

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco626008>

Особенности пространственного распределения параметров слуховых когнитивных вызванных потенциалов Р300 у молодых людей с миопией

Р.Н. Зеленцов¹, И.С. Кожевникова^{2, 3}, Л.В. Поскотинова²¹ Северный государственный медицинский университет, Архангельск, Россия;² Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. акад. Н.П. Лавёрова Уральского отделения Российской академии наук, Архангельск, Россия;³ Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Наибольшая доля лиц с впервые выявленной миопией у взрослых приходится на возраст 18–29 лет как у женщин (35,0%), так и у мужчин (59,9%). Нарушение аккомодации и рефракции у современных людей из-за высокой нагрузки на зрительную сенсорную систему в связи с цифровизацией многих сфер жизни ведет к риску развития изменений корковых процессов восприятия, переработки информации и, как следствие, когнитивных нарушений.

Цель. Изучить различия в характеристиках вызванных потенциалов Р300 у людей 21–23 лет с миопией и без офтальмопатологии.

Материал и методы. Выполнили офтальмологическое обследование 54 человек (34 девушек и 20 юношей) 21–23 лет (средний возраст — 22,3±0,1 года) из числа студентов вузов Архангельска. Участникам определяли некорригированную и максимально корригированную остроту зрения, величину клинической рефракции (в диоптриях), оценивали качественные изменения, а также запас относительной аккомодации (в диоптриях). Выявили, что в исследуемой выборке 32 участника без офтальмопатологии и 22 с установленным диагнозом «миопия». Провели запись параметров когнитивного вызванного слухового потенциала Р300 с использованием электроэнцефалографа «НейронСпектр-4/ВПМ» («Нейрософт», Россия). Полученные результаты обрабатывали с помощью статистического пакета программ SPSS.

Результаты. По данным слуховых вызванных потенциалов Р300, у лиц с миопией, в сравнении со здоровыми людьми, более удлиненное время принятия решения в височных, срединно-лобной и левой лобной областях головного мозга, а также сглажен переднезатылочный градиент амплитуды Р300 с относительно высокой амплитудой Р300 в левом затылочном отделе головного мозга.

Заключение. При изучении миопии следует большее внимание уделять функциональному состоянию коры головного мозга, так как увеличение времени обработки слуховой информации и задействованность левого и правого полушария с вовлечением затылочных областей головного мозга при обработке новой слуховой информации у людей с миопией могут быть связаны с функциональной переорганизацией коры головного мозга.

Ключевые слова: молодые люди; миопия; вызванные потенциалы Р300; обработка информации; зрительная кора; слуховая кора; головной мозг.

Как цитировать:

Зеленцов Р.Н., Кожевникова И.С., Поскотинова Л.В. Особенности пространственного распределения параметров слуховых когнитивных вызванных потенциалов Р300 у молодых людей с миопией // Экология человека. 2023. Т. 30, № 11. С. 865–874. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco626008>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco626008>

Spatial distribution of parameters of auditory cognitive evoked potentials P300 in young adults with myopia

Roman N. Zelentsov¹, Irina S. Kozhevnikova^{2,3}, Liliya V. Poskotinova²¹ Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia;² N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russia;³ Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Myopia typically presents itself between the ages of 18 and 29, affecting both women (35%) and men (59.9%). The prevalence of impaired accommodation and refraction in modern individuals can be attributed to the increased strain on visual sensory systems resulting from the widespread digitalization of various aspects of human life. This increased strain poses a potential risk for alterations in cortical processes related to perception and information processing, increasing the risk of cognitive impairment.

AIMS: To study the differences in the characteristics of evoked potentials P300 in 21–23 years old individuals with myopia compared to those without ophthalmic pathology.

MATERIAL AND METHODS: An ophthalmological examination was conducted on a group of young individuals aged 21–23 years (average age 22.3 ± 0.1 years) residing in the city of Arkhangelsk. The participants were university students, totaling 54 individuals of both genders (34 females and 20 males). During the examination, uncorrected visual acuity, best-corrected visual acuity, and clinical refraction value (in diopters) were assessed for each participant, along with qualitative changes. Additionally, the reserve of relative accommodation (in diopters) was estimated based on the results of the accommodation study. The study sample consisted of 32 participants without ophthalmic pathology and 22 individuals diagnosed with myopia. The parameters of cognitive evoked auditory potential P300 were measured using an electroencephalograph «NeuronSpectrum-4/VPM» (Neurosoft, Russia) in both groups. The data were analyzed using the SPSS statistical software package.

RESULTS: Students with myopia had longer decision-making times compared to individuals with normal vision, as indicated by auditory evoked potentials P300. This effect was observed in the temporal, mid-frontal, and left frontal regions of the brain. Additionally, the anterior-occipital gradient of P300 amplitude was attenuated, with a high amplitude P300 in the left occipital region.

CONCLUSION: Assessment of myopia should be complemented with an examination of the functional status of the cerebral cortex. Extended auditory processing time, activation of both hemispheres and involvement of the occipital regions during the processing of auditory information may be a result of functional reorganization of the cerebral cortex in individuals with myopia.

Keywords: young people; myopia; P300 evoked potentials; information processing; visual cortex; auditory cortex; brain.

To cite this article:

Zelentsov RN, Kozhevnikova IS, Poskotinova LV. Spatial distribution of parameters of auditory cognitive evoked potentials P300 in young adults with myopia. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2023;30(11):865–874. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco626008>

Received: 25.01.2024

Accepted: 01.04.2024

Published online: 18.04.2024

ВВЕДЕНИЕ

С появлением большого количества электронных носителей информации современному человеку стало важно фиксировать изображение, расположенное максимально близко, в лучшем случае на расстоянии вытянутой руки. Гаджеты сопровождают и детей, и взрослых на протяжении всего дня: на интерактивных уроках, дистанционной работе или учёбе, во время подготовки домашних заданий, проектов, отдыха и развлечений. Такая ситуация неминуемо ведёт к увеличению роста заболеваемости миопией (от 7 до 50% за последние сто лет). Манифестация симптоматики приходится на возраст 7–11 лет, независимо от пола ребёнка. Выраженное увеличение удельного веса случаев с впервые выявленной миопией со средней и высокой степенью приходится на возраст 10–14 лет, а в возрасте 15–17 лет в половине всех случаев выявленная миопия определяется уже в высокой степени. В подростковом возрасте периоды статической рефракции приближаются к эметропии, в результате чего создаются оптимальные условия для деятельности динамической рефракции. Вместе с тем усиленный рост организма в этом возрасте, а также адинамия могут оказывать неблагоприятное воздействие на цилиарную мышцу, способствуя её спастическому состоянию. Следствием этого является не только возникновение, но и прогрессирование миопии [1].

Сегодня близорукость — одна из самых распространённых причин потери зрения, при этом некорригированная миопия является основной причиной снижения остроты зрения вдаль. Выявленный рост близорукости высокой степени у населения с 2000 г. с прогнозом на период до 2050 г. [2] свидетельствует о выраженном прогнозируемом росте её распространения в глобальном масштабе. Так, в Восточной Азии наблюдается высокая распространённость миопии (от 80 до 90%) среди молодых людей, а миопия является основной причиной слепоты и слабовидения у жителей в данном регионе [3]. На территории Российской Федерации близорукость занимает второе место в структуре детской инвалидности и третье место — в инвалидности всего населения [4]. Миопия высокой степени является причиной 12,0% случаев слепоты и слабовидения, в 26,4% случаев приводит к инвалидности у детей и в 19,0% — у взрослых [5].

На примере Архангельской области показано, что наибольшая доля лиц с впервые выявленной миопией у взрослых приходится на возраст 18–29 лет как у женщин (35,0%), так и у мужчин (59,9%). Нарушение аккомодации и рефракции у современных людей из-за высокой нагрузки на зрительную сенсорную систему в связи с цифровизацией многих сфер жизни человека ведёт к риску развития изменений корковых процессов восприятия, переработки информации и, как следствие, когнитивных нарушений [6].

Исследователями показано, что объём кратковременной зрительной памяти у школьников 14–15 лет с миопией

несколько ниже по сравнению с лицами с нормальной остротой зрения. Более высокие показатели устойчивости и переключения внимания у подростков без нарушения рефракции. Скорость переключения внимания у школьников с аномалией рефракции в течение учебного года достоверно снижалась, в то время как у других подростков наблюдалась тенденция к её увеличению [6]. С таким офтальмологическим статусом в дальнейшем молодые люди поступают в вуз (в 17–18 лет), где зрительная нагрузка продолжает оставаться высокой. Компьютерный зрительный синдром со снижением остроты зрения наблюдается у студентов в связи с дистанционной формой обучения и цифровизацией образовательного процесса [7–9]. Не секрет, что без должных лечебных мероприятий явления компьютерно-зрительного синдрома ведут к развитию миопической рефракции во всех возрастных группах [10, 11]. Свой вклад в формирование миопии, в том числе вторичной, делает симпатикотония вследствие стресса [12, 13], в том числе связанного с образовательной деятельностью, сменой социально-экономического уклада жизни у студентов, прибывших на обучение из других регионов. Высокая миопия может обусловить развитие когнитивных нарушений разной степени и даже деменции. В последние годы изменилось представление о патогенезе миопии как заболевании, связанном не только с повреждением сетчатки, но и с нарушением функции головного мозга (повреждение системы «глаз–мозг») [14].

Электронейрофизиологический метод оценки показателей когнитивных вызванных потенциалов (ВП) Р300 традиционно используется у лиц со сниженной функцией зрения с помощью зрительного афферентного канала. Параметры зрительного ВП Р300 могут использоваться как дополнительный метод для оценки остроты зрения, представленный как «когнитивная» острота зрения [15, 16]. Метод когнитивных ВП с использованием слуховой сенсорной системы (время принятия решения при распознавании значимых акустических сигналов) позволит не только нивелировать возможные погрешности восприятия зрительной информации, которые могут повлиять на результаты тестирования, но и выявить новые нейрофизиологические компенсаторные возможности мозга при обработке сенсорной информации в условиях снижения зрительной функции. Феномен кросс-модальной пластичности мозга в зрительных и слуховых центрах коры мозга, который показан на слепых животных, обуславливает усиление функций обработки слуховой информации в зрительной коре. Показано, что нейронные связи билатеральной зрительной коры бинокулярно слепых макаков могут быть реорганизованы для обработки слуховых стимулов после зрительной депривации, и этот эффект более очевиден в правой, чем в левой зрительной коре [17]. С учётом того, что роль слуховой сенсорной системы у лиц с миопией повышается, предполагается, что при снижении зрения корковые представительства обработки когнитивной информации, полученной по слуховому каналу,

будут расширены — не только в теменных, височных (сенсорная обработка информации), центральных (двигательная реакция при принятии решения с нажатием кнопки) и лобных (программа принятия решения), но и в затылочных областях. Таким образом, представляется важным оценить пространственное церебральное распределение параметров слухового когнитивного ВП Р300 у молодых людей с миопией.

Цель исследования. Изучить различия в характеристиках ВП Р300 у людей 21–23 лет с миопией и без офтальмопатологии.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Дизайн: поперечное исследование случайной выборки. Выполнили офтальмологическое обследование 54 человек (34 девушек и 20 юношей) 21–23 лет (средний возраст — $22,3 \pm 0,1$ года) из числа студентов вузов Архангельска. Исследование проведено на базе консультативно-диагностической поликлиники Северного государственного медицинского университета.

Критерии включения участников в исследование: возраст 21–23 года, наличие подписанного информированного согласия на участие в исследовании, соответствие критериям 1-й и 2-й групп здоровья диспансерного наблюдения по классам, группам болезней, отдельным нозологическим формам, за исключением рефракционных нарушений.

Критерии невключения в выборку: психические (наличие выставленного диагноза по МКБ-10 F00–F99 — психические расстройства и расстройства поведения), неврологические (острое нарушение мозгового кровообращения и черепно-мозговые травмы в анамнезе), офтальмологические (наличие выставленного диагноза по МКБ-10 H00–H59 — болезни глаза и его придаточного аппарата, за исключением H52 — нарушения рефракции и аккомодации) заболевания, снижение слуха менее чем на уровне 25 дБ, симптомы острых инфекций или обострения хронических заболеваний (гипертонический криз, лихорадка, болевой синдром любой этиологии и т.д.) накануне или непосредственно перед обследованием.

В ходе исследования участникам определяли некорригированную остроту зрения (НКОЗ) и максимально корригированную остроту зрения (МКОЗ), величину клинической рефракции (в диоптриях), оценивали качественные изменения, а также по результатам исследования аккомодации — запас относительной аккомодации (в диоптриях).

На основании данных офтальмологического обследования участников исследования разделили на две группы: 1-я — офтальмологически здоровые (не имеющие заболеваний органа зрения); 2-я — пациенты с миопической рефракцией (слабой, средней и высокой степени), код по МКБ-10 — H52.1.

Поскольку половых различий между группами не выявлено, сформировали две группы (32 и 22 человека в каждой).

Все испытуемые были людьми с ведущей правой рукой.

Всем участникам исследования провели запись параметров когнитивного вызванного слухового потенциала Р300 с использованием электроэнцефалографа «Нейрон-Спектр-4/ВППМ» («Нейрософт», Россия).

Обследуемые находились в положении сидя с закрытыми глазами. Частота квантования сигнала ЭЭГ составляла 500 Гц, в полосе регистрации 0,5–35,0 Гц; сопротивление электродов — до 10 кОм; подача в случайной последовательности через наушники серии двух слуховых стимулов, среди которых есть частые (незначимые) и редкие (значимые); при появлении значимого стимула испытуемому необходимо было нажать на кнопку; условия стимуляции — бинауральная, длительность стимула — 50 мс, интенсивность — 80 дБ, период между стимулами — 1 с, частота тона — 2000 Гц (значимый стимул) и 1000 Гц (незначимый стимул); вероятность предъявления значимого стимула — 30% общего количества стимулов с числом усреднений до 25 для значимых стимулов и исключением сигналов, превышающих амплитуду 100 мкВ; оценивается амплитуда от пика до пика N2–P300 и латентность Р300 в ЭЭГ-отведениях согласно международной схеме «10–20» [18].

Оценивали распределение признака на нормальность. Для выявления различий между показателями у сравниваемых групп использовали критерий Манна–Уитни, для описательной статистики признаков — медиану (Me) и интервал значений от первого (Q1) до третьего (Q3) квартиля, абсолютное и процентное отношение. Критический уровень значимости (p) при проверке статистических гипотез в исследовании принимали равным 0,05. Полученные результаты обрабатывали с помощью статистического пакета программ SPSS.

Исследование проводили с соблюдением всех требований Хельсинкской декларации, все участники дали добровольное информированное письменное согласие на участие в исследовании. Исследование одобрено локальным этическим комитетом (протокол № 06/09-23 от 27.09.2023).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Распределение обследованных лиц по видам миопии и по полу в случайной выборке представлено в табл. 1. Преобладали лица с миопией слабой степени (29,6% случаев).

При анализе основных показателей выявлено статистически значимое снижение показателя ($p=0,001$) НКОЗ как при сравнении с группой без офтальмопатологии, так и при сравнении групп с миопической рефракцией в зависимости от увеличения степени близорукости. Так,

Таблица 1. Распределение участников исследования по видам миопии и полу при офтальмологическом обследовании**Table 1.** Distribution of ophthalmological study participants by type of myopia and by sex

Пол Gender	Без патологии глаз, абс. (%) Without eye pathology, abs. (%)	Миопия слабой степени, абс. (%) Mild myopia, abs. (%)	Миопия средней степени, абс. (%) Medium myopia, abs. (%)	Миопия высокой степени, абс. (%) Severe myopia, abs. (%)
Мужской Male	12 (22,2)	6 (11,1)	1 (1,9)	1 (1,9)
Женский Female	20 (37,0)	10 (18,5)	4 (7,4)	0 (0,0)
Всего Total	32 (59,3)	16 (29,6)	5 (9,3)	1 (1,9)

в среднем острота зрения без коррекции в группе без офтальмопатологии составила 1,0; в группе с миопической рефракцией слабой степени (от -0,5 до -3,0 дптр) — 0,1, средней степени (от -3,25 до -6,0 дптр) — 0,1, высокой степени (свыше -6,25 дптр) — 0,01.

В группах с различной степенью близорукости оценивали МКОЗ. Статистически значимых отличий в группе с МКОЗ при сравнении групп со слабой, средней и высокой степенью миопии не выявили ($p=0,400$).

На практике в ходе офтальмологического приёма, как правило, оценивается запас относительной аккомодации (положительная часть объёма аккомодации). При оценке данного показателя выявлено уменьшение положительной части объёма аккомодации. Так, при отсутствии офтальмопатологии данный показатель оставил в среднем -4,43 дптр. При сравнении групп с различной степенью миопии также было выявлено снижение данного показателя. При слабой степени близорукости положительная часть объёма аккомодации составила в среднем -3,6 дптр, при средней и высокой степенях — -3,2 дптр и -2,0 дптр соответственно. Отличия были статистически значимы ($p=0,0037$).

Полученные в результате исследования слуховых когнитивных ВП Р300 значения латентности и амплитуды

пиков ВП Р300 в группах участников без офтальмопатологии и с установленным диагнозом «миопия» представлены в табл. 2.

У лиц с миопической рефракцией, в сравнении с группой офтальмологически здоровых людей, фиксируется тенденция удлинения времени принятия решения (латентность Р300) при распознавании значимого слухового стимула во всех отведениях, но статистически значимо в передневисочных (F7, F8), средневисочных (T3, T4), левом лобном (F3) и лобно-срединном (Fz) отделах головного мозга.

Статистически значимых различий амплитуд ВП Р300 в каждом изучаемом отведении ЭЭГ между группами не выявлено. Однако были обозначены различия переднезаднего градиента распределения величин амплитуд ВП Р300 в группах здоровых лиц и с миопией (рис. 1).

У здоровых лиц выражен переднезатылочный градиент амплитуд Р300 в виде более низкой амплитуды в затылочном отведении ЭЭГ в сравнении с передними отделами, но статистически значимо — в левом полушарии головного мозга. Так, в затылочном отведении слева амплитуда Р300 была значимо меньше, чем в лобном ($p=0,009$), центральном ($p=0,008$) и теменном ($p=0,04$) отделах головного мозга. Как у здоровых, так и у лиц

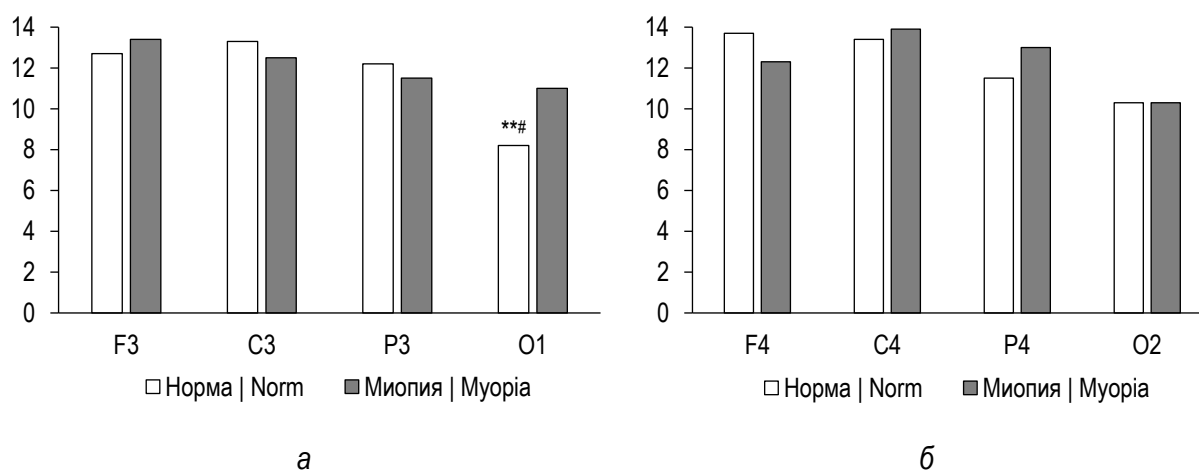


Рис. 1. Распределение показателей переднезатылочного градиента по амплитуде (мкВ) Р300 вызванных потенциалов Р300 у здоровых людей и у людей с миопией (мкВ): а — левое полушарие; б — правое полушарие (** $p < 0,01$ между O1 и F3, O1 и C3; # $p < 0,05$ между O1 и P3).

Fig. 1. Distribution of antero-occipital gradient indices by amplitude (mcV) P300 evoked potentials P300 in healthy people and in people with myopia (mcV): а — left hemisphere; б — the right hemisphere (** $p < 0.01$ between O1 and F3, O1 and C3; # $p < 0.05$ between O1 and P3).

Таблица 2. Показатели латентности и амплитуды P300 у молодых людей 21–23 лет с нормальным зрением и миопией, Me (Q1; Q3)**Table 2.** Indicators of latency and amplitude of P300 in young people aged 21–23 years without ophthalmopathology and with myopia, Me (Q1; Q3)

Параметр Parameter	Группа без офтальмопатологии (n=32) Group without ophthalmopathology (n=32)	Группа с миопией (n=22) Group with myopia (n=22)	p
Латентность, мс Latency, ms			
F3	286,1 (268,0; 300,0)	301,7 (283,0; 323,4)	0,046
F4	286,0 (274,8; 304,1)	300,8 (291,0; 315,5)	0,052
C3	289,0 (269,0; 300,8)	297,0 (270,9; 314,1)	0,284
C4	282,1 (270,0; 302,8)	296,0 (268,1; 306,1)	0,540
P3	280,0 (262,0; 300,2)	292,2 (266,1; 307,5)	0,500
P4	277,0 (266,0; 295,0)	287,0 (265,8; 300,2)	0,389
F7	285,8 (260,3; 312,8)	308,8 (288,8; 326,1)	0,038
F8	285,8 (260,2; 312,8)	302,8 (288,8; 316,1)	0,042
T3	285,8 (263,0; 305,5)	302,8 (288,8; 316,1)	0,035
T4	281,0 (268,1; 296,1)	298,8 (282,5; 308,8)	0,048
T5	283,8 (264,0; 321,4)	292,2 (276,0; 315,5)	0,500
T6	281,0 (266,5; 304,8)	288,0 (278,5; 304,8)	0,366
Fz	284,0 (272,0; 305,5)	305,5 (292,0; 318,8)	0,016
Cz	278,9 (263,5; 296,1)	295,0 (268,9; 302,1)	0,240
Pz	270,0 (254,8; 288,1)	288,0 (262,0; 301,5)	0,240
O1	272,9 (254,0; 289,0)	284,0 (256,0; 297,1)	0,285
O2	269,0 (252,4; 289,1)	286,0 (265,1; 299,7)	0,193
Амплитуда, мкВ Amplitude, μ V			
F3	12,7 (9,8; 16,0)	13,4 (9,3; 16,3)	0,950
F4	13,7 (10,2; 18,0)	12,3 (10,0; 13,9)	0,464
C3	13,3 (8,53; 15,2)	12,5 (8,15; 14,6)	0,660
C4	13,4 (7,7; 17,4)	13,9 (9,5; 16,5)	0,900
P3	12,2 (8,4; 14,2)	11,6 (8,2; 15,0)	0,916
P4	11,5 (9,4; 14,7)	13,0 (8,0; 13,9)	0,477
F7	9,3 (7,1; 12,0)	8,4 (6,5; 11,9)	0,645
F8	10,3 (7,7; 15,8)	9,2 (7,6; 10,9)	0,477
T3	9,7 (7,5; 13,0)	9,6 (7,0; 12,5)	0,867
T4	10,0 (8,2; 15,5)	9,3 (7,3; 12,5)	0,286
T5	7,7 (5,2; 11,0)	8,0 (6,0; 10,9)	0,544
T6	8,3 (5,9; 12,8)	9,2 (6,4; 11,9)	0,706
Fz	13,7 (9,7; 16,2)	13,6 (10,5; 15,9)	0,949
Cz	14,3 (9,2; 17,2)	11,8 (9,3; 18,6)	0,645
Pz	11,8 (9,13; 15,3)	10,9 (9,3; 15,1)	0,767
O1	8,22 (6,6; 10,9)	11,0 (7,4; 13,5)	0,132
O2	10,3 (8,0; 14,3)	10,3 (7,8; 12,0)	0,544

с миопией была тенденция снижения амплитуды P300 в затылочном отведении ЭЭГ в правом полушарии мозга. Однако у лиц с миопией в левом полушарии амплитуда P300 в затылочном отведении ЭЭГ оставалась выраженной статистически на уровне передних отделов головного мозга.

ОБСУЖДЕНИЕ

Используемая нами методика когнитивных ВП P300 со значимыми акустическими, а не зрительными сигналами позволила установить влияние миопической рефракции у участников исследования на скорость и особенность обработки поступающей информации: по данным слуховых ВП P300, у лиц с миопией, в сравнении со здоровыми людьми, более удлиненное время принятия решения в височных, срединно-лобной и левой лобной областях головного мозга, а также сглажен переднезатылочный градиент амплитуды P300 с относительно высокой амплитудой P300 в левом затылочном отделе головного мозга.

Основой целенаправленной деятельности человека является функциональная система достижения результата [19]. Принятие решения как основа когнитивной деятельности с участием акцептора действия происходит как результат афферентного синтеза, обработки афферентной информации всех модальностей, но в большей степени зрительной [15, 20]. На фоне близорукости происходит значительное снижение вклада зрительной афферентной информации, повышение значимости получения информации от других каналов, в том числе слухового, что может быть основой относительного удлинения времени принятия решения у лиц с миопической рефракцией [21].

Зрительная кора головного мозга принимает участие в окончательном формировании и восприятии зрительного образа. С помощью электрофизиологических исследований показано, что у людей с миопией обнаруживается аномальное церебральное зрение, которое отражает изменение функции всей зрительной нервной системы, начиная с сетчатки и заканчивая зрительной корой (зрительный сигнал, генерируемый глазом, получающим внешнюю световую стимуляцию, по зрительному пути достигает зрительного центра, обрабатывается и интегрируется зрительным центром, формируя субъективное ощущение, называемое мозговым зрением), по всей видимости, изменяется механизм нейронной регуляции восприятия и обработки информации на церебральном уровне у лиц с близорукостью [18, 21].

В ходе исследования распределения слуховых ВП P300 выявили изменение пространственной локализации данных потенциалов, что даёт повод говорить о пластичности мозговой деятельности и возможности её изменения на фоне снижения зрительных функций. В основе данных изменений, вероятно, лежат процессы функциональной реорганизации нервной системы в ответ на снижение внешнего (зрительного) стимула [22]. Данные изменения

могут происходить путём преобразования структуры, функций или связей в тканях головного мозга [23].

Поскольку все испытуемые в нашем исследовании были с ведущей правой рукой, можно говорить о том, что обработка моторной информации при нажатии кнопки правой рукой у лиц с миопией не даёт той десинхронизации биоэлектрической активности мозга на контралатеральной стороне моторной активности, по сравнению со здоровыми людьми.

Таким образом, у лиц с миопией фиксируется особый характер пространственного церебрального распределения латентности и амплитуд ERPs, а именно — относительное увеличение времени принятия решения в зонах мозга, особенно связанных с медиобазальными структурами головного мозга (височные отделы) и в левой лобной области. Выявлены различия в распределении латентностей P300 с межполушарной асимметрией, что может говорить о новой функциональной адаптации коры головного мозга у людей со сниженным зрением и включением процессов нейропластичности [17]. Отсутствие достоверных различий амплитуд P300 между затылочными и передними областями мозга, как в левом, так и в правом полушариях, вероятно, может свидетельствовать о задействовании всей коры у лиц с миопией при обработке поступающей информации [18].

Вероятно, на фоне близорукости происходит значительное снижение вклада зрительной афферентной информации, повышение значимости получения информации от других каналов, в том числе слухового, что может быть основой относительного удлинения времени принятия решения у лиц с миопией.

Полученные результаты привели нас к пониманию того, что механизмы, регулирующие пластичность, не только более изменчивы, чем считалось ранее, но могут формироваться и в зрелом мозге. Хотя пластичность сенсорных систем наиболее высока в ограниченные по времени периоды раннего развития, регуляторами пластичности во взрослом мозге можно рассматривать воздействие различных нейромодуляторов, оказывающих влияние на обработку сенсорной информации. Ухудшение сенсорных входных сигналов может вызывать пластичность первичной сенсорной коры, возможно, в результате адаптивного механизма, способствующего перестройке кортикальной связи, похожие результаты были получены и другими исследователями. Р. Voss и соавт. высказали идею о том, что механизмы пластичности могут действовать на протяжении всей жизни. Данная идея предполагает, что многие функциональные свойства сенсорных нейронов могут быть изменены [24]. Вышеописанные механизмы можно рассматривать как нейрофизиологическую основу высокой амплитуды слуховых ВП P300 в зоне зрительной коры у миопов.

Известно, что при обработке новой когнитивной информации задействовано в большей степени правое полушарие головного мозга. В свою очередь, когда

информация приобретает рутинный характер, приоритет в её обработке смещается в область левого полушария [25]. Полученные результаты свидетельствуют об увеличении активности нейронов левого полушария головного мозга, участвующих в формировании слуховых ВП Р300, у лиц с близорукостью, что свидетельствует об адаптации коры головного мозга к изменениям восприятия сенсорной информации. Приоритет представленной информации слева отражает длительность, сформированность и закрепление данного процесса.

Исходя из полученных данных, представляется важным проведение исследования слуховых когнитивных ВП Р300 у лиц с миопией с целью выявления возможных предикторов когнитивных нарушений у данной группы пациентов. Выраженное замедление времени обработки информации, по данным ВП Р300, на фоне сглаживания переднезатылочного градиента амплитуды ВП Р300 у лиц с миопией можно также рассматривать в качестве скрининговых предикторов в оценке риска когнитивных нарушений. Данные предикторы могут быть основанием для рекомендации к углубленному обследованию когнитивных функций у лиц с миопией с помощью методов нейropsychологического тестирования.

С учётом масштаба распространённости миопии в мире [2, 3, 6] и неуклонного роста цифровизации современного пространства и образовательной среды [9] актуально изучение вопросов профилактики и ранней диагностики когнитивных нарушений у лиц, страдающих близорукостью.

Ограничения исследования связаны с небольшим объёмом выборки, что не позволило провести анализ параметров слуховых когнитивных ВП Р300 с учётом различной степени близорукости. Перспектива дальнейших исследований предполагает более дифференцированный подход в оценке нейрофизиологических коррелятов риска развития когнитивных нарушений с учётом степени выраженности миопии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По данным слуховых когнитивных ВП Р300, у лиц с миопией, в сравнении со здоровыми людьми, более

удлиненное время принятия решения в височной, срединно-лобной и левой лобной областях головного мозга, а также сглажен переднезатылочный градиент амплитуды Р300 с относительно высокой амплитудой Р300 в левом затылочном отделе головного мозга. Увеличение времени обработки слуховой информации у молодых людей с миопией может быть связано с функциональной перестройкой коры головного мозга, а именно задействованности как левого, так и правого полушария с вовлечением затылочных областей при обработке новой слуховой информации.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Источник финансирования. Работа выполнена в рамках научного проекта № 23–75–01072 «Электронейрофизиологические механизмы риска когнитивных дисфункций у лиц с миопией», поддержанного Российским научным фондом.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Информированное согласие на участие в исследовании. Все участники до включения в исследование добровольно подписали форму информированного согласия, утвержденную в составе протокола исследования этическим комитетом.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contribution. All authors have made a significant contribution to the development of the concept of the study, drafting the text, its critical evaluation, editing and approval of the final version.

Funding source. The work is a part of the project No. 23–75–01072 “Electroneurophysiological mechanisms of the risk of cognitive dysfunction in persons with myopia” supported by the Russian Science Foundation.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Patients’ consent. Written consent was obtained from all the study participants according to the study protocol, which was approved by the local ethic committee.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Новикова Е.И., Надежкина Е.Ю., Мужиченко М.В. Влияние миопии на когнитивные функции учащихся пубертатного возраста // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. 2016. Т. 13, № 3. С. 41–43. EDN: WMIDVD doi: 1994-9480/article/view/118995
- Holden B.A., Fricke T.R., Wilson D.A., et al. Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050 // *Ophthalmology*. 2016. Vol. 123, N 5. P. 1036–1042. doi: 10.1016/j.ophtha.2016.01.006
- Wu P.C., Huang H.M., Yu H.J., et al. Epidemiology of myopia // *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*. 2016. Vol. 5, N 6. P. 386–393. doi: 10.1097/APO.0000000000000236
- Какорина Е.П. Заболеваемость населения по субъектам РФ по данным на 2007 г.: доклад / Министерство здравоохранения и социального развития Российской Федерации, Департамент развития медицинской помощи и курортного дела и ФГУ «ЦНИИОИЗ Минздравсоцразвития России». М., 2008.
- Либман Е.С., Шахова Е.В. Слепота и инвалидность вследствие патологии органа зрения в России // Вестник офтальмологии. 2006. Т. 122, № 1. С. 35–37. EDN: UBPWZB
- Зеленцов Р.Н., Унгуряну Т.Н., Поскотинова Л.В. Возрастные аспекты заболеваемости миопией на европейском севере России // *Экология человека*. 2022. Т. 29, № 1. С. 19–26. EDN: IHPCKF doi: 10.17816/humeco84128

7. Шершнёва К.С., Эйхман Д.О. Распространенность компьютерного зрительного синдрома среди студентов в связи с дистанционной формой обучения // *Scientist (Russia)*. 2022. № 1. С. 22–24. EDN: JVWQYK
8. Шубочкина Е.И., Блинова Е.Г., Иванов В.Ю., Айзятлова М.В. Безопасность цифровой образовательной среды для здоровья старшеклассников и студентов вуза при дистанционном обучении // *Санитарный врач*. 2023. № 4. С. 233–241. EDN: XWITUF doi: 10.33920/med-08-2304-04
9. Лангуев К.А., Богомолова Е.С. Гигиенические проблемы цифровой образовательной среды и пути их разрешения (обзор) // *Санитарный врач*. 2022. № 7. С. 483–491. EDN: QBJASL doi: 10.33920/med-08-2207-05
10. Wu P.C., Chen C.T., Lin K.K., et al. Myopia prevention and outdoor light intensity in a school-based cluster randomized trial // *Ophthalmology*. 2018. Vol. 125, N 8. P. 1239–1250. doi: 10.1016/j.opthta.2017.12.011
11. Трубилин В.Н., Юдин В.Е., Овечкин И.Г., и др. Современные аспекты компьютерного зрительного синдрома // *Клиническая практика*. 2021. Т. 12, № 3. С. 43–50. EDN: GMQMIX doi: 10.17816/clinpract71366
12. Lin S., Zhu B., Wang T., et al. Sympathetic nervous system activity is associated with choroidal thickness and axial length in school-aged children // *Br J Ophthalmol*. 2024. Vol. 108, N 3. P. 405–410. doi: 10.1136/bjo-2022-322165
13. Сетко Н.П., Булычева Е.В., Ясин И.А., Апрелев А.Е. Сравнительная характеристика функционального состояния вегетативной и центральной нервной систем у учащихся в зависимости от наличия и степени миопии // *Гигиена и санитария*. 2020. Т. 99, № 4. С. 394–398. EDN: BCZORQ doi: 10.33029/0016-9900-2020-99-4-394-398
14. Li K., Wang Q., Wang L., Huang Y. Cognitive dysfunctions in high myopia: An overview of potential neural morpho-functional mechanisms // *Front Neurol*. 2022. Vol. 13. P. 1022944. doi: 10.3389/fneur.2022.1022944
15. Heinrich S.P., Marhöfer D., Bach M. «Cognitive» visual acuity estimation based on the event-related potential P300 component // *Clin Neurophysiol*. 2010. Vol. 121, N 9. P. 1464–1472. doi: 10.1016/j.clinph.2010.03.030
16. Beusterien M.L., Heinrich S.P. P300-based acuity estimation in imitated amblyopia // *Doc Ophthalmol*. 2018. Vol. 136, N 1. P. 69–74. doi: 10.1007/s10633-017-9617-7
17. Wang R., Wu L., Tang Z., et al. Visual cortex and auditory cortex activation in early binocularly blind macaques: A BOLD-fMRI study using auditory stimuli // *Biochem Biophys Res Commun*. 2017. Vol. 485, N 4. P. 796–801. doi: 10.1016/j.bbrc.2017.02.133
18. Гнездицкий В.В., Корепина О.С., Чацкая А.В., Клочкова О.И. Память, когнитивность и эндогенные вызванные потенциалы мозга: оценка нарушения когнитивных функций и объёма оперативной памяти без психологического тестирования // *Успехи физиологических наук*. 2017. Т. 48, № 1. С. 3–23. EDN: YKVECХ
19. Лапкин М.М., Кирюшин В.А., Козеевская Н.А. П.К. Анохин — создатель теории функциональной системы (к 120-летию со дня рождения академика Петра Кузьмича Анохина) // *Российский медико-биологический вестник им. акад. И.П. Павлова*. 2018. Т. 26, № 1. С. 47–58. EDN: YVOZAA doi: 10.23888/PAVLOVJ201826147-58
20. Vázquez-Marrufo M., Del Barco-Gavala A., Galvao-Carmona A., Martín-Clemente R. Reliability analysis of individual visual P1 and N1 maps indicates the heterogeneous topographies involved in early visual processing among human subjects // *Behav Brain Res*. 2021. Vol. 397. P. 112930. doi: 10.1016/j.bbr.2020.112930
21. Sheng G., Ailing B.I., Hongsheng B.I. Research status and prospect on the cerebral vision in myopic patients // *Chinese Journal of Experimental Ophthalmology*. 2023. Vol. 41, N 8. P. 812–817. doi: 10.3760/cma.j.cn115989-20220204-00035
22. Mateos-Aparicio P., Rodríguez-Moreno A. The impact of studying brain plasticity // *Front Cell Neurosci*. 2019. Vol. 13. P. 66. doi: 10.3389/fncel.2019.00066
23. Puderbaugh M., Emmady P.D. Neuroplasticity // *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023.
24. Voss P., Thomas M.E., Cisneros-Franco J.M., de Villers-Sidani É. Dynamic brains and the changing rules of neuroplasticity: implications for learning and recovery // *Front Psychol*. 2017. Vol. 8. P. 1657. doi: 10.3389/fpsyg.2017.01657
25. Turnbull O. The executive brain: frontal lobes and the civilized mind // *Neuropsychanalysis*. 2002. Vol. 4, N 2. P. 206–208. doi: 10.1080/15294145.2002.10773402

REFERENCES

1. Novikova EI, Nadezhkina EYu, Muzhichenko MV. Effects of myopia on cognitive functions of students during puberty. *Journal of Volgograd State Medical University*. 2016;13(3):41–43. EDN: WMIDVD doi: 1994-9480/article/view/118995
2. Holden BA, Fricke TR, Wilson DA, et al. Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050. *Ophthalmology*. 2016;123(5):1036–1042. doi: 10.1016/j.opthta.2016.01.006
3. Wu PC, Huang HM, Yu HJ, et al. Epidemiology of myopia. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*. 2016;5(6):386–393. doi: 10.1097/APO.0000000000000236
4. Kakorina EP. Morbidity of the population in the subjects of the Russian Federation according to data for 2007: report. Moscow, 2008. (In Russ.).
5. Libman ES, Shakhova EV. Blindness and disability due to pathology of the organ of vision in Russia. *Russian Annals of Ophthalmology*. 2006;122(1):35–37. EDN: UBPWZB
6. Zelentsov RN, Unguryanu TN, Poskotinova LV. Age-related aspects of myopia incidence in the European North of Russia. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2022;29(1):19–26. EDN: IHPCKF doi: 10.17816/humeco84128
7. Shershneva KS, Eichman DO. Prevalence of computer vision syndrome among students due to distance learning. *Scientist (Russia)*. 2022;(1):22–24. EDN: JVWQYK
8. Shubochkina EI, Blinova EG, Ivanov VYu, Aizyatova MV. Safety of digital learning environment for the health of high school and university students in distance learning. *Sanitary Doctor*. 2023;(4):233–241. EDN: XWITUF doi: 10.33920/med-08-2304-04
9. Languev KA, Bogomolova ES. Hygienic problems of the digital educational environment and ways to solve them (review). *Sanitary Doctor*. 2022;(7):483–491. EDN: QBJASL doi: 10.33920/med-08-2207-05

10. Wu PC, Chen CT, Lin KK, et al. Myopia prevention and outdoor light intensity in a school-based cluster randomized trial. *Ophthalmology*. 2018;125(8):1239–1250. doi: 10.1016/j.opthta.2017.12.011
11. Trubilin VN, Yudin VE, Ovechkin IG, et al. Modern aspects of computer visual syndrome. *Journal of Clinical Practice*. 2021;12(3):43–50. EDN: GQMIX doi: 10.17816/clinpract71366
12. Lin S, Zhu B, Wang T, et al. Sympathetic nervous system activity is associated with choroidal thickness and axial length in school-aged children. *Br J Ophthalmol*. 2024;108(3):405–410. doi: 10.1136/bjo-2022-322165
13. Setko NP, Bulychева EV, Yasin IA, Aprelev AE. Comparative characteristics of the functional state of the autonomous and central nervous systems depending on the presence and degree of myopia in students. *Hygiene and Sanitation*. 2020;99(4):394–398. EDN: BCZORQ doi: 10.33029/0016-9900-2020-99-4-394-398
14. Li K, Wang Q, Wang L, Huang Y. Cognitive dysfunctions in high myopia: An overview of potential neural morpho-functional mechanisms. *Front Neurol*. 2022;13:1022944. doi: 10.3389/fneur.2022.1022944
15. Heinrich SP, Marhöfer D, Bach M. «Cognitive» visual acuity estimation based on the event-related potential P300 component. *Clin Neurophysiol*. 2010;121(9):1464–1472. doi: 10.1016/j.clinph.2010.03.030
16. Beusterien ML, Heinrich SP. P300-based acuity estimation in imitated amblyopia. *Doc Ophthalmol*. 2018;136(1):69–74. doi: 10.1007/s10633-017-9617-7
17. Wang R, Wu L, Tang Z, et al. Visual cortex and auditory cortex activation in early binocularly blind macaques: A BOLD-fMRI study using auditory stimuli. *Biochem Biophys Res Commun*. 2017;485(4):796–801. doi: 10.1016/j.bbrc.2017.02.133
18. Gnezditskiy VV, Korepina OS, Chatskaya AV, Klochkova OI. Memory, cognition and the endogenous evoked potentials of the brain: the estimation of the disturbance of cognitive functions and capacity of working memory without the psychological testing. *Progress in Physiological Science*. 2017;48(1):3–23. EDN: YKVECX
19. Lapkin MM, Kiryushin VA, Kozeevskaya NA. P.K. Anokhin is the founder of theory of functional systems (to 120th birthday anniversary of academician Pyotr Kuzmich Anokhin). *I.P. Pavlov Russian Medical Biological Herald*. 2018;26(1):47–58. EDN: YVOZAA doi: 10.23888/PAVLOVJ201826147-58
20. Vázquez-Marrufo M, Del Barco-Gavala A, Galvao-Carmona A, Martín-Clemente R. Reliability analysis of individual visual P1 and N1 maps indicates the heterogeneous topographies involved in early visual processing among human subjects. *Behavioural Brain Research*. 2021;397:112930. doi: 10.1016/j.bbr.2020.112930
21. Sheng G, Ailing BI, Hongsheng BI. Research status and prospect on the cerebral vision in myopic patients. *Chinese Journal of Experimental Ophthalmology*. 2023;41(8):812–817. doi: 10.3760/cma.j.cn115989-20220204-00035
22. Mateos-Aparicio P, Rodríguez-Moreno A. The impact of studying brain plasticity. *Front Cell Neurosci*. 2019;13:66. doi: 10.3389/fncel.2019.00066
23. Puderbaugh M, Emmady PD. Neuroplasticity. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023.
24. Voss P, Thomas ME, Cisneros-Franco JM, de Villers-Sidani É. Dynamic brains and the changing rules of neuroplasticity: implications for learning and recovery. *Front Psychol*. 2017;8:1657. doi: 10.3389/fpsyg.2017.01657
25. Turnbull O. The executive brain: frontal lobes and the civilized mind. *Neuropsychanalysis*. 2002;4(2):206–208. doi: 10.1080/15294145.2002.10773402

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

***Зеленцов Роман Николаевич**, канд. мед. наук, доцент;
адрес: Россия, 163000, Архангельск, пр. Троицкий, 51;
ORCID: 0000-0002-4875-0535;
eLibrary SPIN: 9312-3211;
e-mail: zelentsovrn@gmail.com

Кожевникова Ирина Сергеевна, канд. биол. наук;
ORCID: 0000-0001-7194-9465;
eLibrary SPIN: 2441-2363;
e-mail: kogechnikovais@yandex.ru

Поскотинова Лилия Владимировна, д-р биол. наук,
канд. мед. наук, доцент;
ORCID: 0000-0002-7537-0837;
eLibrary SPIN: 3148-6180;
e-mail: liliya200572@mail.ru

AUTHORS' INFO

***Roman N. Zelentsov**, MD, Cand. Sci. (Medicine),
Associate Professor;
address: 51 Troitskiy ave., Arkhangelsk, 163000, Russia;
ORCID: 0000-0002-4875-0535;
eLibrary SPIN: 9312-3211;
e-mail: zelentsovrn@gmail.com

Irina S. Kozhevnikova, Cand. Sci. (Biology);
ORCID: 0000-0001-7194-9465;
eLibrary SPIN: 2441-2363;
e-mail: kogechnikovais@yandex.ru

Liliya V. Poskotinova, Dr. Sci. (Biology), MD, Cand. Sci. (Medicine),
Associated Professor;
ORCID: 0000-0002-7537-0837;
eLibrary SPIN: 3148-6180;
e-mail: liliya200572@mail.ru

*Автор, ответственный за переписку / *Corresponding author