

## КОНЦЕПЦІЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У ЗОРОВІЙ СИСТЕМІ ЛЮДИНИ

Проф. М. Л. КОЧИНА<sup>1</sup>, проф. О. В. ЯВОРСЬКИЙ<sup>2</sup>, канд. мед. наук Н. М. МАСЛОВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Чорноморський національний університет імені Петра Могили, Миколаїв

<sup>2</sup> Харківський національний медичний університет, Україна

Для розуміння механізмів одержання та аналізу візуальної інформації у зоровій системі запропоновано концепцію організації у ній інформаційних процесів, при розробленні якої використано поняття керованих та некерованих елементів. У розробленій схемі інформаційних процесів враховано етапи одержання і попереднього кодування візуальної інформації, здійснювані за участю клітин сітківки, а також її багатоканальної передачі. Підвищення економічності роботи зорової системи відбувається за рахунок скорочення обсягу інформації, що передається, шляхом виділення інформативних ознак об'єкта за участі механізмів короткочасної і довготривалої пам'яті.

*Ключові слова:* зорова система, інформаційні процеси, візуальна інформація.

Візуальне оточення сучасної людини суттєво змінилося за останні два десятиліття і, відповідно, змінилася його роль у процесі формування та функціонування зорової системи (ЗС). У теперішній час носії візуальної інформації можуть бути розділені на дві великі групи залежно від особливостей формування зображення та характеру його сприйняття. До першої групи належать паперові носії, інформація з яких сприймається у відбитому світлі, а символи, букви та картини є безперервними. Це традиційний вид носіїв інформації, вплив яких на стан ЗС багаторазово вивчався [1–5]. У відбитому світлі також працюють деякі електронні книги, які створені з використанням технології E-ink, так званого електронного паперу. До другої групи належать носії інформації, що самостійно світяться: це екрани різних електронних пристроїв (телевізорів, моніторів комп'ютерів, мобільних телефонів, смартфонів, комунікаторів, планшетів та ін.) [5–10]. До такого роду носіїв інформації ЗС не пристосована, оскільки так еволюційно склалося, що навколишній світ людина сприймає у відбитому світлі. Крім того, символи, букви та картини формуються на таких носіях з окремих точок (пікселів) і є дискретними, що також впливає на особливості зорового сприйняття інформації.

При народженні дитина має певну структурну і функціональну організацію ЗС та генетичну інформацію про її формування, що забезпечує організму максимальний пристосувальний ефект, а фактично в умовах сучасного життя найбільш якісне сприйняття зорової інформації. Першою умовою для формування ЗС у ранньому віці є світлова стимуляція сітківки. Далі у процесі адаптації до зовнішніх умов формуються складніші механізми зорового сприйняття. Завершення процесу, що перебігає нормально, є формування бінокулярної ЗС.

Зорове навантаження є найважливішим чинником, який формує ЗС. У багатьох дослідженнях адекватне віку навантаження забезпечує поліп-

шення якості зорових функцій, неадекватне або надмірне (візуально агресивне) — замість ефекту, що сприяє розвитку функцій та формуванню якісної ЗС, може спричинити виникнення зорової донозології та патології [5, 11, 12].

Дослідження останніх років показали, що як традиційні носії візуальної інформації (паперові), так і сучасні (електронні) значно впливають на процеси, що відбуваються в ЗС дітей і підлітків [5, 12–15]. Тривалі контакти з різними носіями візуальної інформації можуть призводити до розвитку донозологічних і патологічних станів ЗС, що певним чином пов'язано з її структурно-функціональною організацією та особливостями перебігу інформаційних процесів [13, 16–19].

Зорове сприйняття різних видів візуальної інформації вимагає формування специфічних механізмів, які дають змогу адаптуватися до різних умов візуальної діяльності. На початкових етапах сприйняття візуальної інформації, яка подається на різних носіях, відбувається формування функціональної системи, що забезпечує лише початкову, недосконалу відповідну адаптаційну реакцію ЗС [19, 20], яка допомагає справлятися з вирішенням зорових завдань. Однак для повноцінного пристосування необхідно, щоб у структурах системи виникли зміни, які збільшують її фізіологічну потужність. Ключовою ланкою механізму, що забезпечує цей процес, а отже, ключовою ланкою усіх форм фенотипової адаптації є взаємозв'язок між функцією і генетичним апаратом, якій існує у клітинах [20]. Через цей взаємозв'язок зорове навантаження у вигляді нових візуально діючих факторів призводить до формування структурного сліду в системах, відповідальних за адаптацію.

Метою цієї роботи було обґрунтування концепції перебігу інформаційних процесів у ЗС.

Для розуміння можливих механізмів адаптації ЗС до візуального навантаження необхідно врахувати її структурно-функціональну організацію,

яка забезпечує одержання, передачу та оброблення візуальної інформації. Для цього нами запропоновано узагальнену схему перебігу інформаційних процесів у ЗС (рисунок). При її побудові враховано і суттєво доповнено основні положення об'єктно-орієнтованої моделі селективної зорової уваги, яка ґрунтується на сучасних методах інтелектуального оброблення даних [21]. Метою авторів цієї об'єктно-орієнтованої моделі було отримання формалізованого клас-структурованого опису теорії зорової уваги. Запропонована модель базується на існуючих сьогодні уявленнях про механізми зорового сприйняття та описує інформаційні процеси у ЗС більше з позицій психології, ніж медицини. Окрім того, було використано підходи, запропоновані М. Л. Кочиною [22, 23].

Для аналізу структурно-функціональної організації ЗС на етапі одержання та первинного оброблення інформації було використано запропоновану схему перебігу інформаційних процесів (рисунок), визначено основні її функції, структурні елементи та отримано показники, які характери-

зують систему на цьому етапі. При розробленні схеми було використано поняття керованих і некерованих елементів ЗС. Керовані елементи змінюють свої властивості у процесі зорової діяльності під впливами центральних відділів зорового аналізатора, некеровані — беруть участь у процесах передачі й заломлення світла. До керованих елементів відносять екстраокулярні м'язи, м'язи сфінктера зіниць, циліарні м'язи кожного ока ЗС; до некерованих — оптичні елементи ока (рогівку, вологу передньої камери, склоподібне тіло), оскільки вони не змінюють свої параметри під впливом центрального відділу ЗС. Поділ структурних елементів ЗС на керовані та некеровані умовний, проте це дає змогу досліджувати процеси прийому, передачі і перероблення зорової інформації. Порушення будь-якої зі структур ЗС призведе до утруднення або неможливості нормального перебігу процесів сприйняття зорової інформації під час зорової діяльності.

У розробленій схемі враховано етапи одержання й попереднього кодування візуальної

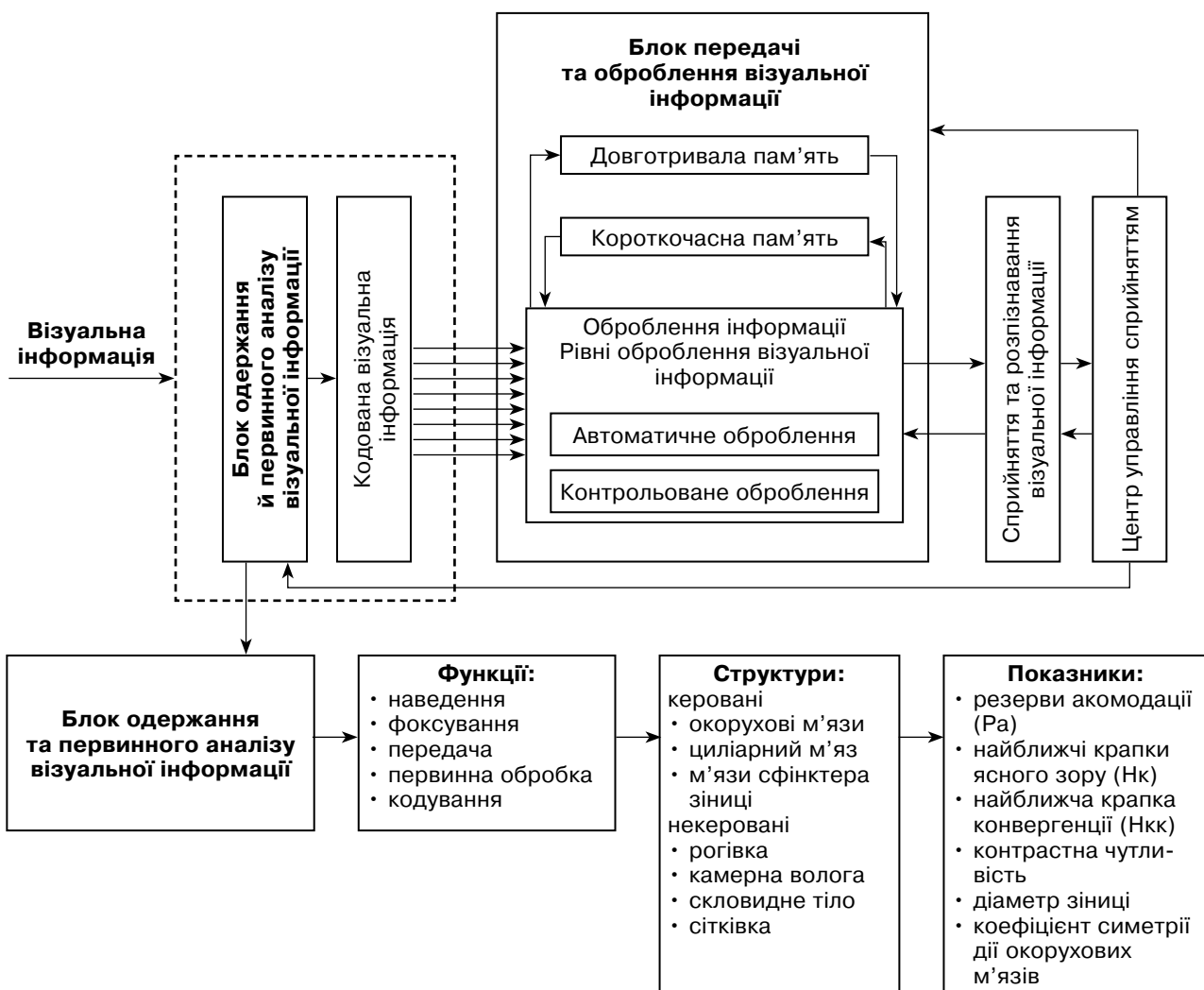


Схема перебігу інформаційних процесів у зоровій системі

інформації, здійснювані за участю клітин сітківки, а також багатоканальної передачі, підвищення економічності роботи системи, що відбувається за рахунок скорочення обсягу інформації, яка передається, шляхом виділення інформативних ознак об'єкта за участі механізмів короткочасної і довготривалої пам'яті. При побудові схеми і виділенні блоків ми деякою мірою абстрагувалися від анатомічних структур, що реалізують певні етапи оброблення інформації.

Після проходження через прозорі середовища кожного з очей, що створюють ЗС, світлові хвилі, які несуть необхідну про об'єкт сприйняття інформацію, потрапляють на сітківку, у структурі якої відбувається попереднє кодування інформації. Воно полягає у перетворенні світла різної частоти (довжини хвилі) у відповідні нервові імпульси, що надходять у наступний блок досліджуваної системи. Процеси, які відбуваються у блоці одержання й первинного аналізу візуальної інформації, регламентуються впливами з центру управління. Отримання якісного зображення об'єкта фіксації на сітківці кожного ока забезпечується механізмами відносної акомодатії та акомодативної конвергенції [24, 25]. Це відбувається за погодженою дією циліарних і ококорухових м'язів, що контролюється центральним механізмом фузії. Істотну роль у поліпшенні якості зображення на сітківці відіграють розміри зіниць очей. Діаметр зіниці змінюється не тільки залежно від рівня освітленості сітківки, а й при напрузі акомодатії, що обумовлено єдиною іннервацією циліарного м'яза, м'язів сфінктера зіниці та ококорухових м'язів [26–28].

Після блоку одержання й первинного аналізу візуальної інформації у кодованому вигляді інформація надходить до блоку передачі та оброблення візуальної інформації. У цьому блоці інформація передається по багатьох каналах, існування яких підтверджується анатомічно (наявність понад мільйона волокон зорового нерва, зв'язок кожного з волокон зі своїми рецептивними полями сітківки, відповідно, передача по них різної інформації про досліджуваний об'єкт). Уявлення про різні канали передачі інформації в центральній нервовій системі (ЦНС) підтверджуються й особливостями контрастної чутливості ЗС. Кодування інформації про контраст об'єктів і її передача можуть здійснюватися тільки по різних каналах, оскільки візуальний об'єкт подається у вигляді набору елементів, які належать до різних частотних і енергетичних діапазонів [29].

На рисунку всередині розглянутого блоку передачі та оброблення візуальної інформації не позначено структури, в яких відбувається оброблення візуальної інформації, а також різні варіанти зв'язків між ними, що виникають при цьому. До таких структур належать підкіркові й кіркові зорові центри (ядра), які являють собою скупчення нейронів, пов'язаних між собою. До підкіркових структур відносять таламус (основне сенсорне передавальне ядро), який отримує інформацію

від органів чуття і, у свою чергу, переадресовує її відповідним відділам сенсорної кори. У ньому є також неспецифічні зони, які пов'язані практично зі всією корою і забезпечують процеси її активації і підтримку уваги.

За наведеною схемою процеси оброблення інформації відбуваються у двох режимах: автоматичному і контрольованому. Обидва режими здійснюються за однаковими правилами, проте мають різні цілі. При автоматичному обробленні інформації всі об'єкти, що потрапляють у поле зору, сприймаються без особливого виділення конкретних деталей. Отримана інформація надходить до блоку управління, аналізується, у разі недостатньої її якості формуються сигнали, що керують роботою блоку прийому інформації. Умовно можна говорити про роботу системи у фоновому режимі, за участю свідомості, але поза селективною або вибірковою увагою.

У разі контрольованого оброблення інформації з усього її масиву, що надходить у блок передачі та оброблення візуальної інформації після кодування на сітківці, виділяється та її частина, яка необхідна для конкретних цілей у даний момент (наприклад, виділення якоїсь частини зображення або слів у тексті, які необхідно розпізнати з особливою точністю). Контрольоване оброблення візуальної інформації здійснюється при читанні, перегляді телепередач, огляді визначних пам'яток або інших видах цілеспрямованої зорової діяльності. При цьому зберігається і автоматичне оброблення, оскільки відбувається й підсвідоме сприйняття фону, на якому перебуває потрібний об'єкт.

Процес зорового сприйняття в центральному відділі відбувається за використанням цілого ряду механізмів, що включають зниження обсягу інформації, отриманої на сітківці кожного ока, шляхом послідовного її кодування, виділення певних ознак зображення, зіставлення з внутрішніми еталонами тощо. До цих процесів підключаються механізми короткочасної і довготривалої пам'яті, які прискорюють процес зорового сприйняття за рахунок використання попереднього знання про властивості об'єкта. Частина процесу оброблення візуальної інформації відбувається в автоматичному режимі, частина — цілеспрямовано.

Після проходження всіх етапів оброблення, кодування, зниження обсягу візуальна інформація аналізується у центральних відділах зорового аналізатора. У разі її недостатньої якості для розпізнавання або вирішення інших завдань (наприклад, оцінки дрібних деталей зображення), формуються команди, які викликають відповідне «перенастроювання» блоку одержання й первинного аналізу візуальної інформації, що відбувається за рахунок активації механізмів акомодатії та конвергенції. Для дослідження цих механізмів існують певні методи, а в теперішній час створено різні теорії їх функціонування [24–28].

Дослідження механізмів роботи блоку передачі та оброблення візуальної інформації має певну

складність. У теперішній час арсенал існуючих технічних засобів зводиться до пристроїв для запису електроенцефалограми (ЕЕГ), реєстрації викликаних потенціалів у різних відділах мозку, а також функціональної магніторезонансної томографії.

Вивчення фізіологічних основ зорового сприйняття зазвичай проводиться за допомогою макропотенціалів мозку, що визначаються за фоновою ЕЕГ, а також методом викликаних і подієвопов'язаних потенціалів, причому використання ЕЕГ має два різних аспекти. Перший пов'язаний із виявленням параметрів ЕЕГ, що мають відношення до кодування зорового стимулу, другий, більш традиційний, полягає у вивченні параметрів ЕЕГ окремих зон кори або показників їх спільної взаємодії при сприйнятті стимулів. Всі ці підходи дають змогу судити про процеси, що відбуваються в ЦНС, на основі існуючих уявлень щодо набору непрямих ознак. Крім того, існує великий арсенал психологічних і психофізіологічних методів, завдяки яким можна доповнити дані нейрофізіологічних досліджень. Однак навіть детальне розуміння механізмів перероблення візуальної інформації не дає змоги уникнути розвитку зорової патології у дітей та підлітків під впливом різних видів зорового навантаження.

#### Список літератури

1. *Полька Н. С., Яцковская Н. Я., Платонова А. Г.* Изменение функционального состояния зрительного анализатора детей школьного возраста в процессе работы с учебниками // Гигиена населенных мест. К., 2011. № 57. С. 354–357.
2. *Подригало Л. В.* Влияние текстов с разными параметрами удобочитаемости на офтальмогигиенические показатели у школьников // Гигиена населенных мест. К., 1999. № 35. С. 410–416.
3. *Подригало Л. В.* Гигиеническая оценка современной школьной издательской продукции и перспективы введения обязательной экспертизы // Вестн. гигиены и эпидемиологии. 2000. № 4 (2). С. 212–215.
4. *Подригало Л. В.* К вопросу гигиенической регламентации детской книги // Медицина сегодня и завтра. 2001. № 2. С. 158–159.
5. *Кочина М. Л., Яворский А. В., Евтушенко А. С.* Роль визуальной нагрузки в процессе формирования зрительной системы детей и подростков // Офтальмологический журн. 2015. № 4. С. 3–10.
6. Гігієнічна оцінка організації дозвілля підлітків у позашкільних ігрових комп'ютерних закладах та проблеми збереження їх здоров'я / Н. С. Полька, А. К. Вдовенко, О. В. Добрянська, М. С. Червона // Довкілля та здоров'я. 2003. № 3. С. 56–58.
7. *Грановская Р. М., Гришева Р. М., Третьякова Д. В.* Дети и компьютеры // Вопросы психического здоровья детей и подростков. 2001. № 1. С. 40–45.
8. *Давыдова Л. Е.* Компьютерные игры: психологический анализ // Вісн. Харківського університету. 2001. № 517. С. 35–38.
9. *Кривонос М. В., Подригало Л. В., Чеховська І. М.* Ігрові засоби відображення інформації та деякі показники гомеостазу організму школярів // Експериментальна та клінічна фізіологія і біохімія. 2002. № 4 (20). С. 82–84.
10. *Cole B. L.* Do video display units cause visual problems? – A bedside story about the processes of public health decision-making // Clin. Exp. Optom. 2003. Vol. 86, № 4. P. 205–220. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1444-0938.2003.tb03108.x>
11. *Кочина М. Л., Яворский А. В.* Концепция формирования зрительной системы детей и подростков под влиянием визуальной загрузки // Вісн. проблем біології і медицини. 2013. № 3 (2). С. 170–175.
12. *Danylchenko S. I., Yavorskyi A. V., Maslova N. M., Lad S. N.* Reactions of the visual system of children and adolescents in response to visual load / M. L. Kochina et al. // Fiziol. Zh. 2018. Vol. 64 (5). P. 77–87. doi: <https://doi.org/10.15407/fz64.05.077>
13. Возрастные особенности функциональной организации системы получения и первичной обработки визуальной информации / М. Л. Кочина, А. В. Яворский, С. Н. Лад, А. С. Евтушенко // Клиническая информатика и телемедицина. 2013. № 10 (9). С. 136–140.
14. *Кочина М. Л., Яворский А. В.* Обоснование подходов к коррекции зрительных расстройств у детей и подростков // Вісн. проблем біології і медицини. 2013. № 4 (1). С. 147–152.
15. *Кочина М. Л., Яворский А. В., Маслова Н. М.* Информационное обеспечение коррекции зрительных расстройств у детей и подростков // Український журн. медицини, біології та спорту. 2017. № 1. С. 96–103.

16. Effect of target spatial frequency on accommodative response in myopes and emmetropes / J. Taylor, W. N. Charman, C. O'Donnell, H. Radhakrishnan // J. 2009. № 9 (1). P. 1–14. doi: <https://doi.org/10.1167/9.1.16>
17. *Futyma E., Prost M. E.* Evaluation of the visual function in employees working with computers // *Klin. Oczna.* 2002. № 104 (3/4). P. 257–259.
18. *Godnig E. C.* Children and computer use: the impact on learning and visual development // *J. Behav. Optom.* 2002. № 13 (5). P. 115–118.
19. *Leat S. J., Shute R. H., Westall C. A.* Assessing children's vision: a handbook. Oxford; Boston: Butterworth. 1999. 394 p.
20. *Меерсон Ф. Э., Пшеничкова М. Г.* Адаптация к стрессорным ситуациям и физическим нагрузкам. М.: Медицина, 1988. 256 с.
21. *Жирякова И. А., Чмырь И. А.* Объектно-ориентированная модель селективного зрительного внимания // *Искусственный интеллект.* 2006. № 1. С. 12–22.
22. *Кочина М. Л.* Зрительный анализатор как биомеханическая система с обратной связью // *Медицинская информатика и проблемы математического моделирования.* К., 1991. С. 66–71.
23. *Кочина М. Л.* Зрительный анализатор как элемент системы «человек — машина» // *Гигиена населенных мест.* К., 2004. № 44. С. 276–279.
24. *Светлова О. В., Кошниц И. Н.* Современные биомеханические представления о теории аккомодации Гельмгольца // *Биомеханика глаза: сборник науч. тр. Московского НИИ глазных болезней им. Гельмгольца.* М., 2001. С. 142–160.
25. *Guthof R., Ludwig K.* Current aspects of human accommodation. Heidelberg: Kaden Verlag, 2003. 268 p.
26. *Navarro R.* The optical design of the human eye: a critical review // *J. Optometry.* 2009. № 2 (1). P. 3–18.
27. *Popiolek-Masajada A., Kasprzak H.* Model of the optical system of the human eye during accommodation // *Ophthalmic. Physiol. Opt.* 2002. № 22 (3). P. 201–208. doi: <https://doi.org/10.1046/j.1475-1313.2002.00024.x>
28. *Rozema J. J., Atchison D. A., Tassignon M. J.* Statistical eye model for normal eyes // *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2011. № 52 (7). P. 4525–4533. doi: <https://doi.org/10.1167/iovs.10-6705>
29. *Шелетин Ю. Е., Колесникова Л. Н., Левкович Ю. И.* Визоконтрастометрия. Измерение пространственных передаточных функций зрительной системы. Ленинград: Наука, 1985. 104 с.
30. *Яворский А. В.* Анализ особенностей формирования функциональной системы приема и первичной переработки визуальной информации // *Кибернетика и вычислительная техника.* 2012. № 170. С. 28–40.
31. *Wilson H. R.* Theories of infant visual development. Early visual development: Normal and abnormal; ed. K. Simon. New York: Oxford University Press, 1993. P. 560–572.

## КОНЦЕПЦИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ЗРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ЧЕЛОВЕКА

М. Л. КОЧИНА, А. В. ЯВОРСКИЙ, Н. М. МАСЛОВА

Для понимания механизмов получения и анализа визуальной информации в зрительной системе предложена концепция организации в ней информационных процессов, при разработке которой использованы понятия управляемых и неуправляемых элементов. В разработанной схеме информационных процессов учтены этапы получения и предварительного кодирования визуальной информации, осуществляемые при участии клеток сетчатки, а также ее многоканальной передачи. Повышение экономичности работы зрительной системы происходит за счет сокращения объема передаваемой информации путем выделения информативных признаков объекта при участии механизмов кратковременной и долговременной памяти.

*Ключевые слова:* зрительная система, информационные процессы, визуальная информация.

## CONCEPT OF INFORMATION PROCESSES ORGANIZATION IN HUMAN VISUAL SYSTEM

M. L. KOCHINA, O. V. YAVORSKY, N. M. MASLOVA

In order to understand the mechanisms of obtaining and analyzing visual information in the visual system, the concept of organization of information processes in it has been proposed. When developing it the concept of controlled and unmanaged elements has been used. The developed information process scheme takes into account the stages of obtaining and pre-coding of visual information carried out with the involvement of retinal cells, as well as its multichannel transmission. Improving the efficiency of visual system occurs by reducing the amount of transmitted information by highlighting the information features of the object through the mechanisms of short-term and long-term memory.

*Key words:* visual system, information processes, visual information.

Надійшла 24.10.2019