

*№6. Ходжскин – Хаксли
моделіндегі иондық токтардың
формальды жазылуы. Жеке
арналар жұмысының
тәуелсіздігі.*

Сұрақтары:

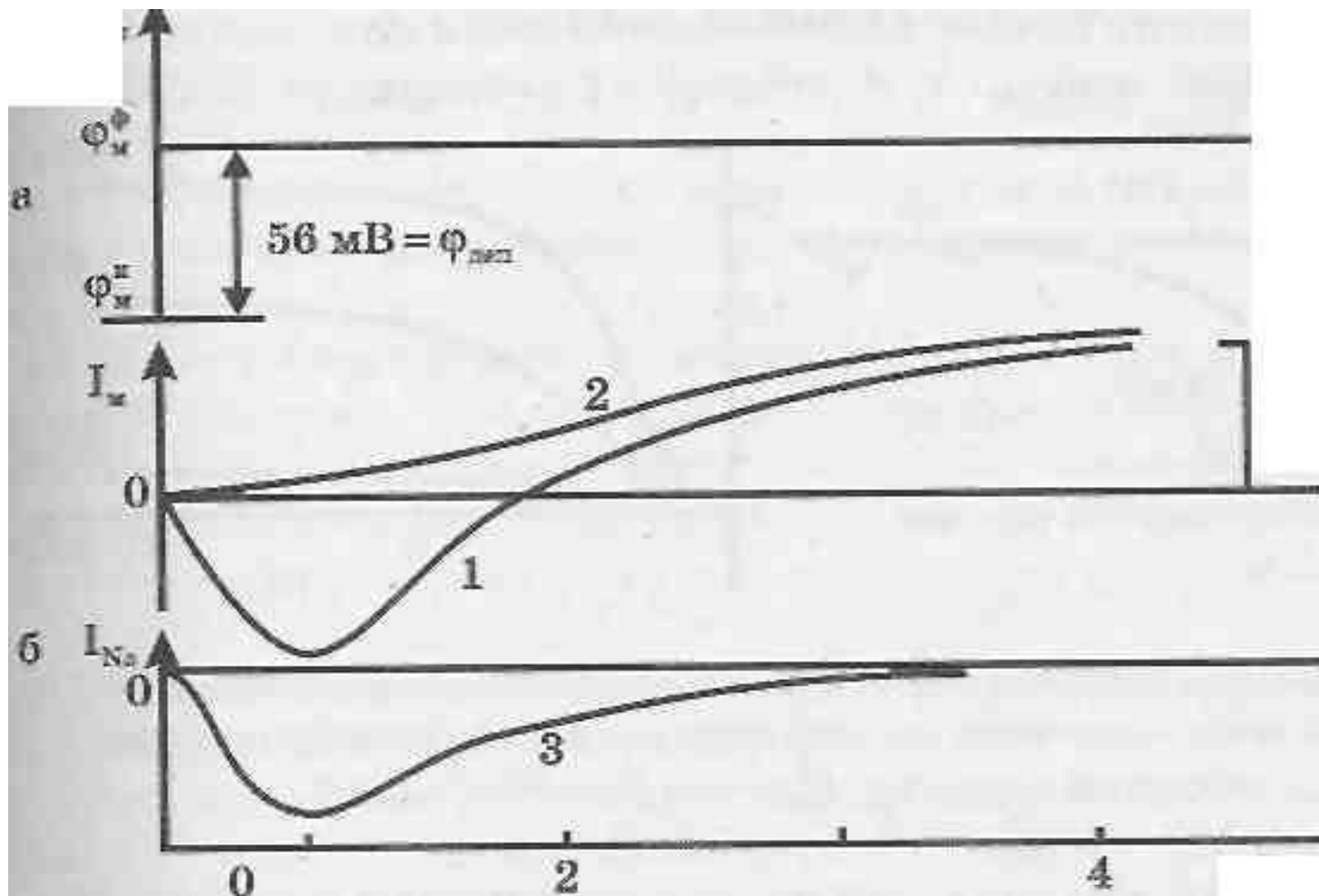
- 1. Ходжкин – Хаксли моделіндегі иондық токтар.*
- 2. Жасушалық мембраналардағы иондық арналар.*
- 3. Иондық арналардың құрылымы*

**Ходжкин -Хаксли тәжірибе
нәтижелерінің негізінде
потенциалға тәуелді калий және
натрий арналарының бар
екендігін айтты.**

Әрекет потенциалын генерациялау
моделін құруға қозған аксонның
иондық токтарының бөлінуіне
арналған тәжірибелердің нәтижелері
түрткі болды

Токтарды бөлу үшін натрий
ТОГЫН тосқауылдайтын
(блокатор) – тетродотоксиндер
(ТТХ) және калий ТОГЫН
тосқауылдайтын
тетраэтиламмондер (ТЭА)
қолданылады.

Кіретін және шығатын токтарды өлшеу потенциалдың тұрақты мәнінде жүргізілді. Ерітіндіге *TTX-di* енгізгенде мембраналық потенциалдың тұрақты мәніндегі шығатын K^+ , $I_K(t)$ тогының уақытқа тәуелділігі тіркеледі (2-ші қисық, 1-сурет).



Сурет 1. Деполяризация кезеңіндегі кальмар аксон мембранасы арқылы өтетін иондар тогы;

а) мембрананың тұрақты потенциалы ; б) 1 - қосынды ток, 2 – сыртқа шығатын K^+ иондар тогы, 3 – жасушаға енетін Na^+ иондар тогы.

Мембранаға ТЭА - н әсер еткенде кіретін натрий тогының Na^+ , $I_{Na}(t)$ уақытқа тәуелділігі тіркеледі (1-ші суреттегі 3 –ші қисық) :

Кальмар аксонына жасалған тәжірибе нәтижелері:

- Әрекет потенциалының пайда болуы Na^+ және K^+ иондарының мембрана арқылы тасымалдануына байланысты.
- Осы иондар үшін мембрана өткізгіштігі мембраналық потенциал шамасына және уақытқа тәуелді өзгеріп отырады.

$$g_{\text{Na}}(\varphi_M, t), \quad g_{\text{K}}(\varphi_M, t)$$

Ходжкин және Хаксли бертін келе қозу процессі кезіндегі мембрана арқылы өтетін Na^+ және K^+ иондар тогының өткізгіштігінің өзгерісін сипаттайтын математикалық модельді ұсынды.

Моделдің негізгі постулаттары:

- Na^+ және K^+ иондарын тасымалдау үшін мембраналарда арнайы жеке арналар болады;
- Мембрананың ішкі құрылымында арналардың өткізгіштігін басқарып отыратын қандай да бір зарядталған бөлшектер болады.

Электр өрісінің кернеулік шамасына тәуелді мұндай бөлшектер мембранада Na^+ және K^+ арналары арқылы өтетін иондар ағынын ұлғайта немесе азайта отырып қозғалысқа түседі.

Калий иондарының бөлігіне
электр өрісінің әсерінен бір
мезгілде төрт біртекті
зарядтар бөлшектері келетін
болса, онда калий иондары
арна арқылы өте алады.

Калий ионының өтімділігі:

$$g_K = \bar{g}_K \cdot n^4$$

Мұндағы: \bar{g}_K - K^+ иондары үшін арнаның максимал өткізгіштігі.

n - бөлшектердің келу ықтималдылығы

Егер қарастырылып отырған иондар бөлігінде бір мезгілде үш белсендірілген бөлшектер пайда болып және бір тосқауыл бөлшек өшірілетін болса ғана натрий арнасы ашылады.

Натрий ионының арна арқылы
өтімділігі:

$$g_{Na} = \bar{g}_{Na} \cdot m^3 h$$

Мұндағы \bar{g}_{Na} - Na^+ иондары үшін арнаның максимал өткізгіштігі.

m - келетін белсенді бөлшектердің максималдылығы, h – тосқауылдың өшірілу максималдылығы:

Моделдің екінші постулатын
дәлелдеу үшін мембраналық
потенциал өзгергенде
мембрананың ішкі жағындағы
зарядталған бөлшектердің
қозғалысын, яғни қақпалық ток
(воротные токи) деп аталатын
тоқты тіркеу.

Қақпалық (воротные токи) токтарды тіркеудің қиындығы белсендіруші бөлшектердің мембрана ішінде өте аз болуы, сондықтан мембрана арқылы өтетін иондар тогымен салыстырғанда қақпалық токтың мәні аз.

Қақпалық токтарды табу үшін иондық токтарды алып тастады; содан кейін біртіндеп мембранадағы кернеуді ауыстырды және натрий арнасында қақпалық токтың пайда болуын тіркеді, ол натрийлік токтан 10^3 есе әлсіз болып шықты.

**Кальмар аксонында
қақпалық токтың уақыт
бойынша өзгерісі натрий
тогының өзгеруімен өзара
байланысты.**

Сол себептен, тәжірибеде Ходжкин-Хаксли моделінде алдын ала айтылған қақпалық токтардың болуы көрсетілді.

Мембранада иондарды жүргізетін арнайы құрылымдар болады. Мұндай құрылымды иондық арна деп атайды.

Осындай арналар әртүрлі объектілерден бөлінді: *жасушаның плазматикалық мембранасынан, бұлшық ет жасушасының постсинаптикалық мембранасынан және т.б.* Сонымен қатар *антибиотиктерден* түзілген иондық арналар да мәлім.

Иондық арналардың негізгі
қасиеттері:

- ✓ **Талғап өткізгіштігі**
- ✓ **Жеке арналардың тәуелсіздік жұмысы**
- ✓ **Өткізгіштіктің дискретті сипаттамалары**
- ✓ **Арна параметрлерінің мембраналық потенциалға тәуелділігі**

1. Талғап өткізу деп қандай бір бір типтегі иондарды иондық арналардың таңдап өткізу қабілеттілігін айтады.

K^+ ионы *тыныштық потенциалын*, ал Na^+ ионы *әрекет потенциалын* өзгертеді.

Иондар арналарының әр түрлі
ионды өткізу қабілеттілігі
салыстырмалы таңдап өткізу
деп және бірдей концентрацияда
алынған әр түрлі иондар үшін
арнаның *өткізгіштік*
қатынастарымен сипатталады

Негізгі иондар үшін *талғап өткізу коэффициенті 1 – ге тең.* Мысалы, Na^+ каналы үшін бұл қатар мынаған тең:

$$\text{Na}^+ : \text{K}^+ = 1 : 0,05$$

2. Жеке иондар арнасынан тоқтың өтуі басқа арнадан өтіп жатқан тоққа байланысты емес. Яғни иондардың бір арна арқылы өтуі басқа арналар арқылы өткен иондарға тәуелді емес. Мысалы K^+ арнасы ашық немесе жабық болуы мүмкін, бірақ сол сәтте Na^+ арнасы арқылы иондар ағыны өзгермейді. Арналардың бір біріне тікелей әсері болмағанымен, олардың жанама әсері болуы мүмкін. Мәселен, арнаның өткізгіштік қасиетінің өзгеруі мембраналық потенциалды өзгертеді. Мембраналық потенциалдың өзгерісі басқа иондық арналарға әсер етуі мүмкін.

3. Иондық арналарды мембранаға енгізілген ақуыздардың бірлік комплексі құрайды.

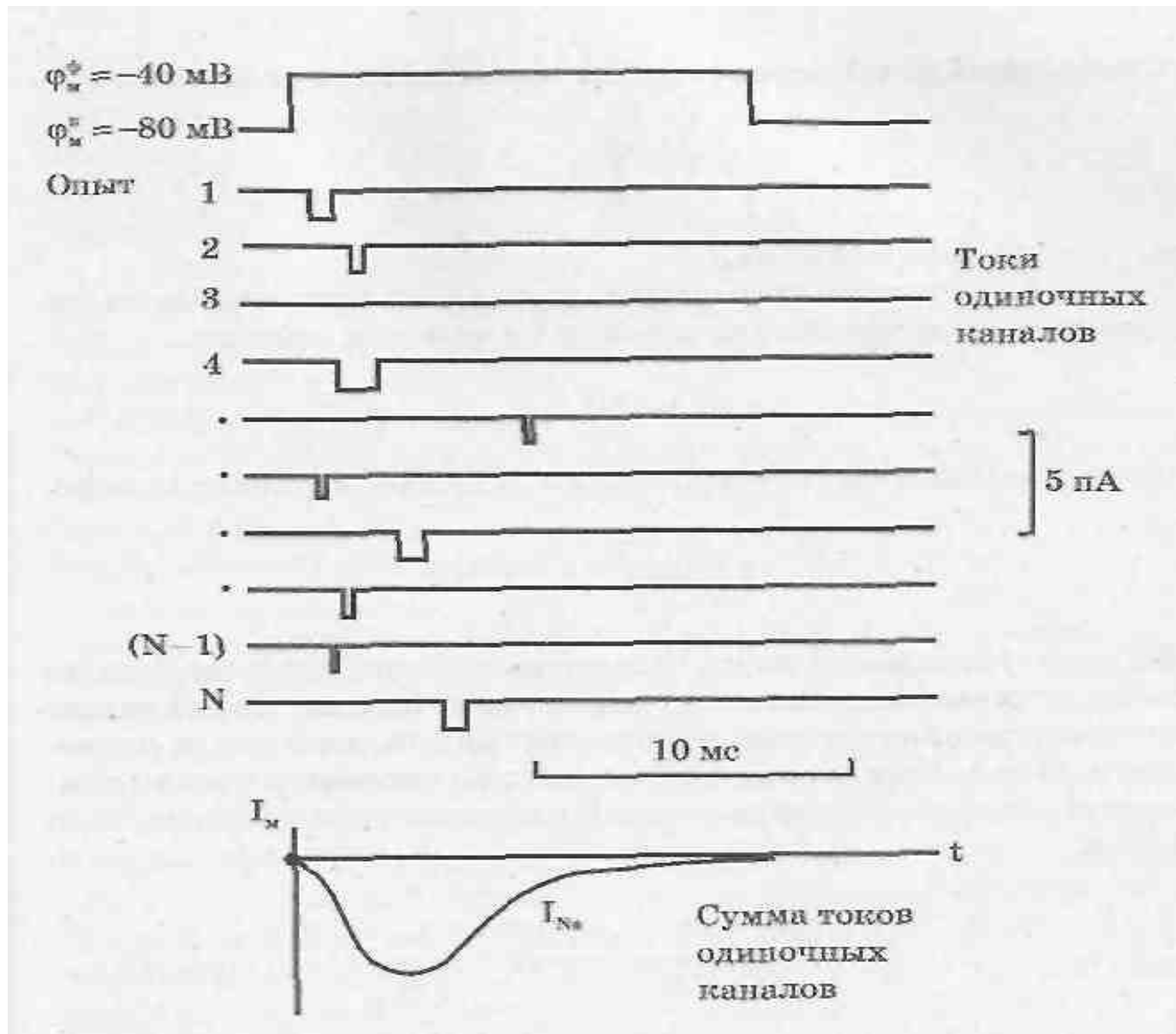
1 мкм² мембрана бетіне келетін иондар арнасының мөлшері натрий арнасының блокаторы тетродотоксин арқылы анықталады.

ТТХ –тің бір молекуласы тек бір ғана арнамен байланысады. Онда кальмар аксонының 1 мкм² –на шамамен 500 натрий арна болады.

Әр түрлі иондық арналарда жасалынған тәжірибе нәтижелері иондық арнаның өткізгіштігі дискретті, және ол екі күйде: ашық немесе жабық болуы мүмкін екендігін көрсетті.

Күйлер арасындағы ауысулар уақыттың кездейсоқ мезетінде өтеді және статистикалық заңдылықтарға бағынады. Берілген иондық арнаны дәл сол уақыт мезетінде ашылады деп айтуға болмайды. Тек қана уақыттың белгілі бір интервалында арнаның ашылу ықтималдылығы туралы тұжырым жасауға болады.

Жеке Na^+ -каналы арқылы өтетін токтар



- Деполаризациялаушы ығысу уақытында арнаның $t_{1/2}$ уақытқа бір ғана ашылуын, арнаның ашылу күйі уақыты деп атайды.
- Na^+ арнасы үшін $t_{1/2}$ -дің орташа мәні 0,7 мс (0,3-тен 1,5 мс-ге дейін).
- Токтар жасуша ішіне ағады, олардың орташа амплитудасы 1,6 пА ($1,6 \cdot 10^{-12}$ А)

Жеке K^{\pm} арналарынан өтетін ток амплитудасы 2 пА-ге тең. Ал орташа ашылу уақыты

$t_{\text{ц}} = 5$ мс. Осы уақыт ішінде арна аз уақытқа бірнеше рет ашылып, жабылуы мүмкін. Онда токтың осцилляциясы өтуі мүмкін.

Жүйке талшықтарының иондық арналары мембрана потенциалдарына сезімтал келеді, мысалы кальмар аксонының натрий және калий арналары.

Мұның себебі мынада, мембрана деполяризациясы басталғаннан кейін сәйкес токтар сол немесе басқа кинетикамен өзгере бастайды

Іріктеуіш-иондық арнада өзіне тән,
құрылымы бөлек, электр тогын
сезгіш сенсоры болады.

Мембраналық потенциалдың өзгергеруімен оған әсер ететін күштер шамасы да өзгереді, нәтижесінде иондық арнаның осы бөлігі орын ауыстырады және қақпаның ашылу немесе жабылу ықтималдықтарын өзгертеді .

Тәжірибе нәтижелері көрсеткендей
мембрана деполяризациясы кезінде
натрий арналарының өткізгіштік
күйіндегі ауысу ықтималдылығы
артады.

Иондық арналар басқа да
физикалық әсерлерге
сезімтал: механикалық
деформацияға, химиялық
заттарға байланысты ЖӘНЕ Т.
Б.

Иондық арнаның құрылымы:

Бірыңғай құрылымды биқабатқа енгізілген *ақуыздар бөлігінен*, белгілі бір диаметрдегі иондарды ғана өткізетін, теріс зарядталған оттегі атомдарынан құралған (іріктеуіш сүзгіш – ол сүзгіш диаметрі шектелген иондарды ғана өткізеді) *талғап өткізу сүзгісінен, қақпа бөлігінен.*



Мембрананың кесілген натрий иондық арнасының құрылымы

Иондық арнаның қақпасы мембраналық потенциалмен басқарылады және ол жабық күйде (штрихтелінген сызық), сонымен қатар ашық күйде (тұтас сызық) болуы мүмкін. Натрий арнасының қалыпты жағдайы – жабық. Электр өрісінің әсерінен ашық күйдің ықтималдылығы артады да қақпа ашылады және гидратирлі иондар ағыны талғап өткізу сүзгісі арқылы өтуге мүмкіндік алады.

Егер ион диаметрі жағынан сәйкес келетін болса, онда ол гидраттық қабықшасын тастап, иондық арнаның басқа жағына өтеді. Егер диаметрі жағынан өте үлкен болса, мысалы, тетраэтиламмон онда иондар фильтрден өте алмайды. Ал егер де диаметрі жағынан өте кіші болса, онда ионның гидраттық қабықшасын тастау қиынға соғады.

Қозған биомембрананың электрлік қасиеттерінің өзгерісі иондық арналар көмегімен жүзеге асырылады. **Бұлар биқабатты липидтерге енгізілген бірнеше дискретті күйлерде болатын ақуызды макромолекулалар.**

Әдебиеттер

- 1. Владимирова Ю.А., Проскурнина Е.В. Лекции по медицинской биофизике, Москва 2007ж., 383-392**
- 2. Тиманюк В.А., Животова Е.Н. Биофизика, Киев, 2004ж. 388- 397 беттер**
- 3. А.Н. Ремизов «Медицинская и биологическая физика» М. Дрофа, 2004ж. 207-221 беттер**
- 4. Самойлов В.О. Медицинская биофизика, С-П, 2007ж. 281- 317 беттер**
- 5. Антонов В.Ф. Биофизика, М., 2006 ж.**

Бақылау сұрақтары (кері байланыс):

- Қозған талшықтар бойымен нерв импульстарының таралуының механизмі қандай?
- Ходжкин – Хаксли моделінің мағынасы неде?