

Тақырыбы: Биоэлектрлік потенциалдар. Тыныштық күй потенциалы

Мақсаты: Потенциалдардың биофизикасын оқып-үйрену.

Оқытудың міндеттері: Биологиялық мембраналардың электрохимиялық потенциалдарын оқып үйрену.

Тақырыптың негізгі сұрақтары:

- Биоэлектрлік потенциалдар
- Тыныштық потенциалы
- Иондар ағынының қортқы тығыздығы
- Гольдман – Ходжкин – Катц теңдеуі
- Нернст теңдеуі

Оқыту мен үйретудің әдістері – тақырып бойынша берілген материалдарды талдау, типтік және ситуациялық есептерді шешу.

Қысқаша теория

Жасуша ішілік процестерді реттеу механизмінде, жасушалардың қозуы, нерв талшықтарының бойымен импульстердің таралуы, сыртқы тітіркендіргіштерге жауап реакцияларында, бұлшық ет жиырылуы механизмінде, энергия түрленуінің әртүрлі жағдайларында электрлік потенциалдардың пайда болуы мен таралуы тұрғысындағы электрлік үрдістер үлкен роль атқарады.

Тірі жүйелерде биоэлектрлік потенциалдардың пайда болуына жеке ұлпалардың арасында, жасушалық қосылыс пен қоршаған сұйық жасушасының арасында, жеке жасушалық органоидтардың арасында белгілі бір физика-химиялық градиенттердің болуы себепші.

Стационар күйде болатын тірі жүйелерге тән тұрақты потенциалдар айырмасы болады, бұл градиенттер зат алмасудың нәтижесінде үнемі қолдау тауып отырады.

Потенциалдар айырмасы – бұл қарама – қарсы таңбадағы электр зарядтарының кеңістіктік бөлінуінің салдары.

Потенциалдар электрондық және иондық түрлерде бола алады.

Электрондық түрі – потенциалдар еркін электрондардың болуынан пайда болады.

Иондық түрі – потенциалдар иондардың болуынан пайда болады.

Биологиялық потенциалдардың пайда болуы жүйедегі иондар концентрациясының тең еместігіне негізделген.

Ұлпалар мен жасушаларда *диффузиялық, мембраналық, фазалық, тотықтырушы-орнықтырушы* биопотенциалдар пайда болады.

Жасуша мембранасында әрқашанда потенциалдар айырмасы болады, яғни жасуша ішілік электрлік потенциал сыртқыдан басқаша болады. Бұл потенциалдар айырымы тыныштық потенциалы деп аталады.

Тыныштық потенциалының тууы мен тұрақталуына негізгі үлесті K^+ , Cl^- және Na^+ иондары қосады. Бұл иондар ағынының қортқы тығыздығы олардың таңбаларын ескере отырып былай жазылады:

$$J = J_{Na^+} + J_{K^+} - J_{Cl^-} \quad (1)$$

Стационар жағдайда ағынның қортқы тығыздығы нөлге тең, себебі уақыт бірлігі ішіндегі мембрана арқылы жасуша ішіне өтетін әртүрлі иондар саны, шығатын иондар санына тең: $J = 0$

Оң иондар (K^+ және Na^+) ағыны тығыздығы мен теріс иондар (Cl^-) ағыны тығыздығы үшін бұрыннан белгілі өрнектерді пайдалана отырып, олардың қосынды ағыны туралы мындай формула жазамыз:

$$\phi_m = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_{Na} [Na^+]_i + P_K [K^+]_i + P_{Cl} [Cl^-]_0}{P_{Na} [Na^+]_0 + P_K [K^+]_0 + P_{Cl} [Cl^-]_i} \quad (2)$$

Бұл *Гольдман – Ходжкин – Катц теңдеуі*, және ол иондардың тыныштық потенциалын көрсетеді.

1- кесте.

Ион	Концентрация, ммоль жасушаның ішінде	1 кг-ға H ₂ O жасуша сыртында
K ⁺	340	10.4
Na ⁺	49	463
Cl ⁻	114	592

Иондардың өтімділігі ағзаның күйіне байланысты. Тыныштық күйдегі өтімділік коэффициенттерінің қатынасы мынаған тең:

$$P_K : P_{Na} : P_{Cl} = 1 : 0,04 : 0,45 \quad (3)$$

яғни тыныштық потенциалына негізгі үлесті K⁺, Cl⁻ иондары қосады. (2) теңдеуге осы мәнді қойсақ (30°C-де):

$$\phi_m = \frac{8.3 \cdot 303}{9.6 \cdot 10^4} \ln \frac{340 + 0.45 \cdot 592}{10.4 + 0.45 \cdot 114} = 59.7 \text{ мВ}$$

Бұл тәжірибедегі 60 мВ мәнімен сәйкес келеді.

Негізгі қиын мәселелердің бірі, ішкі ортаның иондық құрамын анықтау болды. Жаушалар өте кіші, ал олардың арасында әрқашанда жасуша аралық зат және сұйықтық болды. Тек микроэлектродтар техникасының пайда болуынан кейін ғана (50-жылдары) Ален Ходжкин, Хаксли (Англия) кальмардың алып аксондарының бірегей жасушасымен жүргізілген тәжірибе арқылы цитоплазманың иондық құрылымы мен потенциалдар шамасын анықтады. Күткендегідей, мембраналық теорияның алдыңғы болжамына сәйкес, жасуша ішіндегі калий иондарының концентрациясы сыртына қарағанда 30-40 есе көп болып шықты. Сондықтан, концентрация градиенті бойынша, калий арналарының қатысуымен K⁺ жасушадан шыға алады, осыдан потенциалдар айырымы пайда болады.

(3) теңдеуден көріп отырғанымыздай тыныштық күйдегі калий иондары үшін жасушаның өтімділігі басқаларына қарағанда біршама көп, сондықтан тыныштық потенциалы калий иондарының концентрациясы бойынша анықталады.

Гольдман – Ходжкин – Катц теңдеуінен тепе – теңдіктегі күй үшін ($P_{Na}=0; P_{Cl}=0$) Нернст теңдеуін алуға болады,

$$\phi_m = -\frac{RT}{F} \ln \frac{[K^+]_i}{[K^+]_o} \quad (4)$$

Жасушалық мембрананың негізгі қызметінің бірі *потенциалдарды генерациялау*. Міне осы құбылыс жасушаның қозуы, нерв импульстерінің таралуы, бұлшық еттің жиырылуы, рецепциясының негізі болып табылады. Ағзада тіркелетін потенциалдар негізінен мембраналық потенциал.

Мембраналық потенциал – бұл жасушалық мембрананың ішкі (цитоплазмалық) және сыртқы жағындағы потенциалдардың айырмасы. Физиологиялық тыныштық кезінде тіркелетін потенциалдар айырмасы 50-80 мВ құрайды. Ішкі орта теріс электрлі болады.

Тыныштық потенциалы мембрананың екі жағындағы концентрациялардың және мембрана арқылы өтетін иондардың әртүрлілігімен анықталады. Міне сондықтан мембрана арқылы иондар ағыны және жасушаның потенциалдар айырымы пайда болады. Мембраналық потенциалдың пайда болу себебі – жасушадан сыртқа қарайғы K⁺ иондарының диффузиясы.

Иондар концентрациясының айырмасын ұстап тұру АТФ энергиясын пайдаланатын иондық арналардың көмегімен жүзеге асады. Бұдан басқа, K⁺, Na⁺ арналар жасушадан үш натрий ионын сыртқа шығарып, жасушаға екі калий ионын алып келетін болғандықтан, трансмембраналық потенциалдың өсуіне мүмкіндік жасайды, бұл жасуша аралық ортаның оң зарядын, сонымен қатар тыныштық потенциалын арттырады.

Трансмембраналық потенциал айырмасының өсуін - *гиперполяризация*, ал кемуін – *деполяризация* деп атайды. Соңғы жағдайда жасуша ішілік потенциалдың таңбасы өзгеруі мүмкін.

Жүрек убаины гликозидінің әсерінен АТФ-азы жұмысының бұзылуы, тыныштық потенциалының кемуіне соқтырады. Мұндай эффектіге натрий иондары үшін жасуша мембранасының өтімділігін арттыратын, әртүрлі улардың әсері алып келеді. Жасушада АТФ синтезін қамтамасыз ететін үрдістердің тежелуі де, деполяризацияға алып келеді.

Тақырыбы: Әсер потенциалы. Нерв импульстарының қозған талшықтар бойымен таралуы.

Мақсаты: Электр қозушы ұлпалардың биофизикасын оқып-үйрену.

Қозудың нерв талшықтарымен таралуын оқып - үйрену

Оқытудың міндеттері: Биологиялық мембраналардың электрохимиялық потенциалдарын оқып үйрену.

Тақырыптың негізгі сұрақтары:

- Нерв талшықтары.
- Әсер потенциалы
- Әсер потенциалының түрленуі мен таралу механизмі.
- Нерв талшықтары арқылы қозудың таралуы.
- Телеграф теңдеуі.
- Сенімділік факторы.

Оқыту мен үйретудің әдістері – тақырып бойынша берілген материалдарды талдау, типтік және ситуациялық есептерді шешу.

Қысқаша теория

Ағзаның қалыпты өмір сүруі жасушалар арасында ақпараттардың алмасуынсыз мүмкін емес, солардың бір көрінісі жасушалардың нерв импульстарын генерациялау мен қабылдау мүмкіншілігі болып табылады. Ағзада *қозған жасушалар* деп аталатындар өмір сүреді, оларға *бұлшық еттік, нервтік және секреторлық* жасушалар жатады. Бұл жасушалар қандай да бір жолмен басқалардың қозуына әсер етеді. Бұлшық ет жасушалары жиырылады, секреторлықтар биологиялық белсенді заттарды бөледі, ал нервтік жасушалар электрлік тербелістерді генерациялайды – нервтік импульс.

1. Әсер потенциалы

Жасушаға қандай да бір қоздырушы әсер еткенде оның трансмембраналық потенциалы өзгереді де, *әсер потенциалы* деп аталатын құбылыс пайда болады.

Тыныштық потенциалының мұндай өзгеріске ұшырауының себебі, натрийлік иондық арналардың ашылуының салдарынан натрий үшін мембрана өтімділігінің өзгеруіне қатысты.

Әсер потенциалының электрлік нерв импульстері арқылы тірі ағзада рецепторлардан мидың нейрондарына және мидың нейрондарынан бұлшық еттерге ақпараттар беріледі. Сезімтал мүшелер қозғанда, немесе ми бұйрық жібергенде, оларға сәйкес келетін талшықтарда импульстерді байқауға болады. Нервтің қозуы әсер потенциалының желілік генерациясынан басталады да, ары қарай нерв аксондары арқылы таралады.

Әсер потенциалы дегеніміз – бұл, *қозу толқындарының нерв талшықтары мен бұлшық еттермен таралуына байланысты және мембрананың иондық өтімділігінің өзгеруіне негізделген электрлік импульс.*

Егер қоздырушы импульстің амплитудасы табалдырықтық мәнінен үлкен болса, онда мембранада потенциалдың бірден көтерілуіне соқтыратын үрдіс пайда болады. Қоздырушы импульс мембраналық потенциалдың өзгерісін қысқа уақытқа ғана (миллисекундқа) өзгертеді, ол тез жоғалып кетіп орнына тыныштық потенциалы орнайды.

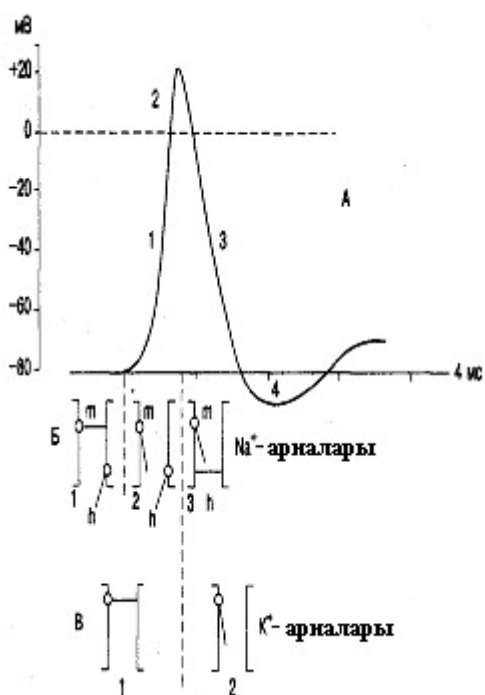
Әсер потенциалына бірнеше фаза тән: ол потенциалдың оң бағытта өте тез өсуінен басталады – өсу фазасы (0,2-0,5мс). Өсу фазасы кезінде жасушалық мембрана өзінің қалыпты зарядын (поляризация) жоғалтады – сондықтан оны **деполяризация фазасы** деп атайды. Әдетте деполяризация қисығы нөлдік сызықтан өтіп кетеді және мембраналық потенциал оңға ауысады. Әсер потенциалының бұл фазасын **инверсия** деп атайды.

Алғашқы тыныштық потенциалы қайта орнығуға келетін келесі фазаны **реполяризация** деп атайды. Реполяризация фазасының соңғы бөлігі баяулай бастайды – потенциалдың баяу өзгерісін **іздік потенциал** деп атайды (2-сурет).

Шыңына жеткеннен кейін потенциал әртүрлі жылдамдықтармен өзінің алғашқы деңгейі – тыныштық потенциалына оралады. Әсер потенциалының ұзақтығы нерв жасушаларында 1мс-қа жуық, бұлшық етте 10 мс, ал миокардта 200 мс-ке жуық болады.

Қозу аксон арқылы берілгенде сигналдардың күшеюі қалай жүреді?

Бұған жауапты, жүйкенің өткізгіштік теориясын жасағаны үшін (1962 ж.) Нобельдік сыйлықтың иегері атанған, Ален Ходжкин берді. Негізгі себеп аксон мембранасының өткізгіштігінің өзгеруінде болды. Аксонға нерв импульстері түскен кезде оның мембранасында аксон ішіне Na^+ иондарын өткізетін арналар пайда болады. Нәтижесінде арнаға жақын аралықтағы аксон ішіндегі теріс зарядтар +++++ ауысады, бұл мембраналық потенциалдың шыңына сәйкес келеді! Бірақ бұл үрдістің шексіз жүруі мүмкін емес, сыртқы ортадан Na^+ енуі тоқталады да, натрийлік арналар жабылады. Осыдан кейін K^+ арналары ашылады да, K^+ иондары өзінің концентрациялық градиенті бағытында аксонда алғашқы теріс потенциалдар орныққанға дейін ағып шығады. Na^+ және K^+ арналарының ашылу және жабылу үрдістері бірнеше рет қайталана отырып, берілген импульс соңғы нүктеге жеткенге дейін талшық бойымен өтеді (1-сурет).



- **Қозу үрдісінің өтуі**
- Әсер потенциалы және оның фазалары:
- 1 — деполяризация,
- 2 — инверсия,
- 3 — реполяризация,
- 4 — іздік поляризация.
- Б — натрий арналарының қақпасы (m және h). В — калий арналарының қақпасы және олардың ӘП әртүрлі фазасындағы жағдайы.

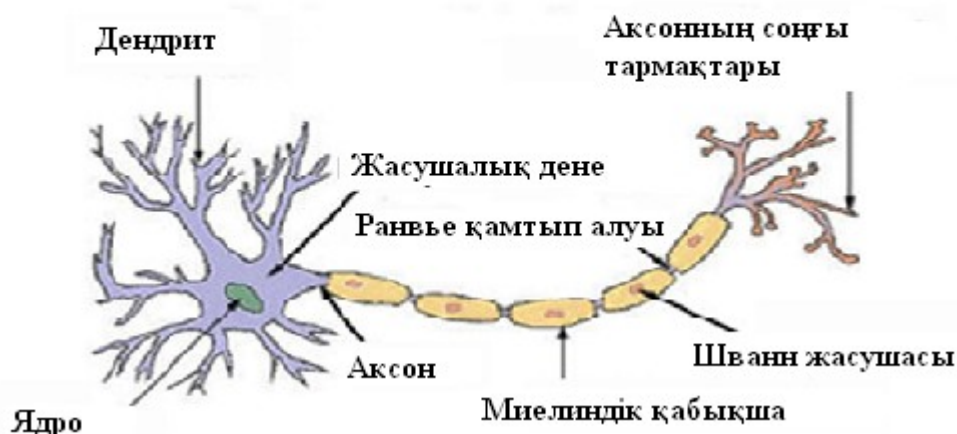
1-сурет

2. Нейрондар

Нейрон - нерв жүйесінің құрылымдық-атқарушы өлшемі болып табылады. Нейрон ақпараттарды электр сигналдары түрінде қабылдайды, өндейді және өткізеді. Әрбір нейрон дене, өсімшелер және құйрықшадан тұрады. Нейрондар денесінің диаметрі 4-5-тен 135 мкм. Жүйке жасушасы денесінің формасы әртүрлі, яғни дөңгелек, сопақша және пирамида тәріздес болуы мүмкін. Жүйке жасушасының денесінен әртүрлі ұзындықтағы екі түрлі жіңішке өсінділер шығады. Нейрон денесіне нерв импульстерін жеткізетін, бір немесе бірнеше тармақтан тұратын өсінді – ДЕНДРИТ деп аталады. Жүйке жасушасы денесінен шығатын нерв импульстерін тарататын жалғыз ұзын өсінді АКСОН деп аталады. Аксонның негізгі қызметі – нейронда пайда болатын импульстерді өткізу болып табылады.

Ең алғаш Бернштейн жасушалық мембрананың қозу үрдісін зерттеді және әртүрлі иондар үшін оның өтімділігінің өзгеретіндігін алдын ала болжап айтты, бірақ бұл тек теориялық тұрғыда ғана болды. Осыдан көп кейін Ходжкин мен Хаксли кальмардың алып аксондарында қозбаған және қозған жасушалардың потенциалдарын өлшеді, ол шамамен – 80 мВ(теріс)!, ал қозу кезіндегі олардың ең жоғарғы айырмашылығы +40 мВ болды. Ары қарай Ходжкин мен Хаксли әр типтегі иондар үшін қозу кезінде мембрана өтімділігінің сипаты өзгеретіндігі туралы гипотезаны дайындады: ең бастысы K^+ арналған оның өтімділігі Na^+ өтімділігіне айналады, сол себептен Na^+ иондарының жасуша ішіне қарай ағуы артады!!! Мембрана қабаттары арасындағы потенциалдар айырымы нөлге дейін көтеріледі, содан кейін оң болады (мембрана деполяризациясы). Ары қарай үрдіс кері бағытта дамиды: жасуша ішіндегі иондар ағыны біртіндеп кемиді және қозбаған күйге қайта оралады, сол сияқты потенциалдар айырымы да тыныштық күй потенциалының мәніне тең болады. Мұндай импульсті әсер потенциалы деп атайды. 1902 ж. Бернштейн қозудың мембраналық теориясын құрды. Ходжкин, Хаксли, Катц, Тасаки және тағы басқа да ғалымдардың зертеулерінің нәтижесінде импульстің түрлену және таралу механизмдерінің сыры ашылды. Жүйкелік қозу үйке талшықтары – аксон арқылы таралады. Аксондар дегеніміз орталық жүйке жүйесінің ұзын өсінділері. Жүйке талшықтарының кабельдік теориясы ұсынылды: жүйке талшықтары ішкі жағынан өткізгіш орта – аксоплазмадан тұрады. Қозудың өтуі: аксонның қозған бөлігі былай сипатталады, аксоплазмаға қараған мембрана жасуша сыртылық ортамен салыстырғанда +++++ зарядталады. Талшықтың қозбаған бөлігінің ішкі жағы ----- зарядталады! Мембрананың қозған және қозбаған бөлігінің арасында потенциалдар айырымы пайда болады да, локальды ток жүре бастайды. Шыққан ток талшықтың көршілес бөлігін деполяризациялайды. Осы ретпен қозу жүйке талшықтарының барлық бөлігін қамтиды.

Нейронның типтік құрылымы



Нейронның негізгі құрылымы төменде көрсетілген (2-сурет).

3. Қозудың нерв талшықтарының бойымен өткізілуі

Нерв импульстерін шығару қабілеттілігі – нейрондардың маңызды қасиеті. Нерв импульстері аксон бойымен әсер потенциалдарының жылдам таралуын қамтамасыз етеді, сондықтан жасушалар арасында ақпараттар алмасудың маңызды құралы болып табылады. Аксондардың негізгі функциясы нейронда пайда болған импульстерді өткізу болып табылады! Нерв талшықтары *миелинизирленген (майланған)* және *миелинизирленбеген (майланбаған)* болып бөлінеді. Миелиндік талшық қозғалмалы жүйкелерде жиірек

кездеседі. Миелиндік қабықшаның 80%-ы жоғарғы омдық (актив) кедергісі бар липидтерден, және 20% ақуыздардан тұрады. Жүйке талшықтары бойымен жүйке импульстерінің таралу мүмкіндігі электр желісін еске түсіреді, яғни өткізгіш рөлін аксоплазма, ал оқшаулаушы рөлін аксонның миелиндік қабықшасы атқарады. Миелинизирленген нерв талшықтары цитоплазмалық мембранамен жабылған және құрамында аксоплазмасы бар остік цилиндрден тұрады. Оның айналасында бірнеше қабатты шванндық жасушалары (перифериялық нерв жүйесінде) немесе олигодендроглилер (орталық нерв жүйесінде) орап тұрады, бұл қабаттар бірігеді және нерв талшықтарының миелиндік қабықшасын жасайды. (3-сурет.)



3-сурет.

Бұл жасушаларға тән қасиет бірдей аралықтардан кейін (0,2 ден 2 мм дейін), бұл қабықша бөлінеді, және остік цилиндрдің мембранасы ашық қалады. Талшықтың мұндай бөліктерін Ранвье қамтып алуы деп атайды. Олардың ұзындығы шамамен 1 мкм-ді құрайды.

Мембраналық липидтер мен ақ уыздардан тұратын *миелндік қабықша* нерв жасушасының сенімді оқшаулаушысы болып табылады, соның арқасында қозу аксон мембранасының тек ашық жерлерінде ғана болады. Миелинизирленбеген нерв талшықтары мұндай тығыз майлы қабықшаға ие емес. Шванндық жасушалары оларды бір-ақ рет орап тұрады.

Миеленизирленбеген нерв талшықтарының қандай да бір бөлігінің қозуы мембрананың локальдық деполяризациясына соқтырады. Сол уақытта мембрананың қалған (қозбаған) бөлігі өзінің кәдімгі потенциалдар айырмасын сақтайды: сыртқы бөлігі оң, ал ішкі бөлігі теріс зарядталады. Қозған және қозбаған облыстардың аралығында жергілікті токтар пайда болады. Бұл көрші бөліктердің деполяризациялануын туғызады, ал ол осы ретпен келесісін деполяризациялайды. Осциллографтың электродтарын жасушалық мембрананың екі бөлігіне жалғап әсер потенциалының таралуын бақылауға болады. Қозудың мұндай өту тәсілдерін үздіксіздік деп атайды.

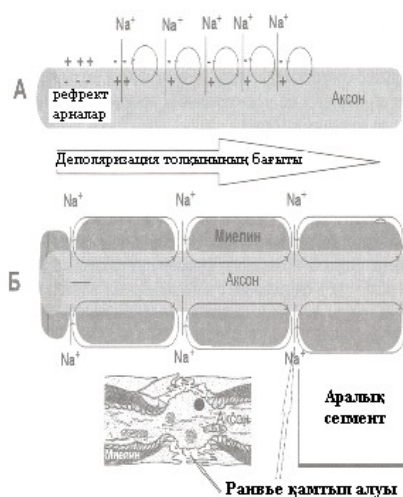
Миеленизирленбеген нерв талшықтарында нерв импульстерінің үздіксіз өтуі мүмкін емес. Қозу (деполяризация) мембрананың барлық жерінде емес, тек Ранвье қамтып алуларында ғана болуы мүмкін. Мұндай бөліктердің бірі А-ның деполяризациясы көрші Б бөліктің деполяризациясын тудырады.(4-сурет.)



4-сурет.

Ары қарай қозу В бөлікке өтеді де А бөлігі біраз уақыт қозуға сезімсіз (рефракторлық) болып қалады. Сол себептен нерв талшықтары бойымен импульстің таралуы бір бағытта ғана жүреді. Пайда болған әсер потенциалы Ранвьең келесі қамтып алуында қозудың пайда болуына қажетті табалдырықтан бірнеше рет артық болады, сол себептен ұлпааралық сұйықтар мен аксоплазмалар кедергісінің нәтижесінде әлсірейтін сигналдарды күшейтеді және тасымалдаушы генератор түрінде қызмет етеді. *Миеленизирленген талшықтар бойымен қозудың таралу механизмі секірмелі немесе сальтаторлы* деп аталады.

Қозудың нерв талшықтары бойымен таралуын келесі 5- суреттен де айқын көруге болады.



Нерв талшықтарында қозудың өтуі

- А — миелинсіз талшық (электротоникалық өту).
- Б — миелинді талшық (сальтаторлық өту). Миелин, түйін аралық бөліктерде аксонды толығымен қоршап алып, электрлік оқшаулаушы, ал жасуша аралық сұйықтық Ранвье қамтып алуы – өткізгіш қызметін атқарады.

5-сурет.

Аутоиммундік аурулар – шашыраған склероз - кезінде ағзаның иммундік жүйесі миелиндік қабықшаны бұзады да, *нерв талшықтарының жалаңаштануы (демиелинизация)* пайда болады. Бұл жағдайда нерв

импульстерінің бүлінген бөлік арқылы өтуі бұзылады да, әртүрлі жағдайлардың болуына соқтырады: көру мен бағдарлаудың бұзылуы, бұлшық ет әлсіздігі, бұлшық ет тонусының жоғарылауы және т.б. Демиелинизация мынандай ауруларда да: *невралгия, радикулит, әртүрлі полиневропатия* пайда болады.

Нерв импульстерінің өту жылдамдығы

Миелинизирленбеген нерв талшықтары бойымен әсер потенциалы ϕ -дің ара қашықтық x пен t уақытқа тәуелділі өзгерісі *телеграфты теңдеу* деп аталатын теңдеумен анықталады:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} = \frac{4 \rho_a}{D} \left(C_M \frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{\phi}{\rho_M l} \right),$$

мұндағы D – талшықтың диаметрі, l – мембрана қалыңдығы,

C_M – электр сыйымдылық, ρ_a - аксоплазманың меншікті кедергісі, ρ_M - мембрананың қозу кезінде бірден төмендеп кететін меншікті кедергісі.

Бұл теңдеудің стационар күйдегі шешуі келесі түрде беріледі ($t \rightarrow \infty$ болғанда):

$$\phi = \phi_0 \exp(-x/\lambda)$$

мұндағы ϕ_0 - $x=0$; нүктесіндегі потенциал; λ - талшық ұзындығының тұрақтысы, ол мынаған тең:

$$\lambda = \sqrt{\frac{Dl \rho_M}{4 \rho_a}}$$

Нерв импульстерінің миелинизирленбеген нерв талшықтары бойымен таралу жылдамдығы ұзындық тұрақтысы сияқты талшық диаметрінің квадрат түбіріне тура пропорциональ. Диаметрдің үлкеюі λ мен қозудың таралу жылдамдығына әсер етеді.

Шамамен бірдей диаметрдегі нерв талшықтары үшін қозудың таралу жылдамдығы сенімділік факторы деп аталатын η -ге тәуелді, ол келесі түрде өрнектеледі:

$$\eta = \frac{V_0}{V_{кр}}$$

мұндағы V_0 - әсер потенциалының амплитудасы, $V_{кр}$ - әсер потенциалының генерациясын тудыратын деполяризацияның критикалық деңгейі. Қалыпты жағдайда сенімділік факторы 5-6 тең, яғни әсер потенциалының шамасы деполяризацияның табалдырық мембрананың келесі бөлігін қоздыруға қабілетті.