

ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕАКЦИИ ЗРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА ТРАНЗИТОРНЫЕ НАГРУЗКИ

Представленные результаты исследования уточняют сведения о влиянии краткосрочных нагрузок на зрительную систему. По данным регистрации порогов электрочувствительности, электролабильности, электроретинограммы и вызванных потенциалов можно сделать вывод о том, что более выраженные изменения в периферических и центральных отделах зрительной системы возникают при действии транзиторной физиологической гипоксии.

Ключевые слова: краткосрочная зрительная нагрузка, электроретинограмма, зрительные вызванные потенциалы.

Исследование зрительных функций при действии экстремальных факторов различной этиологии представляет как теоретический, так и практический интерес. В первом случае это обусловлено особенностями морфофункциональной организации зрительной системы как главного информационного канала мозга человека, во втором – весьма интенсивными нагрузками на зрительный анализатор в современных условиях [1–4]. Во-первых, анализ работ, проведенных с регистрацией электроретинограммы (ЭРГ), углубляет понимание реакции сетчатки на транзиторные нагрузки различного характера, регистрация зрительных вызванных потенциалов (ЗВП) углубляет понимание изменения характера внутрицентральных взаимодействий [1, 5, 6].

Цель исследования – выявление электрофизиологических особенностей зрительной системы при действии краткосрочной гипоксической и зрительной нагрузки. Выбор именно этих типов воздействия обусловлен тем, что зрительная система обладает очень высоким уровнем аэробного метаболизма, с одной стороны, и осуществляет огромную работу по восприятию, передаче и обработке информации – с другой [7–10].

Исследование проведено на базах кафедры охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности и ФГУ «ВЦГПХ» Росздрава с участием студентов факультета физической культуры (54 человека) в качестве испытуемых (средний возраст $(21 \pm 0,32)$ года, из них 22 девушки).

Электрофизиологические методы исследования включали набор, общепринятый в нейроофтальмологии: регистрацию порогов электрочувствительности (ПЭЧ), электролабильности (ЭЛ), электроретинографию (ЭРГ) и запись корковых зрительных вызванных потенциалов (ЗВП). Все исследования были выполнены по общепринятой методике в унифицированных лабораторных условиях с помощью приборов «Нейрон», «Нейро-МВП-4» (г. Иваново, Россия).

Краткосрочная физиологическая гипоксическая нагрузка вызывалась произвольным пороговым апноэ (ППА), зрительную нагрузку моделировали

предъявлением заданий на селективное зрительное внимание в течение 4 мин.

Статистическая обработка результатов осуществлялась при помощи стандартного пакета прикладных программ Statistica for Windows 6. Для предварительного анализа полученной информации использовались модули, обеспечивающие оценку статистических параметров и форму распределения каждого показателя. Оценка достоверности различий между выделенными гипотетическими категориями объектов по какому-либо параметру осуществлялась при помощи методов параметрической и непараметрической статистики – *t*-критерий Стьюдента, *F*-критерий Фишера, критерия Манна–Уитни, критерия Вилкоксона [9].

В табл. 1, 2 представлены результаты регистрации ПЭЧ, ЭЛ, ЭРГ и ЗВП при действии гипоксической и зрительной нагрузок.

Таблица 1
Показатели порогов восприятия электрического фосфена при предъявлении зрительной нагрузки ($M \pm m$)

Показатель	OD	OS
ПЭЧ до нагрузки, мкА	100 ± 23,1	101 ± 22,3
ПЭЧ после нагрузки, мкА	125,47 ± 17,88*	127,89 ± 15,17*
ЭЛ до нагрузки, Гц	45,3 ± 10,1	44,1 ± 9,98
ЭЛ после нагрузки, Гц	63,68 ± 5,24*	66,42 ± 5,18*

Примечание. Здесь и в табл. 2 *M* – среднее арифметическое; *m* – ошибка среднего арифметического; * – различия с исходными данными значимы при $p < 0,05$.

Как видно из табл. 1, показатели электрочувствительности и электролабильности в исходном состоянии соответствуют нормальным величинам [5]. После предъявления зрительной нагрузки произошло статистически достоверное повышение и порогов, и электролабильности. Несколько иная динамика этих показателей наблюдалась в разных фазах транзиторной гипоксической нагрузки (табл. 2).

В частности, в этом случае достоверные различия наблюдаются только по показателям порога, но их абсолютные значения более высокие по сравнению со зрительной нагрузкой (табл. 1 и 2).

Таблица 2
Показатели порогов восприятия электрического фосфена при предъявлении гипоксической нагрузки ($M \pm m$)

Показатель	OD	OS
ПЭЧ – покой, мкА	100,72 ± 27,76	102,13 ± 25,21
ПЭЧ – пик ППА, мкА	133,05 ± 32,84*	127,44 ± 21,47*
ПЭЧ – восстановление, мкА	133,34 ± 25,73*	112,94 ± 31,67
ЭЛ – покой, Гц	30,35 ± 9,07	32,34 ± 12,12
ЭЛ – пик ППА, Гц	30,24 ± 7,83	37,21 ± 15,12
ЭЛ – восстановление, Гц	28,40 ± 8,73	37,42 ± 14,89

Анализ результатов, полученных при регистрации ЭРГ, показал, что у всех испытуемых при различных режимах стимуляции в исходном состоянии регистрировалась ЭРГ со стабильными амплитудно-временными характеристиками (амплитуда b-волны ($171,16 \pm 5,3$) мкВ, пиковое время – ($51,60 \pm 0,37$) мс), что свидетельствует о хорошем функциональном состоянии нейрорецепторных элементов сетчатки (рис. 1).

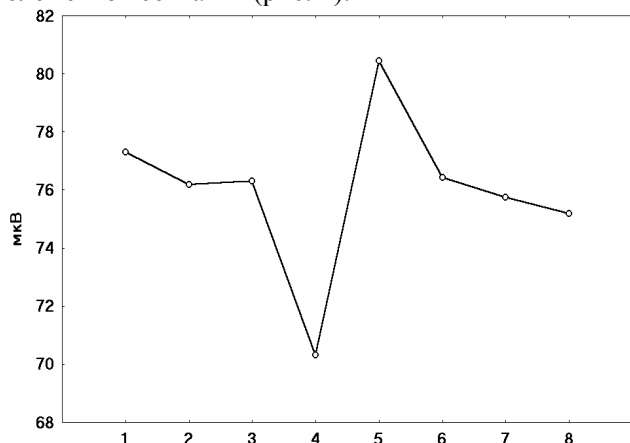


Рис. 1. Изменение амплитуды b-волны колбочковой ЭРГ в ходе эксперимента с произвольной задержкой дыхания: по оси ординат – амплитуда b-волны ЭРГ; по оси абсцисс – номера проб: 1–3 – исходное состояние; 4 – проба на пике гипоксии; 5–8 – восстановление

Согласно многочисленным экспериментальным данным и клиническим наблюдениям, наиболее вероятным источником возникновения электрофосфена на околопороговые стимулы является внутренний ядерный слой сетчатки [11], что позволяет связывать повышение порогов электрочувствительности со снижением возбудимости нейронов внутренних слоев. В то же время снижение ЭЛ наблюдается при патологических процессах, локализованных в зрительных путях, а также уменьшении их возбудимости (в терминах классической физиологии – при парабиозе). Электрические стимулы как универсальный раздражитель возбудимых тканей, в принципе, способен вызвать фосфен при раздражении любого отдела нейронных сетей зрительной системы.

Полученные данные об изменениях ПЭЧ и ЭЛ на фоне транзиторной гипоксии свидетельствуют о снижении возбудимости на уровне внутренних слоев сетчатки с повышением возбудимости в проводящей системе глаза. Такое соотношение ПЭЧ и ЭЛ возможно при усилении тормозных процессов на уровне внутреннего синаптического слоя сетчатки.

После зрительной нагрузки статистически значимых изменений электроретинограммы не произошло, в ходе регистрации ЭРГ при гипоксической нагрузке наблюдается повышение амплитуды b-волны ЭРГ на пике транзиторной гипоксической нагрузки с достоверным ее снижением ниже исходного уровня в ходе восстановления.

Снижение амплитуды b-волны ЭРГ при транзиторной гипоксии, обусловленной произвольной остановкой внешнего дыхания максимально возможной продолжительности, может быть результатом активации тормозных процессов в сетчатке при усилении эфферентных влияний со стороны неспецифических восходящих систем.

Для оценки особенностей реакции центральных отделов зрительного анализатора на экстремальные нагрузки исследовались зрительные корковые вызванные потенциалы до и после воздействия, примеры записи представлены на рис. 2. Прежде всего следует отметить, что, так же как и в случае с ЭРГ, амплитудно-временные характеристики ЗВП соответствовали норме, что свидетельствует о хорошем морфофункциональном состоянии зрительного анализатора в исходном состоянии. В ходе гипоксической нагрузки наблюдалась позитивизация ответов в области 160 мс (с $(-0,382 \pm 0,48)$ до $(1,21 \pm 0,8)$ мкВ), а также сдвиг в негативную сторону компонентов ЗВП в области 200–250 мс до 1,8 мкВ по сравнению с исходным уровнем.

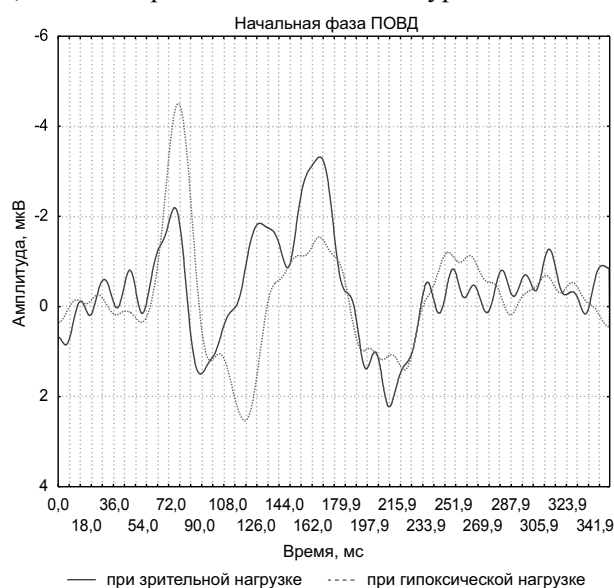


Рис. 2. Примеры записи ЗВП

Значимых изменений ЗКВП при предъявлении краткосрочной зрительной нагрузки не обнаружилось.

Скорее всего, при гипоксической нагрузке причиной изменений вызванных потенциалов зрительного мозга являются ретикулярные влияния. Обнаруженные изменения ранних компонентов ЗКВП в начальных фазах транзиторной гипоксии обусловлены ретикулярными влияниями на подкорковые структуры зрительной системы, вероятнее всего – латеральное колленчатое тело. Изменения поздних компонентов ЗКВП указывают на вовлечение в ре-

акцию на транзиторную гипоксию ассоциативных зон зрительной коры.

Учитывая физиологические механизмы возникновения электрофосфена и генерации ЭРГ и ЗКВП [1, 5, 6, 8], можно сделать предварительный вывод о том, что более выраженные изменения в периферических и центральных отделах зрительной системы возникают при действии транзиторной физиологической гипоксии. Зрительная система более устойчива к действию адекватных раздражителей экстремальных интенсивностей. Для уточнения конкретных механизмов требуются дальнейшие исследования.

Список литературы

1. Ахмадеев Р. Р., Гирфатуллина Р. Р., Кошелев Д. И. Изменение параметров колбочковой электроретинограммы спортсменов при краткосрочной гипоксии // Окружающая среда и безопасность человека в современном мире: материалы Респ. науч.-практ. конф. Уфа, 2006. С. 23–25.
2. Ласукова Т. В., Низкодубова С. В., Таюрская А. С. Опиоидная система и адаптация к гипоксии // Вестн. Томского гос. пед. ун-та (Tomsk State Pedagogical University Bulletin). 2011. Вып. 8. С. 109–114.
3. Текшева Л. М., Элькснина Е. В., Перминов М. А. Изучение ответной реакции зрительной системы учащихся при различных вариантах предъявления информации на экранах дисплеев в естественных условиях // Вестн. СПбГМА им. И. И. Мечникова. 2006. Вып. 4. С. 22–25.
4. Тимченко Т. В., Ахмадеев Р. Р., Халфина Р. Р. Психофизиологические аспекты оценки и восстановления зрительных функций у пользователей компьютерами: монография. Уфа: Изд-во БашИФК, 2012. 124 с.
5. Ахмадеев Р. Р., Гирфатуллина Р. Р., Шарипов А. Р. Зрительные вызванные потенциалы спортсменов при краткосрочной гипоксии / Современные проблемы физической культуры, спорта, туризма и олимпийского движения: материалы XVII Всеуральской олимпийской научной сессии. Уфа, 2005. С. 184–188.
6. Психофизиологические эффекты произвольного порогового апноэ у спортсменов: монография / Р. Р. Ахмадеев, И. Д. Тупиев, Р. Р. Халфина и др.; под общ. ред. Р. Р. Ахмадеева. Уфа: БашИФК, 2012. 224 с.
7. Беленко И. С. Психофизиологические особенности у юных спортсменов игровых видов спорта разного возрастного периода развития и тренированности // Вестн. Томского гос. пед. ун-та (Tomsk State Pedagogical University Bulletin). 2009. Вып. 3. С. 54–58.
8. Иваницкий А. М., Ильюченко И. Р., Иваницкий Г. А. Избирательное внимание и память вызванные потенциалы при конкуренции зрительных и слуховых словесных сигналов // Журн. высш. нервн. деятельности. 2003. Т. 53, вып. 5. С. 541–551.
9. Реброва О. Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ Statistica. М., 2002. 312 с.
10. Рутман Э. И. Вызванные потенциалы в психологии и психофизиологии. М., 1979. 213 с.
11. Богословский А. И., Семеновская Е. Н., Жданов В. К. Потенциалы сетчатки глаза человека, вызванные электрическим током: тезисы конф. по органам чувств. Л., 1961.

Халфина Р. Р., кандидат биологических наук, доцент.

Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы.

Ул. Советская, 3а, Уфа, Республика Башкортостан, Россия, 450001.

E-mail: Riga23@mail.ru

Материал поступил в редакцию 21.12.2012.

R. R. Khalfina

ELECTROPHYSIOLOGICAL ASPECTS OF REACTION OF VISUAL SYSTEM ON TRANZITORY LOADINGS

The presented results of research specify data on influence of short-term loadings on visual system. According to registration of thresholds of electro sensitivity, electro ability, electro retinogram and the caused potentials it is possible to draw a conclusion that more expressed changes in peripheral and central departments of visual system arise at action short-term physiological hypoxia.

Key words: *short-term visual loading, electro retinogram, the visual caused potentials.*

M. Akmulla Bashkir State Pedagogical University.

Ul. Sovetskaya, 3a, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia, 450001.

E-mail: Riga23@mail.ru