

Section 1. Biology

<https://doi.org/10.29013/EJTNS-23-3-3-10>

*Ganieva F. I.,
Mmamedov A. M.,
Agayeva A. H.,
Aliyeva D. M.,
Miryusifova Kh. M.,
Azerbaijan Medical University*

ELECTROPHYSIOLOGICAL STUDY OF RECONSTRUCTION OF INTERRELATIONS BETWEEN VISUAL STRUCTURES ON THE BACKGROUND OF DYSTROPHY

Abstract. The work presented by us is devoted to the analysis of the influence of the serotonergic system on the formation of relationships between the structures of the visual analyzer (colliculus superior, lateral geniculate body, visual cortex) on the background and in retinal pathology.

The studies were conducted on adult male rabbits kept in standard vivarium conditions. An electroencephalographic method was used to analyze and register the electrical activity of brain structures. The results are presented on the basis of spectral and coherent analysis of the electroencephalogram. An experimental model of retinal dystrophy was created by a single injection of monoiodoacetic acid into the ear vein. The spectral character of the electroencephalogram potentials changes against the background of experimental retinal dystrophy. It is known from the results obtained that under the influence of monoiodoacetic acid, the amplitude parameters of the electroencephalogram waves significantly decrease in almost all the studied structures and the waves shift to a higher frequency range.

After electrical stimulation of nR (nucleus raphe), the results of coherent analysis showed that its value significantly increased in all frequency ranges of waves, both between the visual cortex and subcortical structures, and between subcortical structures of the visual analyzer, which clearly indicates the activation of compensatory processes in the visual system of the brain.

Keywords: visual analyzer, electroencephalogram, dystrophy, coherent, spectral analysis.

*Ганиева Ф. И.,
Mamedov A. M.,
Агаева А. Х.,
Алиева Д. М.,
Miryusifova X. M.,
Азербайджанский Медицинский Университет*

ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ МЕЖДУ ЗРИТЕЛЬНЫМИ СТРУКТУРАМИ НА ФОНЕ ДИСТРОФИИ

Аннотация. Представленная нами работа посвящена анализу влияния серотонинергической системы на формирование взаимоотношений между структурами зрительного анализатора (colliculus superior, lateral geniculate body, visual cortex) на фоне и при патологии сетчатки.

Исследования проводились на взрослых кроликах-самцах, содержащихся в стандартных условиях вивария. Для анализа и регистрации электрической активности структур головного мозга использовали электроэнцефалографический метод. Результаты представлены на основании спектрального и когерентного анализа электроэнцефалограммы. Экспериментальную модель дистрофии сетчатки создавали однократным введением моноидоуксусной кислоты в ушную вену. Спектральный характер потенциалов электроэнцефалограммы изменяется на фоне экспериментальной дистрофии сетчатке. Из полученных результатов известно, что под влиянием моноидоуксусной кислоты практически во всех исследованных структурах значительно снижаются амплитудные параметры волн электроэнцефалограммы и происходит смещение волн в более высокочастотный диапазон.

После электрической стимуляции nR (nucleus raphe) результаты когерентного анализа показали, что его величина достоверно возростала во всех диапазонах частот волн, как между зрительной корой и подкорковыми структурами, так и между подкорковыми структурами зрительного анализатора, что однозначно свидетельствует об активации компенсаторных процессов в зрительной системе головного мозга.

Ключевые слова: зрительный анализатор, электроэнцефалограмма, дистрофия, когерентный, спектральный анализ.

Введение

Одной из актуальных проблем современной нейрофизиологии является пластичность нервных процессов, точнее способность нервной системы к адаптации путем оптимальной структурно-функциональной перестройки [1]. Моноаминергическая нейромодуляторная си-

стема головного мозга признана одним из важных компонентов эндогенных механизмов регуляции пластичности. К настоящему времени в литературе накоплено большое количество экспериментальных материалов по характеристике клеточных и системных механизмов участия этой нейротрансмиссии в регуляции

пластичности нейронов и межнейронных связей [8]. Понятно, что морфологические особенности организации моноаминергической нейротрансмиссии, основанные на феномене пространственной организации нервных процессов, свидетельствуют о необходимости изучения их роли в механизмах пластичности [3].

Результаты экспериментальных исследований доказывают, что динамические изменения, происходящие на разных уровнях системы зрительного анализатора, связаны не только с морфофункциональными особенностями ее клеточной организации, но и с активацией различных неспецифических регуляторных центров головного мозга [11; 7]. Именно поэтому изучение механизмов и закономерностей участия нейромодулирующих центров в функциональной регуляции зрительного анализатора стало в последние годы одной из основных проблем современной нейрофизиологии и невропатологии. В литературе имеются сведения о модулирующем влиянии электростимуляции nR на спектральные характеристики медленных потенциалов в структурах сенсорных систем головного мозга [2]. Помимо морфологических исследований, существует большое количество других исследований, посвященных роли 5-НТ-ергических систем в обработке зрительной, слуховой и вкусовой информации. На основании собранных экспериментальных данных установлено, что nR оказывает как тормозящее, так и возбуждающее действие на нейроны неокортекса. Считается, что множественные комплексные эффекты 5-НТ на обработку информации в зрительной коре связаны с его воздействием на разные типы рецепторов пирамидных интернейронов пятого слоя зрительной коры. Последний результат объясняется наблюдае-

мым изменением амплитуд различных потенциалов вследствие спонтанного торможения постсинаптических потенциалов [10]. На основании этих данных предполагается, что увеличение спектральной мощности медленных волн после электростимуляции nR можно рассматривать как физиологический эквивалент активирующего действия 5-НТ-ергической системы на уровне нейронов коры головного мозга. возбуждение [12]. В то же время установлено, что 5-НТ ограничивает возникновение долговременной синаптической пластичности во втором и третьем слоях зрительной коры [4]. В современной литературе собраны интересные сведения об участии 5-НТ-ергических нейронов в регуляции патологических процессов в ЦНС. В частности, установлено, что nR может участвовать в механизмах нарушений сна, депрессивных расстройств, нейродегенеративных заболеваний и психопатологических состояний в виде тревоги и депрессии [9].

Знания о механизмах пластичности нейронных систем базируются на современной концепции нейрореабилитации. Нейропластичность – это способность нервной системы адаптироваться посредством оптимальной структурной и функциональной реорганизации в ответ на эндогенные и экзогенные стимулы. Эта особенность обеспечивает адаптацию организма и его эффективное функционирование в изменяющейся внешней и внутренней среде. Пластичность нервной системы способствует закреплению изменений памяти, необходимых для восстановления функций после повреждения ЦНС [6]. Как известно, в литературе достаточно подробно описаны неспецифические системы, обладающие выраженными нейромодулярными эффектами

в регуляции различных функциональных активностей головного мозга. В частности, на уровне зрительной системы головного мозга были обнаружены 5-НТ-ергические волокна nR, в них обнаружены различные 5-НТ-рецепторы, среди которых 5-НТ1В-рецепторы чаще всего [5]. В литературе есть сообщения о том, что nR проецируется на наружное коленчатое тело (lateral geniculate body-LGD) и что дорсальные части LGD получают зрительные входы от сетчатки, а также противоположные волокна от зрительной коры [13]. По мнению некоторых авторов, эти производные следует рассматривать как компоненты неспецифических восходящих активирующих систем головного мозга.

Цель исследования. Исследованы нейрофизиологические механизмы участия серотонинергической (5-НТ-ергической) системы в пластичности зрительного анализатора при коррекции дисфункции, обусловленной экспериментальной дистрофией сетчатки (ЭД).

Материал и методы исследования. Исследования проводились на кроликах. Все электрофизиологические исследования проводились гуманно в соответствии с общепринятыми международными принципами Европейской конвенции об экспериментальных животных (2010/63/ЕС). Для регистрации ЭЭГ в корковые структуры (visual cortex) вставляли нихромовые электроды диаметром 0,5 мм а подкорковые структуры (LGD, CS) диаметром 0,1–0,15 мм. При регистрации и обработке экспериментальных данных использовался программно-аппаратный комплекс, подключенных к персональному компьютеру с фотостимулятором и рядом прикладных программ. Для биполярной электростимуляции нейромодуляторного центра использовали лабораторный электростиму-

лятор ЭСЛ-2 и следующие параметры стимуляции: амплитуда 3,0–5,0 В, частота 150–200 Гц, длительность одиночного импульса 0,4 мс, один сеанс электростимуляции. продолжительность 4–5 минут.

Для индуцирования ЭД сетчатки использовалась 2,0% монодоуксусная кислота (МЙУК). В исследовании когерентный и спектральный анализ ЭЭГ проводили с помощью системы BRAINSYS (Россия) с диапазоном разрешения 0,5–40 Гц. Для анализа спектрального состава ЭЭГ использовали метод быстрого преобразования Фурье. Достоверность внутригруппового и межгруппового сравнения показателей ЭЭГ определяли с помощью пакета программ ANOVA.

Результаты исследования и их обсуждение

Экспериментальные исследования проводились в несколько этапов. В первую очередь регистрировали ЭЭГ в исследуемых структурах зрительного анализатора. В дальнейшем был проведен спектральный и когерентный анализ ЭЭГ. Затем проводили спектральный и когерентный анализ ЭЭГ в условиях экспериментальной патологии сетчатки. Анализ полученных результатов представлен в сравнительном виде (Рис. 1, 2).

Из анализа полученных результатов известно, что у контрольных животных характерные признаки распределения спектров максимальной амплитуды первичных зрительных потенциалов коры головного мозга на частотах 2–3 и 5–6 Гц обычно сопровождаются преобладание дельта-ритмов ЭЭГ. Аналогичная картина наблюдается и в распределении пиковых значений амплитуды спектральных признаков для потенциалов LGD. Однако при этом максимальные уровни спектральных характеристик изменены и колеблются между 4–5 Гц и 9–10 Гц (Рис. 1).

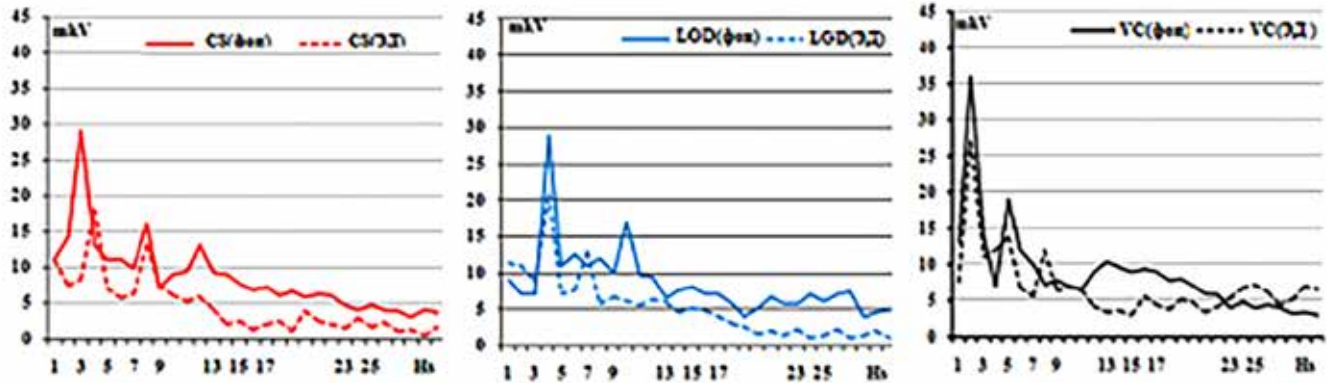


Рисунок 1. Спектральный анализ ЭЭГ в структурах анализатора зрения до и после ЭД

Спектральный характер потенциалов ЭЭГ изменяется на фоне ЭД в сетчатке. Таким образом, в результате дисфункции анализатора, расположенного на уровне сетчатки, снижается амплитуда основного пика спектральной характеристики ЭЭГ

в дельта-диапазоне частот и второй максимум уровня спектрограммы в тета-диапазоне частот. Практически во всех структурах наблюдается заметное снижение амплитуды и сдвиг в более высокочастотный диапазон ЭЭГ (Рис. 2).

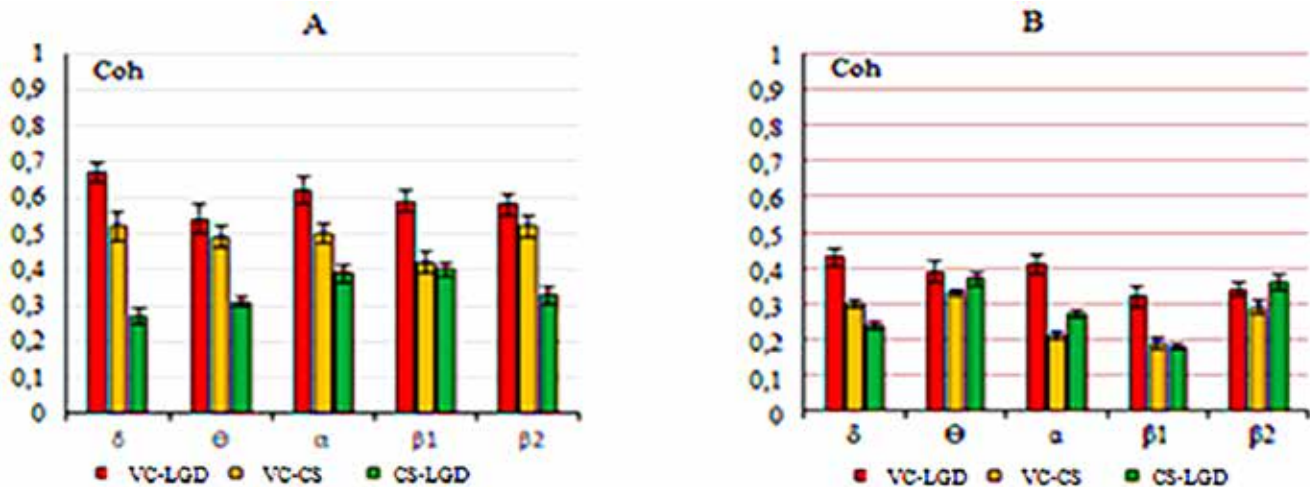


Рисунок 2. Когерентный анализ ЭЭГ в структурах зрительного анализатора до и после ЭД

На следующем этапе в сравнительной форме представляли изменения электрической активности структур зрительного анализатора при стимуляции nR до и после ЭД (Рис. 3).

Результаты анализа фоновых спектров ЭЭГ после воздействия электростимуляции 5-НТ-ергической системы показали, что в нынешней экспериментальной ситуации, основной

максимальный уровень спектров в подкорковых структурах (VC и CS) смещается в более высокочастотную (4–5 Hz и 9–10 Гц) область ЭЭГ. В спектрах потенциалов LGD вследствие воздействия nR наблюдается трансформация бимодальной формы спектров ЭЭГ в мономодальную, выражаемую пиковыми значениями амплитуд спектра в диапазоне 4–5 Гц.

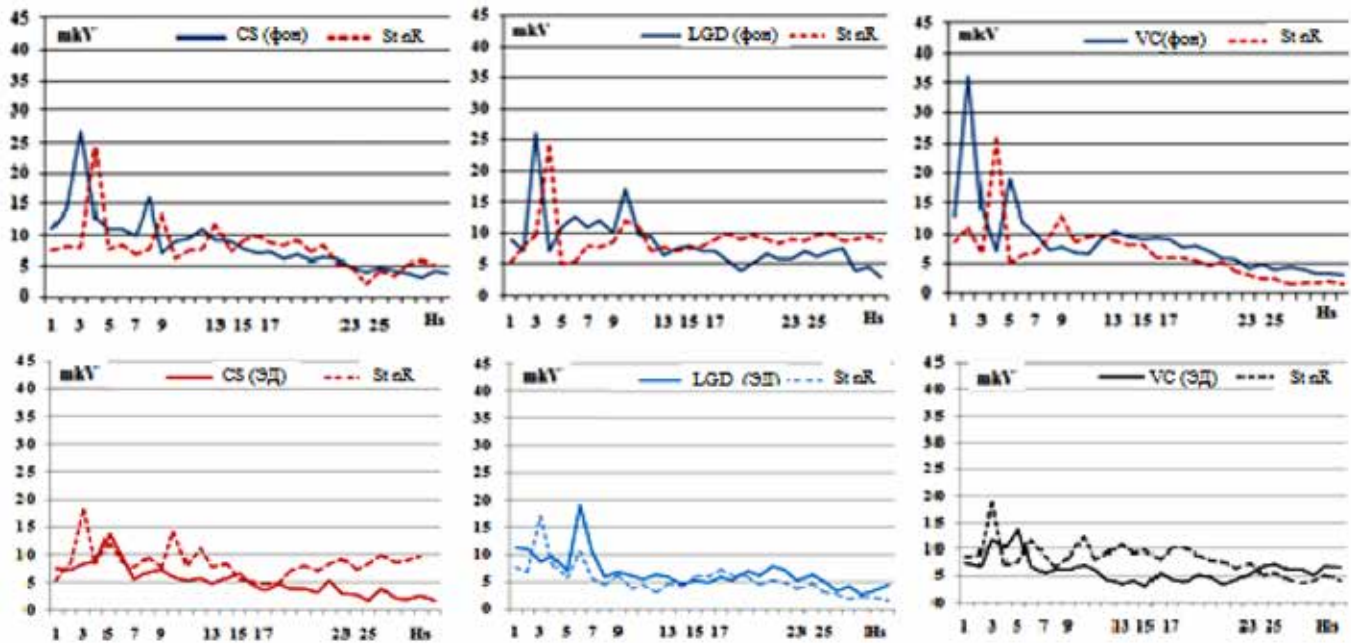


Рисунок 3. Влияние электростимуляции nR на спектральные характеристики фоновых потенциалов ЭЭГ центральных структур зрительного анализатора

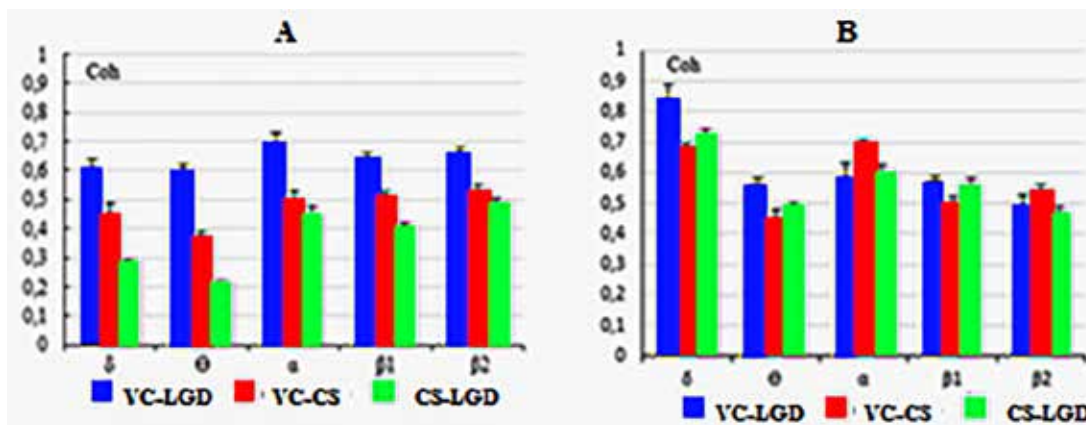


Рисунок 4. Влияние электростимуляции nR на когерентные характеристики фоновых потенциалов ЭЭГ центральных структур зрительного анализатора

Это соответствует увеличению генерации потенциалов дельта-диапазона после воздействия электростимуляции 5-НТ-ергической системы. Он сохраняется в том же частотном интервале за счет влияния nR, образующегося в условиях ЭД и максимальный уровень которого выражен в диапазоне 2–3 Гц. Аналогичные изменения наблюдаются в спектральном характере потенциалов ЭЭГ на уровне CS и LGD (Рис. 3).

Из представленного нами рисунка видно, что на начальном этапе прямой электростимуляции nR значения коэффициентов Coh. между анализируемыми структурами анализатора значительно снижены. В постстимуляционной фазе заметно повышение уровня когерентных связей. Таким образом, более высокие значения Coh. локализуются в дельта-диапазоне частот ЭЭГ, смещаясь из альфа-

диапазона в относительно низкочастотный диапазон, что соответствует частоте ритмической активности, характерной для фоновой активности nR-нейронов. Следует отметить, что при этом происходит увеличение средних значений коэффициентов когерентности как между корково-подкорковыми структурами, так и между подкорковыми структурами зри-

тельного анализатора. Если сравнить средние значения Coh. при непосредственной стимуляции и стадии после ее воздействия, то можно увидеть не только ярко выраженные эффекты восстановления формы распределения коэффициентов Coh., при этом можно наблюдать значительное увеличение значений Coh. до 0,8 и более в дельта-диапазоне (Рис. 4).

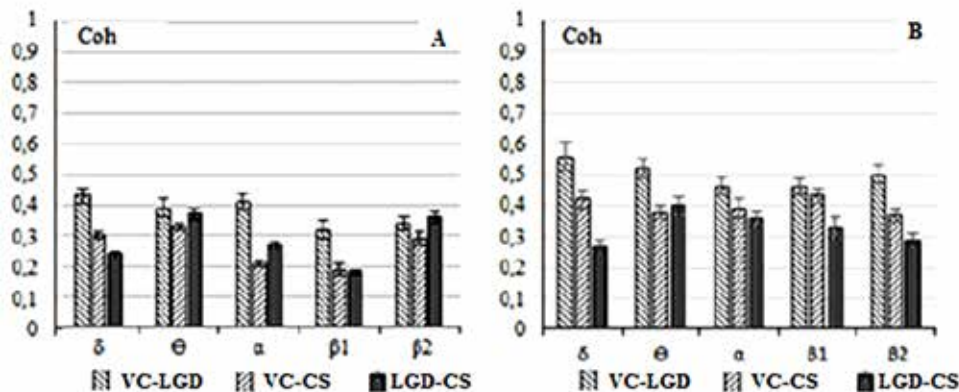


Рисунок 5. Влияние электростимуляции nR на спектральные характеристики фоновых потенциалов ЭЭГ центральных структур зрительного анализатора в условиях ЭД

В условиях ЭД электрическая стимуляция nR-нейронов как между корковыми, так и подкорковыми структурами анализатора Coh. вызывает увеличение средних значений коэффициентов. В это время относительно высокие значения Coh наблюдаются в паре LGD–VC в дельта диапазоне EEG, что является характеристикой фоновой активности анализатора. Также стоит отметить, что увеличение когерентных связей под влиянием nR характерно для всех рассмотренных межструктурных связей, что наблюдается во всех диапазонах исследуемых частот ЭЭГ (Рис. 5).

Выводы (или заключение)

1. В условиях хронических экспериментов, проведенных на кроликах, показано, что пространственная организация потенциалов ЭЭГ структур зрительного анализатора головного мозга характеризуется стабиль-

ностью уровня когерентных связей во всем диапазоне изучаемых частот (δ , θ , α , β_1 и β_2). В это время максимальный уровень когерентности между первичными VC и CS наблюдается в альфа-диапазоне ЭЭГ, а минимальные уровни связи более характерны для тета-частот ЭЭГ между подкорковыми структурами анализатора.

2. Результаты спектрально-когерентного анализа показали, что формирование экспериментальной дистрофии сетчатки сопровождается перестройкой пространственной синхронизации ЭЭГ в центральных структурах зрительного анализатора. В это время уровни когерентности потенциалов на фоне дисфункции проявляют высокую устойчивость во времени.

3. Установлено, что при непосредственном раздражении nR, как между зрительной корой

и подкорковыми структурами, так и между подкорковыми структурами зрительного анализатора, характерно значительное увеличе-

ние Соh., что свидетельствует об активации компенсаторных систем.

Список литературы:

1. Харченко Е. П., Тельнова М. Н. Пластичность мозга: ограничения и возможности // Ж. невр.и психатрии, – Т. 1.– No. 2. 2017.– С. 8–13.
2. Cransac H., Cottet-Emard J. M., Hellstrom S. et al. Specific sound-induced noradrenergic and serotonergic activation in central auditory structures // Hear Res. Amsterdam: – Vol. 118.– No. 1. 1998.– P. 151–156.
3. Freitas R. L. Serotonergic neurotransmission in the dorsal raphe nucleus recruits in situ 5-HT(2A/2C) receptors to modulate the postictal antinociception // New York, Exp. Neurol.– Vol. 213.– No. 2. 2008.– P. 410–418.
4. Jang H. J., Cho K. H., Park S. W. et al. Layer-specific serotonergic facilitation of IPSC in layer 2/3 pyramidal neurons of the visual cortex // J. Neurophysiol. Washington: – Vol. 107.– No. 33. 2012.– P. 407–416.
5. Jasmine D. S., Qiufen J., Melanie B., Andrew L., Liang L., Jesseba F., Fei D., Jinxia W., Yulong L., Chinfei C. Brainstem serotonin neurons selectively gate retinal information flow to thalamus. Neuron.– Vol. 111.– No. 5. 2023.– P. 711–726.e11.
6. Matt Puderbaugh, Prabhu D. Emmady Neuroplasticity In: Stat Pearls. Treasure Island (FL): Publishing; 2023. PMID: 32491743. Bookshelf ID: NBK557811.
7. Miryusifova Ch. M., Mohammadova S. I., Azizov A. A. et al. Role of serotonin and noradrenalin in mechanisms of hypothalamic regulation of experimental dystrophy of the retina // SAJEB: Hamelmalo: – Vol. 5.– No. 4. 2015.– P. 137–142.
8. Sinakevitch I. T., Gabriella P., Hans-Joachim Brian H. S. et al. Biogenic amines and neuromodulation of animal behavior // Front Syst Neurosci. 2018.– P. 1–3.
9. Son Y. D., Cho Z. H., Kim H. K. et al Glucose metabolism of the midline nuclei raphe in the brainstem observed by PET-MRI fusion imaging // Neuroimage, San Diego: – Vol. 59.– No. 2. 2012.– P. 1094–1097.
10. Xiang Z., Prince D. A. Heterogeneous actions of serotonin on interneurons in rat visual cortex // New York: J. Neurophysiol., – Vol. 89.– No. 3. 2003.– P. 1278–1287.
11. Yokogawa T., Hannan M. C., Burgess H. A. The dorsal raphe modulates sensory responsiveness during arousal in zebrafish // Washington: J. Neuroscience.– Vol. 32.– No. 43. 2012.– P. 15205–15215.
12. Zhang N., Townes-Anderson E. Regulation of structural plasticity by different channel types in rod and cone photoreceptors // Washington: J. Neuroscience.– Vol. 67.– No. 5. 2002.– P. 16–22.
13. URL: <https://doi.org/10.7554/eLife.46464>