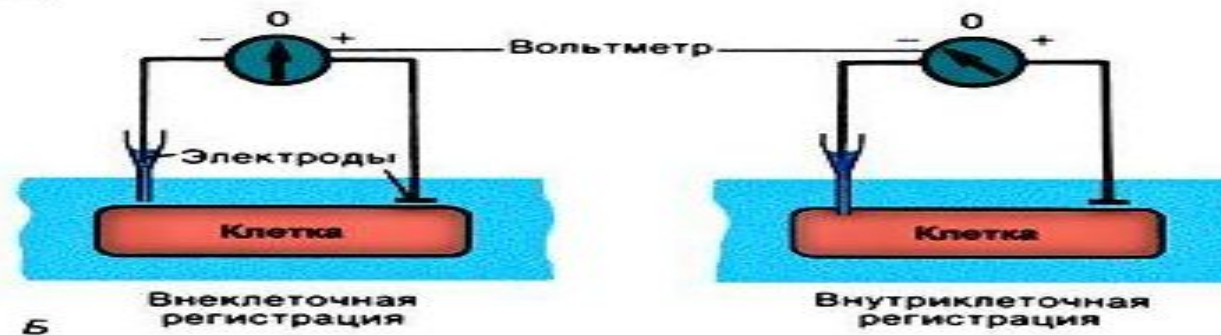
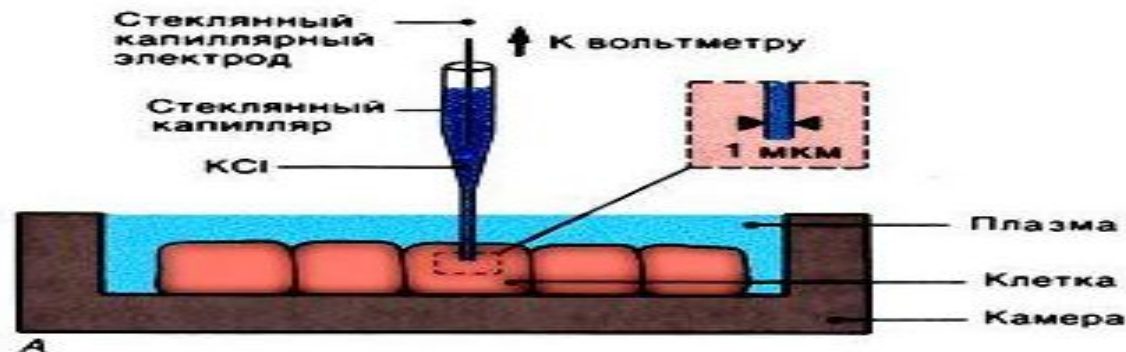
Мембраналық биопотенциалдарды зерттеу:

1. Микроэлектрод әдісімен жасуша ішілік потенциалды өлшеу.
2. Биопотенциалды күшейткіш
3. Зерттеу объектісі ретінде ірі жасушалы кальмар аксоны алынады
4. Кальмар аксонына микроэлектрод салынады.
5. Шыны микроэлектрод өте жіңішке ұштары бар микропипеткадан тұрады.

Микроэлектродты техника арқылы ТП өлшеу



Тыныштық потенциалын өлшеу үшін микроэлектродты техниканы қолданады

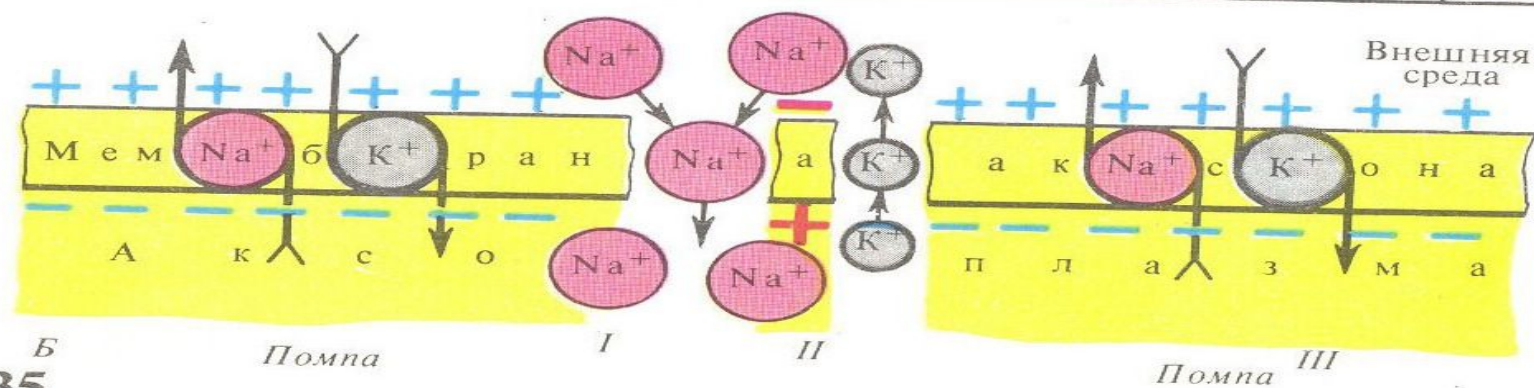
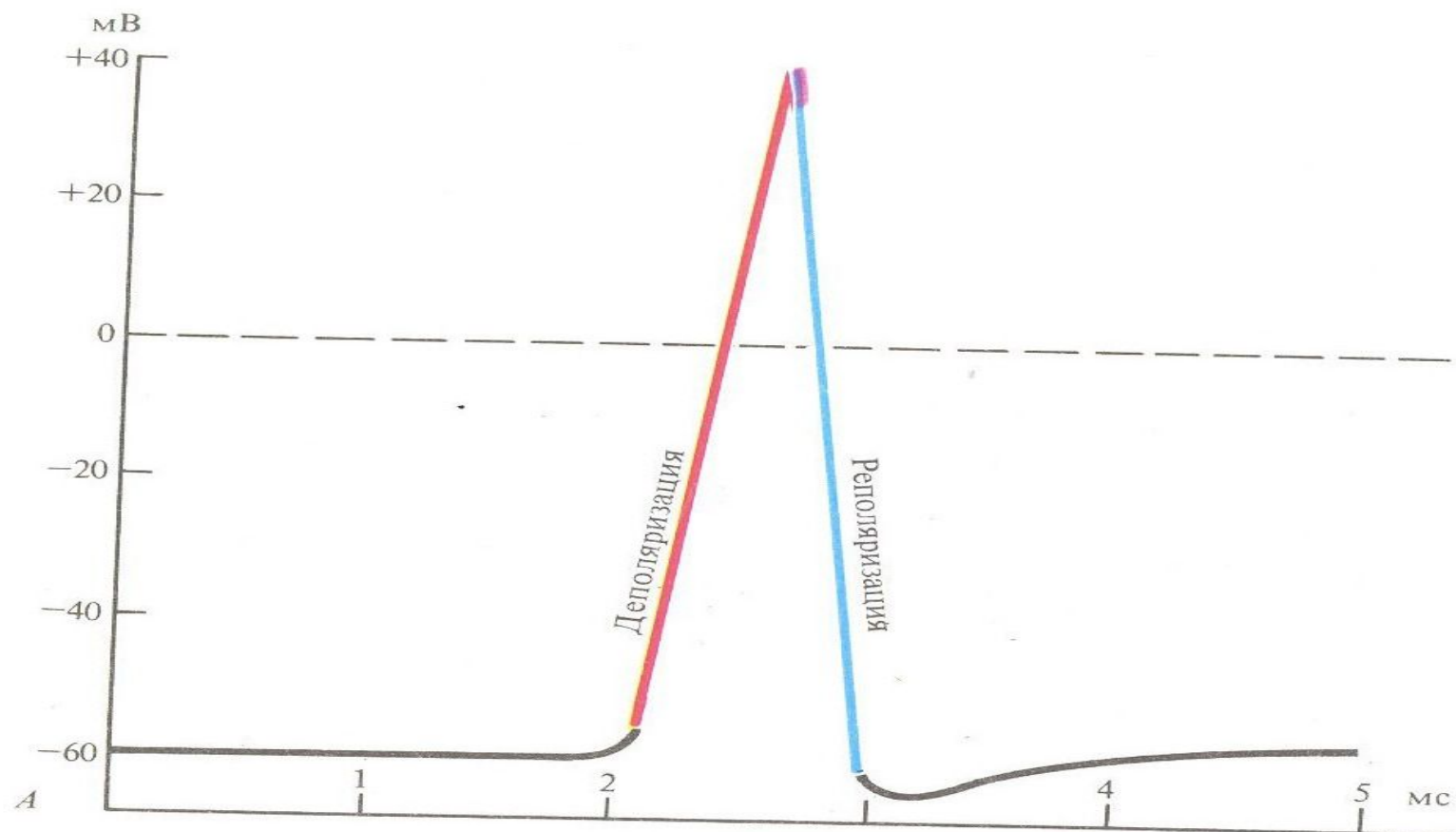


Әсер потенциалы

Қозу жағдайында жасуша мен қоршаған орта арасындағы потенциал айырымы өзгереді. Осы кезде ӘП пайда болады.

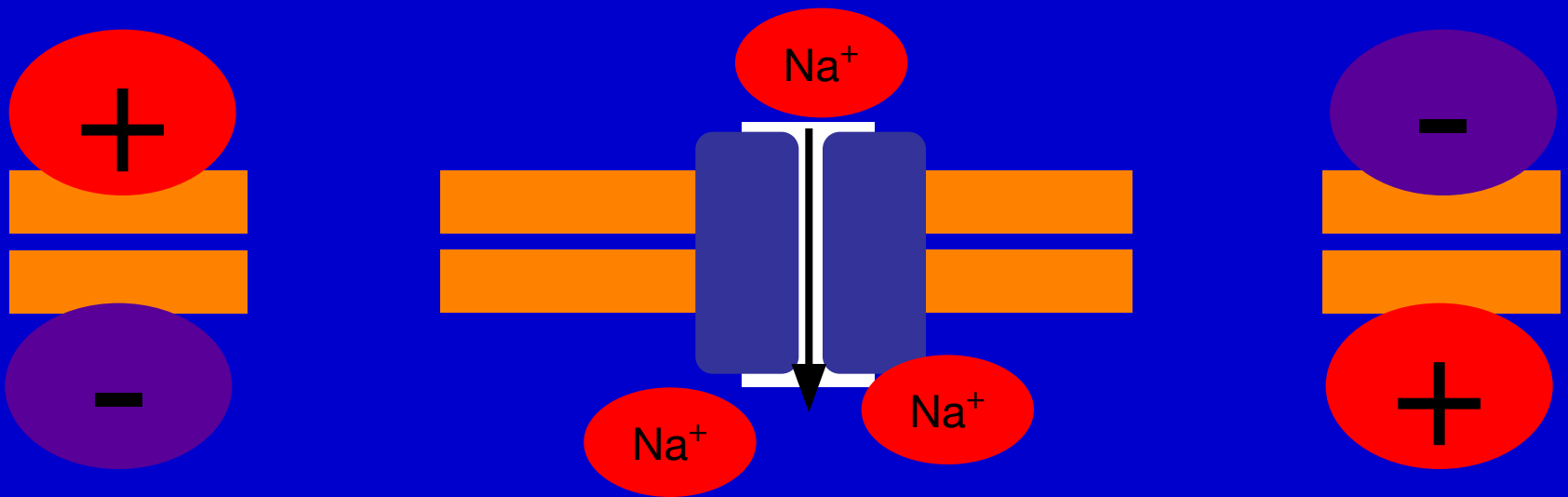


*ӘП бірнеше фазадан тұрады:
потенциал оң бағытқа қарай тез
артады. Арту барысында
жасушалық мембрана өзінің
қалыпты зарядын
(поляризациясын) жоғалтады-
деполяризация фазасы.*



Әсер потенциалы: Жылдам деполяризация

- Деполяризация кезеңінде натрий араналары ашылады
- Натрий иондары жасушының ішіне қарай тасымалдана бастайды.
- Мембраналық потенциал шамасы -70 мВ – тан $+40$ мВ-қа дейін өзгереді.



Деполаризация қисығы нолдік сызықтан өтіп, мембраналық потенциал оң мәнге ие болады.

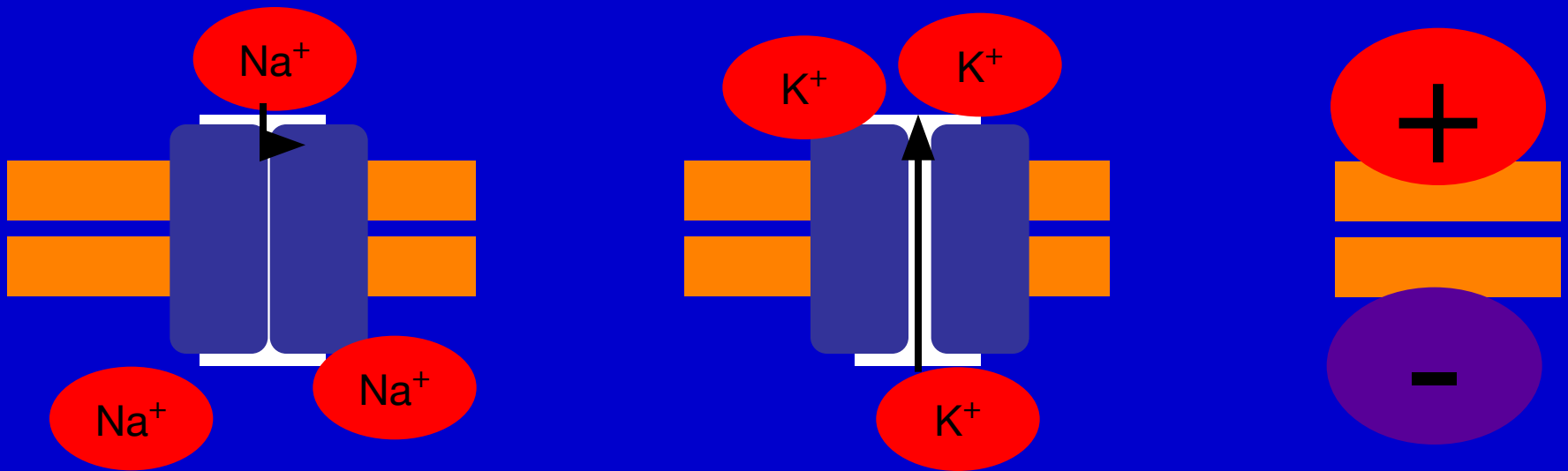
Осы оң фазаны ӘП –н инверсиясы деп атайды.

Әсер потенциалының максимал мәні 30...40 мВ – ге жетеді.

Әрекет потенциалдың төмендеп, бастапқы қалпына келуін реполаризация кезеңі деп атайды.

Әсер потенциалы: Реполаризация

- Натрий ионының каналдары жабылады
- Реполаризация калий каналдарының ашылуына себеп болады.
- K^+ иондары жасушадан шыға бастайды, сосын мембрана гиперполяризация кезеңіне ауысады



Нерв талшықтарында әрекет потенциалдың реполяризация кезеңінде «іздік» потенциалы байқалады.

Реполяризация кезеңінің соңында потенциалдың күшеюін гиперполяризация деп атайды.

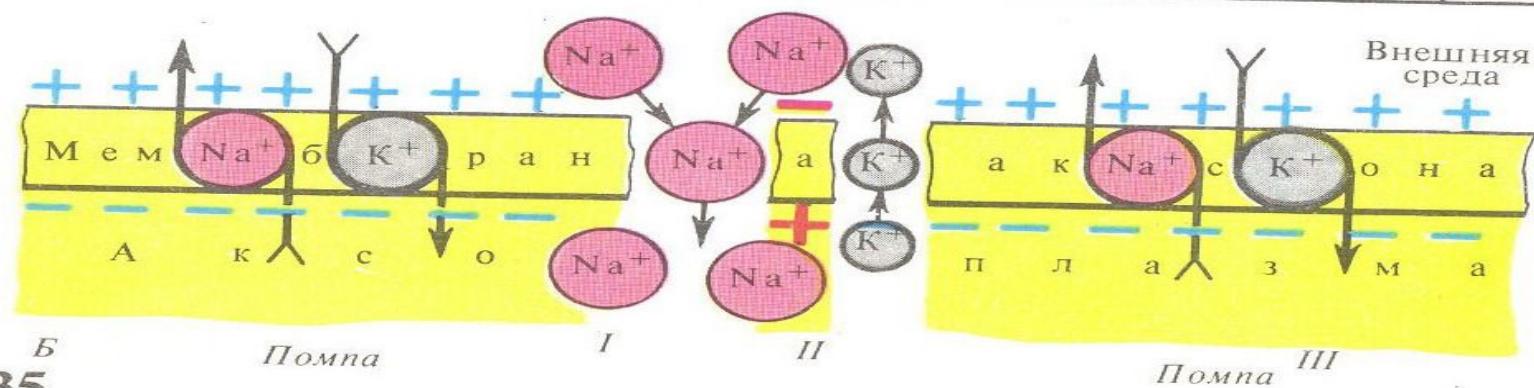
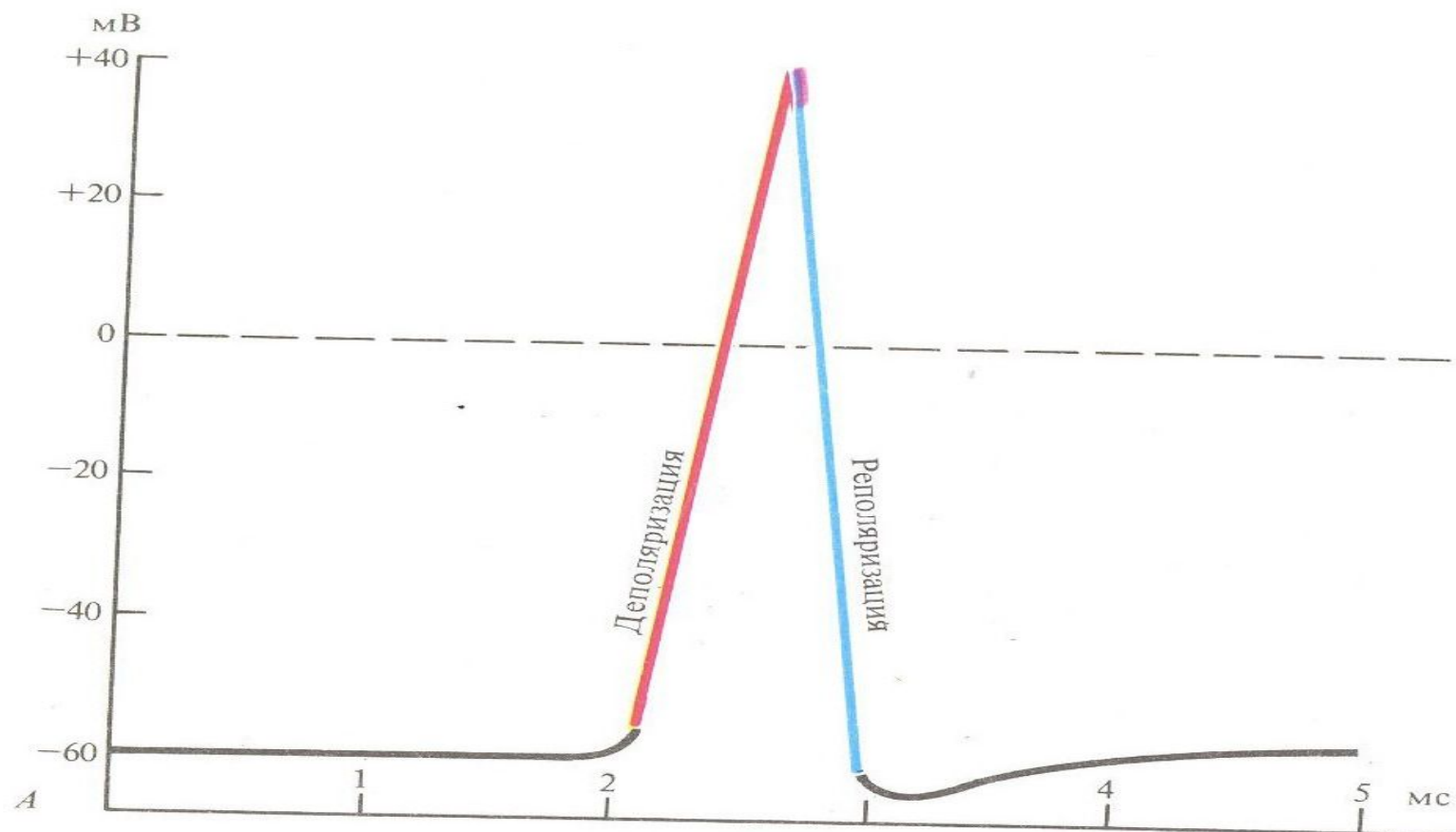
Қозу кезінде натрий иондары үшін
мембрананың өтімділігі күрт артады.

Тыныштық потенциал кезінде әртүрлі иондар
үшін мембрананың өтімділік
коэффициенттері:

$$P_K : P_{Na} : P_{Cl} = 1 : 0.04 : 0.45$$

Қозу кезеңінде

$$P_K : P_{Na} : P_{Cl} = 1 : 20 : 0.45$$



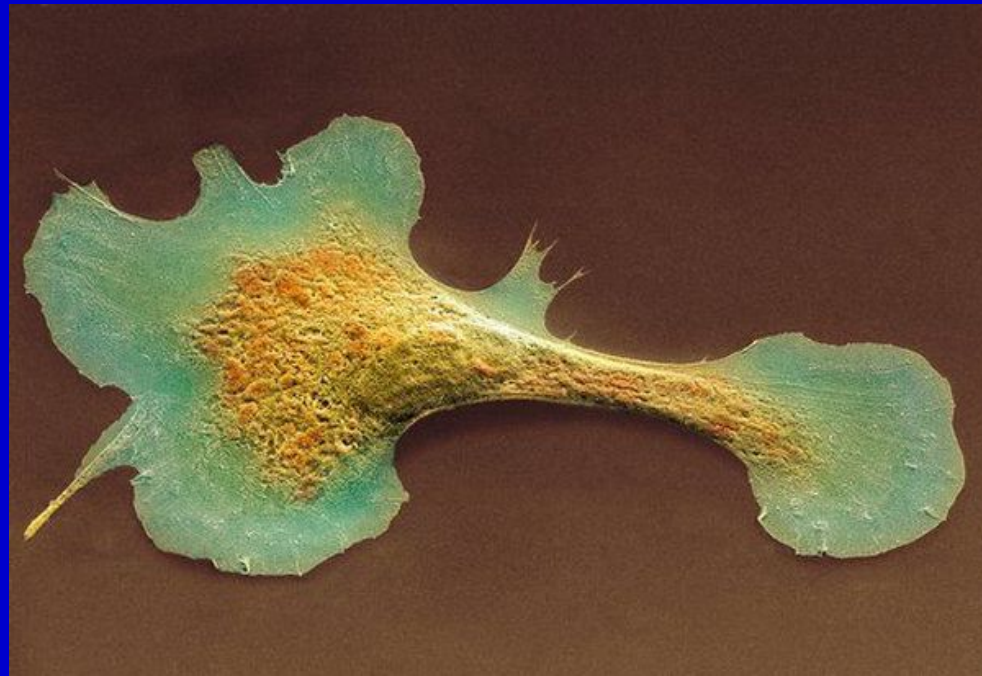
Мембрана қозуы Ходжкин -Хаксли
теңдеуімен сипатталады.

$$I_M = C_M \frac{d\varphi}{dt} + \sum I_i$$

I_M - мембрана арқылы өтетін ток, C_M -
мембрананың сыйымдылығы, $\sum I_i$ - мембрана
арқылы өтетін иондар тогының қосындысы.

**Нерв талшықтарында және қаңқа
бұлшық еттерінде әрекет
потенциалдың ұзақтығы 1 мс
шамасында болады. (Жүрек бұлшық
еттерінде 300 мс шамасындай). Қозу
аяқталғаннан кейін де 1-3 мс
мембранада қалдық құбылыстар
байқалады, яғни мембрананың
рефрактерлік кезеңі (қозбаған күйі).**

Кардиомиоцит – жүрек бұлшық
еттерін құрайтын, жүректің бұлшық
ет ұлпасының **негізгі жасушасы**.



Жүрек бұлшық еті - кардиомиоцит

Кардиомиоцит- миокард жасушалары жалпы санының 30%-ін құрайды.

Барлық кардиомиоциттердің көлемі миокард көлемінің 75%-ін;

Барлық кардиомиоциттер массасы миокард массасының 50%-дан астамын құрайды.

Миокард жасушасы жүректің негізгі массасын құрайды және оның механикалық жұмысын қамтамасыз етеді.

Жүрек бұлшық етіне тән қасиет: — қозғыштық, қозуды өткізу, жиырылғыштық, созылғыштық, серпімділік.

Жүрек бұлшық еттері жасуша құрамында біртекті емес. Олар:

1. кәдімгі

2. кәдімгі емес

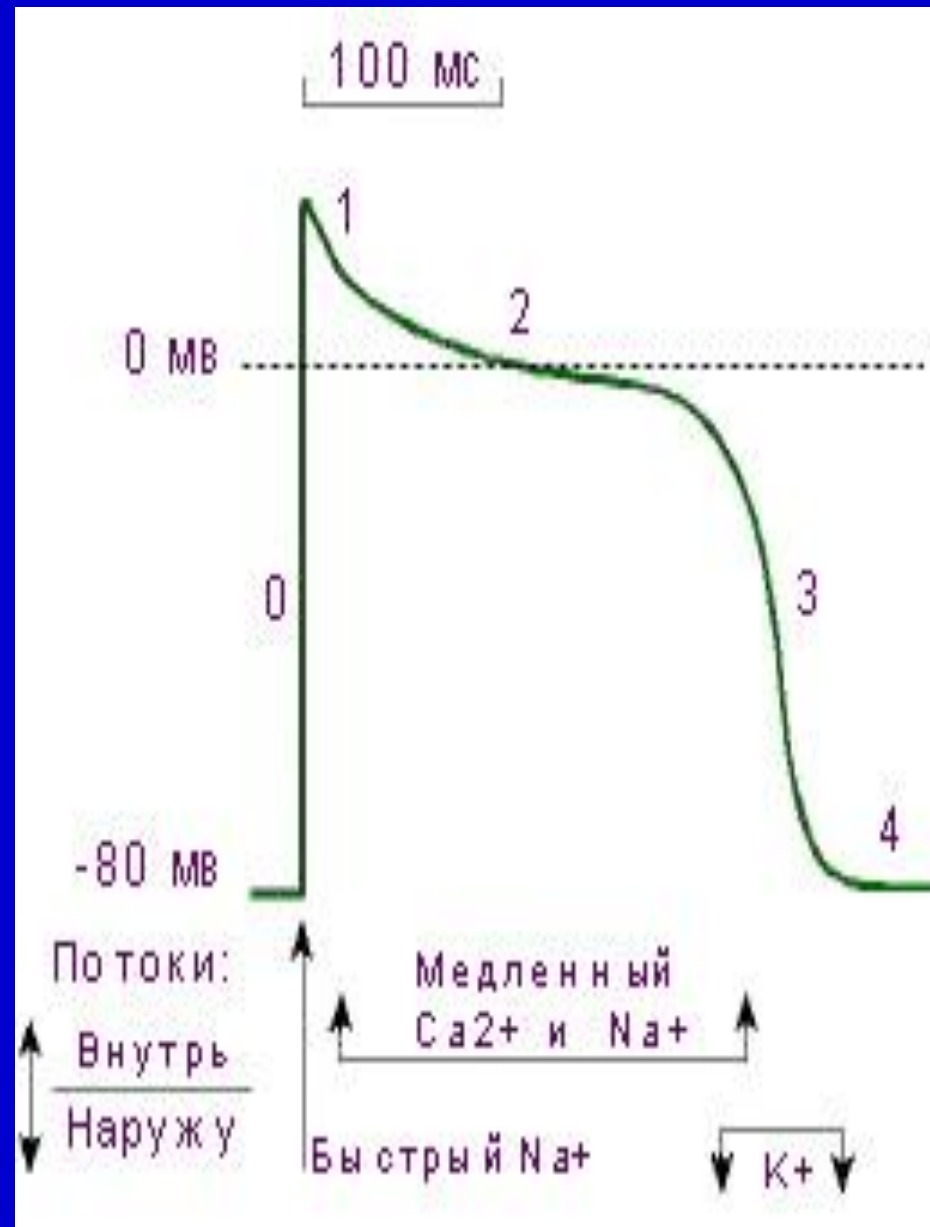
миокард ет талшықтары
(кардиомиоциттер) болып бөлінеді.

✓ Кәдімгі ет талшықтары жүрек етінің негізін құрайды және жиырылғыштық қызметін атқарады.

✓ Кәдімгі емес ет талшықтары жүректің өткізгіш жүйесін және оның автоматиясын қамтамасыз етеді.

Миокарда
жасушасының әсер
потенциалы 3 фаза
кезеңдерінен тұрады:

- деполяризация (I)
- плато (II)
- реполяризация (III).



*I –фаза «Деполаризация»
(шапшаң фаза)*

Мембрана өтімділігі натрий иондары үшін артады

$$P_K : P_{Na} = 1 : 20$$

I – фаза «Деполаризация»

Фаза	Каналдар параметрі	Каналдар күйі	Токтар бағыты
I Деполаризация	$T_{Na} \approx 1-2 \text{ мс}$ $\Phi_{Na}^{пор} \approx -60 \text{ мВ}$		

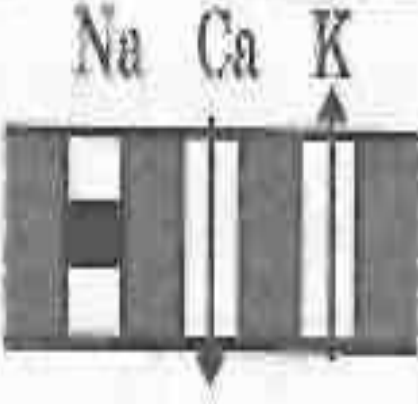
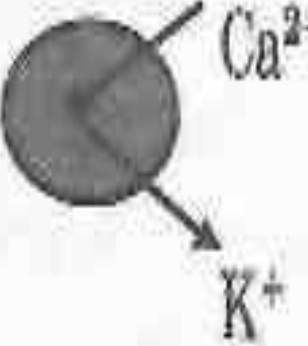
II – фаза «Плато»

(баяу фаза немесе баяу реполяризация)

МП -дың ең жоғары мәнінен

($\approx +30$ мВ)-ден нолге дейін төмендеуі.

Мұндай фазада бір мезгілде каналдың екі типі жұмыс істейді: кальций және калий каналдары.

Фаза	Канал параметрі	Каналдар күйі	Токтардың бағыты
II Плато	$T_{Ca} \approx 200 \text{ мс}$ $\varphi_{Ca}^{таб} \approx -30 \text{ мВ}$		

Кальций тогы мынаған тең:

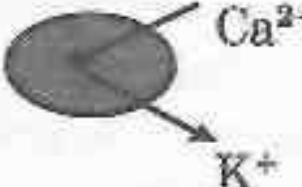
$$I_{Ca} = g_{Ca} (\varphi_M - \varphi_{Ca}^p)$$

Мұндағы g_{Ca} Ca^{+} иондары үшін
мембрана өтімділігі

III – фаза «Реполаризация» (шапшаң фаза)

Кальций каналдарының жабылуымен, g_K шамаларының өсуімен және шығатын K^+ тогының күшеюімен сипатталады.

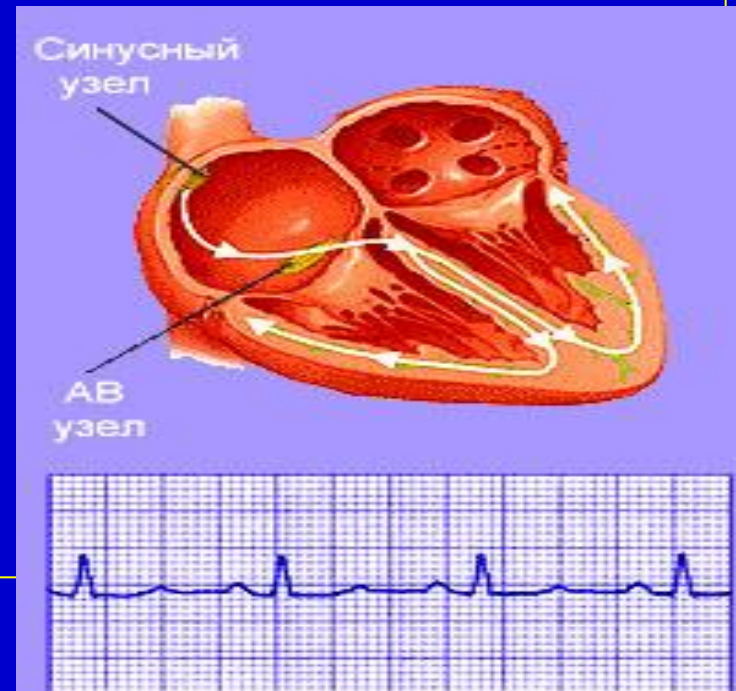
Кардиомиоцитте ӘП түзілген кездегі өтетін процесстер

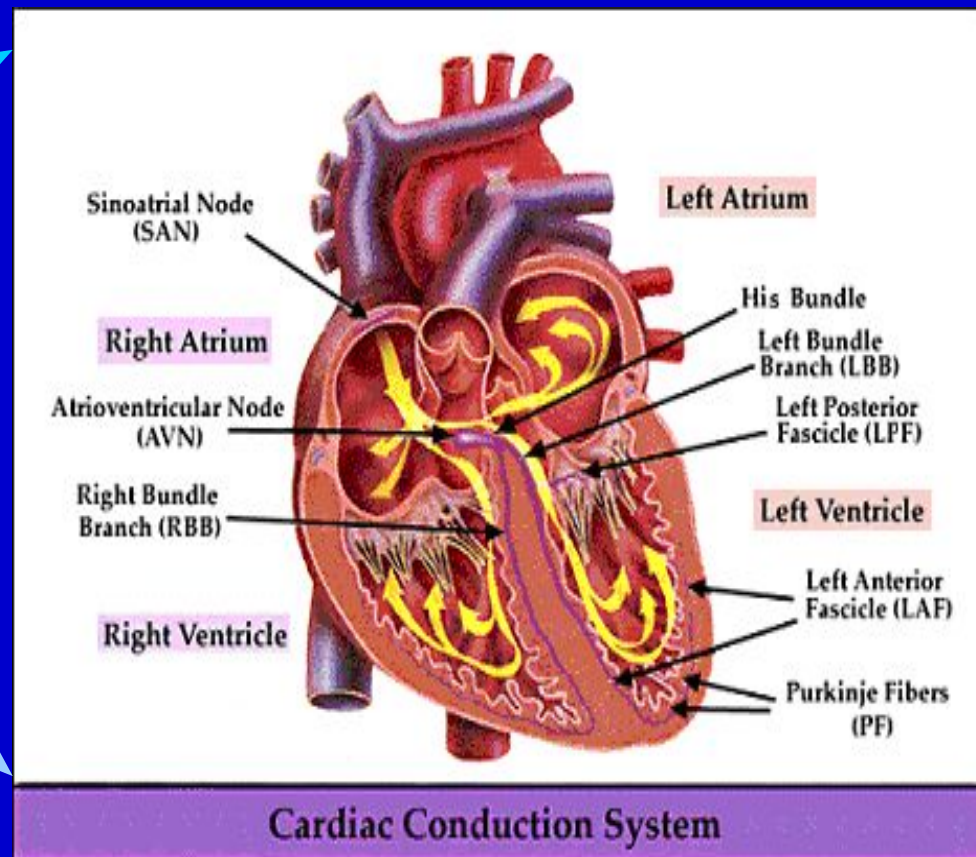
Фаза	Каналдар параметрі	Каналдар күйі	Токтар бағыты
I Деполаризация	$T_{Na} \approx 1-2 \text{ мс}$ $\varphi_{Na}^{пор} \approx -60 \text{ мВ}$		
II Плато	$T_{Ca} \approx 200 \text{ мс}$ $\varphi_{Ca}^{пор} \approx -30 \text{ мВ}$		
III Реполаризация	$T_K \approx 50 \text{ мс}$		

Егер аксонның әсер потенциалы 1 мс, қаңқа бұлшық ет жасушасының әсер потенциалы 2-3 мс болса, онда жүрек миокард ет талшықтарының жиырылу жасушасының әсер потенциалының ұзақтығы 250-300 мс - ге тең. Бұл құбылыс *синхрондық қозуды* іске асыруды және қанды айдап шығару үшін *жүрек құрылымының жиырылуын* көрсетеді.

Жүрек қасиеті жағынан электр өрісіне жақын болғандықтан, токтың эквивалентті генератор қызметін атқарады; ондағы токтың шамасы:

$$I = \varepsilon / r$$

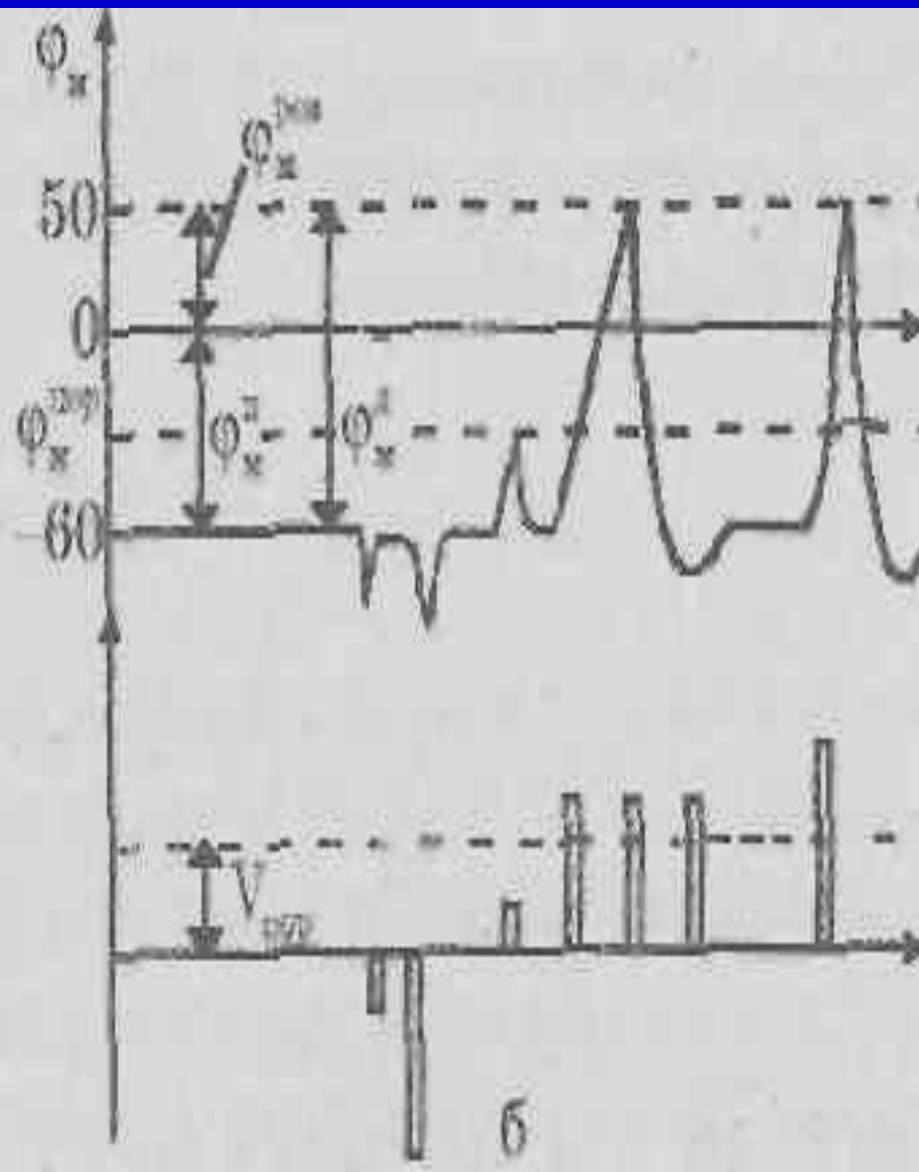
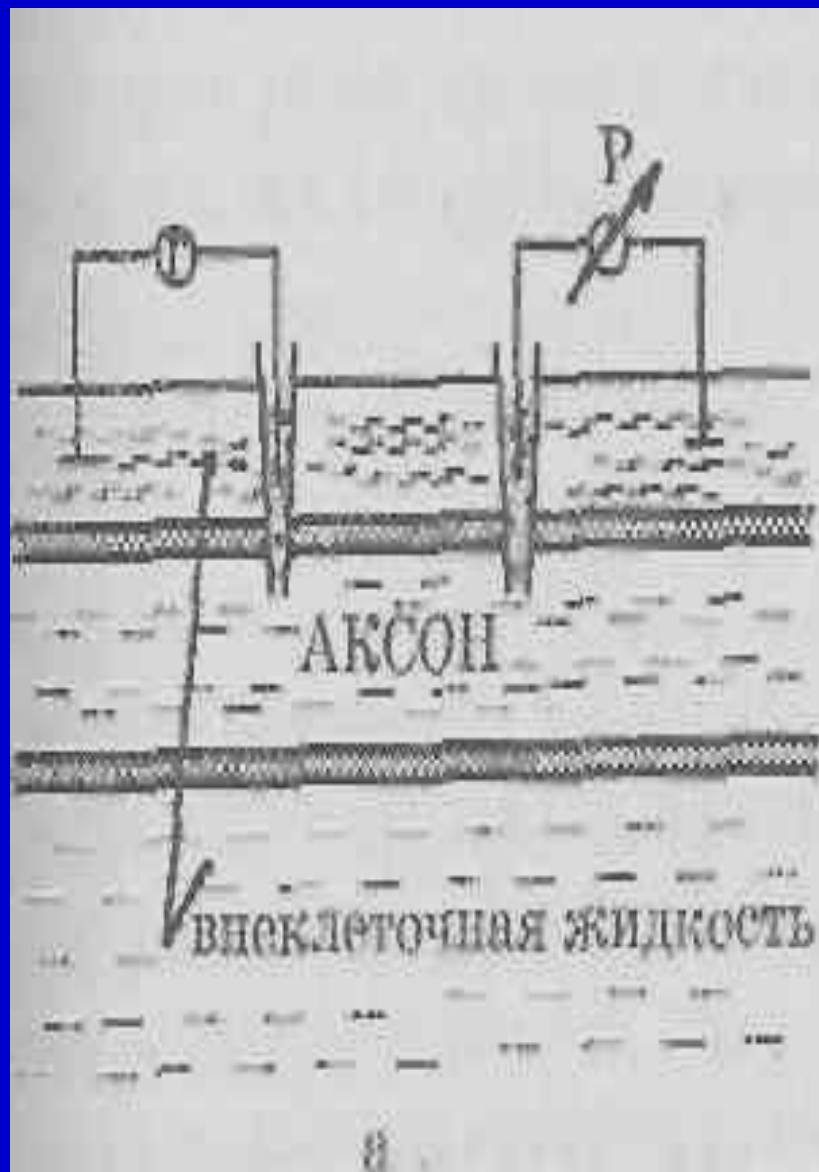




Қозған толқынның таралу жолы:
синаотриальды түйін – жүрекшелер
–атриовентрикулярлық түйін – Гис
шоғыры – Пуркинье талшығы –
қарыншалар

Рефрактерлік период, әрекет потенциалдың пайда болу уақытындағы мембрананың қозбаған кезеңі және қозудан кейінгі қалдық құбылыстар.

Қозу кезеңінде мембрана кедергісі кемиді (тыныштық күйде кальмар аксонында $0,1 \text{ Ом} \cdot \text{м}^2$ - нен қозу кезеңінде $0,0025 \text{ Ом} \cdot \text{м}^2$ — ге дейін).



Әсер потенциалын тіркеу

Әдебиеттер:

1. Арызханов Б., Биологиялық физика, 1990 ж.
2. Кошенов Б.К. Медициналық биофизика, 2011г.
3. Тиманюк В.А., Животова Е.Н. Биофизика, Киев, 2004г с..
4. Ремизов А.М. Медицинская и биологическая физика, М., 2010г.
5. Антонов В.Ф. Биофизика, М., 2006 г.

Бақылау сұрақтары (кері байланыс):

- 1.Электрқозушылық дегеніміз не?
- 2.Тыныштық потенциалының пайда болуы механизмі қандай?
- 3.Мембраналық потенциалдарды өлшеу әдістері
4. Әсер потенциалының пайда болу механизмі қандай?