

СПЕКТРАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОНОВОЇ ЕЛЕКТРОЕНЦЕФАЛОГРАМИ ДІТЕЙ ІЗ ЗОРОВОЮ ДИСФУНКЦІЄЮ

Надійшла 20.04.13

Реєстрували фонову ЕЕГ та визначали середні значення модальної частоти (МЧ), а також абсолютної та відносної спектральних потужностей (СП) дельта-, тета-, альфа-ритмів і бета1- та бета2-субритмів у 31 дитини з вродженими зоровими дисфункціями (середня гострота зору порядку 0.2) та у 49 дітей восьми–12 років із нормальним зором. Фонова ЕЕГ-активність головного мозку дітей із зоровими дисфункціями характеризувалася зниженою абсолютною СП усіх частотних діапазонів (максимально в альфа-діапазоні), зниженою відносною СП коливань альфа-діапазону на тлі підвищення відносної СП дельта-діапазону (та бета2-діапазону у хлопчиків), а також підвищенням МЧ повільнохвильової активності та бета-осциляцій (бета2-діапазону у дівчаток, бета1- – у хлопчиків) на тлі незмінної МЧ альфа-активності у більшості ділянок кори головного мозку. Наведені дані, вірогідно, свідчать про підвищення активності каудальних відділів стовбура головного мозку при наявності зорових дисфункцій; це призводить до змін характеру взаємодій активуючих та деактивуючих систем мозку. Виявлені ймовірні компенсаторні механізми в інтегративній діяльності головного мозку при зорових дисфункціях.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: зорові дисфункції у дітей, ЕЕГ, спектральний аналіз, спектральна потужність (СП), модальна частота.

ВСТУП

Вплив стану зорової аферентації в разі її норми та порушень на ЕЕГ-активність головного мозку привертая увагу дослідників ще на порозі розвитку електроенцефалографії. При цьому переважна більшість ЕЕГ-досліджень людей із зоровими дисфункціями були спрямовані на виявлення характеристик альфа-ритму на підставі візуальних оцінок або спектрального аналізу ЕЕГ (на той час – із низькою роздільною здатністю). Едріан і Мет'юз [1] висловили припущення про істотну залежність основного ритму ЕЕГ (α -ритму) від зорової функції та стверджували, що цей компонент ЕЕГ у сліпих людей є практично відсутнім. Однак Бергер [2] не погоджувався з положенням щодо вирішальної ролі зорової аферентації в генерації альфа-ритму, оскільки вважав, що даний ритм генерується усім мозком, а не ви-

ключно зоровими ділянками кори. На його думку, в умовах повного заспокоєння сліпих людей під час реєстрації ЕЕГ ознаки наявності у них альфа-ритму були очевидними. Згодом Люміс та співавт. [3] також дійшли висновку, що відсутність альфа-ритму у сліпих людей визначається в основному умовами експерименту (напруженим станом досліджуваних). Новикова [4] доводила можливість виявлення альфа-ритму в складі ЕЕГ сліпих й осліплених людей та стверджувала, що критична гострота зору для формування цього ритму становить всього 0.01. Подібні результати наводились і в роботах інших авторів [5, 6].

Слід підкреслити, що візуальний аналіз ЕЕГ (та навіть і спектральний аналіз у більшості випадків) не дає беззастережних підстав для ствердження про наявність або відсутність ритмічної активності в будь-якому діапазоні ЕЕГ, у тому числі і в альфа-діапазоні. Більші можливості в даному аспекті може надати кореляційний аналіз, який у вищезгаданих роботах не використовувався.

Що ж до амплітуди альфа-активності при вадах зору, то в більшості публікацій повідомлялося, що вона у таких випадках істотно знижена [4, 9, 10].

¹ Харківська медична академія післядипломної освіти (Україна).

² Інститут охорони здоров'я дітей і підлітків НАМН України, Харків (Україна).

³ Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна (Україна).

Ел. пошта: o.y.mayorov@gmail.com (О. Ю. Майоров);

iredka@yandex.ru (І. В. Редька).

Однак існують і протилежні дані – в умовах зниження гостроти зору можуть зустрічатися досить високоамплітудні альфа-коливання [10].

Візуальний аналіз ЕЕГ при вадах зору дозволяє найчастіше характеризувати її як низькоамплітудну [9, 10], дезорганізовану, поліморфну з одночасно підвищеною кількістю хвиль дельта- [11], тета- [12] та бета- [10] частот. Проте є дані щодо гіперсинхронної ЕЕГ із високоамплітудною (≥ 100 мкВ) нерегулярною альфа-активністю в поєднанні з високою амплітудою повільних хвиль у дітей із вродженим ністагмом [10].

Спектральний аналіз ЕЕГ з низькою роздільною здатністю показав відсутність коливань альфа2-діапазону у сліпих [13] та зменшення цього компонента ЕЕГ у частковозорих [9]. У слабозорих дітей були виявлені підвищена потужність коливань тета-діапазону [11, 12] та пригнічення електричної активності в потиличних частках [12]. У дорослих людей із вродженою сліпотою спостерігалася зменшена спектральна потужність (СП) альфа-активності в тім'яно-потилічних [14], правій центральній і лівій потиличній ділянках [15]. У той же час існують протилежні відомості про те, що сліпі та зрячі люди можуть і не розрізнятися за значеннями СП ЕЕГ-коливань у будь-якому частотному діапазоні [16].

Таким чином, переважна більшість ЕЕГ-досліджень були присвячені аналізу лише морфології та топографії альфа-активності та її субдіапазонів у людей із зоровими дисфункціями. Висновки спиралися здебільшого на результати візуального аналізу ЕЕГ, а окремі роботи – на дані спектрального аналізу низької роздільної здатності. Це не дозволяє в повній мірі розкрити особливості функціонального стану головного мозку при зорових дисфункціях. Крім того, деякі дослідження з використанням спектрального аналізу на основі швидкого перетворення Фур'є звичайно стосувалися малочисельного (п'ять–15 осіб) та різновікового контингенту, а відповідні висновки мали суперечливий характер.

Враховуючи наведені відомості, ми вважали за доцільне провести поглиблений аналіз спектральних характеристик фонові ЕЕГ при зорових дисфункціях у дітей.

МЕТОДИКА

У дослідженні взяли участь 31 дитина з вродженими зоровими дисфункціями (19 хлопчиків і

12 дівчаток) та 49 нормальнозорих практично здорових дітей (27 хлопчиків та 22 дівчинки) періоду другого дитинства (вісім–12 років). Загальним критерієм для включення дітей у дослідження була відсутність органічної патології ЦНС та черепно-мозкової травми в анамнезі, неврологічних чи психічних розладів, впливу фармакологічної терапії на момент дослідження.

Переважна більшість дітей із зоровими дисфункціями мали два-три офтальмологічних діагнози та двобічне ураження органів зору. У даній роботі ми не розглядаємо патогенез тих захворювань, котрі призвели до розвитку зорових дисфункцій, оскільки це виходить за коло задач нашого дослідження. Тим не менш, досліджену групу, очевидно, можна розглядати як відносно гомогенну: середня коригована гострота зору у дітей даної групи становила 0.16 ± 0.04 та 0.22 ± 0.06 для лівого та правого очей відповідно.

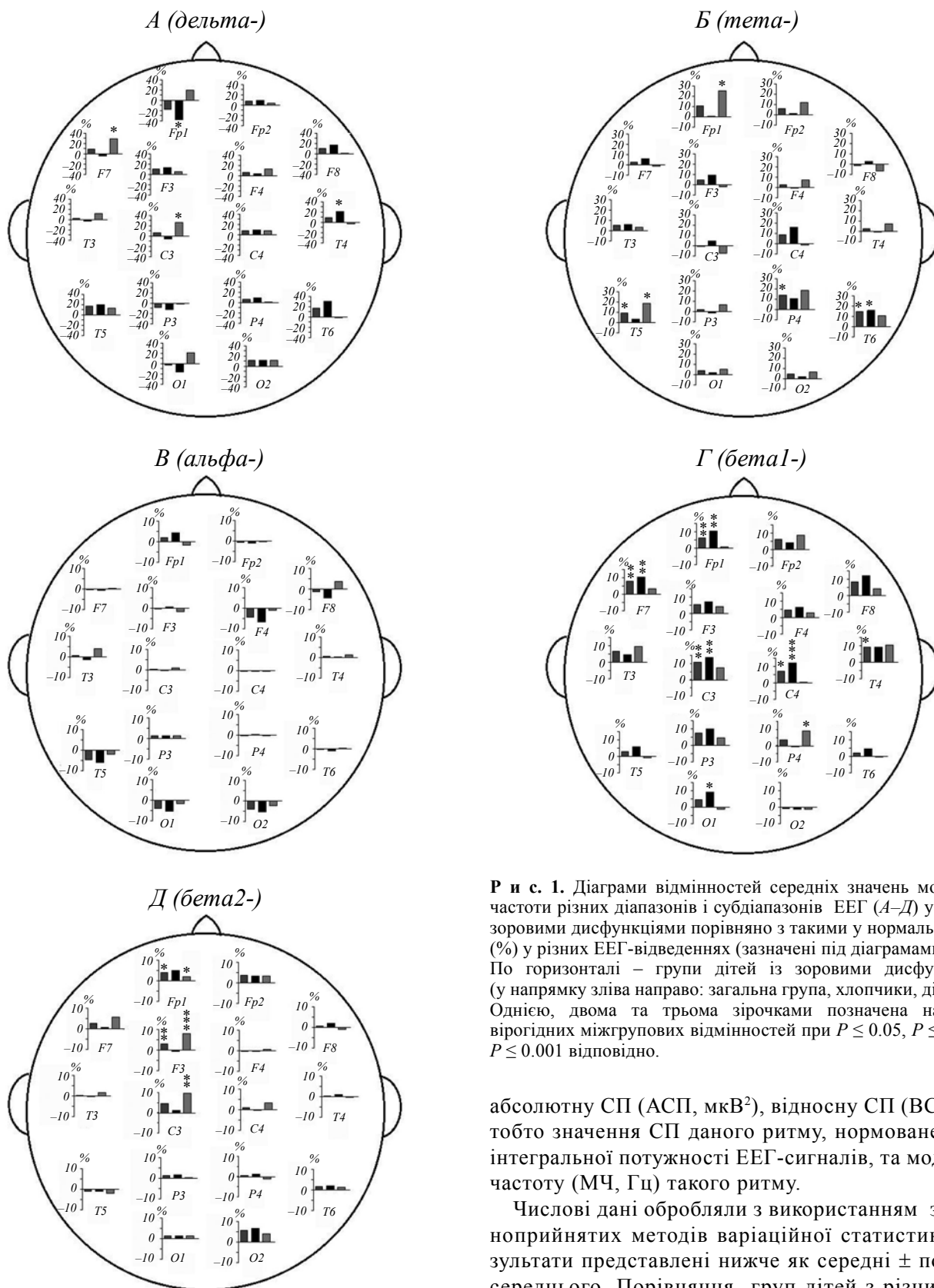
Реєстрацію та аналіз ЕЕГ здійснювали за загальноприйнятою методикою за допомогою комп'ютерного електроенцефалографа «DX-5000» (НВФ «DX-системи», Харків, Україна). Спектральний аналіз ЕЕГ високої роздільної здатності виконувався з точністю до 0.001 Гц з використанням пакета прикладних програм «NeuroResearcher[®]» (Інститут медичної інформатики і телемедицини, Харків, Україна). На відміну від звичайного спектрального аналізу з кроком 0.5–1.0 Гц це дозволяло виявити більш тонкі зміни функціонального стану головного мозку дітей із зоровими дисфункціями.

ЕЕГ-потенціали відводили монополярно від 23 локусів відповідно до міжнародної системи «10–20» із використанням усередненого референтного електрода, за Голдманом. Виявлення артефактів у складі ЕЕГ, зумовлених рухами очей, здійснювали згідно з окулограмою.

Фільтри низьких і високих частот були налаштовані відповідно на 0.5 і 35 Гц, частота дискретизації ЕЕГ-сигналів складала 400 с^{-1} . Спектрограми ЕЕГ-реалізацій отримували на підставі швидкого перетворення Фур'є.

Процедура дослідження передбачала реєстрацію фонові ЕЕГ у стані спокійного неспанння із заплющеними очима впродовж 2.5 хв. Аналізу піддавали безартефактні фрагменти запису тривалістю 35–45 с. Межі частотних діапазонів відповідали найбільш широко прийнятим значенням: дельта – 0.5–4, тета – 4–8, альфа – 8–12, бета1 – 13–20 та бета2 – 20–30 Гц.

Для спектральних компонентів ЕЕГ визначали їх



Р и с. 1. Діаграми відмінностей середніх значень модальної частоти різних діапазонів і субдіапазонів ЕЕГ (А–Д) у дітей із зоровими дисфункціями порівняно з такими у нормальнозорих (%) у різних ЕЕГ-відведеннях (зазначені під діаграмами). По горизонталі – групи дітей із зоровими дисфункціями (у напрямку зліва направо: загальна група, хлопчики, дівчатка). Однією, двома та трьома зірочками позначена наявність вірогідних міжгрупових відмінностей при $P \leq 0.05$, $P \leq 0.01$ та $P \leq 0.001$ відповідно.

абсолютну СП (АСП, мкВ²), відносну СП (ВСП, %), тобто значення СП даного ритму, нормоване щодо інтегральної потужності ЕЕГ-сигналів, та модальну частоту (МЧ, Гц) такого ритму.

Числові дані обробляли з використанням загальноприйнятих методів варіаційної статистики; результати представлені нижче як середні \pm похибка середнього. Порівняння груп дітей з різним станом зорової функції здійснювали із застосуванням

непараметричного критерію U Вілкоксона–Манна–Уїтні. Вірогідними вважалися відмінності при значеннях $P \leq 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТИ

Оскільки нами у дітей восьми–12 років було виявлено гендерні відмінності у спектральних показниках, надалі опис та результати аналізу даних щодо дітей різної статі з різним станом зорових функцій представлені окремо.

Дельта-ритм. Обстеження хлопчиків із зоровими дисфункціями продемонструвало наявність вірогідних відмінностей – більш високі значення МЧ дельта-коливань у відведенні Т4 (на 20.9 %) (рис. 1) та нижчі значення їх МЧ у Fp1 (на 37.4 %) – порівняно з відповідними величинами в групі контролю. Що ж до інших відведень, то у більшості локусів правої півкулі спостерігалися дещо вищі значення МЧ дельта-ритму, а в лівій півкулі – менші, але різниці були невірогідними.

Аналіз значень СП (рис. 2; 3) виявив у хлопчиків із зоровими дисфункціями вірогідно більші значення ВСП дельта-коливань по всій конвексимальній корі головного мозку, а саме у Fp1 (на 12.5 %), F3 (на 13.9 %), С4 (на 18.9 %), Р4 (на 33.5 %), Т6 (на 21.4 %), О1 (на 32.9 %) та О2 (на 50.0 %). Що ж до АСП, то спостерігалася тільки тенденція ($P > 0.05$) до більш високих значень у більшості відведень.

Порівняння дівчаток із зоровими дисфункціями з нормальнозорими дівчатами виявило вірогідно більші значення МЧ дельта-ритму в першій зі згаданих груп у відведеннях F7 (на 30.0 %) та С3 (на 26.2 %). У більшості інших кортикальних ділянок відмічалася лише тенденція ($P > 0.05$) до більш високих значень МЧ (рис. 1).

У дівчаток із зоровими дисфункціями спостерігалися вірогідно вищі, ніж у контролі, значення АСП у правому лобовому полюсі (на 38.0 %), ВСП – у правому лобовому полюсі (на 18.3 %), правій нижній лобовій (на 21.2 %), правій та лівій тім'яній (відповідно на 57.4 та 36.2 %), правій та лівій потиличній (відповідно на 61.9 та 53.1 %) ділянках (рис. 2; 3).

Тета-ритм. У дітей, що страждали на зорові дисфункції, реєструвалися вірогідно вищі значення МЧ (рис. 1) даного компонента ЕМГ: у хлопчиків – у правій задній скроневій ділянці (на 16.2 %), у дівчаток – у лобовому полюсі (на 25.2 %) та задній скроневій ділянці (на 19.0 %) лівої півкулі. У більшості інших відведень виявлялася тільки тенденція ($P > 0.05$) до дещо вищих значень МЧ тета-коливань.

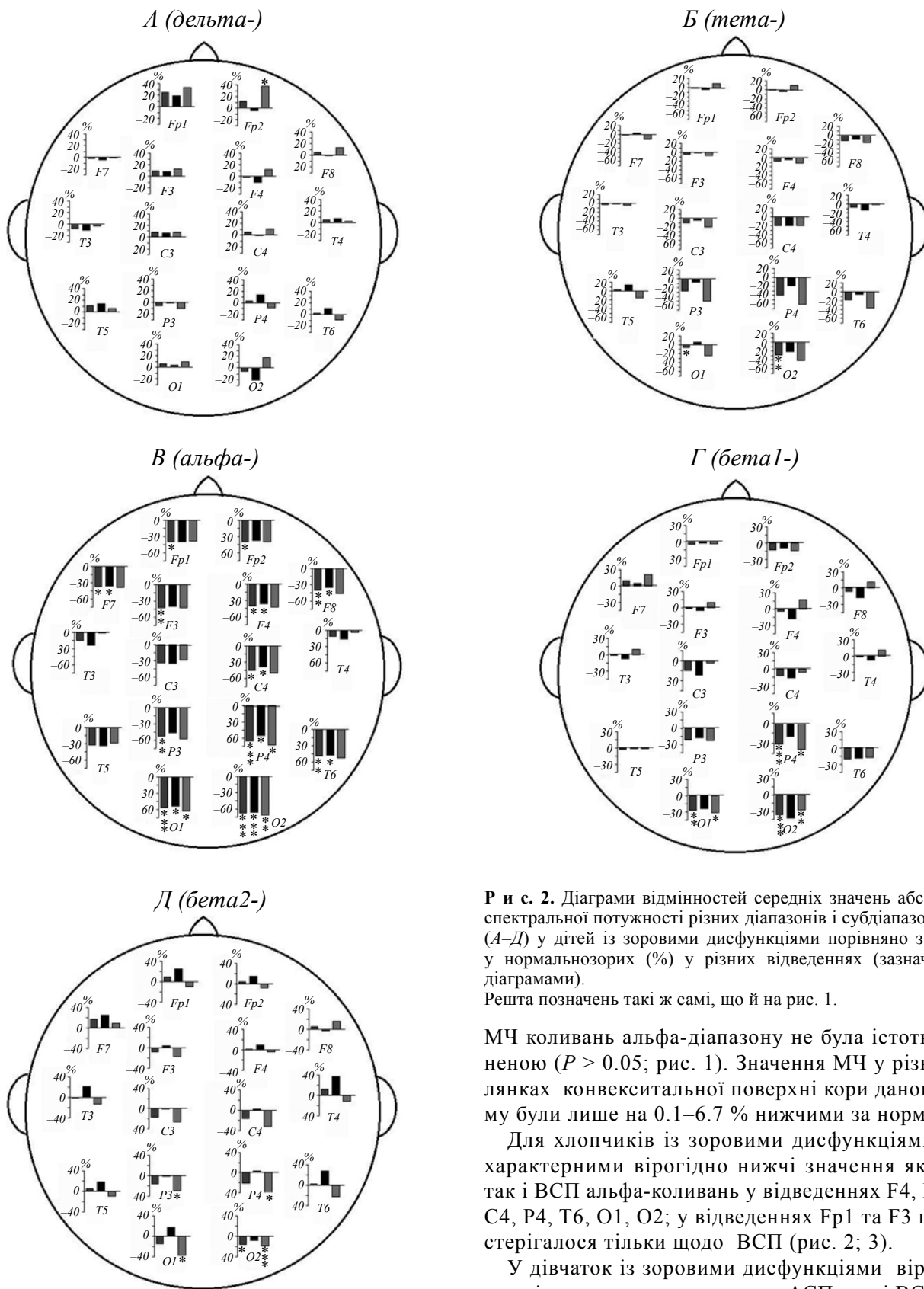
Аналіз СП тета-компонента ЕЕГ (рис. 2; 3; див. таблицю) виявив у більшості відведень тенденцію ($P > 0.05$) до нижчих значень АСП та вищих значень ВСП у дітей із зоровими дисфункціями порівняно з аналогічними показниками у здорових дітей.

Альфа-ритм. При зорових дисфункціях середня

Індекси повільнохвильової активності в складі ЕЕГ ($\delta + \theta/\alpha + \beta_1 + \beta_2$) у стані спокійного неспання

Відведення ЕЕГ	Діти із зоровими дисфункціями			Нормальнозорі діти		
	загалом (n = 31)	хлопчики (n = 19)	дівчатка (n = 12)	загалом (n = 49)	хлопчики (n = 27)	дівчатка (n = 22)
Fp1	6.05±0.66**	6.48±0.83*	5.37±1.08	3.90±0.35	4.09±0.44	3.67±0.57
Fp2	5.46±0.54*	5.53±0.70	5.35±0.89*	4.01±0.35	4.50±0.48	3.40±0.47
F3	3.38±0.30**	3.75±0.41*	2.80±0.37	2.35±0.17	2.55±0.24	2.10±0.25
F8	3.40±0.33**	3.74±0.46*	2.87±0.43	2.33±0.19	2.45±0.23	2.17±0.31
C4	3.30±0.33*	3.60±0.44*	2.82±0.48	2.31±0.22	2.37±0.28	2.24±0.36
P3	2.82±0.38**	3.13±0.54	2.34±0.44	1.70±0.18	1.83±0.25	1.53±0.26
P4	5.46±0.54*	5.53±0.70	5.35±0.89*	4.01±0.35	4.50±0.48	3.40±0.47
T6	3.00±0.42*	3.44±0.62*	2.30±0.38	1.83±0.14	1.78±0.17	1.89±0.24
O1	3.20±0.37***	3.17±0.50**	3.25±0.58**	1.40±0.15	1.50±0.23	1.29±0.16
O2	3.12±0.37***	2.99±0.46***	3.34±0.65**	1.13±0.12	1.04±0.15	1.24±0.19

Примітки. Наведені тільки значення спектральних показників у тих відведеннях, де виявлено вірогідні відмінності між дітьми з різним станом зорової функції. Зірочками позначені випадки вірогідних відмінностей значень показників у групах дітей із зоровими дисфункціями від відповідних значень у нормальнозорих дітей (* $P \leq 0.05$, ** $P \leq 0.01$, *** $P \leq 0.001$).



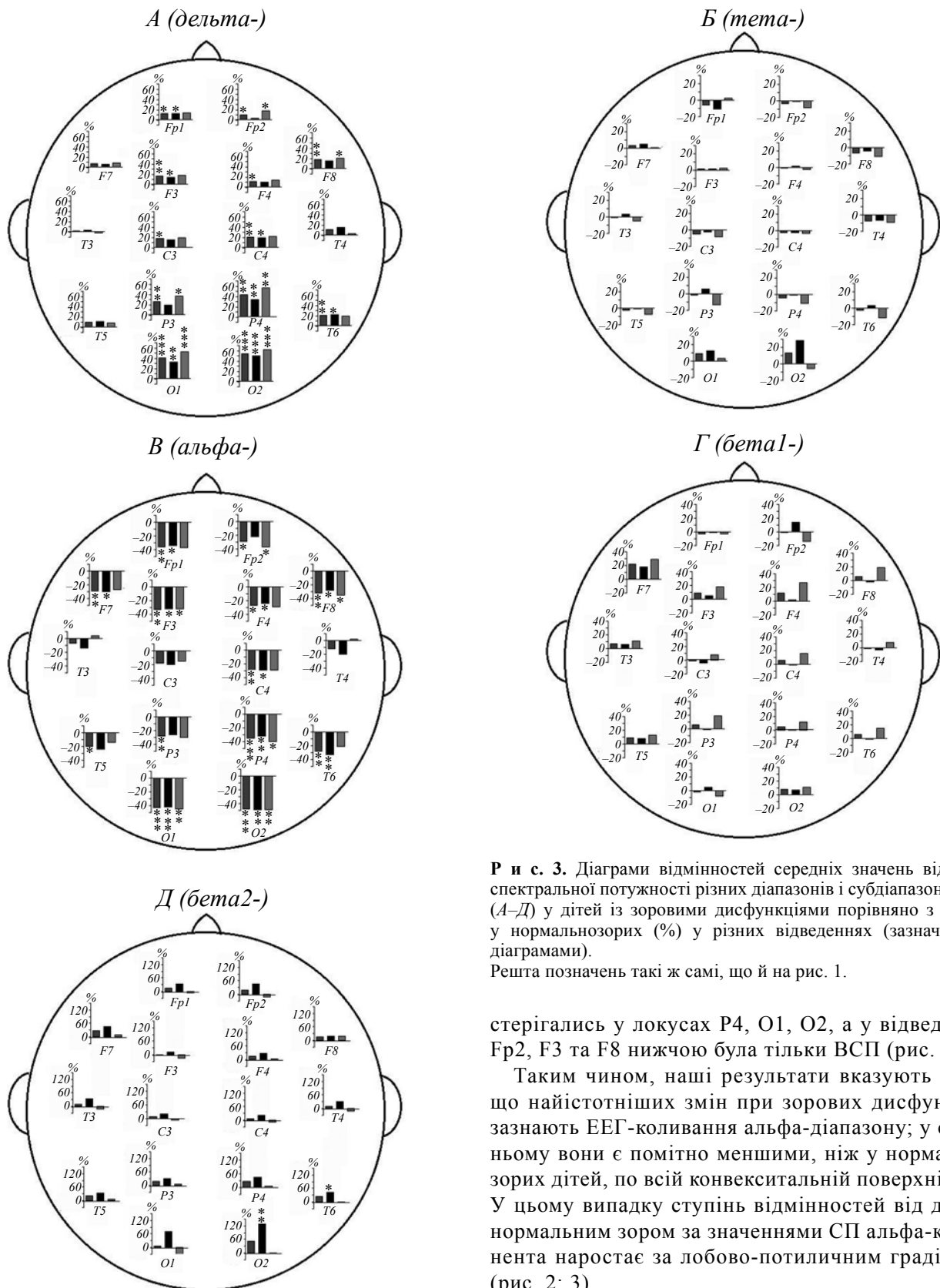
Р и с. 2. Діаграми відмінностей середніх значень абсолютної спектральної потужності різних діапазонів і субдіапазонів ЕЕГ (А–Д) у дітей із зоровими дисфункціями порівняно з такими у нормальнозорих (%) у різних відведеннях (зазначені під діаграмами).

Решта позначень такі ж самі, що й на рис. 1.

МЧ коливань альфа-діапазону не була істотно зміненою ($P > 0.05$; рис. 1). Значення МЧ у різних ділянках конвексимальної поверхні кори даного ритму були лише на 0.1–6.7 % нижчими за норму.

Для хлопчиків із зоровими дисфункціями були характерними вірогідно нижчі значення як АСП, так і ВСП альфа-коливань у відведеннях F4, F7, F8, C4, P4, T6, O1, O2; у відведеннях Fp1 та F3 це спостерігалось тільки щодо ВСП (рис. 2; 3).

У дівчаток із зоровими дисфункціями вірогідно нижчі за контроль значення як АСП, так і ВСП спо-



Р и с. 3. Діаграми відмінностей середніх значень відносної спектральної потужності різних діапазонів і субдіапазонів ЕЕГ (А–Д) у дітей із зоровими дисфункціями порівняно з такими у нормальнозорих (%) у різних відведеннях (зазначені під діаграмами).

Решта позначень такі ж самі, що й на рис. 1.

стерігались у локусах Р4, О1, О2, а у відведеннях Fр2, F3 та F8 нижчою була тільки ВСП (рис. 2; 3).

Таким чином, наші результати вказують на те, що найістотніших змін при зорових дисфункціях зазнають ЕЕГ-коливання альфа-діапазону; у середньому вони є помітно меншими, ніж у нормальнозорих дітей, по всій конвексимальній поверхні кори. У цьому випадку ступінь відмінностей від дітей з нормальним зором за значеннями СП альфа-компонента наростає за лобово-потиличним градієнтом (рис. 2; 3).

Аналіз топографічного розподілу ВСП альфа-

діапазону виявив, що фокус максимуму даного показника у хлопчиків із зоровими дисфункціями знаходиться в лівій тім'яній ділянці, у дівчаток із зоровими дисфункціями – в лівій центральній ділянці, тоді як у дітей обох статей з нормальним зором – у правій потиличній ділянці.

Бета1-субдіапазон. Вірогідно вищі значення МЧ цих осциляцій при зорових дисфункціях спостерігались у хлопчиків у лівому лобовому полюсі (на 10.3 %), лівій потиличній (на 9.2 %) та в обох нижніх лобових (на 10–12 %) і центральних (на 12–14 %) ділянках, а у дівчаток – у правій тім'яній ділянці (на 9.2 %). У решті відведень значення бета1 МЧ були теж дещо вищими, але різниці не досягали рівня вірогідності.

Наявність зорових дисфункцій супроводжувалася вірогідно нижчими значеннями АСП бета1-коливаль, у хлопчиків – у лівій потиличній ділянці (на 23.3 %), у дівчаток – у тім'яній (на 38.5 %) і потиличній (на 27.6 %) ділянках правої півкулі (рис. 2).

Загалом у більшості ділянок конвексимальної поверхні головного мозку при зорових дисфункціях спостерігалася тенденція ($P > 0.05$) до більш низьких значень АСП бета1-осциляцій (рис. 2), тоді як значення ВСП цього субдіапазону були дещо вищими.

Бета2-субдіапазон. У хлопчиків із зоровими дисфункціями ми не виявили вірогідних відмінностей за значеннями МЧ даної частини ЕЕГ-спектра (рис. 1).

Вірогідно вищі значення ВСП бета2-коливаль порівняно з контролем спостерігались тільки в задній скроневій (на 44.5 %) та потиличній (на 128.6 %) ділянках правої півкулі (рис. 3). У більшості інших відведень (рис. 1–3) значення АСП, ВСП та МЧ бета1-осциляцій дещо перевищували контроль, але різниці були невірогідними.

У дівчаток із зоровими дисфункціями МЧ бета2-коливаль вірогідно перевищувала відповідні показники у нормальнозорих у лобовому полюсі (на 1.9 %), передній лобовій (на 8.0 %) і центральній (на 9.6 %) ділянках лівої півкулі, тоді як у решті відведень ці показники хоч і були вищими (рис. 1; див. таблицю), але невірогідно.

У дівчаток із зоровими дисфункціями вірогідно нижчі значення АСП бета2-коливаль відмічались у тім'яних (на 29–39 %) і потиличних (на 18–37 %) ділянках кори (рис. 2). Порівняно низькі значення АСП виявлялися також і в більшості інших відведень, однак різниці не були вірогідними.

Дівчатка із зоровими дисфункціями вірогідно не відрізнялися від нормальнозорих дівчат за показниками ВСП; у відведеннях Fp1, Fp2, F3, T3, C3, C4, T4 та O1 відповідні показники були дещо нижчими, а в інших – вищими.

Співвідношення низько- та високочастотних складових ЕЕГ. У дітей із зоровими дисфункціями спостерігалось певне переважання повільнохвильової ЕЕГ-активності у порівнянні з контролем по всій конвексимальній поверхні головного мозку. Така відмінність у хлопчиків досягала рівня вірогідності ($P \leq 0.05$) у відведеннях Fp1, F3, F8, C4, T6, O1 та O2, а у дівчаток – у відведеннях Fp2, P4, O1 та O2 (див. таблицю). Найбільші відмінності відмічались в потиличних ділянках кори головного мозку.

Аналіз домінуючих та субдомінуючих ритмів. У дітей дослідженого віку із зоровими дисфункціями в усіх ЕЕГ-відведеннях найчастіше домінувала дельта-активність (її ВСП складала 64–98 %), а тета-коливаль могли розглядатись як субдомінуючі. У нормальнозорих же дітей у всіх відведеннях (за винятком P3, O1 та O2) також найчастіше переважала дельта-активність (55–86 %), субдомінуючими були тета- та альфа-коливаль. Крім того, у нормальнозорих дітей у лівій тім'яній та обох потиличних ділянках головного мозку явно домінувала альфа-активність (57–76 %), чого не спостерігалось у жодної дитини із зоровими дисфункціями.

ОБГОВОРЕННЯ

На сьогодні накопичено переконливі дані про взаємозв'язок альфа-активності із зоровими дисфункціями, однак все ще залишається дискусійним питання про амплітудно-частотні характеристики цієї активності в умовах зорових дисфункцій. При цьому переважна більшість відповідних висновків були сформульовані на підставі клінічного візуального аналізу ЕЕГ-сигналів.

Враховуючи зазначене, ми запровадили підхід, базований на спектральному аналізі високої роздільної здатності з урахуванням усіх ЕЕГ-відведень та більшості частотних діапазонів. Такий підхід дозволив отримати об'єктивні дані про характеристики альфа-активності у дітей восьми–12 років із зоровими дисфункціями. Зокрема, були отримані свідчення наявності альфа-активності як у практично сліпих дітей, так і у дітей з істотно зниженою, але не нульовою гостротою зору.

Спираючись на експериментальні дані [8, 9] про зниження характеристичної частоти альфа-активності в потиличних ділянках у дітей із зоровими дисфункціями, ми очікували вираженого зниження МЧ коливань альфа-діапазону при зорових дисфункціях. Проте виявлені відмінності – дещо нижчі значення МЧ альфа-активності у дітей із зоровими дисфункціями порівняно з відповідними величинами у дітей із нормальним зором – виявилися невірогідними.

Можна констатувати, що діти із зоровими дисфункціями характеризуються зниженням АСП коливань альфа-діапазону по всій поверхні півкуль головного мозку, і це зниження є найбільш вираженим у хлопчиків. Оскільки значення АСП фактично віддзеркалюють амплітуду тих або інших мозкових осциляцій, дані про зменшену амплітуду альфа-активності у дітей із зоровими дисфункціями є очікуваними, і це узгоджується з результатами інших досліджень [5, 16].

Ми також підтвердили факт зміщення фокуса максимальної ЕЕГ-активності альфа-діапазону у дітей із зоровими дисфункціями [5, 9, 13, 14, 16] і одночасно вперше визначили певні гендерні особливості в даному аспекті. Так, у хлопчиків з ураженнями зору фокус максимальної альфа-активності переміщувався з потиличних у тім'яні кортикальні ділянки, а у дівчаток – в центральні.

У дітей восьми–12 років із зоровими дисфункціями в усіх ділянках кори головного мозку домінуючим є дельта-ритм. Даний факт, видимо, вказує на істотно глобальне зниження лабільності коркових нейронів і, відповідно, на їх певною мірою знижену функціональну активність. При цьому виявлена у дітей із зоровими дисфункціями практична відсутність домінування альфа-активності в складі ЕЕГ (згідно зі значеннями АСП та ВСП) свідчить про значний дисбаланс у діяльності неспецифічних активуючих систем мозку.

Очевидно, що механізм даного явища необхідно шукати в характері морфофункціональної взаємодії специфічних зорових церебральних систем з активуючими системами мозку. Є ймовірним, що першорядна роль у таких модифікаціях ЕЕГ належить зменшенню активуючих висхідних впливів на кору головного мозку – модальноспецифічних від релейних ядер таламуса (латерального колінчастого тіла – ЛКТ) та неспецифічних від мезенцефальної ретикулярної формації – внаслідок зменшення нервової імпульсації від клітинних структур сітківки в умовах зорової дисфункції. Це, в свою

чергу, призводить до зниження загального тону су кори головного мозку, зокрема його фронтальних ділянок. Недостатня активація фронтальної кори зумовлює зняття гальмуючих впливів фронто-таламічної системи на задній гіпоталамус. Внаслідок цього структури останнього надмірно активуються та гальмують і без того знижену активність мезенцефальної ретикулярної формації. Оскільки відомо, що структури мезенцефальної та бульбарної ретикулярної формації знаходяться в антагоністичних взаємовідносинах, зниження активності першої з вказаних структур в умовах зорових дисфункцій призводить до посилення деактивуючих впливів бульбарної ретикулярної формації на кору головного мозку через неспецифічні (центральні) ядра таламуса.

Зазначена динамічна взаємодія активуючих та деактивуючих систем головного мозку в умовах зорової дисфункції знаходить своє відображення на ЕЕГ у вигляді заміни високоамплітудної альфа-активності на домінуючу повільнохвильову активність дельта-діапазону. Це відбивається в зниженні АСП і ВСП коливань альфа-діапазону та збільшенні відносної потужності дельта-коливань по всій конвексимальній поверхні головного мозку дітей із зоровими дисфункціями.

Про посилення роботи системи зворотного гальмування у неспецифічних структурах головного мозку (імовірно, зв'язку між бульбарною ретикулярною формацією та неспецифічними ядрами таламуса) у хлопчиків із зоровими дисфункціями може свідчити виявлене нами підвищення МЧ бета1-діапазону на тлі тенденції до зниження потужності цього субкомпонента. Дівчаткам із зоровими дисфункціями також була властива подібна тенденція змін спектральних характеристик бета1-діапазону, але менш виражена. Отже, виявлені зміни не залежать значною мірою від статі досліджуваних, тобто є досить генералізованими та модально специфічними.

Крім того, із вказаною гіпотезою механізму змін ЕЕГ при зорових дисфункціях узгоджуються результати експериментів із зоровою депривацією, проведених на тваринах. У таких умовах спостерігалися зменшення кількості та активності нейронів ЛКТ [17], а також таламо-кортикальних аферентів, що йдуть від дорсального ЛКТ до первинної зорової кори [18].

Ми також виявили вказівки на підвищену збудливість ділянок, в яких локалізовані коркові відділи зорового та слухового аналізаторів, у

хлопчиків із зоровими дисфункціями. Про це свідчили вищі значення ВСП бета2-субритму в потиличній та задньо-скроневій ділянках кори правої півкулі головного мозку. Можна припустити, що зазначений факт є проявом компенсаторної аудіо-візуальної кросмодальної пластичності. Структурно-функціональна можливість такої пластичності базується на даних про наявність зв'язків між первинною слуховою та зоровою корою [19] та можливість активації стріарної кори під час звукової стимуляції [20].

Встановлене у дівчаток із зоровими дисфункціями підвищення МЧ бета2-діапазону в лівих лобноцентральных ділянках кори головного мозку на тлі тенденції до зниження АСП коливань цього діапазону, імовірно, відображає збільшення рівня активності коркових нейронів переднього мозку, що відбувається паралельно зі зменшенням кількості одночасно активованих нейронів. Іншими словами, спостерігається локальна десинхронізація активності коркових нейронів. Очевидно, вона має таламічне походження (посилення таламо-кортикальних впливів від неспецифічних ядер таламуса), а не ретикулярне.

У контексті можливих механізмів даного явища необхідно зазначити, що, як вважають, функціонування лівої півкулі кори значнішою мірою пов'язано з активністю стовбурової ретикулярної формації. Як згадувалося вище, зорова депривація призводить до пригнічення активності мезенцефальної ретикулярної формації, котра забезпечує генералізовану активацію кори головного мозку. Отже, зниження активації мезенцефальної ретикулярної формації при дефіциті зорової аферентації може зумовлювати локальність активації коркових нейронів переднього мозку.

Причина вірогідного зниження кількості одночасно збуджених нейронів фронтальної кори може бути пов'язана з тим, що передній мозок отримує входи від холінергічних та нехолінергічних (переважно ГАМК-ергічних) нейронів магноцелюлярних кортикопетальних шляхів [21]; як зазначалося вище, в умовах зорової депривації рівень активності ЛКТ знижується.

Не виключено, що підвищення активності в лобноцентральных ділянках кори головного мозку пов'язано з підвищенням активності моторної та соматосенсорної кори головного мозку (імовірно, внаслідок певної активації рухового аналізатора, що спостерігалось у дівчаток із зоровими

дисфункціями). На користь такої інтерпретації свідчать дані деяких робіт [4, 22]. Підвищення активності рухового аналізатора у дівчаток із зоровими дисфункціями завдяки колатеральній активації може посилювати ступінь збудження неспецифічних ядер таламуса, що проектується на кору переднього мозку.

Можливо, що вищеописане локальне підвищення рівня активності коркових нейронів переднього мозку у дівчаток із зоровими дисфункціями є відображенням функціонування компенсаторного нейродинамічного механізму, спрямованого на підтримання відносно високого рівня збудження кори головного мозку при дефіциті зорової аферентації. Зокрема, підвищення рівня активності коркових нейронів фронтальної кори, імовірно, забезпечує посилення гальмівних впливів на задній гіпоталамус, а значить, певною мірою збільшує рівень генералізованої активації кори головного мозку через мезенцефальну ретикулярну формацію. Це припущення знаходить підтвердження в результатах нашого дослідження – у факті відсутності вірогідних відмінностей середніх значень ВСП і АСП коливань дельта-діапазону та індексу повільнохвильової активності ($\delta + \theta/\alpha + \beta_1 + \beta_2$) у фронтальних ділянках кори головного мозку у дівчаток із зоровими дисфункціями порівняно з такими у нормальнорозорих. Така особливість відрізняла згаданих дівчат від відповідної групи хлопчиків. Це свідчить про збереження у дівчаток із зоровими дисфункціями, порівняно з нормальнорозорими, достатнього рівня активації переднього мозку. Вірогідно, активність стовбурових структур головного мозку у дівчат з такими дисфункціями є в середньому нижчою, ніж у аналогічних хлопчиків.

Беручи до уваги виявлені нами порівняно вищі, ніж у нормі, значення індексу повільнохвильової активності та домінування дельта-активності в структурі спектра фонової ЕЕГ, можна заключити, що дітям восьми–12 років із зоровими дисфункціями притаманна менша морфофункціональна зрілість кори головного мозку; це узгоджується з критеріями, згаданими Хадспетом та Прібрамом [23].

Таким чином, результати нашого дослідження дозволяють вважати, що діти восьми–12 років із зоровими дисфункціями характеризуються певним загальним зниженням тону кори головного мозку внаслідок дисбалансу в діяльності активуючих і деактивуючих систем головного мозку. Це, скоріш за все, пов'язано з посиленням активності каудаль-

них відділів стовбура мозку (імовірно, медулярної формації довгастого мозку) та недостатнім рівнем морфофункціональної зрілості кори. Такі зрушення в більшій мірі виражені у хлопчиків.

Проведений спектральний аналіз ЕЕГ з високою роздільною здатністю дозволив виявити імовірні ознаки діяльності компенсаторних механізмів в інтегративній діяльності головного мозку при зорових дисфункціях залежно від гендерної приналежності. У хлопчиків це здебільшого аудіо-візуальна кросмодальна пластичність, а у дівчаток – певне підвищення активності кортикального відділу рухового аналізатора.

Отримані дані можуть бути використані в перебігу організації медико-психолого-педагогічного супроводу дітей із зоровими дисфункціями та для розробки ефективніших методів нейрореабілітації.

Дослідження проводилися з дотриманням національних норм біоетики та положень Хельсінкської декларації 1975 р. (у редакції 2000 р.) за попередньою згодою самих дітей та письмовою згодою батьків після докладного інформування про цілі, тривалість та процедуру дослідження.

Автори даної статті – О. Ю. Майоров та І. В. Редька – підтверджують, що у них відсутній конфлікт інтересів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. E. D. Adrian and B. H. Matthews, "The interpretation of potential waves in the cortex," *J. Physiol.*, **81**, No. 4, 440-471 (1934).
2. H. Berger, "On the electroencephalogram of man," *Arch. Psychiat. Ner. Venkr.*, **100**, 301-320 (1933).
3. A. L. Loomis, E. N. Harvey, and G. Hobart, "Electrical potentials of the human brain," *J. Exp. Psychol.*, **19**, 249-279 (1936).
4. Л. А. Новикова, *Электрическая активность мозга при нарушениях дистантных рецепторов*, Автореф. дис. ... д-ра мед. наук, Москва (1965).
5. R. Robertson, J. E. Jan, and P. K. Wong Robertson, "Electroencephalograms of children with permanent cortical visual impairment," *Can. J. Neurol. Sci.*, **13**, No. 3, 256-261 (1986).
6. J. E. Jan and P. K. Wong, "Behavior of the alpha rhythm in electroencephalograms of visually impaired children," *Dev. Med. Child Neurol.*, **30**, No. 4, 444-450 (1988).
7. Т. А. Ястребцева, С. И. Слуцкий, Т. Е. Демидова, В. Е. Поликарпова, "Электроэнцефалография у школьников 10–12 лет с близорукостью", *Вестн. офтальмол.* № 5, 41-44 (2011).
8. J. Cohen, L. D. Boshes, and R. S. Snider, "Electroencephalographic changes following retrolental fibroplasias," *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, **13**, No. 6, 914-922 (1961).
9. В. А. Толстова, Ю. М. Котелов, "Зависимость эквивалентных источников разных поддиапазонов α -ритма от состояния зрительной системы у детей 8–10 лет", *Физиология человека*, **22**, № 5, 13 (1996).
10. С. В. Яковенко, *Патофизиологические механизмы снижения зрительных функций и возможности их повышения у детей с врожденным оптическим нистагмом*, Автореф. дис. ... канд. мед. наук, Ростов н/Д (2008).
11. Г. А. Кураев, О. М. Бахтин, Л. Н. Иваницкая и др., "Исследование активности структур центральной нервной системы слабоблудящих детей на основе анализа ЭЭГ, омега-потенциала и состояния слуховой системы", *Валеология*, № 4, 38-42 (2003).
12. Б. Х. Хацуков, А. З. Колчинская, "Зависимость электрической активности затылочных и лобных долей коры головного мозга, функции зрительного анализатора от кровоснабжения и обеспечения кислородом", *Физиол. журн.*, **46**, № 6, 45-53 (2000).
13. H. Suzuki, "[Distributions and interregional relationships of the scalp alpha rhythm (author's transl.)]," *Nihon Seirigaku Zasshi*, **36**, No. 6, 203-217 (1974) [in Japanese].
14. A. Kriegseis, E. Hennighausen, F. Rösler, and B. Röder, "Reduced EEG alpha activity over parieto-occipital brain areas in congenitally blind adults," *Clin. Neurophysiol.*, **117**, No. 7, 1560-1573 (2006).
15. H. Bértolo, T. Paiva, L. Pessoa, et al., "Visual dream content, graphical representation and EEG alpha activity in congenitally blind subjects," *Cogn. Brain Res.*, **15**, 277-284 (2003).
16. Ch. Leclerc, S. J. Segalowitz, J. Desjardins, et al., "EEG coherence in early-blind humans during sound localization," *Neurosci. Lett.*, **376**, No. 3, 154-155 (2005).
17. S. Behnam, E.-D. Jameie, M. Abdolrahmani, and M. Nobakht, "Effects of total light deprivation on dorsal lateral geniculate nucleus of male neonate rats," *Oman Med. J.*, **25**, No. 3, 179-183 (2010).
18. L. Negyessy, V. G'ál, T. Farkas, and J. Toldi, "Cross-modal plasticity of the corticothalamic circuits in rats enucleated on the first postnatal day," *Eur. J. Neurosci.*, **12**, No. 5, 1654-1668 (2000).
19. M. E. Laramee, T. Kurotani, K. S. Rockland, et al., "Indirect pathway between the primary auditory and visual cortices through layer V pyramidal neurons in V2L in mouse and the effects of bilateral enucleation," *Eur. J. Neurosci.*, **34**, No. 1, 65-78 (2011).
20. I. M. Schepers, J. F. Hipp, T. R. Schneider, et al., "Functionally specific oscillatory activity correlates between visual and auditory cortex in the blind," *Brain*, **135**, 922-934 (2012).
21. L. Zaborszky, D. L. Buhl, S. Pobalashingham, et al., "Three-dimensional chemoarchitecture of the basal forebrain: Spatially specific association of cholinergic and calcium binding protein-containing neurons," *Neuroscience*, **136**, 697-713 (2005).
22. C. Yu, N. Shu, J. Li, et al., "Plasticity of the corticospinal tract in early blindness revealed by quantitative analysis of fractional anisotropy based on diffusion tensor tractography," *NeuroImage*, **36**, 411-417 (2007).
23. W. J. Hudspeth and K. H. Pribram, "Psychophysiological indices of cerebral maturation," *Int. J. Psychophysiol.*, **12**, No. 1, 19-29 (1992).