

EXPERIMENTAL STUDY OF PROCESSES ARISING IN THE BRAIN
OF VISUALLY IMPAIRED PEOPLE UNDER HAND SKIN
IRRADIATION BY ELECTROMAGNETIC WAVES OF VISUAL RANGE

*Vladimir Titar^{1,2}, Iuliia Ielchishcheva^{1,3}, Olga Shpachenko^{1,4},
Alla Melnikova^{1,5}, Viktor Mizrahi^{1,6}*

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ,
ЩО ВІДБУВАЮТЬСЯ У МОЗКУ СЛАБОЗОРИХ ЛЮДЕЙ ПІД ДІЄЮ
НА ШКІРУ ДОЛОНЬ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ
РІЗНИХ ДОВЖИН ХВИЛЬ ВИДИМОГО ДІАПАЗОНУ

*Володимир Титар, Юлія Єльчичева, Ольга Шпаченко,
Алла Мельнікова, Віктор Мізрахі*

Abstract. An experimental study of the different wavelengths visual range electromagnetic radiation effect on the brain of the visually impaired during their training in dermo-optical perception was performed. The experiments involved 12 visually impaired children (at their wish and with permission from their parents). The measurement of the state of various organs and the system of researches was carried out by means of the device “KSD” for registration and the computer analysis of the electromagnetic quantities emitting by the organism. Comparison of control measurements (before the beginning of experiments) with measurements carried out during training by a dermo-optical perception allowed to reveal number of regularities. The retina of the eyes (which were closed with an opaque bandage) was activated by the palm contact with paper of all colors except black. Some areas of the visual cortex were also activated at same time. There was a simultaneous increase in the activity of the brain frontal lobe and beta-rhythms at all experiment stages, which may indicate an increase in children’s attention to the learning process. Analysis of changes in brain rhythms showed that blue color influence on the palms skin (with the closed eyes) increases the attention concentration, as evidenced by the maximum beta-rhythm increase. The green color is calming under the same conditions of action, which is confirmed by the high theta-rhythm activity level. The alpha-rhythm level exceeded the level of both delta- and theta-rhythms when the palm skin touched red and purple (in which spectra the red component was determined), which was the activation mark of the central nervous system. The experiments also showed a synchronous increase in the III pyramidal brain cortex layer activity in the areas involved in the processing of somatosensory and visual information (areas 3 and 17 according to Brodmann). The obtained results may be a confirmation of the mechanisms presence in humans that provide dermo-optical color perception, which requires further diligent and comprehensive studies.

Keywords: electromagnetic radiation of visual range; color; dermo-optical perception; visual analyzer; skin analyzer; brain rhythms

¹ V. N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine

² inhol@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-4874-8929>

³ julyreine7@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4422-9582>

⁴ shpachenkoov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6072-5340>

⁵ allvm515@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2291-6859>

⁶ inhol@ukr.net

Анотація. Проведено експериментальне дослідження впливу електромагнітного випромінювання різних довжин хвиль видимого діапазону на мозок слабозорих під час їх навчання шкірно-оптичному сприйняттю. В експериментах брали участь 12 слабозорих дітей (за їх бажанням та при наявності дозволу їх батьків). Вимірювання стану різних органів та систем досліджуваного проводилося за допомогою апарату «КСД» шляхом реєстрації та комп'ютерного аналізу електромагнітних коливань, що випромінюються його організмом. Порівняння контрольних вимірювань (до початку експериментів) з вимірюваннями, що проводилися під час навчання шкірно-оптичному сприйняттю, дозволило виявити низку закономірностей. Спостерігалася активація сітківки очей (які були закриті пов'язкою) при контакті долоні з папером всіх кольорів, крім чорного. При цьому також активувалися деякі ділянки зорової кори мозку. Було відзначено синхронне підвищення активності лобової частки мозку та бета-ритмів на всіх етапах експериментів, що може свідчити про підвищення уваги дітей до процесу навчання. Аналіз змін ритмів мозку показав, що вплив на шкіру долонь (при зав'язаних очах) синього кольору викликав посилення концентрації уваги, про що свідчило максимальне підвищення бета-ритму. Зелений колір при тих самих умовах діяв заспокійливо, що підтверджується високим рівнем активності тета-ритму. Рівень альфа-ритму перевищував рівень як дельта-, так і тета-ритмів при дії на шкіру долонь кольорів червоного та фіолетового (в спектрі якого спостерігалася червона компонента), що було ознакою активації центральної нервової системи. Експерименти також показали синхронне підвищення активності III пірамідального шару кори головного мозку у відділах, які беруть участь в обробці тактильної і зорової інформації (поля 3 та 17 за Бродманом). Отримані результати можуть бути підтвердженням наявності у людей механізмів, які забезпечують шкірно-оптичне сприйняття кольору, що потребує подальших ретельних й всебічних досліджень.

Ключові слова: електромагнітне випромінювання видимого діапазону; колір; шкірно-оптичне сприйняття; зоровий аналізатор; шкірний аналізатор; ритми головного мозку

Колір — це суб'єктивна характеристика сприйняття світлової хвилі, яка ґрунтується на здатності людського зору розрізняти електромагнітне випромінювання з довжиною хвиль в області видимого діапазону [1]. Згідно з прийнятими міжнародними нормами, до видимого діапазону електромагнітних хвиль відноситься світло з довжинами хвиль від 380–400 нм до 760–780 нм [2].

В залежності від мети експериментів, що проводяться, увесь спектр видимих світлових хвиль може бути розділений на декілька піддіапазонів, кожен з яких асоціюється в нашому сприйнятті з певним кольором. Видимий спектр електромагнітних хвиль є безперервним, тому кількість кольорів, що виділяються, та розташування границь кольірних піддіапазонів певною мірою є умовним, в основі чого лежить суб'єктивне сприйняття світла нашим зоровим апаратом. Зазвичай виділяють від шести до восьми різних кольорів спектра [3–5]. У нашому дослідженні ми використовували поділ видимого спектра на сім кольорів, що було введено у науковий обіг ще Ісааком Н'ютоном. Відповідність між кольорами та довжинами хвиль монохроматичного електромагнітного випромінювання, якою ми користувалися в своїх дослідженнях, наведено у таблиці 1.

Сприйнятий колір (випромінювання або об'єкта) залежить від його спектру та від психофізіологічного стану людини [6].

Відчуття кольору виникає в мозку при збудженні і гальмуванні світлочутливих клітин — колбочок, що є рецепторами очної сітківки людини або тварини [7]. Найбагатші кольірними рецепторами центральні частини сітківки [8].

Таблиця 1. Відповідність між кольорами та довжинами хвиль монохроматичного електромагнітного випромінювання видимого діапазону [4]

Довжина хвилі, нм	Колір
380–450	Фіолетовий
450–480	Синій
480–510	Блакитний
510–570	Зелений
570–590	Жовтий
590–620	Помаранчевий
620–760	Червоний

У відповідності до так званої «трикомпонентної теорії кольорного зору» кожне кольорне відчуття у людини може бути представлено у вигляді суми відчуттів трьох кольорів [9] — червоного, зеленого та синього, що пов'язано з існуванням трьох типів колбочок з відповідною спектральною чутливістю.

Психологічно суб'єктивне сприйняття кольору залежить також від яскравості, адаптації ока до фонового світла, від кольору сусідніх об'єктів, наявності дальтонізму та інших об'єктивних факторів, а також від різноманітних ситуативних психологічних моментів [1].

Окрім класичного положення, що інформацію від різних довжин хвиль електромагнітного випромінювання видимого діапазону (тобто колір) людина сприймає за допомогою очей, існує низка досліджень, яка підтверджує факт шкірно-оптичного сприйняття кольору. Але все ще залишається велика кількість недосліджених питань у цьому явищі. Вивченням проблеми шкірно-оптичної чутливості займалися та займаються ряд вітчизняних та зарубіжних вчених (Y. Duplessis, A. C. Новомейский, Н. Т. Свиніна, М. Н. Судаков, Д. К. Гільов, С. Н. Добронравов, Я. Р. Фішел, В. М. Мізрахі) [10–18].

Шкірно-оптичну чутливість можна вивчати на основі аналізу кривих біоелектричної активності мозку. Такі дослідження велися в США, Англії, Франції [10, 14, 16, 18]. Аналіз експериментальних і теоретичних робіт показує необхідність у розвитку експериментальних досліджень в області суміжних психофізичних явищ. На основі численних експериментів, що проводилися за участю зрячих, сліпих та слабозорих людей, було встановлено, що шкірно-оптична чутливість, тобто здатність визначати деякі властивості і форму предметів з закритими очима або в повній темряві, більшою чи меншою мірою властива всім людям і може бути розвинута за допомогою цілеспрямованих тренувань (див., наприклад, [12]). Виявилося, що по-різному забарвлені предмети по-різному діють на наш організм: неусвідомлено (або з різним ступенем усвідомлення) відображаються нами і більш того — підвищують або знижують інтенсивність наших реакцій і нашої діяльності. Дуже цікавими в цьому сенсі є спостереження за поведінкою тотально сліпих дітей, які вели себе спокійно у кімнатах, що були пофарбовані у синій колір, і виявляли збудження у приміщеннях, в інтер'єрі яких переважали жовтий та помаранчевий кольори [19]. Одна з найдивовижніших особливостей «шкірного зору» — це можливість розпі-

знання забарвлення предметів у темряві, що було доведено численними експериментами, проведеними в Магнітогорську, Нижньому Тагілі і Свердловську, а потім підтверджено дослідженнями в США [10–16].

Експериментальні дослідження, що проводилися різними науковцями, показали, що розпізнавання кольорів паперових аркушів однакової фактури за допомогою шкірно-оптичної чутливості базується на комплексі специфічних тактильно-кінестезичних та температурних відчуттів [12, 13, 17]. Кожному кольору притаманний свій специфічний набір таких суб'єктивних відчуттів, що не залежать від віку, статі, професії та інших індивідуальних властивостей особи, яка розпізнає кольори паперу із зав'язаними очима за допомогою шкірно-оптичної чутливості. Більш того, певний колір відчувається на дотик однаково як людьми з нормальним зором, так і слабозорими та зовсім сліпими: для всіх людей таблиця шкірно-оптичних ознак кольорів є однаковою [12, 13, 20, 21]. Це дає змогу зробити припущення, що шкірно-оптичні відчуття є результатом однакової реакції шкірних рецепторів на неадекватні подразники і суб'єктивно відображають цілком об'єктивні фізичні та фізико-хімічні процеси, які відбуваються у шкірі під дією електромагнітного випромінювання видимого діапазону різних довжин хвиль.

Відомо, що однією з головних функцій нервової системи є адаптація до умов навколишнього середовища, що постійно змінюються [22]. Саме це може пояснювати існування шкірно-оптичного сприйняття кольору. Оскільки в організмі все взаємопов'язано, у тому числі органи чуття, то така здатність є надзвичайно важливою для адаптації у навколишньому середовищі, особливо при погіршенні функціонування однієї чи декількох з сенсорних систем організму, у тому числі при порушеннях зору, у сліпих чи слабозорих людей. Підтвердженням цієї думки можуть бути експериментальні спостереження, які показують, що слабозорі та незрячі (які втратили зір в процесі життя) навчаються шкірно-оптичному сприйняттю кольору більш успішно, ніж особи з нормальним зором [19].

Наразі існує велика кількість наукових праць, присвячених дослідженню шкірно-оптичної чутливості. Але в той же час майже відсутні наукові дослідження з комплексним ретельним підходом щодо визначення механізмів шкірно-оптичного сприйняття різного кольору (різних довжин хвиль видимого діапазону) та особливостей обробки отриманої інформації мозком.

Саме тому дослідження шкірно-оптичного сприйняття різних кольорів з точки зору механізму цього сприйняття та особливостей обробки отриманих стимулів мозком є надзвичайно актуальним і має не тільки теоретичне, але й велике практичне значення, якщо мова йде про людей із слабким зором.

В зв'язку з цим, дана робота присвячена експериментальному виявленню закономірностей, що відбуваються у мозку під дією різних кольорів в процесі навчання слабозорих шкірно-оптичному сприйняттю.

Матеріали і методи

Експерименти проводилися за участю слабозорих дітей на базі Комунального закладу «Харківська спеціальна школа імені В. Г. Короленка» Харківської обласної ради. Участь в експериментах неповнолітніх дітей здійснювалася з письмового дозволу їх батьків. Проведення даного дослідження також повністю відповідало біоетичним нормам.

Група слабозорих вихованців школи ім. В. Г. Короленка проходила навчання шкірно-оптичному сприйняттю за авторською методикою, яка розроблена науковим співробітником лабораторії радіо- та оптичної голографії ХНУ ім. В. Н. Каразіна, кандидатом психологічних наук В. М. Мізрахі. Під час цих занять на різних етапах навчання шкірно-оптичному сприйняттю проводилися вимірювання стану різних органів, груп клітин та систем організму слабозорих дітей, що приймали участь у навчанні. Вимірювання проводилися за допомогою комплексу спектрально-динамічного (апарату «КСД»), принципи роботи якого наведені нижче.

До початку експериментів нами було проведено дослідження спектрів електромагнітного випромінювання, відбитого від зразків кольорового паперу, який використовувався під час навчання дітей шкірно-оптичному сприйняттю. Дослідження проводилося за допомогою монохроматора УМ-2, в якості джерела освітлювання використовувалася лампа розжарювання. Проведені дослідження показали, що папір білого кольору відбивав спектр падаючого світла практично без змін: у видимому діапазоні були присутні рівною мірою всі довжини хвиль, з дещо підвищеним представництвом довгохвильової частини, що характерно для світла, яке випромінюється лампою розжарювання. Спектри електромагнітних хвиль, відбитих від паперових аркушів наступних кольорів мали один максимум на довжинах хвиль, який попадав у відповідний піддіапазон (див. табл.1): червоний папір — 632,8 нм, помаранчевий — 603,1 нм, жовтий — 582,3 нм, зелений — 536,1 нм, блакитний — 492,3 нм, синій — 463,8 нм. Спектри електромагнітного випромінювання, відбитого від фіолетового та чорного паперів, мали по два максимуми — один короткохвильовий і другий довгохвильовий. Фіолетовий папір мав один максимум в області хвиль фіолетового піддіапазону (440,9 нм), що було очікувано, та другий максимум — на 667,7 нм (область хвиль червоного піддіапазону). Чорний папір відбивав світло, що мало також максимуми у фіолетовому та червоному піддіапазонах — 422,6 нм та 653 нм. При цьому інтенсивність світла, що було відбито від чорного паперу, була в середньому у 2,2 рази меншою, ніж інтенсивність світла, відбитого від фіолетового паперу, а інтенсивність світла, відбитого від фіолетового паперу була у 1,6 рази нижчою, ніж інтенсивність світла, відбитого від білого паперу.

Принципи роботи апарату «КСД»

Як відомо, живі біологічні системи генерують електростатичні поля, а також електромагнітні хвилі різної частоти та інтенсивності. Цей факт було покладено в основу низки об'єктивних методів визначення функціонального стану внутрішніх органів та окремих систем організму людини.

Починаючи з середини двадцятого століття в медичну практику міцно увійшли такі методи дослідження, як електроенцефалографія, електрокардіографія, електроміографія, електроретинографія та ін. Такі дослідження є неінвазивними та дозволяють виявляти патологічні процеси в досліджуваному органі, що буває дуже важливо для уточнення діагнозу та визначення оптимальної стратегії лікування.

Слід зазначити, що ще у 70-ті роки минулого сторіччя проводилися дослідження з реєстрації зовнішніх електромагнітних полів живого організму в діапазоні від 10^{-2} до 10^4 Гц на відстанях від 1 мм до 1 м [23–26]. В результаті цих досліджень була показана можливість безконтактної реєстрації електрокардіограм [25], електрогастрограм [24], а також електричної активності інших органів та тканин [23, 26], що обумовлена їхньою життєдіяльністю.

У подальшому науково-дослідні роботи, які проводилися в різних країнах у напрямку вивчення електромагнітних полів тіла людини, завершилися створенням низки лікувально-діагностичних апаратно-комп'ютерних комплексів, які базуються на реєстрації та комп'ютерній розшифровці електромагнітних спектрів живого організму [27–32] (http://web.archive.org/web/20191018035224/https://kmedex.org/technology_CME.php).

В Україні було створено і впроваджено у практику прилад — апарат «КСД» (комплекс спектрально-динамічний), принцип роботи якого заснований на реєстрації та обробці спектрів електромагнітних коливань в діапазоні від 22 Гц до 22 кГц, що випромінюються тілом людини.

Спектрально-динамічна технологія «КСД» захищена патентами та авторськими свідоцтвами [33–40]. Апарат «КСД» пройшов клінічні випробування, а також офіційну реєстрацію та сертифікацію в Україні, Російській Федерації та Євросоюзі і дозволений до використання в якості медичного обладнання.

До складу апарату КСД входить чутливий датчик — ергономічно зроблений біполярний електрод [36, 37]. Датчик дозволяє приймати електромагнітні коливання в широкому діапазоні спектра, які випромінюються всіма органами і тканинами пацієнта (досліджуваного). Прийнятий сигнал після попереднього підсилення піддається дискретизації та кодуванню в двійковій системі числення за допомогою АЦП та поступає у комп'ютер для подальшої обробки і аналізу за допомогою спеціальних програм. Аналіз отриманих спектрів проводиться шляхом їх вейвлет-перетворень та порівняння з набором еталонів. Вейвлет-перетворення переводить сигнал з часового представлення у частотно-часове та являє собою узагальнення спектрального аналізу. Тобто за своєю суттю апарат КСД є спектроаналізатором, що обумовлює особливості його використання в діагностичних та дослідницьких цілях.

Для виключення можливих помилок, пов'язаних з випадковими факторами, які впливають на стан пацієнта/досліджуваного, за час, який відведено для обстеження, проводиться запис декількох спектрів. Багаторічна практика використання апарату «КСД» в дослідницько-діагностичних цілях показує, що оптимальним є аналіз трьох «аутоспектрів» («одномоментних» спектрів стану людини). Програма користувальницького інтерфейсу апарату «КСД» зроблена таким чином, що на екрані комп'ютера показу-

ються дані про кількість зареєстрованих у пацієнта «аутоспектрів», які збіглися або не збіглися з відповідним спектральним еталоном («моноспектром»), а також демонструються відсотки часткового збігу «аутоспектра» з еталоном.

Аналіз стану різних органів та систем досліджуваної людини проводиться шляхом порівняння зареєстрованих у цієї людини «аутоспектрів» випромінювання з раніше складеною комп'ютерною базою «моноспектрів» патогенної мікрофлори, різних органів та груп клітин людського тіла в здоровому стані та при наявності різних захворювань. Розшифровка «аутоспектра» шляхом його порівняння з еталонним набором «моноспектрів» є стандартною процедурою під час проведення спектрального аналізу, незалежно від природи сигналів, що вивчаються.

Наприклад, під час дослідження за допомогою апарату «КСД» альфа-ритму мозку здійснюється автоматичне комп'ютерне порівняння зафіксованого у випробуваної людини «аутоспектра» (який містить у собі як дані щодо альфа-ритму, так і дані щодо електричної активності різних органів і систем випробуваного) з наявним у базі даних середньостатистичним «моноспектром» альфа-ритму людського мозку. Користувальницький інтерфейс апарату «КСД» зроблений таким чином, що інформація про те, наскільки яскраво виражений у випробуваного альфа-ритм у порівнянні з еталонним середньостатистичним «моноспектром» альфа-ритму, відразу виводиться на екран монітора у відсотках.

Таким чином, особливістю інформації, яка отримується за допомогою апарату «КСД», є те, що ця інформація надається не в абсолютних величинах, а у відсотках до середньостатистичної норми. Однак слід зазначити, що результати розшифровки електроенцефалограми або електрокардіограми, які отримуються за допомогою традиційних апаратів, що використовуються в сучасній медицині, також не надаються у абсолютних величинах, а містять відносну інформацію про розподілення енергії електричних (електромагнітних) коливань у досліджуваній смузі частот та говорять лише про те, чи виходять зафіксовані показники за межі певної середньостатистичної норми.

Оскільки у своєму дослідженні ми займалися виявленням закономірностей, що виникають у мозку людини під дією на шкіру долонь світла різного кольору, то нам було важливо порівняти ступінь активації тих чи інших структур у мозку до та після зазначеного впливу. З цієї точки зору будь-які абсолютні значення вимірюваних величин були не так важливі, як їх відносні зміни до та після впливу. Користувальницький інтерфейс апарату «КСД» дозволяє зберігати в базі даних результати вимірювань, які були проведені до, під час та після впливу якого-небудь фактору (у нашому випадку — електромагнітного випромінювання різних довжин хвиль видимого діапазону), що дозволило нам легко проводити порівняльний аналіз ступеню впливу фактору, що вивчався, на організм. Автоматичний аналіз вимірюваних показників у поєднанні зі зручним інтерфейсом, а також можливість отримати дані про стан відразу багатьох органів і систем людського організму за допомогою одного пристрою, який є простим та зручним в експлуатації, зумовили наш вибір апарату «КСД» в якості дослідницького приладу при проведенні наших експериментів.

Методика проведення вимірювань за допомогою апарату «КСД» та обробка отриманих даних

Для реєстрації електромагнітного спектру, який випромінюється тілом, датчик «КСД» розташовувався в руці у досліджуваного. Згідно з інструкцією, для реєстрації хвильового поля пацієнт/досліджуваний повинен доторкатися до датчика безпосередньо або крізь стерильний матеріал. З метою дотримання норм гігієни, між рукою досліджуваного та датчиком в процесі проведення експериментів розташовувалася одноразова паперова серветка білого кольору, що не впливало на результати вимірювань.

Для виявлення особливостей обробки отриманої оптичної інформації та можливих закономірностей, що відбуваються у мозку людини під час шкірно-оптичного сприйняття електромагнітного випромінювання видимого діапазону з різними довжинами хвиль, у групи досліджуваних слабозорих під час проведених експериментів нами вивчалися зміни активності таких обраних параметрів, що характеризують стан різних органів і систем людини: 10 шарів фоторецепторних клітин сітківки ока, лобова доля та поле 3 шкірного аналізатора, потилична доля головного мозку, поле 17 зорового аналізатору (III пірамідальний шар, V гангліозний шар — клітини Мейнерта, I молекулярний шар), альфа-, бета-, дельта- та тета-ритми головного мозку.

Всі отримані показники дослідження були занесені до комп'ютерного банку даних та потім проходили статистичну обробку.

Всього в експериментах приймало участь 12 слабозорих дітей, які проходили курс навчання шкірно-оптичному сприйняттю за авторською методикою В. М. Мізрахі [41]. На пелюсткових діаграмах, що наведені нижче, представлено середньостатистичні значення активності виміряних параметрів, розраховані у відсотках.

Статистична обробка даних проводилася з використанням пакета прикладних програм SPSS Statistics 17.0. Для статистичної оцінки одержаних результатів використовувався критерій Хі-квадрат. Всі статистичні гіпотези були перевірені при рівні значущості $\alpha = 0,05$. Значення ймовірності (p) порівнювалися з рівнем значущості (α); результати вважалися статистично значущими, коли $p < \alpha$ ($p < 0,05$).

Перед початком занять проводилося вимірювання перелічених вище параметрів стану різних органів і систем кожної дитини, яка приймала участь у експериментах з навчання шкірно-оптичному сприйняттю. З цим початковим значенням досліджуваних параметрів організму дитини в подальшому порівнювалися результати вимірів, що проводилися в процесі навчання. На рисунках, що наведені нижче, діаграми, які відображають це початкове вимірювання, помічено словом «до». При цьому дитина в одній руці тримала електрод (вимірювальний датчик) апарату «КСД», а друга рука лежала долонею вниз на спеціальному столику (підставці), зробленому з оргскла.

Під час навчання шкірно-оптичному сприйняттю очі дитини закривалися чорною пов'язкою, щоб повністю виключити можливість використання звичайного зору за допомогою очей. Для експериментів використовувалися аркуші паперу різного кольору з однаковою фактурою. На перших

заняттях діти навчалися розпізнавати контактним способом контрастні кольори, наприклад, відрізнити білий колір паперу від чорного, торкаючись паперу рукою. Аркуш паперу розташовувався на підставці з оргскла, а дитина при контактному способі розпізнавання водила пальцями по паперу, навчаючись відрізнити за своїми тактильними відчуттями один колір від іншого. Потім на одному з подальших занять дітям було запропоновано з зав'язаними очима розпізнавати всі дев'ять кольорів (сім кольорів спектру плюс білий та чорний), відрізняючи їх один від одного. Після того, як на цьому занятті діти навчилися впевнено визначати колір паперу за допомогою шкірно-оптичної чутливості, було проведено вимірювання параметрів стану різних органів і систем дітей в той момент, коли вільна від датчика рука дитини лежала долонею на папері певного кольору. Таким чином були проведені виміри під час торкання рукою таких кольорів: білого, чорного, червоного, помаранчевого, жовтого, зеленого, блакитного синього та фіолетового. При порівнянні з початковим вимірюванням («до»), точки на пелюсткових діаграмах, що позначені словами «білий», «чорний», «червоний», «помаранчевий», «жовтий», «зелений», «блакитний», «синій», «фіолетовий» показують, як змінювалася активність досліджуваних параметрів під дією на шкіру долонь відповідних кольорів.

Наприкінці фінального заняття було проведено контрольне вимірювання параметрів стану організму дітей, які брали участь в експериментах. При цьому, як і при початковому вимірюванні, діти не торкалися рукою паперових аркушів. На наведених нижче діаграмах це вимірювання позначено словами «фінальний контроль». При порівнянні з початковим вимірюванням (з діаграмами, які позначені словом «до») фінальне вимірювання («фінальний контроль») дає можливість визначити, як змінилися показники активності вимірюваних параметрів за весь час навчання без впливу кольору на шкіру долонь.

Результати й обговорення

Реакція різних частин мозку та сітківки на вплив електромагнітного випромінювання видимого діапазону, що здійснювався на шкіру долонь. Оскільки відомо, що електромагнітне випромінювання видимого діапазону (різні кольори) зазвичай у першу чергу людина сприймає через зоровий аналізатор [6], то становило інтерес визначити, чи змінюється активність сітківки ока, яка є багатопаровою структурою й має досить складну будову [8], а також відповідної ділянки мозку зорового аналізатора при розпізнаванні кольору із зав'язаними очима за допомогою шкірного аналізатора. Слід зазначити, що за своїм ембріональним походженням око є частиною мозку, винесеною на периферію [42]. Коли очі відкриті, сітківка приймає участь у складній і досить нетривіальній обробці первинної оптичної інформації [43, 44]. Але частини ока (насамперед сітківка) й мозок безперервно обмінюються інформацією, посилаючи сигнали одне одному, не тільки у періоди неспання, але й уві сні, коли очі заплющені [45].

Результати наших досліджень виявились досить неочікуваними. До початку експерименту тільки у 33% досліджуваних відзначалася активність

сітківки (10 шарів, до складу яких входять фоторецепторні клітини та нервові волокна). Під час проведення експерименту підвищення активності сітківки в учасників експерименту спостерігалось під впливом на шкіру долоні всіх кольорів, окрім чорного, під впливом якого активність залишилася на початковому рівні у 33%. Найбільш істотне підвищення активності сітківки спостерігалось під впливом електромагнітного випромінювання видимого діапазону в діапазонах хвиль червоного та зеленого кольорів, а також білого кольору, на 20–40% порівняно зі значенням до проведення експерименту (рис. 1). Значне підвищення активності сітківки (більше, ніж на 50%) у досліджуваних спостерігалось після завершення усіх експериментів з визначення впливу електромагнітного випромінювання видимого діапазону з різними довжинами хвиль на організм при розпізнаванні кольору за допомогою шкіри (фінальний контроль) порівняно з початковим рівнем активності сітківки (рис. 1).

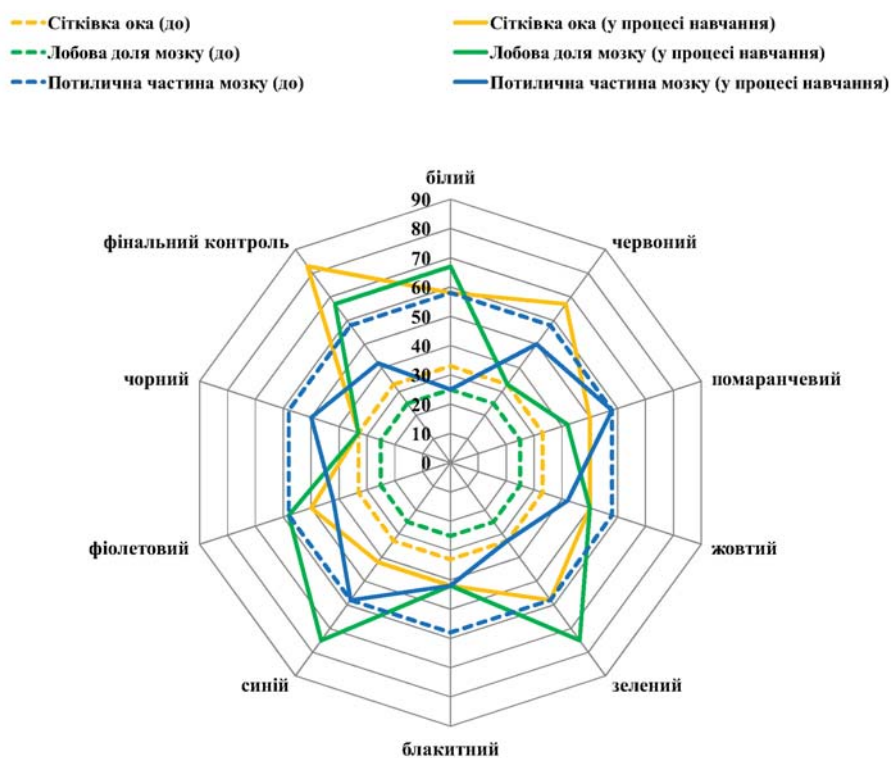


Рис. 1. Зміни активності 10 шарів сітківки ока (до складу яких входять фоторецепторні клітини та нервові волокна), а також лобової долі та потиличної частини мозку, що відбувалися під час навчання шкірно-оптичному сприйняттю кольорів, %

Для виявлення закономірностей, що відбуваються в мозку під дією світла різного кольору на шкіру долонь, нами також були вивчені зміни активності лобової і потиличної частин мозку.

Лобова частина головного мозку відповідає за прийняття рішень, індивідуальність, рухомість, мову, координацію когнітивних, емоційних та мотиваційних процесів [46].

Вплив електромагнітного випромінювання видимого діапазону хвиль на шкірний аналізатор викликав підвищення активності в лобовій ділянці головного мозку на всіх етапах експерименту (рис. 1). Найбільш виражений ефект підвищення активності спостерігався під дією електромагнітного випромінювання з довжинами хвиль в діапазоні 510–570 нм (зелений колір), 450–480 нм (синій колір) та 380–450 нм (фіолетовий колір) та при дії білого кольору на 33–40% порівняно зі значенням до проведення експерименту (рис. 1). В області лобової частини розташовані центри, які відповідають за усвідомлення руху, а також центри уваги і абстрактного мислення. Зміна активності лобової частини головного мозку також пов'язана із зміною генерації бета-ритмів. За даним дослідженням спостерігається підвищення інтенсивності бета-ритмів в головному мозку під дією усього видимого діапазону електромагнітних хвиль, про що докладніше буде сказано нижче.

Потилічна доля кори великих півкуль є місцем розташування кори зору, яка забезпечує сприйняття зорової інформації [47].

Вплив електромагнітного випромінювання видимого діапазону хвиль на шкірний аналізатор викликав зниження активності в потилічній ділянці головного мозку на всіх етапах експерименту, крім дії випромінювання з діапазонами хвиль 450–480 нм (синій колір) та 590–620 нм (помаранчевий колір) (рис. 1). Найбільш виражений ефект зниження активності спостерігався під дією електромагнітного випромінювання з довжинами хвиль в діапазоні 510–570 нм (зелений колір) та 380–450 нм (фіолетовий колір), а також на білому кольорі на 15–30% порівняно зі значенням до проведення експерименту (рис. 1).

На рис. 2 і рис.3 представлені результати дослідження змін, які спостерігалися під час навчання шкірно-оптичному сприйняттю у досліджуваних дітей в різних клітинних шарах кори мозку на її ділянках, що відносяться до шкірного та зорового аналізаторів.

При описі нейрональної організації кори великих півкуль головного мозку найбільш часто використовується розподіл кори на поля за Бродманом. Поля за Бродманом відрізняються один від одного за своєю цитоархітектонікою (будовою на клітинному рівні) і співвідносяться з ділянками мозку, які відповідають за певні функції [48].

Для кори головного мозку (нової кори, неокортексу) типовим є наявність шести шарів, які відрізняються за формою нервових клітин, що входять до їхнього складу [49]. Однак у різних полях, що були виділені Бродманом, вираженість шарів та розташування і форма присутніх в них нейронів й нервових волокон значно різняться [50].

При вивченні впливу електромагнітного випромінювання видимого діапазону на шкірний аналізатор нами була встановлена здатність стимулювання активності першого молекулярного шару третього поля Бродмана хвилями всього видимого діапазону (рис. 2). Поле 3 відноситься до первинної соматосенсорної області постцентральної звивини шкірного аналізатора [51]. Найбільш виражені зміни активності першого молекулярного шару поля 3 спостерігалися під впливом довжин хвиль 620–700 нм (червоного кольору) — на 42%, 510–570 нм (зеленого кольору) — на 33%, 380–450 нм (фіолетового кольору) — на 58% та білого кольору — на 58% (рис. 2).

Активність клітин III пірамідального шару шкірного аналізатора підвищувалась в учасників експерименту під впливом хвиль усіх діапазонів.

Довжина хвиль 605–730 нм (червоного кольору) підвищувала активність клітин III пірамідального шару на 25%, 500–560 нм (зеленого кольору) — на 25%, 400–435 нм (фіолетового кольору) — на 34% та білого кольору — на 42% (рис. 2). Як можна бачити (рис. 2), спостерігається подібність між активацією першого та третього шарів кори мозку поля 3 в діапазонах хвиль, які індукували найбільш сильний ефект стимуляції. Ця подібність може бути зумовлена тим, що до складу першого молекулярного шару входять нервові волокна, основну масу яких складають дендрити пірамідальних нейронів шарів кори мозку, що лежать нижче [52]. Тому цілком логічно, що в наших експериментах активація I та III шарів кори відбувалася синхронно.

Однак, при вивченні більш глибокого VI шару поліморфних клітин було виявлено зворотні ефекти (рис. 2). Дія усіх вивчених довжин електромагнітних хвиль (окрім 380–450 нм — фіолетовий колір) на клітини цього шару шкірного аналізатора призводила до зниження їх активності (рис. 2), що свідчить про зменшене навантаження на цей шар клітин. Під дією на шкіру долонь фіолетового кольору спостерігалось зовсім незначне (на 8%) підвищення активності VI шару поліморфних клітин поля 3 шкірного аналізатора кори мозку.

- I молекулярний шар поля 3 (до)
- III пірамідальний шар поля 3 (до)
- VI шар поліморфних клітин поля 3 (до)
- I молекул. шар поля 3 (у процесі навчання)
- III пірамід. шар поля 3 (у процесі навчання)
- VI шар поля 3 (у процесі навчання)

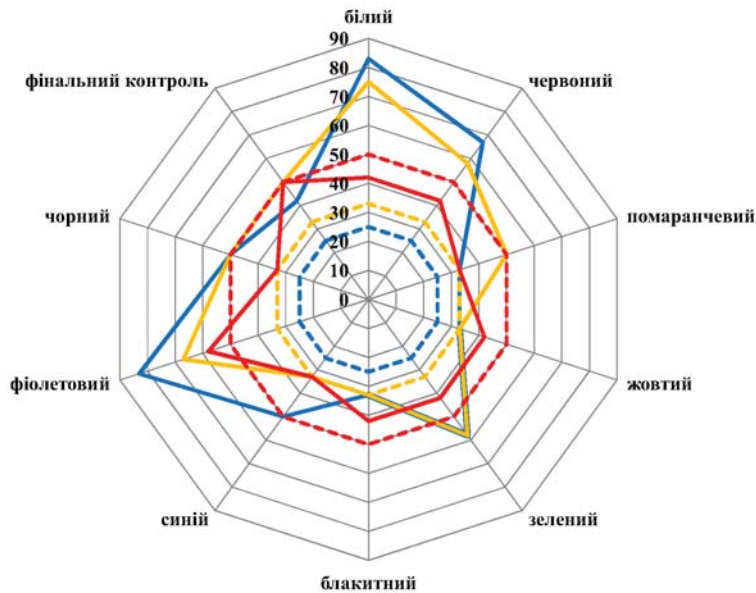


Рис. 2. Зміни активності клітинних шарів кори головного мозку поля 3 (за Бродманом) шкірного аналізатора, що відбувалися під час навчання шкірно-оптичному сприйняттю кольорів, %

Згідно з нашими дослідженнями, дія електромагнітного випромінювання видимого діапазону хвиль на шкіру долонь викликала диференційований відгук у різних шарах 17 поля Бродмана. 17 поле Бродмана є первинною корою зору і відповідає за аналіз фізичних параметрів зорового стимулу і розпізнавання простих образів [47]. Нейрони зорової кори генерують потенціал дії, коли візуальні стимули впливають на їх рецептивні поля [53]. На всіх етапах експерименту, окрім дії зеленого кольору (510–570 нм) та жовтого кольору (570–590 нм) спостерігалось підвищення активності III пірамідального шару зорового аналізатора (рис. 3). У цьому шарі поля 17 найбільш виражений ефект підвищення активності (на 33–50% порівняно зі значенням до проведення експерименту) спостерігався під дією електромагнітного випромінювання з довжинами хвиль в діапазоні 620–700 нм (червоний колір), 380–450 нм (фіолетовий колір) та під дією білого кольору (рис. 3). Слід відзначити, що підвищення активності III пірамідального шару зорового аналізатора (поле 17) відбувалося майже синхронно з підвищенням активності III пірамідального шару шкірного аналізатора (поле 3). Синхронність порушується тільки на зеленому кольорі, в той час як дія всіх інших кольорів на активність клітин III пірамідального шару зорового та шкірного аналізаторів була подібною (див. відповідні діаграми на рис. 2 та 3).

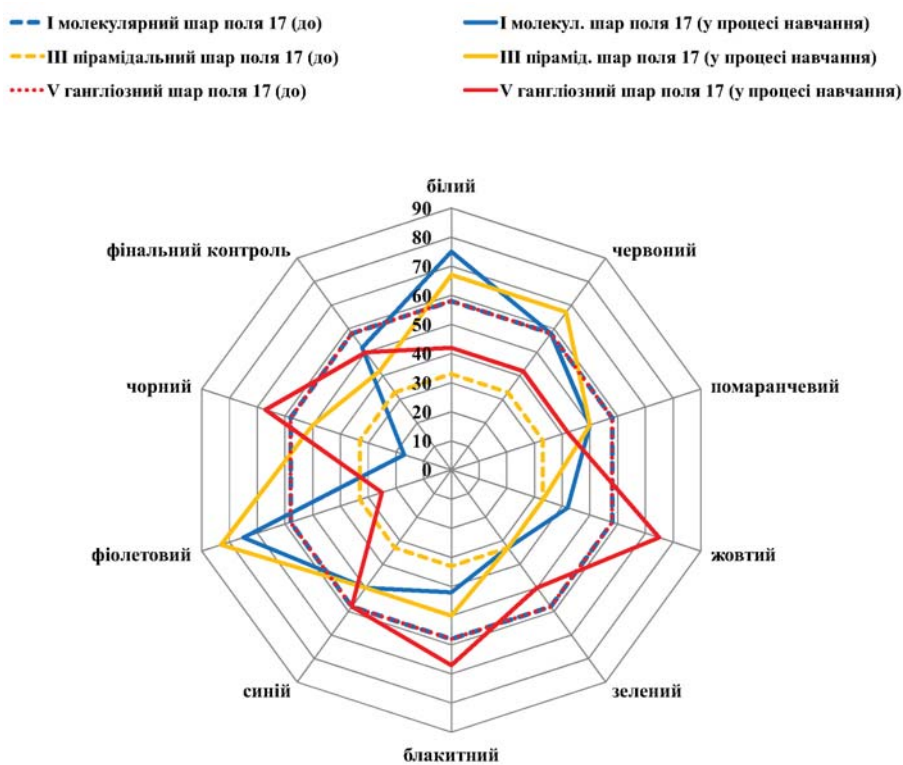


Рис. 3. Зміни активності клітинних шарів кори головного мозку поля 17 (за Бродманом) зорового аналізатора, що відбувалися під час навчання шкірно-оптичному сприйняттю кольорів, %

В той же час у інших шарах 17 поля Бродмана спостерігалось переважне зниження активності. Активність клітин Мейнерта, які розташовані в V гангліозному шарі зорового аналізатора та беруть участь у рефлексії руху очей (http://old.kpfu.ru/f1/neuro/AutoPlay/Docs/index.html?01_03_02_02_02.htm) [54], була доволі високою до початку навчання шкірно-оптичному сприйняттю кольорів та переважно знижувалася на всіх етапах експерименту. Найбільш виражений ефект зниження активності спостерігався під дією електромагнітного випромінювання з довжинами хвиль в діапазоні близько 380–450 нм (фіолетовий колір) (рис. 3). Незначне підвищення активності V гангліозного шару зорового аналізатора спостерігалось під дією випромінювання з діапазонами хвиль 570–590 (жовтий колір) — на 17%, 480–510 нм (блакитний колір) — на 9% та під дією чорного кольору — також на 9% (рис. 3). Оскільки під час експериментів очі досліджуваних дітей були закриті щільною непрозорою пов'язкою і таким чином були «виключені» із зорового сприйняття, то цілком логічно, що активність клітин Мейнерта переважно знижувалася.

Вплив електромагнітного випромінювання видимого діапазону хвиль на шкіру долонь також викликав переважне зниження активності I молекулярного шару 17 поля Бродмана зорового аналізатора на всіх етапах експерименту, крім дії випромінювання з довжиною хвиль 380–450 нм (фіолетовий колір) та під дією білого кольору (рис. 3). Найбільш виражений ефект зниження активності спостерігався під дією чорного кольору — на 40% порівняно зі значенням до проведення експерименту (рис. 3). На білому та фіолетовому кольорах спостерігалось однакове підвищення активності I молекулярного шару на 17%.

При розпізнаванні кольору за допомогою шкірно-оптичної чутливості нами було експериментально встановлено підвищення активності рецепторів шкіри і відповідних частин мозку, що відповідають за рух і тактильну чутливість. Цей результат був цілком очікуваним. У той же час нами був виявлений несподіваний ефект — підвищення активності сітківки ока та III пірамідального шару 17 поля Бродмана, що відноситься до зорового аналізатора. Однак в експериментах виключалася активація сітківки природним шляхом через зіницю ока. У процесі розпізнавання кольору за допомогою шкіри долонь очі досліджуваних були зав'язані щільною чорною пов'язкою. Слід зазначити, що у людей зі слабким зором механізми сприйняття і обробки інформації можуть відрізнятися від таких механізмів у людей з нормальним зором. Виявлені нами ефекти можуть свідчити про те, що у людей з ослабленим зором в процесі розпізнавання кольору за допомогою шкіри рук відбувається синхронізація роботи ділянок мозку, які відповідають за тактильну чутливість і за зорове сприйняття. Однак, для виявлення та розуміння більш точних механізмів цього процесу існує необхідність проведення подальших ретельних досліджень.

Зміни ритмів мозку під дією на шкіру долонь електромагнітного випромінювання видимого діапазону. Задля дослідження, яким чином змінюється в цілому робота головного мозку під час навчання слабовзорих шкірно-оптичному сприйняттю, нами також було вивчено активність ритмів мозку в той час, коли на шкірний аналізатор впливає електромагнітне випромінювання видимого діапазону з різними довжинами хвиль.

Відомо, що мозок постійно генерує ритми різних частот й це залежить від великої різноманітності чинників [55]. Вивчення ритмів мозку та співвідношень між ними дозволяє визначати функціональний стан мозку та робити висновки щодо особливостей вищої нервової діяльності досліджуваних [56].

В залежності від частоти електричних коливань, що генеруються клітинами мозку, виділяють чотири основні ритми: альфа, бета, тета й дельта. Хвилі більш високої частоти прийнято вважати ознакою більшої активації центральної нервової системи [57]. Проте, як зазначається в [56], картина ритмічної активності мозку, що спостерігається на практиці, доволі складна й неоднозначна, оскільки залежить від віку, статі, індивідуальнотипологічних властивостей особистості, психо-емоційного стану і т.п.

Найбільшу частоту при невеликій амплітуді мають бета-хвилі (β -ритм). Частота бета-ритму складає від 13 до 40 Гц, а амплітуда зазвичай не перевищує 20 мкВ. У стані спокійного неспання у людей з нормальним зором бета-ритм досить слабо виражений (амплітуда не перевищує 3–7 мкВ) та локалізується у передніх (лобових та скроневих) областях мозку, а в умовах активації центральної нервової системи розповсюджується практично по всій поверхні кори головного мозку. Так, наприклад, у людей з нормальним зором зростання ритму спостерігається при зосередженні уваги, при пред'явленні нового стимулу, при розумовому напруженні та емоційному збудженні [55, 56].

Альфа-ритм (α -ритм) прийнято пов'язувати зі станом спокійного неспання. За частотою альфа-ритм межує з бета-ритмом та займає діапазон від 8 до 13 Гц при середній амплітуді 20 — 60 мкВ, що значно перевищує середню амплітуду бета-ритму. Найбільша амплітуда альфа-ритму (до 100 — 150 мкВ) проявляється при закритих очах і в затемненому приміщенні. Реєструється переважно в потиличній та тім'яній областях (зорові відділи мозку) [58]. Зниження альфа-ритму, підвищення тета-ритму (при закритих очах) у людей з нормальним зором може свідчити про появу депресії [59]. Також зниження альфа-ритму (при закритих очах) у людей з нормальним зором при одночасному підвищенні активності бета-ритму може спостерігатися внаслідок росту психоемоційної напруги [55].

Тета-ритм (θ -ритм) займає більш низький частотний діапазон, який слідує за альфа-ритмом. Частота коливання тета-ритму складає від 4 до 8 Гц, а амплітуда знаходиться в межах від 20 до 100 мкВ. Реєструється у фронтальних зонах та гіпокампі [60]. Високий рівень тета-ритму в умовах спокійного неспання у людей з нормальним зором може вказувати на стан сонливості і втоми, що може бути проявом астеничного синдрому, хронічного стресу [61]. В той же час, поява тета-ритму в гіпокампі деякі дослідники пов'язують з функціонуванням короткострокової пам'яті [62], з обробкою вхідних сигналів [61], з процесом просторового навчання і навігації [63]. Є дані, що підвищений рівень тета-ритму спостерігається у людей під час медитацій [64].

Дельта-ритм (δ -ритм) є високоамплітудним й самим «повільним» з перелічених вище основних чотирьох ритмів мозку. Частота коливань дельта-ритму варіює від 1 до 4 Гц, а амплітуда знаходиться в межах 20–200 мкВ [55]. Згідно з даними [65], дельта-хвилі виникають в результаті зміни рів-

ня поляризації пірамідальних нейронів кори головного мозку. Яскраво виражений дельта-ритм реєструється у людей в повільнохвильовій фазі сну, а також під дією наркозу [56]. Зараз з'являється все більше наукових даних, що деякі люди можуть знаходитися в «дельта-стані» (у стані з переважанням дельта-ритму) під час незвичайно глибокої медитації, не втрачаючи при цьому усвідомленості [66].

Тета- і дельта-коливання можуть зустрічатися у людини з нормальним зором, яка не спить, в невеликій кількості і при амплітуді, що не перевищує амплітуду альфа-ритму. Поява тета- і дельта-ритмів у людей, що не сплять, (що не практикують медитативні техніки) асоціюється з напруженою розумовою діяльністю, котра потребує особливої зосередженості, а також з емоційними реакціями на негативні ситуації [67]. Патологічними вважаються вміст тета- і дельта-хвиль, які перевищують за амплітудою 40 мкВ і займають більше 15 відсотків часу реєстрації [60].

Викладені вище короткі відомості про основні ритми мозку, які взяті з наукової літератури, є узагальненням деяких середньостатистичних даних для здорових людей. У той же час, в нашому дослідженні контингент випробуваних був доволі специфічним — незрячі та слабозорі діти, в яких функціонування зорової кори та генерація мозкових ритмів можуть дещо відрізнитися [68]. На жаль, в доступних наукових джерелах містяться в основному відомості про експериментальні дослідження альфа-ритму незрячих та слабозорих дітей, в той час як відомості про особливості бета-, тета- і дельта-ритмів у дітей з вадами зору дуже нечисленні. Крім того, як зазначається в [69], до цього часу не існує єдиної думки щодо того, що повинні показати електроенцефалограми «нормальних» незрячих та слабозорих дітей. Протиріччя в експериментальних даних, отриманих різними авторами, можуть бути пов'язані з недостатньо ретельним підбором пацієнтів для дослідження: «юридично незрячі» випробувані можуть насправді мати значний залишковий зір, а однаковий рівень залишкового зору може мати різні причини — офтальмологічні захворювання або пошкодження головного мозку, — і в цих випадках електроенцефалографічні картини, що спостерігаються, будуть різними [69]. Єдиним несуперечливим експериментальним фактом є те, що у дітей з вадами зору амплітуда альфа-ритму при закритих очах виявляється помітно зниженою у порівнянні з середньостатистичною нормою для відповідної вікової категорії [70]. У [71] поряд зі зменшенням амплітуди альфа-ритму у групи досліджених слабозорих дітей відзначалася також більша представленість низькохвильової активності тета- і дельта-діапазонів у порівнянні з контрольною групою їх однолітків з нормальним зором.

Проведені нами експерименти показали наступне. По-перше, у всіх без винятку дітей до початку занять спостерігався підвищений рівень тета-ритму. В той же час, альфа-ритм перед початком занять був значно нижчий (порівняно із тета-ритмом), ніж зазвичай спостерігається у здорових людей із закритими очима, що корелює з даними [71]. Крім того, під дією деяких хвиль видимого діапазону альфа-ритм ставав ще нижчим з одночасним підвищенням бета-ритму. Таке явище спостерігалось під дією на шкіру жовтого (довжина хвиль 570–590 нм), помаранчевого (довжина хвиль 590–620 нм) та білого кольорів, а також під час фінального вимірювання

(фінальний контроль). Під дією зазначених кольорів альфа-ритм зменшувався в середньому на 12%, при цьому бета-ритм зростав в середньому на 25% (рис. 4). Під час дії на шкіру долонь інших кольорів альфа-ритм підвищувався або залишався без змін порівняно з початковим вимірюванням («до»).

В наших експериментах підвищення активності альфа-ритмів спостерігалось у слабозорих дітей під дією випромінювання з діапазонами хвиль 380–450 нм (фіолетовий колір) на 25%, 480–510 нм (блакитний колір) на 8%, 570 нм (зелений колір) на 16%, 620–700 нм (червоний колір) на 33% порівняно зі значенням до проведення експерименту (рис. 4). Найбільш виражений ефект підвищення активності спостерігався під дією електромагнітного випромінювання з довжинами хвиль в діалозні 620–700 нм (червоний колір) (рис. 4).

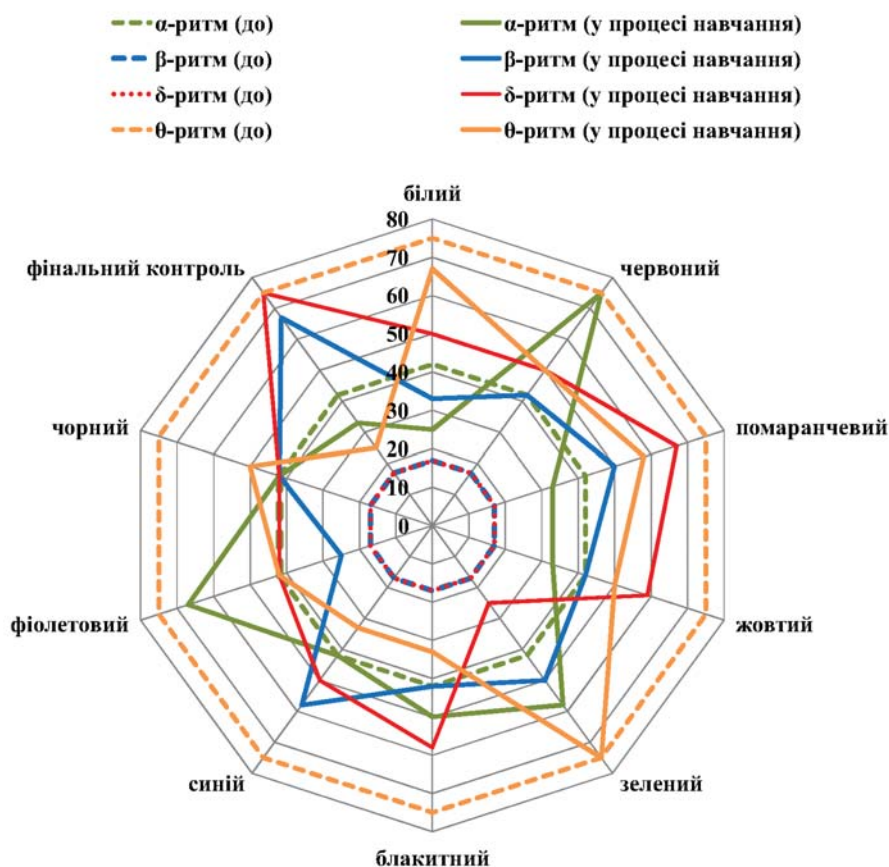


Рис. 4. Зміни активності альфа-, бета-, дельта- та тета-ритмів головного мозку, що відбувалися під час навчання шкірно-оптичному сприйняттю кольорів, %

Як було вже зазначено вище, на всіх етапах експерименту у слабозорих дітей спостерігалось збільшення активності лобової частини головного мозку, що викликало одночасне підвищення активності бета-ритмів (рис. 4). Це може свідчити про концентрацію уваги учасників експери-

менту над тим, що власне відбувалося під час експерименту на всіх його етапах. Найбільш виражений ефект підвищення активності бета-ритмів спостерігався під дією електромагнітного випромінювання з довжинами хвиль в діапазоні 450–480 нм (синій колір) — на 41% та після проведення всіх експериментів по визначенню кольору за допомогою шкірного аналізатора (фінальний контроль) на 50% порівняно зі значенням до проведення експерименту (рис. 4). Найбільше підвищення активності бета-ритмів під час дії на шкіру долонь синього кольору може служити підтвердженням відомого з психології сприйняття кольорів факту, що синій колір дозволяє підсилити концентрацію уваги і таким чином сприяє процесу навчання [72].

Як було вже сказано вище, до початку експериментів у всіх досліджуваних слабозорих дітей активність тета-ритмів була значно підвищеною у порівнянні з іншими ритмами. Вплив електромагнітного випромінювання видимого діапазону на шкірний аналізатор у процесі навчання викликав у слабозорих дітей зниження активності тета-ритмів на всіх етапах експерименту, крім випромінювання з довжинами хвиль у діапазоні 510–570 нм (зелений колір) (рис. 4). Найбільш виражений ефект зниження активності спостерігався під дією електромагнітного випромінювання з довжинами хвиль в діапазоні 480–510 нм (блакитний колір) — на 42% менше порівняно зі значенням до проведення експерименту (рис. 4).

Таким чином, можна констатувати, що під час дії на шкіру слабозорих дітей електромагнітного випромінювання видимого діапазону шести спектральних кольорів (червоний, помаранчевий, жовтий, блакитний, синій, фіолетовий), а також білого та чорного кольорів нами було зафіксовано підвищення бета-ритмів з одночасним послабленням тета-ритмів. Виняток становить електромагнітне випромінювання з довжинами хвиль 510–570 нм (зелений колір), дія якого на шкіру приводила до збільшення активності бета-ритмів на 33%, але не викликала зниження тета-ритмів: тета-ритми залишалися на такому ж високому рівні, як і до початку експерименту. Аналізуючи отримані результати, слід зазначити, що зелений колір діє заспокійливо на центральну нервову систему [73]. Оскільки тета-ритм асоціюється з напівсонним станом, то цілком логічно, що при дії зеленого кольору на шкіру долонь тета-ритм в учасників експерименту залишався на високому рівні, в той час як при дії інших кольорів у дітей переважала зосередженість уваги на процесі навчання шкірно-оптичному розпізнаванню кольорів, про що свідчить активація бета-ритму з одночасним пониженням тета-ритму.

Разом з підвищенням активності бета-ритмів, на всіх етапах експерименту у слабозорих дітей також зростала активність дельта-ритмів (рис. 4). Слід зазначити, що одночасно зі зростанням активності дельта-ритмів, також підвищувалася або залишалася на початковому рівні (не зменшуючись) активність пірамідальних клітин III шару як поля 3 (шкірний аналізатор), так і поля 17 (зоровий аналізатор) кори головного мозку. Цей факт може бути непрямим підтвердженням наявних в літературі даних про те, що пірамідальні нейрони кори головного мозку беруть участь у генерації дельта-ритму [65]. Найбільш виражений ефект підвищення активності дельта-ритмів спостерігався під дією електромагнітного випромінювання з довжинами хвиль в діапазоні 480–510 нм (блакитний колір), 570–590 нм

(жовтий колір), 590–620 нм (помаранчевий колір) та після проведення всіх експериментів по визначенню кольору за допомогою шкірного аналізатора (фінальний контроль) відповідно на 41%, 42%, 50%, 58% більше порівняно зі значенням до проведення експерименту (рис. 4).

Як видно із наведених експериментальних даних, активність дельта-ритмів у слабозорих дітей перевищувала активність альфа-ритмів під час дії на шкіру долонь електромагнітного випромінювання таких спектральних кольорів: помаранчевого, жовтого, блакитного та синього, а також білого кольору. Найбільш вираженим цей ефект був при дії на шкіру помаранчевого кольору, коли активність дельта-ритмів перевищувала активність альфа-ритмів на 34%. Активність тета-ритмів перевищувала активність альфа-ритму під час дії на шкіру долонь таких кольорів: помаранчевий, жовтий, зелений, чорний та білий. Найбільше перевищення активності тета-ритму над альфа-ритмом спостерігалось на білому кольорі — на 42%, на помаранчевому — на 25%, на зеленому — на 17%. Рівень альфа-ритму перевищував рівень як дельта-, так і тета-ритмів при дії на шкіру долонь червоного та фіолетового кольорів. Слід зазначити, що спектр електромагнітних хвиль видимого діапазону, відбитих від фіолетового паперу, мав у своєму складі доволі інтенсивну компоненту з довжиною хвилі 667,7 нм. Іншою мовою, у світлі, що відбито від фіолетового паперу, була присутня помітна домішка червоного кольору. Можливо, червоний колір, який у психології сприйняття кольорів вважається збудливим [73], сприяв пригніченню повільних тета- і дельта-хвиль мозку, що може свідчити про підсилення активації центральної нервової системи під дією червоного кольору на шкіру долонь (при відсутності зорових стимулів).

Така зміна ритмів мозку учасників експерименту в залежності від різних довжин хвиль електромагнітного випромінювання видимого діапазону під час розпізнавання кольору із зав'язаними очима за допомогою шкірного аналізатора свідчить про зміну концентрації уваги, що є природним, а також про зміну емоційного стану. Перевищення рівнів активності тета- і дельта-ритмів над рівнем активності альфа-ритму при дії на шкіру долонь всіх досліджених кольорів, крім червоного та фіолетового, може свідчити про те, що під час навчання шкірно-оптичному сприйняттю слабозорі діти входили у стан підвищеної зосередженості, близький до медитативного.

Однак, конкретні зміни ритмів мозку в залежності від конкретного діапазону хвиль електромагнітного випромінювання видимого діапазону (кольору) може підтверджувати відому й останнім часом все більш обґрунтовану дослідженнями теорію про те, що в залежності від виду та кількості інформації, що надходить (аналізується або оброблюється), активуються відповідні ділянки мозку, що генерують відповідні частоти (ритми мозку). Чим більша кількість нейронів задіяна в обробці інформації, тим менші частоти генерує мозок [55].

У випадку нашого дослідження різні довжини хвиль електромагнітного випромінювання видимого діапазону (різний колір) і є різною інформацією, що може оброблюватись різною кількістю задіяних нейронів та викликати генерацію різних частот (ритмів) мозком.

Висновки

Результати проведеного дослідження закономірностей, що відбуваються під час шкірно-оптичного сприйняття електромагнітного випромінювання видимого діапазону з різними довжинами хвиль у мозку слабозорих, дозволили розширити наукові знання в області фізіології сенсорного сприйняття. Отримані дані насамперед підтверджують те, що у людей із слабким зором у звичайному спокійному стані ритми мозку значно відрізняються від ритмів мозку у такому стані людей із нормальним зором. Відомо, що у спокійному стані із заплющеними очима у темряві найбільш вираженим у здорової людини повинен бути альфа-ритм мозку. У випадку нашого дослідження в учасників експерименту із слабким зором на початку вимірювань у таких умовах найбільш вираженим був тета-ритм.

Під час проведених експериментів було виявлено збільшення активності сітківки ока та деяких ділянок зорового аналізатора під дією електромагнітного випромінювання видимого діапазону з різними довжинами хвиль при визначенні кольору із зав'язаними очима за допомогою шкірного аналізатора, що свідчить про можливі механізми адаптації нервової системи людей із слабким зором до умов навколишнього середовища та підтверджує той факт, що усі сенсорні системи (органи чуттів) пов'язані між собою.

Результати проведених експериментів також показали, що різні довжини хвиль електромагнітного випромінювання видимого діапазону через шкірний аналізатор здатні викликати активацію або пригнічення фізіологічних процесів, в залежності від конкретних довжин хвиль. Так, наприклад, у ході експериментів було встановлено, що дія синього кольору на шкіру долонь (при відсутності впливу світла на зоровий аналізатор) приводить до підвищення рівня концентрації уваги, про що свідчило підвищення у досліджуваних бета-ритму мозку з одночасним пониженням альфа-ритму. Також було встановлено, що вплив зеленого кольору на шкіру долонь (при наявності у випробуваних щільної чорної пов'язки на очах) діяв заспокійливо на центральну нервову систему, що відображалося у незмінно високому рівні тета-ритму. В той же час при впливі на шкіру долонь кольорів червоного та фіолетового (в спектрі якого є довгохвильова червона компонента) сприяло активації центральної нервової системи, що приводило до відносного зменшення тета- і дельта-ритмів у порівнянні з альфа-ритмом. Це може бути підтвердженням наявності у людини механізмів, що забезпечують шкірно-оптичне сприйняття кольору.

Отримані під час проведених експериментів факти потребують подальшого більш ретельного та всебічного дослідження, а також систематизації у відповідності до найсучасніших теорій функціонування мозку, зокрема, голографічної моделі сприйняття та обробки зорової інформації мозком вищих тварин. Подальші експерименти у напрямку вивчення механізмів шкірно-оптичного сприйняття та їх теоретичне осмислення відкриють перспективи у створенні робочої гіпотези явища сенсорного заміщення та нейропластичності мозку. Це дозволить удосконалити існуючу методику та розробити нові підходи у навчанні сліпих та слабозорих розпізнаванню оптичних стимулів за допомогою шкіри, що буде сприяти соціальній адаптації таких людей у суспільне життя.

Подяка

Дана стаття виконана в рамках науково-дослідної роботи, що фінансувалася за рахунок коштів державного бюджету Міністерством освіти і науки України (номер держреєстрації бюджетної теми: 0117U004861).

Література

- [1] Zeki, S. 1993. A vision of the brain. Cambridge, MA, US: Blackwell Scientific Publications.
- [2] GOST 7601–78. 1980. Fizicheskaya optika. Terminy, bukvennye oboznacheniya i opredeleniya osnovnykh velichin. Mezhdgosudarstvennyj standart. Izdanie oficial'noe. Moskva. Izdatel'stvo standartov; 18 p. (In Russian).
- [3] Spravochnik konstruktora optiko-mekhanicheskikh priborov. 1980. Pod red. V. A. Panova. Leningrad : Mashinostroenie; 741 p. (In Russian).
- [4] Molochkov, V. P. Komp'yuternaya grafika dlya Interneta. Samouchitel'. SPb.: Piter; 2004. 368 p. In Russian.
- [5] Sukovataya, I. E., Kratasyuk, V. A., Mezhevikin, V. V., Sviderskaya, I. V., Esimbekova, E. N., Nemczeva, E. V. Fotobiofizika. Uchebnoe posobie. Krasnoyarsk: IPK SFU; 2008. 438 p. In Russian.
- [6] Prokopenko, V. T., Trofimov, V. A., Sharok, L. P. Psikhologiya zritel'nogo vospriyatiya. Uchebnoe posobie. Gosudarstvennyj universitet informatsionnykh tekhnologij, mekhaniki i optiki, Sankt-Peterburg; 2006. In Russian.
- [7] Strettoi, E., Novelli, E., Mazzoni, F., Barone, I., & Damiani, D. 2010. Complexity of retinal cone bipolar cells. *Progress in Retinal and Eye Research*, 29(4), 272–283.
- [8] Kolb, H. 2003. How the retina works: much of the construction of an image takes place in the retina itself through the specialized neural circuits. *American Scientist*, 91(1), 28–35.
- [9] Gegenfurtner, K. R. 2003. Cortical mechanisms of colour vision. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(7), 563.
- [10] Duplessis, Y., & Novomeysky, A. S. Dermo-Optic Sensitivity Investigations. Proceedings of the second Symposium on Bioenergotherapia and Radiesthesia; 1983 Sep 24–25; Warsawa, Poland; 1983. p.102–114,
- [11] Novomeiskii, A. S. 1964. The nature of the cutaneous optical sense in man. *Soviet Psychology and Psychiatry*, 3, 3–18.
- [12] Novomejskij, A. S. 1963. O prirode kozhno-opticheskogo chuvstva u cheloveka. *Voprosy psikhologii*, 5, 99–117. In Russian.
- [13] Mizrakhi, V. M. Problemy kozhno-opticheskogo vospriyatiya czveta slepymi. Sb. statej. Khar'kov: KhGU; 1993. 48 p. In Russian.
- [14] Duplessis, Y., & Novomeysky, A. S. 1986. Eye Perception of Invisible Radiation of Colored Surfaces. *International Journal of Paraphysics*, 20(1;2), 3–9.
- [15] Nowomiejski, A. S. 1987. Dotukanie Barw. *Trzecie Oko, Warszawa*, 10(46), 17–23. In Polish.
- [16] Duplessis, Y., Novomeysky, A. S., & Guilev, D. K. 1988. Influence of the Colors of Working places on Speed of individuals using a Calculator. *International Journal of Paraphysics*, 22(1;2), 2–18.

- [17] Mizrakhi, V. M., Titar', V. P. Voprosy czveta, supergravitaczii i vremeni. Sb. nauch. statej. Khar'kov: KhNU im. V. N. Karazina; 2013. 75 p. In Russian.
- [18] Youtz, R. P., Weintraub, D. J., Makous, W. L., & Buckhout, R. 1966. *Dermo-optical Perception. Science*, 152, 1108–1110.
- [19] Morell, F. The MORA concept. Patients' own and coloured light oscillations. Theory and practice. Karl F Haug Verlag GmbH & Co; 1990. 160 p.
- [20] Novomejskij, A. S. 1965. Problemy kozhno-opticheskoj chuvstvitel'nosti. Uchenye zapiski Sverdlovskogo gos. pedinstituta. Sverdlovsk, 93–115. In Russian.
- [21] Mizrakhi, V. M. Zakonomernosti i fenomeny kozhno-opticheskogo vospriyatiya czveta i izobrazheniya slepymi. Sb. statej. Khar'kov: KhGU; 1994. 32 p. In Russian.
- [22] Ryszard Tadeusiewicz. Neurocybernetyka teoretyczna. Podręcznik akademicki. Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego; 2009. 314 s. In Polish.
- [23] Valyeyev, I. S., Osyennij, O. S., Tornuyev, Yu. V., Rakityanskij, D. F. 1963. Do pitannya pro pokhodzhennya zovnishn'ogo elektrichnogo polya, shho reyestruyet'sya poblizu tvarin i' lyudini. Fi'zi'olog. zhurn. URSSR, 19(1), 99–104. In Ukrainian.
- [24] Sobakin, M. A. Fizicheskoe polya zheludka. Novosibirsk: Nauka; 1978. 112 p. In Russian.
- [25] Kulin, E. T. Bioelektretnyj effekt. Minsk: Nauka i tekhnika; 1980. 216 p. In Russian.
- [26] Berezovskij, V. A., Kolotilov, N. N. Biofizicheskie kharakteristiki tkanej cheloveka. Spravochnik. Otv. red. i avt. predisl. Kostyuk P. G. Kiev: Nauk. Dumka; 1990. 224 p. In Russian.
- [27] Rostovczhev, V. N., Ruban, A. P. Metod spektral'no-dinamicheskoy diagnostiki: Instrukczija po primeneniyu. Minsk; 2005. 14 p. In Russian.
- [28] Registraczionnoe udostoverenie na mediczinskoe izdelie ot 27 fevralya 2015 g. № FSR 2009/04973. In Russian.
- [29] Kafanov, Yu. N., Myagkov, V. I., Yurin, D. V. Metodicheskie i apparatnye sredstva sovremennoj integral'noj medicziny: kompleks mediczinskij ekspertnyj (KME). — Elektronnyj resurs. Rezhim dostupa (in Russian): http://web.archive.org/web/20191018035224/https://kmedex.org/technology_CME.php
- [30] Litaeva, M. P. 2014. Komp'yuternye informaczionnye mediczinskie tekhnologii: perspektivnye napravleniya. *Ezhemesyachnyj nauchnyj zhurnal «Evrazijskij Soyuz Uchenykh (ESU)»*, 8, 65–67. In Russian.
- [31] Registraczionnoe udostoverenie MOZ RF FSZ № 2009/05666 ot 1 dekabrya 2009 g. In Russian.
- [32] Sertifikat vidpovidnosti MOZ Ukrayini № UA. TR.039.560, data vidachi — 27.06.2018 r. In Ukrainian.
- [33] Svidocztvo pro reyestracziyu avtors'kogo prava na tvir № 30892 «Baza danikh elektromagnitnikh kharakteristik biologichnikh ob'yektiv», Ukrayina / Koptyelov O. O. — Data reyestracziyi 05.11.2009. In Ukrainian.
- [34] Svidocztvo pro reyestracziyu avtors'kogo prava na tvyr № 32528: komp'yuterna programa «Programa dlya zapisu elektromagnitnikh kharakteristik byologichnikh ob'yektiv», Ukrayina / Koptyelov O. O. — Data reyestracziyi 23.03.2010. In Ukrainian.

- [35] Svydocztvo pro reyestracyyu avtors'kogo prava na tvyr № 25853: komp'yuterna programa «Programno-aparatnij kompleks "Family doctor"», Ukrayina / Koptyelov O. O. — Data reyestracyyi 26.09.2008. In Ukrainian.
- [36] Patent № 19807, Ukrayina, MPK A61N 5/00, A61B 5/04, A61H 39/02 (2006.01) Sposyb zapisu byoynformacyyj nikh kharakteristik byologichnogo ob'yekta / Tyutyunnik I. O., Tyutyunnik I. I., Dyachenko V. V., Koptyelov O. O. — Nomer zayavki u200611298, zayavl. 26.10.2006, opubl. 15.12.2006, byul. № 12/2006. In Ukrainian.
- [37] Patent № 19808, Ukrayina, MPK A61N 5/02, A61B 5/04, A61H 39/02 (2006.01) Pristryj dlya zapisu ta koriguvannya byoynformacyyjnikh kharakteristik byologichnogo ob'yekta / Tyutyunnik I. O., Tyutyunnik I. I., Dyachenko V. V., Koptyelov O. O. — Nomer zayavki u200611299, zayavl. 26.10.2006, opubl. 15.12.2006, byul. № 12/2006. In Ukrainian.
- [38] Patent № 30545, Ukrayina, MPK A61N 5/00, A61H 39/02 (2007.01) Pristryj dlya zapisu ta koriguvannya byoynformacyyjnikh kharakteristik byologichnogo ob'yekta / Koptyelov O. O., Dyachenko V. V., — Nomer zayavki u200713651, zayavl. 06.12.2007, opubl. 25.02.2008, byul. № 2/2008. In Ukrainian.
- [39] Patent № 4606, Respublika Belarus', MPK A61B 5/04, A61N 5/00, A61H 39/02 (2006.01) Ustrojstvo dlya zapisi i korigirovaniya bioinformaczi onnykh kharakteristik biologicheskogo ob'yekta / Koptelov A. O., Dyachenko V. V., — Nomer zayavki u20080032, zayavl. 17.01.2008, opubl. 30.08.2008, byul. № 8/2008. In Russian.
- [40] Patent №102882, RF, MPK A61B 5/04 (2006.01) Diagnosticheskij pribor / Bondar' M. P., Minaev V. T., Koptelov A. O., Dyachenko V. V., — Nomer zayavki 2010128883, zayavl. 12.07.2010, opubl. 20.03.2011, byul. № 8/2011. In Russian.
- [41] Mizrakhi, V. M. Problemy kozhno-opticheskogo vospriyatiya czveta slepymi. Sb. statej. Khar'kov: KhGU; 1993. 48 p. In Russian.
- [42] Kravkov, S. V. Glaz i ego rabota. M.-L.: Izd-vo AN SSSR; 1950. 532 p. In Russian.
- [43] Titar, V. P., Shpachenko, O. V. 2006. Computer simulation of visual processes in the framework of holographic model of physiological optics. Proceeding of 8th International Conference on Laser and Fiber-Optical Networks Modeling (LFNM 2006), June 29 — July 1, 2006. Kharkiv; 2006. 191–194.
- [44] Titar, V. P., Shpachenko, O. V. 2010. Reflection of laser radiation from retina quasi-crystal layers: model investigations. *Optical Memory and Neural Networks (Information Optics)*, 19(1), 39–49.
- [45] Andrillon, T., Nir, Y., Cirelli, C., Tononi, G., & Fried, I. 2015. Single-neuron activity and eye movements during human REM sleep and awake vision. *Nature communications*, 6(1), 1–10.
- [46] Bechara, A., Damasio, H., & Damasio, A. R. 2000. Emotion, decision making and the orbitofrontal cortex. *Cerebral cortex*, 10(3), 295–307.
- [47] Dougherty, R. F., Koch, V. M., Brewer, A. A., Fischer, B., Modersitzki, J., & Wandell, B. A. 2003. Visual field representations and locations of visual areas V1/2/3 in human visual cortex. *Journal of vision*, 3(10), 1–1.

- [48] Rasser, P. E., Johnston, P. J., Ward, P. B., & Thompson, P. M. 2004. A deformable Brodmann area atlas. In *2004 2nd IEEE International Symposium on Biomedical Imaging: Nano to Macro (IEEE Cat No. 04EX821)* (pp. 400–403). IEEE.
- [49] Olsen, S. R., Bortone, D. S., Adesnik, H., & Scanziani, M. 2012. Gain control by layer six in cortical circuits of vision. *Nature*, *483*(7387), 47–52.
- [50] Krasnoschekova, E. I. Modulnaya organizatsiya nervnyih tsentrov. SPb, izd-vo SpbGUB; 2007. 130 p, In Russian.
- [51] Sanchez-Panchuelo, R. M., Besle, J., Beckett, A., Bowtell, R., Schluppeck, D., & Francis, S. 2012. Within-digit functional parcellation of Brodmann areas of the human primary somatosensory cortex using functional magnetic resonance imaging at 7 tesla. *Journal of Neuroscience*, *32*(45), 15815–15822.
- [52] Shipp, S. 2007. Structure and function of the cerebral cortex. *Current Biology*, *17*(12), R443–R449.
- [53] Chrobak, J. J., Buzsáki, G. 1994. Selective activation of deep layer (V–VI) retrohippocampal cortical neurons during hippocampal sharp waves in the behaving rat. *Journal Neurosciense*, *14*, 6160–6170.
- [54] Zvezdochkina, N. V., Chelyshev, Yu. A. 2008. Funktsionalnaya morfologiya nervnoy sistemy: Uchebnoe posobie. Kazanskiy gosudarstvenniy universitet. Elektronnyy resurs: http://old.kpfu.ru/f1/neuro/AutoPlay/Docs/index.html?01_03_02_02_02.htm. In Russian.
- [55] Buzsaki, G. 2006. *Rhythms of the Brain*. Oxford University Press; 448 p.
- [56] Kirov, V. N., Ermakov, P. N. Elektroentsefalogramma i funktsionalnyie sostoyaniya cheloveka. Rostov-na-Donu: Izd-vo Rost. un-ta; 1998. 264 p. In Russian.
- [57] Hassett, J. A primer of psychophysiology. San Francisco, W. H. Freeman & Co.; 1978. 215 p.
- [58] Gebber, G. L., Zhong, S., Lewis, C., Barman, S. M. 1999. Human brain alpha rhythm: Nonlinear oscillations or filtered noise. *Brain Res*, *818*, 56–60.
- [59] Anokhin, A., Vogel, F. 1996. EEG alpha rhythm frequency and intelligence in normal adults. *Intelligence*, *23*, 1–14.
- [60] Cantero, J. L., Atienza, M., Stickgold, R., Kahana, M. J., Madsen, J. R., Kocsis, B. 2003. Sleepdependent theta oscillations in the human hippocampus and neocortex. *Journal Neurosciense*, *23*, 10897–10903.
- [61] Buzsáki, G. 2002. Theta oscillations in the hippocampus. *Neuron*, *33*, 325–340.
- [62] Vertes, R. P. 2005. Hippocampal theta rhythm: a tag for short-term memory. *Hippocampus*, *15*(7), 923–935.
- [63] Buzsaki, G. 2005. Theta rhythm of navigation: link between path integration and landmark navigation, episodic and semantic memory. *Hippocampus*, *15*(7), 827 – 840.
- [64] Lee, D. J., Kulubya, E., Goldin, P., Goodarzi, A., & Girgis, F. 2018. Review of the neural oscillations underlying meditation. *Frontiers in neuroscience*, *12*, 178.
- [65] Guselnikov, V. I. Elektroфизиологиya golovnogo mozga. Kurs lektsiy. M.: Vysshaya shkola; 1976. 423. In Russian.

- [66] Thompson, E. The neuroscience of meditation. An introduction to the scientific study of meditation impacts the brain. Awake Technologies; 2011. 51 p.
- [67] Gerasimova, E. V., Hazipov, R. N., Sitdikova, G. F. Fiziologiya nervnoy sistemy: Uchebno-metodicheskoe posobie. Kazan: Kazanskiy universitet; 2012. 43 p. In Russian.
- [68] Ielchishcheva, I. V., Titar, V. P., Tytar, O. V., & Melnikova, A. V. 2019. The Influence of Coherent Monochromatic and Non-monochromatic Electromagnetic Radiation on the Human Brain Rhythms. In *2019 IEEE 8th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers (CAOL)* (pp. 312–315). IEEE.
- [69] Jan, J. E., Wong, P. K. 1988. Behavior of the alpha rhythm in electroencephalograms of visually impaired children. *Dev. Med. Child Neurol.*, 30(4), 444–450.
- [70] Tolstova, V. A. 1996. Zavisimost ekvivalentnykh istochnikov raznykh poddiazonov a-ritma ot sostoyaniya zritelnoy sistemy u detey 8–10 let. Fiziologiya cheloveka, 22(5), 13–19. In Russian.
- [71] Red'ka, I. V., Mayorov, O. Yu. 2014. Spectral characteristics of the ongoing electroencephalogram in children suffering from visual dysfunctions. *Neurophysiology*. 46(2), 149 – 159.
- [72] Pahmesterova, O., Chertina, E., Vishnyakova, E. 2012. Vliyanie tsveta interera uchebnogo zavedeniya na psihologicheskoe sostoyanie uchaschihsya. *Mezhvuz.sb.nauch. statey «Nauchnyiy potentsial regionov na sluzhbu modernizatsii»*, Astrahan: AISI., S. 1(2), 64 – 67. In Russian.
- [73] Braem, H. Die macht der farben. München: Langen-Müller und Herbig; 2004. 228 s. In German.