

УДК 612.592:[612.82:577.352.56]:612.017.2

3.3.3 Патологическая физиология

DOI: 10.37903/vsgma.2023.2.2 EDN: ZWLLIW

ЭФФЕКТ КРИОТЕРАПИИ НА БИОЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ЛОБНОЙ И ЦЕНТРАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ ГОЛОВНОГО МОЗГА

© Миклашевич О.С., Соловьев А.В., Ковальчук А.А., Зинчук В.В.

*Гродненский государственный медицинский университет, 230009, Республика Беларусь, Гродно, ул. Горького, 80**Резюме*

Цель. Оценить эффект кратковременного общего охлаждения (криотерапии) на биоэлектрическую активность лобной и центральной области головного мозга.

Методика. Проведен анализ индекса Робинсона и биоэлектрической активности лобной и центральной области головного мозга у 19 лиц мужского пола в возрасте от 20 до 23 лет после выполнения кратковременного общего охлаждения.

Результаты. В лобной области левого полушария амплитуда β_1 -ритма увеличивалась после курса холодого воздействия, а в правом полушарии амплитуда δ_1 -ритма через 15 суток снижалась. Изменения электроэнцефалограммы центральной области после кратковременного общего охлаждения характеризуются увеличением амплитуд β_1 - и β_2 -ритмов, через 15 суток данная тенденция сохраняется. Межполушарная асимметрия в лобной области была выявлена только по δ_1 -ритму через 15 суток после прекращения курса, а в центральной области была выражена по δ_2 -ритму, а через 15 суток по δ_1 -ритму.

Заключение. Проведение процедуры кратковременного общего охлаждения организма меняет биоэлектрическую активность головного мозга, что может влиять на адаптационные механизмы и мобилизацию его функциональных систем.

Ключевые слова: электроэнцефалограмма, гипотермия, адаптация, потенциал, индекс Робинсона

EFFECT OF CRYOTHERAPY ON THE BIOELECTRIC ACTIVITY OF THE FRONTAL AND CENTRAL REGION OF THE BRAIN

Miklashevich O.S., Solovyov A.V., Kovalchuk A.A., Zinchuk V.V.

*Grodno State Medical University, 80, Gorkogo St., 230009, Grodno, Republic of Belarus**Abstract*

Objective. To evaluate the effect of short-term general cooling (cryotherapy) on the bioelectrical activity of the frontal and central regions of the brain.

Methods. The analysis of the Robinson index and the bioelectrical activity of the frontal and central regions of the brain was carried out in 19 males aged 20 to 23 years after a short-term general cooling.

Results. In the frontal region of the left hemisphere, the amplitude of the β_1 rhythm increased after a course of cold exposure, and in the right hemisphere, the amplitude of the δ_1 rhythm decreased after 15 days. Changes in the electroencephalogram of the central region after a short-term general cooling are characterized by an increase in the amplitudes of β_1 - and β_2 -rhythms, after 15 days this trend persists. Interhemispheric asymmetry in the frontal region was detected only by the δ_1 rhythm 15 days after the termination of the course, and in the central region it was expressed by the δ_2 -rhythm, and after 15 days by the δ_1 -rhythm.

Conclusions. Carrying out the procedure of short-term general cooling of the body changes the bioelectrical activity of the brain, which can affect the adaptive mechanisms and mobilization of functional systems.

Keywords: electroencephalogram, hypothermia, adaptation, potential, Robinson index

Введение

Криотерапия является технологией, которая посредством действия экстремального холода на организм способствует активизации его резервных возможностей, иммунной системы, улучшению

показателей физической работоспособности [8]. При реализации метода криотерапии импульсы, поступающие от кожных рецепторов в высшие регуляторные центры, изменяют нейроиммуноэндокринную регуляцию метаболических процессов, направленных на повышение неспецифической резистентности организма [1]. Однако, у некоторых лиц данная процедура вызывает обратный процесс, приспособительная реакция на холод может осуществляться с развитием напряжения адаптационных механизмов, что приводит к снижению функциональных резервов организма и проявляется индивидуально-типологическими особенностями изменения электроэнцефалограммы головного мозга [7].

Высшей структурой интеграции всех органических процессов и организации активного взаимодействия человека с окружающей действительностью является головной мозг [12]. Наиболее информативными являются электрофизиологические характеристики деятельности человека в различных условиях её выполнения [5]. Оценка динамики паттернов электрической активности мозга может изменяться при различных дезадаптационных нарушениях [3].

Цель исследования – оценить эффект кратковременного общего охлаждения (криотерапии) на биоэлектрическую активность лобной и центральной области головного мозга.

Методика

В исследовании приняли участие 19 мужчин в возрасте 20-23 лет, которые давали добровольное согласие для его осуществления в соответствии с рекомендациями и решением Комитета по биомедицинской этике УО «Гродненский государственный медицинский университет».

Низкотемпературное воздействие на исследуемых осуществлялось при помощи криокамеры «Криомед 20/150-01» (ООО «Мед-Крионика», Россия) в следующем режиме: время действия составляло 120 с, при первом сеансе температура среды имеет значение -90°C с последующим её снижением на -5°C до -120°C . Курс составил 10 процедур ежедневно. Измерение температуры тела осуществлялась электронным термометром DT-501 (фирма A&D, Япония) до и после сеанса.

Для регистрации биоэлектрической активности мозга использовали энцефалограф «Энцефалан-ЭЭГР-19/26» в модификации «Мини» («Медиком МТД ООО НПКФ, Россия), который позволяет определять амплитуду биоэлектрической активности в различных ее областях головного мозга. Использовали 8 канальную запись ЭЭГ (F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2) с применением схемы расположения электродов по общепринятой системе «10-20%», рекомендованной Международной федерацией клинических нейрофизиологов (IFCN), в стандартных отведениях, включающих основные зоны правого и левого полушарий головного мозга. Осуществлялось измерение амплитуды следующих ритмов: δ (0,5-4 Гц), β (14-30 Гц), α (8-14 Гц) и θ (4-6 Гц) [9]. В качестве референтных использовали ушные электроды.

Проводилась фоновая запись электроэнцефалограммы (в течение 5 минут) в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами в условиях сенсорной депривации. Запись выполнялась при ровном дыхании, без глубоких вдохов, кашля и сглатываний в расслабленном положении сидя, при постоянной температуре 22°C окружающей среды в затемненном помещении и полной тишине в состоянии максимально возможного эмоционального покоя и мышечной релаксации обследуемого. При выполнении данной процедуры соблюдались «Рекомендации экспертного совета по нейрофизиологии Российской противосудорожной лиги по проведению рутинной ЭЭГ» [2]. Электроэнцефалографию проводили до курса общего охлаждения, сразу после курса и через 15 суток после его завершения.

Для количественной оценки адаптационного потенциала организма применялся также индекс Робинсона (ИР), позволяющий оценивать уровень обменно-энергетических процессов, происходящих в организме, который рассчитывался по формуле: $\text{ИР} = \text{ЧССп} \times \text{АДС}/100$, где ЧССп – ЧСС в состоянии относительного покоя, уд/мин; АДС – систолическое АД, мм рт.ст. Его уменьшение отражает усиление функциональных резервов сердечно-сосудистой системы, а увеличение, наоборот, ухудшение.

Статистическая обработка полученных данных с использованием программы «Statistica 10.0». Проверку распределения количественных данных на нормальность осуществляли с помощью критерия Шапиро-Уилкоксона, Колмогорова-Смирнова. Сравнения количественных данных для зависимых групп проводили с помощью критерия Вилкоксона. Данные представлены в виде медианы и межквартильного размаха (Ме [25%; 75%]). Пороговым значением уровня статистической значимости принято значение 0,05.

Результаты исследования и их обсуждение

К концу холодового воздействия температура тела исследуемых в аксиллярной области снижалась на $0,2 (0,3;0,1) ^\circ\text{C}$ с последующим ее восстановлением до прежнего уровня в течение 10-15 минут. Индекс Робинсона после криовоздействия уменьшался до $86,4 [84;93,6]$ $p<0,05$ по сравнению с исходным $96 [92,5;100,8]$ $p<0,05$ и через 15 суток его величина была $92,4 [86,4;97,5]$ $p<0,05$, что свидетельствует об улучшении обменно-энергетических процессов сердечно-сосудистой системы [11].

В табл. 1 представлен характер изменения основных параметров электроэнцефалограммы лобной области головного мозга при данном холодовом воздействии. Таблица 1. Изменения амплитуды электроэнцефалограммы лобной области при холодовом воздействии, Ме [25%; 75%]

Ритм	Холодовое воздействие					
	до		после		через 15 суток	
	левое полушарие	правое полушарие	левое полушарие	правое полушарие	левое полушарие	правое полушарие
δ_1 , мкВ	14,56 [13,07;25,7]	17,96 [12,08;23,57]	17,14 [13,85;22,32]	22,29 [13,17;29,56]	19,81 [14,77;33,47]	16,09 [11,12;18,93] # \$
δ_2 , мкВ	13,24 [7,87;16,52]	11,17 [9,74;14,04]	10,93 [10,25;16,48]	12,54 [8,4;18,22]	10,43 [8,87;12,77]	11,5 [9,01;13,83]
θ , мкВ	10,09 [7,79;14,91]	9,12 [8,13;12,49]	11,15 [9,22;5,17]	9,66 [8,12;15,57]	11,82 [8,8;13,23]	10,93 [8,78;14,5]
α , мкВ	13,06 [8,94;17,8]	12,68 [8,72;17,66]	14,61 [12,36;19,02]	15,14 [11,63;19,01]	14,87 [8,68;19,68]	14,43 [8,7;19,84]
β_1 , мкВ	7,68 [5,66;10,27]	8,84 [6,42;10,39]	9,63 [8,49;11,62] *	9,11 [7,62;11,82]	8,77 [6,66;9,75]	8,93 [7,95;11,82]
β_2 , мкВ	6,07 [4,51;7,42]	6,0 [4,48;7,84]	7,07 [5,8;9,59]	6,89 [5,65;10,55]	6,34 [5,06;7,13]	6,35 [4,43;7,52]

Примечание: достоверные изменения относительно до – * и после холодового воздействия – #; между полушариями – \$

В левом полушарии этого региона наблюдалось увеличение β_1 -ритма на $25,4\%$ ($p<0,05$) после курса криотерапии. Показано, что возрастание амплитуды β -ритма может быть, как в ситуации внимания, при напряжении, эмоциональном возбуждении, при решении сложных вербальных задач, так и связано со стрессовой реакцией на экспериментальную ситуацию [10]. Изменений по δ -, β_2 -, α - и θ -ритмам в этом регионе не было выявлено. В правом полушарии в лобной области было установлено снижение только δ_1 -ритма на $38,5\%$ ($p<0,05$) через 15 суток после курса холодового воздействия. Появление δ -активности вне глубокого сна свидетельствует об уменьшении уровня активности таламуса и таламокортикальных путей, в частности, а также ретикулярной формации головного мозга [15, 17]. Для изучения стресс-реакции организма оправдано использование различных сигналов электроэнцефалограммы лобных долей для непрерывного мониторинга в реальном времени [13].

Межполушарный градиент для этого отдела был выявлен только через 15 суток после прекращения сеанса в лобной доле по δ_1 -ритму (рис. 1), проявляющийся в увеличении его асимметрии слева ($23,2\%$; $p<0,05$).

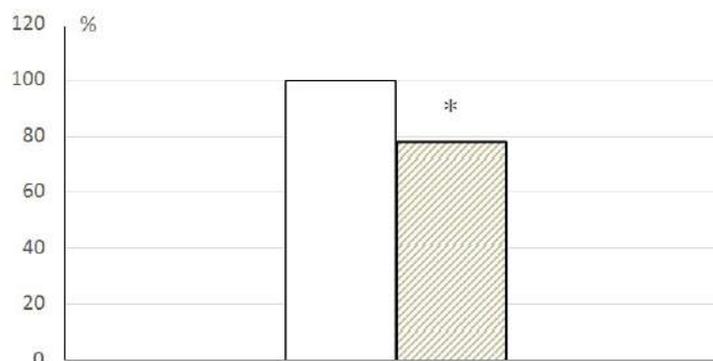


Рис. 1. Межполушарный градиент лобной области головного мозга по δ_1 -ритму через 15 суток после кратковременного общего охлаждения: левое (□) и правое полушария (▨). * – достоверно относительно левого полушария

Асимметричные паттерны электрической активности лобной доли головного мозга отражают тенденции приближения и избегания, при этом стабильность относительной активации правого полушария связана с эмоциями/мотивацией ухода, а активация левого полушария связана с приближением и положительным аффектом [14].

В табл. 2 отражены изменения биоэлектрической активности центральной области головного мозга. После курса холодового воздействия в левом полушарии отмечался прирост амплитуды $\beta 1$ -ритма на 20,3% ($p < 0,05$) и $\beta 2$ -ритма на 27,7% ($p < 0,05$), что отражает повышение активности возбуждающих ретикулярных структур ствола мозга [4]. Показано, что $\beta 1$ -ритм может быть использован в качестве биомаркера в исследованиях для отражения изменений функционального состояния сенсомоторной коры [16]. Через 15 суток после курса отмечалось, наоборот, снижение амплитуды $\beta 2$ -ритма на 16,7% ($p < 0,05$), а в правом полушарии увеличилась только амплитуда $\beta 2$ -ритма на 22,6% ($p < 0,05$).

Таблица 2. Изменения амплитуды электроэнцефалограммы центральной области при холодовом воздействии, Ме [25%; 75%]

Ритм	Холодовое воздействие					
	до		после		через 15 суток	
	левое полушарие	правое полушарие	левое полушарие	правое полушарие	левое полушарие	правое полушарие
$\delta 1$, мкВ	17,35 [11,39;24,91]	17,27 [13,67;20,14]	18,04 [12,62;23,33]	19,56 [13,18;30,32]	19,25 [13,24;30,54]	14,05 [9,32;19,79] \$
$\delta 2$, мкВ	12,34 [6,82;16,23]	11,28 [8,97;14,8]	10,96 [8,35;13,81]	11,51 [8,89;18,73] \$	10,58 [7,76;14,78]	12,25 [9,08;18,54]
Θ , мкВ	10,17 [7,42;13,87]	10,14 [8,51;12,19]	9,64 [8,38;15,65]	9,64 [8,16;13,29]	11,38 [8,25;12,88]	11,71 [8,52;13,52]
α , мкВ	14,19 [10,61;18,83]	13,79 [11,15;21,11]	15,74 [13,12;19,99]	16,82 [13,77;19,73]	15,16 [9,94;22,98]	15,12 [11,55;22,31]
$\beta 1$, мкВ	8,1 [6,68;11,03]	9,3 [7,17;11,47]	9,74 [8,19;11,53] *	10,09 [7,53;12,17]	8,34 [7,76;10,19]	8,73 [7,74;10,7]
$\beta 2$, мкВ	5,75 [4,58;7,68]	6,45 [4,48;7,72]	7,34 [5,73;10,7] *	7,05 [6,26;8,83] *	6,29 [5,21;7,23] #	6,67 [5,09;7,68]

Примечание: достоверные изменения относительно до – * и после холодового воздействия – #; между полушариями – \$

Как показано на рис. 2, асимметрия полушарий центральной области после влияния низкотемпературного воздействия проявлялась по $\delta 2$ -ритму и составила 5,0% ($p < 0,05$) справа, а через 15 суток более активным было отмечено левое полушарие по $\delta 1$ -ритму (37,0%, $p < 0,05$). Согласно современным исследованиям, правое и левое полушария принимают разное по характеру и по значимости участие в осуществлении различных функций, которые выполняются при их совместном интегрированном взаимодействии [6].

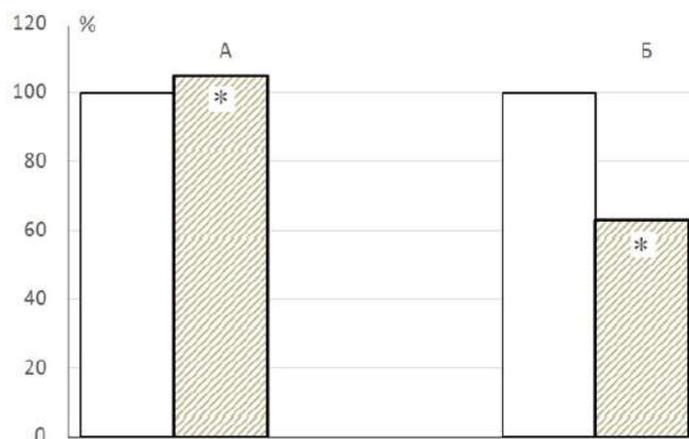


Рис. 2. Межполушарный градиент после кратковременного общего охлаждения по $\delta 2$ -(А) ритму и через 15 суток $\delta 1$ -(Б) ритму центральной области головного мозга: левое (□) и правое полушарие (▨). * – достоверно относительно левого полушария.

Усиление интеграции, вызванное ритмически организованной оптической стимуляцией с частотой 10 Гц, является одним из факторов, способствующих увеличению результативности выполнения когнитивных задач [5]. Снижение степени невротизации пациентов, направленных на формирование функциональных связей мозга, отражается в уменьшении количественных показателей реакции усвоения ритмов фотостимуляции β -диапазона и связано с понижением возбудимости нейронов коры больших полушарий [3]. Можно предполагать, согласно нашим данным, что выявленные изменения биоэлектрической активности мозга отражают реализацию позитивного эффекта процедуры криотерапии.

Таким образом, проведение процедуры кратковременного общего охлаждения организма меняет биоэлектрическую активность головного мозга, что может влиять на адаптационные механизмы и мобилизацию функциональных систем.

Выводы

1. В конце курса криотерапии, и на протяжении 15 суток после происходит увеличение адаптационного потенциала организма исследуемых, проявляющееся в снижении индекса Робинсона. В лобной области левого полушария амплитуда β 1-ритма увеличивалась после курса холодового воздействия, а в правом полушарии значение δ 1-ритма через 15 суток снижено.
2. Электроэнцефалограмма центральной области после кратковременного общего охлаждения характеризуется увеличением амплитуд β 1- и β 2-ритмов, через 15 суток данная тенденция сохраняется. Межполушарная асимметрия в лобной области выявлена только по δ 1-ритму через 15 суток после прекращения курса, а в центральной области выражена по δ 2-ритму, а через 15 суток по δ 1-ритму.

Литература (references)

1. Агаджанян Н.А., Быков А.Т., Медалиева Р.Х. Физиологические и терапевтические аспекты экстремальных общих воздушных криогенных воздействий // Экология человека. – 2012. – №2. – С. 15-21. [Agadzhanjan N.A., Bykov A.T., Medalieva R.H. *Jekologija cheloveka*. Human Ecology. – 2012. – N2. – P. 15-21. (in Russian)]
2. Беляев О.В., Самыгин Д.В. Рекомендации экспертного Совета по нейрофизиологии Российской противозипилептической Лиги по проведению рутинной ЭЭГ // Эпилепсия и пароксизмальные состояния. – 2016. – Т.8, №4. – С. 99-108. [Beljaev O.V., Samygin D.V. *Jepilepsija i paroksizmal'nye sostojanija*. Epilepsy and Paroxysmal Conditions. – 2016. – V.8, N4. – P. 99-108. (in Russian)]
3. Дик О.Е. Динамика паттернов электрической активности мозга при дезадаптационных нарушениях // Успехи физиологических наук. – 2022. – Т.53, №1. – С. 34-51. [Dik O.E. *Uspehi fiziologicheskikh nauk*. Progress in Physiological Science. – 2022. – V.53, N1. – P. 473-477. (in Russian)]
4. Изнак А.Ф., Изнак Е.В., Яковлева О.Б. и др. Нейрофизиологические показатели эффективности терапии депрессии позднего возраста // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. – 2012. – Т.112, №8. – С. 49-55. [Iznak A.F., Iznak E.V., Jakovleva O.B. i dr. *Zhurnal nevrologii i psixiatrii im. S.S. Korsakova*. S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry. – 2012. – V.112, N8. – P. 49-55. (in Russian)]
5. Каратыгин Н.А., Коробейникова И.И., Перцов С.С. Влияние ритмически организованной оптической стимуляции на результативность когнитивной деятельности человека и пространственные характеристики альфа-диапазона ЭЭГ // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 2022. – Т.173, №4. – С. 414-421. [Karatygin N.A., Korobejnikova I.I., Percov S.S. *Bjulleten' jeksperimental'noj biologii i mediciny*. Bulletin of Experimental Biology and Medicine. – 2022. – V.173, N4. – P. 414-421. (in Russian)]
6. Красильников Г.Т., Косенко В.Г., Крачко Э.А. и др. Психологическое и клиническое значение функциональной асимметрии головного мозга // Социальная и клиническая психиатрия. – 2019. – Т.29, №4. – С. 100-103. [Krasil'nikov G.T., Kosenko V.G., Krachko Je.A., i dr. *Social'naja i klinicheskaja psixiatrija*. Social and Clinical Psychiatry. – 2019. – V.29, N4. – P. 100-103. (in Russian)]
7. Кривоногова Е.В., Кривоногова О.В., Поскоотинова Л.В. Индивидуально-типологические особенности реактивности ЭЭГ-ритмов, сердечно-сосудистой системы и уровня лактоферрина в условиях общего воздушного охлаждения человека // Физиология человека. – 2021. – Т.47, №5. – С. 67-76. [Krivonogova E.V., Krivonogova O.V., Poskotinova L.V. *Fiziologija cheloveka*. Human Physiology. – 2021. – V.47, N5. – P. 67-76. DOI: 10.31857/s0131164621040068 (in Russian)]

8. Левин М., Малькевич Л., Данилова Л. Криотерапия: состояние и перспективы // Наука и инновации. – 2018. – №182. – С. 72-75. [Levin M., Mal'kevich L., Danilova L. *Nauka i innovacii*. The Science and Innovations. – 2018. – N182. – P. 72-75. (in Russian)]
9. Омельченко В.П., Михальчик И.О. Нелинейный анализ ритмических составляющих электроэнцефалограммы человека в норме // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – №10. – С. 52-59. [Omel'chenko V.P., Mihal'chich I.O. *Izvestija JuFU. Tehnicheskie nauki. Izvestiya SFedU*. Engineering Sciences. – 2014. – N10. – P. 52-59. (in Russian)]
10. Портнова Г.В., McGlone F.P., Танькина О.А. и др. ЭЭГ-корреляты особенностей восприятия тактильных стимулов у детей с расстройствами аутистического спектра // Современные технологии в медицине. – 2019. – Т.11, №1. – С. 169-176. [Portnova G.V., McGlone F.P., Tan'kina O.A. i dr. *Sovremennye tehnologii v medicine*. Modern Technologies in Medicine. – 2019. – V.11, N1. – P. 169-176. (in Russian)]
11. Пуликов А.С., Москаленко О.Л. Уровень обменно-энергетических процессов у юношей в условиях городского техногенного загрязнения // Фундаментальные исследования. – 2014. – №10-5. – С. 955-958. [Pulikov A.S., Moskalenko O.L. *Fundamental'nye issledovanija*. Fundamental research. – 2014. – N10-5. – P. 955-958. (in Russian)]
12. Самохин М.В. Межполушарная асимметрия головного мозга // Современная терапия в психиатрии и неврологии. – 2019. – №1. – С. 22-25. [Samohin M.V. *Sovremennaja terapija v psixiatrii i nevrologii*. Modern therapy in psychiatry and neurology. – 2019. – N1. – P. 22-25. (in Russian)]
13. AlShorman O., Masadeh M., Heyat M.B. et al. Frontal lobe real-time EEG analysis using machine learning techniques for mental stress detection // Journal of integrative neuroscience. – 2022. – V.21, N1. – P. 1-11..
14. Gartstein M.A., Hancock G.R., Potapova N.V. et al. Modeling development of frontal electroencephalogram (EEG) asymmetry: Sex differences and links with temperament // Developmental science. – 2020. – V.23, N1. – P. 1-36.
15. Hidisoglu E., Kantar-Gok D., Er H. et al. Alterations in spontaneous delta and gamma activity might provide clues to detect changes induced by amyloid- β administration // European Journal of Neuroscience. – 2018. – V.47, N8. – P. 1013-1023.
16. Iilman M., Laaksonen K., Jousmäki V. et al. Reproducibility of Rolandic beta rhythm modulation in MEG and EEG // Journal of neurophysiology. – 2022. – V.127, N2. – P. 559-570.
17. Voytenkov V.B., Vilnitz A.A., Skripchenko N.V., et al. Quantitative Electroencephalography Indicators in Children with Acute Purulent Meningitis // Neuroscience and behavioral physiology. – 2022. – V.52, N2. – P. 315-318.

Информация об авторах

Миклашевич Ольга Сергеевна – лаборант кафедры нормальной физиологии УО «Гродненский государственный медицинский университет» Минздрава Республики Беларусь. E-mail: olga.miklashevich@yandex.ru

Соловьев Антон Владимирович – ассистент кафедры нормальной физиологии УО «Гродненский государственный медицинский университет» Минздрава Республики Беларусь. E-mail: palunki@mail.ru

Ковальчук Андрей Александрович – студент лечебного факультета УО «Гродненский государственный медицинский университет» Минздрава Республики Беларусь. E-mail: andrejkovalchik@gmail.com

Зинчук Виктор Владимирович – доктор медицинских наук, профессор кафедры нормальной физиологии УО «Гродненский государственный медицинский университет» Минздрава Республики Беларусь. E-mail: zinchuk@grsmu.by

Финансирование

Осуществляется в рамках научного проекта ГПНИ № 20210366.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 23.03.2023

Принята к печати 15.06.2023