

УДК: 612.82:617.751.9–053

## **Спектрально-кореляційні параметри біоелектричної активності в альфа-діпазоні ЕЕГ дітей в період другого дитинства при зорових дисфункціях** I.B.Редька

*Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна (Харків, Україна)*  
*iredka@yandex.ru*

Обстежено 45 нормальнозорих та 140 дітей з зоровими дисфункціями у віці від 8 до 12 років. Встановлено, що найбільших змін альфа-активність зазнає при вроджених двобічних дисфункціях, що виявляються достовірним генералізованим зниженням спектральної потужності, переміщенням фокусу максимальної активності у центрально-тім'яні області, домінуванням нестійких аперіодичних альфа-коливань. При набутих двобічних дисфункціях виявлено достовірне зниження пікової частоти альфа-діпазону та переміщення фокусу максимальної активності утім'яно-потиличні області. При вроджених однобічних дисфункціях виявлена тенденція до підвищення спектральної потужності та пікової частоти альфа-діпазону переважно у ростральних відділах кори головного мозку.

**Ключові слова:** *альфа-діпазон ЕЕГ, спектральний і автокореляційний аналіз, зорові дисфункції.*

## **Спектрально-корреляционные параметры биоэлектрической активности в альфа-диапазоне ЭЭГ детей со зрительными дисфункциями в период второго детства** И.В.Редька

Обследовано 45 нормальнозрящих и 140 детей с зрительными дисфункциями в возрасте от 8 до 12 лет. Установлено, что наибольшие изменения альфа-активности испытывает при врожденных двусторонних дисфункциях, что проявлялось достоверным генерализованным снижением спектральной мощности, перемещением фокуса максимальной активности в центрально-теменные области, доминированием неустойчивых аперіодических альфа-колебаний. При приобретенных двусторонних дисфункциях выявлено достоверное снижение пиковой частоты альфа-диапазона и перемещение фокуса максимальной активности в теменно-затылочные области. При врожденных односторонних дисфункциях выявлена тенденция к повышению спектральной мощности и пиковой частоты альфа-диапазона преимущественно в ростральных отделах коры головного мозга.

**Ключевые слова:** *альфа-диапазон ЭЭГ, спектральный и автокорреляционный анализ, зрительные дисфункции.*

## **Spectral and correlation parameters of bioelectrical activity in EEG alpha band of children with visual dysfunction at the second period of childhood** I.V.Redka

We examined children normal sighted (n=45) and with visual dysfunctions (n=140) in age from 8 to 12 years. It has been found that the greatest changes of alpha activity are for congenital binocular dysfunctions. It manifests in significant generalized reduction of spectral power, moving the focus of maximum activity in the central and parietal regions, domination of unstable non-periodic alpha oscillations. At acquired binocular dysfunctions there have been revealed a significant decrease in alpha peak frequency range and moving the focus of maximum activity in the parietal and occipital regions. At congenital monocular dysfunctions trend has been shown to an increase of spectral power and peak frequency of alpha range mainly in the rostral cerebral cortex.

**Key words:** *EEG alpha band, spectral and autocorrelation analysis, visual dysfunctions.*

### **Вступ**

Взаємозв'язок  $\alpha$ -ритму з зоровою аферентацією був встановлений ще на початку зародження електроенцефалографії у вигляді феномену Бергера (депресія  $\alpha$ -ритму при відкриванні очей). Саме з того моменту розпочата дискусія стосовно наявності або відсутності  $\alpha$ -ритму у сліпих людей. Дослідженнями E.D.Adrian і B.H.Matthews (1934), а пізніше і J.L.Noebels et al. (1978) продемонстровано відсутність потиличного  $\alpha$ -ритму у дорослих людей з набутою (Adrian, Matthews, 1934) та вродженою

(Noebels et al., 1978) сліпотою відповідно. Однак Н. Berger (1933) і А. L. Loomis et al. (1936) вважали, що це обумовлено станом настороженості сліпих під час дослідження. Наступні півстоліття супроводжувалися накопиченням доказів наявності  $\alpha$ -ритму при зорових дисфункціях різного ступеню та етіології. Так, була доведена можливість реєстрації потиличного  $\alpha$ -ритму за умов тотальної та парціальної сліпоти (Jeavons, 1964; Новикова, 1966; Robertson et al., 1986; Jan et al., 1988), коркової сліпоти (Bergman, 1956), ретролентальної фіброплазії (Cohen et al., 1961), та доведено, що формування  $\alpha$ -ритму можливе при гостроті зору  $\geq 0,01$  (Новикова, 1966).

Підвищення ж інтересу до  $\alpha$ -ритму при зорових дисфункціях в останні десятиріччя зумовлено значним зростанням поширеності серед дитячого населення порушень рефракції та акомодативної зору з тенденцією до прогресування, а як наслідок – пошуком нових шляхів корекції цих станів, зокрема на основі техніки біоуправління за параметрами  $\alpha$ -діапазону ЕЕГ. Цими дослідженнями показано, що за умов слабозорості та зниженого зору у переважній більшості випадків можливо виявити потиличний  $\alpha$ -ритм, як правило, із зниженою амплітудою, іноді дещо уповільнений, нерегулярний і немодульований за амплітудою (Должич и др., 2007; Бабаханова, 2011; Ястребцева и др., 2011).

Слід зазначити, що цитовані роботи за основну мету мали лише констатацію феномену  $\alpha$ -ритму при зорових дисфункціях в залежності від етіології та часу набуття офтальмопатології, а також від гостроти зору. До того ж у більшості з них для встановлення наявності  $\alpha$ -ритму використовувався лише візуальний аналіз нативних ЕЕГ, що ставить під сумнів можливість виявлення даними авторами у переважній більшості випадків з зоровими дисфункціями саме  $\alpha$ -ритму, а не  $\alpha$ -подібної активності. У жодній із згаданих робіт не обговорюються можливі морфо-функціональні причини зниження  $\alpha$ -активності за умов обмеження зорової аферентації.

Зазначене вище поряд з доведеною важливістю  $\alpha$ -осциляцій в перебігу перцептивних, мнестичних, когнітивних і моторних процесів, їх чутливістю до змін у функціональному стані церебральних систем зумовлює необхідність поглибленого вивчення біоелектричної активності в  $\alpha$ -діапазоні ЕЕГ при зорових дисфункціях.

*Робоча гіпотеза* нашого дослідження полягала у положенні про те, що хронічне обмеження зорової аферентації внаслідок зорових дисфункцій впливає на механізми генезу альфа-осциляцій в ЕЕГ.

У відповідності до вікової періодизації, що прийнята на Всесоюзній конференції з проблем вікової морфології, фізіології та біохімії (Москва, 1965), період другого дитинства припадає на 8–11 років у дівчаток і 8–12 років у хлопчиків. Відомо, що до періоду другого дитинства (8–12 років) завершується диференціювання у більшості цитоархітектонічних полів кори головного мозку, відбувається удосконалення ансамблевої організації, внутрішньокоркових і корково-підкоркових взаємозв'язків, що сприяє формуванню ієрархії ритмогенних нейронних ансамблів, наближеної до дефінітивного рівня, внаслідок чого  $\alpha$ -активність є подібною до такої дорослої людини. Крім того, попереду підлітковий період, під час якого відбувається значне синаптичне обрізання (synaptic pruning), що значно зменшить можливості нейрональної пластичності на наступних етапах онтогенезу, а отже, й ефективність реабілітаційних заходів.

Тому метою роботи стало з'ясування спектрально-кореляційних параметрів  $\alpha$ -діапазону ЕЕГ при зорових дисфункціях в період другого дитинства.

### Методика

У дослідженні взяло участь 95 дітей з вродженими ( $n=50$ ) і набутими ( $n=45$ ) зоровими дисфункціями і 49 нормальнозорих практично здорових дітей (контроль) у віці від 8 до 12 років. Загальними критеріями для включення дітей у дослідження була відсутність органічної патології ЦНС та черепно-мозкової травми в анамнезі, неврологічних чи психічних розладів, фармакологічної терапії на момент дослідження. Дослідження проводилися з дотриманням національних норм біоетики та положень Гельсінської декларації 1975 р. (у редакції 2000 р.) за попередньою згодою самих дітей та письмовою згодою батьків після інформування про цілі, тривалість та процедуру дослідження.

Вроджені зорові дисфункції зумовлені вродженими аномаліями повік, кришталика, переднього та заднього сегментів ока, атрофією зорового нерву (Q10-15, N47.2 згідно МКХ-10), набуті зорові дисфункції зумовлені порушеннями рефракції та акомодативної зору, косоокістю та ністагмом (N 52, N50, N55 згідно МКХ-10). У групі з односторонніми зоровими дисфункціями переважало ураження лівого ока. Незважаючи на різноманітність причин обмеження зорової аферентації, усі досліджувані були

розподілені на 3 відносно гомогенні групи за показником коригованої гостроти зору та часу набуття зорової дисфункції (табл. 1).

Реєстрацію та аналіз ЕЕГ здійснювали за загальноприйнятою методикою за допомогою комп'ютерного електроенцефалографа «DX-5000» (ТОВ НВФ «DX-системи», Харків, Україна). ЕЕГ-потенціали відводили монополярно у 23 відведеннях відповідно до міжнародної системи «10-20» з усередненим референтним електродом за D.Goldman з симетричних областей. Виявлення окорухових артефактів на ЕЕГ здійснювали за окулограмою.

Таблиця 1.

**Показники коригованої гостроти зору у дітей із зоровими дисфункціями**

Вид зорової дисфункції	Кількість обстежених	Коригована гострота зору	
		лівого ока	правого ока
Вроджена (однобічна)	11	0,31±0,15	0,72±0,13
Вроджена (двобічна)	39	0,13±0,02	0,14±0,02
Набута (двобічна)	45	0,66±0,04	0,60±0,04

Процедура дослідження передбачала реєстрацію фонові ЕЕГ в стані спокійного неспання з заплющеними очима впродовж 2,5 хв. Аналізу піддавали 35–45 с безартефактні фрагменти запису.

Спектри розраховували на підставі швидкого перетворення Фур'є ЕЕГ-сигналів. Фільтри низьких і високих частот становили відповідно 0,5 і 35 Гц, частота дискретизації ЕЕГ-сигналів – 400 Гц. У складі ЕЕГ визначали стандартні частотні діапазони: дельта- (0,5–4 Гц), тета- (4–8 Гц), альфа- (8–12 Гц), бета1- (13–20 Гц) та бета2- (20–30 Гц) ритми.

В якості спектральних характеристик ЕЕГ використовували абсолютну спектральну потужність (мкВ<sup>2</sup>) – індикатор амплітудної характеристики сигналу; відносну спектральну потужність (ВСП, %) – співвідношення різних ЕЕГ діапазонів і пікову частоту (Гц) – індикатор найбільш вірогідного рівня функціонування системи.

Автокореляційному аналізу піддавали ЕЕГ-сигнали, що попередньо пройшли фільтрацію в  $\alpha$ -діапазоні (8–12 Гц) і процедуру центрування. Автокореляційну функцію розраховували за формулою:

$$K_{xx}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)x(t+\tau)dt,$$

де  $\tau$  – величина часового зсуву. У нашому випадку максимальний часовий зсув становив 1,5 с.

На підставі автокорелограм потиличних відведень (О1 і О2) визначали коефіцієнт періодичності та стійкість коливань відповідно до алгоритму, описаного у роботі (Биопотенциалы ..., 1987).

Електрофізіологічні дані оброблялися загальноприйнятими методами варіаційної статистики та представлені у вигляді  $\bar{x} \pm m$ . Для порівняння груп дітей з різним станом зорової функції за кількісними ознаками використовувався непараметричний критерій "U" Вілкоксона-Манна-Уїтні, а за якісними ознаками – t-критерій Стьюдента. Достовірними вважалися відмінності при значеннях  $P \leq 0,05$ .

Класифікацію досліджуваних проводили на підставі кластерного аналізу методом К-середніх.

**Результати**

Встановлено, що зорові дисфункції призводять до зміни спектрально-кореляційних параметрів  $\alpha$ -діапазону ЕЕГ, особливо при вроджених дисфункціях. Спільним для всіх видів зорової дисфункції була максимальна представленість змін порівняно з контролем у потиличних областях.

При двобічних вроджених дисфункціях спостерігалася зниження порівняно з контролем абсолютної та відносної спектральної потужності  $\alpha$ -діапазону на фоні незмінної пікової частоти по всій конвексимальній поверхні головного мозку. Однак достовірні ( $P \leq 0,05$ ) відмінності за спектральною потужністю  $\alpha$ -діапазону виявлялися в обох лобових, тім'яних, потиличних і правій задньоскроневої областях (рис. 1).

При двобічних набутих дисфункціях спостерігалася лише тенденція до зниження порівняно з контролем абсолютної та відносної спектральної потужності  $\alpha$ -діапазону майже у всіх областях конвексимальної поверхні головного мозку на фоні зниження пікової частоти ( $P \leq 0,05$  у відведеннях Fp2, F8, C4, P4, T6, O1, O2) (рис. 1).

Зовсім інший напрямок змін спостерігався при *однобічних вроджених дисфункціях*, а саме: спостерігалася тенденція ( $P > 0,05$ ) до більш високих значень абсолютної спектральної потужності по всій конвексимальній поверхні кори головного мозку (за винятком задньоскроневої області) та відносної спектральної потужності у ростральних областях, більш низьких значень відносної спектральної потужності у каудальних областях на фоні дещо вищих значень пікової частоти (рис. 1).

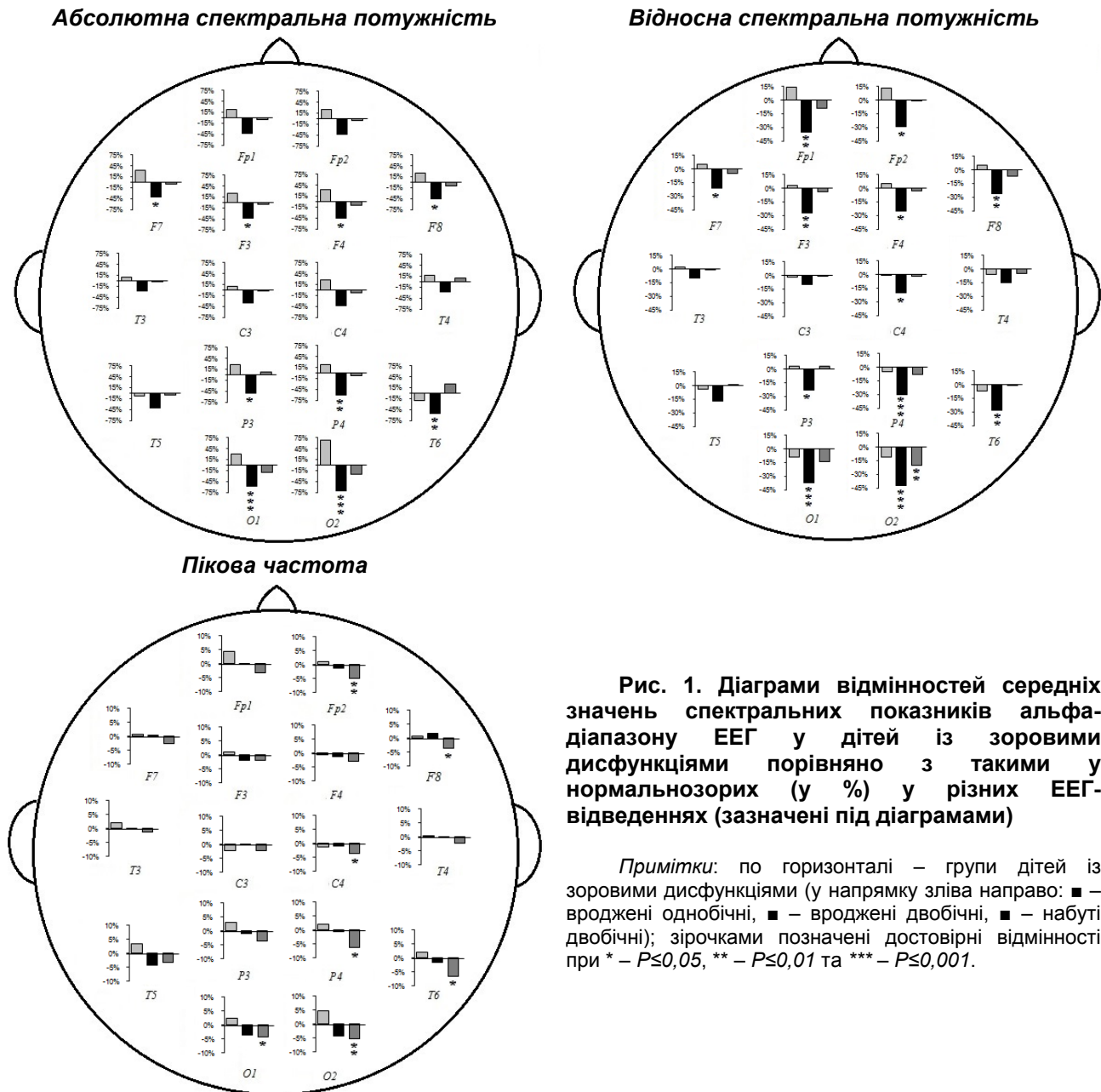


Рис. 1. Діаграми відмінностей середніх значень спектральних показників альфа-діапазону EEG у дітей із зоровими дисфункціями порівняно з такими у нормальнозорих (у %) у різних EEG-відведеннях (зазначені під діаграмами)

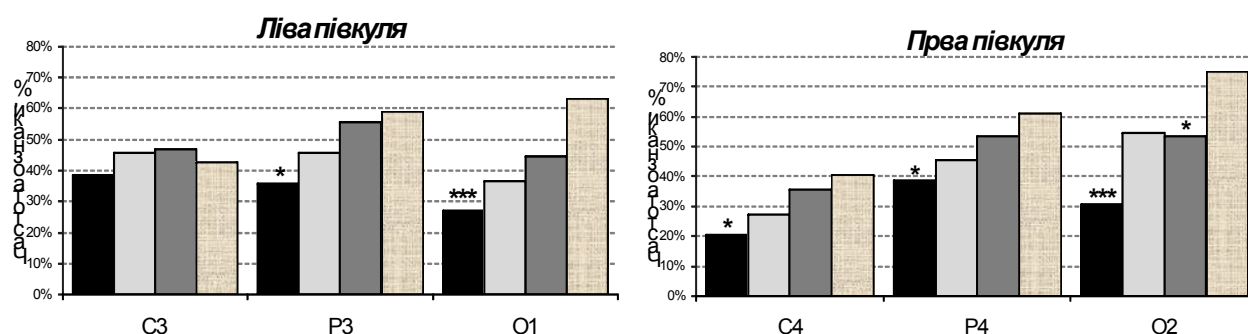
Примітки: по горизонталі – групи дітей із зоровими дисфункціями (у напрямку зліва направо: ■ – вроджені однобічні, ■ – вроджені двобічні, ■ – набуті двобічні); зірочками позначені достовірні відмінності при \* –  $P \leq 0,05$ , \*\* –  $P \leq 0,01$  та \*\*\* –  $P \leq 0,001$ .

При порівнянні *вроджених і набутих двобічних дисфункцій* з'ясовано, що при *вроджених дисфункціях* спостерігалися більш низькі значення абсолютної ( $P \leq 0,05$  у відведеннях F3, F4, F8, P3, P4, T6, O1, O2) та відносної ( $P \leq 0,05$  у відведеннях F3, F4, P3, P4, T6, O1, O2) спектральної потужності на фоні більш високих значень пікової частоти ( $P \leq 0,05$  у відведеннях Fp2, F8).

При порівнянні *однобічних і двобічних дисфункцій* достовірні відмінності спостерігалися лише за піковою частотою, яка виявилася достовірно ( $P \leq 0,05$ ) вищою при однобічних дисфункціях порівняно з

набутими двобічними дисфункціями у лобових полюсах, тім'яних, задньо-скроневих і потиличних областях конвекстальної поверхні головного мозку.

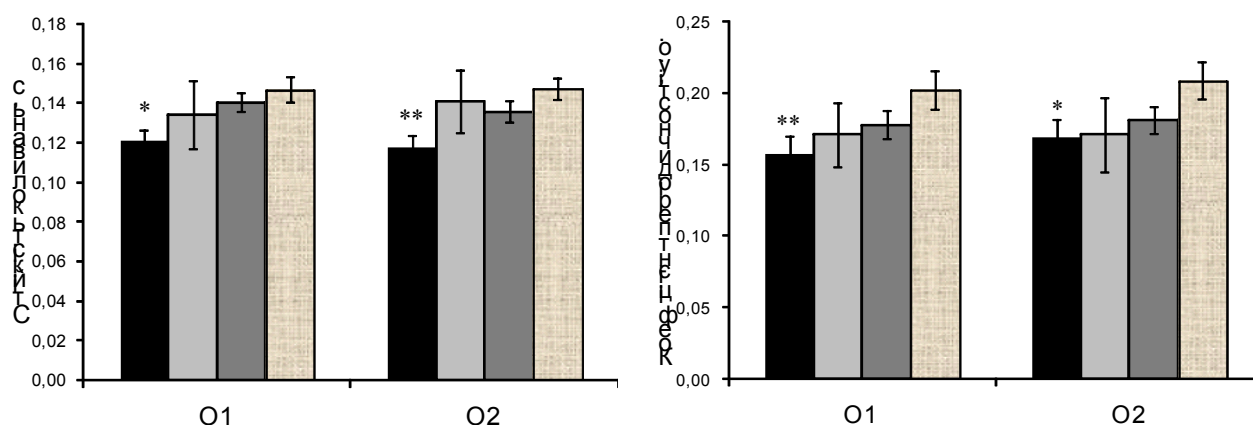
Топографічне картування виявило збереження наростаючого передньо-заднього градієнту розподілу  $\alpha$ -активності при усіх видах зорових дисфункцій, але до рівня тім'яних (проти потиличних у контролі) областей конвекстальної поверхні головного мозку. Спостерігалось й переміщення фокусу максимальної  $\alpha$ -активності при зорових дисфункціях. Так, у лівій півкулі в *контролі* фокус максимальної  $\alpha$ -активності знаходився у потиличній області (ВСП=37%), тоді як за умов *вроджених двобічних дисфункцій* він переміщувався у центрально-тім'яні області (ВСП=27%), а за умов *набутих двобічних дисфункцій* і *вроджених однобічних дисфункцій* – у тім'яні області (ВСП=37%). У правій півкулі в *контролі* фокус максимальної активності припадав на потиличні області (ВСП=43%), при *вроджених* і *набутих двобічних дисфункціях* – на тім'яні області (ВСП=28% і 37% відповідно), при *вроджених однобічних дисфункціях* – на тім'яно-потиличні області (ВСП=38%).



**Рис. 2. Частота домінування  $\alpha$ -активності в структурі спектру ЕЕГ при зорових дисфункціях**

*Примітки:* по горизонталі – групи дітей із зоровими дисфункціями (у напрямку зліва направо: ■ – вроджені двобічні, ■ – вроджені однобічні, ■ – набути двобічні, □ – відсутні (контроль)); зірочками позначені достовірні відмінності при \* –  $P \leq 0,05$  та \*\*\* –  $P \leq 0,001$ .

Дослідження особливостей ритмічності потиличної  $\alpha$ -активності дозволило виявити зниження стійкості та періодичності  $\alpha$ -коливань при зорових дисфункціях. Однак достовірні відмінності з контролем спостерігалися лише при *вроджених двобічних дисфункціях*, за яких стійкість  $\alpha$ -коливань була знижена на 18% ліворуч ( $P \leq 0,05$ ) і 20% праворуч ( $P \leq 0,01$ ), а коефіцієнт періодичності альфа-коливань – на 22% ( $P \leq 0,01$ ) і 19% ( $P \leq 0,05$ ) відповідно (рис. 3).



**Рис. 3. Стійкість і періодичність  $\alpha$ -коливань у дітей із зоровими дисфункціями**

*Примітки:* по горизонталі – групи дітей із зоровими дисфункціями (у напрямку зліва направо: ■ – вроджені двобічні, ■ – вроджені однобічні, ■ – набути двобічні, □ – відсутні (контроль)); зірочками позначені достовірні відмінності при \* –  $P \leq 0,05$  та \*\* –  $P \leq 0,01$ .



Зазначене знайшло відображення і в домінуванні  $\alpha$ -активності (рис. 2). Так, у лівій півкулі найбільша кількість дітей мала домінуючу  $\alpha$ -активність за умов *нормальнозорості* – в потиличних областях (63%), при *вроджених двобічних, вроджених однобічних і набутих двобічних дисфункціях* – в центральних (38%, 47% і 46% відповідно) і тім'яних (36%, 56% і 46% відповідно) областях. У правій півкулі найбільша кількість дітей мала домінуючу  $\alpha$ -активність за умов *нормальнозорості* – в потиличних областях (76%), при *вроджених двобічних дисфункціях* – в тім'яних областях (39%), при *вроджених однобічних і набутих двобічних дисфункціях* – в потиличних (53% і 55% відповідно) і тім'яних (53% і 46% відповідно) областях.

Порівняння показників ритмічності  $\alpha$ -коливань при вроджених і набутих двобічних дисфункціях виявили їх залежність від часу настання зорової дисфункції. Встановлено, що при вроджених двобічних дисфункціях, порівняно з набутими, спостерігаються достовірно нижчі значення стійкості (ліворуч – на 14%,  $P \leq 0,01$ ; праворуч – на 13%,  $P \leq 0,05$ ) та періодичності (ліворуч – на 11%,  $P \leq 0,01$ ; праворуч – на 7%,  $P > 0,05$ )  $\alpha$ -коливань.

Нами не виявлено достовірних відмінностей за показниками ритмічності  $\alpha$ -коливань між дітьми з однобічними та двобічними дисфункціями, хоча порівняно з вродженими двобічними дисфункціями спостерігалася тенденція ( $P > 0,05$ ) до більш високих, а порівняно з набутими двобічними дисфункціями – до більш низьких значень ритмічності  $\alpha$ -коливань.

Встановлено, що за умов нормальнозорості, вроджених однобічних і набутих двобічних дисфункцій найчастіше спостерігалася середньо-стійка та середньо-періодична  $\alpha$ -активність (37%, 41% і 43% відповідно), тоді як при вроджених двобічних дисфункціях переважала (40%) нестійка аперіодична  $\alpha$ -активність.

### Обговорення

Результати нашого дослідження дозволили зіставити раніше відзначені феноменологічні візуальні характеристики  $\alpha$ -активності зі спектральними показниками та вперше проаналізувати ритмічність  $\alpha$ -коливань за умов зорових дисфункцій.

У наших дослідженнях  $\alpha$ -коливання виявлені як у сліпих дітей, так і дітей з більшою гостротою зору, що узгоджується з результатами інших досліджень (Adrian, Matthews, 1934; Bergman, 1956; Cohen et al., 1961; Jeavons, 1964; Новикова, 1966; Noebels et al., 1978; Robertson et al., 1986; Jan et al., 1988).

Виявлене зниження порівняно з нормальнозорими пікової частоти  $\alpha$ -діапазону при вроджених двобічних дисфункціях і аналогічна тенденція при *набутих двобічних дисфункціях* узгоджується з результатами інших авторів (Cohen et al., 1961; Ястребцева и др., 2011).

Відомо, що абсолютна спектральна потужність в значній мірі залежить від амплітуди мозкових осциляцій, тому виявлене нами зниження абсолютної спектральної потужності  $\alpha$ -діапазону при *вроджених двобічних дисфункціях* і аналогічна тенденція при *набутих двобічних дисфункціях* дає підставу констатувати зниження амплітуди  $\alpha$ -діапазону, що узгоджується з результатами інших досліджень (Новикова, 1966; Kezeli, 1973; Рожкова, 2002; Должич и др., 2007; Бабаханова, 2011).

Однак у дітей з *вродженими однобічними дисфункціями* ми спостерігали тенденцію до підвищення абсолютної спектральної  $\alpha$ -активності, що узгоджується з повідомленнями про можливість реєстрації високоамплітудного  $\alpha$ -ритму при вродженому оптичному ністагмі (Должич и др., 2007) та гіперметропічній амбліопії (Бабаханова, 2011).

Виявлене достовірне зниження відносної спектральної потужності  $\alpha$ -діапазону в потиличних областях конвексимальної поверхні головного мозку при *двобічних дисфункціях* та аналогічна тенденція при *однобічних дисфункціях* узгоджується з відомостями про пряму залежність  $\alpha$ -індексу каудальних областей від гостроти зору (Новикова, 1966; Jan et al., 1988).

Закономірності переміщення фокусу максимальної активності  $\alpha$ -діапазону при різних видах зорових дисфункцій у нашому дослідженні узгоджуються з літературними даними, а саме: фокус максимальної електричної активності  $\alpha$ -ритму при сліпоті знаходиться в лобово-центрально-тім'яних (Новикова, 1966; Cohen et al., 1961), при залишковому зорі – в центрально-тім'яних (Рожкова, 2002), а при слабозорості – у центрально-тім'яно-потиличних (Новикова, 1966; Кураев и др., 2003; Должич и др., 2007) областях кори головного мозку.

Як зазначалося раніше, у жодній із цих робіт не обговорювалися можливі механізми виявлених змін в характеристиках  $\alpha$ -активності.

Відомо, що в генерації  $\alpha$ -осциляцій значна роль належить ретикуло-кортикальним, таламо-кортикальним і кортико-кортикальним шляхам. Імовірно, що причина зниження спектральної потужності та пікової частоти в  $\alpha$ -діапазоні ЕЕГ при двобічних дисфункціях (особливо при вроджених) обумовлена зменшенням активуючих висхідних впливів на кору головного мозку від модально-специфічних релейних ядер таламуса (латерального колінчастого тіла) та неспецифічних впливів мезенцефальної ретикулярної формації внаслідок зменшення нервової імпульсації від гангліозних клітин сітківки в умовах зорової депривації. Це, в свою чергу, призводить до зниження тону кори головного мозку, зокрема його фронтальних областей. Недостатня активація фронтальної кори призводить до зняття гальмуючих впливів франто-таламічної системи на задній гіпоталамус, внаслідок чого він активується та гальмує і без того знижену активність мезенцефальної ретикулярної формації. Це в свою чергу призводить до посилення дезактивуючих впливів бульбарної ретикулярної формації на кору головного мозку через неспецифічні ядра таламуса.

Зазначене узгоджується з даними, згідно яких зорова депривація викликає гістологічні, морфологічні та функціональні зміни у латеральному колінчастому тілі (ЛКТ), а саме: зменшення довжини та об'єму ЛКТ, зменшення кількості та активності нейронів (Jameie et al., 2010). У енукейованих при народженні щурів зменшуються таламо-кортикальні афференти від дорсального ЛКТ до первинної зорової кори (Negyessy et al., 2000). Є дані, що деаферентація тварин викликає зниження концентрації вільного ацетилхоліну (Основи психофізіології, 1997), що є індикатором недостатньої активації базальної холінергічної системи переднього мозку, до складу якої входить фронтальна кора. У свою чергу, центральний таламус, що має значні проєкції на поверхневі шари кори головного мозку, активно іннервується бульбарною активуючою системою (Victor et al., 2010), яка має антагоністичні відносини з мезенцефальною ретикулярною формацією (Айрапетян, 1983).

Як зазначалося раніше, основні відмінності між вродженими та набутими двобічними дисфункціями полягали у тому, що при вроджених дисфункціях зміни  $\alpha$ -активності були більш генералізованими та пов'язаними зі змінами у спектральній потужності, тоді як при набутих дисфункціях – більш локальними (переважно у тім'яно-потиличному регіоні) та пов'язаними зі змінами в піковій частоті.

Згідно (De Volder et al., 1997) у рано осліплених людей, порівняно зі зрячими, у стані спокою з закритими очима у стріарній корі спостерігається високий рівень утилізації глюкози, споживання кисню та кровотоку, а згідно з даними одночасної реєстрації фМРТ та ЕЕГ (Goldman et al., 2002) абсолютна спектральна потужність потиличної  $\alpha$ -активності позитивно корелювала з рівнем активності в таламусі та негативно з активністю зорової кори. Тобто виявлене нами достовірне зниження абсолютної спектральної потужності  $\alpha$ -діапазону при вроджених двобічних дисфункціях відображує активацію зорової кори та меншу активність таламусу.

Отже, запропонований вище механізм змін  $\alpha$ -діапазону ЕЕГ є більш адекватним для вроджених двобічних дисфункцій.

Є відомості (Бондаренко и др., 2006), що відведення О2 та О1 відображують активність первинної та вторинної зорової кори відповідно. За нашими даними при вроджених двобічних дисфункціях відносна спектральна потужність  $\alpha$ -діапазону достовірно знижувалася в обох потиличних областях, а при набутих – лише у правій, що дає можливість стверджувати наявність змін лише на рівні стріарної кори при набутих дисфункціях. Зокрема це узгоджується з відомостями про переважну атрофію сірої речовини в 17 і 18 полях Бродмана у пізно осліплених людей (Norpeney et al., 2005; Leorge et al., 2010).

Також відомо, що зниження частоти ритму пов'язано зі зниженням лабільності коркових нейронів, що у свою чергу пов'язано зі змінами в системі гальмування, провідним нейромедіатором якої є ГАМК. Дійсно, під впливом зорової депривації зменшується кількість ГАМК-ергічних нейронів в первинній зоровій корі (Hendry, Jones, 1986; Jones, 1993; Desgent, Ptito, 2012), а концентрація ГАМК збільшується в потиличній і тім'яній областях кори головного мозку (Агаев, 1984). Тому виявлене нами зниження пікової частоти в  $\alpha$ -діапазоні при набутих двобічних дисфункціях дає підставу припускати зниження активності системи коркового гальмування.

Отже, можемо припустити наявність різних механізмів зниження  $\alpha$ -активності при двобічних дисфункціях в залежності від часу їх набуття: при вроджених дисфункціях переважне значення має зниження активності таламічних генераторів і висхідних таламо-кортикальних активуючих впливів, тоді як при набутих дисфункціях – зниження активності коркових генераторів  $\alpha$ -активності та недостатність низхідних гальмівних кортико-таламічних впливів.

Що ж стосується *вроджених одnobічних дисфункцій*, то виявлена тенденція до генералізованого підвищення абсолютної спектральної потужності та пікової частоти та локального підвищення відносної спектральної потужності у ростральних областях може вказувати на тенденцію до підвищення лабільності коркових нейронів, імовірно, внаслідок збільшення чутливості кортикальних нейронів до таламо-кортикальних активуючих впливів.

У роботах (Linkenkaer-Hansen et al., 2001; Beggs, Plenz, 2003; Drew, Abbott, 2006) показано, що оптимальним станом для нормальної інтегративної діяльності мозку є так званий критичний стан (самоорганізована критичність), який з статистичної точки зору характеризується згасаючими у відповідності зі степеневим законом розподілу тимчасовими кореляціями (Bak et al., 1988). Наявність у людини такого роду згасаючих автокореляційних функцій (тривалістю від  $10^0$  до  $10^3$  с, long-range time correlation) в сигналах ЕЕГ, в т.ч. для  $\alpha$ -осциляцій, показано в роботах (Linkenkaer-Hansen et al., 2001; Nikulin, Brismar, 2005). Критичний стан є нестійким і при зсуві параметрів управління призводить до формування або гіперкорельованої (гіперсинхронної), або гіпокорельованої (десинхронної) активності, які клінічно відповідають пароксизмальним і дегенеративним станам головного мозку (Stam, 2005).

Спираючись на виявлену нами типологію авторитмічності  $\alpha$ -активності та викладене вище, можна стверджувати, що найбільш оптимальним для протікання інтегративної діяльності мозку є середньо-стійка і середньо-періодична  $\alpha$ -активність, яка домінувала за умов нормальнозорості, *набутих двобічних і вроджених одnobічних дисфункцій*.

Переважає ж нестійкої аперіодичної  $\alpha$ -активності в потиличних областях у дітей з *вродженими двобічними дисфункціями*, очевидно, відображує дегенеративні зміни в цих областях, обумовлені обмеженням зорової аферентації в критичні періоди розвитку. Зазначене узгоджується з результатами прижиттєвого МРТ-дослідження головного мозку рано осліплених людей, в яких виявлена значна атрофія сірої речовини в стріарній і екстрастріарній корі (Noppepey et al., 2005; Shimony et al., 2006; Pan et al., 2007; Ptito et al., 2008; Leopore et al., 2010).

Підсумовуючи зазначене, можемо припускати, що виявлене нами збільшення випадкової складової в ритмічності  $\alpha$ -діапазону при вроджених двобічних дисфункціях обумовлено порушенням механізмів авторитмічності внаслідок дегенеративних змін у коркових і підкоркових зорових структурах, пов'язаних з генерацією  $\alpha$ -коливань, та дисфункцією мезенцефальних структур головного мозку. Останнє припущення базується на повідомленнях (Корсакова и др., 2003) про підвищення випадкової складової, яка зумовлює загасання автокореляційної функції, при дисфункціях стовбура мозку на мезенцефальному рівні.

Отже, результати проведеного дослідження вказують на залежність спектрально-кореляційних параметрів біоелектричної активності в альфа-діапазоні ЕЕГ від часу набуття зорових дисфункцій та їх локалізації (одnobічні чи двобічні). Найсуттєвіші зміни відбуваються при вроджених двобічних зорових дисфункціях. Отримані результати можуть стати в нагоді при розробці алгоритмів корекції гостроти зору у дітей з набутими зоровими дисфункціями на підставі біологічного зворотного зв'язку за параметрами біоелектричної активності в альфа-діапазоні ЕЕГ.

### Список літератури

- Агаев Т.М. Закономерности возрастного формирования системы глутаминовой кислоты в зрительном анализаторе мозга. Дисс. ... д-ра биол. наук. – Баку, 1984. – 488с. /Agayev T.M. Regularities of age formation of glutamic acid in the brain visual analyzer. Dis. ... dr. biol. sciences. – Baku, 1984. – 488p./
- Айрапетян А.А. Нейронные механизмы афферентной и эфферентной деятельности таламуса. Дисс. ... д-ра биол. наук. – Ереван, 1983. – 394с. /Ayrapetyan A.A. Neural mechanisms of afferent and efferent activity of the thalamus. Diss. ... dr. biol. sciences. – Yerevan, 1983. – 394p./
- Бабаханова Д.М. Клинико-функциональная оценка состояния органа зрения в процессе лечения гиперметропической амблиопии // Российский медицинский журнал. Приложение. Клиническая офтальмология. – 2011. – №2. – С. 75–78. /Babakhanova D.M. Clinical and functional assessment of the organ of vision during the treatment of hyperopic amblyopia // Russian Medical Journal. Appendix. Clinical Ophthalmology. – 2011. – №2. – P. 75–78./
- Биопотенциалы мозга человека. Математический анализ / Под ред. В.С.Русинова. – М.: Медицина, 1987. – 256с. /Biopotentials of human brain. Mathematical analysis / Ed. V.S.Rusinov. – M.: Meditsina, 1987. – 256p./
- Бондаренко М.Ф., Золкин С.Г., Малокуцко Е.Н. Анализ взаимосвязей биоритмов головного мозга // Искусственный интеллект. – 2006. – №1. – С. 4–11. /Bondarenko M.F., Zolkin S.G., Malokutsko Ye.N. Analysis of the relationship of brain biorhythms // Artificial Intelligence. – 2006. – №1. – P. 4–11./



- Должич Г.И., Яковенко С.В., Малутина И.С. Разработка способа лечения врожденного оптического нистагма // *Российский медицинский журнал. Приложение. Клиническая офтальмология.* – 2007. – №1. – С. 20–22. /Dolzhich G.I., Yakovenko S., Maluytina I.S. A method for treating congenital optical nystagmus // *Russian Medical Journal. Appendix. Clinical Ophthalmology.* – 2007. – №1. – P. 20–22./
- Корсакова Е.А., Мясников А.В., Слезин В.Б., Тихонов Э.П. Комплексное применение спектрально-корреляционного анализа электроэнцефалограмм в определении локализации очагов патологической активности головного мозга // *Вестник новых медицинских технологий: периодический теоретический и научно-практический журнал.* – 2003. – №1/2. – С. 81–83. /Korsakov Ye.A., Myasnikov A.V., Slezin V.B., Tikhonov E.P. Integrated application of spectral correlation analysis of the electroencephalogram in determining localization of pathological brain activity // *Herald of new medical technologies: periodic theoretical and scientific journal.* – 2003. – №1/2. – P. 81–83./
- Кураев Г.А., Бахтин О.М., Иваницкая Л.Н. и др. Исследование активности структур центральной нервной системы слабовидящих детей на основе анализа ЭЭГ, омега-потенциала и состояния слуховой системы // *Валеология.* – 2003. – №4. – С. 38–42. /Kurayev G.A., Bakhtin O.M., Ivanitskaya L.N. et al. Research of activity of structures of the central nervous system of visually impaired children on the basis of EEG, omega-potential and auditory system state analysis // *Valeology.* – 2003. – №4. – P. 38–42./
- Новикова Л.А. Влияние нарушений зрения и слуха на функциональное состояние мозга (электроэнцефалографическое исследование). – М.: Просвещение, 1966. – 318с. /Novikova L.A. Influence of vision and hearing impairment on the functional state of the brain (electroencephalographic study). – M.: Prosveshcheniye, 1966. – 318p./
- Основы психофизиологии: Учебник / Отв. ред. Ю.И.Александров. – М.: ИНФРА-М, 1997. – 349с. /Fundamentals of psychophysiology: Tutorial / Ed. Yu.A.Alexandrov. – Moscow: INFRA-M, 1997. – 349p./
- Рожкова Л.А. Использование электроэнцефалографии для оценки функционального состояния мозга детей и подростков при сенсорных нарушениях и их коррекция. // *Дети с проблемами в развитии (комплексная диагностика и коррекция) / Под редакцией Л.П.Григорьевой.* – М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. – С. 158–207. /Rozhkova L.A. Using electroencephalography to assess the functional state of the brain of children and adolescents with sensory disorders and their correction // *Children with developmental problems (complex diagnosis and correction) / Edited by L.P.Grigorieva.* – M.: ICC "Akademkniga", 2002. – P. 158–207./
- Ястребцева Т.А., Слуцкий С.И., Демидова Т.Е. и др. Электроэнцефалография у школьников 10–12 лет с близорукостью // *Вестник офтальмологии.* – 2011. – №5. – С. 41–44. /Yastrebtseva T.A., Slutsky S., Demidova T.Ye. et al. Electroencephalography of schoolchildren 10–12 years with myopia // *Bulletin of Ophthalmology.* – 2011. – №5. – P. 41–44./
- Adrian E.D., Matthews B.H. The interpretation of potential waves in the cortex // *J. Physiol.* – 1934. – Vol.81 (4). – P. 440–471.
- Bak P., Tang C., Wiesenfeld K. Self-organized criticality // *Phys. Rev.* – 1988. – Vol.38 (1). – P. 364–373.
- Beggs J.M., Plenz D. Neuronal avalanches in neocortical circuits // *J. Neurosci.* – 2003. – Vol.23. – P. 11167–11177.
- Berger H. On the electroencephalogram of man // *Arch. Psychiat. Ner. Venkr.* – 1933. – Vol.100. – P. 301–320.
- Bergman P.S. Cerebral blindness: an analysis of 12 cases, with especial reference to the electroencephalogram and patterns of recovery // *Trans. Am. Neurol. Assoc.* – 1956. – 81st Meeting. – P. 30–34.
- Cohen J., Boshes L.D., Snider R.S. Electroencephalographic changes following retrolental fibroplasias // *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology.* – 1961. – Vol.13 (6). – P. 914–922.
- De Volder A.G., Bol A., Blin J. et al. Brain energy metabolism in early blind subjects: neuronal activity in the visual cortex // *Brain Research.* – 1997. – Vol.750 (1–2). – P. 235–244.
- Desgent S., Ptito M. Cortical GABAergic interneurons in cross-modal plasticity following early blindness // *Neural Plasticity.* – 2012. – Vol.2012, Article ID 590725. – 20p.
- Drew P.J., Abbott L.F. Models and properties of power-law adaptation in neural systems // *J. Neurophysiol.* – 2006. – Vol.96. – P. 826–833.
- Goldman R.I., Stern J.M., Engel J., Cohen M.S. Simultaneous EEG and fMRI of the alpha rhythm // *Neuroreport.* – 2002. – Vol.13. – P. 2487–2492.
- Hendry S.H., Jones E.G. Reduction in numbers of immunostained GABAergic neurons in deprived-eye dominance columns of monkey area 17 // *Nature.* – 1986. – Vol.320 (6064). – P. 750–753.
- Jameie S. B., Abdolrahmani M., Nobakht M. Effects of total light deprivation on dorsal lateral geniculate nucleus of male neonate rats // *Oman Medical Journal.* – 2010. – Vol.25, Is.3. – P. 178–183.
- Jan J.E., Wong P.K. Behaviour of the alpha rhythm in electroencephalograms of visually impaired children // *Dev. Med. Child. Neurol.* – 1988. – Vol.30 (4). – P. 444–450.
- Jeavons P.M. The electro-encephalogram in blind children // *Brit. J. Ophthal.* – 1964. – Vol.48. – P. 83–101.

- Jones E.G. GABAergic neurons and their role in cortical plasticity in primates // *Cerebral Cortex*. – 1993. – Vol.3 (5). – P. 361–372.
- Kezeli A.R. Effect of elimination of visual afferentation on electrical activity of various brain structures // *Neurophysiology*. – 1973. – Vol.5 (5). – P. 381–384.
- Leopore N., Lepore F., Chou Yi-Yu et al. Brain structure changes visualized in early- and late-onset blind subjects // *Neuroimage*. – 2010. – Vol.49 (1). – P. 134–140.
- Linkenkaer-Hansen K., Nikouline V.V., Palva J.M., Ilmoniemi R.J. Long-range temporal correlations and scaling behavior in human brain oscillations // *J. Neurosci*. – 2001. – Vol.21 (4). – P. 1370–1377.
- Loomis A.L., Harvey E.N., Hobart G. Electrical potentials of the human brain // *J. Exp. Psychol*. – 1936. – Vol.19. – P. 249–279.
- Negyessy L., G'ál V., Farkas T., Toldi J. Cross-modal plasticity of the corticothalamic circuits in rats enucleated on the first postnatal day // *European J. Neuroscience*. – 2000. – Vol.12 (5). – P. 1654–1668.
- Nikulin V.V., Brismar T. Long-range temporal correlations in electroencephalographic oscillations: relation to topography, frequency band, age and gender // *Neuroscience*. – 2005. – Vol.130. – P. 549–558.
- Noebels J.L., Roth W.T., Kopell B.S. Cortical slow potentials and the occipital EEG in congenital blindness // *J. Neurol. Sci*. – 1978. – №37. – P. 51–58.
- Noppeney U., Friston K.J., Ashburner J. et al. Early visual deprivation induces structural plasticity in gray and white matter // *Curr. Biol*. – 2005. – Vol.15. – P. 488–490.
- Pan W.J., Wu G., Li C.X. et al. Progressive atrophy in the optic pathway and visual cortex of early blind Chinese adults: a voxel-based morphometry magnetic resonance imaging study. – *Neuroimage*. – 2007. – Vol.37. – P. 212–220.
- Pfitt M., Moesgaard S., Gjedde A., Kupers R. Cross-modal plasticity revealed by electrotactile stimulation of the tongue in the congenitally blind. – *Brain*. – 2005. – Vol.128. – P. 606–614.
- Robertson R., Jan J.E., Wong P.K. Electroencephalograms of children with permanent cortical visual impairment // *Can. J. Neurol. Sci*. – 1986. – Vol.13 (3). – P. 256–261.
- Shimony J.S., Burton H., Epstein A.A. et al. Diffusion tensor imaging reveals white matter reorganization in early blind humans. – *Cereb. Cortex*. – 2006. – Vol.16. – P. 1653–1661.
- Stam C.J. Nonlinear dynamical analysis of EEG and MEG: Review of an emerging field // *Clinical Neurophysiology*. – 2005. – Vol.116. – P. 2266–2301.
- Victor J.D., Drover J.D., Conte M.M., Schiff N.D. Mean-field modeling of thalamocortical dynamics and a model-driven approach to EEG analysis // *PNAS*. – 2011. – Vol.108 (3). – P. 15631–15638.

---

**Представлено: О.Г.Берченко / Presented by: O.G.Berchenko**

**Рецензент: В.А.Бондаренко / Reviewer: V.A.Bondarenko**

*Подано до редакції / Received: 12.05.2014*