

Thus, di-Na-salt of 2-(pyridine-4-yl)succinic acid can serve for creation of new unotoxic pharmaceutical preparations on its basis.

Key words: antidepressive activity, di-Na-salt of 2-(pyridine-4-yl)succinic acid, Porsolt's test, test «Hanging of mice for a tail».

Стаття надійшла до редколегії
19.03.2015 р.

УДК 612.82:617.751.9-053

Ірина Редька

Вплив зорових дисфункцій на вікові зміни складності нейродинаміки головного мозку

Значно збільшено відомості щодо нелінійної природи ЕЕГ-сигналу. У цьому контексті доцільно застосувати нові алгоритми аналізу ЕЕГ-сигналів для кращого розуміння закономірностей нормального і аномального розвитку мозку. У дослідженні використано ентропійний підхід для аналізу складності ЕЕГ-сигналу людей з нормальним зором і вродженими зоровими дисфункціями в період від 8 до 20 років у стані спокою з заплющеними очима. Виявлено вікове зниження складності ЕЕГ-сигналу (на підставі ентропії Колмогорова-Сіная). Найбільш вираженим це зниження було в підлітковому віці у чоловіків, і юнацькому віці у жінок. Показано, що вікове зниження значень ентропії не залежить від наявності зорової дисфункції. Висловлено припущення, що візуальна дисфункція лише віддаляє в часі та уповільнює вікове зниження складності нейродинаміки головного мозку.

Ключові слова: електроенцефалографія, ентропія Колмогорова-Сіная, зорові дисфункції.

Постановка наукової проблеми та її значення. Відомо, що постнатальний розвиток організму визначається динамічною взаємодією генотипу та факторів середовища. Зокрема, класичні дослідження нобелівських лауреатів Д. Хьюбела та Т. Н. Візела із зоровою деривацією у тварин уперше показали високу чутливість незрілого мозку до змінених сенсорних умов існування на ранніх етапах постнатального розвитку [7]. Тому зорові дисфункції, обумовлені ураженням периферичного та/або провідникового відділу зорового аналізатора, дають змогу вивчати ступінь залежності та/або незалежності структурно-функціональної організації головного мозку від зорового досвіду та явища нейрональної пластичності на системному рівні. Знання цих закономірностей можуть стати у нагоді при розробці методів нейрореабілітації осіб зі зниженим центральним зором.

Незважаючи на наявні методи нейровізуалізації, електроенцефалографія (ЕЕГ) все ще залишається найпоширенішим методом дослідження активності головного мозку, особливо у дітей. Аналіз наявних ЕЕГ-досліджень при зорових дисфункціях виявив їх спрямованість переважно на якісний [8], рідше – на кількісний [3] аналіз альфа-активності. Поодинокі роботи [3] розкривають особливості парної когерентності при зорових дисфункціях. Тобто у цих дослідженнях використано лише спектрально-кореляційний аналіз, що заснований на положенні про лінійність досліджуваного сигналу.

ЕЕГ-сигнал є відображенням усередненої активності великої кількості просторово-розподілених, але функціонально взаємозв'язаних нейронів. ЕЕГ-сигнал одного відведення відображає усереднену активність $\sim 10^7$ нейронів, кожен з яких з'єднаний синапсами ще з $\sim 10^{12}$ нейронами [13]. Динамічна поведінка окремих нейронів регулюється явищами інтеграції, пороговості та насичення. Велика кількість структурних елементів і незалежних процесів, що лежать в основі формування ЕЕГ-сигналу, зумовлює його значну складність. Це дає підстави розглядати ЕЕГ-активність як нелінійний динамічний процес, що підтверджено методом сурогатних даних [18].

Одним із підходів до оцінки нелінійної динаміки ЕЕГ-сигналів є аналіз його складності. У нейрофізіології поняття «складність» (*complexity*) використовуються у двох контекстах: 1) з позицій функціонального джерела, яке розглядається як частина або частини головного мозку, що генерують

електричну активність під електродом; 2) із позицій теорії функціональних мереж, яка розглядає складність як динамічне явище, що відображає випадковість або відсутність взаємодії між елементами динамічної системи (функціональними джерелами) [17].

Серед підходів до аналізу динамічної складності можна відзначити алгоритми на основі ентропії як міри регулярності та передбачуваності ЕЕГ-сигналу. На сьогодні у нейрофізіології використовують алгоритми, що передбачають визначення ентропії Колмогорова-Сіная (*KS-entropy*), вибіркової ентропії (*sample entropy*, *SampEn*) та наближеної ентропії (*approximate entropy*, *ApEn*) (похідні ентропії Колмогорова-Сіная), багатомасштабної ентропії (*multiscale entropy*, *MSE*) [19]. Однак вікові закономірності зміни цих показників в умовах норми та патології залишаються предметом дискусій [5; 11; 19], а їх характеристики за умов зорової дисфункції взагалі немає.

Зазначене вище визначило **мету дослідження** – з'ясувати вікову динаміку змін складності нейродинаміки головного мозку та вплив зорових дисфункцій на цей процес.

Відповідно до мети дослідження з осіб 8–20 років сформовано дві групи: 1) основна (вроджені двобічні зорові дисфункції, $n = 100$); 2) контрольна (нормальний зір, $n = 125$). Зорові дисфункції зумовлені вродженими аномаліями повік, кришталика, переднього та заднього сегментів ока, атрофією зорового нерва (Q10-15, H47.2 згідно із МКХ-10), гострота зору з корецією $0,12 \pm 0,01$. Кожна із цих груп розподілена на підгрупи – період другого дитинства, підлітковий і юнацький вік. Контрольну групу склали нормальнозорі особи.

Дослідження проводилося у звукоізольованій затемненій кімнаті у стані спокійного неспання із заплющеними очима. ЕЕГ-потенціали відводили монополярно у відведеннях відповідно до міжнародної системи «10–20» з усередненим референтним електродом D. Goldman (1950) з 8 симетричних ділянок. Нелінійний аналіз 35–45 безартефактних фрагментів ЕЕГ-сигналів проведено за допомогою пакета прикладних програм «*NeuroResearch®*» (програмний модуль *Chaos-Multi-Dimensional Non-Linear Analysis*, м. Харків).

Для цього відновлено аттрактор у фазовому просторі методом затримки. Час затримки визначався на основі оцінки «форми» аттрактора, що реконструюється [1]. Максимальна величина розмірності реконструкції дорівнювала 10. Після реконструкції аттрактора у фазовому просторі на підставі алгоритму A. Wolf et al. (1985) і J. P. Eckmann et al. (1986) та методу аналога [10] визначали спектр показників Ляпунова, а на підставі суми усіх позитивних показників Ляпунова розраховували ентропію Колмогорова-Сіная (*метрична, динамічна ентропія, eKS, біт/с*) [10].

Для порівняння вікових і гендерних підгруп використовувався U-критерій Вілкоксона-Манна-Уїтні. Для виявлення сумісних ефектів статі та віку на значення ентропії використано дисперсійний аналіз (ANOVA). Достовірними вважалися відмінності при $P \leq 0,05$.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. ANOVA виявив достовірний ефект фактора «стать» та сумісної дії факторів «вік» і «стать» на значення eKS у контрольній групі, та їх відсутність при вроджених зорових дисфункціях, тоді як ефекти фактора «вік» виявлені в обох групах. Ці ефекти полягали у більш низьких значеннях eKS серед осіб жіночої статі, що більшою мірою притаманно нормальнозорим у період другого дитинства (локуси Fp2, F7, F8, C3, C4, T3, T4, T5, T6, P4, O1) та юнацького віку (локуси F7, F8, C4, T4), тоді як у групі із зоровими дисфункціями ці відмінності були локальними та виявлялися тільки в юнацькому віці (локус P3).

Зазначене зумовило необхідність проаналізувати вікову динаміку змін eKS при різному станові центрального зору окремо для осіб жіночої та чоловічої статі.

З'ясовано, що у **нормальнозорих осіб чоловічої статі** (рис. 1) у підлітковому віці (12,51–16,50 років) порівняно з періодом другого дитинства (7,51–12,50 років) відбувалося достовірне зниження значень eKS у 10 з 16 досліджуваних коркових ділянок, а саме: білатерально у лобово-полярній (Fp1 на 13,7 %, Fp2 на 18,4 %), скроневій (T3 на 17,6 %, T4 на 22,1 %, T5 на 26,4 %), тім'яній (P3 на 16,3 %, P4 на 23,3 %), потиличній (O1 на 26,5 %, O2 на 11,1 %) та правій центральній (C3 на 9,8 %) ділянках. У лобових частках (F3 F4, F7, F8) спостерігалася аналогічна тенденція ($0,06 \leq P \leq 0,08$).

Достовірних змін у значеннях eKS у юнацькому віці порівняно з підлітковим віком не відбулося. Однак продовжено виявлену в підлітковому віці тенденцію до зниження значень eKS у лівих центральній (C3) і передньо-скроневій (T3), обох верхньо-лобових (F3, F4) ділянках, що призвело до появи достовірних відмінностей з періодом другого дитинства.

Водночас в юнацькому віці, порівняно з підлітковим, спостерігалось незначне збільшення значень еКС у лобово-полярних (Fp1, Fp2), правих центральній (C4) і передньо-скроневій (T4), лівих тім'яній (P3) і потиличній (O1) ділянках, що обумовило нівелювання достовірних відмінностей з періодом другого дитинства.

В осіб чоловічої статі з вродженими зоровими дисфункціями (рис. 1), подібно до нормальнозорих, спостерігалася тенденція до зниження значень еКС у підлітковому віці, однак достовірні зміни були більш локальними – у правих центральній (на 15,2 %), передньо-скроневій (на 12,7 %) і потиличній (на 16,5 %) ділянках. У лівій півкулі значне зниження значень еКС спостерігалось у нижньо-лобовій (на 6,7 %, $P = 0,098$), задньо-скроневій (на 11,7 %, $P = 0,063$) та потиличній (на 11,5 %, $P = 0,081$) ділянках.

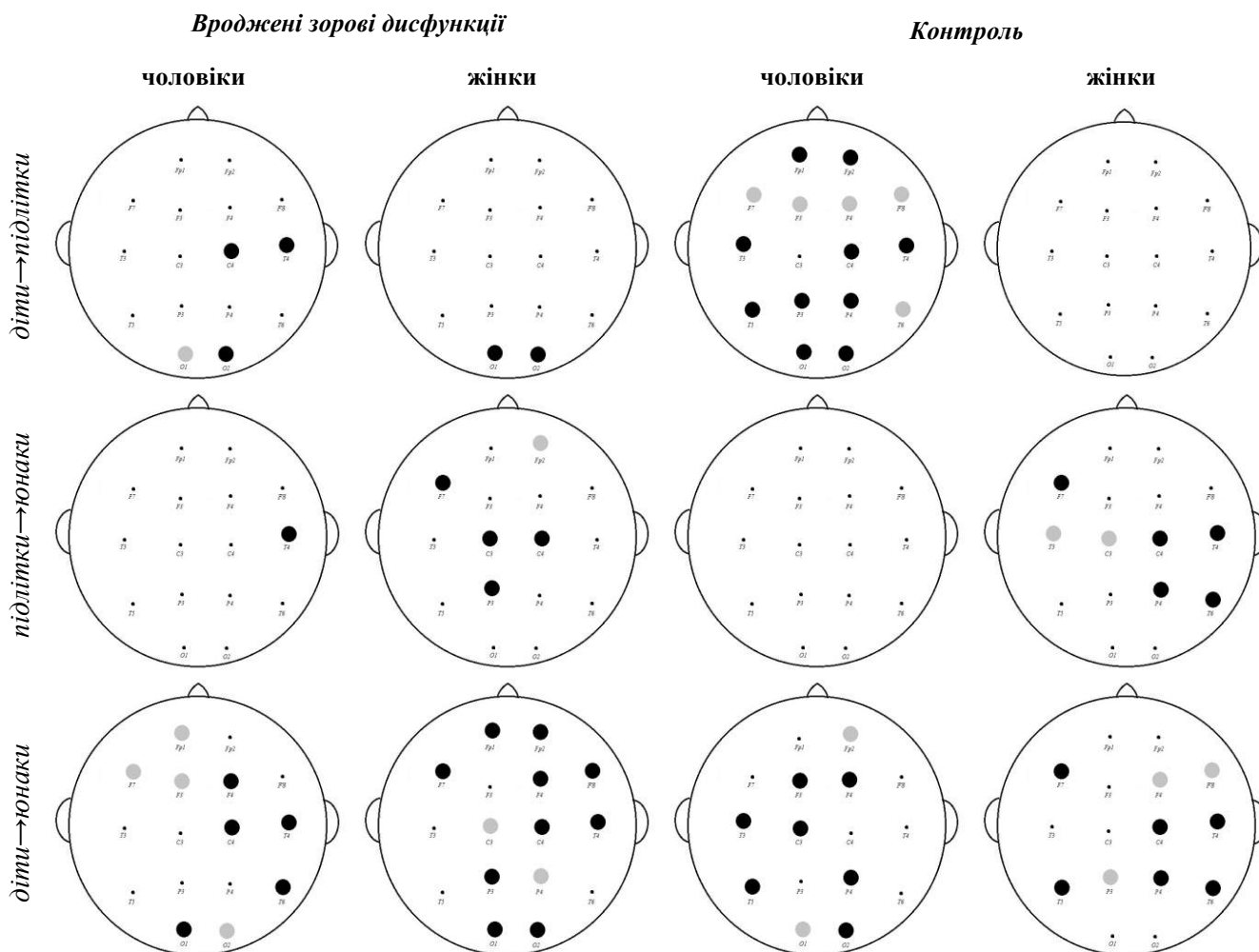


Рис. 1. Топографічний розподіл вікових змін значень ентропії Колмогорова-Сіная серед осіб з різним станом центрального зору.

Примітка. Кругами позначено відмінності у значеннях еКС в межах порівнюваних вікових груп при ● – $P \leq 0,05$, при ● – $0,051 \leq P \leq 0,10$.

У юнацькому віці спостерігалось продовження достовірного зниження значень еКС у правій передньо-скроневій ділянці (на 10,1 %). В інших ділянках аналогічно до контролю достовірних змін порівняно з підлітковим віком не виявлено. Розпочате у підлітковому віці повільне зниження значень еКС у правих верхньо-лобовій і задньо-скроневій та лівих потиличній, лобово-полярній, верхній і нижній лобових ділянках продовжилося і в юнацькому віці. Це обумовило посилення відмінностей з періодом другого дитинства за значеннями еКС (для F4, T6, O1 $P \leq 0,05$; для Fp1 $P = 0,052$; для F7 $P = 0,07$; для F3 $P = 0,08$).

В осіб чоловічої статі з вродженими зоровими дисфункціями подібно до контролю в юнацькому віці спостерігалось незначне підвищення значень еКС у правій потиличній ділянці, що дещо знизило ступінь відмінностей з періодом другого дитинства ($P = 0,06$).

Аналіз вікової динаміки змін значень еКС у *нормальнозорих осіб жіночої статі* (рис. 1) виявив, що зниження відбувалося в юнацькому віці, а не в підлітковому, як в осіб чоловічої статі, досягаючи рівня достовірності у лівій нижньо-лобовій (на 20,9 %) та правих центральній (на 17,0 %), передньо-скроневої (на 20,7 %), задньо-скроневої (на 14,3 %) і тім'яній (на 9,5 %) ділянках. Аналогічна тенденція виявлена у лівих передньо-скроневої (на 11,3 %, $P = 0,053$) і центральній (на 10,8 %, $P = 0,053$) ділянках. Однак їй передувало незначне підвищення значень еКС у підлітковому віці, тому зниження значень еКС в юнацькому віці призвело до повернення на рівень періоду другого дитинства.

Спостерігалось також повільне зниження значень еКС з періоду другого дитинства до юнацького віку в лівих задньо-скроневої (на 14,7 %, $P \leq 0,05$) і тім'яній (на 11,6 %, $P = 0,052$) та правих нижній (на 10,5 %, $P = 0,08$) і верхній (на 14,0 %, $P = 0,10$) лобовій ділянках головного мозку.

В *осіб жіночої статі з вродженими зоровими дисфункціями* (рис. 1), на відміну від нормальнозорих, достовірне зниження значень еКС відбувалося у два етапи: у підлітковому віці в потиличних ділянках (на 21,5 %, O_2 на 25,1 %), а у юнацькому віці – у лівих нижньо-лобовій (на 19,2 %) і тім'яній (на 28,2 %) та обох центральних (на 21–23%), правій лобово-полярній ділянці (на 20,8 %, $P = 0,094$).

Відзначимо, що подібно до нормальнозорих, зниження значень еКС у лівій центральній ділянці в юнацькому віці відбувалося після попереднього підвищення в підлітковому віці, але було більш значним (удвічі). Також спостерігалось плавне зниження значень еКС з періоду другого дитинства до юнацького віку у лівій лобово-полярній (на 12,0 %) та правих нижньо-лобовій (на 13,6 %) і тім'яній (на 13,2 %, $P = 0,06$) ділянках.

Інтерпретувати отримані дані слід виходячи з того, що нейродинаміку головного мозку можна охарактеризувати як макростан, сформований послідовністю порівняно стабільних мікростанів різного типу тривалістю у декілька мілісекунд та/або секунд. У просторово-часовому континуумі нейродинаміка головного мозку характеризується одночасністю локальних (спеціалізованих) та глобальних (інтегративних) станів у кожний момент часу. Так, ЕЕГ-сигнал під одним електродом характеризується послідовністю коливальних станів, що спільно з іншими локальними коливальними станами (ЕЕГ-сигналами) формують глобальний коливальний стан мозку, що являє собою мозаїку спеціалізованих модулів, які утворюють вузли динамічної системи [9].

Методами миттєвої конфігурації електричного поля (*momentary brain electric field configurations*) та короточасних спектральних паттернів (*short-term spectral patterns*) показано, що на ЕЕГ дорослої людини в умовах спокійного неспання в основному домінують 4–5 станів (і локальних, і глобальних), а всього можна вирізнити від 6 до 11 універсальних типів короточасних спектральних паттернів [9]. Зазначене зумовлює складність ЕЕГ-сигналу під час макростану (у нашому випадку стану спокійного неспання), тобто динаміку зміни коливальних процесів у часі.

Звернемо увагу на те, що сегментарний підхід до вивчення нейродинаміки головного мозку орієнтований на феноменологію мікро- та макростанів. Водночас показано, що часова динаміка мікростанів є їх ключовою характеристикою та є безмасштабною (*scale-free*), що свідчить про їх нестаціонарність [20]. Тому виникають питання про те, наскільки сталою та регулярною є динаміка змін мікростанів електричної активності головного мозку впродовж макростану і як ці параметри змінюються з віком. Щоб отримати відповіді на ці питання, може стати в нагоді визначення ентропії ЕЕГ-сигналів, оскільки остання визначається числом мікростанів.

Наше дослідження розкриває вікову динаміку складності ЕЕГ-сигналу та вплив зорових дисфункцій на цю динаміку. Узагальнення отриманих результатів дає підстави констатувати вікове зниження складності нейродинаміки головного мозку в умовах спокійного неспання в період з 8 до 20 років. Тобто на цьому етапі онтогенезу коливальні процеси стають більш впорядкованими та регулярними (передбачуваною), що обумовлює зменшення числа мікростанів.

Як зазначалося раніше, складність ЕЕГ-сигналу можна розглядати і з позиції функціональних джерел, що генерують електричну активність, і з позицій функціональних мереж [17]. Отже, отримані результати можна пояснити синаптичним обрізанням (*synaptic pruning*), що активно відбувається у підлітковому віці та може продовжуватися у юнацькому віці [6], внаслідок якого зменшується кількість елементів, що забезпечують генерацію електричної активності. Зазначене може обумовити зниження ентропії внаслідок зміни структури функціонального джерела електричної активності.

З іншого боку, поряд із синаптичним обрізанням упродовж підліткового та юнацького віку відбувається збільшення об'єму білої речовини [15], що сприяє посиленню просторово-часової та анатомічної інтеграції між відділами головного мозку [16]. З позиції теорії функціональних мереж динамічна складність ЕЕГ-сигналу тим нижча, чим вищий рівень синхронізації (кореляції) між функціональними джерелами. Тобто вікове зниження ентропії Колмогорова-Сіная, яке ми виявили, може бути відображенням посилення просторово-часової синхронізації в діяльності головного мозку.

Не виключено, що виявлене вікове посилення регулярності та стійкості коливань ЕЕГ-сигналу може відображати вікову тенденцію до домінування удосконалених на попередньому етапі онтогенезу та стереотипних паттернів у поведінці суб'єкта з віком [9].

Наші результати корелюють з деякими даними щодо вікової динаміки значень ентропії на різних вікових етапах. Використання алгоритму багатомасштабної ентропії для аналізу складності ЕЕГ сигналу вказало на більш низькі значення в осіб похилого віку, порівняно з молодими [5]. У дослідженні ЕЕГ 40 немовлят і дітей (вікові групи 1–2, 2–8, 9–24 і 24–66 місяців) при сенсорній стимуляції відзначено вікове зниження локальної ентропії (один ЕЕГ-сигнал) на фоні збільшення розподіленої ентропії (між двома ЕЕГ-сигналами). Це дало підстави авторам зробити висновок, що основною траєкторією вікового розвитку є посилення інтеграції просторово-розподілених нейронних популяцій [19].

Отримані дані також збігаються з результатами сегментного аналізу ЕЕГ (метод короткотривахів спектральних паттернів), що виявив зниження динамічних репертуарів коливальних станів ЕЕГ-сигналів в умовах спокійного неспання у молодих осіб (20–45 років), що вказує на зниження фенологічної мінливості ЕЕГ з віком [9].

З іншого боку, є дані, що свідчать про збільшення складності ЕЕГ-сигналу з віком досліджуваних, однак вони спираються на показники кореляційної розмірності, розмірної складності, наближеної ентропії. Зокрема дослідження кореляційної розмірності ЕЕГ 54 дітей від народження до 14 років [12], розмірної складності ЕЕГ у трьох вікових групах – 7,5, 13,8 і 16,4 роки [20], наближеної ентропії у 6 дітей (10,6–12,6 років) та 6 дорослих (19,4–25,1 років) [11] показано, що дозрівання мозку пов'язано зі збільшенням складності нейродинаміки.

Як зазначалося, літературних даних щодо ентропії ЕЕГ-сигналів при зорових дисфункціях немає. У дослідженні ми показали, що обмеження зорового досвіду з народження внаслідок ураження периферичної частини зорового аналізатора, видозмінює вікову динаміку змін еКС, зберігаючи тенденцію до вікового зниження. Однак, якщо в контрольній групі вікове зниження еКС було глобальним в осіб чоловічої статі та локальним – у осіб жіночої статі, то при вроджених зорових дисфункціях навпаки, локальні зміни притаманні особам чоловічої статі, а глобальні – жіночої. Вікова динаміка змін значень еКС у осіб жіночої статі із зоровими дисфункціями була подібна до такої у нормальнозорих осіб чоловічої статі. Також виявлена певна асиметрія змін: у осіб чоловічої статі із зоровими дисфункціями, на відміну від контролю, відбувалися у правій півкулі. Враховуючи загальновідомий факт, що в пубертатному періоді дівчата на 1–2 роки випереджають хлопців за темпами розвитку, а права півкуля дозріває раніше за ліву, можемо припускати, що вроджені зорові дисфункції призводять до уповільнення темпів розвитку головного мозку. Нажаль, відомостей щодо вікової динаміки розвитку головного мозку при зорових дисфункціях ми не знайшли. Однак є дані про уповільнення психомоторного розвитку дітей із зоровими дисфункціями [2], що опосередковано можуть бути поведінковими корелятами затримки структурно-функціонального розвитку головного мозку.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. У період з 8 до 20 років виявлено вікове зниження складності нейродинаміки головного мозку з позиції частоти змін мікростанів в умовах спокійного неспання. При вроджених зорових дисфункціях напрям вікових змін складності нейродинаміки головного мозку не змінюється, тоді як темпи і строки вікових змін, імовірно, дещо відставлені (уповільнені) у часі.

Відсутність єдності даних щодо вікової динаміки складності нейродинаміки головного мозку, очевидно, пов'язана з різними методичними підходами, а як наслідок, імовірно, відображають різні аспекти складності (кількість, повторюваність, швидкість зміни мікростанів тощо). Зазначене зумовлює необхідність подальших систематичних досліджень складності нейродинаміки головного мозку, використовуючи більш чіткі критерії вікової періодизації та порівняння різних показників складності ЕЕГ в умовах норми і патології.

Джерела та література

1. Майоров О. Ю. Реализация метода смещения с помощью оценки размеров осей аттрактора динамической системы мозга // Кибернетика и вычислительная техника / О. Ю. Майоров, А. Б. Глухов, В. Н. Фенченко. – 2007. – Вып. 153. – С. 3–11.
2. Блинникова И. В. Роль зрительного опыта в развитии психических функций / И. В. Блинникова. – М. : Изд-во ИПРАН, 2003. – 142 с.
3. Рожкова Л. А. Использование электроэнцефалографии для оценки функционального состояния мозга детей и подростков при сенсорных нарушениях и их коррекция / Л. А. Рожкова // Дети с проблемами в развитии (комплексная диагностика и коррекция) / под редакцией Л. П. Григорьевой. – М. : ИКЦ «Академкнига». – 2002. – С. 158–207.
4. Anokhin A. P. Complexity of electrocortical dynamics in children: developmental aspects / A. P. Anokhin, W. Lutzenberger, A. Nikolaev, N. Birbaumer // Dev. Psychobiol. – 2000. – Vol. 36 (1). – P. 9–22.
5. Costa M. Multiscale entropy analysis of physiologic time series / M. Costa, A. L. Goldberger, C.-K. Peng // Phys. Rev. Lett. – 2002. – Vol. 89, e068102.
6. Giedd J. N. Brain development during childhood and adolescence: a longitudinal MRI study / J. N. Giedd and et. // Nat Neurosci. – 1999. – Vol. 2. – P. 861–863.
7. Hubel D. H. The period of susceptibility to the physiological effects of unilateral eye closure in kittens / D. H. Hubel, T. N. Wiesel // J. Physiol. – 1970. – Vol. 206 (2). – P. 419–436.
8. Jeavons P. M. The electro-encephalogram in blind children / P. M. Jeavons // Brit. J. Ophthal. – 1964. – Vol. 48. – P. 83–101.
9. Fingelkurts A.A. EEG Oscillatory States: Universality, Uniqueness and Specificity across Healthy-Normal, Altered and Pathological Brain Conditions / A. A. Fingelkurts, A. A. Fingelkurts // PLoS One. – 2014. – Vol. 9 (2): e87507. – 20 p.
10. Kantz H. T. Schreiber Nonlinear Time Series Analysis / H. T. Kantz. – Cambridge, United Kingdom : Cambridge University Press, 2003. – 2 edition. – 388 p.
11. Lee G. M. H., Fattinger S., Mouthon A.-L., Noirhomme Q., Huber R. Electroencephalogram approximate entropy influenced by both age and sleep / G. M. H. Lee, S. Fattinger, A.-L. Mouthon, Q. Noirhomme, R. Huber // Front Neuroinform. – 2013. – Vol. 7, article 33. – 7 p.
12. Meyer-Lindenberg A. The evolution of complexity in human brain development: an EEG study / A. Meyer-Lindenberg // Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol. – 1996. – Vol. 99 (5). – P. 405–411.
13. Mountcastle V. B. The columnar organization of the neocortex / V. B. Mountcastle // Brain. – 1997. – Vol. 120 (Pt. 4). – P. 701 – 722.
14. Paus T. Mapping brain maturation and cognitive development during adolescence / T. Paus // Trends Cogn Sci. – 2005. – Vol. 9. – P. 60–68.
15. Pinkus S. M. Approximate entropy as a measure of system complexity / S. M. Pinkus // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. – 1991. – Vol. 88 (6). – P. 2297–2301.
16. Smit D. J. A. Scale-Free Modulation of Resting-State Neuronal Oscillations Reflects Prolonged Brain Maturation in Humans / D. J. A. Smit and et. // J. Neurosci. – 2011. – Vol. 31 (37). – P. 13128 –13136.
17. Stam C. J. Nonlinear dynamical analysis of EEG and MEG: Review of an emerging field / C. J. Stam // Clinical Neurophysiology. – 2005. – Vol. 116. – P. 2266–2301.
18. Stepien R. A. Testing for non-linearity in EEG signal of healthy subjects / R. A. Stepien // Acta Neurobiol. Exp. – 2002. – Vol. 62 (4). – P. 277–281.
19. Vakorin V. A. Variability of brain signals processed locally transforms into higher connectivity with brain development / V. A. Vakorin, S. Lippé, A. R. McIntosh // J. Neurosci. – 2011. – Vol. 31 (17). – P. 6405–6413.
20. Van de Ville D., Britz J., Michel C. M. EEG microstate sequences in healthy humans at rest reveal scale-free dynamics / D. Van de Ville, J. Britz, C. M. Michel // Proc. Natl. Acad. Sci. U S A. – 2010. – Vol. 107 (42). – P. 18179–18184.

Редька Ирина. Влияние зрительных дисфункций на возрастные изменения сложности нейродинамики головного мозга. Значительно увеличиваются сведения о нелинейной природе ЭЭГ-сигнала. В этом контексте целесообразно применение новых алгоритмов анализа ЭЭГ-сигналов для лучшего понимания закономерностей нормального и аномального развития мозга. В данном исследовании был применен энтропийный подход для анализа сложности ЭЭГ-сигнала людей с нормальным зрением и врожденными зрительными дисфункциями в период от 8 до 20 лет в состоянии покоя с закрытыми глазами. Выявлено возрастное снижение сложности ЭЭГ-сигнала (на основании энтропии Колмогорова-Синяя). Наиболее выраженным это снижение было в подростковом возрасте у мужчин, и юношеском возрасте у женщин. Показано, что возрастное снижение значений энтропии не зависит от наличия зрительной дисфункции. Высказано предположение,

что визуальная дисфункция лишь отстывает во времени и замедляет возрастное снижение сложности нейродинамики головного мозга.

Ключевые слова: электроэнцефалография, энтропия Колмогорова-Синяя, зрительные дисфункции.

Redka Iryna. Influence of Visual Dysfunction on Age-related Changes of Brain Dynamical Complexity.

Progressive increases the data on the non-linear nature of the EEG signal. In this context it is necessary to use new algorithms for the analysis of EEG for better understanding patterns of normal and abnormal brain development. Entropy approach was used in this research to the analysis of the EEG complexity in people from 8 to 20 years with normal vision and congenital visual dysfunction during resting-state with eyes-closed. Age-related reduction of complexity of EEG signal according to the Kolmogorov-Sinai entropy was revealed. This age-related change of complexity was the most significant in teenager males and adolescence females. The age-related entropy reduction was independent of the presence of visual dysfunction. It has been suggested that the visual dysfunction retard to age-related reduction retards of brain dynamical complexity.

Key words: electroencephalography, entropy Kolmogorov-Sinai, visual dysfunction.

Стаття надійшла до редколегії
15.03.2015 р.

УДК 796.3+796.42

Альона Романюк

Аналіз латентності Р300 у спортсменів ігрових видів спорту та легкоатлетів

Виявлено статистичну значиму різницю латентності компоненти Р300 викликаних потенціалів мозку у спортсменів ігрових видів спорту та легкоатлетів. У спортсменів ігрових видів спорту відзначено статистично більший латентний період Р300 порівняно з легкоатлетами під час серії стимулів «Що». Відзначено обернену залежність цих показників між двома групами обстежуваних під час появи стимулів «Де».

Ключові слова: викликані потенціали, компонента Р300, спортсмени, латентний період.

Постановка наукової проблеми та її значення. Сучасне тисячоліття характеризується інтенсивним розвитком наукових досліджень у галузі нейрофізіології, психофізіології, медицини, які є вагомим внеском у розвиток науки загалом. Одним з основних методів аналізу діяльності мозку є вивчення біоелектричних коливань кори головного мозку. Дані, отримані за допомогою цих методів, розкривають суть найважливіших механізмів людського мозку [6, с. 72; 9, с.197].

Викликані потенціали – це реакція, що складається із компонентів, які безперервно пов'язані між собою. Викликані потенціали характеризуються кількісними параметрами окремих компонентів (латентностей та амплітуд). Ці параметри мають різне функціональне значення залежно від особливостей експериментальної моделі. На сьогодні інтенсивно проводяться експериментальні дослідження з пошуку біологічно значимої моделі для прогнозування успішності спортсменів у різних видах спорту, враховуючи не тільки морфологічні, фізіологічні можливості, а також особливості центральної нервової системи [3, с. 113; 7, с. 244].

Спортсмени різних видів спорту володіють певними особливостями нервової системи. Наприклад, основою досягнення високої майстерності, для спортсменів ігрових видів спорту є вміння концентрувати свою увагу, швидко реагувати на зміну ігрової ситуації та приймати рішення [3, с. 113].

Електрофізіологічні методи дослідження дають змогу визначити роль окремих структур головного мозку в процесах уваги і концентрації. Проведення інформації до мозку здійснюється двома шляхами: вентральним, або «Що – системи», який включає вентролатеральнупрестріарну кору та нижньоскронеvu кору, та дорзальним, що включає ділянку тім'яної кори, або «Де – система» [1, с. 173; 4, с. 212]. Сказане вище й обумовило актуальність нашого дослідження.

Аналіз досліджень цієї проблеми. Аналіз літературних джерел свідчить, що інтенсивно здійснюються наукові дослідження сомато-сенсорних, слухових, зорових, когнітивних викликаних потенціалів [8, с. 105; 13, с. 11803]. М. Б. Гурова, Л. В. Капилевич виявили специфічні особливості функ-