

Оригінальна стаття

<https://doi.org/10.26565/2311-0872-2020-32-09>

УДК 57.084.1+577.3.0

ШКІРНО-ОПТИЧНЕ СПРИЙНЯТТЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ РІЗНИХ ДОВЖИН ХВИЛЬ ВИДИМОГО ДІАПАЗОНУ ШКІРОЮ ДОЛОНЬ СЛАБОЗОРИХ ЛЮДЕЙ

В.П. Титар, Ю.В. Єльцішева, О.В. Шпаченко, А.В. Мельнікова, В.М. Мізрахі

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, майдан Свободи 4, м. Харків, 61022,
Україна

E-mail: julyreine7@gmail.com

Надійшла до редакції 14 жовтня 2020 р.

Актуальність. На даний момент не існує єдиної точки зору, яка б пояснювала точні механізми шкірно-оптичного сприйняття й особливостей обробки мозком неспецифічних стимулів, але для розуміння особливостей цього сприйняття досить важливо дослідити реакцію різних рецепторів шкіри долонь на різний колір.

Мета роботи – визначення впливу електромагнітного випромінювання різних довжин хвиль видимого діапазону на активність різних типів соматосенсорних рецепторів шкіри долонь та нервових волокон, що приймають участь в іннервації шкіри.

Матеріали та методи. В експериментах брали участь 12 слабозорих дітей (за їх бажанням та при наявності дозволу їх батьків). Вимірювання стану різних соматосенсорних рецепторів, розташованих на долонях, а також іннервації шкіри слабозорих дітей, що приймали участь у навчанні шкірно-оптичному сприйняттю, проводилося за допомогою апарату «КСД» шляхом реєстрації та комп'ютерного аналізу електромагнітних коливань, що випромінюються організмом.

Результати. Проведено експериментальне дослідження зміни активності різних соматосенсорних рецепторів, розташованих на долонях, а також іннервації шкіри слабозорих дітей під дією електромагнітного випромінювання різних довжин хвиль видимого діапазону. Виявлено, що під дією світла в залежності від конкретних довжин хвиль відбувається активація або пригнічення досліджуваних рецепторів та нервових волокон. Встановлено зростання активності теплової чутливості (тілець Руффіні) під дією електромагнітного випромінювання на шкіру долонь в діапазоні хвиль від 380-700 нм (у всьому спектральному діапазоні видимого світла). Найбільша активація спостерігалася на «теплих» (червоний, помаранчевий) та зеленому кольорах. На білому, чорному та «холодних» кольорах (блакитний, синій) активація тілець Руффіні була меншою, ніж на «теплих» кольорах.

Висновки. Отримані експериментальні результати свідчать про здатність різних соматосенсорних рецепторів шкіри долоней адаптуватися до сприйняття деякої інформації за допомогою неспецифічного для них стимулу – електромагнітного випромінювання видимого діапазону. Виявлено, що дермо-оптичне сприйняття шкірою долонь зумовлене не тільки температурною чутливістю (яку забезпечують терморецептори), але й іншими типами рецепторів: барорецепторами (тілець Фатера-Пачіні), тактильними рецепторами (тілець Мейснера), механорецепторами (тілець Гольджі).

КЛЮЧОВІ СЛОВА: електромагнітне випромінювання видимого діапазону; колір; шкірно-оптичне сприйняття; соматосенсорні рецептори; іннервація шкіри.

DERMO-OPTICAL PERCEPTION OF THE VISIBLE RANGE DIFFERENT WAVELENGTHS ELECTROMAGNETIC RADIATION BY THE PALMS SKIN OF VISUALLY IMPAIRED PEOPLE

V.P. Titar, Yu.V. Ielchishcheva, O.V. Shpachenko, A.V. Melnikova, V.M. Mizrahi

V. N. Karazin Kharkiv National University, 4, Svobody Square, Kharkiv, 61022, Ukraine

Background. There is no single point of view which would explain the exact mechanisms of dermo-optical perception and nonspecific stimuli brain processing features at the moment, but to understand this perception peculiarities it is important to study the different skin receptors response to different colors.

Objectives. The work aim is to determine the visible range different wavelengths electromagnetic radiation influence on the palms skin different types somatosensory receptors activity and nerve fibers involved in the skin innervation.

Materials and methods. The experiments involved 12 visually impaired children (at their request and with their parents permission). The various somatosensory receptors condition measurement located on the palms, as well as the skin innervation of visually impaired children who participated in the dermo-optical perception training, was performed using the device "KSD" by recording and computer analysis of the electromagnetic oscillations emitted by the organism.

Results. An experimental study of changes in the various somatosensory receptors activity located on the palms, as well as the visually impaired children skin innervation under the visible range different wavelengths electromagnetic radiation action was performed. It was found that under the light action, depending on the specific wavelengths, the studied receptors and nerve fibers are activated or suppressed. An increase in the thermal sensitivity activity (Ruffini's body) under the electromagnetic radiation influence on the palms skin in the wave range from 380-700 nm (in the entire visible light spectral range). The greatest activation was observed in «warm» (red, orange) and green colors. On white, black and «cold» colors (blue, blue) the Ruffini's bodies activation was less than on «warm» colors.

Conclusions. The obtained experimental results indicate the palms skin various somatosensory receptors ability to adapt to the some information perception with a non-specific stimulus - the visible range electromagnetic radiation. It was found that the palms skin dermo-optical perception is due not only to temperature sensitivity (provided by thermoreceptors), but also to other types of receptors: baroreceptors (Pacinian corpuscles), tactile receptors (Meissner's corpuscles), mechanoreceptors (Golgi receptors).

KEYWORDS: electromagnetic radiation of visible range; color; dermo-optical perception; somatosensory receptors; skin innervation.

КОЖНО-ОПТИЧЕСКОЕ ВОСПРИЯТИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ДЛИН ВОЛН ВИДИМОГО ДИАПАЗОНА КОЖЕЙ ЛАДОНЕЙ СЛАБОВИДЯЩИХ ЛЮДЕЙ

В.П. Титарь, Ю.В. Ельчищева, О.В. Шпаченко, А. В. Мельникова, В.М. Мизрахи

*Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина, пл. Свободы, 4, г. Харьков, 61022,
Украина*

Актуальность. На данный момент не существует единой точки зрения, которая объясняла бы точные механизмы кожно-оптического восприятия и особенностей обработки мозгом неспецифических стимулов, но для понимания особенностей этого восприятия, достаточно важно исследовать реакцию разных рецепторов кожи ладоней на разный цвет.

Цель работы – определение влияния электромагнитного излучения различных длин волн видимого диапазона на активность различных типов соматосенсорных рецепторов кожи ладоней и нервных волокон, участвующих в иннервации кожи.

Материалы и методы. В экспериментах участвовали 12 слабовидящих детей (по их желанию и при наличии разрешения их родителей). Измерения состояния различных соматосенсорных рецепторов, расположенных на ладонях, а также иннервации кожи слабовидящих детей, принимавших участие в обучении кожно-оптическому восприятию, проводилось с помощью аппарата «КСД» путем регистрации и компьютерного анализа электромагнитных колебаний, излучаемых организмом.

Результаты. Проведено экспериментальное исследование изменения активности различных соматосенсорных рецепторов, расположенных на ладонях, а также иннервации кожи слабовидящих детей под действием электромагнитного излучения различных длин волн видимого диапазона. Выявлено, что под действием света в зависимости от конкретных длин волн происходит активация или угнетение исследуемых рецепторов и нервных волокон. Установлено повышение активности тепловой чувствительности (тельца Руффини) под действием влияния электромагнитного излучения на кожу ладоней в диапазоне волн от 380-700 нм (во всем спектральном диапазоне видимого света). Наибольшая активация наблюдалась на «теплых» (красный, оранжевый) и зеленом цветах. На белом, черном и «холодных» цветах (голубой, синий) активация тельца Руффини была меньше, чем на «теплых» цветах.

Выводы. Полученные экспериментальные результаты свидетельствуют о способности различных соматосенсорных рецепторов кожи ладоней адаптироваться к восприятию некоторой информации с помощью неспецифического для них стимула - электромагнитного излучения видимого диапазона. Выявлено, что дермо-оптическое восприятие кожей ладоней обусловлено не только температурной чувствительностью (которую обеспечивают терморепторы), но и другими типами рецепторов: барорецепторами (тельца Фатера-Пачини) тактильными рецепторами (тельца Мейснера), механорецепторами (тельца Гольджи).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электромагнитное излучение видимого диапазона; цвет; кожно-оптическое восприятие; соматосенсорные рецепторы; иннервация кожи.

ВСТУП

Шкірно-оптичне сприйняття – це здатність шкіри людини сприймати кольори, різницю у яскравості та/або сформовані зображення [1]. Про це явище повідомлялося ще з середини сімнадцятого століття [2], але і в наш час все ще й досі невідомі його точні механізми, а навколо даної тематики багато суперечливих думок та дискусій.

Існує велика кількість різноманітних досліджень шкірно-оптичного сприйняття, особливо багато їх було проведено в Росії та Франції в 20-му столітті [3-8]. Ведеться вивчення цього явища й по теперішній час.

Деякі дослідники, серед яких А.І. Ларнер [9], дотримуються думки, що шкірно-оптичне сприйняття кольору є різновидом синестезії. Синестезію можна визначити як мультисенсорне сприйняття від одної сенсорної стимуляції [10], або як постійний мимовільний перелив сенсорних вражень таких, що стимуляція одного сенсорного каналу призводить до сприйняття в іншому або більше, ніж в одному [11].

Інші вчені вважають, що шкірно-оптичне сприйняття зумовлене температурною чутливістю шкіри [12], адже колір – це суб'єктивна характеристика сприйняття світлової хвилі, яка ґрунтується на здатності розрізнити електромагнітне випромінювання з довжиною хвиль в області видимого діапазону [13]. Згідно з прийнятими міжнародними нормами, до видимого діапазону електромагнітних хвиль відноситься світло з довжинами хвиль від 380-400 нм до 760-780 нм [14]. Також шкірно-оптичне сприйняття пов'язують з особливістю розташування рецепторів шкіри на долонях [15] й вважають, що воно ніяким чином не відноситься до явища синестезії.

Водночас, Cohen, L. G. та інші [16] у своїх експериментальних дослідженнях показали, що первинна зорова кора може бути активізована різними тактильними стимулами. Значення цієї міжмодальної пластичності незрозуміле, оскільки невідомо, чи зорова кора може обробляти соматосенсорну інформацію функціонально релевантним шляхом. Водночас ця міжмодальна пластичність може частково пояснювати вищі тактильні сприймальні здібності предметів сліпими або слабозорими людьми.

На даний момент не існує єдиної точки зору, яка б пояснювала точні механізми шкірно-оптичного сприйняття й особливостей обробки мозком неспецифічних стимулів, але для зрозуміння особливостей цього сприйняття, досить важливо дослідити реакцію різних рецепторів шкіри долонь на різний колір.

Саме тому метою нашого дослідження було визначення впливу електромагнітного випромінювання різних довжин хвиль видимого діапазону на активність різних типів соматосенсорних рецепторів шкіри долонь та нервових волокон, що приймають участь в іннервації шкіри.

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 активності різних соматосенсорних рецепторів, розташованих на долонях, а також іннервації шкіри 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: 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 [17-20]. В результаті цих досліджень була показана можливість безконтактної реєстрації електрокардіограм [19], електрогастрограм [18], а також електричної активності інших органів та тканин [17, 20], 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 [21-26].

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, що випромінюються тілом людини.

Спектрально-динамічна технологія «КСД» захищена патентами та авторськими свідоцтвами [27-34]. 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 [30, 31]. 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 надходить 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, які зберігаються в комп'ютерній базі апарату «КСД» та містять дані про спектри різних органів та груп клітин людського тіла в здоровому стані та при наявності захворювань. Вейвлет-перетворення переводить сигнал з часового представлення у частотно-часове та являє собою узагальнення спектрального аналізу. Розшифровка зареєстрованого спектра шляхом його порівняння з еталонним набором є стандартною процедурою під час проведення спектрального аналізу, незалежно від природи сигналів, що вивчаються. 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 «одномоментних» спектрів стану людини. Програма користувальницького інтерфейсу апарату «КСД» зроблена таким чином, що на екрані комп'ютера показуються дані про кількість зареєстрованих у пацієнта «одномоментних» спектрів, які збіглися або не збіглися з відповідним спектральним еталоном, а також демонструються відсотки їх часткового збігу.

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 вивченням реакції (зміни активності) соматосенсорних рецепторів та іннервації шкіри під дією на долоні світла різного кольору, то нам було важливо порівняти ступінь активації тих чи інших рецепторів шкіри 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 реакції різних соматосенсорних рецепторів шкіри долонь та нервових волокон, що приймають участь в іннервації шкіри на отриману оптичну інформацію під час шкірно-оптичного сприйняття електромагнітного випромінювання видимого діапазону з різними довжинами хвиль, у групі досліджуваних слабозорих під час проведених експериментів нами вивчалися зміни активності таких обраних параметрів: тілець Фатера-Пачіні, тілець Руффіні, тілець Мейснера, тілець Гольджі, а також адренергічних нервових волокон, синапсів, іннервації кровоносних судин шкіри, іннервації сосочкового відділу шкіри.

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 [35]. На пелюсткових діаграмах, що наведені нижче, представлено середньостатистичні значення активності вимірюваних 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 (р) порівнювалися з рівнем значущості (α); результати вважалися статистично значущими, коли $p < \alpha$ ($p < 0,05$).

Перед початком занять проводилося вимірювання перелічених вище параметрів 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 обраних параметрів у 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 у 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

Дослідження впливу на шкірні рецептори та нервові волокна електромагнітного випромінювання видимого діапазону з різними довжинами хвиль, що діяло на долоні, дозволило виявити особливості реакцій (чутливості) різних соматосенсорних рецепторів на конкретний колір.

Пластинчаті тільця Фатера-Пачіні – складний інкапсульований нервовий рецептор. Може виступати як барорецептор. Мережа капілярів у просторі між зовнішньою і внутрішньою капсулами змінює стан вторинночутливих клітин за рахунок зміни тиску на них крові, що викликає індукування нервового імпульсу [36]. Як передбачає фізіологія, головною функцією цих тілець шкіри є детектування вібрації [36].

При вивченні впливу електромагнітного випромінювання видимого діапазону на шкіру долонь була встановлена здатність активації тілець Фатера-Пачіні хвилями діапазонів від 570-760 нм (жовтий, помаранчевий, червоний), та від 380 до 480 нм (фіолетовий та синій кольори), а також білим кольором. Експерименти показали, що під дією цих кольорів відбувалася активація тілець Фатера-Пачіні на 30%-40% порівняно зі значенням до проведення експерименту (Рис. 1). Водночас, активність цих рецепторів знижувалася на 8% під дією хвиль у діапазоні 470-580 нм (зелений та блакитний кольори) (Рис. 1).

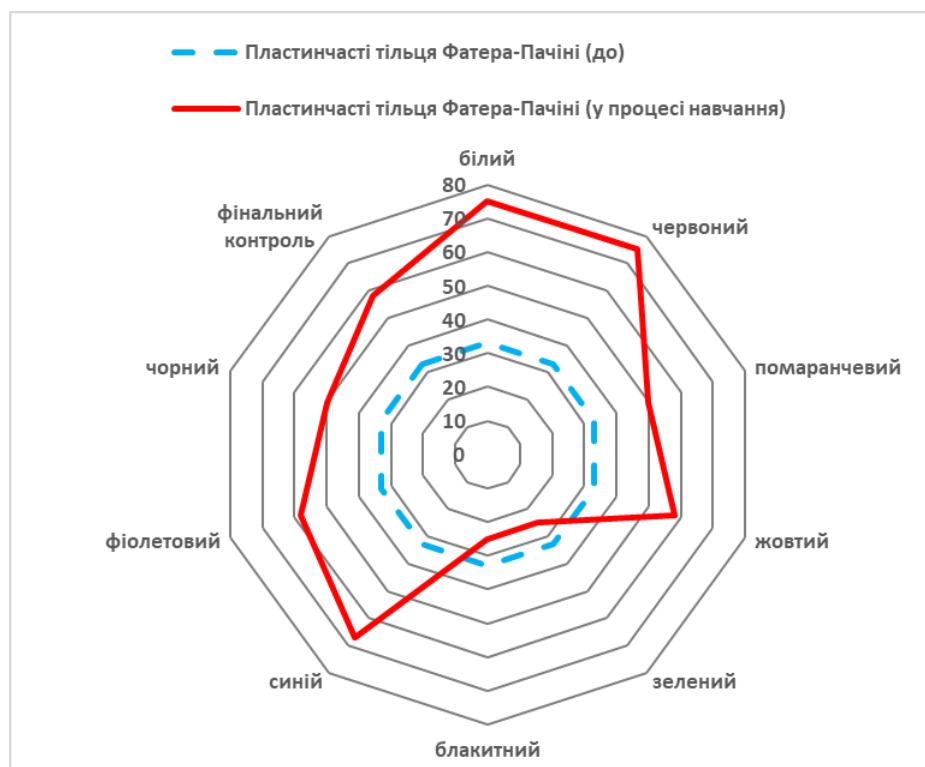


Рис. 1. Вплив електромагнітного випромінювання видимого діапазону з різними довжинами хвиль на активність тілець Фатера-Пачіні, %

Існує два типи шкірних терморекторів – холодіві та теплові. І ті, і інші повільно адаптуються, хоча можуть давати належну відповідь на швидкі зміни температури шкіри. Тільця Руффіні є рецепторами, що реагують на тепло, а колбочки Краузе реагують на холод [37]. При зігріванні шкіри імпульсація холодівих рецепторів припиняється, і навпаки, при охолодженні замовкають теплові рецептори [37].

Встановлено зростання активності теплової чутливості (тілець Руффіні) під дією впливу електромагнітного випромінювання на шкіру долонь в діапазоні хвиль від 380-700 нм (у всьому спектральному діапазоні видимого світла) (Рис. 2). Найбільша активація спостерігалася на так званих теплих (червоний, помаранчевий) та зеленому кольорах, а також наприкінці циклу занять (фінальний контроль). На білому, чорному та кольорах, які прийнято називати холодними (блакитний, синій), активація тілець Руффіні була меншою, ніж на теплих кольорах (Рис. 2).

Терміни «теплий колір», «холодний колір» широко використовуються в образотворчому мистецтві та дизайні. Походження цих термінів зазвичай пояснюється з точки зору психології сприйняття: червоний, помаранчевий та жовтий сприймаються нами як теплі кольори, тому що асоціюються з вогнем та сонцем, а синій, блакитний, фіолетовий асоціюються з водою та зимовою погодою (льодом, снігом) і



Рис. 2. Вплив електромагнітного випромінювання видимого діапазону з різними довжинами хвиль на активність тілець Руффіні, %

тому вважаються холодними. Слід, однак, відмітити, що у випадку шкірно-оптичного сприйняття мова йде вже не про асоціації, а про суб'єктивні відчуття. Згідно з багаторічними спостереженнями В.М. Мізрахі, під час шкірно-оптичного визначення кольору як зрячі так і слабозорі (із зав'язаними очима), і сліпі однаково описують свої відчуття різних кольорів, характеризуючи їх наступним чином: червоний – гарячий, помаранчевий – теплий, жовтий – ледь теплий, зелений – температурно-нейтральний, блакитний – прохолодний, синій – холодний, фіолетовий – такий, що морозить [35]. Такі суб'єктивні відчуття в цілому корелюють з даними, отриманими нами під час експериментів зі слабозорими дітьми. Під дією на шкіру рук червоного кольору, який відчувався як гарячий, активація тілець Руффіні (теплових рецепторів) підвищилася на 42% у порівнянні з контрольним виміром до початку занять. На помаранчевому кольорі, який характеризувався досліджуваними як теплий, спостерігалася активація теплових рецепторів на 34%. На блакитному та синьому (суб'єктивно – прохолодному та холодному, відповідно) відбулася активація тілець Руффіні на 25%, а на фіолетовому кольорі, який суб'єктивно «морозив», активація не спостерігалася зовсім, залишаючись такою самою, як і до початку експериментів.

Тілець Мейснера – це рецептори відчуття, які знаходяться в сосочковому шарі дерми й поряд з іншими тактильними рецепторами створюють відчуття дотику [38].

При вивченні тактильної чутливості тілець Мейснера було встановлено, що під дією електромагнітного випромінювання видимого діапазону усіх довжин хвиль (крім жовтого, синього і фіолетового кольорів) відзначалася активація цих рецепторів. Найбільший ефект активації (на 40%) мали довжини хвиль в діапазоні 590-620 нм (помаранчевий колір), 510-570 нм (зелений колір) (на 20%) та під впливом 480-510 нм (блакитний колір) (на 30%) (Рис. 3).

Тілець Гольджі – це механорецептори опорно-рухового апарату, розташовані в сухожиллях зазвичай на межі м'язової і сухожильної тканин, в опорних ділянках капсул суглобів, в зовнішніх та внутрішніх суглобових зв'язках [39]. Представляють собою основні нервові закінчення сухожилків, що має дуже велике значення при здійсненні рухливих актів.

Була встановлена здатність пригнічення активності тілець Гольджі хвилями електромагнітного випромінювання усіх досліджених нами діапазонів. Найбільш виражені зміни спостерігалися під впливом довжин хвиль 620-700 нм (червоний колір), помаранчевого та синього кольорів, при цьому

активність цих показників була на 20-30% меншою, порівняно зі значенням до проведення експерименту (Рис. 4).

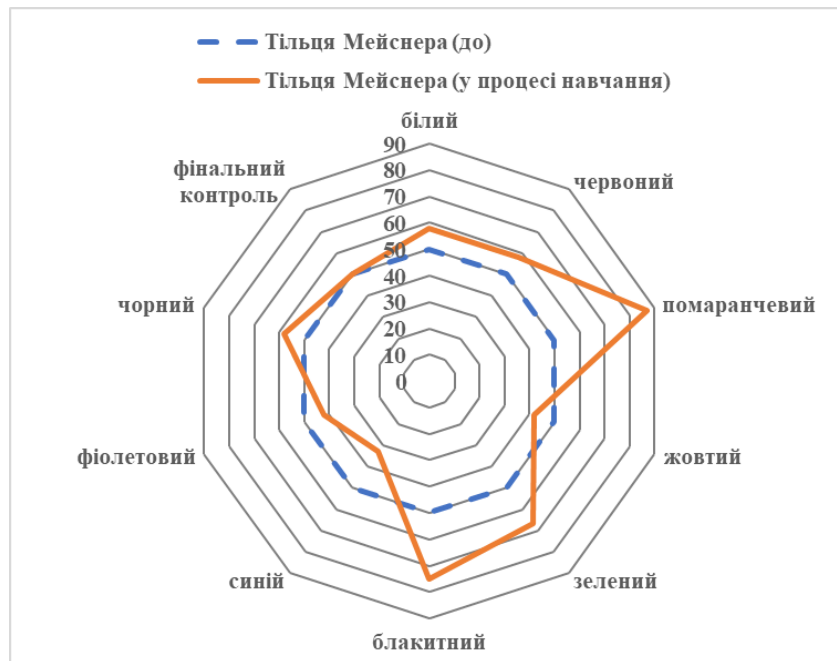


Рис. 3. Вплив електромагнітного випромінювання видимого діапазону з різними довжинами хвиль на активність тілець Мейснера, %

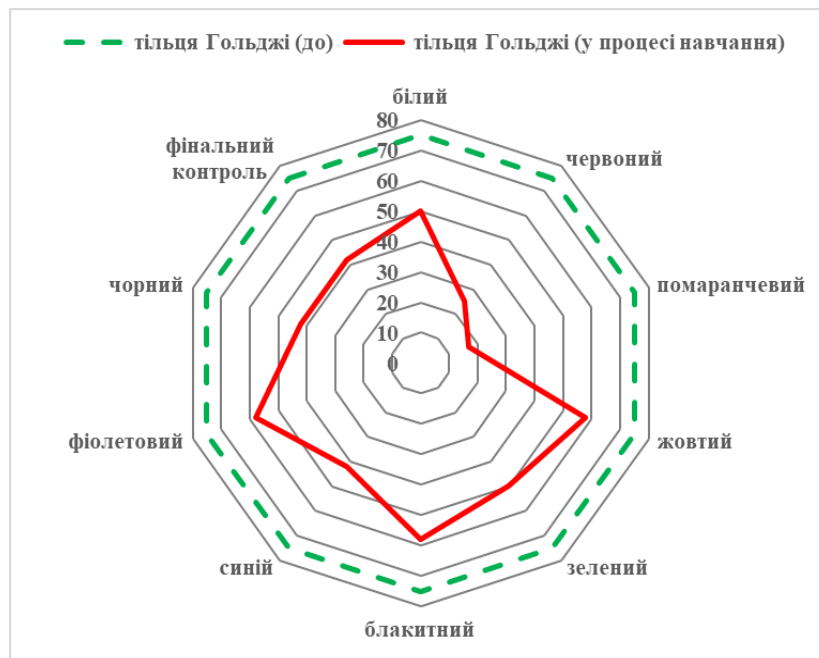


Рис. 4. Вплив електромагнітного випромінювання видимого діапазону з різними довжинами хвиль на активність тілець Гольджі, %

Адренергічні нервові волокна – волокна вегетативної нервової системи, по яких збудження від нервового вузла (ганглії) передається за допомогою медіаторів (в основному норадреналіну) на іннервованій робочий орган.

Активність адренергічних нервових волокон зростала під дією білого, блакитного та фіолетового кольорів на 20-35% відповідно, порівняно зі значенням до проведення експерименту (Рис. 5А).

Синапси – особливий тип міжклітинного контакту між нейроном і клітиною-мішенню [40, 41]. В синапсі (з хімічною передачею нервового імпульсу) роль посередника (медіатора передачі) виконує хімічна речовина [40].

Під впливом електромагнітного випромінювання видимого діапазону на шкіру долонь встановлена активація синаптичної передачі нервових імпульсів в діапазонах хвиль червоного (на 25%), зеленого (на 35%), фіолетового (на 37%), а також білого та чорного кольорів (на 18%), порівняно зі значенням до проведення експерименту (Рис.5Б).

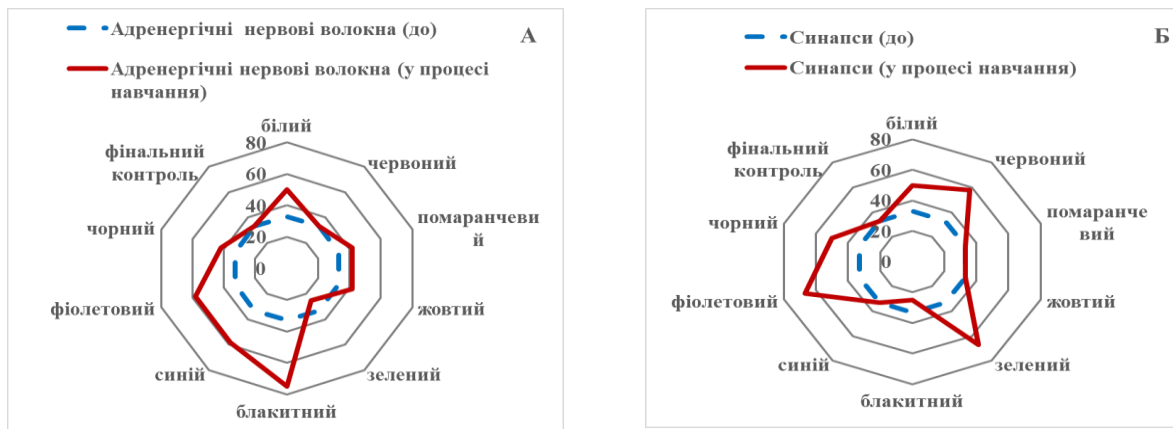


Рис. 5. Вплив електромагнітного випромінювання видимого діапазону з різними довжинами хвиль на активність адренергічних нервових волокон (А) та синапсів (Б), %

Симпатична судинозвужувальна іннервація охоплює кровоносні судини практично усіх органів і тканин тіла людини і тварин. Виняток складають судини плаценти, які взагалі позбавлені іннервації. Судинозвужувальні волокна тонічно активні, тобто по них до кровоносних судин увесь час надходять імпульси з частотою 0,5–2,0 імпл/с в стані спокою і до 8,0–15,0 імпл/с при максимальному збудженні, що супроводжується сильним звуженням і навіть закриттям дрібних кровоносних судин.

Під впливом електромагнітного випромінювання видимого діапазону на шкіру долонь встановлена здатність інгібування іннервації кровоносних судин шкіри (що не призводило до звуження кровоносних судин) і сосочкового відділу шкіри під впливом усіх вивчених дожин хвиль (Рис. 6).

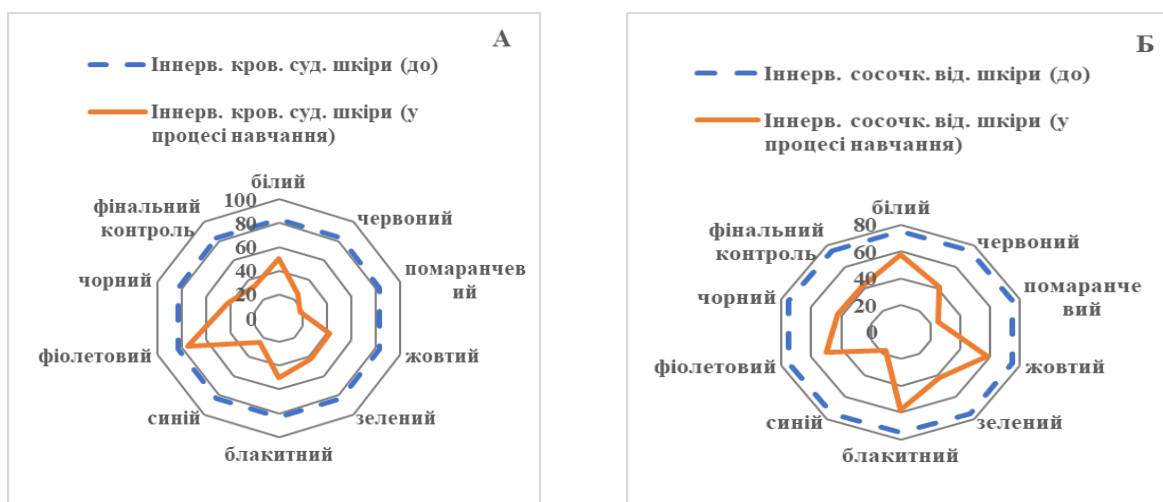


Рис. 6. Вплив електромагнітного випромінювання видимого діапазону з різними довжинами хвиль на активність іннервації кровоносних судин шкіри (А), іннервації сосочкового відділу шкіри (Б), %

ВИСНОВКИ

Результати проведеного дослідження з визначення впливу електромагнітного випромінювання різних довжин хвиль видимого діапазону на активність різних типів соматосенсорних рецепторів шкіри долонь та нервових волокон, що приймають участь в іннервації шкіри, дозволили розширити наукові


знання про шкірно-оптичне сприйняття. А саме, нами було виявлено, що дермо-оптичне сприйняття шкірою долонь зумовлене не тільки температурною чутливістю (яку забезпечують терморцептори), але й іншими типами рецепторів: барорецепторами (тільца Фатера-Пачіні), тактильними рецепторами (тільца Мейснера), механорецепторами (тільца Гольджі). Це підтверджується різною реакцією досліджуваних рецепторів та нервових волокон на вплив світла конкретних довжин хвиль електромагнітного випромінювання різних кольорів. Таким чином, нами було показано, що рецептори шкіри здатні сприймати неспецифічні для них діючі фактори, а саме – оптичні стимули та продукувати у відповідь нервові імпульси, а потім передавати їх далі по нервових шляхах до центральної нервової системи. Вивчення реакції центральної нервової системи, зокрема зорової кори головного мозку, на вплив оптичних стимулів, що діють через неспецифічний сенсорний орган (шкіру), ще потребує подальших досліджень.

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ

Автори повідомляють про відсутність конфлікту інтересів.

Authors' ORCID ID

V.P.Titar  <https://orcid.org/0000-0002-4874-8929>

Iu.V. Ielchishcheva  <https://orcid.org/0000-0002-4422-9582>

O.V.Shpachenko  <https://orcid.org/0000-0002-6072-5340>

A.V. Melnikova  <https://orcid.org/0000-0002-2291-6859>

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Passini R, Rainville C. The dermo-optical perception of color as an information source for blind travelers. *Perceptual and motor skills*. 1992;75(3):995-1010.
2. Larner AJ. A possible account of synaesthesia dating from the seventeenth century. *Journal of the History of the Neurosciences*. 2006;15(3):245-249.
3. Duplessis Y. La perception dermo-optique. *Le monde inconnu. Chronique scientifique*. 1978;8:63.
4. Duplessis Y. Dermo-optic sensitivity and pedagogy. *Newsletter of the World Council for Curriculum and Instruction*. 1981;12:2.
5. Duplessis Y. *La couleurs visibles et non visibles: ouvrage collectif*. Monaco: Edition du Rocher. 1984.
6. Duplessis Y. Dermo-optical sensitivity and perception: its influence on human behavior. *International Journal of Biosocial Research*. 1985;7:76-93.
7. Novomeysky S. Developpement de la perception dermo-optique chez les aveugles. *Questions de Psychologie*. 1965;7:111-112.
8. Novomeysky S. Le changement de la sensibilitf dermo-optique dans les differentes conditions de l'clairage. In *fiuestions de (n psycho-pbysologie de l'activit6 et autor6gultion de l'individu*. Sverdlovsk: Institut Pbdagogique. 1968. p. 73-81.
9. Larner AJ. A possible account of synaesthesia dating from the seventeenth century. *Journal of the History of the Neurosciences*. 2006;15(3):245-249.
10. Loring DW (ed.): *INS Dictionary of Neuropsychology*. New York, OUP. 1999. p. 155.
11. Pryse-Phillips W. *Companion to Clinical Neurology (2nd edition)*. New York, OUP. 2003. p. 915.
12. Brugger P, Weiss PH. Dermo-optical perception: The non-synesthetic "palpability of colors" a comment on Larner (2006). *Journal of the History of the Neurosciences*. 2008;17(2):253-255.
13. Zeki S. *A vision of the brain*. Cambridge, MA, US: Blackwell Scientific Publications. 1993.
14. ГОСТ 7601-78. Физическая оптика. Термины, буквенные обозначения и определения основных величин. Межгосударственный стандарт. Издательство официальное. М.: Издательство стандартов; 1980. p. 18.
15. Zavala A, Van Cott HP, Orr DB, Small VH. Human dermo-optical perception: Colors of objects and of projected light differentiated with fingers. *Perceptual and motor skills*. 1967;25(2):525-542.
16. Cohen LG, Celnik P, Pascual-Leone A, Corwell B, Faiz L, Dambrosia J, Hallett M. Functional relevance of cross-modal plasticity in blind humans. *Nature*. 1997;389(6647):180-183.
17. Валеев ІС, Осенній ОС, Торнуєв ЮВ, Ракітянській ДФ. До питання про походження зовнішнього електричного поля, що реєструється поблизу тварин і людини. *Фізіолог. журн. УРСР*. 1963;19(1):99-104.
18. Собакин МА. *Физические поля желудка*. Наука; 1978. 112 с.
19. Кулин ЕТ. *Биоэлектретный эффект*. Минск: Наука и техника; 1980. 216 с.
20. Березовский ВА, Колотилов НН. *Биофизические характеристики тканей человека*. Справочник. Отв. ред. и авт. предисл. Костюк П.Г. Киев: Наук. Думка; 1990. 224 с.
21. Ростовцев ВН, Рубан АП. *Метод спектрально-динамической диагностики: Инструкция по применению*. Минск; 2005. 14 с.

22. Регистрационное удостоверение на медицинское изделие от 27 февраля 2015 г. № ФСР 2009/04973.
23. Кафанов ЮН, Мягков ВИ, Юрин ДВ. Методические и аппаратные средства современной интегральной медисзины: комплекс медицинский экспертный (КМЭ). http://web.archive.org/web/20191018035224/https://kmedex.org/technology_CME.php.
24. Литавева МП. Компьютерные информационные медицинские технологии: перспективные направления. Ежемесячный научный журнал; Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). 2014;8:65-67.
25. Регистрационное удостоверение МОЗ РФ ФСЗ № 2009/05666 от 1 декабря 2009 г.
26. Сертифікат відповідності МОЗ України № УА.ТР.039.560, дата видачі` – 27.06.2018.
27. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 30892 «База даних електромагнітних характеристик біологічних об'єктів», Україна / Коптелов ОО. – Дата реєстрації 05.11.2009.
28. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №35528: комп'ютерна програма «Програма для запису електромагнітних характеристик біологічних об'єктів», Україна / Коптелов ОО. Дата реєстрації 23.03.2010.
29. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 25853: комп'ютерна програма «Програмно-апаратний комплекс «Сімейний лікар»», Україна / Коптелов ОО. – Дата реєстрації 26.09.2008.
30. Патент № 19807, Україна, МПК А61Н 5/00, А61Б 5/04, А61Н 39/02 (2006.01) Спосіб запису біоінформаційних характеристик біологічного об'єкта / Тютюнник Ю, Тютюнник П, Дяченко ВВ, Коптелов ОО. – Номер заявки u200611298, заявл. 26.10.2006, опубл. 15.12.2006, бюл. № 12/2006.
31. Патент № 19808, Україна, МПК А61Н 5/02, А61Б 5/04, А61Н 39/02 (2006.01) Пристрій для запису та коригування біоінформаційних характеристик біологічного об'єкта / Тютюнник Ю, Тютюнник П, Дяченко ВВ, Коптелов ОО. – Номер заявки u200611299, заявл. 26.10.2006, опубл. 15.12.2006, бюл. № 12/2006.
32. Патент № 30545, Україна, МПК А61Н 5/00, А61Н 39/02 (2007.01) Пристрій для запису та контролювання біоінформаційних характеристик біологічного об'єкта / Коптелов ОО, Дяченко ВВ, – Номер заявки u200713651, заявл. 06.12.2007, опубл. 25.02.2008, бюл. № 2/2008.
33. Патент № 4606, Республика Беларусь, МПК А61Б 5/04, А61Н 5/00, А61Н 39/02 (2006.01) Устройство для записи и корректирования бионформационных характеристик биологического объекта / Коптелов АО, Дяченко ВВ. – Номер заявки u20080032, заявл. 17.01.2008, опубл. 30.08.2008, бюл. № 8/2008.
34. Патент №102882, РФ, МПК А61Б 5/04 (2006.01) Диагностический прибор / Бондарь МП, Минаев ВТ, Коптелов АО, Дяченко ВВ. – Номер заявки 2010128883, заявл. 12.07.2010, опубл. 20.03.2011, бюл. № 8/2011.
35. Мизрахи ВМ. Проблемы кожно-оптического восприятия света слепыми // Сб. статей. Харьков: ХГУ; 1993. 48 С.
36. Cauna N, Mannan G. The structure of human digital pacinian corpuscles (corpuscula lamellosa) and its functional significance. *Journal of anatomy*. 1958;92(1):1.
37. Hensel H. Thermoreceptors. *Annual review of physiology*. 1974;36(1):233-249.
38. Cauna N, Ross LL. The fine structure of Meissner's touch corpuscles of human fingers. *The Journal of Cell Biology*. 1960;8(2):467-482.
39. Catton WT. Mechanoreceptor function. *Physiological reviews*. 1970;50(3):297-318.
40. McLachlan EM. The statistics of transmitter release at chemical synapses. *International Review Physiology*. 1978;17:49-117.
41. Dani A, Huang B, Bergan J, Dulac C, Zhuang X. Superresolution imaging of chemical synapses in the brain. *Neuron*. 2010;68(5):843-856.

REFERENCES

1. Passini R, Rainville C. The dermo-optical perception of color as an information source for blind travelers. *Perceptual and motor skills*. 1992;75(3):995-1010.
2. Larner AJ. A possible account of synaesthesia dating from the seventeenth century. *Journal of the History of the Neurosciences*. 2006;15(3)245-249.
3. Duplessis Y. La perception dermo-optique. *Le monde inconnu. Chronique scientifique*. 1978;8:63.
4. Duplessis Y. Dermo-optic sensitivity and pedagogy. *Newsletter of the World Council for Curriculum and Instruction*. 1981;12:2.
5. Duplessis Y. *La couleurs visibles et non visibles: ouvrage collectif*. Monaco: Edition du Rocher. 1984.
6. Duplessis Y. Dermo-optical sensitivity and perception: its influence on human behavior. *International Journal of Biosocial Research*. 1985;7:76-93.
7. Novomeysky S. Developpement de la perception dermo-optique chez les aveugles. *Questions de Psychologie*. 1965;7:111-112.

8. Novomeysky S. Le changement de la sensibilit6 dermo-optique dans les differentes conditions de l'clairage. In fiuestions de (n psycho-pbysologie de l'activit6 et autor6gultion de l'individu. Sverdlovsk: Institut Pbdagogique. 1968. p. 73-81.
9. Larnar AJ. A possible account of synaesthesia dating from the seventeenth century. *Journal of the History of the Neurosciences*. 2006;15(3):245-249.
10. Loring DW (ed.): *INS Dictionary of Neuropsychology*. New York, OUP. 1999. p. 155.
11. Pryse-Phillips W. *Companion to Clinical Neurology* (2nd edition). New York, OUP. 2003. p. 915.
12. Brugger P, Weiss PH. Dermo-optical perception: The non-synesthetic "palpability of colors" a comment on Larnar (2006). *Journal of the History of the Neurosciences*. 2008;17(2):253-255.
13. Zeki S. *A vision of the brain*. Cambridge, MA, US: Blackwell Scientific Publications. 1993.
14. GOST 7601-78. Physical optics. Terms, letter designations and definitions of basic quantities. Interstate standard. Official publishing house. M.: Standards publishing house; 1980. p. 18. (Russian)
15. Zavala A, Van Cott HP, Orr DB, Small VH. Human dermo-optical perception: Colors of objects and of projected light differentiated with fingers. *Perceptual and motor skills*. 1967;25(2):525-542.
16. Cohen LG, Celnik P, Pascual-Leone A, Corwell B, Faiz L, Dambrosia J, Hallett M. Functional relevance of cross-modal plasticity in blind humans. *Nature*. 1997;389(6647):180-183.
17. Valeev IS, Autumn OS, Tornuev SE, Rakityanskaya SF. On the question of the origin of the external electric field, which is registered near animals and humans. *Physiologist. magazine. USSR*. 1963;19(1):99-104. (Ukrainian).
18. Sobakin MA. Physical fields of the stomach. *The science*; 1978.112 s. (Russian).
19. Kulin ET. Bioelectric effect. Minsk: Science and Technology; 1980. p. 216. (In Russian).
20. Berezovsky VA, Kolotilov NN. Biophysical characteristics of human tissues. Directory. Resp. ed. and ed. foreword Kostyuk P.G. Kiev: Nauk. Dumka; 1990. p. 224. (In Russian).
21. Rostovsev VN, Ruban AP. *Method of spectral dynamic diagnostics: Instructions for use*. Minsk; 2005. p. 14. (Russian).
22. Registration certificate for a medical device dated February 27, 2015 No. FSR 2009/04973. (Russian).
23. Kafanov YN, Myagkov VI, Yurin DV. Methodical and hardware means of a modern integral medicine: a medical expert complex (CME). (Russian) http://web.archive.org/web/20191018035224/https://kmedex.org/technology_CME.php.
24. Litaeva MP. Computer information medical technologies: promising directions. *Monthly scientific journal; Eurasian Union of Scientists (ESU)*. 2014;8:65-67. (Russian).
25. Registration certificate of the Ministry of Health of the Russian Federation FSZ No. 2009/05666 dated December 1, 2009. (Russian).
26. Certificate of conformity of the Ministry of Health of Ukraine № UATR.039.560, date of issue` - 06/27/2018. (Ukrainian).
27. Certificate of registration of copyright to the work № 30892 "Database of electromagnetic characteristics of biological objects", Ukraine / Koptelov OO. - Date of registration 05.11.2009. (Ukrainian).
28. Certificate of registration of copyright to the work №35528: computer program "Program for recording electromagnetic characteristics of biological objects", Ukraine / Koptelov OO. Date of registration 23.03.2010. (Ukrainian).
29. Certificate of copyright registration for the work № 25853: computer program "Software and hardware complex" Family Doctor ", Ukraine / Koptelov OO. - Date of registration 26.09.2008. (Ukrainian).
30. Patent № 19807, Ukraine, IPC A61H 5/00, A61B 5/04, A61H 39/02 (2006.01) Method of recording bioinformation characteristics of a biological object / Tobacco IO, Tobacco II, Dyachenko BB, Koptelov OO. - Application number u200611298, application no. 26.10.2006, publ. 15.12.2006, bul. № 12/2006. (Ukrainian).
31. Patent № 19808, Ukraine, IPC A61H 5/02, A61B 5/04, A61H 39/02 (2006.01) Device for recording and adjusting the bioinformation characteristics of a biological object / Tobacco IO, Tobacco II, Dyachenko VV, Koptelov OO. - Application number u200611299, application no. 26.10.2006, publ. 15.12.2006, bul. № 12/2006. (Ukrainian).
32. Patent No. 30545, Ukraine, IPC A61H 5/00, A61H 39/02 (2007.01) Pristriy for recording that control of biological information characteristics of a biological object / Koptulov OO, Dyachenko VV, - Application number u200713651, app. 06.12.2007, publ. 02.25.2008, bul. No. 2/2008. (Ukrainian).
33. Patent No. 4606, Republic of Belarus, IPC A61B 5/04, A61H 5/00, A61H 39/02 (2006.01) A device for recording and correcting the bionformational characteristics of a biological object / Koptelov AO, Dyachenko VV. - Application number u20080032, app. 01/17/2008, publ. 08/30/2008, bul. No. 8/2008. (Russian).
34. Patent No. 102882, RF, IPC A61B 5/04 (2006.01) Diagnostic device / Bondar MP, Minaev VT, Koptelov AO, Dyachenko VV. - Application number 2010128883, app. 12.07.2010, publ. 03/20/2011, bul. No. 8/2011. (Russian).

35. Mizrahi VM. Problems of skin-optical perception of light by the blind // Sat. articles. Kharkiv: KhSU; 1993. p. 48. (Russian).
36. Cauna N, Mannan G. The structure of human digital pacinian corpuscles (corpuscula lamellosa) and its functional significance. *Journal of anatomy*. 1958;92(1):1.
37. Hensel H. Thermoreceptors. *Annual review of physiology*. 1974;36(1):233-249.
38. Cauna N, Ross LL. The fine structure of Meissner's touch corpuscles of human fingers. *The Journal of Cell Biology*. 1960;8(2):467-482.
39. Catton WT. Mechanoreceptor function. *Physiological reviews*. 1970;50(3):297-318.
40. McLachlan EM. The statistics of transmitter release at chemical synapses. *International Review Physiology*. 1978;17:49-117.
41. Dani A, Huang B, Bergan J, Dulac C, Zhuang X. Superresolution imaging of chemical synapses in the brain. *Neuron*. 2010;68(5):843-856.