

Электрокардиография мен электроэнцефалографияның физикалық негіздері. ЭКГ және ЭЭГ тіркеу. Жас ерекшеліктері

ЖАРИЯЛАНДЫ
03.03.2025

ТІРЕК СӨЗДЕР

биоэлектрлік потенциалдар, дипольдік момент, жас ерекшеліктері, кардиологиялық диагностика, мидың функционалдық күйі, нейрондық белсенділік, электрокардиография, электроэнцефалография

СІЛТЕМЕ

<https://bilimger.kz/176438/>

Мажаева Қаршыға

Орынтайқызы Аружан

С.Д.Асфендияров атындағы Қазақ Ұлттық Медицина университеті
Медицина факультеті

Аннотация

Бұл жұмыста электрокардиография (ЭКГ) мен электроэнцефалографияның (ЭЭГ) физикалық негіздері қарастырылады. ЭКГ жүректің биоэлектрлік белсенділігін тіркеуге мүмкіндік беретін диагностикалық әдіс ретінде сипатталады. Оның негізінде жүрек бұлшықетінің деполяризация және реполяризация процестері жатыр. ЭЭГ ми нейрондарының электрлік белсенділігін зерттейтін әдіс ретінде қарастырылып, мидың функционалдық күйлерін анықтауға мүмкіндік береді. Зерттеуде ЭКГ мен ЭЭГ әдістерінің физикалық принциптері, электродтарды орналастыру ерекшеліктері, сигналдарды өңдеу және оларды жас ерекшеліктеріне байланысты өзгерістері сипатталған.

Кілт сөздер: электрокардиография, электроэнцефалография, биоэлектрлік потенциалдар, нейрондық белсенділік, дипольдік момент, жас ерекшеліктері, кардиологиялық диагностика, мидың функционалдық күйі.

Кіріспе

Қазіргі таңда биомедициналық зерттеулерде адамның жүрек-қан тамырлары және жүйке жүйесінің қызметін зерттейтін әдістер ерекше орын алады. Бұл әдістер адамның физиологиялық процестерін түсіну, патологиялық күйлерді анықтау және диагностика сапасын арттыру үшін кеңінен қолданылады. Электрокардиография (ЭКГ) және электроэнцефалография (ЭЭГ) тірі ұлпалардың биоэлектрлік қасиеттерін зерттейтін маңызды құралдар болып табылады. ЭКГ жүректің электрлік белсенділігін тіркеу арқылы кардиологиялық ауруларды диагностикалауға мүмкіндік береді, ал ЭЭГ ми нейрондарының биоэлектрлік белсенділігін зерттеу арқылы орталық жүйке жүйесінің функционалдық күйін бағалайды.

Бұл зерттеудің мақсаты - ЭКГ және ЭЭГ әдістерінің физикалық негіздерін, сигналдарды тіркеу мен өңдеу принциптерін сипаттау, сондай-ақ олардың жас ерекшеліктеріне байланысты өзгерістерін талдау. Осы әдістердің заманауи биомедициналық зерттеулер мен клиникалық практикадағы маңыздылығын көрсету жұмыстың өзектілігін арттырады.

Қазіргі уақытта биомедициналық қолданбаларда пәнаралық зерттеулердің үлесі тұрақты түрде артып келеді. Мұндай тәсіл қажет болатын бағыттардың бірі - нейрофизиологиялық зерттеулерде заманауи компьютерлік технологиялар мен математикалық деректерді өңдеу әдістерін қолдану. Зерттеу нысандары ретінде әртүрлі типтер мен класстарға жататын жануарлардың және адамның миында жүретін нейродинамикалық процестер қарастырылады. Ғалымдар жүйке жүйесі мен психиканың жұмыс істеу механизмдерін түсінуге тырысып, жеке нейрондармен, жасуша популяцияларымен, ми тілімдерімен және тұтас ми құрылымымен, сондай-ақ олардың компьютерлік модельдерімен жұмыс істейді. Осындай зерттеулердің маңызды бөлігі ретінде электрокардиография (ЭКГ) мен электроэнцефалография (ЭЭГ) әдістері ерекше орын алады. Бұл әдістердің негізінде тірі ұлпалардың электрлік қасиеттері мен биоэлектрлік потенциалдардың пайда болу заңдылықтары

жатыр. ЭКГ жүрек бұлшықетінің деполяризация және реполяризация процестерін зерттеуге бағытталған, ал ЭЭГ мидағы нейрондық белсенділікті тіркеу үшін қолданылады. ЭКГ зерттеулерінде жүректің электрлік белсенділігі биоэлектрлік потенциалдардың таралуына негізделген. Синустық түйін жүрек ырғағын реттеп, электрлік импульстар тудырады. Бұл процестер кардиомиоциттердің дипольдік құрылымына байланысты жүректің жалпы дипольдік моментін қалыптастырады, ал электродтар арқылы осы потенциалдар айырмасы тіркеледі. Электрокардиограммада жүрек циклі кезінде пайда болатын негізгі тістер (P, Q, R, S, T) көрініс табады, олардың әрқайсысы жүрек бұлшықетінің түрлі фазаларын көрсетеді. ЭЭГ әдісі орталық жүйке жүйесінің жұмысын зерттеуге арналған және ми нейрондарының электрлік белсенділігін тіркеуге мүмкіндік береді. Нейрондар арасындағы электрлік потенциалдардың өзгерісі ми толқындары түрінде көрінеді, олар белгілі бір жиілік диапазонында топтастырылады (дельта, тета, альфа, бета және гамма толқындар). Бұл толқындардың талдауы арқылы ми қызметінің әртүрлі күйлері мен патологиялық өзгерістері анықталады.

Электрокардиография (ЭКГ) – жүректің электрлік белсенділігін тіркеуге мүмкіндік беретін маңызды диагностикалық әдіс. Оның физикалық негіздері электрлік потенциалдардың тіркелуіне, сондай-ақ жүрек бұлшықетінің жұмысын сипаттайтын сигналдарды өңдеуге негізделген. ЭКГ-ны жүргізу барысында арнайы электродтар пациенттің денесінің белгілі бір нүктелеріне орналастырылады, осылайша жүректің биоэлектрлік белсенділігі тіркеледі. Электрлік импульстардың негізгі көзі ретінде синустық түйін қарастырылады. Ол оң жақ жүрекшеде орналасқан және жүрек циклінің ырғақты жиырылуын қамтамасыз етеді. Әрбір жүрек соғысы кезінде жасушаларда иондық алмасу жүріп, бұл мембраналық потенциалдардың өзгеруіне алып келеді. Осы биоэлектрлік сигналдар ЭКГ құрылғысы арқылы жазылып, электрокардиограмма түрінде көрсетіледі. ЭКГ-ның дәлдігі электродтардың дұрыс орналастырылуына тікелей байланысты. Стандартты әдісте электродтар қолдар мен аяқтарға, сондай-ақ кеуде аймағына қойылады. Бұл әдіс арқылы әртүрлі кардиологиялық көрсеткіштерді зерттеуге болады [1].

ЭКГ мен ЭЭГ-ның физикалық негізі биопотенциалдарды тіркеу және электрлік дипольдердің әсерін өлшеу принципіне сүйенеді. Жүрек биоэлектрлік дипольді генератор ретінде қарастырылады. Әрбір кардиомиоцит әрекет потенциалын түзеген кезде, жүрек бірыңғай дипольдік құрылымға ие болады. Осы жасушалардың жиынтық электрлік белсенділігі жүректің дипольдік моментін анықтайды. Бұл дипольдік момент жүректің электрлік осін сипаттайды, ал оны талдау арқылы жүрек бұлшықетінің түрлі патологияларын анықтауға болады. Жүрекке тән биоэлектрлік потенциалдар бірнеше факторларға тәуелді:

- Жүрек бұлшықетінің құрылымы мен функционалдығы
- Қан айналым жүйесінің жағдайы
- Электролиттік баланстың сақталуы

ЭКГ арқылы алынған деректер осы параметрлердің өзгерістерін анықтауға мүмкіндік береді. Электрокардиограммада бірнеше негізгі элементтер бар: зубецтер (P, Q, R, S, T), сегменттер және интервалдар. Олардың әрқайсысы жүрек циклінің нақты фазаларын сипаттайды:

- **P зубеці** – жүрекшелердің деполяризациясын көрсетеді. Амплитудасы 2,5 мм-ден аспауы тиіс, ал ұзақтығы 0,1 секунд шамасында.
- **QRS комплексі** – қарыншалардың деполяризациясын көрсетеді. Оның стандартты ұзақтығы 0,1 секундтан аспайды.
- **T зубеці** – қарыншалардың реполяризациясын сипаттайды. Оның амплитудасы R зубецінің 1/7 бөлігінен үлкен болмауы керек.
- **PQ сегменті** – электрлік импульстардың жүрекшелерден қарыншаларға өту уақытын көрсетеді. Ол шамамен 0,1 секундқа созылады.
- **ST сегменті** – қарыншалардың толық деполяризациясын сипаттайды.
- **QT интервалы** – жүрек циклінің реполяризация фазасын қамтиды. Оның ұзақтығы 0,38-0,42 секунд аралығында болуы тиіс [2].

ЭКГ-ны жүргізу барысында әртүрлі әдістер қолданылады. Олардың әрқайсысы пациенттің жағдайына және қажетті диагностикалық мақсаттарға байланысты таңдалады:

1. Стандартты ЭКГ – жүректің биоэлектрлік белсенділігін тыныштық жағдайында тіркеу үшін қолданылады.
2. Холтерлік мониторинг – 24 сағат немесе одан да ұзақ уақыт бойы жүректің қызметін бақылауға мүмкіндік береді. Бұл әдіс аритмияны немесе жүрек бұлшықетінің ишемиялық өзгерістерін анықтау үшін қолданылады.
3. Тредмил-тест – физикалық жүктеме кезінде ЭКГ жүргізу. Ол жүректің стресстік жағдайларға реакциясын зерттеу үшін қолданылады.
4. Кардиосаундерлік әдіс – бірнеше күн немесе апта бойы жүректің белсенділігін үздіксіз бақылауға мүмкіндік береді. Бұл әдіс жүрек ырғағының өзгерістерін нақты уақыт режимінде бағалауға көмектеседі[3].

ЭКГ нәтижелерін дұрыс түсіндіру – жүрек ауруларын анықтау мен емдеуде маңызды рөл атқарады. Дәрігерлер ЭКГ көрсеткіштері негізінде келесі деректерді талдайды:

- Жүрек ырғағы мен жиілігі
- Электрлік осьтің орналасуы
- Ишемиялық өзгерістердің бар-жоғы
- Гипертрофия белгілері
- Өткізгіштік бұзылыстары

ЭКГ жазбасының сапасы мен стандарттарға сәйкестігі диагностиканың дәлдігін қамтамасыз етеді. Шудың немесе басқа кедергілердің болуы нәтижелерді бұрмалауы мүмкін. Сондықтан ЭКГ нәтижелерін әрдайым тәжірибелі кардиолог талдауы қажет.

Электроэнцефалография (ЭЭГ) – бас миының функционалдық күйін зерттеудің инвазивті емес әдісі. Ол ғылыми зерттеулерде және

клиникалық практикада магниттік-резонанстық томографиямен (МРТ), позитрондық-эмиссиялық томографиямен (ПЭТ), компьютерлік томографиямен (КТ) қатар кеңінен қолданылады. Электроэнцефалография – бас терісінің бетіне арнайы орналастырылған электродтар арқылы ми биоэлектрлік сигналдарын тіркеу әдісі. Бұл процесс электродтардың жанасу нүктелері мен референттік нүктелер арасындағы потенциалдар айырмасын өлшеу негізінде жүзеге асырылады. Бұл өрістер әлсіз болғандықтан, оларды жазу үшін жоғары сезімталдықтағы күшейткіштер қолданылады. Ми қыртысының терең қабаттарында орналасқан нейрондар электродтардан алыс болғандықтан, тек синхронды әрекет ететін үлкен нейрондық популяциялар ғана тіркелетін биоэлектрлік өріс тудыра алады. Сондықтан ЭЭГ сигналдары негізінен кортикальды пирамидалық жасушалардың белсенділігіне тәуелді.

Нейрондар электрлік потенциалдар тудыратын жасушалар ретінде әрекет етеді. Олардың мембраналарының екі жағында әртүрлі концентрациядағы иондар (натрий, калий, хлор және кальций) орналасқан, бұл мембраналық потенциалдың тұрақты деңгейін ұстап тұрады. Қозу немесе тежеу процестері кезінде осы иондардың тасымалдануы мембраналық потенциалдың өзгеруіне әкеледі, бұл нейрондық желілерде электрлік өрістердің пайда болуына себепші болады. ЭЭГ кезінде бас терісіне орналастырылған электродтар осы өрістердің әсерін тіркейді. Мидың биоэлектрлік белсенділігі кеңістікте бағытталған дипольдік модель арқылы сипатталады. Белгілі бір нейрондық ансамбль қозған кезде дипольдік моменттер суперпозицияланады, ал олардың бағыттары мен қарқындылығы электродтарда тіркелетін өрістің конфигурациясын анықтайды. Бас сүйек пен тері бұл өрістерді әлсіретеді, сондықтан алынған сигналдар бастапқы потенциалдарға қарағанда әлсіз болады[4].

ЭЭГ сигналдары белгілі бір жиіліктік диапазондарға бөлінеді:

- **Дельта-толқындар (0,5-4 Гц)** – терең ұйқыда немесе ауыр патологиялық жағдайларда көрінеді.

- **Тета-толқындар (4-8 Гц)** – релаксация, армандау немесе шығармашылық процестер кезінде белсенді.
- **Альфа-толқындар (8-13 Гц)** – сергек, бірақ босаңсыған күйде басым болады.
- **Бета-толқындар (13-30 Гц)** – белсенді ойлау, когнитивті жүктеме, эмоционалдық күйзеліс кезінде артады.
- **Гамма-толқындар (30 Гц жоғары)** – жоғары когнитивті процестермен және ақпаратты өңдеумен байланысты.

Дегенмен, бұл арақатынас мидың әртүрлі функционалдық күйлеріне байланысты өзгереді. Электроэнцефалография нәтижесінде алынған және тіркелген потенциалдар айырмасын көрсететін графикалық бейнелер электроэнцефалограмма деп аталады. Электроэнцефалограммаларды сандық зерттеуге арналған әртүрлі талдау әдістері әзірленген: кросс-корреляция коэффициенттерін, когеренттілік коэффициенттерін қолдану әдістері, шақырылған потенциалдар әдісі және т.б.

Шақырылған потенциалдар (ШП) әдісі – бұл ми электрлік белсенділігінің сыртқы тітіркендіргішке реакциясы. Бұл әдіс мидың қозғыштығы мен стимулды қабылдау қабілеті сияқты қасиеттерін зерттеуге мүмкіндік береді. ШП-сигналдары ЭЭГ-нің амплитудасы мен жауап беру кешігуі әртүрлі жағдайларда және әртүрлі мақсатты топтарда мидың функционалдық мүмкіндіктері туралы құнды ақпарат береді. Мысалы, жауап беру уақытының ұлғаюы балалардағы зейін жетіспеушілігі және гиперактивтілік синдромының (ЗЖГС) болуымен, қартаюмен, когнитивтік бұзылыстардың жеңіл дәрежесімен, сондай-ақ әртүрлі психотикалық күйлермен байланысты болуы мүмкін [5].

Шақырылған потенциалдардың энергетикалық спектрлік талдауы – биомаркерлерді анықтауда ең табысты қолданылатын әдістердің бірі. Сонымен қатар, бұл әдіс ЭЭГ тербелістерінің жиілік құрамын зерттеуде маңызды ақпарат бере алады. Әдетте спектрлік бағалаулар дискретті жиіліктер үшін есептеледі (мысалы, 8,5 – 10,0 Гц, яғни альфа-ырғақтың

төменгі жолағы үшін). ЭЭГ сигналының осы жиілігі үшін орташа квадраттық амплитуда немесе қуат (амплитуданың квадраты) оның өлшенген сигналға қосқан үлесін сандық анықтау үшін қолданылады. Алайда, спектрлік талдау динамикадағы ақпаратты, яғни жиіліктердің уақыт бойынша өзгеруін көрсете алмайды. Бұл мәселені шешу үшін әртүрлі жиілік-уақыт талдау әдістері қолданылады, соның ішінде қысқа мерзімді Фурье түрлендіруі және соңғы жылдары ЭЭГ сигналдарын нақты уақыттық және жиілік компоненттеріне түрлендіруге мүмкіндік берген вейвлет-талдау әдісі кең таралды. Бұл тәсілде ЭЭГ сигналдары әртүрлі жиіліктері бар синусоидалық толқындардың жиынтығы ретінде емес, белгілі бір математикалық функцияның ығысқан және масштабталған нұсқалары ретінде қарастырылады[6].

Электрокардиография (ЭКГ) және электроэнцефалография (ЭЭГ) көрсеткіштері адамның жасына байланысты өзгерістерге ұшырайды. Жүрек электрлік белсенділігі адамның жасы ұлғайған сайын өзгереді[7].

- **Жаңа туған нәрестелер мен балаларда** – жүрек соғу жиілігі жоғары (120-140 соққы/мин), ал P-Q және Q-T интервалдары ересектерге қарағанда қысқа болады. Балалардың жүрек бұлшықеті толық қалыптаспағандықтан, QRS кешені мен T толқынының амплитудасы төменірек болуы мүмкін.
- **Жасөспірімдік кезеңде** – жүрек ырғағы тұрақтанып, синустық ритм бекітіледі, жүрек соғу жиілігі төмендейді (80-100 соққы/мин).
- **Ересектерде** – қалыпты жүрек соғу жиілігі 60-80 соққы/мин аралығында болады, ЭКГ-де айтарлықтай өзгерістер байқалмайды.
- **Қарт адамдарда** – жүректің өткізгіштік жүйесінде өзгерістер болуы мүмкін, нәтижесінде P-Q интервалы ұлғаяды, кейбір адамдарда аритмия немесе өткізгіштік бұзылыстары (блокадалар) дамуы мүмкін.

ЭЭГ-нің жас ерекшеліктері ми электрлік белсенділігі де жасқа

байланысты өзгеріп отырады.

- **Жаңа туған нәрестелер мен сәбилерде** – ЭЭГ-де негізгі толқындар ретінде **дельта (0,5-4 Гц) және тета (4-7 Гц) толқындары** басым болады. Бұл кезеңде мидың функционалдық дамуы жалғасып жатқандықтан, жоғары жиілікті ырғақтар толық қалыптаспайды.
- **Балаларда - альфа-ырғақ (8-13 Гц)** шамамен 3 жастан бастап дами бастайды, бірақ оның толық қалыптасуы 8-10 жасқа қарай жүреді. Бета-ырғақ (13-30 Гц) баяу дамиды.
- **Жасөспірімдер мен ересектерде - альфа-ырғақ** толық тұрақтанады және оның жиілігі 10 Гц шамасында болады. Жоғары жиілікті **бета- және гамма-ырғақтар (30-100 Гц)** белсенді ойлау және зейін процесінде жақсы көрініс береді.
- **Қарт адамдарда - альфа-ырғақтың жиілігі мен амплитудасы төмендейді**, бұл когнитивтік процестердің баяулауымен байланысты. Сонымен қатар, кейбір нейродегенеративті аурулар (Альцгеймер, Паркинсон) кезінде **дельта және тета белсенділігінің артуы** байқалады, бұл ми қызметінің бұзылуын көрсетеді.

Қорытындылай келе, қазіргі заманғы биомедициналық зерттеулер пәнаралық тәсілдің маңыздылығын дәлелдейді. Нейрофизиология мен биомедициналық инженерияның тоғысында дамып келе жатқан әдістер, соның ішінде электрокардиография (ЭКГ) мен электроэнцефалография (ЭЭГ), адам ағзасындағы күрделі биоэлектрлік процестерді зерттеуге мүмкіндік береді. Бұл әдістер медициналық диагностикада, клиникалық зерттеулерде және фундаменталды ғылымда кеңінен қолданылады. ЭКГ жүрек бұлшықетінің электрлік белсенділігін зерттеудің дәл және қолжетімді тәсілі ретінде кардиологиялық патологияларды ерте анықтауға көмектеседі. Жүрек дипольдік генератор ретінде қарастырылып, оның электрлік осінің бағытын талдау арқылы әртүрлі жүрек аурулары диагностикаланады. ЭЭГ әдісі ми қызметін зерттеудің негізгі құралдарының бірі болып табылады. Ол мидағы нейрондық

белсенділікті тіркеп, түрлі жиілік диапазоңдарындағы биоэлектрлік сигналдарды талдау арқылы неврологиялық және психиатриялық ауруларды анықтауға мүмкіндік береді. Шақырылған потенциалдар әдісі когнитивтік процестерді зерттеуде ерекше маңызға ие.

Осылайша, ЭКГ мен ЭЭГ-ның дамуы медицинада ғана емес, сонымен қатар жасанды интеллект, математикалық модельдеу және деректерді өңдеу салаларындағы жетістіктермен тығыз байланысты. Бұл әдістерді жетілдіру арқылы адам ағзасындағы күрделі жүйелерді тереңірек түсініп, диагностикалық процестерді одан әрі жақсартуға болады.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

1. Аленова М.-Г.К. *Физические основы электрокардиографии [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://interactive-plus.ru/e-articles/246/Action246-17128.pdf> (дата обращения 12.12.2023).*
2. Алиматов Б.Б., Овчинников Е.Л. *Биофизические основы и применение электрокардиографии // Физика и медицина: создавая будущее: сборник материалов / под ред. Г.П. Котельникова, А.Н. Волобуева, Е.Л. Овчинникова, В.А. Калинина. Самара: НИЦ LJournal, 2018. С. 13-15.*
3. Başar E. *Brain oscillations in neuropsychiatric disease // Dialogues in Clinical Neuroscience. 2013. Vol. 15. No. 3. Pp. 291–300.*
4. De Pascalis V., Varriale V., Matteoli A. *Intelligence and P3 components of the event-related potential elicited during an auditory discrimination task with masking // Intelligence. 2008. Vol. 36. No. 1. Pp. 35–47.*
5. Fjell A.M., Rosquist H., Walhovd K.B. *Instability in the latency of P3a/P3b brain potentials and cognitive functioning in aging // Neurobiology Aging. 2009. Vol. 30. No. 12. Pp. 2065–2079.*
6. Laskaris N., Tarnanas I., Tsolaki M.N., Vlaikidis N., Karlovasitou A.K. *Improved detection of amnesic MCI by means of Discriminative Vector Quantization of*

Single-Trial cognitive ERP responses // Journal of Neuroscientific Methods. 2013. Vol. 212. No. 2. Pp. 344–354.

7. *Bodatsch M., Ruhrmann S., Wagner M., et al. Prediction of psychosis by mismatch negativity // Biological Psychiatry. 2011. Vol. 69. No. 10. Pp. 959–966.*
8. *Başar E., Guntekin B., Atagun I., TurpGolbaşı B., Tulay E., Ozerdem A. Brain’s alpha activity is highly reduced in euthymic bipolar disorder patients // Cognitive Neurodynamics. 2012. Vol. 6. No. 1. Pp. 11–20.*
9. *Хомич Михаил Михайлович Возрастные изменения временных показателей электрокардиограммы у детей // ВСП. 2006. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/voznrastnye-izmeneniya-vremennyh-pokazateley-elektrokardiogrammy-u-detey> (дата обращения: 27.02.2025).*

ҚМ АА Куәлік нөмірі: **KZ45VPY00102718** — ҚР Мәдениет және Ақпарат министрлігі

© 2026 **Bilimger.kz** Ақпараттық-танымдық білім порталы. Барлық мазмұн авторлық құқықпен қорғалған.