

- Худяков А. Ю., Лебедев Я. Б., Машенко Н. В. Эффективность силиконовой тампонады в хирургическом лечении макулярных разрывов большого диаметра. *Офтальмохирургия* 2013; 1: 6–8).
2. Kelly NE, Wendel RT. Vitreous surgery for idiopathic macular holes: Results of a pilot study. *Arch Ophthalmol* 1991; (109): 654–9.
3. Madreperla SA, Geiger GL, Funata M, et al. Clinicopathologic correlation of a macular hole treated by cortical vitreous peeling and gas tamponade. *Ophthalmology* 1994; (101): 682–6.
4. Method of surgical treatment of macular rupture: Russian patent for invention No. 2407493 dated 27.12.2010/Bikbov MM, Altynbayev UR. Russian (Способ хирургического лечения макулярного разрыва: патент РФ на изобретение №2407493 от 27.12.2010 г./М.М. Бикбов, У.Р. Алтынбаев).
5. Lyskin PV, Zakharov VD, Lozinskaya OL. Pathogenesis and treatment of idiopathic macular holes: Evolution of the question. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery* 2010; (3): 52–5. Russian (Лыскин П. В., Захаров В. Д., Лозинская О. Л. Патогенез и лечение идиопатических макулярных разрывов: эволюция вопроса. *Офтальмохирургия* 2010; (3): 52–5).
6. Spiteri Cornish K, Lois N, Scott N, et al. Vitrectomy with internal limiting membrane (ILM) peeling versus vitrectomy with no peeling for idiopathic full-thickness macular hole (FTMH). *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2013; (6). DOI: 10.1002/14651858. CD009306. pub².
7. Shin M, Park K, Park S, Byon I, Lee J. Perfluoro-n-octane-assisted single-layered inverted internal limiting membrane flap technique for macular hole surgery. *Retina* 2014; 34 (9): 1905–10.
8. Yooh JS, Brooks HL, Capone AJr, et al. Ultrastructural features of tissue removed during idiopathic macular hole surgery. *Am J Ophthalmol* 1996; (122): 67–75.
9. Shkvorchenko DO, Khoroshilova-Maslova IP, Andreeva LD, et al. Surgical treatment of idiopathic macular holes with removal of the inner bordering membrane of the retina. In proceedings of All-Russian scientific and research conference "Current technologies of vitreoretinal pathology treatment". Moscow, 2002: 338–346. Russian (Шкворченко Д. О., Хорошилова-Маслова И. П., Андреева Л. Д. и др. Хирургическое лечение идиопатических макулярных разрывов с удалением внутренней пограничной мембраны сетчатки. В кн.: Современные технологии лечения витреоретинальной патологии: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. М., 2002; 338–46).
10. Chen SN, Yang CM. Lens capsular flap transplantation in the management of refractory macular hole from multiple etiologies. *Retina* 2016; 36 (1): 163–70.
11. Benson WE, Cruckshanks KC, Fong DC, et al. Surgical management of macular holes: a report by the American Academy of Ophthalmology. *Ophthalmology* 2001; (108): 1328–35.
12. Lois N, Burr J, Norrie J, et al. Internal limiting membrane peeling versus no peeling for idiopathic full-thickness macular hole: a pragmatic randomized controlled trial. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2011; 52 (3): 1586–92.
13. Paques M, Massin P, Santiago PY, et al. Late reopening of successfully treated macular holes. *Br J Ophthalmol* 1997; 81 (8): 658–62.
14. Brooks HL. Macular hole surgery with and without internal limiting membrane peeling. *Ophthalmology* 2000; (107): 1939–49.
15. Alpatov SA, Shchuko AG, Malyshev VV. Pathogenesis and treatment of idiopathic macular holes. Novosibirsk: Nauka, 2005; 136 p. Russian (Алпатов С. А., Щуко А. Г., Малышев В. В. Патогенез и лечение идиопатических макулярных разрывов. Новосибирск: Наука, 2005; 136 с.).
16. Couvillion SS, Smiddy WE, Flynn HW, et al. Outcomes of surgery for idiopathic macular hole: A case-control study comparing silicone oil with gas tamponade. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging Retina* 2005; 36 (5): 365–71.
17. Gekka T, Watanabe A, Ohkuma Y, et al. Pedicle internal limiting membrane transposition flap technique for refractory macular hole. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging Retina* 2015; 46 (10): 1045–6.
18. A method for surgical treatment of penetrating idiopathic macular rupture: Russian patent for invention No. 2395255 dated 27.07.2010/Belyy YuA, Tereshchenko AV. Russian (Способ хирургического лечения сквозного идиопатического макулярного разрыва: патент РФ на изобретение №2395255 от 27.07.2010 г./Ю. А. Белый, А. В. Терещенко).
19. Michalewska Z, Michalewska J, Dulczewska-Cichecka K, et al. Temporal inverted internal limiting membrane flap technique versus classic inverted internal limiting membrane flap technique: a comparative study. *Retina* 2015; 35 (9): 1844–50.
20. Shilov NM, Tereshchenko AV, Trifanenkova IG. Modification of the technology for closure of large idiopathic macular ruptures using the method of step formation of a fragment of the internal boundary membrane. *Current Technologies in Ophthalmology* 2017; 5 (18): 79–82. Russian (Шилов Н. М., Терещенко А. В., Трифаненкова И. Г. и др. Модификация технологии закрытия больших идиопатических макулярных разрывов с применением методики поэтапного формирования фрагмента внутренней пограничной мембраны. Современные технологии в офтальмологии 2017; 5 (18): 79–82).

УДК 159.9+612.84+617.7

Оригинальная статья

ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЗРИТЕЛЬНЫХ ВЫЗВАННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ В НОРМЕ И ПРИ МИОПИИ

А. Р. Шарипов — ФГБУ «Всероссийский центр глазной и пластической хирургии» Минздрава России, заведующий научно-исследовательским отделом электрофизиологии и психофизики зрительной системы, кандидат биологических наук; **Г. М. Михайлова** — ФГБУ «Всероссийский центр глазной и пластической хирургии» Минздрава России, научный сотрудник лаборатории нейрофизиологии и психофизики зрения; **Р. А. Мухамедеев** — Республиканский клинический онкологический диспансер Министерства здравоохранения Республики Башкортостан, начальник технического отдела, кандидат биологических наук.

AGE-RELATED FEATURES OF VISUAL EVOKED POTENTIALS IN THE NORM AND AT MYOPIA

A. R. Sharipov — Russian Center for Eye and Plastic Surgery, Head of the Research Department of Electrophysiology and Psychophysics of the Visual System, PhD; **G. M. Mikhaylova** — Russian Center for Eye and Plastic Surgery, Researcher of the Laboratory of Neurophysiology and Psychophysics of Vision; **R. A. Mukhamadeev** — Republican Clinical Oncology Dispensary of the Ministry of Health of the Republic of Bashkortostan, Head of the Technical Department, PhD.

Дата поступления — 10.04.2020 г.

Дата принятия в печать — 04.06.2020 г.

Шарипов А. Р., Михайлова Г. М., Мухамедеев Р. А. Возрастные особенности зрительных вызванных потенциалов в норме и при миопии. *Саратовский научно-медицинский журнал* 2020; 16 (2): 690–695.

Цель: сравнить возрастные особенности формирования зрительного анализатора методом зрительных вызванных потенциалов у пациентов с миопией и с «нормальным» зрением. **Материал и методы.** Всего обследовано 42 человека (84 глаза) по следующим методикам: исследование остроты зрения, определение клинической рефракции и регистрация зрительных вызванных потенциалов. Возраст исследуемых находился

в диапазоне от 6 лет до 31 года. В исследованной выборке добровольцев выделены три возрастные группы и одна группа с диагнозом «миопия». **Результаты.** Получены средние величины для группы 1 при монокулярной стимуляции и отведении с ипсилатерального полушария: $79,7 \pm 0,8$, $111,8 \pm 1,2$ и $157,5 \pm 1,8$ мс для N75, P100 и N145 соответственно ($M \pm SE$). Для группы 2: $77,5 \pm 1,9$, $104,1 \pm 1,2$ и $142,7 \pm 1,3$ мс. Для группы 3: $78,7 \pm 0,7$, $103,9 \pm 1,1$ и $136,8 \pm 2,3$ мс. Для группы 4: $71,4 \pm 3,9$, $111,6 \pm 3,7$ и $158,3 \pm 3,6$ мс. Показаны существенные различия в конфигурации, компонентном составе и характеристиках паттерн-ЗВП при стимуляции центральных и периферических полей зрения. Обнаружены статистически значимые различия степени зрелости макулярной области испытуемых с нормальным зрением и с миопией. **Заключение.** Обнаруженные различия формирования зрительного анализатора свидетельствуют о разновременном созревании первичных сенсорных механизмов и механизмов их когнитивного анализа у здоровых испытуемых и пациентов с близорукостью.

Ключевые слова: формирование зрительной системы, зрительные вызванные потенциалы, миопия, зрительная кора головного мозга.

Sharipov AR, Mikhaylova GM, Mukhamadeev RA. Age-related features of visual evoked potentials in the norm and at myopia. Saratov Journal of Medical Scientific Research 2020; 16 (2): 690–695.

*The purpose of the study is to compare age-related features of the visual analyzer formation using the method of visual evoked potentials (VEP) in patients with myopia and with "normal" vision. **Material and Methods.** A total of 42 people (84 eyes) were examined using the following methods: the study of visual acuity, determination of clinical refraction and registration of visual evoked potentials. The age of the patients ranged from 6 years to 31 years of age. In the group of volunteers, there were 3 age groups and 1 group with myopia. **Results.** The average values for the first group with monocular stimulation and lead from the ipsilateral hemisphere were obtained: 79.7 ± 0.8 , 111.8 ± 1.2 and 157.5 ± 1.8 ms for N75, P100 and N145 respectively ($M \pm SE$). For the second group: 77.5 ± 1.9 , 104.1 ± 1.2 and 142.7 ± 1.3 ms. For the third group: 78.7 ± 0.7 , 103.9 ± 1.1 and 136.8 ± 2.3 ms. For the fourth group: 71.4 ± 3.9 , 111.6 ± 3.7 and 158.3 ± 3.6 ms. Significant differences were shown in the configuration, component composition and characteristics of the pattern-VEP during stimulation of the central and peripheral fields of vision. Significant differences were found in the degree of maturity of macular region of subjects with normal vision and with myopia. **Conclusion.** The detected differences in visual analyzer formation indicate that primary sensory mechanisms and mechanisms of their cognitive analysis matured at different times in healthy subjects and patients with myopia.*

Key words: formation of the visual system, visual evoked potentials, myopia, visual cortex of the brain.

Введение. Изучение особенностей формирования зрительной системы, особенно в раннем возрасте, является в настоящее время одной из важных задач физиологии зрения. В значительной степени это обусловлено существенным техногенным давлением на организм современного человека.

Близорукость — миопия — наиболее частый дефект зрения. Прогрессирование миопии может привести к необратимым изменениям в глазу и значительной потере зрения. Осложненная близорукость — одна из причин инвалидности вследствие заболевания глаз [1].

По статистике ВОЗ, примерно 290 млн человек в мире имеют проблемы со зрением (близорукость), из них 19 млн — дети до 18 лет. В 2015 г. эксперты впервые заговорили о том, что миопия приобретает масштабы эпидемии — так стремительно увеличивается число заболевших во всех уголках земного шара. По прогнозам, к 2050 г. близоруких будет насчитываться примерно 4,5 млрд человек — это половина населения земного шара [2].

В России на протяжении ряда лет в структуре заболеваний глаза и его вспомогательных структур первенствует миопия — 19,1% (3,1 млн случаев, 2158,2 на 100 тыс. населения) [3]. С миопией чаще всего сталкиваются детские офтальмологи: среди детей 34% (2,1 млн случаев, 4501,2 на 100 тыс. детского населения) страдают близорукостью [3].

Существует много причин, вызывающих возникновение близорукости. Среди главных причин офтальмологи выделяют следующие: чрезмерную зрительную нагрузку при работе на близком расстоянии (без отдыха для глаз и при плохом освещении); наследственную предрасположенность, выражающуюся в особенностях строения глазного яблока и обмена веществ в нем; ослабленную склеру, связанную с дефектами коллагена; недостаточно развитые аккомодационные механизмы и перенапряжение цили-

арной мышцы, отвечающей за «настройку» рефракции хрусталика на разные расстояния, и др. [4].

Основное внимание исследователей сосредоточено на периферическом отделе зрительного анализатора, тогда как центральные механизмы зрения, их роль в формировании зрительных нарушений, и прежде всего близорукости, исследована значительно слабее.

Хорошо известно, что исследование зрительных вызванных потенциалов (ЗВП) является одним из наиболее информативных методов исследования функций зрительного анализатора. Вызванные потенциалы мозга — это объективный метод тестирования состояния центральной нервной системы, основанный на регистрации электрической активности головного мозга, возникающей в ответ на стимулы. В настоящее время этот метод получил широкое применение как в клинической, так и в научной практике. Метод позволяет получить объективную информацию без словесного ответа больного, что особенно важно в случае обследования детей или больных с различными нарушениями зрения или негативного отношения к обследованию. ЗВП — один из наиболее объективных методов оценки функций зрительной системы на всех структурных уровнях (глаз, нерв, мозг), позволяющий провести дифференциальную диагностику функциональных и органических нарушений зрения, оценить динамическую реактивность зрительной системы на проводимое лечение, тестировать нарушения зрительного тракта и коры, обнаружить наличие патологии в зрительной специфической и неспецифической афферентации у больных с нарушениями зрения [5].

Цель: сравнить возрастные особенности формирования зрительного анализатора методом зрительных вызванных потенциалов у пациентов с миопией и с «нормальным» зрением.

Материал и методы. Исследовано 42 человека (84 глаза). Объектами исследования явились в основном добровольцы — дети и подростки города Уфы и пациенты Всероссийского центра глазной

и пластической хирургии Минздрава России. В исследованной выборке добровольцев выделено несколько групп:

Группа 1: испытуемые с нормальным зрением, возраст 6 лет (6 ± 0 лет, $M \pm SD$), 11 человек (22 глаза).

Группа 2: испытуемые с нормальным зрением, возраст 13–16 лет (15 ± 1 год, $M \pm SD$), 11 человек (22 глаза).

Группа 3: испытуемые с нормальным зрением, возраст 26–31 год (29 ± 2 года, $M \pm SD$), 10 человек (20 глаз).

Группа 4: испытуемые с миопией слабой/высокой степени, возраст 6–23 года (12 ± 4 года, $M \pm SD$), 10 человек (19 глаз).

Исследовали морфоанатомические и функциональные показатели зрительной системы. К первым относятся показатели клинической рефракции (Сфера, Цилиндр, Ось). Функциональные показатели: острота зрения без и с коррекцией (при миопии) по кольцам Ландольта, оптотипам Снеллена, большая группа амплитудно-латентных характеристик ЗВП.

Все исследования выполнены в соответствии со стандартами Надлежащей клинической практики (Good Clinical Practice) и принципами Хельсинкской декларации. Протокол исследования одобрен этическими комитетами всех участвующих клинических центров. До включения в исследование у всех участников получено письменное информированное согласие.

Исследование остроты зрения. В офтальмологической практике остроту зрения измеряют при помощи таблиц, составленных из оптотипов Снеллена, Ландольта или Головина — Сивцева. В исследовании с использованием буквенных оптотипов нормальным считается глаз, который различает разрыв кольца или толщину буквы, равные одной угловой минуте и менее [6].

Для этой работы остроту зрения исследовали с использованием таблиц Сивцева и таблиц для определения остроты зрения в диапазоне от 0,7 до 3,0 со знаками Снеллена и кольцами Ландольта. Исследования проводились для каждого глаза отдельно: OD и OS.

Определение клинической рефракции. Измерение рефракции осуществляли компьютеризированным автоматическим рефрактометром Grand Seiko Co. GR 21 с точностью измерений 0,25 D. После наведения прибора на глаз компьютер автоматически измеряет клиническую рефракцию во всех меридианах, выдавая результат в виде рецепта на очки (sph, cyl, ax).

Зрительные вызванные потенциалы (ЗВП). Для регистрации ЗВП использовался компьютерный комплекс «Нейро-МВП» (производитель — фирма «Нейрософт», Иваново). Регистрацию сигнала производили эпохами по 500 мс при помощи накожных отводящих электродов и зрительного стимулятора (дисплея) с обрабатываемым паттерном. Активные электроды размещали над затылочной областью O2, O1; референтный электрод располагается в CZ (вертексе); заземляющий электрод устанавливается на лобный полюс — Fpz.

Характеристики обрабатываемого паттерна:

- с высоким контрастом черных и белых клеток;
- монокулярная стимуляция полного поля с фиксацией взгляда на центральную точку;
- частота обращения шахматных паттернов 1,5 Гц;
- размер ячейки паттерна 10–240 угловых минут;
- яркость 70–80% от максимальной; обследование проводится в затемненном помещении.

Размеры ячеек паттерна выбирались в соответствии с клинической задачей. Мелкие ячейки

(10 угловых минут) использовали для исследования механизмов центрального зрения. Эти стимулы особенно чувствительны к расфокусировке и снижению остроты зрения. Крупные ячейки (250 угловых минут) использовали для стимуляции механизмов периферического зрения, поскольку ЗВП на эти стимулы менее чувствительны к расфокусировке и снижению остроты зрения.

Регистрацию ЗВП проводили для каждого глаза отдельно (OD, OS) и бинокулярно (OU). Все исследование проводили с оптимальной оптической коррекцией рефракционных нарушений. Анализировали результаты регистрации зрительных вызванных потенциалов в виде усредненных кривых, а также характеристики: амплитуду и пиковую латентность основных, традиционно выделяемых, компонентов N75, P100, N145, P200.

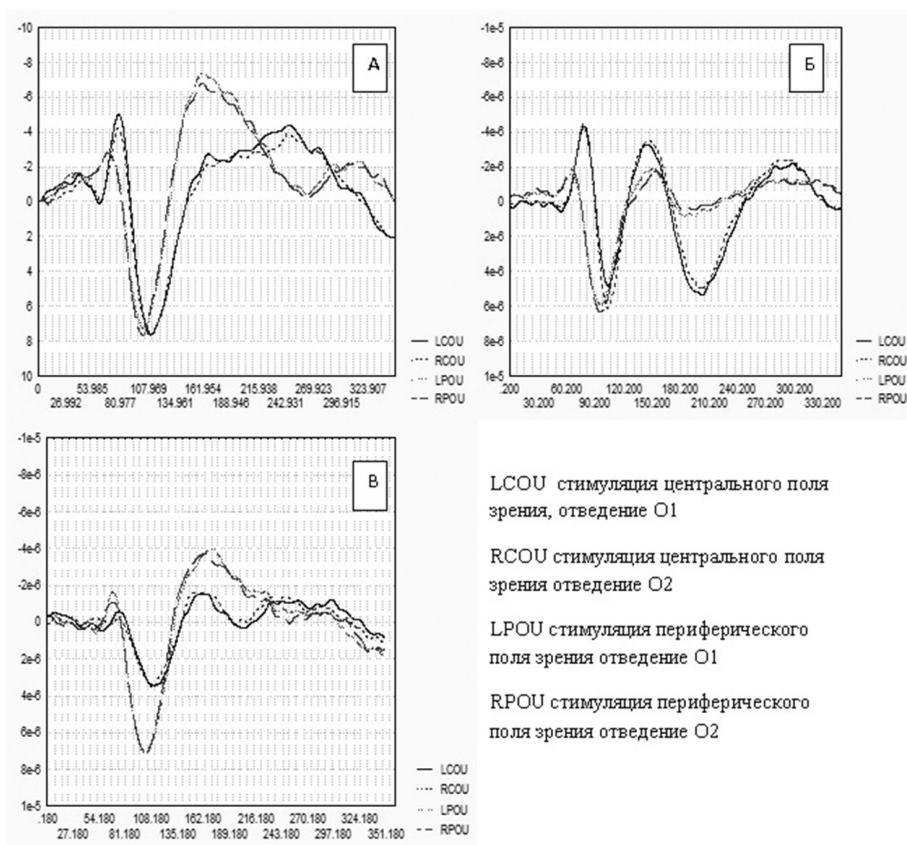
Математико-статистическая обработка данных осуществляется при помощи пакета прикладных программ Statistica 8.0 (StatSoft). Для предварительного анализа полученных данных использовали модули, обеспечивающие оценку статистических параметров и форму распределения каждого показателя. Сравнение показателей по выделенным группам осуществлялось при помощи параметрического критерия (t-критерий Стьюдента, F-критерий Фишера) [7, 8]. Данные представлены в формате: среднее значение — M, минимальное значение — Min, максимальное значение — Max, стандартное отклонение — SD, стандартная ошибка SE.

При оценке динамических изменений состояния анализируемых параметров использовался метод дисперсионного анализа (ANOVA). Этот метод предназначен для оценки достоверности силы и характера влияния одного или нескольких «контролируемых» факторов на результативный признак [9].

Под «контролируемыми» подразумеваются те факторы, действием которых экспериментатор может управлять или действие которых он может хотя бы контролировать (например, время). Контролируемые факторы различаются по так называемым «градациям» — различным степеням или вариантам их проявления. Все прочие факторы, потенциально оказывающие действие на результативный признак, но не контролируемые в ходе конкретного эксперимента или наблюдения, рассматриваются как случайные.

Результаты. На первом этапе исследований изучали различия ЗВП при стимуляции центрального (стимул 10 угловых минут) и периферического (240 угловых минут) поля зрения. Сводные данные по группам приведены на рисунке (Б). Отмечена большая латентность ранних (N75 и P100) и достоверно большая амплитуда поздних (N145 и P200) компонентов паттерна ЗВП при стимуляции центрального поля зрения по сравнению с «периферическим» ЗВП. Подобное свидетельствует о меньшем быстродействии механизмов центрального поля зрения и более сложной кортикальной обработке зрительного стимула. В контексте нашего исследования полученные на этом этапе данные свидетельствуют о возможности парциальной оценки взаимосвязи возрастных и нозологических факторов с формированием и особенностями функционирования различных аспектов зрения.

Возрастные особенности ответов ЗВП при нормальном зрении. Результаты выявленных различий между возрастными группами представлены в таблице.



Зрительные вызванные потенциалы на реверсию шахматного паттерна при бинокулярной стимуляции:
 А — у офтальмологически здоровых детей; Б — у взрослых испытуемых; В — у близоруких пациентов

Основные статистические оценки (среднее, минимальное и максимальные значения, стандартное отклонение) в различных возрастных группах

Параметр	Группа 1 M±SD (Min-Max)	Группа 2 M±SD (Min-Max)	Группа 3 M±SD (Min-Max)
Возраст	6,0±0,0 (6-6)	14,8±1,1 (13-16)	28,9±1,7 (26-31)
Острота зрения по опт. Снеллена	1,0±0,1 (0,9-1,3)	1,3±0,4 (1,0-2,0)	1,4±0,4 (1,0-1,9)
Острота зрения по кол. Ландольта	1,1±0,3 (0,7-1,76)	1,9±0,3 (1,3-2,3)	1,7±0,4 (1,2-2,0)
Clp-N75	79,7±3,9 (71,6-88,4)	77,5±8,8 (50,0-86,6)	78,7±3,0 (73,4-85,0)
Clp-P100	111,8±5,7 (100,0-123,0)	104,1±5,8 (91,6-117,0)	103,96±4,8 (98,3-115,0)
Clp-N145	157,5±8,2 (143,0-178,0)	142,7±6,3 (133,0-157,0)	136,8±10,1 (113,0-152,0)
CCon-N75	78,9±4,5 (70,0-90,0)	76,5±9,4 (53,3-86,6)	80,4±4,3 (73,4-90,0)
CCon-P100	110,9±6,7 (98,3-132,0)	103,4±6,0 (91,6-117,0)	103,4±4,3 (98,4-113,0)
CCon-N145	157,1±8,2 (142,0-170,0)	141,7±6,2 (128,0-153,0)	136,1±9,0 (115,0-147,0)
FFIp-N75	72,5±7,7 (63,4-95,0)	72,5±4,3 (63,4-79,9)	69,8±6,6 (58,3-86,6)
FFIp-P100	103,4±6,7 (91,6-123,0)	104,8±4,6 (98,3-112,0)	101,2±8,0 (86,6-123,0)
FFIp-N145	160,4±10,2 (145,0-180,0)	155,1±11,5 (133,0-182,0)	142,9±13,7 (113,0-167,0)

Окончание таблицы

Параметр	Группа 1 M±SD (Min-Max)	Группа 2 M±SD (Min-Max)	Группа 3 M±SD (Min-Max)
FFCon-N75	71,7±6,8 (55,1–86,6)	73,3±3,3 (66,6–78,3)	72,3±7,5 (65,0–95,0)
FFCon-P100	103,6±4,5 (91,6–112,0)	105,0±5,7 (96,7–117,0)	100,5±7,9 (91,6–123,0)
FFCon-N145	158,5±8,5 (140,0–178,0)	154,7±9,2 (140,0–173,0)	142,3±13,7 (115,0–167,0)

Примечание: Clp-N75 — макула, ипсилатеральное отведение, латентности N 75; Clp-P100 — макула, ипсилатеральное отведение, латентности P100; Clp-N145 — макула, ипсилатеральное отведение, латентности N145; CCon-N75 — макула, контралатеральное отведение, латентности N75; CCon-P100 — макула, контралатеральное отведение, латентности P100; CCon-N145 — макула, контралатеральное отведение, латентности N145; FFip-N75 — парамакула, ипсилатеральное отведение, латентности N75; FFip-P100 — парамакула, ипсилатеральное отведение, латентности P100; FFip-N145 — парамакула, ипсилатеральное отведение, латентности N145; FFCon-N75 — парамакула, контралатеральное отведение, латентности N75; FFCon-P100 — парамакула, контралатеральное отведение, латентности P100; FFCon-N145 — парамакула, контралатеральное отведение, латентности N145.

У детей незрелость структур, отвечающих за реализацию зрительного восприятия, проявляется в большей амплитуде ответов и меньшей сложности компонентного состава (рисунок, А). Особенно это касается «центрального» ЗВП, для которого характерен акцент на ранние (P50, N75 и P100) компоненты, связанные с приходом непосредственной сенсорной информации в кору, и сглаживание (вплоть до исчезновения) поздних (N145 и P200) компонентов, отражающих процессы сенсорного синтеза. При этом возрастные изменения периферического ЗВП не столь очевидны, что отражает более раннее созревание механизмов периферического зрения, не предъявляющего высоких требований к зрелости когнитивной сферы.

При сравнении групп близоруких испытуемых (рисунок, В) и здоровых испытуемых взрослых (см. рисунок, Б) в ответах периферических полей зрения отмечены незначительные различия, выражающиеся прежде всего в увеличении пиковой латентности компонентов P100, N145, P200. В ответах центрального поля зрения отмечается выраженное снижение амплитуды всех компонентов N75, P100, N145, P200 и смещение их временных характеристик в сторону увеличения. Обращает на себя внимание факт значительного сходства конфигурации ответа 6-летних детей с высоким зрением с корковой реакцией взрослых близоруких испытуемых (см. рисунок, А и В). Отмеченные межгрупповые различия весьма устойчивы и не устраняются оптической коррекцией. Вероятно, данный эффект обусловлен неэффективными или незрелыми механизмами сенсорного синтеза у лиц с близорукостью.

Латентные интервалы ответов ЗВП при миопии и в норме. При проведении сравнительного анализа ЗВП в норме и при миопии мы объединили возрастные группы 1 и 2 с нормальным зрением в одну группу с целью получения сравнимых по возрасту выборок. Таким образом, средний возраст объединенной группы индивидов с нормальным зрением составил 10±1 год (6–16 лет, M±SE). Возраст группы индивидов с миопией 12±1 год (6–17 лет, M±SE). Различия по возрасту были статистически незначимы, $p=0,35$. Как при макулярной, так и при более широкой области стимуляции отмечали статистически значимое ($p=0,019–0,044$) уменьшение латентности N75 при миопии относительно нормы. Для ответа P100 ситуация менялась в обратную сторону: более короткие величины (статистически незначимо) наблюдали при нормальном зрении. Наконец, при миопии латентность ответа N145 была больше ($p=0,017$) при макулярной стимуляции. При парамакулярной

области стимуляции значения латентности ответа N145 были примерно равны.

Обсуждение. В основе выявленных различий между возрастными группами, по нашему предположению, лежит гипотеза о происхождении различных ответов ЗВП. Согласно этой гипотезе ранние регистрируемые ответы отражают субкортикальную активность зрительной системы. Постсинаптическая активность в III и IV слоях зрительной коры проявляется в ответе P100.

Вероятно, отсутствие различий в возрастных группах на ранние ЗВП-ответы может указывать на сходную работоспособность субкортикальных структур зрительной системы. К моменту достижения возраста третьей исследованной группы (26–31 год) все настройки зрительной системы завершены, это относится к установлению синаптических связей и конечного объема популяций нейронов зрительной коры и прекокортикальных отделов. Принимая во внимание данный факт, можно предполагать различную степень зрелости первичной зрительной коры у индивидов раннего возраста (6 лет) и старших возрастных групп. Наиболее отчетливо это проявляется в результатах исследования макулярной области.

Возможно, накопленный зрительный опыт, более отчетливые реакции зрительной системы на структурированный стимул приводят к формированию наиболее коротких латентностей на поздний ответ N145 [5] в самой возрастной группе. В нашем исследовании на стимулы высокой частоты (размер ячейки реверсивного шахматного паттерна равен 10 угловым минутам) можно ожидать регистрации активности нейронов зрительной коры при поступлении сигналов по парвоцеллюлярной системе, а при стимуляции с низкой пространственной частотой (250 угловых минут) задействована магноцеллюлярная система передачи информации. Возможно, на претриарном уровне развитие магно- и парвоцеллюлярных систем не претерпевает существенных изменений после 6-летнего возраста. Сделать такое предположение нам позволяет сравнительный анализ латентного периода раннего ответа N75 в разных возрастных группах, показавший отсутствие статистически значимых различий. Однако для парвоцеллюлярной системы для ответа P100, отражающего активность нейронов первичной зрительной коры [5], характерным возрастным изменением было укорочение латентности, что указывает на зрелость этой области лишь по достижении 13–16 лет. В то же время отсутствие различий между возрастными группами для ответов магноцеллюлярной системы может указывать на ранний

период созревания источников ответа P100 в области первичной зрительной коры.

Наконец, выявленные различия возрастных групп по поздним ответам (N145) ЗВП при активизации магно- и парвоцеллюлярных систем передачи могут отражать длительный период созревания ассоциативных областей, связанных с обработкой зрительной информации. Показано, что формирование ассоциативных областей зрительной коры не заканчивается к 6–7-летнему возрасту, а продолжается и далее. По нашему мнению, в ассоциативных областях зрительной коры процессы формирования и изменения активности с возрастом в меньшей степени зависят от канала (магно- или парвоцеллюлярного) поступления информации о стимуле, чем проекционная зона и претриарные области зрительной системы.

Согласно нашим данным, при миопии наблюдается улучшение передачи сигналов от сетчатки в проекционную зрительную кору. Это подтверждают статистически значимые ($p=0,019$ и $p=0,044$) различия между нормальной и миопической группами по латентности раннего компонента N75, полученными как при стимуляции макулярной области, так и при стимуляции парамакулярной области. Судя по ответам P100 и N145, можно предполагать, что компенсаторные механизмы на уровне проекционной и ассоциативной зон зрительной коры уже не срабатывают. И это приводит к запаздыванию в обработке сигналов, поступающих при восприятии размытого изображения. Логично предположить, что при анализе расфокусированного изображения необходимо задействовать большее количество внутри- и межкорковых связей. Но низкочастотные стимулы имеют преимущество относительно высокочастотных составляющих изображения, на анализ которых требуется больше времени ($p=0,017$).

Полученные данные могут указывать на недостаточную зрелость мозговых систем обработки зрительной информации у близоруких пациентов. Можно полагать, что в развитии близорукости значительную роль играет незрелость центральных механизмов зрения.

Заключение. Отдельные компоненты результатов исследования паттерн-ЗВП в возрастных группах отражают различную степень зрелости субкортикальных и кортикальных отделов зрительной системы.

В раннем возрасте уровень развития субкортикальных отделов соответствует старшим возрастным группам, чего нельзя утверждать относительно первичной проекционной и ассоциативной зон зрительной коры.

В старшем возрасте (свыше 25 лет) короткие латентности поздних ответов паттерн-ЗВП могут отра-

жать завершенность, сформированность межкортикальных структур зрительной системы.

На уровне проекционной зрительной коры парвоцеллюлярная система передачи и обработки высокочастотных компонентов зрительной стимуляции достигает взрослого уровня созревания к 13–15 годам, в отличие от магноцеллюлярной системы, созревающей к 6-летнему возрасту.

Для миопии, относительно нормального зрения, характерна облегченная передача сигнала на достриарном уровне с последующим торможением анализа сигнала на уровне проекционной и ассоциативной зон зрительной коры.

В целом обнаруженные различия свидетельствуют о разновременном созревании первичных сенсорных механизмов и механизмов их когнитивного анализа у здоровых испытуемых и пациентов с близорукостью.

Конфликт интересов не заявляется.

References (Литература)

1. Avetisov SE, Egorov EA, Moshetova LK, et al. Ophthalmology: National leadership. Moscow: GEOTAR-Media, 2008; 944 p. Russian (Аветисов С. Э, Егоров Е. А, Мошетева Л. К. и др. Офтальмология: национальное руководство. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008; 944 с.).
2. WHO statistics on myopia: Preventive measures. URL: <https://www.ochkov.net/wiki/blizorukost-statistika-voz>. htm (16 September 2019).
3. Neroev VV. Eye care management in Russian Federation. Bulletin of Ophthalmology 2014; 130 (6): 8–12. Russian (Нероев В.В. Организация офтальмологической помощи населению Российской Федерации. Вестник офтальмологии 2014; 130 (6): 8–12).
4. Gorbacheva ED. The problem of Myopias development among schoolchildren. Start in Science 2017; 4 (1): 5–8. Russian (Горбачева Е.Д. Проблема развития близорукости среди школьников. Старт в науке 2017; 4 (1): 5–8).
5. Gnezditsky VV. Visual evoked potentials in clinical practice. Taganrog: TREU, 1997; 252 p. Russian (Гнездицкий В.В. Вызванные потенциалы мозга в клинической практике. Таганрог: ТРТУ, 1997; 252 с.).
6. Leshchenko IA. About systems and rules for determining visual acuity. Bulletin of Optometry 2009; 3: 54–8. Russian (Лещенко И.А. О системах и правилах определения остроты зрения. Вестник оптометрии 2009; 3: 54–8).
7. Ivanchenko GI, Medvedev Yul. Mathematical statistics. Moscow: Librokom book house, 2014; 352 p. Russian (Иванченко Г.И., Медведев Ю.И. Математическая статистика. М.: Книжный дом «Либроком», 2014; 352 с.).
8. Kuznetsova OA. Econometrics. Samara: Publishing house of Samara University, 2019; 72 p. Russian (Кузнецова О.А. Эконометрика. Самара: Изд-во Самар. ун-та, 2019; 72 с.).
9. Borovikov VP. Statistica: The art of analyzing data on a computer. St. Petersburg: Piter, 2003; 700 p. Russian (Боровиков В.П. Statistica: Искусство анализа данных на компьютере. СПб.: Питер, 2003; 700 с.).