

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-4-1228

EDN: NIGFMJ

УДК 612



Научная статья

НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ КОРРЕЛЯТЫ ОБРАБОТКИ ЗНАЧИМОЙ СЛУХОВОЙ ИНФОРМАЦИИ У МОЛОДЫХ ЛЮДЕЙ С МИОПИЕЙ 17-19 ЛЕТ

Р.Н. Зеленцов, И.С. Кожевникова, Л.В. Поскотинова

Аннотация

Обоснование. Миопия у молодых лиц обуславливает относительный дефицит поступления зрительной афферентной информации, а также компенсаторное напряжение нейрофизиологических механизмов обработки слуховой информации на уровне неокортекса. Высокие темпы цифровизации образования и образа жизни у молодых лиц, особенно первого года обучения в ВУЗе, обостряют не только риск прогрессирования миопии, но и напряжение процессов обработки информации. Представляется важным определить нейрофизиологические корреляты напряжения процессов обработки слуховой информации как потенциальных нейромаркеров риска развития когнитивных нарушений у миопов.

Цель. Исследовать изменение характеристик когнитивных вызванных потенциалов (ВП) Р300 у молодых людей с миопией, 17–19 лет.

Материалы и методы. 66 девушек и 30 юношей было привлечено для участия в исследовании (96 человек), 17–19 лет, средний возраст которых составил $18,3 \pm 0,1$ лет. В данном исследовании 59 человек имели установленный диагноз «миопия», все участники исследования обучались в медицинском университете г. Архангельска. В ходе исследования мы определяли как некорригированную, так и максимально корригированную остроту зрения, что позволяет получить полное представление о состоянии зрительной функции. Кроме того, мы измеряли величину клинической рефракции в диоптриях, что является важным показателем для диагностики различных нарушений зрения, таких как миопия, гиперметропия и астигматизм. Оценка качественных изменений в зрении также играла ключевую роль в нашем исследовании, так как она позволяет выявить не только количественные, но и качественные аспекты зрительного восприятия. Запас относительной аккомодации, измеряемый в диоптриях, был еще одним

важным параметром, который мы оценивали. Определяли латентность и амплитуду компонентов когнитивных слуховых ВП Р300 с использованием электроэнцефалографа «НейронСпектр-4/ВПМ» («Нейрософт», Россия). Полученные результаты обрабатывали с помощью статистического пакета программ SPSS.

Результаты. У молодых людей с миопией в возрасте 17–19 лет наблюдается удлинение латентности компонента Р3, то есть более длительное время в левых лобных и париетальных областях головного мозга по сравнению с контрольной группой. Фиксируется увеличение амплитуды пика компонента Р3 в левых лобных и центральных областях мозга. Параметры амплитуды N2-Р3 в затылочных областях головного мозга у лиц с миопией оказались выше, чем у здоровых испытуемых, статистически значимо справа. Выявлены достоверные различия в выраженности передне-заднего градиента амплитуд Р2-N2 между группами миопов и здоровых участников исследования.

Заключение. У миопов 17–19 лет выявлено удлинение времени принятия решения с вовлечением большего объема нейрональных ресурсов, в том числереесурсов зрительной и задне-височной коры головного мозга, при восприятии и распознавании значимой слуховой информации в сравнении с офтальмологически здоровыми лицами.

Ключевые слова: молодые люди; миопия; когнитивные слуховые вызванные потенциалы Р300; цифровизация

Для цитирования. Зеленцов, Р. Н., Кожевникова, И. С., & Поскотнинова, Л. В. (2025). Нейрофизиологические корреляты обработки значимой слуховой информации у молодых людей с миопией 17-19 лет. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(4), 482-500. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-4-1238>

Original article

NEUROPHYSIOLOGICAL CORRELATES OF PROCESSING SIGNIFICANT AUDITORY INFORMATION IN YOUNG PEOPLE WITH MYOPIA 17-19 YEARS OLD

R.N. Zelentsov, I.S. Kozhevnikova, L.V. Poskotinova

Abstract

Background. Myopia in young people causes a relative deficit in the receipt of visual afferent information, as well as compensatory tension of neurophysiological mechanisms of processing auditory information at the level of the neo-

cortex. The high rates of digitalization of education and lifestyle among young people, especially the first year of university studies, exacerbate not only the risk of myopia progression, but also the stress of information processing processes. It is important to identify neurophysiological correlates of stress in auditory information processing processes as potential neuromarkers of the risk of cognitive impairment in myopes.

Purpose. To study the characteristics of cognitive evoked potentials (VP) of P300 in young people aged 17-19 with myopia.

Materials and methods. 96 people, 66 girls and 30 boys participated in the study. The average age of the participants was 18.3 ± 0.1 years. 37 participants without ophthalmopathy and 59 people with an established diagnosis of “myopia” from among the students of the medical University of Arkhangelsk. The participants were assessed for uncorrected and maximally corrected visual acuity, the value of clinical refraction (in diopters), qualitative changes, as well as the margin of relative accommodation (in diopters). The latency and amplitude of the components of cognitive auditory VP R300 were determined using the NeuronSpectr-4/VPM electroencephalograph (Neurosoft, Russia). The obtained results were processed using the statistical software package SPSS.

Results. In myopes aged 17-19 years, compared with people without ophthalmopathy, the decision-making time (latency of the P3 component) in the left frontal and parietal regions of the brain is longer, and the peak amplitude of the P3 component in the left frontal and central parts of the brain is increased. The amplitude parameters of the N2-P3 component in individuals with myopia in the occipital regions of the brain were higher than in healthy participants (statistically significantly on the right) with significant differences in the severity of the anterior–posterior gradient of the amplitudes of the P2-N2 component in myopes and healthy individuals.

Conclusion. In myopes aged 17-19 years, an elongation of decision-making time was revealed with the involvement of a larger amount of neuronal resources, including the resources of the visual and posterior temporal cortex of the brain, when perceiving and recognizing significant auditory information in comparison with ophthalmologically healthy individuals.

Keywords: young people; myopia; cognitive auditory evoked potentials P300; digitalization

For citation. Zelentsov, R. N., Kozhevnikova, I. S., & Poskotinova, L. V. (2025). Neurophysiological correlates of processing significant auditory information in young people with myopia 17-19 years old. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(4), 482-500. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-4-1238>

Введение

По данным исследований миопия становится всё более распространённой, проявляется в раннем возрасте, а при прогрессировании может привести к ухудшению зрения, что ограничивает профессиональный выбор, вызывает слепоту и, как следствие, приводит к инвалидности по зрению. От 23 до 44,6% всех людей с инвалидностью по зрению страдают от миопии высокой степени [12].

В мире миопией страдает 1,6 миллиарда человек, и ожидается, что к 2020 году это число увеличится до 2,5 миллиарда, а к 2050 году – до 4758 миллионов [4].

В развитых странах мира миопия встречается у 30–55% населения, а в некоторых странах достигает 95%. При этом 16–38% случаев приходится на миопию высокой степени [5,6,14,19]. У 79,3% населения Сингапура встречается миопия, а в США – у 41,6% людей [16]. В Тайване и Китае близорукость встречается у 95,9% студентов [7; 17].

В ходе нашего недавнего исследования [2], которое проводилось в Архангельской области, мы сосредоточились на оценке различных аспектов зрения у участников. Наши результаты показали, что наибольшая доля лиц с впервые выявленной миопией среди взрослых была зафиксирована в возрастной группе 18–29 лет. У женщин этот показатель составил 35%, а у мужчин – 59,9% [2]. Это свидетельствует о том, что миопия становится все более распространенной проблемой среди молодежи, что может быть связано с увеличением времени, проводимого за экранами, а также с изменением образа жизни и учебными нагрузками. Важно отметить, что ранняя диагностика и коррекция зрения могут существенно улучшить качество жизни и предотвратить дальнейшее ухудшение состояния. Таким образом, наше исследование подчеркивает необходимость регулярных обследований зрения, особенно для молодежи, чтобы своевременно выявлять и корректировать возможные нарушения.

Современные люди всё больше времени проводят за экранами электронных устройств, что приводит к повышенной нагрузке на зрительный анализатор. Что может вызвать изменения в работе мозга, связанные с восприятием и обработкой информации поступающей афферентной информации, и, как следствие, развитию когнитивных нарушений [2].

Развиваются новые представления о миопии как о заболевании, связанном и с работой головного мозга. Исследования показывают, что миопия высокой степени может быть связана с развитием когнитивных нарушений [19].

Метод когнитивных вызванных потенциалов Р300 может использоваться не только для нейрофизиологического анализа работы мозга, но и для объективной оценки остроты зрения (в характеристиках Р3). Выявление Р3 указывает на выявление когнитивную реакцию на целевые стимулы в парадигме oddball [3].

Показатели латентности и амплитуды Р3 могут быть использованы в качестве объективной оценки остроты зрения [3]. В случае использования ВП Р300 через слуховой анализатор в условиях офтальмологически подтвержденной сниженной зрительной функции появляется возможность выявить новые нейрофизиологические компенсаторные возможности мозга при обработке поступающей слуховой сенсорной информации. Пространственное церебральное распределение параметров слухового когнитивного ВП Р300 у молодых людей с миопией позволит получить новую информацию об обработке поступающей информации и принятии решений у миопов.

Цель – исследовать изменение характеристик когнитивных вызванных потенциалов (ВП) Р300 у молодых людей с миопией, 17–19 лет.

Материалы и методы

96 человек 17–19 лет было привлечено для участия в исследовании (66 девушек и 30 юношей), средний возраст которых составил $18,3 \pm 0,1$ лет. Выполнялось офтальмологическое обследование всех участников исследования. В данном исследовании 59 человек имели установленный диагноз «миопия», все участники обучались в медицинском университете г. Архангельска

Исследование влияния различных факторов на зрительную функцию у подростков 17-19 лет потребовало тщательного отбора участников. Включены были только лица в указанном возрастном диапазоне, предоставившие добровольное информированное согласие на участие и соответствующие критериям 1 и 2 групп здоровья согласно диспансерному наблюдению. Таким образом, у участников отсутствовали серьезные заболевания, за исключением рефракционных нарушений, которые, и являлись предметом изучения. Важно отметить, что классификация здоровья опиралась на общепринятые стандарты, с указанием конкретных кодов МКБ-10 для каждого класса заболеваний. Критерии исключения были строгими и направлены на минимизацию влияния сопутствующих заболеваний на результаты исследования. Для контроля состояния участников перед исследованием проводился тщательный опрос и, при необходимости, измерение температуры

тела и артериального давления. В ходе обследования проводилась комплексная офтальмологическая диагностика. Определялись некорригированная острота зрения (НКОЗ) – визуальная острота без коррекции, максимально корригированная острота зрения (МКОЗ) – лучшее зрение, достигаемое с помощью очков или контактных линз, и клиническая рефракция (в диоптриях), характеризующая степень рефракционных ошибок (миопия, гиперметропия, астигматизм). Особое внимание уделялось исследованию аккомодации – способности глаза фокусироваться на объектах, находящихся на разном расстоянии, с определением запаса относительной аккомодации (ЗОА в диоптриях), показателя, отражающего эластичность хрусталика и способность глаза к адаптации. Все участники были разделены на две группы: группу офтальмологически здоровых (без заболеваний органа зрения) и группу пациентов с миопической рефракцией (слабой, средней или высокой степени), соответствующей коду МКБ-10 H52.1. Такое разделение позволило сравнить показатели зрительной функции в группах и выявить возможные различия, обусловленные наличием миопии различной степени.

Всем участникам исследования была проведена запись слуховых когнитивных вызванных потенциалов Р300 в положении сидя с закрытыми глазами с использованием электроэнцефалографа «НейронСпектр-4/ВПМ» (разработка компании «Нейрософт», Россия).

Частота квантования сигнала ЭЭГ составляла 500 Гц, полоса регистрации – от 0,5 до 35,0 Гц. Сопротивление электродов не превышало 10 кОм.

Испытуемым предъявлялись слуховые стимулы в случайной последовательности. Среди них были как частые (незначимые), так и редкие (значимые). При появлении значимого стимула испытуемый должен был нажать на кнопку.

Условия стимуляции были бинауральными. Длительность стимула составляла 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 составляла 30% от общего количества стимулов. Число усреднений для значимых стимулов достигало 25. Сигналы, превышающие амплитуду 100 мкВ, исключались. Оценивались латентность компонента Р2 (в миллисекундах), амплитуда Р2-Н2 (от пика до пика в микровольтах), латентность компонента Р3 (в миллисекундах), амплитуда пика компонента Р3 (до изолинии в микровольтах), амплитуда Н2-Р3 (от пика до пика в микровольтах) в электроэнцефалографических отведениях согласно международной схеме «10–20»[18]. Рассчитывали наличие передне-заднего градиента распре-

деления амплитуд изучаемых компонентов между лобными, теменными, центральными и височными с одной стороны и затылочными отделами с другой стороны, слева (Fp1-O1, F3-O1, C3-O1, P3-O1, T3-O1, T6-O1) и справа (Fp2-O2, F4-O2, C4-O2, P4-O2, T4-O2, T6-O2). При статистически значимой разнице значений амплитуд в передних и затылочных областях ($p < 0,05$) считали данный градиент выраженным, при отсутствии статистической значимости различий ($p > 0,05$) – градиент считали сглаженным.

Оценка результатов исследования показала, что распределение признака не соответствует нормальному. Для сравнения показателей в разных группах использовали критерии Манна–Уитни и Вальда–Вольфовица. Для описания признаков использовали медиану (Me) и интерквартильный размах от первого (Q1) до третьего (Q3) квартиля. Критический уровень значимости (p) при проверке статистических гипотез в исследовании был установлен на уровне 0,05. Статистическую обработку данных проводили с помощью специального программного обеспечения. Исследование проводилось в соответствии со всеми требованиями Хельсинкской декларации. Все участники дали добровольное письменное согласие на участие в исследовании. Исследование получило одобрение локального этического комитета, зафиксированное в протоколе № 06/09-23 от 27.09.2023.

Результаты

В ходе проведенного исследования было обследовано 96 участников, 192 глаза. В 38,5% случаев 74 глаза не было выявлено патологии органа зрения. Наличие миопической рефракции было выявлено в 61,5% случаев – 118 глаз, в среднем, в данной группе рефракция обследованных участников составила: $-2,27 \pm 0,13$ диоптрий.

Разделение участников по степеням близорукости представлено в таблице 1.

Таблица 1.

Гендерное разделение лиц, принявших участие в исследовании органа зрения по видам близорукости (абс. числ, %)

R.N.	Без офтальмо-патологии, абс., %	Миопия слабой степени абс., %	Миопия средней степени абс., %	Миопия высокой степени абс., %
Мужской	33 (17,2%)	21 (11,0%)	4 (2,1%)	2 (1,0%)
Женский	41 (21,3%)	59 (30,7%)	29 (15,1%)	3 (1,6%)
Всего	74 (38,5%)	80 (41,7%)	33 (17,2%)	5 (2,6%)

Как видно из таблицы 1 в большинстве случаев были выявлены миопия слабой, средней степени, 41,7% и 17,2% соответственно. При обследовании случайной выборки отсутствие патологии органа зрения было выявлено в 38,5% случаев.

Таблица 2.

Показатели остроты зрения вдаль и аккомодации у молодых лиц в возрасте 17–19 лет (Me (25;75)).

Показатели	Без офтальмопатологии n=74	Миопия			P
		Слабой степени n=80	Средней степени n=33	Высокой степени n=5	
Некорригированная острота зрения вдаль, усл. ед. по таблице Сивцева-Головина	1,0 (1,0; 1,0)	0,2 (0,1;0,5)	0,09 (0,05; 0,1)	0,06(0,06; 0,08)	p<0,001
Максимально корригированная острота зрения вдаль, усл. ед. по таблице Сивцева-Головина	–	1,0 (1,0; 1,0)	1,0 (0,9; 1,0)	0,9 (0,9; 1,0)	0,068
Положительная часть объема аккомодации, дптр	-4,43(-5,0; -4,0)	-3,67 (-5,0; -2,5)	-3,58 (-5,0; -3,0)	-3,31 (-4,0; -2,0)	p<0,001

Согласно данным, представленным в таблице 2, установлено статистически значимое снижение некорригированной остроты зрения как по сравнению с группой без офтальмологических нарушений, так и при сравнении групп участников исследования с миопической рефракцией в зависимости от степени близорукости.

Участники без офтальмологических патологий продемонстрировали некорригированную остроту зрения, равную 1,0 усл. ед. Участников с миопией слабой степени (-0,5 до -3,0 диоптрий) – 0,2 усл. ед., средней степени (-3,25 до -6,0 диоптрий) – 0,09 усл. ед., высокой степени (свыше -6,25 диоптрий) – 0,06 усл. ед.

Для оценки функции аккомодации на практике используется показатель запаса относительной аккомодации (положительная часть объема аккомодации). По данным таблицы 2, отмечено снижение положительной части объема аккомодации. При отсутствии офтальмологических патологий этот показатель составил -4,43 диоптрий.

Сравнение групп участников с различной степенью близорукости выявило снижение данного показателя: при слабой степени миопии – -3,67

диоптрий, средней степени – -3,58 диоптрий, высокой степени – -3,31 диоптрий. Выявленные различия статистически значимы ($p < 0,001$).

В исследовании принимали участие 30 мужчин и 66 женщин. Средний возраст участников составил $18,3 \pm 0,1$ лет, в группе здоровых участников было 37 человека, в группе миопов 59 человек.

Так как достоверных различий по полу выявлено не было, все участники исследования при анализе ВП Р300 были разделены на две группы: лица без офтальмопатологии и лица с миопией.

Результаты исследования слуховых когнитивных вызванных потенциалов Р300 распределились следующим образом. У миопов в сравнении с группой офтальмологически здоровых людей статистически значимо показано, что в отведениях F3 и P4 фиксируется более удлинённая латентность пика Р3. Статистически значимое различие в амплитудах пика Р3 фиксируется в отведениях F3 и Cz, где амплитуда пика Р3 у миопов превышает амплитуду пика Р3 у людей с нормой зрения. В таблице 3 представлены параметры пика Р3 слухового когнитивного вызванного потенциала Р300.

Таблица 3.

Параметры латентности и амплитуды пика компонента Р3 ВП Р300 у молодых людей 17–19 лет с нормальным зрением и миопией, Ме (Q1; Q3)

Параметр	Группа лиц без офтальмопатологии (n=37)	Группа лиц с миопией (n=59)	P
Латентность, мс			
F3	309,5 (293,8; 325,8)	314,3 (303,8; 328,0)	0,041
F4	307,4 (299,3; 329,1)	314,0 (299,0; 326,7)	0,380
C3	307,6 (293,0; 320,7)	312,4 (300,0; 324,1)	0,155
C4	306,9 (293,0; 322,7)	309,0 (295,0; 326,7)	0,573
P3	302,9 (291,6; 321,3)	309,0 (293,0; 320,0)	0,690
P4	304,9 (290,5; 321,4)	308,1 (291,1; 321,4)	0,010
F7	308,3 (295,9; 328,8)	313,4 (302,8; 327,3)	0,309
F8	308,0 (296,5; 321,9)	312,1 (297,5; 326,7)	0,302
T3	310,4 (296,5; 323,4)	310,0 (302,0; 325,0)	0,613
T4	308,5 (298,2; 321,8)	312,1 (294,0; 324,2)	0,845
T5	308,5 (291,8; 321,8)	309,0 (300,2; 325,1)	0,599
T6	306,0 (293,1; 321,1)	303,8 (291,1; 322,7)	0,969
Fz	312,2 (300,0; 324,8)	314,0 (296,2; 326,0)	0,997
Cz	300,9 (290,3; 320,9)	307,0 (296,0; 321,4)	0,355
Pz	303,5 (292,6; 321,3)	306,0 (290,0; 320,1)	0,866
O1	298,2 (287,2; 317,6)	306,0 (290,9; 318,8)	0,369

O2	303,3 (292,0; 318,8)	304,0 (291,1; 324,1)	0,815
Амплитуда, мкВ			
F3	6,1 (2,3; 10,2)	7,6 (4,7; 12,1)	0.037
F4	7,1 (3,4; 11,3)	8,8 (4,5; 11,9)	0.079
C3	7,5 (4,1; 12,2)	9,7 (6,0; 12,3)	0.085
C4	7,7 (4,3; 12,1)	9,8 (6,3; 13,9)	0.061
P3	8,5 (5,6; 13,1)	9,5 (7,5; 13,6)	0.248
P4	8,3 (5,9; 13,3)	9,5 (7,7; 14,4)	0.101
F7	5,7 (2,9; 8,7)	5,7 (3,4; 10,4)	0.211
F8	7,2 (3,6; 9,4)	7,5 (3,9; 10,9)	0.202
T3	6,5 (3,9; 10,1)	6,9 (3,8; 12,1)	0.250
T4	7,5 (3,7; 10,3)	8,3 (5,1; 11,9)	0.275
T5	5,8 (3,3; 10,5)	7,2 (4,3; 10,7)	0.171
T6	7,2 (4,5; 11,8)	8,6 (5,5; 12,3)	0.224
Fz	6,3 (2,4; 11,1)	8,5 (4,3; 14,5)	0.072
Cz	7,7 (3,6; 12,6)	9,4 (6,4; 12,6)	0.039
Pz	9,3 (5,5; 12,5)	9,9 (7,4; 15,2)	0.086
O1	9,1(6,0; 12,1)	8,7 (6,6; 13,0)	0.505
O2	9,1 (5,9; 11,7)	8,9 (5,7;13,3)	0.395

В таблице 4 представлены параметры амплитуды компонента N2-P3. У миопов амплитуда N2-P3 в затылочных отделах головного мозга выше, чем у здоровых участников исследования, значимо выше справа ($p=0,039$).

Таблица 4.

Параметры амплитуды N2-P3 у молодых людей 17–19 лет у лиц без патологии органа зрения и миопией, мкВ, Me (Q1; Q3)

Параметр	Группа лиц без офтальмопатологии (n=37)	Группа лиц с миопией (n=59)	P
F3	10,448 (7,434; 17,018)	12,533 (9,810;17,493)	0,322
F4	12,853 (7,459; 17,481)	12,247 (8,550;17,291)	0,322
C3	9,980 (6,651; 16,777)	11,992 (8,679;16,037)	0,897
C4	10,999 (6,417; 6,314)	11,153 (9,282;17,145)	0,931
P3	9,191 (5,805; 14,320)	10,466 (7,540;13,940)	0,897
P4	10,605 (6,845; 12,973)	10,856 (7,757;15,239)	0,576
F7	9,344 (7,253; 12,756)	11,218 (6,086;15,072)	0,155
F8	9,267 (6,864; 14,484)	10,032 (6,971;14,995)	0,438
T3	8,974 (6,454; 12,991)	9,743 (6,344; 13,874)	0,763
T4	9,886 (6,028; 16,366)	9,840 (7,442; 14,439)	0,102

T5	7,900 (5,435; 10,639)	8,106 (6,276; 11,886)	0,438
T6	9,093 (6,410; 13,525)	9,006 (6,722; 12,231)	0,322
Fz	13,936 (7,676; 17,383)	13,018 (8,953; 19,329)	0,576
Cz	10,585 (5,665; 17,662)	12,078 (7,988; 17,196)	0,064
Pz	10,605 (6,845; 12,973)	10,856 (7,757; 15,239)	0,952
O1	7,957 (4,974; 10,481)	9,740 (5,791; 12,508)	0,322
O2	8,765 (5,246; 12,008)	9,149 (6,292; 12,357)	0,039

Передне-заднее распределение амплитуд компонентов ВП Р300 при обработке слуховой информации отражает традиционно более высокую амплитуду данных компонентов в передних областях головного мозга, в том время как в области обработки зрительной информации (затылочные отделы мозга) данная амплитуда значительно меньше выражена.

Как в группе людей с миопией, так и в группе людей без офтальмопатологии передне-задние градиенты амплитуд N2-P3 распределялись следующим образом: по сравнению с затылочными отделами головного мозга, амплитуда компонента N2-P3 была закономерно статистически значимо выше в передних отделах головного мозга. Так, в группе здоровых людей (без офтальмопатологии), статистически значимо различаются градиенты F3-O1 ($p=0,012$), F4-O2 ($p=0,005$), C4-O2 ($p=0,048$); в группе людей с миопической рефракцией статистически значимая разница фиксируется в отведениях F3-O1 ($p=0,001$), F4-O2 ($p=0,001$), C3-O1 ($p=0,005$), C4-O2 ($p=0,004$).

В группах не выявлено статистически значимых различий латентностей компонента P2 ($p>0,05$). Однако распределение передне-задних градиентов амплитуд данного компонента (P2-N2) по конвексительной поверхности было различным в каждой группе (группе миопов и группе лиц с нормальным зрением). У лиц с миопической рефракцией в задневисочных областях (отведения T5 и T6) амплитуда P2-N2 была статистически значимо выше ($p<0,05$), чем в затылочных областях (отведения O1 и O2), медианы в отведениях T5 и T6 составили 5,0 мкВ и 5,6 мкВ соответственно, а в затылочных – 3,4 мкВ и 3,8 мкВ соответственно. Передне-задний градиент амплитуд компонента P2-N2 у миопов был сглажен, т.е. амплитуды компонента P2-N2 в лобных, теменных и затылочных областях мозга были статистически одинаковыми ($p>0,05$). У здоровых участников передне-задний градиент амплитуд P2-N2 был более отчетливым, т.е. амплитуды P2-N2 были закономерно больше в лобных отделах по сравнению с затылочными отделами мозга, особенно справа (7,2 мкВ и 5,2 мкВ

соответственно в Fp1 и O1 отделах; 7,9 мкВ и 5,2 мкВ соответственно в F4 и O2 отделах, $p < 0,05$).

Обсуждение результатов

Анализ описанных выше результатов исследования выявил, что у лиц 17-19 лет с миопической рефракцией увеличена амплитуда пика P3 в левых лобных и центральных отделах головного мозга; увеличены параметры латентности компонента P3 в левых лобных отделах и парietальных областях головного мозга; увеличена амплитуда N2-P3 в проекции зрительной коры, а также сглажен передне-задний градиент амплитуд P2-N2.

Таким образом, у миопов данной возрастной группы при распознавании значимого слухового стимула в большей степени вовлекаются нейрональные ресурсы зрительной и задне-височной коры головного мозга, преимущественно справа.

В нашем предыдущем исследовании с использованием аналогичной методики нами были показаны изменения параметров P300 у молодых людей с миопией более старшей возрастной группы, 21–23 лет [3].

Анализируя изменения слуховых когнитивных ВП P300 в группах миопов 17–19 и 21–23 лет можно предположить, что в целом формирование миопии сопряжено с удлинением времени обработки информации и более выраженным вовлечением нейрональных ресурсов для обработки когнитивной информации. Это связано с напряжением механизмов нейропластичности и вовлечением более широкого представительства корковых областей в обработку слуховой информации, включая область зрительной коры и задне-височных областей, в условиях относительного снижения вклада зрительной афферентной информации.

Тем не менее, есть различия нейрофизиологических коррелятов анализа и обработки информации в этих возрастных группах. Это может быть связано со стажем формирования миопической рефракции, когда фиксируются аномальное церебральное зрение [1; 16], а зрелость корковых структур различна в группах 17–19 и 21–23 лет различна.

В группе 17-19 лет, в отличие от группы 21-23 лет, изменяются и более ранние компоненты ВП P300 (P2 и N2), связанные с процессами восприятия, обработки и анализа поступающей афферентной информации, что говорит о вовлечении большего количества нейронов участвующих в обработке поступающей информации, большей напряженности коры головного мозга и задействованности большего количества нейрональных ресурсов у миопов, по сравнению с контрольной группой того же возраста. В группе людей с ми-

опией 17–19 лет, также как и группе миопов 21–23 лет, удлиняется время обработки слуховой информации и изменяется механизм нейронной регуляции восприятия и обработки поступающей афферентной информации на церебральном уровне, так как зрительная кора принимает участие в окончательном формировании зрительного образа. В то же время, напряжение структур головного мозга и вовлеченность большего количества мозговых ресурсов в обработку поступающей зрительной информации у группы миопов более младшего возраста, вероятно, связано с психофизиологическими факторами и социальным периодом, в котором они в данный момент находятся.

Возраст 17–19 лет ознаменуется для молодых людей новым социальным этапом и связан с поступлением в ВУЗ и большим числом социальных стресс-факторов, с которыми сталкивается молодой человек. Смена социального окружения и места жительства, переезд в другой город, изменение рациона питания и привычных продуктов, нерегулярная физическая нагрузка и, наконец, поступление в высшее учебное заведение, высокий уровень учебных требований – все это приводит молодого человека 17–19 лет в состояние серьезного психоэмоционального напряжения [4; 7].

Повсеместный переход на цифровые технологии обучения и высокая когнитивная нагрузка, особенно в медицинском ВУЗе, предъявляют высокие требования к пластичности мозга у студентов. Как показали наши исследования, у студентов с миопической рефракцией усложнены процессы восприятия и обработки поступающей афферентной информации, относительно групп контроля того же возраста. Высокая нагрузка на зрительный анализатор, адаптивные процессы, связанные с цифровизацией образовательного процесса и новой социализацией в вузе требуют максимального включения процессов нейропластичности, а также могут формировать предпосылки для когнитивных дисфункций, в том числе на фоне прогрессирования миопии.

Близорукость высокой степени является основной причиной слепоты во всем мире [15]. Это фактор риска многих тяжелых глазных осложнений, включая дегенерацию желтого пятна, катаракту и нейропатию зрительно-го нерва [8]. Таким образом, для людей с миопией нарастающий процесс цифровизации в сочетании с высокой когнитивной нагрузкой, может негативно сказываться на когнитивных функциях в частности и на мозговой деятельности в целом [3].

Заключение

У миопов 17–19 лет выявлено удлинение времени принятия решения с вовлечением большего объема нейрональных ресурсов, в том числе ресурсов зрительной и задне-височной коры головного мозга, при восприятии

и распознавании значимой слуховой информации, в сравнении с офтальмологически здоровыми лицами.

Представленные данные нейрофизиологических коррелятов обработки информации можно рассматривать в рамках физиологической адаптации корковых центров обработки когнитивной информации у лиц с миопией, так как не было выявлено задержки времени обработки информации, выходящей за рамки возрастных нормативов. Однако удлинение времени восприятия, распознавания слуховой информации и особенно времени принятия решения на фоне выраженного сглаживания передне-лобного градиента амплитуды компонентов ВП Р300 можно рассматривать как потенциальные нейромаркеры когнитивных нарушений на фоне прогрессирующей миопии. Учитывая, что значимый вклад в развитие таких нейрофизиологических изменений могут вносить психоэмоциональные нарушения, то вышеобозначенные особенности распределения компонент ВП Р300 у миопов могут быть также нейромаркерами, отражающими необходимость углубленной нейropsychологической диагностики и последующей нейрокоррекции для повышения адаптационных возможностей мозга и успешного выполнения образовательных задач у молодых лиц.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено с использованием средств гранта Российского научного фонда № 23-75-01072, <https://rscf.ru/project/23-75-01072/>.

Список литературы

1. Дутчин, И. В., и др. (2022). Изучение психоэмоционального статуса у пациентов, планирующих на выполнение кераторефракционных операций по методике SMILE. *Офтальмохирургия*, (3), 20–27. <https://doi.org/10.25276/0235-4160-2022-3-20-27>. EDN: <https://elibrary.ru/AZYWUL>
2. Зеленцов, Р. Н., Унгурану, Т. Н., & Поскотинова, Л. В. (2022). Возрастные аспекты заболеваемости миопией на европейском севере России. *Экология человека*, (1), 19–26. <https://doi.org/10.17816/humeco84128>. EDN: <https://elibrary.ru/INPCKF>
3. Зеленцов, Р. Н., Поскотинова, Л. В., & Кожевникова, И. С. (2023). Особенности пространственного распределения параметров слуховых когнитивных вызванных потенциалов Р300 у молодых людей с миопией. *Экология*

- человека, 30(11), 865–874. <https://doi.org/10.17816/humeco626008>. EDN: <https://elibrary.ru/YHKMDV>
4. Тарутта, Е. П., и др. (2018). Комплексный подход к профилактике и лечению прогрессирующей миопии у школьников. *РМЖ. Клиническая офтальмология*, 18(2), 70–76. <https://doi.org/10.21689/2311-7729-2018-18-2-70-76>. EDN: <https://elibrary.ru/OTMVBH>
 5. Braverman, R. (2007). Diagnosis and treatment of refractive errors in the pediatric population. *Current Opinion in Ophthalmology*, 18(5), 379–383. <https://doi.org/10.1097/ICU.0b013e328244dfed>
 6. Dayan, Y. B., et al. (2005). The changing prevalence of myopia in young adults: a 13-year series of population-based prevalence surveys. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 46(8), 2760–2765. <https://doi.org/10.1167/iovs.04-0260>
 7. Fan, D. S. P., et al. (2004). Prevalence, incidence, and progression of myopia of school children in Hong Kong. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 45(4), 1071–1075. <https://doi.org/10.1167/iovs.03-1151>
 8. Hayashi, K., et al. (2010). Long-term pattern of progression of myopic maculopathy: a natural history study. *Ophthalmology*, 117(8), 1595–1611. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2009.11.003>
 9. Holden, B. A., et al. (2016). Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050. *Ophthalmology*, 123(5), 1036–1042. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2016.01.006>
 10. Ikuno, Y. (2017). Overview of the complications of high myopia. *Retina*, 37(12), 2347–2351.
 11. Li, Q., et al. (2020). Investigation of the psychological health of first-year high school students with myopia in Guangzhou. *Brain and Behavior*, 10(4), e01594. <https://doi.org/10.1002/brb3.1594>. EDN: <https://elibrary.ru/FXKKNQ>
 12. McCarty, C. A., & Taylor, H. R. (2000). Myopia and vision 2020. *American Journal of Ophthalmology*, 129(4), 525–527.
 13. Nitzan, I., Shmueli, O., & Safir, M. (2024). Association of myopia with anxiety and mood disorders in adolescents. *Eye*, 1–3. <https://doi.org/10.1038/s41433-024-03170-6>. EDN: <https://elibrary.ru/FVHVXZ>
 14. Qiu, M., et al. (2013). Association between myopia and glaucoma in the United States population. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 54(1), 830–835. <https://doi.org/10.1167/iovs.12-11158>
 15. Ruiz-Medrano, J., et al. (2019). Myopic maculopathy: current status and proposal for a new classification and grading system (ATN). *Progress in Retinal and Eye Research*, 69, 80–115. <https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2018.10.005>. EDN: <https://elibrary.ru/TPBWAV>

16. Vitale, S., Sperduto, R. D., & Ferris, F. L. (2009). Increased prevalence of myopia in the United States between 1971–1972 and 1999–2004. *Archives of Ophthalmology*, 127(12), 1632–1639. <https://doi.org/10.1001/archophthal-mol.2009.303>
17. Wang, T. J., et al. (2009). Changes of the ocular refraction among freshmen in National Taiwan University between 1988 and 2005. *Eye*, 23(5), 1168–1169. <https://doi.org/10.1167/iops.03-1151>
18. World Health Organization. Retrieved from: <http://www.who.int/blindness/causes/priority/en/index4.html>
19. Wu, P. C., et al. (2018). Myopia prevention and outdoor light intensity in a school-based cluster randomized trial. *Ophthalmology*, 125(8), 1239–1250. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2017.12.011>
20. Zhu, X., et al. (2023). CCL2-mediated inflammatory pathogenesis underlies high myopia-related anxiety. *Cell Discovery*, 9(1), 94. <https://doi.org/10.1038/s41421-023-00588-2>. EDN: <https://elibrary.ru/MMQJUM>
21. Zhu, X., et al. (2021). Aberrant TGF- β 1 signaling activation by MAF underlies pathological lens growth in high myopia. *Nature Communications*, 12(1), 2102. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22041-2>. EDN: <https://elibrary.ru/XAAUMZ>

References

1. Dutchin, I. V., et al. (2022). Study of the psycho-emotional status in patients scheduled for keratorefractive surgery using the SMILE technique. *Ophthalmosurgery*, (3), 20–27. <https://doi.org/10.25276/0235-4160-2022-3-20-27>. EDN: <https://elibrary.ru/AZYWUL>
2. Zelentsov, R. N., Unguryanu, T. N., & Poskotinova, L. V. (2022). Age-related aspects of myopia incidence in the European North of Russia. *Human Ecology*, (1), 19–26. <https://doi.org/10.17816/humeco84128>. EDN: <https://elibrary.ru/IHPCKF>
3. Zelentsov, R. N., Poskotinova, L. V., & Kozhevnikova, I. S. (2023). Features of the spatial distribution of auditory cognitive evoked potentials P300 parameters in young people with myopia. *Human Ecology*, 30(11), 865–874. <https://doi.org/10.17816/humeco626008>. EDN: <https://elibrary.ru/YHKMDV>
4. Tarutta, E. P., et al. (2018). A comprehensive approach to the prevention and treatment of progressive myopia in schoolchildren. *RMJ. Clinical Ophthalmology*, 18(2), 70–76. <https://doi.org/10.21689/2311-7729-2018-18-2-70-76>. EDN: <https://elibrary.ru/OTMVBH>
5. Braverman, R. (2007). Diagnosis and treatment of refractive errors in the pediatric population. *Current Opinion in Ophthalmology*, 18(5), 379–383. <https://doi.org/10.1097/ICU.0b013e328244dfed>

6. Dayan, Y. B., et al. (2005). The changing prevalence of myopia in young adults: a 13-year series of population-based prevalence surveys. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 46(8), 2760–2765. <https://doi.org/10.1167/iovs.04-0260>
7. Fan, D. S. P., et al. (2004). Prevalence, incidence, and progression of myopia of school children in Hong Kong. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 45(4), 1071–1075. <https://doi.org/10.1167/iovs.03-1151>
8. Hayashi, K., et al. (2010). Long-term pattern of progression of myopic maculopathy: a natural history study. *Ophthalmology*, 117(8), 1595–1611. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2009.11.003>
9. Holden, B. A., et al. (2016). Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050. *Ophthalmology*, 123(5), 1036–1042. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2016.01.006>
10. Ikuno, Y. (2017). Overview of the complications of high myopia. *Retina*, 37(12), 2347–2351.
11. Li, Q., et al. (2020). Investigation of the psychological health of first-year high school students with myopia in Guangzhou. *Brain and Behavior*, 10(4), e01594. <https://doi.org/10.1002/brb3.1594>. EDN: <https://elibrary.ru/FXKKNQ>
12. McCarty, C. A., & Taylor, H. R. (2000). Myopia and vision 2020. *American Journal of Ophthalmology*, 129(4), 525–527.
13. Nitzan, I., Shmueli, O., & Safir, M. (2024). Association of myopia with anxiety and mood disorders in adolescents. *Eye*, 1–3. <https://doi.org/10.1038/s41433-024-03170-6>. EDN: <https://elibrary.ru/FVHVXZ>
14. Qiu, M., et al. (2013). Association between myopia and glaucoma in the United States population. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 54(1), 830–835. <https://doi.org/10.1167/iovs.12-11158>
15. Ruiz-Medrano, J., et al. (2019). Myopic maculopathy: current status and proposal for a new classification and grading system (ATN). *Progress in Retinal and Eye Research*, 69, 80–115. <https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2018.10.005>. EDN: <https://elibrary.ru/TPBWAV>
16. Vitale, S., Sperduto, R. D., & Ferris, F. L. (2009). Increased prevalence of myopia in the United States between 1971–1972 and 1999–2004. *Archives of Ophthalmology*, 127(12), 1632–1639. <https://doi.org/10.1001/archophthalmol.2009.303>
17. Wang, T. J., et al. (2009). Changes of the ocular refraction among freshmen in National Taiwan University between 1988 and 2005. *Eye*, 23(5), 1168–1169. <https://doi.org/10.1167/iovs.03-1151>
18. World Health Organization. Retrieved from: <http://www.who.int/blindness/causes/priority/en/index4.html>

19. Wu, P. C., et al. (2018). Myopia prevention and outdoor light intensity in a school-based cluster randomized trial. *Ophthalmology*, 125(8), 1239–1250. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2017.12.011>
20. Zhu, X., et al. (2023). CCL2-mediated inflammatory pathogenesis underlies high myopia-related anxiety. *Cell Discovery*, 9(1), 94. <https://doi.org/10.1038/s41421-023-00588-2>. EDN: <https://elibrary.ru/MMQJUM>
21. Zhu, X., et al. (2021). Aberrant TGF- β 1 signaling activation by MAF underlies pathological lens growth in high myopia. *Nature Communications*, 12(1), 2102. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22041-2>. EDN: <https://elibrary.ru/XAAUMZ>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Зеленцов Роман Николаевич, к.м.н., доцент кафедры семейной медицины и внутренних болезней
*ФГБОУ ВО Северный государственный медицинский университет
Минздрава России
пр. Троицкий, 51, г. Архангельск, 163000, Российская Федерация
zelentsovrn@gmail.com*

Кожевникова Ирина Сергеевна, к.б.н., доцент кафедры биологии человека и биотехнических систем; доцент кафедры гигиены и медицинской экологии
*ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»; ФГБОУ ВО Северный государственный медицинский университет Минздрава России
Набережная Северной Двины, 17, г. Архангельск, 163002, Российская Федерация; пр. Троицкий, 51, г. Архангельск, 163000, Российская Федерация
kogevnikovais@yandex.ru*

Поскотнинова Лилия Владимировна, д.б.н., к.м.н., доцент, главный научный сотрудник, заведующая лабораторией биоритмологии Института физиологии природных адаптаций

*Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук; ФГБОУ ВО Северный государственный медицинский университет Минздрава России
пр. Никольский, 20, г. Архангельск, 163020, Российская Федерация;
пр. Троицкий, 51, г. Архангельск, 163000, Российская Федерация
liliya200572@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Roman N. Zelentsov, Cand. Sc. (Med), Associate Professor of the Department of Family Medicine and Internal Diseases
*Northern State Medical University
51, Troitsky Ave., Arkhangelsk, 163000, Russian Federation
zelentsovrn@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4875-0535>*

Irina S. Kozhevnikova, Ph.D., Associate Professor of the Department of Human Biology and Biotechnical Systems; Associate Professor of the Department of Hygiene and Medical Ecology
*Northern (Arctic) Federal University; Northern State Medical University
17, Severnaya Dvina Embankment, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; 51, Troitsky Ave., Arkhangelsk, 163000, Russian Federation
kogechnikovais@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7194-9465>*

Liliya V. Poskotinova, Dr.Sc. (Biol.), Cand. Sc. (Med.), Associated Professor, Chief Scientific Resercher, Head of the Biorhythmology Laboratory, Institute of Environmental Physiology
*N.P. Laverov Federal Research Center for Integrated Arctic Studies, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; Northern State Medical University
20, Nikolsky Ave., Arkhangelsk, 163020, Russian Federation; 51, Troitsky Ave., Arkhangelsk, 163000, Russian Federation
liliya200572@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7537-0837>*

Поступила 29.11.2024

После рецензирования 15.12.2024

Принята 13.02.2025

Received 29.11.2024

Revised 15.12.2024

Accepted 13.02.2025