








Г.К. Датхабаева , А.М. Кустубаева , М.С. Кулбаева* ,
М.К. Мұстафин , Р.А. Бабаев , А.Ф. Әшірбай ,
А.А. Исағали 

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан
*e-mail: Marzhan.Kulbaeva@kaznu.edu.kz

ЖАЛПЫ ДЕНСАУЛЫҚТЫҢ КОГНИТИВТІ ФУНКЦИЯҒА ӘСЕРІ

Зерттеуде когнитивті жүктеменің дені сау және теміртапшылықты анемиясы бар студенттердің ми биоэлектрлік белсенділігі мен қыртысты аймақтар арасындағы функционалдық байланыстарға әсерін электроэнцефалография (ЭЭГ) әдісімен анықталды. Зерттеуге екі топқа топтастырылған дені сау және теміртапшылықты анемиясы бар студенттер қатысты. Когнитивті тапсырманы орындағанға дейін және когнитивті тапсырманы орындағаннан кейін стандартталған функционалдық режимде ЭЭГ тіркелді, альфа (8-13 Гц) және тета (4-7 Гц) ырғақтарына спектральды талдау және корреляциялық талдаудың бір түрі болып табылатын кросс-корреляциялық талдау жүргізілді. Қатысушылар когнитивті жүктемеге бес минуттық ментальды есеп шығару тапсырмасын орындады.

Нәтижелер когнитивті тапсырманы орындағанға дейін екі топта да спектральды көрсеткіштердің сақталғанын көрсетті, ал сенсорлық ынталандыру кезінде теміртапшылықты анемиясы бар топта альфа ырғағының толық қуаты мен тета индексінің төмендеуі анықталды. Когнитивті тапсырманы орындағаннан кейін дені сау топта альфа ырғағының тиімді қалпына келуі, тета ырғағының шектелуі мен қыртысты аймақтар арасындағы үйлесімді функционалдық байланыстары сақталған. Теміртапшылықты анемиясы бар топта альфа синхронизациясының жеткіліксіз қалпына келуі және тета ырғағының шамадан тыс артуы анықталды. Корреляциялық талдауда маңдай аймақтарының орталық және самай аймақтарымен байланысы әлсіреген. Бұл когнитивті және атқарушы функцияларға жауапты нейрондық желілердің интеграциясының бұзылысын сипаттайды, ал оның гипоксиялық және нейрометаболикалық механизм шектеулерімен байланысты екенін көрсетеді.

Альфа және тета ырғақтарының спектральды және кросс-корреляциялық көрсеткіштері когнитивті жүктемеге мидың функционалдық күйін бағалауда нейрофизиологиялық маркерлер ретінде қолдануға ұсынылады.

Түйін сөздер: электроэнцефалография, когнитивті жүктеме, альфа ырғағы, тета ырғағы, теміртапшылықты анемия, спектральды талдау, кросс-корреляциялық талдау.

G.K. Datkhabayeva, A.M. Kustubayeva, M.S. Kulbayeva*,
M.K. Mustafin, R.A. Babayev, A.G. Ashirbay, A.A. Isagali
Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
*e-mail: Marzhan.Kulbaeva@kaznu.edu.kz

The impact of general health on cognitive function

The study examined the effect of cognitive load on the bioelectric activity of the brain and the functional connections between cortical regions in healthy students and students with iron deficiency anemia using electroencephalography (EEG).

The study involved healthy students and students with iron deficiency anemia, who were divided into two groups. The EEG was recorded in a standardized functional mode before and after completing the cognitive task, spectral analysis of alpha (8-13 Hz) and theta (4-7 Hz) rhythms was performed, as well as cross-correlation analysis, which is a type of correlation analysis. The participants completed a five-minute mental arithmetic task to assess their cognitive load.

The results showed that spectral parameters were maintained in both groups until the cognitive task was completed, and during sensory stimulation, a decrease in the total power of the alpha rhythm and theta index was detected in the group with iron deficiency anemia. After completing the cognitive task, the healthy group demonstrated effective recovery of the alpha rhythm, restriction of the theta rhythm, and preservation of harmonious functional connections between areas of the cerebral cortex. In the group with iron deficiency anemia, insufficient recovery of alpha synchronization and an excessive

increase in theta rhythm were detected. Correlation analysis revealed that the frontal regions have a weaker connection with the central and temporal regions. This describes a disruption in the integration of neural networks responsible for cognitive and executive functions, and suggests that it is associated with hypoxic and neurometabolic limitations.

Spectral and cross-correlation indicators of alpha and theta rhythms are recommended for use as neurophysiological markers in assessing the functional state of the brain for cognitive load.

Keywords: electroencephalography, cognitive load, alpha rhythm, theta rhythm, iron deficiency anemia, spectral analysis, cross-correlation analysis.

Г.К. Датхабаева, А.М. Кустубаева, М.С. Кулбаева*,
М.Қ. Мұстафин, Р.А. Бабаев, А.Ф. Әшірбай, А.А. Исағали
Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан
*e-mail: Marzhan.Kulbaeva@kaznu.edu.kz

Влияние общего состояния здоровья на когнитивные функции

В исследовании изучалось влияние когнитивной нагрузки на биоэлектрическую активность головного мозга и функциональные связи между корковыми областями у здоровых студентов и студентов с железодефицитной анемией с использованием электроэнцефалографии (ЭЭГ).

В исследовании приняли участие здоровые студенты и студенты с железодефицитной анемией, которые были разделены на две группы. ЭЭГ регистрировалась в стандартизированном функциональном режиме до и после выполнения когнитивного задания, проводился спектральный анализ альфа- (8-13 Гц) и тета- (4-7 Гц) ритмов, а также кросс-корреляционный анализ, являющийся разновидностью корреляционного анализа. Участники выполнили пятиминутное задание на устный счет для оценки когнитивной нагрузки.

Результаты показали, что спектральные показатели сохранялись в обеих группах до выполнения когнитивного задания, а в ходе сенсорной стимуляции было обнаружено снижение суммарной мощности альфа-ритма и тета-индекса в группе с железодефицитной анемией. После выполнения когнитивного задания здоровая группа продемонстрировала эффективное восстановление альфа-ритма, ограничение тета-ритма и сохранение гармоничных функциональных связей между областями коры головного мозга. В группе с железодефицитной анемией было выявлено недостаточное восстановление альфа-синхронизации и чрезмерное увеличение тета-ритма. В корреляционном анализе было выявлено, что лобные области имеют более слабую связь с центральными и височными областями. Это описывает нарушение интеграции нейронных сетей, ответственных за когнитивные и исполнительные функции, и предполагает, что оно связано с гипоксическими и нейрометаболическими ограничениями.

Спектральные и кросс-корреляционные показатели альфа- и тета-ритмов рекомендуются для использования в качестве нейрофизиологических маркеров при оценке функционального состояния мозга на когнитивную нагрузку.

Ключевые слова: электроэнцефалография, когнитивная нагрузка, альфа-ритм, тета-ритм, железодефицитная анемия, спектральный анализ, кросс-корреляционный анализ.

Кіріспе

Қазіргі таңда когнитивті функцияларды зерттеу зерттеушілердің үлкен назарына айналған. Өйткені адамның өмір сүру барысында білім алу, кәсіби қызметпен айналысу, қоғамға бейімделу, басқа адамдармен қарым-қатынас жасау, шешім қабылдау қабілеттеріне когнитивтік функциялардың үлкен әсері бар. Жедел дамып жатқан ғылыми-техникалық прогресте ақпараттық жүктеменің артуы мидың жұмыс істеу механизмдерін тереңірек түсінуді талап етеді.

Когнитивті функциялар – адамның күнделікті өмірінде ақпаратты қабылдау, өңдеу, есте сақтау, зейін қою, тілді пайдалану, шешім қабылдау қабілеттерін қамтитын психикалық процестер.

Негізгі когнитивті функцияларға зейін, есте сақтау, тілді түсіну, қабылдау, ойлау және шешім қабылдау, орындаушылық функциялар жатады. Зейін функциясында адам санасы белгілі бір объектке немесе әрекетке бағытталады, сыртқы ортаның көптеген тітіркендіргіштердің арасынан қажеттісін іріктеп алып, соған назар аударуға мүмкіндік береді. Есте сақтау функциясында адам қабылданған ақпараттарды есте сақтайды және қажет болғанда қайта есіне түсіреді. Тілді түсіну және қолдану арқылы адам басқа адамдармен қарым-қатынас жасайды және коммуникативтік процестердің негізі болып табылады. Логикалық байланыстарды орнату, себеп-салдарларын түсіну, жаңа идеяларды өңдеп, жаңа шешімдер қабылдау процесінде ойлау функция-

сының арқасында орындалады. Сезім мүшелерінен келген ақпаратты қабылдау сыртқы әлемді тануға және оған бейімделуге мүмкіндік береді. Орындаушылық функциялары бойынша жоғары деңгейдегі когнитивті функциялар: жоспарлау, ұйымдастыру, бақылау процестері орындалады (Bialystok et al., 2012; Boag, 2019; Oberauer, 2019; Prezenski, 2017; Sridhar, 2023).

Адам жасының, аурулар мен күйзеліс жағдайлар когнитивті функцияларды нашарлатуы мүмкін. Бірақ жаттықтыру, белсенді өмір салтын сақтау арқылы бұл функцияларды жақсартуға мүмкіндіктер бар.

Жалпы денсаулық жағдайы ағзаның функционалды жүйелерінің қалыпты күйіндегі жұмысына тәуелді келеді, сонымен қатар когнитивті функциялармен тығыз байланыста болады. Сондықтан бұл зерттеуде теміртапшылықты анемия жалпы денсаулықтың бұзылуының бір көрінісі ретінде қарастырылды және жалпы денсаулық жағдайының өзгеруін модельдейтін фактор ретінде алынды.

Соңғы жылдары көптеген зерттеулер нейрофизиологиялық көрсеткіштер мен когнитивті функциялар арасында тығыз байланыстар болатынын анықтап жатыр. Соның ішінде электроцефалография көмегімен анықталған мидың электрлік белсенділігінің альфа (8-12 Гц) және тета (4-7 Гц) ырғақтарына ерекше көңіл аударуда. Бұл ырғақтар зейінді реттеуде, есте сақтау мен ақпаратты өңдеу процестерінде, когнитивті функцияларға дайындық күйін анықтауда маңызды рөл атқарады. Альфа ырғағы 8-12 Гц жиілік диапазонында адамның көзді жұмып, тыныш, сергек күйде болғанда байқалады. Зейінді бір нәрсеге шоғырлағанда немесе күйзеліс кезінде төмендейді (десинхронизация). Әртүрлі нейроридбек жаттығуларын орындау арқылы бұл ырғақты арттыруға болады, соның арқасында зейінді, есте сақтауды және эмоционалды тұрақтылықты жақсартуға болады. Тета ырғағы 4-7 Гц жиілік диапазонында адамның терең релаксация, армандау немесе ұйқының жеңіл кезеңдерінде байқалады. Сонымен қатар шығармашылық шабыт, елестету, интуитивтік ойлау кездерінде белсенді болады. Алайда, шамадан тыс белсенділіктің артуы когнитивті функцияларының баяулағанымен де байланысты болады (Raufi, 2022; Tan, 2024)

Вольфганг Климестің жасаған шолуында дені сау ересек қатысушылармен жүргізілген ЭЭГ-зерттеулерінің нәтижелері жүйеленген. Тыныштық күйде болған адамдарда альфа ыр-

ғағының қуаты тоникалық түрде жоғарылағаны және тета-белсенділігінің төмендеуі, ал когнитивті тапсырмаларды орындау кезінде альфа ырғағының десинхронизациясы (амплитуданың төмендеуі), ал тета ырғағының күшейетіні байқалған. Бұл өзгерістер зейін және жұмыс жады функцияларын орындау кезінде нейрондық желілер ресурстарының қайта бөлінуін сипаттайды, когнитивті белсенділіктің электрофизиологиялық маркері ретінде қолдануға болатынын көрсетеді (Klimesch, 1999).

Yunus Baugam әріптестерімен егде жастағы адамдардың тыныштық күйіндегі, физикалық жағдайындағы және когнитивтік функцияларды орындау кезіндегі электроэнцефалографиялық белсенділік көрсеткіштерінің арасындағы өзара байланысты зерттеді. Зерттеу нәтижелері бойынша тыныштық күйінде альфа ырғағының (8-12 Гц) қуатының төмендеуін когнитивтік жағдайының нашарлауымен байланыстырады. Сондай-ақ, тыныштық күйінде тета белсенділігінің (4-7 Гц) жоғарылауы когнитивтік төмендеудің белгілерімен, ақпараттарды өңдеу қабілетінің нашарлауымен байланыстылығын анықтады. Бұл нәтижелер қартаю кезінде клиникалық тұрғыда бұзылыстар байқалмай тұрғанда, нейрофизиологиялық өзгерістерді ерте анықтауға мүмкіндік тудырады (Baugam et al., 2024).

S. Hanslmaug әріптестерімен жасаған шолу еңбегінде әртүрлі жастағы адамдардың когнитивті функцияларының тета белсенділігімен (4-7 Гц) өзара байланысына арналған зерттеулердің нәтижелері жинақталған. Когнитивті тапсырмаларды (есте сақтау, зейін, атқарушы функцияларға арналған тапсырмалар) орындау кезінде тета ырғақ қуатының күшеюі анықталды, бұл когнитивтік бақылауды реттейтін нейрондық желілердің белсенділігінің жоғарылауымен сипатталады. Сонымен қатар авторлар қатысушылардың тыныштық күйінде тета ырғағының жоғарылауын когнитивтік функцияларының бұзылыстары мен зейіннің төмендеуімен байланысты екенін көрсетеді және нейродегенеративті өзгерістері болатын егде жастағы адамдарда байқалғанын атап өтеді. Шолуда тета- және альфа белсенділігінің арақатынасына ерекше назар аударылған, екі ырғақтың оңтайлы әрекеттесуі әртүрлі тапсырмаларды орындауда мидың бейімделген түрде жауап беретінін, когнитивтік бақылауды сақтау үшін маңызды рөл атқаратынын көрсетеді. Бұл ырғақтардың арасындағы қатынастың бұзылуы когнитивтік функцияларының төмендеуін және интеллектуалдық тапсыр-

маларды орындауының нашарлауы байқалады (Hanslmaуr, 2009; Hanslmaуr, 2016).

Когнитивті функциялар адамның барлық өмір салаларында маңызды рөл атқарады, олардың деңгейі әлеуметтік ортаға бейімделуді, кәсіби жетістіктерді, жалпы адамның өмір сапасын анықтайды. Когнитивті процестер барлық интеллектуалдық қызметтің жүзеге асуын қамтамасыз ететін механизмдер қоршаған ортаны қабылдау, оқу, қарым-қатынас жасау, шешім қабылдау және кәсіби әрекеттерінің негізінде жатыр.

Когнитивті функциялар онтогенез кезеңінде қалыптасады, табиғи (адамның жасы, оқып білім алуы) немесе патологиялық (әртүрлі аурулар, зақым тигізген жарақаттар) факторлардың әсерінен өзгеріске ұшырайды. Нейрогенеративті аурулар (Альцгеймер, Паркинсон аурулары), қан тамырлық әртүрлі бұзылыстар, метаболикалық өзгерістер (қан диабеті, анемия), созылмалы стресс және өмір салты когнитивтік бұзылыстарды тудырады.

Шизофрения кезіндегі когнитивті дефицитті анықтауға арналған деректерді жан-жақты зерттеген Schaefer және әріптестері когнитивті функциялардың бұзылыстары аурудың ең тұрақты және әмбебап көріністерінің бірі екенін көрсетеді. Бұл дефициттер зейін, жұмыс жады, ақпаратты өңдеу жылдамдығы мен орындау функцияларына әсер ететінін және аурудың кезеңдері мен өмір сүру салтына тәуелсіз сақталатынын атап өтеді (Schaefer et al., 2013).

Шизофрениясы бар ауруларға когнитивті оңалтудың тиімділігін бағалаған рандомизацияланған бақылаулы зерттеулердің метаанализін жүргізген Antonio Vita және әріптестері аурудың когнитивті функцияларына (зейінге, жадына, атқарушы функцияларына) да, сондай-ақ күнделікті өміріндегі тіршілігіне де статистикалық тұрғыдан мағыналы түрде жақсартатынын атап көрсетеді (Vita et al., 2021).

Клиникалық өзгерістер кезеңіне дейін, Альцгеймер ауруының ерте кезеңдерінде когнитивтік маркерлерін зерттеген E. Grober және әріптестері жадының және басқа да когнитивті функцияларының бұзылыстарын, әсіресе аздаған сілтеме берілгеннің өзінде есте сақтау айтарлықтай жақсармайтын жағдайларын анықтады. Бұл ерте нейродегенеративті процестерді сипаттайтын жадының бұзылысын зерттеу Альцгеймер ауруын анықтауға қолданатын скринингтік құрал ретінде қолдануды ұсынды (Grober et al., 2008).

Barker-Collo әріптестерімен insult болған адамдардың 5 жыл өткеннен кейінгі когнитивті

функцияларын зерттегенде аурулардың көбісінде когнитивтік бұзылыстарының, әсіресе ақпаратты өңдеу жылдамдығы мен орындау функцияларының тұрақты сақталатынын анықтады. Бұзылыстардың айқын көріністері insultтің ауырлығына, жасына, білім деңгейіне және қатар жүретін аурулардың болуына байланысты айтарлықтай өзгеретінін тұжырымдайды. Авторлар ұзақ мерзімді когнитивтік бұзылыстардың сақталуы жүргізілген оңалтудың нәтижелерін айтарлықтай нашарлататынын, өмір сапасын төмендететінін, аурулардың әлеуметтік көмекке мұқтаждығын арттыратынын атап көрсетеді. Сондықтан да ауруларға когнитивті мониторингті тек алғашқы айларда ғана емес, insultтан кейінде ұзақ жылдар бойы жүйелі түрде жүргізу керектігін ұсынады (Barker-Collo et al., 2010).

Паркинсон ауруы кезінде когнитивті бұзылыстарды анықтауға арнаған A.A. Davis жасаған шолу еңбегінде когнитивті дисфункция аурудың ең жиі және инвалидизациялаушы моторлық емес симптомдарының бірі екенін атап өтеді. Ауру кезінде ақпаратты өңдеу жылдамдығы, атқарушы функциялар, жұмыс жады, көру-кеңістіктік дағдылары және вербальды оқу функциялары бұзылатынын сипаттайды. Когнитивті бұзылыстар аурудың ерте кезеңдерінде басталып, олардың жеңіл когнитивті төмендеуден Паркинсон ауруына тән деменцияға дейін өршуіне өтетінін көрсетеді. Аурудың кейбіреулерінде атқарушы функциялары, кейбіреулерінде жады мен зейін бірінші болып бұзылатынын анықталды. Автор когнитивті бұзылыстардың нейробиологиялық механизмдерін зерттеп, маңдай-стриарлық желілердегі дофаминергиялық дисфункцияны, α -синуклеиннің патологиялық жиналуын, зейін мен оқу үдерістеріне әсер ететін холинергиялық жүйенің бұзылуын сипаттайды (Davis, 2016).

Анемия әлемде ең кең тараған патологиялардың бірі, көбінесе әйелдерде, балаларда, егде жастағы адамдарда жиі кездеседі. Қандағы гемоглобиндер мен эритроциттер деңгейінің төмендеуімен сипатталады, Қанда оттегінің жетіспеушілігінен болатын гипоксиядан жалпы ағзаның күрделі зардаптарына, соның ішінде когнитивті функциялардың төмендеуіне алып келеді. Анемия кезінде нейрондар оттегі тапшылығына ұшырайды, ал нерв жасушаларының араларындағы сигналдарды жеткізетін нейротрансмиттердің синтезіне қатысатын темір тапшылығынан когнитивтік бұзылыстар

туындайды. Анемия кезінде зейін қою қабілетінің төмендеуі, жадтың нашарлауы, ойлау үдерісінің баяулауы, ақпаратты өңдеу жылдамдығы мен шешім қабылдау қабілеттерінің өзгеруі, оқудағы қиындықтар, ашушандық пен жалпы шаршағыштық байқалады. Анемияның темір-тапшылық, В12 дәрумені тапшылығы, фолий қышқылының тапшылығы түрлері когнитивті функцияларға әртүрлі әсер етуі мүмкін. Анемиядан туындаған когнитивтік бұзылыстар өмір сүру сапасын айтарлықтай төмендетеді, күнделікті атқарып жүрген міндеттерін орындауында қиындықтарға ұшырайды, Бұл мәселелерді әсіресе егде жастағы адамдарда, жүкті әйелдерде, балаларда, созылмалы ауру түріне айналған адамдарда ескеру аса маңызды (Chaves, 2006; Donat-Vargas, 2023; East, 2021; Falkingham, 2010; Kung, 2021; McCann, 2020; Rosell-Díaz, 2024).

Темір-тапшылықты анемияның орталық жүйке жүйесіне гипоксиялық, нейромедиаторлық, миелиндік және оксидативті-қабыну механизмдерінің үйлесімі арқылы кешенді әсер ететіні анықталған. Темір тапшылығы мен когнитивтік тиімділіктің төмендеуі арасындағы байланысты балаларға, жасөспірімдерге және ересектерге жүргізген зерттеулер растайды. Темір-тапшылықты анемияны ерте диагностикалау және уақытында жасалатын түзетулер когнитивтік бұзылыстардың ауырлығын төмендетуге мүмкіндік береді. Ферритиннің шекті мәндерін, темір тапшылығының жеңіл түрлерінің әсерін және құрылымдық өзгерістердің қайтымдылық механизмдерін нақтылау үшін қосымша зерттеулер қажеттігі өзекті мәселелердің бірі болып тұр.

Зерттеудің мақсаты – жалпы денсаулық жағдайының өзгеріске ұшырауы кезінде (зерттеуге алынған темір-тапшылықты анемия моделі негізінде) мидың когнитивті функциялары мен ми биоэлектрлік белсенділіктерінің ерекшеліктерін зерттеу.

Зерттеуге алынған темір-тапшылықты анемия жағдайында ми қыртысының биоэлектрлік белсенділіктерінің өзгерістері болу керек, атап айтқанда альфа ырғағының реактивтілігінің төмендеуі және когнитивті жүктеме кезінде тета ырғағының салыстырмалы жоғарылауы күтіледі.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Зерттеу жұмысы әл-Фараби атындағы ҚазҰУ-ның Ми институтының ғылыми зерттеу зертханасында жүргізілді. Зерттеу жұмысын

жүргізуге жергілікті этикалық комитетінің рұқсаты алынды (ЖЭК119. Зерттеуге 20-25 жас аралығындағы 30 студент қатысты. Дені сау, ешқандай патологиялық аурулары мен зиянды әдеттері жоқ 15 студент бақылау тобына және темір-тапшылықты анемия диагнозы қойылған 15 студент тәжірибе тобына топтастырылды. Зерттеуге жыныстық айырмашылықтардың әсерін төмендету мақсатында тек әйел жынысты қатысушылар болды. Ықтимал аралас факторлардың әсерін төмендету мақсатында эксперимент алдында қалыпты ұйқы режимі сақталған, кофеинді қолданбаған, психоэмоциялық жүктемеден аулақ болған қатысушылар ғана алынды.

Мидың белсенділігін бағалау «10-20» халықаралық жүйесі бойынша 19 диагностикалық арнасы болатын «Нейронспектр-4» электроэнцефалография (ЭКГ) аспабында орындалды. ЭЭГ зерттеу әдісінде талдау үшін бас ми қыртысына «10-20» халықаралық жүйесі бойынша 16 электрод қолданылды. Бас ми қыртысында орналасуы бойынша: маңдай бөлігінен – Fp1, Fp2, F3, F4; самай бөлігінен – F7, F8, T3, T4, T5, T6; орталық бөлігінен – C3, C4; төбе бөлігінен – P3, P4; шүйде бөлігінен – O1, O2 электродтардан сигналдар тіркелді. Қалған арналар референттік және жерге қосу электродтары ретінде қолданылды, бұлар сигнал сапасын тұрақтандыруға және электрлік кедергілерді төмендетуге бағытталды.

Дені сау және темір-тапшылықты анемиямен ауыратын студенттердің когнитивті тапсырманы орындау алдында және когнитивті тапсырманы орындағаннан кейінгі ЭЭГ көрсеткіштері тіркеліп, спектральды және корреляциялық сараптамасы жүргізілді. Спектральды талдау стандартты жиілік диапазондары (альфа ырғағы 8-13 Гц, тета ырғағы 4-7 Гц) бойынша орындалды.

ЭЭГ тіркелген сигналдары алдын ала өңдеуден өткізілді, артефакттарды жою мақсатында визуалды талдау және фильтрация әдістері қолданылды. Көз жыпылықтау, бұлшықет белсенділігі, қозғалысқа байланысты бұзылыстар анықталып, талдаудан шығарылды.

Зерттеуде функционалдық байланыстылықты бағалау үшін кросс-корреляциялық талдау қолданылды, бұл нейрондық желілер арасындағы өзара байланыстарының жалпы сипаттамасын анықтауға мүмкіндік береді.

Қатысушылар когнитивті тапсырма ретінде берілетін көпорынды саннан тұрақты мәнді шегеруді және шыққан мәндерден сол тұрақты мәнді қайталай отырып шегеруді талап ететін ментальды есептеу тапсырмасын 5 минут бо-

йында орындайды. Бұл тапсырма когнитивті жүктемені беруге, жұмыс жадысы мен зейін процестерін белсендіруге бағытталған эксперименттік модель болып табылады.

Алынған мәліметтер SPSS бағдарламасында өңделді, статистикалық сенімділік Стьюденттің t-критерийі бойынша анықталды.

Зерттеу нәтижелері және оларды талдау

Теміртапшылықты анемия ағзаның жалпы функционалдық бұзылыстардың бір моделі ретінде қарастырылып алынды. Жалпы денсаулық жағдайының өзгеруі когнитивті функциялар мен нейрондық белсенділікке әсері болатыны алынған нәтижелерде анықталды.

Теміртапшылықты анемия оттегіні тасымалдау және нейрометаболикалық процестер арқылы нейрофизиологиялық өзгерістермен байланысты болуы мүмкін. Бұл зерттеуде анемияның биохимиялық сипаттамаларын сандық бағалауға емес, оның ми қызметіндегі функционалдық көріністерін, биоэлектрлік белсенділігі мен когнитивті процестердегі өзгерістерді зерттеуге бағытталды. Сондай-ақ бұл тәсіл орталық жүйке жүйесінің функционалдық күйіндегі өзгерістерді тікелей бағалауға мүмкіндік береді. Сондықтанда алынған нәтижелер нейрофизиологиялық деңгейде қарастырылып, ми қызметінің функционалдық ұйымдасу ерекшеліктері түрғысынан интерпретацияланды.

Теміртапшылықты анемия ми қызметіне әсер ететін фактор ретінде қарастырылады және оттегіні тасымалдау мен нейрометаболикалық процестер арқылы нейрофизиологиялық өзгерістермен байланысты болуы мүмкін.

Алайда, берілген зерттеу анемияның биохимиялық сипаттамаларын сандық бағалауға емес, оның ми қызметіндегі функционалдық көріністерін, атап айтқанда биоэлектрлік белсенділік пен когнитивті процестердегі өзгерістерді зерттеуге бағытталды. Бұл тәсіл орталық жүйке жүйесінің функционалдық күйіндегі өзгерістерді тікелей бағалауға мүмкіндік береді.

Осыған байланысты алынған нәтижелер нейрофизиологиялық деңгейде қарастырылып, ми қызметінің функционалдық ұйымдасу ерекшеліктері түрғысынан интерпретацияланды.

Зерттеуге әр топтан алынған 15 қатысушы болды, бұл зерттеудің пилоттық сипатын ескере отырып, алынған нәтижелер бойынша зерттелетін нейрофизиологиялық өзгерістердің жалпы үрдістерін сипаттауға мүмкіндік береді.

Денсаулықтың когнитивті функцияға әсерін бақылау мақсатында зерттеуге дені сау және теміртапшылықты анемиясы бар студенттер қатысты. Қатысушыларды екі топқа, дені сау және теміртапшылықты анемиясы бар топтарына топтастырылды. Екі топтағы студенттердің когнитивті тапсырмаларды орындауға дейінгі және когнитивті тапсырмаларды орындағаннан кейінгі мидың биоэлектрлік белсенділігі анықталды. Мидың биоэлектрлік белсенділігі электроэнцефалография әдісімен бағаланды және когнитивті функциялармен тығыз байланыста болатын альфа және тета ырғақтары зерттелді. Тербеліс жиілігі 8-13 Гц аралығындағы диапазонда жатқан альфа ырғағы қалыпты жағдайда тыныш көзді жұмып, сергек отырғанда ми қыртысының төбе және шүйде аймақтарында байқалады. Ал, 4-7 Гц аралығымен сипатталатын тета ырғағы қалыпты жағдайда ұйқының бастапқы сатыларында ми белсенділігінің синхрондалуын көрсетеді. Когнитивті тапсырмаларды орындау кезінде альфа ырғағы назарды реттеу мен қажетсіз сенсорлық ақпараттарды тежеу процестерімен, ал тета ырғағы маңдай қыртысындағы нейрондық желілердің жұмыс жадысы мен ішкі ақпаратты өңдеуде синхрондалуын сипаттайды.

Когнитивті тапсырманың ми биоэлектрлік белсенділігіне әсерін зерттеу кезінде стандартталған хаттама бойынша бірнеше функционалдық кезеңдердегі электроэнцефалограмма (ЭЭГ) тіркелді. Когнитивті тапсырмаға дейінгі кезеңде (pre-task) тыныш сергектік күйінде отырған екі топтағы қатысушылардың фондық режимдегі, көзді ашу және көзді жұму жағдайларындағы ЭЭГ тіркелді. Фондық режим мидың тыныш сергектік жағдайындағы базалық функционалдық күйін және зерттелетін ырғақтардың бастапқы деңгейін анықтауға арналған эталон болып саналады. Зерттеуге алынған екі топтың бастапқы нейрофизиологиялық айырмашылықтары бағаланды. Көзді ашу жағдайында сенсорлық белсену күйінде мидың функционалдық реактивтілігі, альфа ырғағының десинхронизациясы мен тета ырғағының ерекшеліктері анықталды. Көзді жұму жағдайында кортикалдық нейрондардың синхронизациясының күшеюі, альфа ырғағының қайта пайда болуы және тета белсенділігінің ерекшеліктері айқындалды. Бұл зерттеулерден кейін қатысушылар жұмыс жадысы мен зейін процестерін белсендіруге арналған жоғары когнитивті жүктеме ретінде 5 минуттық менталды есеп шығару тапсырмасын орындайды. Когни-

тивті тапсырмадан кейінгі кезеңде (post-task) тек көзді ашу және көзді жұму жағдайларында ЭЭГ қайта тіркелді. Когнитивті тапсырмадан кейін альфа және тета ырғақтарының динамикасы, мидың функционалдық реактивтілігі, нейрондық синхронизацияның қалпына келу ерекшеліктері анықталды. Когнитивті тапсырмадан кейін фондық жазба тіркелмеді және зерттеу дизайнының ерекшелігі ретінде қарастырылып, нәтижелерді интерпретациялау кезінде ескерілді (Mustafin, 2024).

Зерттеу барысында алынған мәліметтерге спектральды және корреляциялық талдау жұмыстары жүргізілді. Зерттеуде бірнеше параметрлер бойынша салыстыру жүргізіледі, сондықтан алынған нәтижелер зерттеудің пилоттық сипатын ескере отырып кешенді түрде интерпретацияланды. Спектральды талдау стандартты жиілік диапазонында негізінде жүргізілді. Бұл топтар арасындағы салыстырмалы талдауды қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Жеке альфа жиілігін ескеру спектральды талдаудың дәлдігін арттыруы мүмкін, болашақ зерттеулерде қарастырылатын бағыттардың бірі болып табылады.

Мәліметтердің спектральды талдауында зерттеуге алынған ырғақтардың орташа қуат, толық қуат, мода және индекс көрсеткіштері анықталды. Орташа қуат – зерттелетін жиілік диапазонында алынған спектрлік қуат мәндерінің орташа шамасын көрсетеді және осы диапазонда мидың электрлік белсенділігінің орташа деңгейін сипаттайды. Толық қуат – зерттелетін жиілік диапазонындағы қуат спектрі графигінің

астындағы жалпы аудан мөлшерін бейнелейді және осы диапазонда жинақталған ми белсенділігінің жалпы энергиясын сипаттайды. Мода көрсеткіші – спектрлік қуат мәндеріндегі ең жиі кездесетін мән және зерттелетін жиілік диапазонындағы басым болған қуат деңгейін көрсетеді. Бұл көрсеткішті орташа арифметикалық мәнмен шатастыруға болмайды, өйткені мода ең жиі байқалатын нақты мәнді анықтайды. Индекс – бас миының жалпы электрлік белсенділігінде зерттелетін жиілік диапазонының үлесін анықтайды. Зерттелетін жиілік диапазонындағы спектрлік қуаттың барлық жиілік диапазонындағы спектрлік қуатқа қатынасы бойынша анықталады және пайызбен өрнектеледі. Осы көрсеткіш бойынша басымдылық көрсеткен ырғақты анықтауға болады.

Корреляциялық талдауда бас ми қыртысының әртүрлі аймақтарында орналастырылған электродтардың бір-бірімен функционалдық өзара корреляциялық байланысы талданды. Корреляциялық талдаудың түрлерінен кросс-корреляциялық талдау қолданылды, екі ЭЭГ сигналдар арасындағы синхрондалу дәрежесі, олардың уақыт бойынша үйлесімділігі және ми қыртысының әртүрлі аймақтарындағы нейрон белсенділігінің өзара байланысы анықталды.

1-кестеде дені сау және теміртапшылықты анемиясы бар студенттердің когнитивті тапсырманы орындау алдындағы ЭЭГ альфа ырғағының спектральды көрсеткіштері берілген және көрсеткіштер бойынша топтар арасында айырмашылықтар байқалды.

1-кесте

Дені сау және теміртапшылықты анемиясы бар студенттердің когнитивті тапсырманы орындау алдындағы ЭЭГ альфа ырғағының спектральды көрсеткіштері

Спектральды көрсеткіштер	топ	N-жалпы саны	Орташа мәні	Орташа кв. ауытқуы	Орташа мәннің орташа кв. қателігі	p
Фон, орташа қуат альфа (мкВ ² /Гц)	Дені сау	15	2,612	0,561	0,324	0,180
	Анемия	15	1,254	0,221	0,127	
Фон, толық қуат альфа (мкВ ² /Гц)	Дені сау	15	6,104	2,036	1,175	0,750
	Анемия	15	6,577	1,102	0,636	
Фон, мода альфа (Гц)	Дені сау	15	8,530	0,075	0,043	0,430
	Анемия	15	8,485	0,048	0,027	
Фон, индекс альфа (%)	Дені сау	15	18,452	0,667	0,385	0,360
	Анемия	15	17,104	2,182	1,260	
К.А., орташа қуат альфа (мкВ ² /Гц)	Дені сау	15	0,667	0,477	0,275	0,550
	Анемия	15	0,482	0,097	0,056	

Спектральды көрсеткіштер	топ	N-жалпы саны	Орташа мәні	Орташа кв. ауытқуы	Орташа мәннің орташа кв. қателігі	P
К.А., толық қуат альфа (мкВ ² /Гц)	Дені сау	15	8,182	1,463	0,844	0,040*
	Анемия	15	3,965	1,877	1,084	
К.А., мода альфа (Гц)	Дені сау	15	8,365	0,067	0,039	0,480
	Анемия	15	8,290	0,153	0,088	
К.А., индекс альфа (%)	Дені сау	15	7,625	1,837	1,061	0,800
	Анемия	15	7,147	2,516	1,453	
К.Ж., орташа қуат альфа (мкВ ² /Гц)	Дені сау	15	1,915	1,800	1,039	0,630
	Анемия	15	2,614	1,562	0,901	
К.Ж., толық қуат альфа (мкВ ² /Гц)	Дені сау	15	5,248	0,863	0,498	0,440
	Анемия	15	6,167	1,590	0,917	
К.Ж., мода альфа (Гц)	Дені сау	15	8,640	0,116	0,067	0,110
	Анемия	15	8,410	0,156	0,090	
К.Ж., индекс альфа (%)	Дені сау	15	27,597	3,344	1,931	0,190
	Анемия	15	23,529	3,058	1,765	

Ескерту: * – анемия тобын бақылау тобымен салыстырғандағы Стьюденттің t-критерийі бойынша статистикалық сенімділік, $p < 0,05$. К.А. – көзді ашу; К.Ж. – көз жабу.

Спектральды көрсеткіштері фондық режимде, көзді ашу және көзді жұму жағдайларында екі топ аралығында салыстырмалы түрде көрсетілген. Фондық режимде альфа ырғағының орташа қуаты теміртапшылықты анемиясы бар топпен (1,254 мкВ²/Гц) салыстырғанда дені сау топта (2,612 мкВ²/Гц) жоғары, бірақ бұл айырмашылық статистикалық сенімділікті ($p=0,180$) бермеді. Фондық режимдегі альфаның толық қуаты, мода жиілігі, индексі бойынша екі топ арасында айтарлықтай айырмашылық ($p > 0,05$) байқалмады. Бұл көрсеткіштер бойынша когнитивті тапсырмаға дейін базалық фондық жағдайда альфаның биоэлектрлік белсенділігі екі топта салыстырмалы түрде сақталғанын көрсетеді.

Көзді ашу жағдайында альфа ырғағының толық қуаты дені сау топпен (8,182 мкВ²/Гц) салыстырғанда анемиясы бар топта (3,965 мкВ²/Гц) статистикалық сеніммен ($p=0,040$) төмендеген. Теміртапшылықты анемиясы бар топтағы студенттердің ми қыртысының сенсорлық белсену кезінде альфа диапазонында энергияның төмендегені және кортикалдық десинхронизация процестерінің әлсірегені байқалады. Ал, альфа ырғағының орташа қуаты, мода жиілігі мен альфа индексі бойынша екі топ арасында статистикалық сенімді түрде байқалатын айырмашылық болмады ($p > 0,05$).

Көзді жұму жағдайында дені сау топпен салыстырғанда теміртапшылықты анемиясы бар топта орташа және толық қуат көрсеткіштері жоғары мәндерді көрсетті, алайда бұл өзгерістер статистикалық сенімді түрде расталмады ($p > 0,05$). Мода жиілігі мен индекс көрсеткіштері бойынша екі топта айырмашылық болмады, көзді жұму жағдайында альфа ырғағының синхронизациясының механизмі екі топта бұзылмағанын сипаттайды.

Сонымен, когнитивті тапсырманы орындау алдындағы кезеңде альфа ырғағының фондық режимдегі және көзді жұму жағдайындағы спектральды көрсеткіштері салыстырмалы түрде екі топта ұқсас келді. Ал, көзді ашу жағдайында альфаның толық қуаты бойынша статистикалық сенімді түрде анықталған өзгеріс теміртапшылықты анемия тобында ми қыртысының функционалдық реактивтілігінің төмендегенін және сенсорлық белсену кезінде нейрондық белсенділіктің азайғанын көрсетеді.

Альфа ырғағы тыныш сергектік күйімен, кортикалдық тежелу механизмдерімен, сенсорлық ақпаратты өңдеумен байланысты. Зертеудің фондық жағдайында альфа ырғағы екі топта салыстырмалы түрде сақталды, ал көзді ашу кезінде теміртапшылықты анемиясы бар топта салыстырмалы түрде толық қуаты төмендеді. Бұл сенсорлық активация кезінде қыртыстық реак-

тивтіліктің және функционалдық бейімделудің өзгергенін көрсетеді.

2-кестеде дені сау және теміртапшылықты анемиясы бар студенттердің когнитивті тапсыр-

маны орындағаннан кейінгі ЭЭГ альфа ырғағының спектральды көрсеткіштері көзді ашу және көзді жұму жағдайларында салыстырмалы түрде көрсетілген.

2-кесте

Дені сау және теміртапшылықты анемиясы бар студенттердің когнитивті тапсырманы орындағаннан кейінгі ЭЭГ альфа ырғағының спектральды көрсеткіштері

Спектральды көрсеткіштер	топ	N-жалпы саны	Орташа мәні	Орташа кв. ауытқуы	Орташа мәнің орташа кв. қателігі	P
К.А., орташа қуат альфа (мкВ ² /Гц)	Дені сау	15	0,622	0,458	0,264	0,800
	Анемия	15	0,700	0,179	0,103	
К.А., толық қуат альфа (мкВ ² /Гц)	Дені сау	15	3,612	2,706	1,562	0,830
	Анемия	15	3,999	1,002	0,578	
К.А., мода альфа (Гц)	Дені сау	15	8,410	0,178	0,103	0,360
	Анемия	15	8,295	0,070	0,040	
К.А., индекс альфа (%)	Дені сау	15	6,972	0,700	0,404	0,022*
	Анемия	15	8,927	0,610	0,352	
К.Ж., орташа қуат альфа (мкВ ² /Гц)	Дені сау	15	1,434	1,701	0,982	0,650
	Анемия	15	2,069	1,512	0,873	
К.Ж., толық қуат альфа (мкВ ² /Гц)	Дені сау	15	2,405	0,388	0,224	0,230
	Анемия	15	3,690	1,555	0,898	
К.Ж., мода альфа (Гц)	Дені сау	15	8,485	0,294	0,170	0,500
	Анемия	15	8,365	0,112	0,065	
К.Ж., индекс альфа (%)	Дені сау	15	32,785	2,246	1,296	0,005*
	Анемия	15	18,806	3,373	1,947	

Ескерту: * – анемия тобын бақылау тобымен салыстырғандағы Стьюденттің t-критерийі бойынша статистикалық сенімділік, $p < 0,05$. К.А. – көзді ашу; К.Ж. – көз жабу.

Когнитивті тапсырманы орындағаннан кейін көзді ашу жағдайында альфа ырғағының орташа қуат, толық қуат, мода жиілігі бойынша екі топ арасында статистикалық сенімді түрде анықталған айырмашылық болмады ($p > 0,05$). Бұл екі топта жалпы энергия деңгейінің ұқсастығын көрсетеді. Бірақ, альфа индексі бойынша көрсеткіштер дені сау топпен (6,972 %) салыстырғанда теміртапшылықты анемиясы бар топта (8,927 %) статистикалық сенімді түрде жоғарылаған ($p = 0,022$). Бұл когнитивті тапсырмадан кейін сенсорлық белсену күйінде альфа белсенділігінің салыстырмалы түрде жоғары сақталғанын, кортикалдық десинхронизацияның толық орындалмай әлсірегенін көрсетеді.

Когнитивті тапсырманы орындағаннан кейінгі көзді жұму жағдайында да альфа ырғағының орташа қуат, толық қуат және мода жиі-

лігі бойынша көрсеткіштер екі топ арасында статистикалық сенімді түрде айырмашылықтар байқалмады ($p > 0,05$). Алайда, альфа индексі бойынша дені сау топта айтарлықтай жоғары мәні (32,785 %), анемиясы бар топта төмендеген мәні (18,806 %) тіркелді. Бұл айырмашылық статистикалық сенімді түрде расталып отыр ($p = 0,005$) және дені сау топта альфа ырғағының қалпына келу процесі тиімді жүргенін, ал анемиясы бар топта кортикалдық синхронизациясы жеткіліксіз қалыптасатынын көрсетеді.

Сонымен, когнитивті тапсырманы орындағаннан кейінгі альфа ырғағының орташа қуат, толық қуат, мода жиілігі бойынша екі топта айырмашылықтар тіркелмеді. Ал, альфа индексі бойынша көзді ашу және көзді жұму жағдайларында екі топ арасында өзгерістер байқалды, яғни функционалдық ерекшеліктері анықталды.

Когнитивті тапсырманы орындағаннан кейін теміртапшылықты анемиясы бар топта мидың функционалдық реактивтілігі және қалпына келу механизмдерінің бұзылысқа ұшырағанын көрсетеді.

Когнитивті тапсырманы орындағанға дейін лени сау және теміртапшылықты анемиясы бар топтарда ЭЭГ-ның тета ырғағының спектральды көрсеткіштері 3-кестеде салыстырмалы түрде көрсетілген.

Фондық режим жағдайында тета ырғағының орташа қуат, толық қуат, мода жиілігі, индекс көрсеткіштері бойынша екі топта статистикалық сенімді түрде растайтын айырмашылықтар анықталмады ($p > 0,05$). Бұл когнитивті тапсырмаға дейін сергектік күйіндегі екі топтың спектральды көрсеткіштерінің салыстырмалы түрде ұқсастығын көрсетеді.

Көзді ашу жағдайында топтар арасында тета ырғағының орташа қуат, толық қуат, мода жиілігі бойынша көрсеткіштеріндегі айырмашылықтар статистикалық сенімді түрде расталмады ($p > 0,05$), ал тета индексі бойынша айырмашылық статистикалық сенімді түрде анықталды ($p = 0,002$), бұл мәнді айырмашылық топтар арасындағы айыр-

машылықтың айқын көрінісі және оны жалпы нәтижелер контекстінде қарастыру қажет. Дені сау топпен (16,437 %) салыстырғанда анемиясы бар топта (11,945 %) тета индексі төмендеген, яғни дені сау топта сенсорлық белсендіру жағдайында тета ырғағының жоғарылаған белсенділігі байқалса, теміртапшылықты анемиясы бар топта когнитивті реттеуші нейрондық желілердің базальдык белсенділігі төмендеген.

Көзді жұму жағдайында топтар арасында тета ырғағының барлық спектральды көрсеткіштерінде байқалған айырмашылықтар статистикалық сенімді түрде расталмады ($p > 0,05$).

Сонымен, когнитивті тапсырманы орындағанға дейін тета ырғағының спектральды көрсеткіштері фондық режимде және көзді жұму жағдайында екі топта салыстырмалы түрде сақталған. Көзді ашу жағдайында орташа қуат, толық қуат, мода жиілігі екі топта салыстырмалы түрде сақталғанымен, тета индексі бойынша анықталған айырмашылық расталды және бұл сенсорлық белсену кезінде анемиясы бар топта жұмыс жадысы мен атқарушы бақылауға қатысатын нейрондық жүйелердің функционалдық деңгейінің төмендегенін көрсетеді.

3-кесте

Дені сау және теміртапшылықты анемиясы бар студенттердің когнитивті тапсырманы орындау алдындағы ЭЭГ тета ырғағының спектральды көрсеткіштері

Спектральды көрсеткіштер	топ	N-жалпы саны	Орташа мәні	Орташа кв. ауытқуы	Орташа мәннің орташа кв. қателігі	p
Фон, орташа қуат тета (мкВ ² /Гц)	Дені сау	15	2,864	0,775	0,447	0,175
	Анемия	15	1,866	0,707	0,408	
Фон, толық қуат тета (мкВ ² /Гц)	Дені сау	15	3,734	0,307	0,177	0,346
	Анемия	15	3,155	0,886	0,511	
Фон, мода тета (Гц)	Дені сау	15	4,453	0,351	0,203	0,783
	Анемия	15	4,385	0,185	0,106	
Фон, индекс тета (%)	Дені сау	15	16,289	4,210	2,430	0,666
	Анемия	15	14,791	3,647	2,105	
К.А., орташа қуат тета (мкВ ² /Гц)	Дені сау	15	1,466	0,396	0,228	0,202
	Анемия	15	1,861	0,210	0,121	
К.А., толық қуат тета (мкВ ² /Гц)	Дені сау	15	6,450	0,623	0,359	0,419
	Анемия	15	6,967	0,774	0,447	
К.А., мода тета (Гц)	Дені сау	15	4,166	0,145	0,083	0,487
	Анемия	15	4,239	0,078	0,045	
К.А., индекс тета (%)	Дені сау	15	16,437	0,697	0,402	0,002*
	Анемия	15	11,945	0,746	0,430	

Спектральды көрсеткіштер	топ	N-жалпы саны	Орташа мәні	Орташа кв. ауытқуы	Орташа мәннің орташа кв. қателігі	p
К.Ж., орташа қуат тета (мкВ ² /Гц)	Дені сау	15	1,817	1,343	0,775	0,709
	Анемия	15	2,212	1,053	0,608	
К.Ж., толық қуат тета (мкВ ² /Гц)	Дені сау	15	4,151	0,539	0,311	0,078
	Анемия	15	2,204	1,329	0,767	
К.Ж., мода тета (Гц)	Дені сау	15	4,312	0,192	0,110	0,917
	Анемия	15	4,328	0,150	0,087	
К.Ж., индекс тета (%)	Дені сау	15	15,652	1,521	0,878	0,057
	Анемия	15	12,418	1,469	0,848	

Ескерту: * – анемия тобын бақылау тобымен салыстырғандағы Стьюденттің t-критерийі бойынша статистикалық сенімділік, p<0,05. К.А. – көзді ашу; К.Ж. – көз жабу.

Когнитивті тапсырманы орындағаннан кейін екі топтың тета ырғағының спектральды көрсеткіштері бойынша көзді ашу және көзді жұму жағдайларында зерттелген салыстырмалы мәліметтері 4-кестеде берілген. Көзді ашу және көзді жұму жағдайларында орташа қуат пен мода жиілігі бойынша көрсеткіштеріндегі айыпсашылықтар статистикалық сенімді бермеді (p>0,05), толық қуаты мен тета индексі бойынша дені сау топпен салыстырғанда анемиясы бар топта жоғарылаған мәндері статистикалық сеніммен анықталды.

Көзді ашу жағдайында толық қуат дені сау топта 5,547 мкВ²/Гц тең болса, анемиясы бар топта 11,480 мкВ²/Гц статистикалық сеніммен жоғарылаған (p=0,001). Тета индексі дені сау топта 11,687 % көрсетсе, анемиясы бар топта 17,287 % айтарлықтай жоғары болғаны статистикалық сеніммен расталды (p=0,041). Бұл мәліметтер когнитивті тапсырмадан кейін сенсор-

лық белсену жағдайында тета диапазонының нейрондық белсенділігі күшейгенін көрсетеді.

Көзді жұму жағдайында толық қуат дені сау топта 4,977 мкВ²/Гц мәніне тең болды, анемиясы бар топта 9,428 мкВ²/Гц жоғары мәні статистикалық сеніммен анықталды (p=0,021). Тета индексі дені сау топпен (12,643 %) салыстырғанда анемиясы бар топта (23,856 %) екі есеге жуық жоғары мәнімен статистикалық сеніммен айқындалды (p=0,002).

Сонымен, когнитивті тапсырманы орындағаннан кейін дені сау топта маңдай аймақтарымен байланысты болатын тета ырғағының белсенділігі төмен мәндерді көрсетуі нейрондық қалпына келуі тиімді жүретінін көрсетеді. Ал, толық қуаты мен индекс көрсеткіштерінің темір-тапшылықты анемиясы бар топта жоғарылауы жұмыс жадысы мен атқарушы бақылауға түсетін нейрондық жүктеменің артуынан шамадан тыс күшеюі байқалады.

4-кесте

Дені сау және теміртапшылықты анемиясы бар студенттердің когнитивті тапсырманы орындағаннан кейінгі ЭЭГ тета ырғағының спектральды көрсеткіштері

Спектральды көрсеткіштер	топ	N-жалпы саны	Орташа мәні	Орташа кв. ауытқуы	Орташа мәннің орташа кв. қателігі	p
К.А., орташа қуат тета (мкВ ² /Гц)	Дені сау	15	1,492	0,188	0,108	0,059
	Анемия	15	2,267	0,476	0,275	
К.А., толық қуат тета (мкВ ² /Гц)	Дені сау	15	5,547	0,679	0,392	0,001*
	Анемия	15	11,480	0,900	0,519	
К.А., мода тета (Гц)	Дені сау	15	4,203	0,093	0,054	0,707
	Анемия	15	4,239	0,125	0,072	

Спектральды көрсеткіштер	топ	N-жалпы саны	Орташа мәні	Орташа кв. ауытқуы	Орташа мәннің орташа кв. қателігі	p
К.А., индекс тета (%)	Дені сау	15	11,687	0,368	0,212	0,041*
	Анемия	15	17,287	3,237	1,868	
К.Ж., орташа қуат тета (мкВ ² /Гц)	Дені сау	15	1,334	0,552	0,318	0,368
	Анемия	15	1,979	0,953	0,550	
К.Ж., толық қуат тета (мкВ ² /Гц)	Дені сау	15	4,977	2,089	1,206	0,021*
	Анемия	15	9,428	0,230	0,133	
К.Ж., мода тета (Гц)	Дені сау	15	4,276	0,134	0,077	0,242
	Анемия	15	4,427	0,134	0,077	
К.Ж., индекс тета (%)	Дені сау	15	12,643	1,402	0,809	0,002*
	Анемия	15	23,856	2,271	1,311	

Ескерту: * – анемия тобын бақылау тобымен салыстырғандағы Стьюденттің t-критерийі бойынша статистикалық сенімділік $p < 0,05$. К.А. – көзді ашу; К.Ж. – көз жабу.

Тета ырғағы когнитивті процестермен тығыз байланысты, атап айтқанда жұмыс жадысы мен когнитивті бақылауда маңызды рөл атқарады. Сондықтанда, тета ырғағының өзгерістері нейрондық желілердің функционалдық белсенділігінің өзгеруімен және когнитивті жүктемеге бейімделу механизмдерімен байланысты болуы мүмкін. Когнитивті тапсырмаға дейін және кейін байқалған айырмашылықтар нейрондық желілердің функционалды қайта ұйымдасуын және компенсаторлық механизмдердің іске қосылуын сипаттайды.

Спектральды талдау нәтижесінде когнитивті тапсырманы орындауға дейін альфа және тета ырғақтарының фондық режимде және көзді жұму жағдайында дені сау және теміртапшылықты анемиясы бар топтарда статистикалық сеніммен айырмашылықтар болмады, бұл мидың базалық биоэлектрлік белсенділігі салыстырмалы түрде сақталғанын көрсетеді. Көзді ашу жағдайында альфа ырғағының толық қуаты және тета индексі дені сау топта жоғары, анемиясы бар топта төмендегені статистикалық сеніммен анықталды. Бұл сенсорлық белсену кезінде анемиясы бар топта кортикалдық реактивтіліктің бастапқы деңгейде төмендегенін және теміртапшылығына байланысты мидың функционалдық резервтерінің шектеулі екенін көрсетеді.

Когнитивті тапсырманы орындағаннан кейін альфа және тета ырғақтарының динамикасында өзгерістер байқалды. Анемиясы бар топта альфа ырғағының индексі дені сау топпен салыстырғанда статистикалық сеніммен көзді ашу жағдайында жоғарылауы және көзді жұму жағдайында төмендеуі альфа десинхронизациясының толық қалыптаспағанын және функционалдық қалпына келудің жеткіліксіз болып, әлсірегенін растайды. Ал, дені сау топта көзді жұму жағдайында альфа индексінің жоғарылауы когнитивті тапсырманы орындаудан кейін кортикалдық синхронизациясының айқын қалпына келуін сипаттайды. Когнитивті тапсырмадан кейін тета ырғағының дені сау топта салыстырмалы тұрақтылығы немесе төмен деңгейде сақталуы нейрондық желілердің тиімді бейімделу мен қалпына келу процестерінің қалыпты орындалатынын көрсетеді. Анемиясы бар топта көзді ашу және көзді жұму жағдайларында тета ырғағының толық қуаты мен индексінің статистикалық сеніммен жоғарылауы жұмыс жадысы мен атқарушы бақылау жүйелеріне түсетін нейрондық жүктеменің артқанын және ақпаратты өңдеу үшін қосымша нейрондық ресурстардың тартылатынын көрсетеді.

Бұл өзгерістер теміртапшылықты анемия кезінде туындайтын созылмалы ұлпалық гипоксиялық және нейрометаболикалық механизмдердің бұзылғанымен түсіндіріледі. Өйткені, темір тек гемоглобин синтезіне ғана емес, сонымен бірге митохондриялық тыныс тізбегінің ферменттеріне, цитохромдар мен нейротрансмиттер синтезіне де маңызды элемент. Темір жетіспеушілігінен оттегіні жеткізу мен пайдалану төмендейді, нейрондарда АТФ түзілуі шектеледі, ал ол өз кезегінде когнитивті жүктеме кезінде нейрондық желілердің тиімді жұмыс жасауын төмендетеді. Сондықтанда теміртапшылықты анемиясы бар топта когнитивті тап-

Бұл өзгерістер теміртапшылықты анемия кезінде туындайтын созылмалы ұлпалық гипоксиялық және нейрометаболикалық механизмдердің бұзылғанымен түсіндіріледі. Өйткені, темір тек гемоглобин синтезіне ғана емес, сонымен бірге митохондриялық тыныс тізбегінің ферменттеріне, цитохромдар мен нейротрансмиттер синтезіне де маңызды элемент. Темір жетіспеушілігінен оттегіні жеткізу мен пайдалану төмендейді, нейрондарда АТФ түзілуі шектеледі, ал ол өз кезегінде когнитивті жүктеме кезінде нейрондық желілердің тиімді жұмыс жасауын төмендетеді. Сондықтанда теміртапшылықты анемиясы бар топта когнитивті тап-

сырманы орындағаннан кейін альфа синхронизациясының толық қалпына келмеуінен мидың тежелу және қалпына келу механизмдерінің әлсірегені, ал тета ырғағының шамадан тыс артуы нейрондық реттеудің компенсаторлық, бірақ тиімсіздігін көрсетеді. Бұл когнитивті шаршаудың тез дамуына және жұмыс жадысы мен зейіннің тұрақсыздығын тудырады.

Корреляциялық талдаудың түріне жататын кросс-корреляциялық талдауда екі электродтан тіркелген сигналдардың арасындағы сызықтық байланыстың күшін бағалау мақсатында кросс-корреляциялық коэффициент қолданылды. Бұл нормаланған коэффициент +1,0 (сигналдардың

толық сәйкестігі) және -1,0 (фазасы қарама-қарсы, теріс корреляция) аралығын сипаттайды, Нөлге тең саны бағаланатын сигналдар арасында ұқсастықтың немесе сызықтық байланыстың жоқтығын көрсетеді.

Корреляциялық талдау FP1-C3, C3-O1, FP2-C4, C4-O2, FP1-T3, T3-O1, FP2-T4, T4-O2 электрод тарамдары арасында орындалды. Бұл тарамдар маңдай, орталық, самай, шүйде аймақтарының функционалдық байланыстарын анықтауға арналған.

5-кестеде дені сау және теміртапшылықты анемиясы бар топтардың кросс-корреляциялық көрсеткіштері салыстырмалы түрде берілген.

5-кесте

Дені сау және теміртапшылықты анемиясы бар студенттердің ЭЭГ корреляциялық көрсеткіші

Электрод	топ	N-жалпы саны	Кросс-корреляция коэффициенті	Орташа ауытқу	p
FP1-C3	Дені сау	15	0,641	0,023	0,001*
	Анемия	15	0,454	0,016	
C3-O1	Дені сау	15	0,765	0,019	0,180
	Анемия	15	0,787	0,012	
FP2-C4	Дені сау	15	0,658	0,024	0,027*
	Анемия	15	0,545	0,043	
C4-O2	Дені сау	15	0,746	0,050	0,913
	Анемия	15	0,750	0,037	
FP1-T3	Дені сау	15	0,561	0,003	0,008*
	Анемия	15	0,420	0,029	
T3-O1	Дені сау	15	0,746	0,044	0,030*
	Анемия	15	0,628	0,019	
FP2-T4	Дені сау	15	0,559	0,032	0,010*
	Анемия	15	0,441	0,020	
T4-O2	Дені сау	15	0,753	0,091	0,500
	Анемия	15	0,705	0,064	

Ескерту: * – анемия тобын бақылау тобымен салыстырғандағы Стьюденттің t-критерийі бойынша статистикалық сенімділік $p < 0,05$.

Маңдай және орталық аймақтарының өзара байланыстарын көрсететін FP1-C3 пен FP2-C4 электродтардың тарамдарында екі топ арасында статистикалық сенімді айырмашылық байқалды. FP1-C3 тарамында кросс-корреляция коэффициенті дені сау топпен ($r=0,641$) салыстырғанда теміртапшылықты анемиясы бар топта ($r=0,454$) статистикалық сенімді түрде төмендеді ($p=0,001$). Кросс-корреляция коэффициенті

FP2-C4 тарамында да бақылау тобымен ($r=0,658$) салыстырғанда анемия тобында ($r=0,545$) төмендегені статистикалық сеніммен анықталды ($p=0,027$). Бұл анемия кезінде маңдай және орталық аймақтар арасындағы нейрондық синхрондалудың әлсірегенін көрсетеді.

Маңдай-самай аймақтары арасындағы функционалдық байланыста да айырмашылық статистикалық сеніммен анықталды. FP1-T3 тара-

мында дені сау топта $r=0,561$ мәнді көрсетсе, анемия тобында $r=0,420$ мәніне статистикалық сенімді түрде төмендеген ($p=0,08$). FP2-T4 тарамында кросс-корреляция коэффициенті дені сау топта $r=0,559$ және анемия тобында $r=0,441$ тең болды, яғни анемия кезінде статистикалық сенімді түрде төмендеген ($p=0,010$). Бұл аймақтар жұмыс жадысы, атқарушы бақылау, когнитивті интеграция процестерін орындауға қатысады, анемия кезінде функционалдық интеграциясының төмендегенін көрсетеді.

Орталық және самай аймақтарынан тіркелген C3-O1 және C4-O2 электрод тарамдарында екі топ арасында статистикалық сенімді айырмашылық байқалмады (тиісінше $p=0,180$ және $p=0,923$). Бұл сенсорлық ақпаратты өдеуге қатысатын артқы кортикалдық аймақтардың функционалдық байланыстары анемия жағдайында салыстырмалы түрде сақталғанын көрсетеді.

Самай-шүйде аймақтарын сипаттайтын T3-O1 тарамында дені сау топта кросс-корреляция коэффициенті $r=0,746$, анемия кезінде $r=0,628$ мәндеріне тең болды. Анемия кезінде статистикалық сенімді түрде төмендеген ($p=0,030$). Ал T4-O2 электрод тарамдарында екі топ арасындағы айырмашылық статистикалық сеніммен анықталмады ($p=0,500$), яғни оң жақ жартышардың самай-шүйде байланыстары салыстырмалы түрде сақталған.

Сонымен, корреляциялық талдау нәтижелерінен теміртапшылықты анемиясы бар топта маңдай аймақтарының орталық және самай аймақтарымен, сол жақ жартышардың самай және шүйде аймақтарында функционалдық байланыстарының әлсірегені анықталды.

1-суретте дені сау және теміртапшылықты анемиясы бар топтардың мидың қыртысты қабатындағы электродтар арасындағы функционалдық байланыстар кросс-корреляциялық талдау негізінде көрсетілген. Когнитивті ЭЭГ зерттеулерде қалыптасқан нейрофизиологиялық ұстанымдар бойынша функционалдық байланыстар интерпретацияланды. Байланыстар ЭЭГ сигналдарының уақыт бойынша синхрондылық дәрежесі кросс-корреляция коэффициенттері ($K_{кор}$) арқылы сипатталған.

Классикалық нейрофизиологиялық еңбектерде жоғары кросс-корреляция нейрондық желілердің күшейген функционалдық синхрондалуын, ал төмен кросс-корреляция функционалдық синхрондалудың төмендегенін сипаттайды (Gevins et.al, 1997).

Екі топ арасындағы айырмашылықтар Стьюденттің t -критерийі бойынша бағаланып, статистикалық сенімді ($p \leq 0,05$) айырмашылықтар жұлдызшамен белгіленді. Электродтар арасындағы күшті функционалдық байланыстар тұтас сызықтармен кескінделген ($K_{кор} \geq 0,4$), яғни нейрондық белсенділіктің тұрақты синхрондалуы мен кортикалдық желілердің функционалдық интеграциясын сипаттайды. Бұл мидың нейрондық желілерінің жеткілікті энергетикалық қамтамасыз етілген дені сау бақылау тобының маңдай-орталық, маңдай-самай, орталық-шүйде аймақтары арасындағы күшті байланыстарды көрсетеді. Бұл мидың функционалдық желілерінің үйлесімді жұмыс атқаруын және когнитивті процестерге қатысатын нейрондық синхрондалудың сақталғанын білдіреді.

Анемиясы бар топта функционалдық байланыстар үзік сызықтармен кескінделген ($K_{кор} \leq 0,24$), бұл байланыстардың әлсіздігін, нейрондық сигналдардың тұрақсыз және функционалдық мәні төмен әрекеттесуді сипаттайды. Анемия кезінде маңдай аймақтарының орталық және самай аймақтарымен синхрондалуы төмен деңгейде, когнитивті және атқарушы функцияларға қатысатын маңдай аймағының функционалдық әлсіреуі мен кеңістіктік ұйымдасуының бұзылысқа ұшырағанын көрсетеді.

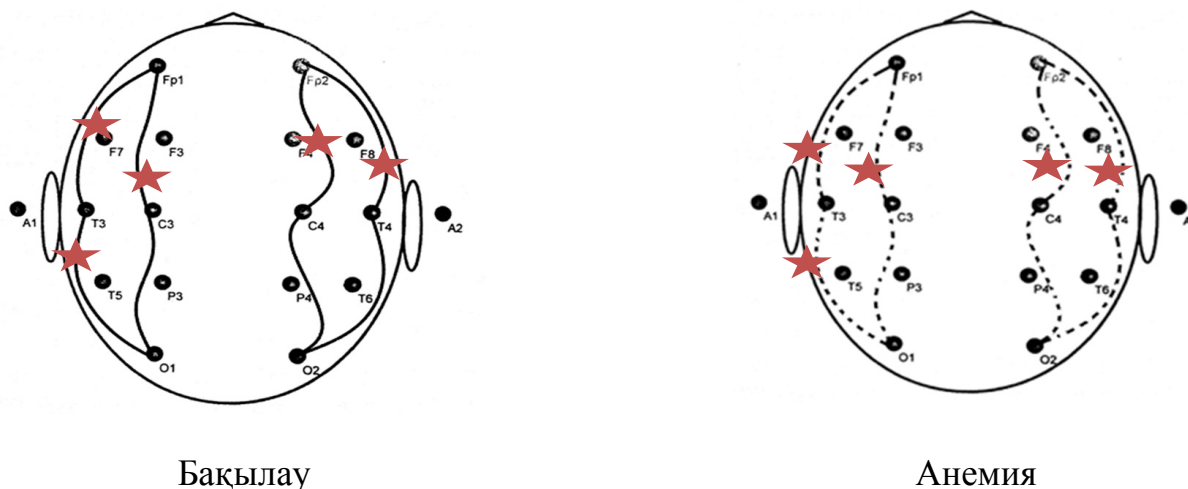
Сонымен, бұл мәліметтер альфа-тета ырғақтарының спектральды талдауында сипатталған мәліметтермен үйлеседі, теміртапшылықты анемия кезінде оттегінің жеткізілуінің төмендеуінен митохондриялық энергия түзілуінің шектелуі когнитивті жүктемеге жауапты нейрондық желілердің тиімділігі төмендейтінін көрсетеді.

Спектральды және корреляциялық талдаудың нәтижелерін интерпретациялау когнитивті процестермен ЭЭГ-ның альфа және тета ырғақтарының байланысын сипаттайтын классикалық тұжырымдамамен үйлеседі. Альфа ырғағының төмендеуі, яғни синхронизациясының жеткіліксіз қалпына келуі кортикалдық тежелу процестерінің әлсіреуін көрсетеді. Ал, тета ырғағының белсенділігінің артуы когнитивті жүктеменің, жұмыс жадысы және атқарушы бақылауға түсетін нейрондық күш салудың жоғарылағанын сипаттайды.

Жалпы алғанда, алынған нәтижелер зерттеудің пилоттық сипатын ескере отырып интерпретацияланды.

1-сурет

Мидың қыртысты қабатындағы электродтар арасындағы функционалдық байланыстардың көрінісі



Ескерту: * – дені сау және теміртапшылықты анемиясы бар студенттердің көрсеткіштерін салыстырғандағы Стьюденттің t -критерийі бойынша статистикалық сенімді айырмашылық ($p \leq 0,05$); — – $K_{кор} \geq 0,45$ (күшті функционалдық байланыс); - - - - $K_{кор} \leq 0,24$ (әлсіз функционалдық байланыс).

Бұл зерттеу жұмысында теміртапшылықты анемиясы бар топта когнитивті тапсырмадан кейін альфа ырғағының жеткіліксіз қалпына келуі және тета ырғағының белсенділігі шамадан тыс артуы анықталды. Альфа ырғағының төмендеуі кортикалдық жүйелердің функционалдық қайта ұйымдасуының бұзылғанын, селективті тежелудің жеткіліксіздігін, яғни сенсорлық-ақпаратты өңдеу кезінде нейрондық «шуды» тиімді баса алмауын көрсетеді. Ал тета ырғағының шамадан тыс артуы нейрондық желілердің компенсаторлық түрде артық рекрутталуын, яғни қосымша нейрондық желілерді іске қосқанын сипаттайды, бұл энергетикалық шығынның артуы мен функционалдық тиімділіктің төмендеуін білдіреді.

Темір тапшылығынан туындайтын гипоксия жағдайында митохондриялық тынысалу бұзылады, нейрондар үшін негізгі энергия көзі АТФ өндірілуі төмендейді, соның салдарынан мембраналық потенциалды және жүйке импульстерін беруді қамтамасыз ететін натрий-калий насостарының қызметі бұзылады, нейрондық желілер арқылы сигналдардың таралу жылдамдығы мен тиімділігі төмендейді. Бұл әсіресе когнитивтік белсенділікті (зейін, жұмыс жады, атқарушы функциялар) және мінез-құлықты реттеуде маңызды рөл атқаратын префронтальды қыртыстың дофаминергиялық және серотонинергиялық жүйелердің дисфункциясымен байқалады. Темір дофамин және серотонин синтезінің негізгі фер-

менттері – тирозингидроксилаза мен триптофангидроксилазаның қалыпты жұмыс жасауына қажет (Pivina, 2019; Yeboah, 2024; Yunanci, 2023).

Когнитивті жүктемені орындау кезінде ми белсенділігіне оттегінің қажеттігін анықтауға арналған зерттеу жұмыстарының нәтижелері де растайды. Stute әріптестерімен жүргізген зерттеуінде орташа қарқындылықтағы аэробтық жүктеменің когнитивтік функцияларға, әсіресе жұмыс жадына, қысқа мерзімді әсерін және сонымен қатар жүретін нейрофизиологиялық өзгерістерді қарастырған. Жұмыс жады 2-back тапсырмасы бойынша жаттығуға дейін, жаттығудан кейін бірден, 15 минуттан соң және 45 минуттан соң бағаланған, когнитивтік тапсырманы орындау кезінде маңдай тұсындағы ми қыртысының оттегімен қанығу деңгейін бақылау үшін функционалды оптикалық томография (fNIRS) әдісімен анықтаған. Нәтижесінде тапсырмаларды орындау дәлдігінің 15-45 минут өткен соң жақсарғаны анықталған, бұл аэробтық жүктеме мидағы нейрофизиологиялық механизмдерді іске қосып, жұмыс жадын уақытша жақсартуға мүмкіндік беретінін көрсетеді (Stute et al., 2020).

Ал, Chen және әріптестері жүргізген жүйелі шолу мен мета-талдау төмен және орташа табысты елдердегі балалар мен жасөспірімдердің когнитивтік функцияларына темірді пероральды қабылдауға арналған терапияның әсерін зерттеген. Зерттеу нәтижесінде темір тапшылығы бар

балаларда назар, жұмыс жадында, когнитивті көрсеткіштерінің статистикалық тұрғыдан жақсарған. Мұны оттегі алмасуының артуымен қатар нейрхимиялық үдерістердің қалпына келуімен байланыстырады (Chen et al., 2022).

Сонымен, когнитивті функцияны орындау барысында оттегінің ролі өте маңызды болатынын зерттеу нәтижелері көрсетеді. Теміртапшылықты анемия кезінде қысқа уақытты когнитивті жүктеменің өзі ми белсенділігіне едәуір есетіні анықталып отыр.

Қорытынды

Жүргізілген зерттеу жұмысында дені сау топпен салыстырғанда теміртапшылықты анемиясы бар топта когнитивті жүктемеге мидың биоэлектрлік және функционалдық желілік жауабы өзгеретіні анықталды. Когнитивті тапсырмаға дейін екі топта альфа және тета ырғақтарының базалық спектральды көрсеткіштері салыстырмалы түрде сақталған, сенсорлық ынталандыру кезінде теміртапшылықты анемиясы бар топта альфа ырғағының толық қуаты мен тета индексінің төмендеуі анықталды. Когнитивті тапсырманы орындағаннан кейін дені сау топта альфа ырғағының тиімді қалпына келуі, тета ырғағының шектелуі мен қыртысты аймақтар арасындағы үйлесімді функционалдық байланыстары сақталған. Теміртапшылықты анемиясы бар топта

альфа синхронизациясының жеткіліксіз қалпына келуі және тета ырғағының шамадан тыс артуы анықталды.

Корреляциялық талдау нәтижелері анықталған спектральды көрсеткіштер өзгерістерінің ми қыртысындағы аймақтардың арасындағы функционалдық байланыстардың әлсіреуімен қатар жүретінін көрсетті. Анемиясы бар топта мандай аймақтарының орталық және самай аймақтарымен байланысы төмендеген, яғни когнитивті және атқарушы функцияларға жауапты нейрондық желілердің интеграциясының бұзылысын сипаттайды, ал оның гипоксиялық және нейрометаболикалық механизмдер шектеулерімен байланысты екенін көрсетеді. Дені сау топта бұл қыртысты аймақтар арасындағы функционалдық байланыстар үйлесімді және когнитивті жүктемеге функционалдық бейімделуі сақталған.

Альфа және тета ырғақтарының спектральды көрсеткіштері мен кросс-корреляциялық сипаттамаларын когнитивті жүктемеге мидың функционалдық күйін бағалауда нейрофизиологиялық маркерлер ретінде қолдануға ұсынылады.

Қаржыландыру көзі

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетімен қаржыландырылды (БНҚ №BR27198099)

Авторлардың үлесі

Датхабаева Г.К. – Концептуализация, Жобаны басқару, Ресми талдау, Әдістеме, Бақылау; Кустубаева А.М. – Концептуализация, Жобаны басқару, Қаржыландыру, Ресми талдау, Бақылау; Құлбаева М.С. – Концептуализация, Ресми талдау, Ресурстармен қамтамасыз ету, Көрнекі материалдар дайындау, Мақаланың бастапқы нұсқасын жазу, Мәтінді редакциялау және толықтыру; Мұстафин М.К. – Деректерді өңдеу, Зерттеу, Әдістеме, Бағдарламалық қамтамасыз ету, Нәтижелерді тексеру; Бабаев Р.А. – Деректерді өңдеу, Бағдарламалық қамтамасыз ету, Нәтижелерді тексеру, Ресурстармен қамтамасыз ету; Әшірбай А.Ф. – Зерттеу, Әдістеме, Ресурстармен қамтамасыз ету, Көрнекі материалдар дайындау; Исағали А.А. – Зерттеу, Әдістеме, Нәтижелерді тексеру, Көрнекі материалдар дайындау

Әдебиеттер

- Barker-Collo, S., Feigin, V. L., Parag, V., Lawes, C. M. M., & Senior, H. (2010). Auckland Stroke Outcomes Study. Part 2: Cognition and functional outcomes 5 years poststroke. *Neurology*, 75(18), 1608–1616. <https://doi.org/10.1212/WNL.0b013e3181fb44c8>
- Bayram, Y., Kuruoglu, A. C., Ersoz, H., & Acar, S. (2024). The relationship and pathways between resting-state EEG, physical function, and cognitive function in older adults. *BMC Geriatrics*, 24, 463. <https://doi.org/10.1186/s12877-024-05041-x>
- Bialystok, E., Craik, F. I. M., & Luk, G. (2012). Bilingualism: Consequences for mind and brain. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(4), 240–250. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.03.001>
- Boag, R. J., Strickland, L., Loft, S., & Heathcote, A. (2019). Strategic attention and decision control support prospective memory in a complex dual task environment. *Cognition*, 191, 103974. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2019.05.011>
- Chaves, P. H. M., Carlson, M. C., Ferrucci, L., Guralnik, J. M., Semba, R., & Fried, L. P. (2006). Association between mild anemia and executive function impairment in community-dwelling older women: The Women's Health and Aging Study II. *Journal of the American Geriatrics Society*, 54(9), 1429–1435. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2006.00863.x>
- Chen, Z., Yang, H., Wang, D., Sudfeld, C. R., Zhao, A., Xin, Y., Chen, J. C., Fawzi, W. W., Xing, Y., & Li, Z. (2022). Effect of oral iron supplementation on cognitive function among children and adolescents in low- and middle-income countries: A systematic review and meta-analysis. *Nutrients*, 14(24), 5332. <https://doi.org/10.3390/nu14245332>

- Davis, A. A. (2016). Parkinson disease and cognitive impairment: Five new things. *Neurology: Clinical Practice*, 6(5), 371–377. <https://doi.org/10.1212/CPJ.0000000000000285>
- Donat-Vargas, C., Micó, V., San-Cristobal, R., Martínez-González, M. A., Salas-Salvadó, J., et al. (2023). Dietary iron, anemia markers, cognition, and quality of life in older community-dwelling subjects at high cardiovascular risk. *Nutrients*, 15(20), 4440. <https://doi.org/10.3390/nu15204440>
- East, P., Doom, J. R., Blanco, E., Burrows, R., Lozoff, B., & Gahagan, S. (2021). Iron deficiency in infancy and neurocognitive and educational outcomes in young adulthood. *Developmental Psychology*, 57(6), 962–975. <https://doi.org/10.1037/dev0001030>
- Falkingham, M., Abdelhamid, A., Curtis, P., Fairweather-Tait, S., Dye, L., & Hooper, L. (2010). The effects of oral iron supplementation on cognition in older children and adults: A systematic review and meta-analysis. *Nutrition Journal*, 9, 4. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-9-4>
- Gevins, A., Smith, M. E., McEvoy, L., & Yu, D. (1997). High-resolution EEG mapping of cortical activation related to working memory: Effects of task difficulty, type of processing, and practice. *Cerebral Cortex*, 7(4), 374–385. <https://doi.org/10.1093/cercor/7.4.374>
- Grober, E., Hall, C. B., Lipton, R. B., Zonderman, A. B., Resnick, S. M., & Kawas, C. (2008). Memory impairment, executive dysfunction, and intellectual decline in preclinical Alzheimer's disease. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 14(2), 266–278. <https://doi.org/10.1017/S1355617708080302>
- Hanslmayr, S., Spitzer, B., & Bäuml, K.-H. (2009). Brain oscillations dissociate between semantic and nonsemantic encoding of episodic memories. *Cerebral Cortex*, 19(7), 1631–1640. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhn197>
- Hanslmayr, S., Staresina, B. P., & Bowman, H. (2016). Oscillations and episodic memory: Addressing the synchronization/desynchronization conundrum. *Trends in Neurosciences*, 39(1), 16–25. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2015.11.004>
- Klimesch, W. (1999). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: A review and analysis. *Brain Research Reviews*, 29(2–3), 169–195. [https://doi.org/10.1016/S0165-0173\(98\)00056-3](https://doi.org/10.1016/S0165-0173(98)00056-3)
- Kung, W. M., Yuan, S. P., Lin, M. S., Wu, C. C., Islam, M. M., Atique, S., Touray, M., Huang, C. Y., & Wang, Y. C. (2021). Anemia and the risk of cognitive impairment: An updated systematic review and meta-analysis. *Brain Sciences*, 11(6), 777. <https://doi.org/10.3390/brainsci11060777>
- McCann, S., Perapoch Amadó, M., & Moore, S. E. (2020). The role of iron in brain development: A systematic review. *Nutrients*, 12(7), 2001. <https://doi.org/10.3390/nu12072001>
- Mustafin, M. Q. (2024). Anemiyamen auyratyn studentterden EEG-nyng spektralды-korrelyatsiyalyq sipattamasyn zertteu [Study of spectral-correlation characteristics of EEG in students with anemia] (Unpublished master's thesis). Al-Farabi Kazakh National University, Faculty of Biology and Biotechnology
- Oberauer, K. (2019). Working memory and attention: A conceptual analysis and review. *Journal of Cognition*, 2(1), 36. <https://doi.org/10.5334/joc.58>
- Pivina, L., Semenova, Y., Doşa, M. D., Dauletyarova, M., & Björklund, G. (2019). Iron deficiency, cognitive functions, and neurobehavioral disorders in children. *Journal of Molecular Neuroscience*, 68(1), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s12031-019-01276-1>
- Prezenski, S., Brechmann, A., Wolff, S., & Russwinkel, N. (2017). A cognitive modeling approach to strategy formation in dynamic decision making. *Frontiers in Psychology*, 8, 1335. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01335>
- Raufi, B., & Longo, L. (2022). An evaluation of the EEG alpha-to-theta and theta-to-alpha band ratios as indexes of mental workload. *Frontiers in Neuroinformatics*, 16, 861967. <https://doi.org/10.3389/fninf.2022.861967>
- Rosell-Díaz, M., Santos-González, E., Motger-Albertí, A., Gallardo-Nuell, L., Arrioriaga-Rodríguez, M., et al. (2024). Lower serum ferritin levels are associated with worse cognitive performance in aging. *The Journal of Nutrition, Health & Aging*, 28(4), 100190. <https://doi.org/10.1016/j.jnha.2024.100190>
- Schaefer, J., Giangrande, E., Weinberger, D. R., & Dickinson, D. (2013). The global cognitive impairment in schizophrenia: Consistent over decades and around the world. *Schizophrenia Research*, 150(1), 42–50. <https://doi.org/10.1016/j.schres.2013.07.009>
- Sridhar, S., Khamaj, A., & Asthana, M. K. (2023). Cognitive neuroscience perspective on memory: Overview and summary. *Frontiers in Human Neuroscience*, 17, 1217093. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2023.1217093>
- Stute, K., Hudl, N., Stojan, R., & Voelcker-Rehage, C. (2020). Shedding light on the effects of moderate acute exercise on working memory performance in healthy older adults: An fNIRS study. *Brain Sciences*, 10(11), 813. <https://doi.org/10.3390/brainsci10110813>
- Tan, E., Troller Renfree, S. V., Morales, S., Buzzell, G. A., McSweeney, M., Antúnez, M., & Fox, N. A. (2024). Theta activity and cognitive functioning: Integrating evidence from resting state and task related developmental EEG research. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 67, 101404. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2024.101404>
- Vita, A., Barlati, S., Ceraso, A., Nibbio, G., Ariu, C., Deste, G., & Wykes, T. (2021). Effectiveness, core elements, and moderators of response of cognitive remediation for schizophrenia: A systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials. *JAMA Psychiatry*, 78(8), 848–858. <https://doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2021.0620>
- Yeboah, F. A., Bioh, J., Amoani, B., Effah, A., Senu, E., Mensah, O. S. O., Agyei, A., Kwarteng, S., Agomuo, S. K. S., Opoku, S., Agordzo, S. K., Aidoo, E. K., & Sakyi, S. A. (2024). Iron deficiency anemia and its association with cognitive function among adolescents in the Ashanti Region, Ghana. *BMC Public Health*, 24, 3209. <https://doi.org/10.1186/s12889-024-20640-4>
- Yunanci, S., Risma, R., Masrif, M., & Mulianingsih, M. (2023). A literature review of the relation between iron deficiency anaemia, physical activity and cognitive function in adolescent girls. *Scripta Medica*, 54(4), 405–412. <https://doi.org/10.5937/scriptamed54-46534>

Авторлар туралы мәлімет:

Датхабаева Гаухар Кубеновна – биология ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан, e-mail: Gaukhar.Datkhabayeva@kaznu.edu.kz).

Кустубаева Альмира Мэлсовна – биология ғылымдарының кандидаты, профессор, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан, e-mail: almira.kustubaeva@kaznu.kz).

Кулбаева Маржан Сусаровна – биология ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан, e-mail: Marzhan.Kulbaeva@kaznu.edu.kz).

Мұстафин Мұхамет Қанышұлы – жаратылыстану ғылымдарының магистрі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан, e-mail: mustafin.muxa@gmail.com).

Бабаев Рахат Актанбердиевич – Ми институтының кіші ғылыми қызметкері, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан, e-mail: rahatbabaev@gmail.com).

Әшірбай Айжан Ғабиденқызы – жаратылыстану ғылымдарының магистрі, Ми институтының кіші ғылыми қызметкері, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан, e-mail: i_zhanashirbay@mail.ru).

Исағали Асылнұр Айдынқызы – жаратылыстану ғылымдарының магистрі, Ми институтының кіші ғылыми қызметкері, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университет (Алматы, Қазақстан, e-mail: asylnur2001@gmail.com).

Information about authors:

Datkhabayeva Gaukhar Kubenovna – candidate of Biological sciences, senior lecturer, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: Gaukhar.Datkhabayeva@kaznu.edu.kz).

Kustubayeva A.M. – Candidate of Biological sciences, Professor, Head of the Department of Biophysics, Biomedicine and Neuroscience, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; almira.kustubaeva@kaznu.kz).

Kulbayeva Marzhan Susarovna – Candidate of Biological sciences, Associate Professor, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: Marzhan.Kulbaeva@kaznu.edu.kz).

Mustafin Mukhamet Kanyshuly – Master of Natural Sciences, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: mustafin.muxa@gmail.com).

Babayev Rahat Aktanberdievich – Research Assistant at the Brain Institute, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: rahatbabaev@gmail.com).

Ashirbay Aizhan Gabidenkyzy – Master of Natural Sciences, Research Assistant at the Brain Institute, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: i_zhanashirbay@mail.ru).

Isagali Asylnur Aidynkyzy – Master of Natural Sciences, Research Assistant at the Brain Institute, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: asylnur2001@gmail.com).

Сведения об авторах:

Датхабаева Гаухар Кубеновна – кандидат биологических наук, старший преподаватель, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: Gaukhar.Datkhabayeva@kaznu.edu.kz).

Кустубаева Альмира Мэлсовна – кандидат биологических наук, профессор, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: almira.kustubaeva@kaznu.kz).

Кулбаева Маржан Сусаровна – кандидат биологических наук, ассоциированный профессор, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: Marzhan.Kulbaeva@kaznu.edu.kz).

Мұстафин Мұхамет Қанышұлы – магистр естественных наук, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: mustafin.muxa@gmail.com).

Бабаев Рахат Актанбердиевич – м. н. с. института мозга, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: rahatbabaev@gmail.com).

Исағали Асылнұр Айдынқызы – магистр естественных наук, м. н. с. института мозга, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: asylnur2001@gmail.com).

Әшірбай Айжан Ғабиденқызы – магистр естественных наук, м. н. с. института мозга, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: i_zhanashirbay@mail.ru).

*Келін түсті: 19 ақпан 2025 жыл
Қабылданды: 20 ақпан 2026 жыл*