

УДК 612.172.2-053.6:613.1(98)

ОСОБЕННОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК АКУСТИЧЕСКОГО КОГНИТИВНОГО ВЫЗВАННОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРИ УСПЕШНОМ БИОУПРАВЛЕНИИ ПАРАМЕТРАМИ РИТМА СЕРДЦА У ПОДРОСТКОВ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА РОССИИ

© 2016 г. Е. В. Кривоногова

Институт физиологии природных адаптаций Уральского отделения Российской академии наук, г. Архангельск

Цель работы заключалась в оценке акустического когнитивного вызванного потенциала P300 при активизации вагусных влияний на ритм сердца при биоуправлении с обратной связью у подростков 15–17 лет арктического региона – приполярного (64°30' с. ш.) и заполярного (67°30' с. ш.) районов Европейского Севера России. При когнитивной нагрузке в виде однократного сеанса биоуправления с целью увеличения суммарной мощности вариабельности сердечного ритма при короткой записи (5 мин) у подростков на Севере выявляется наличие разных вариантов изменений времени латентного периода P300, отражающих варианты интеграции нейронов в функциональных системах для обеспечения оптимизации баланса симпато- и ваготропных механизмов. При первом варианте происходит оптимизация уровня возбуждения и торможения в нейронных сетях, что отражается на сокращении времени латентного периода P300 в теменных, центральных, лобных и височных отделах головного мозга. При этом у подростков заполярного района происходит большее вовлечение передневисочных областей коры головного мозга. При втором варианте отмечается усиление внутреннего дифференцировочного торможения для достижения успешного биоуправления, что отражается в удлинении времени латентного периода P300. У подростков приполярного района данный вариант реактивности характерен для лиц с исходно более коротким временем латентного периода P300; удлинение латентного периода P300 происходит в лобных, теменных, центральных отделах обоих полушарий головного мозга и височной области справа. В условиях Заполярья вариант реактивности мозговых структур с удлинением латентного периода P300 наиболее выражен у подростков с исходно высоким уровнем эмоциональности; удлинение латентного периода P300 у них происходит во всех изучаемых областях правого и левого полушария.

Ключевые слова: Север, слуховой когнитивный вызванный потенциал P300, биоуправление параметрами ритма сердца, подростки

FEATURES OF AUDITORY COGNITIVE EVOKED POTENTIALS P300 IN SUCCESSFUL HEART RATE VARIABILITY BIOFEEDBACK IN ADOLESCENTS LIVING IN ARCTIC AREA

E. V. Krivonogova

Institute of Environmental Physiology, Ural Branch RAS, Arkhangelsk, Russia

The purpose of the investigation was to evaluate the auditory cognitive evoked potentials P300 parameters before and after vagal influences on the heart rhythm activation with biofeedback control in adolescents aged 15-17 years in the Arctic-Polar region (64°30' N) and the Subpolar region (67°30' N). There have been identified different variants of the P300 latency change, reflecting the neurons integration in the functional systems to ensure and optimize the sympathico-vagal balance under cognitive test in a single session of the heart rate variability (HRV) biofeedback in order to increase the HRV total power during the short recording (5 minutes) in adolescents living in the North. Optimization of excitation and inhibition in neural networks in the first variant has been revealed, what caused reduction of the P300 latency in the parietal, central, frontal and temporal brain parts. A greater involvement of the anterior temporal regions of the cerebral cortex occurred in the adolescents of Polar region. In the second variant, increased internal differential inhibition for achievement of a successful biofeedback control has been noted, that was reflected in prolongation of the P300 latency. In the adolescents from the Subpolar region, this variant of the brain reactivity was typical for the people with the initially shorter P300 latency; the P300 latency prolongation occurred in the frontal, parietal, central regions of both hemispheres and the right temporal part of the brain. A variant of the brain reactivity with prolongation of the P300 latency was most pronounced in adolescents with initially high emotionality levels; prolongation of the P300 latency occurred in all the studied left and right brain parts.

Keywords: heart rate variability biofeedback, cognitive evoked potential P300, adolescents, North

Библиографическая ссылка:

Кривоногова Е. В. Особенности характеристик акустического когнитивного вызванного потенциала при успешном биоуправлении параметрами ритма сердца у подростков арктического региона // Экология человека. 2016. № 1. С. 26–31.

Krivonogova E. V. Features of Auditory Cognitive Evoked Potentials P300 in Successful Heart Rate Variability Biofeedback in Adolescents Living in Arctic Area. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2016, 1, pp. 26-31.

Биоуправление — метод, предполагающий когнитивно-поведенческую процедуру для оптимизации функционального состояния организма человека и сохранения здоровья [1]. В основе данного метода лежит способность человека к осознанному управлению функциями собственного организма, что дает возможность моделировать и активизировать его

защитные механизмы. Способность к биоуправлению параметрами ритма сердца у человека свидетельствует не только об эффективности механизмов кардиореспираторного сопряжения, но и оптимальной для данного индивида функциональной организации корково-подкорковых взаимодействий. В изменении ритма сердца, а также в процессах памяти, вни-

мания, принятия решений, мотивации участвуют такие структуры головного мозга, как миндалина, гиппокамп, орбитофронтальная, вентромедиальная префронтальная кора, островковая доля полушарий, поясная извилина коры головного мозга [16–18], т. е. области мозга, участвующие в выполнении сложных когнитивных функций. Эти структуры интегрированы с вегетативной нервной системой, чтобы обеспечить метаболическую поддержку когнитивных, эмоциональных и волевых процессов. В подростковом возрасте происходит активное развитие мозга, поэтому в этот период подростки испытывают трудности в регулировании своих эмоций [14], принятии решений [15], что ведёт к тревогам и стрессам. Этот возраст является сенситивным периодом развития, когда окружающая среда имеет особенно сильное влияние на мозг подростка, что может привести к дисбалансу нервной системы. Проживание в арктическом регионе страны вносит свой вклад в формирование различных компенсаторно-приспособительных реакций регуляторных систем организма, что отражается на эмоциональной сфере, памяти, направленном внимании, восприятии и обработке информации. Индикатором биоэлектрических процессов, связанных с работой высших корковых функций, таких как распознавание стимула, сравнение, дифференцирование и принятие решений, является когнитивный вызванный потенциал P300 [3, 19]. В процессе успешного биоуправления параметрами ритма сердца происходит усиление вагусных влияний на ритм сердца, улучшается кровообращение головного мозга, причём реактивность тонуса мозговых сосудов имеет свои особенности у подростков, проживающих на различных территориях арктического региона [7], соответственно это будет сказываться и на концентрации внимания, памяти и произвольном контроле действий. Арктический регион характеризуется неоднородностью распределения факторов дискомфорта климата [2]. Цель нашего исследования — оценить влияние успешного биоуправления параметрами ритма сердца на изменение показателей когнитивного вызванного потенциала P300 у подростков арктического региона России, что в дальнейшем поможет разработать программы для коррекции вегетативных дисбалансов, эмоционального состояния и когнитивных функций с учетом индивидуальных особенностей и климато-географических условий.

Методы

Проведены однократные сеансы биоуправления параметрами ритма сердца у практически здоровых подростков ($n = 60$) в возрасте 15–17 лет с целью повышения вагусных влияний на ритм сердца. В группу обследования вошли молодые люди, не имеющие на момент обследования острых заболеваний и не состоящие на диспансерном учете, а также без наличия черепно-мозговых травм, эпилепсии и других неврологических расстройств. Все обследования проходили в осенний период года в приполярном

(64°30') и заполярном (67°40') районах Европейского Севера России. Исследования проходили с соблюдением норм биомедицинской этики, перед началом их у участников обследования и их родителей было получено информированное согласие. Биоуправление параметрами ритма сердца проводили по авторской методике Л. В. Поскотиновой и Ю. Н. Семенова [12]. В качестве управляемого параметра variability сердечного ритма (ВСР) использовали показатель суммарной мощности спектра ВСР (total power — TP, мс^2), который отражает степень парасимпатических влияний на ритм сердца при коротких записях кардиограммы. Критерием эффективности БОС (биологическая обратная связь) тренинга было увеличение TP и снижение индекса напряжения регуляторных систем (stress-index — SI, усл. ед.). Исследование включало три этапа: первый — оценка слухового когнитивного вызванного потенциала P300 в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами и регистрация параметров ВСР (5 мин) — фон; второй — сеанс биоуправления параметрами ВСР — БОС; третий — сразу после сеанса биоуправления параметрами ВСР оценка когнитивного вызванного потенциала P300 и параметров ВСР — после БОС-тренинга. Группу контроля составили 15 человек, которые сидели спокойно в течение 5 мин без предъявления обратной связи на втором этапе исследования. Контрольная группа была по возрасту, полу и времени обследования сопоставима с группой молодых лиц, где использовался БОС-тренинг. Оценка состояния вегетативной нервной системы осуществлялась по показателям ВСР (TP и SI), которые оценивались с помощью аппаратно-программного комплекса «Варикард» (г. Рязань). Оценку когнитивных вызванных потенциалов P300 проводили по стандартной методике на электроэнцефалографе «Энцефалан» (Медиком, г. Таганрог). Использована модель ситуации случайно возникающего события (oddball-парадигма) в ответ на слуховую невербальную стимуляцию с заданными условиями бинауральной стимуляции: длительность стимула — 50 мс, интенсивность — 80 дБ, частота тона 2 000 Гц с 25 % встречаемости значимого стимула, 1 000 Гц с 75 % встречаемости незначимого стимула. За P300 принимался максимальный позитивный компонент с латентностью 250–500 мс. В литературе отмечается наибольшая выраженность когнитивного вызванного потенциала P300 в лобно-центрально-теменной области мозга. Вследствие этого количественному анализу подвергались изменения P300 в лобных (F3, F4), центральных (C3, C4), теменных (P3, P4), а также височных (F7, F8, T3, T4) отведениях обоих полушарий головного мозга. Оценивали амплитудно-временные параметры сигнала (амплитуду от пика до пика N250–P300 и латентность), особенности его пространственной организации. Вычисляли латентный период компонента P300 как латентный период (ЛП) пика P300 в мс, амплитуду P300 как межпиковую амплитуду N2–P3 в мкВ. Оценку структуры темпе-

раманта проводили по тесту В. М. Русалова [11]. Тест состоял из 105 вопросов, на которые испытуемый должен дать однозначный ответ: либо «да», либо «нет». Методика позволяет количественно оценить следующие свойства темперамента: эргичность, социальная эргичность, пластичность, социальная пластичность, темп, социальный темп, эмоциональность, социальная эмоциональность. Оценка темперамента осуществлялась по баллам: высокому уровню соответствовали значения от 9 до 12, среднему – от 4 до 9, низкому – от 0 до 3.

Для обработки полученных результатов использовали пакеты программ базовой статистики Statistica 6.0. Сравнение значений показателей проводилось с помощью непараметрических критериев ($p < 0,05$). Для независимых групп использовали критерий Манна – Уитни. При сравнении количественных показателей двух связанных выборок использовали критерий Вилкоксона. Проверку нулевой гипотезы об отсутствии различий между тремя независимыми группами проводили при помощи рангового анализа вариаций Крускала – Уоллиса ANOVA. Парные сравнения групп осуществляли с использованием непараметрического U-критерия Манна – Уитни, применяя поправку Холма – Бонферрони.

Результаты

При успешном биоуправлении параметрами ритма сердца отмечалось статистически значимое повышение TP и снижение SI по сравнению с группой контроля, что обуславливает нарастание вагусных влияний на ритм сердца в группе проходивших БОС-тренинг. В группе подростков с успешным биоуправлением было выявлено разнонаправленное изменение времени латентного периода и амплитуды P300 после однократного сеанса БОС-тренинга. Было выделено два наиболее часто встречающихся варианта изменения ЛП P300, которые сопутствовали успешному биоуправлению. Величины среднего возраста и процентные доли лиц мужского и женского пола подростков были статистически идентичные во всех группах вариантов. При первом варианте (рис. 1) на фоне повышения вагусных влияний на ритм сердца отмечалось сокращение времени латентного периода P300, т. е. сокращается время на восприятие и обработку информации. У подростков приполярного района сокращение времени P300 наблюдалось преимущественно в лобных (F4, $p = 0,005$), центральных (C3, $p = 0,001$, C4, $p = 0,005$) и височных (F8, $p = 0,009$, T3, $p = 0,002$, T4, $p = 0,02$) отделах головного мозга. У подростков заполярного района данные изменения происходили в аналогичных областях – в лобных (F3, $p = 0,006$, F4, $p = 0,008$), центральных (C3, $p = 0,01$, C4, $p = 0,02$), средневисочных (T3, $p = 0,008$, T4, $p = 0,04$). При этом дополнительно изменения происходили и в передневисочных областях мозга (F7, $p = 0,01$, F8, $p = 0,02$). Изменения амплитуды P300 после БОС-тренинга носили разнонаправленный характер.

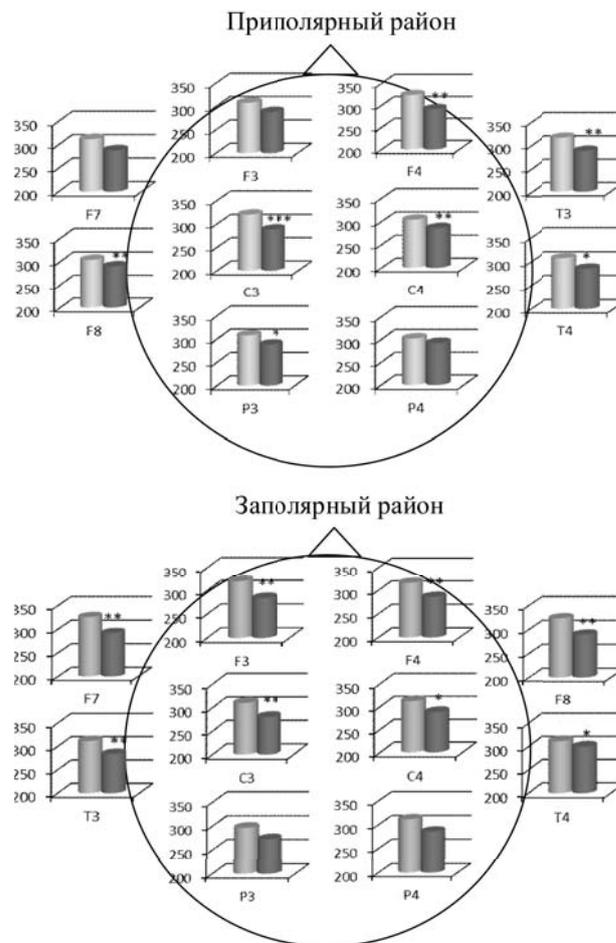


Рис. 1. Изменение времени латентного периода P300 (мс) при успешном биоуправлении параметрами ритма сердца у подростков арктического региона страны (первый вариант).

Примечания: уровень статистической значимости различий данных по сравнению с фоновыми значениями (метод Вилкоксона): * – $p < 0,05$, ** – $p < 0,01$, *** – $p < 0,001$;
 □ – фон ■ – после БОС.

При втором варианте (рис. 2) наблюдалось удлинение времени ЛП P300 по сравнению с контрольной группой. У подростков, проживающих в приполярном районе, изменение P300 отмечалось в лобных (F3, $p = 0,009$, F4, $p = 0,006$), центральных (C3, $p = 0,04$, C4, $p = 0,02$), теменных (P3, $p = 0,005$, P4, $p = 0,01$) отделах обоих полушарий и височных отделах справа (T4, $p = 0,008$, F8, $p = 0,02$). У подростков заполярного района удлинение ЛП P300 отмечалось в лобных (F3, $p = 0,009$, F4, $p = 0,009$), передневисочных (F7, $p = 0,03$, F8, $p = 0,02$), центральных (C3, $p = 0,04$, C4, $p = 0,006$), теменных (P3, $p = 0,02$, P4, $p = 0,01$) и височных (T3, $p = 0,02$, T4, $p = 0,02$) отделах головного мозга слева и справа. Направленность вариантов изменений ЛП P300 у подростков заполярного района не зависела от исходного времени ЛП P300. В то же время у подростков в группе со вторым вариантом изменения ЛП P300 приполярного района отмечалось более низкое исходное время ЛП P300 в центральном (C4, $p = 0,04$), височном (F7, $p = 0,03$, T3, $p = 0,03$) и теменном отделах головного мозга (P3, $p = 0,04$)

преимущественно слева. Сравнительный анализ структуры темперамента по В. М. Русалову показал, что у подростков заполярного района в группе со вторым вариантом изменения ЛП Р300 отмечался более высокий уровень эмоциональности ($p = 0,02$) по сравнению с подростками этого же района в группе с первым вариантом изменения ЛП Р300.

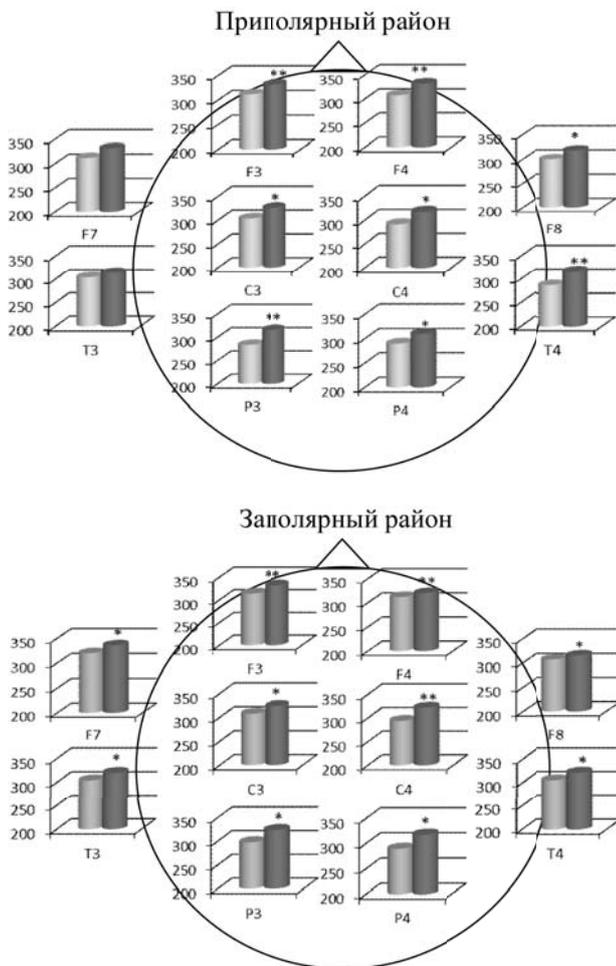


Рис. 2. Изменение времени латентного периода P300 (мс) при успешном биоуправлении параметрами ритма сердца у подростков арктического региона страны (второй вариант).

Примечания: уровень статистической значимости различий данных по сравнению с фоновыми значениями (метод Вилкоксона): * – $p < 0,05$, ** – $p < 0,01$, *** – $p < 0,001$;

□ – фон ■ – после БОС.

Сравнительный анализ изменений времени ЛП Р300 первого (фон) и третьего этапа (после БОС-тренинга) исследования у подростков контрольной группы не выявил значимых изменений. Согласно вариантам изменений ЛП Р300 при успешном биоуправлении был проведен сравнительный анализ суммарной мощности спектра ВСР и индекса напряжения (таблица). При успешном биоуправлении во всех вариантах изменений ЛП Р300 значительно повышался TR и снижался SI по отношению к фоновым значениям по сравнению с контрольной группой, что свидетельствует о нарастании вагусных влияний на ритм сердца. Сравнительный анализ фоновых

значений TR, SI и при биоуправлении между вариантами изменения ЛП Р300 не выявил статистически значимых различий.

Изменение показателей variability сердечного ритма у подростков при биоуправлении параметрами ритма сердца
Me (25; 75)

Параметр	Фон	БОС	После БОС
Приполярный район			
Первый вариант изменения времени латентного период P300			
SI, усл. ед.	109,7(69,9; 126,0)	58,1(44,2; 81,4)**	87,8(74,8; 155,8)
TR, мс ²	2177,8(1343,9; 3157,5)	5088,4(3970,3; 186,5)***	2177,1(1741,6; 2909,8)
Второй вариант изменения времени латентного период P300			
SI, усл. ед.	69,0(26,0; 109,4)	55,9(30,3; 101,5)	63,3(35,1; 129,9)
TR, мс ²	3119,1(2005,7; 4201,2)	6072,3(3511,7; 0813,0)**	3486,9(1398,7; 6147,1)
Заполярный район			
Первый вариант изменения времени латентного период P300			
SI, усл. ед.	97,9(60,2; 128,6)	57,8(34,8; 60,8)**	102,6(71,9; 153,9)
TR, мс ²	1959,7(1653,0; 3536,7)	5461,5(4452,9; 6499,8)***	2202,8(1798,7; 3039,8)
Второй вариант изменения времени латентного период P300			
SI, усл. ед.	100,3(55,9; 138,2)	53,2(38,0; 61,4)***	105,4(72,7; 161,2)
TR, мс ²	2174,9(1774,6; 3512,7)	5101,9(3805,8; 6451,4)***	2047,5(1189,7; 3179,7)
Контрольная группа			
SI, усл. ед.	97,5(61,5; 139,5)	111,4(60,6; 186,4)*	115,9(68,5; 211,6)
TR, мс ²	2468,9(1469,2; 4099,7)	2213,1(1441,8; 3780,6)	1961,6(1467,5; 3050,5)

Примечание. Уровень статистической значимости различий данных по сравнению с фоновыми значениями (метод Вилкоксона): * – $p < 0,05$, ** – $p < 0,01$, *** – $p < 0,001$.

Обсуждение результатов

Согласно теории функциональных систем П. К. Анохина, принципа доминанты А. А. Ухтомского [13] и функциональных блоков мозга А. Р. Лурия [10], для оптимальной деятельности мозга при восприятии и обработке информации необходимо взаимодействие разных уровней корково-подкорковых структур мозга. Наблюдаемое изменение времени ЛП компонента P300 при первом варианте реактивности мозговых структур можно объяснить тем, что при биоуправлении параметрами ритма сердца происходит стимулирующее влияние на неспецифическую активирующую систему мозга, что вызывает сокращение ЛП Р300. При этом в условиях Заполярья у подростков реакция мозговых структур на сеанс биоуправления более генерализованная с захватом передневисочных областей. Это свидетельствует о большем вовлечении медиобазальных структур, связанных с корой височной области, которые играют важную роль в процессах памяти и воспроизведении действий, связанных с эталоном [6].

При втором варианте изменения ЛП Р300 на фоне увеличивающегося потока афферентной информации происходило усиление внутреннего дифференцировочного торможения, что выражается в удлинении латентного периода Р300. Эмоциональное состояние может оказывать влияние на процессы восприятия, опознания, дифференциации и удержания в памяти стимулов [4]. У подростков заполярного района со вторым вариантом изменения ЛП Р300 значения показателя эмоциональности по тесту В. М. Русалова статистически значимо выше по сравнению с подростками этого же района с первым вариантом изменения ЛП Р300. Вероятно, данное состояние отразилось на изменении параметров комплекса Р300 при биоуправлении параметрами ритма сердца у подростков заполярного района со вторым вариантом изменения ЛП Р300.

По-видимому, варианты реактивности мозговых структур определяются различиями в уровне общей активации мозговых систем, активацией нейромедиаторных систем [5, 8]. В частности показано, что в условиях Заполярья уровень серотонина в сыворотке крови у подростков-северян выше, чем в приполярном районе [8]. В условиях Севера высока функциональная активность правого полушария мозга для обеспечения устойчивости к природным (гелиогеофизическим и метеорологическим) условиям окружающей среды [9], что отражено в более латерализованной реакции мозговых структур у подростков приполярного района Севера. На примере изучения реактивности мозговых структур подростков Заполярья можно заключить, что когнитивная нагрузка изучаемого вида воздействия отражается на активации обоих полушарий головного мозга, особенно с большим вовлечением височных областей, что в ряде случаев ассоциировано с более высокой эмоциональностью. Предполагается, что данный вид реакции может быть более оптимальным в плане снижения риска перенапряжения нейрофункциональных систем.

Выводы:

1. При когнитивной нагрузке в виде однократного сеанса биоуправления параметрами ритма сердца с целью повышения вагусных влияний на ритм сердца у подростков на Севере выявляется наличие разных вариантов изменений времени латентного периода, отражающих варианты интеграции нейронов в функциональных системах для обеспечения оптимизации баланса симпато- и ваготропных механизмов.

2. При первом варианте реактивности мозговых структур сеанс биоуправления параметрами ритма сердца оптимизирует уровень возбуждения и торможения, что отражается на сокращении времени латентного периода Р300 в теменных, центральных, лобных и височных отделах у молодых лиц на Севере. При этом у подростков заполярного района происходит большее вовлечение передневисочных областей коры головного мозга при изменении ЛП Р300.

3. При втором варианте реактивности мозговых структур отмечается усиление внутреннего дифферен-

цировочного торможения для достижения успешного биоуправления, что выражается в удлинении времени латентного периода Р300. У лиц приполярного района данный вариант реактивности характерен для лиц с исходно более коротким временем ЛП Р300; удлинение ЛП Р300 происходит в лобных, теменных, центральных отделах обоих полушарий головного мозга и височной области справа. В условиях Заполярья данный вариант реактивности мозговых структур наиболее выражен у подростков с исходно высоким уровнем эмоциональности; удлинение ЛП Р300 происходит во всех изучаемых областях правого и левого полушария.

Работа поддержана грантом Президиума Уральского отделения РАН № 15-15-4-9.

Список литературы

1. Биоуправление: теория и практика / отв. ред. М. Б. Штарк, Н. Н. Василевский. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1988. 162 с.
2. Васильев Л. Ю. Климатическое районирование Архангельской области : автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Санкт-Петербург, 2006. 20 с.
3. Гнездицкий В. В. Обратная задача ЭЭГ и клиническая электроэнцефалография (картирование и локализация источников электрической активности мозга). М. : МЕД-пресс-информ, 2004. 624 с.
4. Голдберг Э. Управляющий мозг: Лобные доли, лидерство и цивилизация / пер. англ. Д. Бугакова. М. : Смысл, 2003. 335 с.
5. Дёмин Д. Б., Поскотинова Л. В., Кривоногова Е. В. Роль фонового тиреоидного статуса в изменении ЭЭГ подростков при биоуправлении параметрами сердечного ритма // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. 2011. Т. 97, № 11. С. 1262–1269.
6. Иваницкий А. М. Естественные науки и проблема сознания // Вестник Российской академии наук. 2004. Т. 74, № 8. С. 716–723.
7. Каменченко Е. А. Показатели реоэнцефалограммы при биоуправлении параметрами ритма сердца у подростков 15–17 лет : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Архангельск, 2013. 18 с.
8. Кривоногова Е. В., Поскотинова Л. В., Дёмин Д. Б., Ставинская О. А. Биоуправление параметрами вариабельности ритма сердца и уровень серотонина у молодых лиц Ненецкого автономного округа и Архангельской области // Фундаментальные исследования. 2012. № 11–1. С. 25–29.
9. Кривошеков С. Г., Леутин В. П., Чухрова М. Г. Психофизиологические аспекты незавершенных адаптаций. Новосибирск : СО РАМН, 1998. 100 с.
10. Лурия А. Р. Высшие корковые функции человека. СПб. : Питер, 2008. 624 с.
11. Русалов В. М. Опросник структуры темперамента (ОСТ). М., 1990. 50 с.
12. Способ коррекции вегетативных дисбалансов с помощью комплекса для обработки кардиоинтервалограмм и анализа вариабельности сердечного ритма «Варикард 2.51», работающего под управлением компьютерной программы ISCIAM 6.1 (BUILD 2.8), с использованием биологической обратной связи : пат. 2317771 Рос. Федерация / Л. В. Поскотинова, Ю. Н. Семенов; Институт физиологии природных адаптаций УрО РАН ; опубл. 27.02.2008. Бюл. № 6.
13. Ухтомский А. А. Доминанта. СПб. : Питер, 2002. 448 с.

14. Ahmed S. P., Bittencourt-Hewitt A., Sebastian C. L. Neurocognitive bases of emotion regulation development in adolescence // *Developmental Cognitive Neuroscience*. 2015. Vol. 15. P. 11–25.

15. Blakemore S.-J., Robbins T. W. Decision-making in the adolescent brain // *Nature neuroscience*. 2012. Vol. 15. P. 1184–1191.

16. Critchley H. D., Corfield D. R., Chandler M. P., Mathias C. J., Dolan R. J. Cerebral correlates of autonomic cardiovascular arousal: a functional neuroimaging investigation in humans // *The Journal of Physiology*. 2000. Vol. 523. P. 259–270.

17. Critchley H. D., Mathias C. J., Josephs O. Human cingulate cortex and autonomic control: converging neuroimaging and clinical evidence // *Brain*. 2003. Vol. 26. P. 2139–2152.

18. Kimmerly D. S., O'Leary D. D., Menon R. S., Gati J. S., Shoemaker J. K. Cortical regions associated with autonomic cardiovascular regulation during lower body negative pressure in humans // *J. of Physiology*. 2005. Vol. 569. P. 331–345.

19. Polich J., Kok A. Cognitive and Biological Determinants of P300: an Integrative Review // *Biological Psychology*. 1995. Vol. 41. P. 103–46.

References

1. *Bioupravlenie: teoriya i praktika* [Biofeedback: Theory and Practice]. Eds. M. B. Stark, N. N. Vasilevsky. Novosibirsk, Nauka SB, 1988. 162 p.

2. Vasilev L. Yu. *Klimaticheskoe raionirovanie Arkhangel'skoi oblasti (avtoref. kand. diss.)* [Climatic zoning of the Arkhangel'sk Region. Author's Abstract of Kand. Diss.]. Saint Petersburg, 2006, 20 p.

3. Gnezditskii V. V. *Obratnaya zadacha EEG i klinicheskaya elektroentsefalografiya (kartirovanie i lokalizatsiya istochnikov elektricheskoi aktivnosti mozga)* [The inverse problem of EEG and clinical electroencephalography (mapping and localization of electrical brain activity sources)]. Moscow, MEDpress-inform, 2004, 624 p.

4. Goldberg E. *Upravlyayushchii mozg: Lobnye doli, liderstvo i tsivilizatsiya* [Managing the brain: the frontal lobes, leadership and Civilization]. Moscow, Smysl Publ., 2003, 335 p.

5. Demin D. B., Poskotinova L. V., Krivonogova E. V. Thyroid effect on brain activity among adolescents during heart rhythm biofeedback session. *Rossiiskii fiziologicheskii jurnal imeni I. M. Sechenova / Rossiiskaia akademiia nauk*. 2011, 97 (11), pp. 1262-1269. [in Russian]

6. Ivanitskii A. M. Natural Sciences and the Problem of Consciousness. *Vestnik Rossiiskoi akademii nauk* [Herald of the Russian Academy of Sciences]. 2004. 74 (8). pp. 716-723. [in Russian]

7. Kamenchenko E. A. *Pokazateli reoentsefalogrammy pri bioupravlenii parametrami ritma serdtsa u podrostkov 15-17 let. Avtoref. kand. diss.* [Rheoencephalogram indicators at the heart rate variability biofeedback training in adolescents 15-17 years. Author's Abstract of Kand. Diss.]. Arkhangel'sk, 2013, 18 p.

8. Krivonogova E. V., Poskotinova L. V., Demin D. B., Stavinskaya O. A. A biofeedback by hrv-parametres and serotonin levels in young people of the Nenets Autonomous

district and Arkhangel'sk area. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental Research]. 2012, 11-1, pp. 25-29. [in Russian]

9. Krivoshechekov S. G., Leutin V. P., Chukhrova M. G. *Psikhofiziologicheskie aspekty nezavershennykh adaptatsii* [Psychophysiological aspects of incomplete adaptations]. Novosibirsk, SB RAMS, 1998, 100 p.

10. Luria A. R. *Vysshie korkovye funktsii cheloveka* [Higher cortical functions of man], Saint Petersburg, Peter Publ., 2008, 624 p.

11. Rusalov V. M. *Oprosnik struktury temperamenta (OST)* [Questionnaire structure of temperament (QST)]. Moscow, 1990, 50 p.

12. *Sposob korrektsii vegetativnykh disbalansov s pomoshch'yu kompleksa dlya obrabotki kardiointervalogram i analiza variabel'nosti serdechnogo ritma «Varikard 2.51», abotayushchego pod upravleniem komp'yuternoii programmy ISCIM 6.1 (BUILD 2.8), s ispol'zovaniem biologicheskoi obratnoi svyazi. Pat. 2317771 Ros. Federatsiya* [Method for correcting vegetative misbalance states with Varicard complex for processing cardiointervalograms and analyzing cardiac rhythm variability, operating under computer software program with biofeedback. Patent RU 2317771]. L. V. Poskotinova, Yu. N. Semenov, Institute of Environmental Physiology, Ural Branch RAS. Byul. no. 6. Application: 2006110652/14, 03.04.2006. Date of publication 27.02.2008].

13. Ukhtomskii A. A. *Dominanta* [The dominant]. Saint Petersburg, Peter Publ., 2002, 448 p.

14. Ahmed S. P., Bittencourt-Hewitt A., Sebastian C. L. Neurocognitive bases of emotion regulation development in adolescence. *Developmental Cognitive Neuroscience*. 2015, 15, pp. 11-25.

15. Blakemore S.-J., Robbins T. W. Decision-making in the adolescent brain. *Nature neuroscience*. 2012, 15, pp. 1184-1191.

16. Critchley H. D., Corfield D. R., Chandler M. P., Mathias C. J., Dolan R. J. Cerebral correlates of autonomic cardiovascular arousal: a functional neuroimaging investigation in humans. *The Journal of Physiology*. 2000, 523, pp. 259-270.

17. Critchley H. D., Mathias C. J., Josephs O. Human cingulate cortex and autonomic control: converging neuroimaging and clinical evidence. *Brain*. 2003, 26, pp. 2139-2152.

18. Kimmerly D. S., O'Leary D. D., Menon R. S., Gati J. S., Shoemaker J. K. Cortical regions associated with autonomic cardiovascular regulation during lower body negative pressure in humans. *J. of Physiology*. 2005, 569, pp. 331-345.

19. Polich J., Kok A. Cognitive and Biological Determinants of P300: an Integrative Review. *Biological Psychology*. 1995, 41, pp. 103-46.

Контактная информация:

Кривоногова Елена Вячеславовна — кандидат биологических наук, ст. научный сотрудник лаборатории биоритмологии ФГБУН «Институт физиологии природных адаптаций УРО РАН»

Адрес: 163000, г. Архангельск, пр. Ломоносова, д. 249
E-mail: elena200280@mail.ru