

УДК612.82 : 617.751.9 – 053

СПЕЦИФІКА ЕЕГ ДІТЕЙ З ЗОРОВИМИ ДИСФУНКЦІЯМИ В СТАНІ СПОКОЮ З ВІДКРИТИМИ ОЧИМА

Редька І.В.

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Проведено порівняльний аналіз спектральних характеристик ЕЕГ дітей із різним станом зорових функцій в умовах відносного спокою з відкритими очима. Зміни в структурі спектру ЕЕГ дітей із зоровими дисфункціями полягають у зниженні рівня альфа-активності та підвищенні рівня дельта-активності по всій конвексимальній поверхні головного мозку, особливо у тім'яно-скронево-потиличній ділянці та лобовому полюсі. Ці зміни є більш вираженими у хлопчиків із зоровими дисфункціями, ніж у дівчаток. Зміни спектральних характеристик бета-діапазону при зорових дисфункціях залежать від статі дітей. Зазначене відображає порушення взаємодії активуючих і дезактивуючих систем мозку, зокрема таламо-кортикальної системи, та зміну внутрішньо-коркової взаємодії при зорових дисфункціях.

Ключові слова: діти із зоровими дисфункціями, ЕЕГ, спектральний аналіз, відкриті очі.

Specific features of the EEG of children with visual dysfunction at eyes-open rest.

Redka I.V. – *The aim* of this article was to determine specific features of the EEG of children with visual dysfunction at eyes-open rest.

Data and methods. 31 children with congenital visual dysfunction and 49 sighted children at the age of 8-12 years were studied by EEG method at eyes-open rest. EEG fragments without artifacts (35-45 second) were analyzed by spectral analysis with the value of the step 0,001 Hz.

Conclusion. Comparative analysis of spectral characteristics of EEG of children with visual dysfunction and that of the sighted ones at eyes-open rest was held. The changes in the structure of the EEG spectrum consist in: decrease of alpha-activity and increase of delta-activity across all surface of the brain, especially in the parietal, temporal and occipital areas and the frontal pole. These changes are more apparent and characteristic of boys with visual dysfunction in comparison with girls.

Visual dysfunctions are characterized by changes in the beta-band which depends on the gender. Peak frequency of beta1-band, relative and absolute spectral power of beta2-band increases in rostral areas of the cerebral cortex of boys with visual dysfunction. Absolute spectral power of beta1-band decreases in parieto-occipital cortex of girls with visual dysfunction.

Changes in the spectral characteristics of the EEG of children with visual dysfunction compared to sighted ones at eyes-open rest indicate abnormality of the interaction of activating and deactivating brain systems, including thalamocortical system, and changes in intra-cortical interactions.

Children with visual dysfunction are characterized by higher levels of perceptual processes and intra-directed attention to eyes-open rest.

Key words: children with visual dysfunction, EEG, spectral analysis, eyes-open.

ВСТУП

Спонтанна нейронна активність функціонально визначається як активність, що є відносно стабільною впродовж так званого «стану спокою», за якого суб'єкт є активним, але фізично та розумово знаходиться у стані спокою та піддається мінімуму зовнішніх впливів [28]. У нейрофізіологічних дослідженнях для характеристики спонтанної нейронної активності досить часто використовують два стани спокою – із закритими та відкритими очима, що якісно розрізняються за даними фМРТ [15; 16; 23; 25; 34] та ЕЕГ [2; 3; 5; 6; 11; 12; 14; 29; 30; 31] досліджень.

Дослідження, що проводились в умовах повної темряви [2; 3], показали, що відмінності спектральних характеристик ЕЕГ у стані з відкритими та закритими очима не залежать від рівня зорової аферентації. При цьому результати ЕЕГ та фМРТ-досліджень дають змогу визначити стан спокою з відкритими очима у зрячих людей як екстероцептивний стан, що пов'язаний з увагою та окоруховою активністю, а стан спокою з закритими очима – як інтероцептивний стан, що пов'язаний з увагою та мультисенсорною діяльністю [2; 25].

Ще з робіт Г. Бергера (1929) відомий взаємозв'язок між зоровою аферентацією та представленістю на ЕЕГ потиличного альфа-ритму, який має декілька джерел генерації. Дані досліджень з одночасною реєстрацією фМРТ/ЕЕГ сигналів свідчать, що при закритих очах спектральна потужність потиличного альфа-ритму негативно корелює з BOLD-активністю потиличної долі та позитивно корелює з активністю таламуса та тім'яно-скроневої ділянки [15; 18; 22; 23; 26], однак при відкритих очах зникає кореляція між спектральною потужністю потиличного альфа-ритму та BOLD-активністю таламуса [15; 22] і верхньої скроневої звивини [22]. Це наводить на думку про різні механізми генерації альфа-ритму у стані спокою з відкритими та закритими очима.

На сьогодні існує досить велика кількість робіт, що порівнюють ЕЕГ людей з відкритими і закритими очима [2; 3; 5; 6; 11; 12; 14; 29; 30; 31], але, на нашу думку, для з'ясування ролі зорової аферентації в модуляції нейродинаміки та становленні інтегративної діяльності головного мозку більш доцільним є порівняння ЕЕГ-показників людей із різним станом зорової функції.

Аналіз наукових джерел свідчить про наявність даних щодо особливостей ЕЕГ людей із вадами зору порівняно зі зрячими в умовах відносного спокою з закритими очима, в яких відзначається зниження рівня та зміна топографії альфа-активності, більша представленість повільно-хвильової активності тета- та дельта-діапазону, відсутність або нечіткість реакції активації у пробі з відкриванням очей [7-9]. Однак, нам не вдалося знайти жодної роботи, де порівнювалися ЕЕГ зрячих людей і людей з вадами зору в умовах відносного спокою з відкритими очима. Проте дані фМРТ-досліджень свідчать, що у людей з вродженою сліпотою у стані спокою з відкритими очима порівняно зі

зрячими спостерігається вищий BOLD-сигнал у потиличних ділянках (середній і верхній потиличній звивині, язиковій та веретеноподібній звивині, шпорній ділянці), клині та передній поясній звивині [20].

Враховуючи зазначене вище, *метою дослідження* стало з'ясування особливостей спектральних характеристик ЕЕГ дітей із вродженими зоровими дисфункціями порівняно з дітьми, щонормальнобачать, у стані відносного спокою з відкритими очима.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

У дослідженні взяли участь діти періоду другого дитинства (8-12 років): 31 дитина із вродженими зоровими дисфункціями (19 хлопчиків і 12 дівчаток) та 49 практично здорових дітей, що нормально бачать (27 хлопчиків та 22 дівчаток). Загальними критеріями для включення дітей у дослідження була відсутність органічної патології ЦНС, черепно-мозкової травми в анамнезі, неврологічних чи психічних розладів, фармакологічної терапії на момент дослідження. Дослідження проводилися з дотриманням норм біоетики за попередньою згодою самих дітей та письмовою згодою батьків після інформування про цілі, тривалість та процедуру дослідження.

Переважає більшість дітей із зоровими дисфункціями мала 2-3 офтальмологічних діагнози та двобічне ураження органів зору. Середня не коригована гострота зору становила $0,15 \pm 0,04$ для лівого ока та $0,20 \pm 0,06$ для правого ока, коригована гострота зору становила $0,16 \pm 0,04$ та $0,22 \pm 0,06$ відповідно.

Реєстрацію та аналіз ЕЕГ здійснювали за загальноприйнятою методикою за допомогою комп'ютерного електроенцефалографа «DX-5000» (ТОВ НВФ «DX-системи», Харків, Україна). Проведено прецизійний спектральний аналіз ЕЕГ із точністю до 0,001 Гц за допомогою пакету прикладних програм «*Neuro Researcher*®» (ТОВ «Інститут медичної інформатики і телемедицини», Харків, Україна), що дозволило, на відміну від звичайного спектрального аналізу з кроком 0,5-1,0 Гц, виявити тонкі зміни функціонального стану головного мозку дітей при зорових дисфункціях.

ЕЕГ-потенціали відводили монополярно у 23 відведеннях відповідно до міжнародної системи «10-20» з усередненим референтним електродом по D. Goldmani з симетричних ділянок. Виявлення окоорухових артефактів на ЕЕГ здійснювали за окулограмою.

Фільтри низьких і високих частот становили відповідно 0,5 і 35 Гц, частота дискретизації ЕЕГ-сигналів – 400 Гц. Спектри розраховували на підставі швидкого перетворення Фур'є ЕЕГ-сигналів.

Процедура дослідження передбачала реєстрацію впродовж 2,5 хв. фонові ЕЕГ у стані спокійного неспання з відкритими очима в затемненій кімнаті з віконцем на рівні обличчя досліджуваного. Досліджувані отримували інструкцію сидіти з відкритими очима, намагаючись не мигати та не рухати очима якомога довше. Аналізу піддавали 35-45-секундні безартефактні

фрагменти запису, відібрані ближче до кінця запису. У складі ЕЕГ визначали стандартні частотні діапазони: дельта (0,5-4 Гц), тета (4-8 Гц), альфа (8-12 Гц), бета-1 (13-20 Гц) та бета-2 (20-30 Гц) діапазони.

У якості спектральних характеристик ЕЕГ використовували абсолютну спектральну потужність (АСП, мкВ²), відносну спектральну потужність (ВСП, %) та пікову частоту (ПЧ, Гц).

Електрофізіологічні дані оброблялися загальноприйнятими методами варіаційної статистики. Для порівняння груп дітей із різним станом зорової функції використовувався непараметричний критерій "U" Вілкоксона-Манна-Уїтні.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Оскільки у дітей 8-12 років, що нормально бачать, було виявлено достовірні гендерні відмінності за спектральними показниками бета1- та бета2-діапазонів, то надалі порівняльний аналіз ЕЕГ хлопчиків і дівчаток із різним станом зорових функцій здійснювався окремо.

Порівняльний аналіз спектральних показників дітей із зоровими дисфункціями та дітей без них свідчить про подібність топографічного розподілу їх значень по всій конвексимальній поверхні головного мозку, однак, виявлено відмінності у кількісних значеннях цих показників, на яких ми надалі зупиняємось.

Дельта-діапазон. У дітей із зоровими дисфункціями порівняно з дітьми, що нормально бачать, виявлено тенденцію ($p > 0,05$) до підвищення АСП та ВСП дельта-діапазону майже по всій конвексимальній поверхні головного мозку (рис. 1), тоді як ПЧ дельта-діапазону у більшості відведень мала тенденцію до підвищення у хлопчиків та до зниження – у дівчаток.

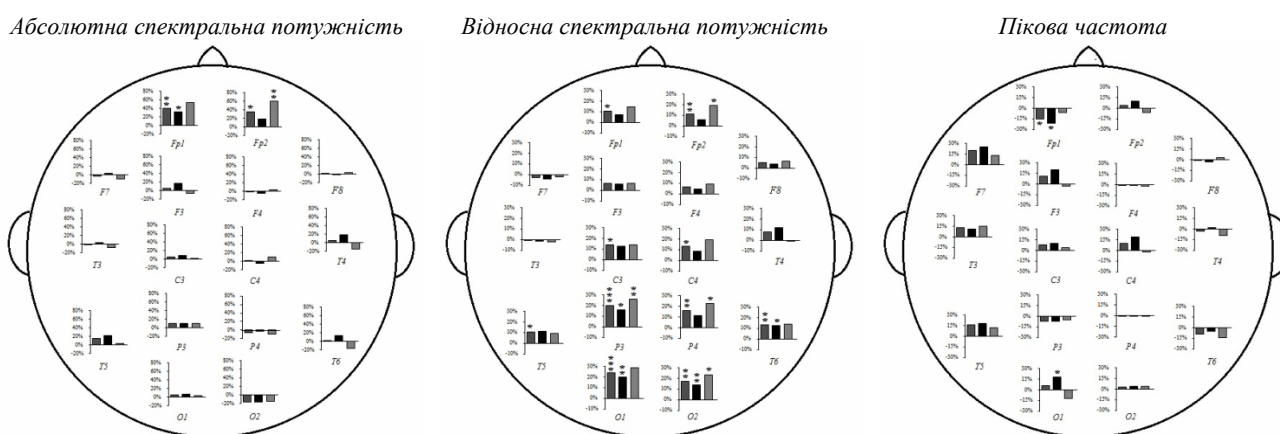


Рис. 1. Особливості спектральних показників дельта-діапазону ЕЕГ дітей із зоровими дисфункціями у стані спокою з відкритими очима (у % до показників дітей, що нормально бачать).

Примітка: квадратами позначена групи ■ – загальна, ■ – хлопчики, ■ – дівчатка; зірочками позначені достовірні відмінності при * – $p \leq 0.05$, ** – $p \leq 0.01$ та *** – $p \leq 0.001$.

Так, у хлопчиків із зоровими дисфункціями порівняно з тими, що нормально бачать, виявлено достовірне ($p < 0,05$) зниження ПЧ у лівому лобовому полюсі (на 21,7 %) та підвищення ПЧ у лівій потиличній ділянці (на 17,8 %), АСП – у лівому лобовому полюсі (на 32,1 %), ВСП – у лівих тім'яній (на 15,7 %) і потиличній (на 19,7 %) ділянках та правій задньо-скроневій ділянці (на 12,5 %).

У дівчаток з зоровими дисфункціями порівняно з тими, що нормально бачать, виявлено достовірне ($p < 0,05$) підвищення АСП в правому лобовому полюсі (на 61,3 %) і ВСП в правому лобовому полюсі (на 19,5 %), лівій тім'яній ділянці (на 26,0 %) та білатеральне зниження у потиличній ділянці (на 23-29 %).

Вроджені зорові дисфункції супроводжуються хронічним обмеженням притоку зорової аферентації, що супроводжується зниженням рівня функціональної активності головного мозку. Це, в свою чергу, призводить до посилення залежності організації нейронної активності головного мозку від ендогенних механізмів. За таких умов окремі нейрони об'єднуються у великі синхронізовані групи та опиняються у значній залежності від діяльності пов'язаних із ними великих популяцій нейронів, що на ЕЕГ супроводжується появою високоамплітудної повільнохвильової активності [9], яку ми спостерігали у дітей із зоровими дисфункціями.

Отримані нами результати узгоджуються з даними про прогресуюче посилення пароксизмальної повільно-хвильової коркової активності в умовах коркової деаферентації на тваринних моделях [10; 27].

Тета-діапазон. У дітей із зоровими дисфункціями порівняно з тими, що нормально бачать, виявлено тенденцію ($p > 0,05$) до зниження АСП та ВСП та підвищення ПЧ тета-діапазону майже по всій конвексимальній поверхні головного мозку (рис. 2).

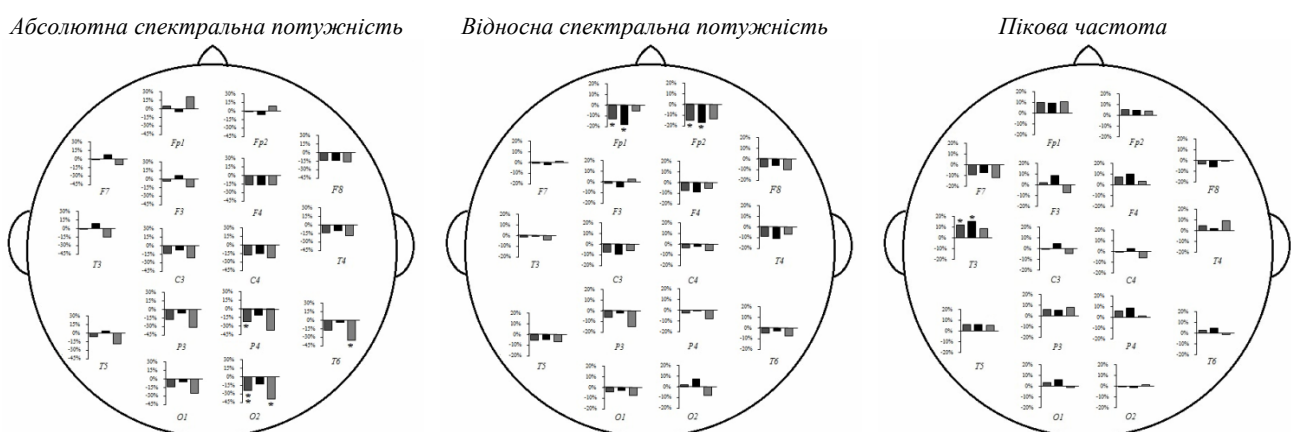


Рис. 2. Особливості спектральних показників тета-діапазону ЕЕГ дітей із зоровими дисфункціями у стані спокою з відкритими очима (у % до показників дітей, що нормально бачать).

Примітка: квадратиками позначена групи ■ – загальна, ■ – хлопчики, ■ – дівчатка; зірочками позначені достовірні відмінності при * – $p \leq 0,05$, ** – $p \leq 0,01$ та *** – $p \leq 0,001$.

Так, у хлопчиків із зоровими дисфункціями порівняно з тими, що нормально бачать, виявлено достовірне ($p < 0,05$) зниження ВСП у обох лобових полюсах (на 16-18 %) та підвищення ПЧ у лівій передній скроневій ділянці (на 15,2 %).

Виявлене достовірне білатеральне зниження відносної спектральної потужності тета-діапазону у лобовому полюсі хлопчиків із зоровими дисфункціями у стані спокою з відкритими очима на підставі даних [30] може свідчити про зниження рівня активності нейронних мереж за умовчанням (*default mode networks*).

Установлене підвищення пікової частоти тета-діапазону в лівій передній скроневій ділянці може свідчити про посилення функціональної активності гіпокампальної системи.

У дівчаток із зоровими дисфункціями порівняно з тими, що нормально бачать, виявлено достовірне ($p < 0,05$) зниження АСП у правих задній скроневій (на 35,0 %) і потиличній (на 39,0 %) ділянках. Це може свідчити про ослаблення взаємодії між зоровою та слуховою проекційними системами. Про аналогічне явище у стані спокою з відкритими очима у зрячих дослідниках вже повідомлялося [33].

Альфа-діапазон. У дітей із зоровими дисфункціями порівняно з тими, що нормально бачать, виявлено тенденцію ($p > 0,05$) до зниження АСП та ВСП альфа-діапазону майже по всій конвексимальній поверхні головного мозку (рис. 3), тоді як ПЧ альфа-діапазону у більшості відведень мала тенденцію до зниження у хлопчиків та до підвищення – у дівчаток.

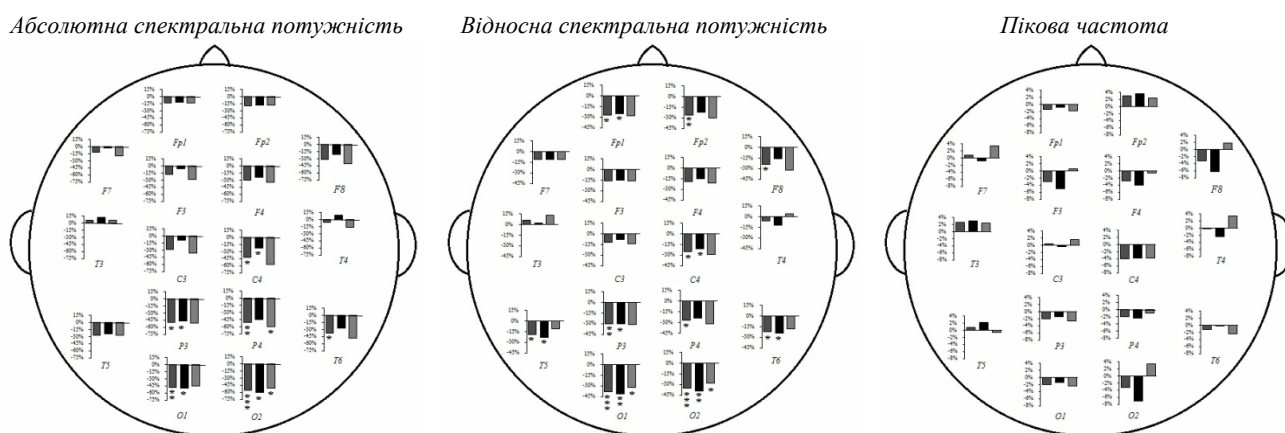


Рис. 3. Особливості спектральних показників альфа-діапазону ЕЕГ дітей із зоровими дисфункціями у стані спокою з відкритими очима (у % до показників дітей, що нормально бачать).

Примітка: квадратами позначена групи ■ – загальна, ■ – хлопчики, ■ – дівчатка; зірочками позначені достовірні відмінності при * – $p \leq 0,05$, ** – $p \leq 0,01$ та *** – $p \leq 0,001$.

У хлопчиків із зоровими дисфункціями виявлено достовірне ($p < 0,05$) зниження АСП у потиличній ділянці – білатерально (50-60 %), у центральній ділянці (на 22,0 %) – справа та тим'яній ділянці (на 47,0 %) – зліва; зниження ВСП виявлено у задній скроневій (на 23-24 %) та потиличній (на 40-42 %)

ділянках – білатерально, у лобовому полюсі (на 24,9 %) та тім'яній ділянці (на 29,8 %) – зліва та центральній ділянці (на 20,9 %) – справа.

У дівчаток із зоровими дисфункціями порівняно з тими, що нормально бачать, виявлено достовірне ($p < 0,05$) зниження АСП у тім'яній (на 60,4 %) і потиличній (на 50,9 %) ділянках справа та білатеральне зниження ВСП у потиличній ділянці (на 29-33 %).

У дітей із зоровими дисфункціями зниження ВСП альфа-діапазону супроводжувалося зниженням АСП на фоні незмінної ПЧ цього діапазону, що більш виражене у задніх відділах кори головного мозку (порівняно з іншими відділами) та у хлопчиків (порівняно із дівчатками). Зазначене може вказувати на те, що рівень активності таламо-кортикальних нейронів при зорових дисфункціях залишається незмінним, однак змінюється кількість одночасно активованих нейронів таламо-кортикальної системи.

За даними досліджень, у осліплених людей порівняно зі зрячими у стані спокою із закритими очима у стріарній корі спостерігається високий рівень утилізації глюкози, споживання кисню та кровотоку [13]. Аналогічна підвищена метаболічна активність стріарної кори у осліплених людей виявляється й у стані спокою із відкритими очима [20]. Ці дані, разом з тим фактом, що представленість альфа-осциляцій знаходиться в зворотній залежності від перебігу інформаційних процесів в головному мозку, а збільшення дельта-активності пов'язане зі посиленням внутрішньо-спрямованої уваги [19], дозволяють припустити, що виявлене нами зниження альфа-активності на фоні підвищення дельта-активності у дітей із зоровими дисфункціями у тім'яно-потиличних ділянках відображає посилення перцептивних процесів та внутрішньо-спрямованої уваги.

Бета1-діапазон. У дітей із зоровими дисфункціями порівняно з тими, що нормально бачать, виявлено тенденцію ($p > 0,05$) до зниження АСП та підвищення ПЧ бета1-діапазону у переважній більшості ділянок конвексистої поверхні головного мозку (рис. 4), тоді як ВСП бета1-діапазону мала тенденцію до зниження у хлопчиків у більшості із досліджуваних відведень, а у дівчаток ця тенденція виявлялася у лобовому полюсі та задньо-скронево-тім'яно-потиличній ділянці білатерально.

У хлопчиків із зоровими дисфункціями виявлено достовірне ($p < 0,05$) підвищення ВСП у лівій нижній лобовій ділянці (на 12,9 %) та зниження ВСП у лівій центральній ділянці (на 23,1 %) на фоні достовірного підвищення ПЧ у лобовому полюсі (на 15,8 %), нижній лобовій (на 12,4 %), верхній скроневої (9,6 %) ділянках зліва та правій верхній лобовій ділянці (на 12,7 %).

Виявлене у хлопчиків із зоровими дисфункціями достовірне підвищення пікової частоти бета1-діапазону у ростральних відділах головного мозку може вказувати на зняття впливів ретикулярної формації стовбура головного мозку при посиленні впливів на кору таламуса та хвостатого ядра, що входять до складу холінергічної системи.

У дівчаток із зоровими дисфункціями виявлено достовірне ($p < 0,05$) зниження АСП у правій тім'яній (на 36,9 %) та обох потиличних (на 35 %) ділянках, а також зниження ВСП у лівій потиличній ділянці (на 25,5 %).

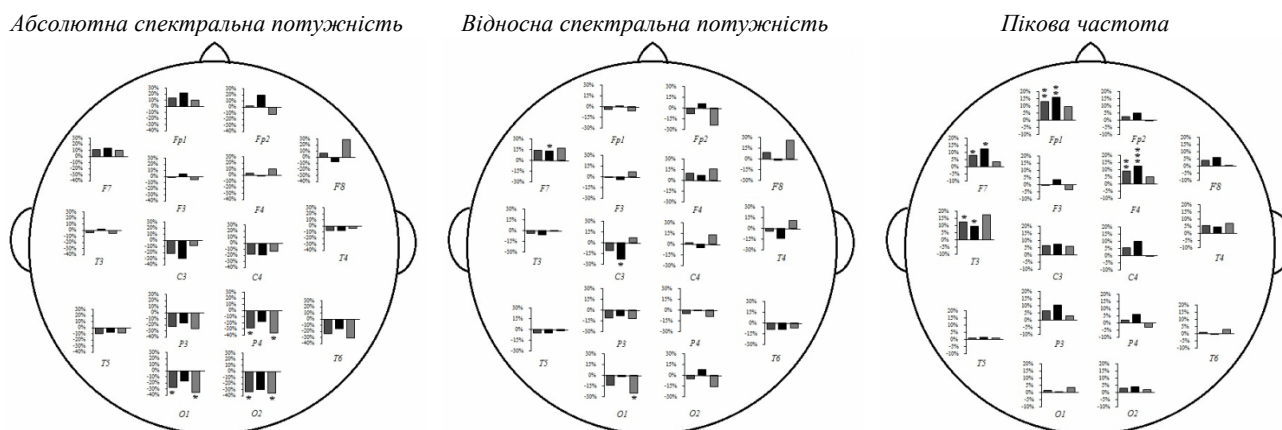


Рис. 4. Особливості спектральних показників бета1-діапазону ЕЕГ дітей з зоровими дисфункціями у стані спокою з відкритими очима (у % до показників дітей, що нормально бачать).

Примітка: квадратами позначена групи ■ – загальна, ■ – хлопчики, ■ – дівчатка; зірочками позначені достовірні відмінності при * – $p \leq 0,05$, ** – $p \leq 0,01$ та *** – $p \leq 0,001$.

Виявлене у дівчаток із зоровими дисфункціями достовірне зниження АСП бета1-діапазону в обох потиличних і правій тім'яній ділянках та ВСП бета1-діапазону в лівій потиличній ділянці може свідчити про більш низьку активність бульбарної ретикулярної формації.

Бета2-діапазон. У дітей із зоровими дисфункціями порівняно з тими, що нормально бачать, у переважній більшості ділянок конвексимальної поверхні головного мозку (рис. 5) виявлено тенденцію ($p > 0,05$) до підвищення АСП, ВСП і ПЧ бета2-діапазону у хлопчиків та тенденцію до зниження цих показників у дівчаток. При цьому достовірні ($p < 0,05$) відмінності з дітьми, що нормально бачать, за спектральними характеристиками бета2-діапазону виявлені тільки у хлопчиків з зоровими дисфункціями, а саме: вищі показники АСП у лобовому полюсі (на 100 %) та нижній лобовій ділянці (на 80,6 %) зліва, ВСП – у лівій нижній лобовій ділянці (на 64,5%) та правих верхній лобовій (на 58,6 %), центральній (на 37,3 %) та потиличній (на 98,4%) ділянках.

Зазначене узгоджується з динамікою характеристик бета1-діапазону у хлопчиків із зоровими дисфункціями, що свідчить про зміни в активності базальної холінергічної системи.

Отже, результати проведеного дослідження свідчать, що специфіка ЕЕГ дітей із зоровими дисфункціями в стані відносного спокою з відкритими очима полягає у зниженні рівня альфа-активності та підвищенні рівня дельта-активності по всій конвексимальній поверхні головного мозку. Проаналізуємо можливі причини даного явища.

У роботі [21] показано, що дельта-активність виникає внаслідок різкої депресії таламо-кортикальних впливів на фоні зниженої активації висхідної ретикулярної активуючої системи. Зниження синаптичних збуджуючих впливів у структурах таламуса через посилення гіперполяризації в таламо-кортикальних нейронах призводить до переходу від альфа-веретен до синхронізованих дельта-коливань [32]. Також показано, що рівень збудження у латеральних колінчастих тілах при реєстрації ЕЕГ з домінуванням дельта-активності є низьким [17; 24].

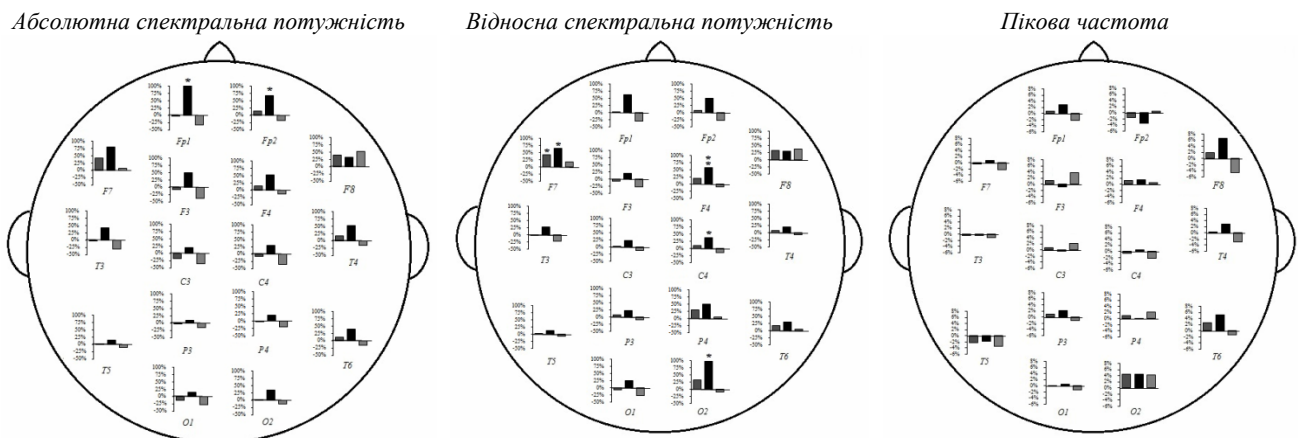


Рис. 5. Особливості спектральних показників бета2-діапазону ЕЕГ дітей з зоровими дисфункціями у стані спокою з відкритими очима (у % до показників дітей, що нормально бачать).

Примітка: квадратами позначена групи ■ – загальна, ■ – хлопчики, ■ – дівчатка; зірочками позначені достовірні відмінності при * – $p \leq 0.05$, ** – $p \leq 0.01$ та *** – $p \leq 0.001$.

Враховуючи зазначене вище, можна припустити наступний механізм змін на ЕЕГ при зорових дисфункціях: внаслідок зменшення нервової імпульсації від гангліозних клітин сітківки при зорових дисфункціях відбувається зменшення активуючих висхідних впливів на кору головного мозку від латеральних колінчастих тіл і неспецифічних впливів мезенцефальної ретикулярної формації. Це, в свою чергу, призводить до зниження тону кори головного мозку, зокрема його фронтальних ділянок. Недостатня активація фронтальної кори призводить до зняття гальмуючих впливів фронтоталамічної системи на задній гіпоталамус, внаслідок чого він активується та гальмує і без того знижену активність мезенцефальної ретикулярної формації. Відомо, що мезенцефальна та бульбарна ретикулярна формація мають антагоністичні взаємовідносини [1], тому зниження активності мезенцефальної ретикулярної формації в умовах зорової депривації призводить до посилення дезактивуючих впливів бульбарної ретикулярної формації на кору головного мозку через неспецифічні ядра таламуса.

ВИСНОВКИ

У дітей із зоровими дисфункціями в умовах відносного спокою з відкритими очима порівняно з дітьми, що нормально бачать, відбуваються зміни в структурі спектру ЕЕГ, що полягають у зниженні рівня альфа-активності та підвищенні рівня дельта-активності по всій конвексимальній поверхні головного мозку, особливо у тім'яно-скронево-потиличній ділянці та лобовому полюсі. Ці зміни є більш вираженими у хлопчиків із зоровими дисфункціями порівняно з дівчатками.

Зміни спектральних характеристик бета-діапазону при зорових дисфункціях залежать від статі дітей. У хлопчиків із зоровими дисфункціями виявлено підвищення пікової частоти бета1-діапазону та відносної і абсолютної спектральної потужності бета2-діапазону у ростральних відділах кори головного мозку. У дівчаток із зоровими дисфункціями виявлено зниження абсолютної та спектральної потужності бета1-діапазону у тім'яно-потиличних ділянках кори головного мозку.

Зміни спектральних характеристик ЕЕГ у стані спокою з відкритими очима при зорових дисфункціях вказують на порушення взаємодії активуючих і дезактивуючих систем мозку, зокрема таламо-кортикальної системи, та зміну внутрішньо-коркової взаємодії.

Діти із зоровими дисфункціями характеризуються вищим рівнем перцептивних процесів та внутрішньо-спрямованої уваги в стані спокою із відкритими очима.

Література

1. Айрапетян А.А. Нейронные механизмы афферентной и эфферентной деятельности таламуса : дис на соискание учен. степени д-ра биол. : наук : спец. 03.00.13 «Физиология» / Айрапетян Альберт Александрович. – Ереван, 1983. – 394 с.
2. Данько С.Г. Об отражении различных аспектов активации мозга в электроэнцефалограмме: что показывает количественная электроэнцефалография состояний покоя с открытыми и закрытыми глазами / С.Г. Данько // Физиология человека. – 2006. – Т. 32, № 4. – С. 5-17.
3. Бойцова Ю.А. и др. Изменения ЭЭГ при сравнении состояний покоя с открытыми и закрытыми глазами в условиях темноты / Ю.А. Бойцов, С.Г. Данько // Физиология человека. – 2010. – Т. 36, № 3. – С. 138-141.
4. Зенков Л.Р. Функциональная диагностика нервных болезней : руководство для врачей / Л.Р. Зенков, М.А. Ронкин. – 4-е изд. – М.: МЕДпресс-информ, 2011. – 448 с.
5. Конарева И.Н. Модуляция низкочастотных ритмов ЭЭГ в условиях реакции активации: зависимость от психологических характеристик личности / И.Н. Конарева // Нейрофизиология / Neurophysiology. – 2010. – Т. 42, № 6. – С. 516-529.

6. Конарева И.Н. Модуляция высокочастотных ритмов ЭЭГ в условиях реакции активации: зависимость от психологических характеристик личности / И.Н. Конарева // *Нейрофизиология / Neurophysiology*. – 2011. – Т. 43, № 1. – С. 51-62.

7. Прошина Е.В. Клинико-функциональная характеристика неврологических нарушений при различной длительности слепоты, обусловленной патологией глазного яблока : автореф. дис. на соискание учен. степени канд. мед. наук : специальность 14.00.13 – нервные болезни / Прошина Елена Владимировна. – Иваново, 2008. – 22 с.

8. Рожкова Л.А. Использование электроэнцефалографии для оценки функционального состояния мозга детей и подростков при сенсорных нарушениях и их коррекция / Рожкова Л.А. // *Дети с проблемами в развитии (комплексная диагностика и коррекция) / Под редакцией Л.П. Григорьевой*. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. – С. 158-207.

9. Толстова В.А. и др. Зависимость эквивалентных источников разных поддиапазонов α -ритма от состояния зрительной системы у детей 8-10 лет / Толстова В.А., Котелов Ю.М. // *Физиология человека*. – 1996. – Т. 22. – № 5. – С. 13.

10. Avramescu S. et al. Neocortical Post-Traumatic Epileptogenesis Is Associated with Loss of GABAergic Neurons / Sinziana Avramescu, Dragos A. Nita, and Igor Timofeev // *J. Neurotrauma*. – 2009. – Vol. 26 (5). – P. 799-812.

11. Barry R. J. et al. EEG differences between eyes-closed and eyes-open resting conditions / Robert J. Barry, Adam R. Clarke, Stuart J. Johnstone, Christopher A. Magee, Jacqueline A. Rushby // *Clinical Neurophysiology*. – 2007. – Vol. 118 (12). – P. 2765-2773.

12. Barry J. et al. EEG differences in children between eyes-closed and eyes-open resting conditions / Robert J. Barry, Adam R. Clarke, Stuart J. Johnstone, Christopher R. Brown // *Clinical Neurophysiology*. – 2009. – Vol. 120 (10). – P. 1806-1811.

13. De Volder A.G. et al. Brain energy metabolism in early blind subjects: neuronal activity in the visual cortex / Anne G. de Volder, Anne Bol, Jerome Blin, Annie Robert, Patricia Arno, Cecile Gravdin, Christian Michel, Claude Veraart // *Brain Research*. – 1997. – Vol. 750 (1-2). – P. 235-244.

14. Chen A. C. N. et al. EEG default mode network in the human brain: spectral regional field powers / A. C. N. Chen, Y. I. Feng, and H. X. Zhao // *Neuroimage*. – 2008. – Vol. 69(3). – P. 184-185.

15. Feige B. et al. Cortical and subcortical correlates of electroencephalographic alpha rhythm modulation / Feige B., Scheffler K., Esposito F., Di Salle F., Hennig J., Seifritz E. // *J Neurophysiol*. – 2005. – Vol. 93. – P. 2864-2872.

16. Fransson P. Spontaneous low-frequency BOLD signal fluctuations: an fMRI investigation of the resting-state default mode of brain function hypothesis / Fransson P. // *Hum Brain Mapp*. – 2005. – Vol. 26. – P. 15-29.

17. Funke K. et al. EEG-dependent modulation of response dynamics of cat dLGN relay cells and the contribution of the corticogeniculate feedback / Funke K. & Eysel U.T. // *Brain Res.* – 1992. – Vol. 573. – P. 217-227.

18. Goldman R.I. et al. Simultaneous EEG and fMRI of the alpha rhythm / Goldman R.I., Stern J.M., Engel J., and Cohen M.S. // *Neuroreport.* – 2002. – Vol. 13. – P. 2487-2492.

19. Harmony T. et al. EEG delta activity: An indicator of attention to internal processing during performance of mental tasks / Harmony T., Fernandez T., Silva J., et al. // *Int J Psychophysiol.* – 1996. – Vol. 24. – P. 161-171.

20. Hübner K. Differential effects of eyes open or closed in darkness on brain activation patterns in blind subjects / K. Hübner, T. Stephan, V.L. Flanagin, A. Deutschländer, A. Stein, R. Kalla, T. Dera, G. Fesl, K. Jahn, M. Strupp, T. Brandt // *Neuroscience Letters.* – 2009. – Vol. 466 (1). – P. 30-34.

21. John E.R. et al. The anesthetic cascade. A theory of how anesthesia suppresses consciousness / John E.R., Pritchep L.S. // *Anesthesiology.* – 2005. – Vol. 102. – P. 447-471.

22. Larson C.L. et al. Relations between PET-derived measures of thalamic glucose metabolism and EEG alpha power / Larson C.L., Davidson R.J., Abercrombie H.C., Ward R.T., Schaefer S.M. et al. // *Psychophysiology.* – 1998. – Vol. 35. – P. 162-169.

23. Laufs H. et al. EEG-correlated fMRI of human alpha activity / Laufs H., Kleinschmidt A., Beyerle A., Eger E., Salek-Haddadi A. C. P., and Krakow K. – *Neuroimage.* – 2003. – Vol. 19. – P. 1463-1476.

24. Li B. et al. Correlated variations in EEG pattern and visual responsiveness of cat lateral geniculate relay cells / Li B., Funke K., Wörgötter F. & Eysel U.T. // *J. Physiology (Lond.).* – 1999. – Vol. 514. – P. 857-874.

25. Marx E. et al. Eye closure in darkness animates sensory systems / Esther Marx, Thomas Stephan, Annina Nolte, Angela Deutschländer, Klaus C Seelos et al. // *NeuroImage.* – 2003. – Vol. 19 (3). – P. 924-934.

26. Moosmann M. et al. Correlates of alpha rhythm in functional magnetic resonance imaging and near infrared spectroscopy / Moosmann M., Ritter P., Krastel I., Brink A., Thees S., Blankenburg F., Taskin B., Obrig H., and Villringer A. // *Neuroimage.* – 2003. – Vol. 20. – P. 145-158.

27. Nita D.A. et al. Increased propensity to seizures after chronic cortical deafferentation in vivo / Nita D.A., Cisse Y., Timofeev I., and Steriade M. J. // *Neurophysiology.* – 2006. – Vol. 95. – P. 902-913.

28. Qin P. et al. Self-specific stimuli interact differently than non-self-specific stimuli with eyes-open versus eyes-closed spontaneous activity in auditory cortex / Pengmin Qin, Simone Grimm, Niall W. Duncan, Giles Holland, Jia shen Guo et al. // *Frontiers in Human Neuroscience.* – 2013. – Vol. 7, Article 437. – 8 p.

29. Raichle M. E et al. A default mode of brain function / M. E. Raichle, A.M. MacLeod, A.Z. Snyder, W. J. Powers, D. A. Gusnard, and G. L. Shulman //

Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. – 2001. – Vol. 98 (2). – P. 676-682.

30. Scheeringa R. et al. Frontal theta EEG activity correlates negatively with the default mode network in resting state / Rene Scheeringa, Marcel C.M. Bastiaansen, Karl Magnus Peterson, Robert Oostenveld, David G. Norris, Peter Hagoort // International J. of Psychophysiology. – 2008. – Vol. 67, № 3. – P. 242-251.

31. Tan B. et al. The Difference of Brain Functional Connectivity between Eyes-Closed and Eyes-Open Using Graph Theoretical Analysis / Bo Tan, Xianxian Kong, Ping Yang, Zhenlan Jin, and Ling Li // Computational and Mathematical Methods in Medicine. – 2013. – Vol. 2013, Article ID 976365. – 15 p.

32. Terman D. et al. Functional reorganization in thalamocortical networks: transition between spindling and delta sleep rhythms / Terman D., Bose A., and Kopell N. // Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. – 1996. – Vol. 93. – P. 15417-15422.

33. Wu L. et al. Reactivity of hemodynamic responses and functional connectivity to different states of alpha synchrony: a concurrent EEG-fMRI study / Wu L., Eichele T. and Calhoun V.D. // Neuroimage. – 2010. – Vol. 52. – P. 1252-1260.

34. Yan Ch. et al. Spontaneous Brain Activity in the Default Mode Network Is Sensitive to Different Resting-State Conditions with Limited Cognitive Load / Chaogan Yan, Dongqiang Liu, Yong He, Qihong Zou, Chaozhe Zhu, Xinian Zuo, Xiangyu Long, Yufeng Zang // PLoS ONE. – 2009. – Vol. 4, №5, e 5743. – 11 p.

Специфика фоновой ЭЭГ детей со зрительными дисфункциями при открытых глазах. Редька И.В. – Проведен сравнительный анализ спектральных характеристик ЭЭГ детей с различным состоянием зрительных функций в условиях относительного покоя с открытыми глазами. Изменения в структуре спектра ЭЭГ детей с зрительными дисфункциями заключаются в снижении уровня альфа-активности и повышении уровня дельта-активности по всей конвекситальной поверхности головного мозга, особенно в теменно-височно-затылочной области и лобном полюсе. Эти изменения наиболее выражены у мальчиков со зрительными дисфункциями в сравнении с девочками. Изменения спектральных характеристик бета-диапазона при зрительных дисфункциях зависят от пола детей. Указанное отражает нарушение взаимодействия активирующих и дезактивирующих систем мозга, в частности таламо-кортикальной системы, и изменение внутрикоркового взаимодействия при зрительных дисфункциях.

Ключевые слова: дети со зрительными дисфункциями, ЭЭГ, спектральный анализ, открытые глаза.