

## Сравнительный анализ структуры ЭЭГ и параметров variability сердечного ритма при БОС-тренинге в зависимости от уровня серотонина в сыворотке крови у девушек 15—17 лет

*Кривоногова Е.В., Поскотинова Л.В., Дёмин Д.Б.*

## Comparative analysis of the EEG components and heart rate variability during biofeedback training, depending on the serotonin serum level at girls 15—17 years

*Krivanogova Ye.V., Poskotinova L.V., Dyomin D.B.*

*Институт физиологии природных адаптаций УрО РАН, г. Архангельск*

© Кривоногова Е.В., Поскотинова Л.В., Дёмин Д.Б.

Исследование посвящено выявлению изменений спектральной мощности ритмов электроэнцефалограммы (ЭЭГ) при биоуправлении параметрами variability сердечного ритма в зависимости от исходного уровня серотонина в сыворотке крови у девушек 15—17 лет. У девушек с дефицитом серотонина достижение положительных результатов БОС-тренинга сопровождается десинхронизацией компонентов ЭЭГ, что проявляется снижением спектральной мощности  $\alpha$ - и  $\theta$ -активности. При уровне серотонина в сыворотке крови в пределах нормы отмечено повышение спектральной мощности  $\alpha$ -активности ЭЭГ в передних отделах головного мозга.

**Ключевые слова:** электроэнцефалограмма, variability сердечного ритма, серотонин, биологическая обратная связь.

The aim is analysis of EEG-rhythms spectral capacity during biofeedback session by heart rhythm variability (HRV) parameters in dependence from serum serotonin level. The were surveyed 53 girls 15—17 years of Arkhangelsk. The girls with a deficit of serotonin to achieve positive results biofeedback-training is accompanied by desynchronization EEG components, which results in reduced spectral power of EEG  $\alpha$ -,  $\beta$ - and  $\theta$ -activity. At the level of serotonin in the blood serum in the normal range for girls is an increase in spectral power of  $\alpha$ -activity in the anterior parts of of the brain.

**Key words:** electroencephalogram, heart rhythm variability, serotonin, biofeedback.

УДК 612.1:577.175.825:612.813:612.172.2:612.821]-053.6-055.25

### Введение

В настоящее время все большее внимание уделяют такому методу, как БОС-тренинг (БОС — биологическая обратная связь), — одному из способов обучения человека регулировать свое психоэмоциональное состояние [15, 17, 19]. Данный метод используется в медицине, педагогике, психологии, и в последнее время опубликовано немало работ, демонстрирующих его эффективность [6, 7, 13]. БОС-тренинг направлен на изменение физиологических параметров организма в нужном для оздоровительных и тренировочных целей

направлении. Успешная деятельность человека во многом определяется взаимодействием мозговых структур, работой нейронных ансамблей, синапсов, медиаторов.

Большая лабильность нейротрофных процессов мозга позволяет оказывать влияние на функции, часто считаемые неподконтрольными сознанию. Нейромедиатор серотонин (5НТ) играет важную роль в регуляции познавательной активности [13], в контроле нейроэндокринных систем, регулирует цикл бодрствование — сон, стадии и фазы сна, в регуляции сосудистого тонуса, артериального давления, иммунологической реактивности, оказывает влияние на ритм сердца и интен-

сивность мозгового кровотока [1, 3, 10, 14, 18]. Серотонинергическая система мозга представлена многочисленными нейронами ядер центрального серого вещества среднего мозга, шва ствола мозга и широкой сетью аксонов, проецирующихся в различные структуры головного и спинного мозга, а также серотониновыми рецепторами. Серотонин модулирует эффективность синапсов и тем самым обеспечивает необходимый уровень пластичности межнейронных взаимодействий при формировании временных связей, памятных следов [8].

Таким образом, цель данной работы — определение характера изменений спектральной мощности ритмов электроэнцефалограммы (ЭЭГ) при биоуправлении параметрами variability сердечного ритма (ВСР) в зависимости от исходного уровня серотонина в сыворотке крови.

## Материал и методы

Проведено обследование 53 девушек 15—17 лет, проживающих в г. Архангельске. Обследованные лица относились к I и II группам здоровья. Исследования проводились с соблюдением норм биомедицинской этики. От всех исследуемых лиц или их родителей получено информированное согласие. Девушкам предъявляли задание — сеанс адаптивного биоуправления, который проводили по авторской методике Л.В. Поскотиновой и Ю.Н. Семенова (пат. 2317771) [11]. Суть методики состоит в том, чтобы с помощью дыхания активизировать парасимпатический отдел вегетативной регуляции ритма сердца. В качестве управляемого параметра ВСР использовали  $TP$ ,  $mc^2$  (total power, суммарная мощность спектра ВСР), отражающий вагусные влияния на ритм сердца. В процессе БОС-тренинга обследуемый так подбирает свое состояние, чтобы повышалось значение  $TP$ .

Исследование проводилось в три этапа. Первый этап: запись ЭЭГ в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами и регистрация параметров ВСР (5 мин); второй этап: адаптивное биоуправление параметрами ВСР (5 мин); третий этап: запись ЭЭГ в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами и регистрация параметров ВСР (5 мин).

Оценка вегетативной нервной системы осуществлялась по показателям ВСР с помощью аппаратно-программного комплекса «Варикард» (ИВНМТ «Рамена», г. Рязань). Использовали временной и спек-

тральный виды анализа: индекс напряжения регуляторных систем (stress-index —  $SI$ , усл. ед.), суммарную мощность спектра ВСР —  $TP$ , суммарный эффект вегетативной регуляции кровообращения (standard deviation of the NN interval —  $SDNN$ , усл. ед.) и степень активности автономного контура регуляции ( $CC1$ , усл. ед.) [2]. Уровень серотонина определяли в сыворотке крови методом иммуноферментного анализа набором Serotonin ELISA (Германия) в лаборатории иммунологии Института физиологии природных адаптаций УрО РАН (г. Архангельск). Нормативные значения уровня серотонина в сыворотке крови для девушек составляют 80—450 нг/мл. Оценку функционального состояния головного мозга осуществляли по спектральной мощности  $\alpha$  (8—13 Гц)-,  $\beta$  (14—24 Гц)- и  $\theta$  (4—7 Гц)-активности. ЭЭГ регистрировали по 16 каналам (Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, C3, C4, P3, P4, T3, T4, T5, T6, O1, O2) в системе отведений «10—20%» (референтные электроды на мочках ушей) в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами с помощью электроэнцефалографа «Энцефалан-131-03» (НПКФ «Медиком МТД», г. Таганрог). Анализ безартефактных отрезков ЭЭГ проводили с помощью базового пакета обработки ЭЭГ комплекса «Энцефалан».

При анализе результатов рассматривали приросты значений показателей ВСР и ЭЭГ, рассчитанные по формуле

$$(\text{БОС-тренинг/фон}) \cdot 100\%.$$

Приросты значений ВСР и ЭЭГ использовались для оценки степени изменения изучаемых показателей при сеансе биоуправления. Критериями эффективности БОС-тренинга являлись стабилизация или снижение индекса напряжения  $SI$  в сочетании с увеличением суммарной мощности спектра ВСР  $TP$ .

Статистическую обработку полученных результатов проводили с помощью программы Statistica 5.5 (StatSoft, США). Исследуемые параметры описаны медианой  $Me$  и 25-м, 75-м перцентилями, так как распределение значений параметров отличается от нормального. Сравнение величин в выборках проводилось с использованием метода Вилкоксона (для зависимых выборок) и Манна—Уитни (для независимых выборок).

## Результаты и обсуждение

Результаты проведенного обследования показали, что у девушек отклонение уровня серотонина от нор-

мы в сторону снижения составило  $(22,0 \pm 0,1)\%$ . Все участницы исследования были распределены на три группы: I группа — 12 девушек, у которых уровень серотонина не превышал 78 нг/мл (низкие значения), II группа — 26 девушек с уровнем серотонина 79—171 нг/мл (средние значения), III группа — 15 девушек, имевших уровень серотонина выше 172 нг/мл (выше среднего значения).

Анализ фоновых значений параметров ВСП и биоэлектрической активности головного мозга не выявил статистически значимых различий между группами.

В настоящем исследовании все обследуемые успешно справились с заданием. При биоуправлении параметрами ВСП у девушек во всех группах отмечено значимое увеличение *TP* и снижение *SI* в сравнении с фоновыми значениями. В I группе у девушек *TP* возросла на 70% ( $p = 0,001$ ), во II группе на 72% ( $p < 0,001$ ), в III группе — на 98% ( $p < 0,001$ ). Показатель *SI* при биоуправлении снизился в I группе на 42% ( $p = 0,005$ ), во II группе — на 38% ( $p < 0,001$ ) и в III группе — на 40% ( $p < 0,001$ ). Также отмечалось значимое увеличение значений показателя SDNN: в I группе на 30% ( $p = 0,002$ ), во II группе — на 39% ( $p < 0,001$ ) и в III группе — на 72% ( $p < 0,001$ ). Повышение показателя СС1 в I группе составило 13% ( $p = 0,01$ ), во II группе — 21% ( $p = 0,003$ ), а в III группе — 25% ( $p = 0,003$ ). Межгрупповых различий прироста значений ВСП при биоуправлении по отношению к фоновым значениям не обнаружено.

Выявлен ряд особенностей изменения биоэлектрической активности головного мозга при БОС-тренинге при различном исходном содержании серотонина в сыворотке крови. В I группе у девушек снижение *SI* и увеличение *TP* сопровождалось тенденцией к снижению спектральной мощности  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\theta$ -активности (рис. 1). Процесс десинхронизации ритмов головного мозга может быть обусловлен усилением активирующих влияний со стороны стволовых структур головного мозга [10]. Во II группе отмечалось повышение спектра мощности  $\alpha$ -активности ЭЭГ в лобных, центральных и средневисочных отделах головного мозга справа и снижение спектральной мощности  $\theta$ -активности в передне- и средневисочном отделах головного мозга слева (рис. 2). В III группе наблюдалось значимое повышение  $\alpha$ -активности преимущественно в передних отделах мозга с тенденцией к увеличению  $\beta$ -активности ЭЭГ в центральных и передних отделах головного мозга (рис. 3).

В I группе у девушек с низким содержанием серотонина в сыворотке крови изменение биоэлектрической активности мозга обусловлено усилением активирующих влияний со стороны стволовых структур головного мозга. В последних находятся центры регуляции сердечно-сосудистых и дыхательных функций, а также контроля мышечного тонуса. В стволе мозга имеются нейроны ядер шва, синтезирующие серотонин, которые через аксональные контакты осуществляют межнейрональное взаимодействие со структурами ретикулярной формации, гипоталамуса, лимбической системы. Серотонин контролирует эффективность работы других трансммиттеров [1]; при дефиците серотонина этот контроль ослабевает и происходит усиление эффектов адренергической системы.

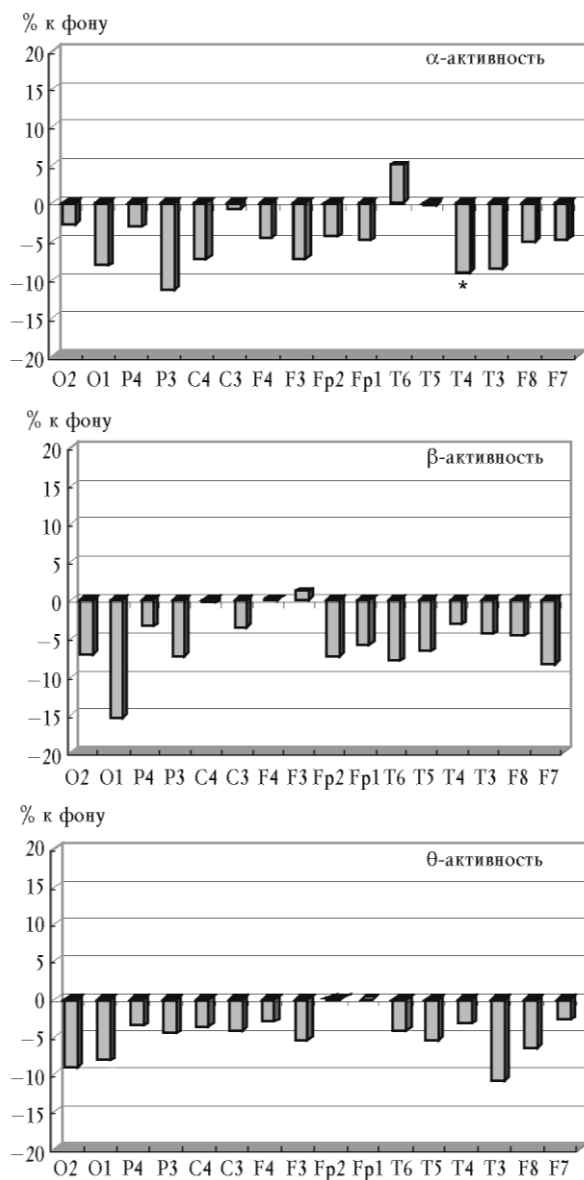


Рис. 1. Приросты спектральной мощности ЭЭГ-ритмов при БОС-тренинге параметрами ВСП у девушек с низким исходным содержанием серотонина в сыворотке крови (I группа). Уровни статистической значимости различий между показателями в исходном состоянии и при БОС-тренинге: \* —  $p < 0,01$

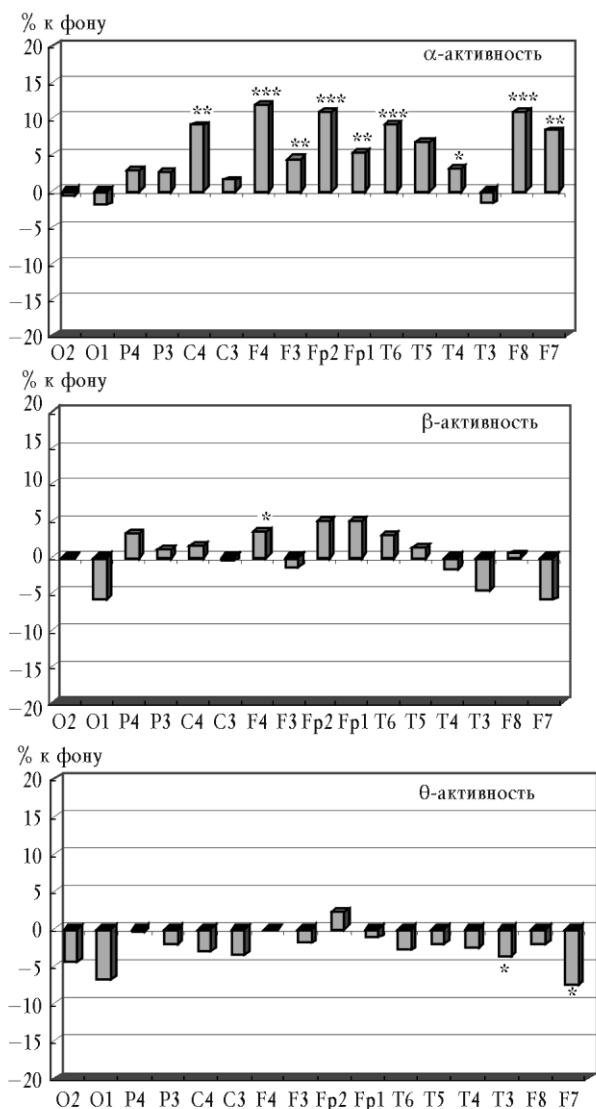


Рис. 2. Приросты спектральной мощности ЭЭГ-ритмов при БОС-тренинге параметрами ВСР у девушек со средним содержанием серотонина в сыворотке крови (II группа). Уровни статистической значимости различий между показателями в исходном состоянии и при БОС-тренинге: \* —  $p < 0,05$ ; \*\* —  $p < 0,01$ ; \*\*\* —  $p < 0,001$

Вероятно, у девушек с низким содержанием серотонина в сыворотке крови достижение положительных результатов БОС-тренинга сопровождается более напряженной работой корковых и подкорковых структур головного мозга.

У девушек с содержанием серотонина в сыворотке крови в пределах нормы (II и III группа) усиление вагусных влияний на ритм сердца при биоуправлении сопровождалось повышением спектральной мощности

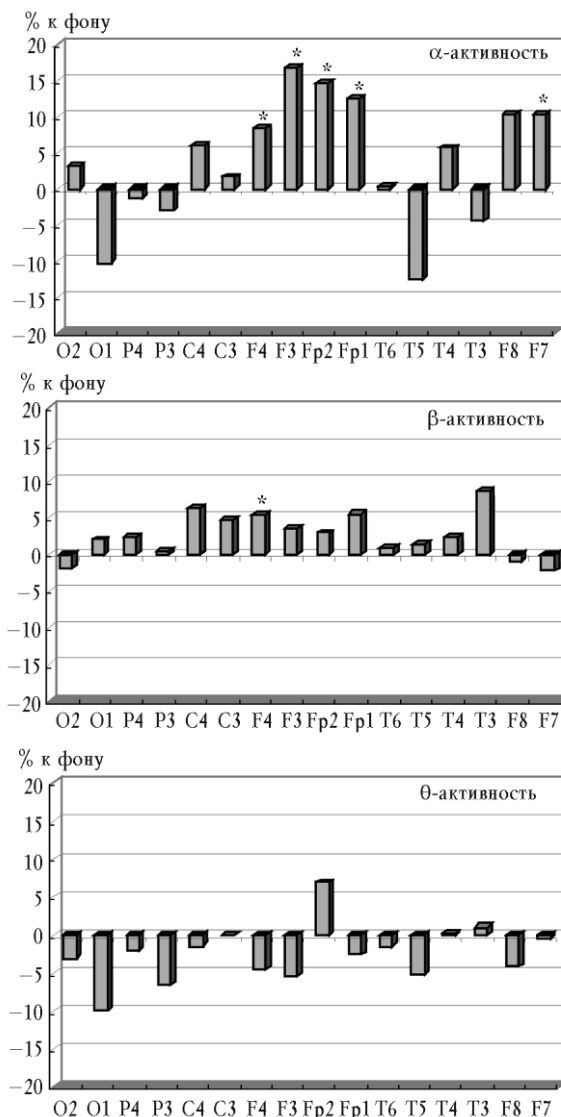


Рис. 3. Приросты спектральной мощности ЭЭГ-ритмов при БОС-тренинге параметрами ВСР у девушек с содержанием серотонина в сыворотке крови выше средних значений (III группа). Уровни статистической значимости различий между показателями в исходном состоянии и при БОС-тренинге: \* —  $p < 0,05$

ЭЭГ в  $\alpha$ -диапазоне в передних отделах головного мозга. У представительниц II группы данное повышение мощности было установлено преимущественно справа. Лобные доли являются основным нервным субстратом, осуществляющим принятие решения при реализации разнообразных форм деятельности человека [9]. Высокие концентрации 5HT1a- и 5HT2-рецепторов, а также мРНК для 5HT1a- и 5HT2a-рецепторов обнаружены во фронтальной коре, стриатуме и прилежа-

шем ядре. Их локализации на постсинаптических нейронах данных структур мозга предполагает важную роль серотонина в обработке поступающей в мозг сенсорной информации. Серотонинергические пути от стволовых структур к септогиппокампальной системе играют значительную роль в организации когнитивных процессов. Лобные доли и правое полушарие участвуют в обработке воспринимаемой информации [5]. По данным некоторых авторов, правое полушарие доминирует в сердечно-сосудистой афферентации; произвольная регуляция ритма сердца сопровождается изменениями электрической активности в передних отделах правого полушария [4]. Имеется более тесная связь правого полушария с психоvegetативной регуляцией [9]. Существенное возрастание выраженности  $\alpha$ -ритма и снижение выраженности  $\theta$ -ритма связано со снижением уровня тревожности и эмоционального напряжения [9]. Таким образом, изменения функциональной активности головного мозга при достаточном содержании серотонина в сыворотке крови отражают процессы возбуждения определенных структур головного мозга в ответ на выработку определенного поведения для достижения положительного результата биоуправления. У девушек II и III групп при БОС-тренинге параметрами ВСП происходит оптимизация корково-подкорковых взаимоотношений, способствуя повышению активности парасимпатического отдела вегетативной нервной системы.

Обозначенные варианты психонейроvegetативных взаимодействий на первых этапах биоуправления параметрами вегетативной регуляции ритма сердца в зависимости от уровня серотонина в сыворотке крови позволяют в будущем разработать программы саморегуляции с учетом индивидуальных физиологических особенностей молодых лиц. Обучение методам саморегуляции с помощью принципов адаптивного биоуправления позволит улучшить процесс обучения и повысить устойчивость к действиям факторов окружающей среды.

## Выводы

1. Выявлены существенные различия в изменении биоэлектрической активности головного мозга при биоуправлении параметрами ВСП у девушек с разным уровнем серотонина в сыворотке крови, что обусловлено различной степенью вовлеченности корковых и

срединных структур головного мозга в процесс центральной регуляции вегетативными функциями.

2. У девушек с исходным дефицитом серотонина в сыворотке крови достижение положительных результатов БОС-тренинга с целью повышения вагусных влияний на ритм сердца сопровождается десинхронизацией компонентов биоэлектрической активности головного мозга.

3. При уровне серотонина в сыворотке крови в пределах нормы у девушек происходит повышение спектральной мощности  $\alpha$ -активности в передних отделах головного мозга с тенденцией к снижению  $\theta$ -активности. Это свидетельствует об оптимизации корково-подкорковых взаимоотношений, способствуя повышению активности парасимпатического отдела вегетативной нервной системы.

## Литература

1. Амелин А.В. Роль серотонина и серотониновых рецепторов в патогенезе мигрени и механизмах действия антимигренозных препаратов // Журн. неврологии и психологии им. С.С. Корсакова. 2000. № 7. С. 55—58.
2. Баевский Р.М. Анализ variability сердечного ритма в космической медицине // Физиология человека. 2002. Т. 28, № 2. С. 70—82.
3. Белоусов Ю.Б., Кривонкин К.Ю. Роль серотонина и его рецепторов в генезе артериальной гипертензии // Кардиология. 1992. № 11—12. С. 5—9.
4. Глазкова В.А., Свидерская Н.Е., Королькова Т.А. Пространственная организация корковой электрической активности при произвольной регуляции частоты сердечных сокращений // Физиология человека. 1996. Т. 22, № 5. С. 104—108.
5. Голдберг Э. Управляющий мозг: лобные доли, лидерство и цивилизация / пер с англ. Д. Бугакова. М.: Смысл, 2003. 335 с.
6. Гулятьева В.В., Гришин О.В., Зинченко М.И., Гришин В.Г. Влияние дыхательного тренинга, основанного на БОС-капнографии в сочетании с компьютерными играми на состояние здоровья у детей-астматиков // Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова. 2004. № 8. С. 514.
7. Джафарова О.А., Донская О.Г., Зубков А.А., Штарк М.Б. Игровое биоуправление как технология профилактики стресс-зависимых состояний // Биоуправление-4. Теория и практика. Новосибирск, ЦЭРИС. 2002. С. 86—96.
8. Жадин М.Н., Карпук Н.Н. Влияние серотонина на кросс-корреляционную активность нейронов переживающих срезов коры // Журн. высш. нерв. деятельности. 1996. Т. 46, № 3. С. 547—551.
9. Журия А.Р. Высшие корковые функции человека. СПб.: Питер, 2008. 624 с.
10. Нейрофизиологические исследования в клинике / под ред. О.М. Гриндель. М.: Антидор, 2001. 231 с.
11. Пат. 2317771 РФ, МПК А61В5/0452. Способ коррекции вегетативных дисбалансов с помощью комплекса для обработки кардиоинтервалограмм и анализа variabilityно-

- сти сердечного ритма «Варикард 2.51», работающего под управлением компьютерной программы ISCIM 6.1 (BULD 2.8), с использованием биологической обратной связи / Л.В. Поскотнинова, Ю.Н. Семенов; Институт физиологии природных адаптаций УрО РАН. № 2006110652/14. Оpubл. 27.02.2008. Бюл. № 6.
12. *Прокотьева Е.В., Пивоваров Ю.И.* Роль большого ядра шва в аритмогенезе сердца при острой ишемии миокарда // Сиб. мед. журнал. 2000. № 2. С. 36—38.
13. *Редько Н.Г.* Зависимость динамики психоэмоциональных показателей от темперамента пациентов и особенности организации сеансов биоуправления // Бюл. сиб. медицины. 2009. Т. 9, № 2. С. 125—128.
14. *Ставинская О.А.* Серотониновая депривация как фактор регуляции иммунологической реактивности // Экология человека. 2008. № 1. С. 22—25.
15. *Budzynski T.H.* From EEG to neurofeedback // Introduction to quantitative EEG and Neurofeedback / Eds. Evans J.R., Abarbanel A., 1999. Academic Press. P. 65—79.
16. *Buhot M.C., Martin S., Segu L.* Role of serotonin in memory impairment // Annals of Medicine. 2000. V. 32, № 3. P. 210—221.
17. *Lubar J.F., Lubar J.O.* Neurofeedback assessment and treatment for attention deficit/hyperactivity disorders // Introduction to quantitative EEG and Neurofeedback / Eds. J.R. Evans, A. Abarbanel. Academic Press, 1999. P. 103—143.
18. *Martin G.R.* Vascular receptors for 5-Hydroxytryptamine: Distribution, function, and classification // Pharmacol. Ther. 1994. P. 283.
19. *Norris S.L., Currier M.* Performance enhancement training through neurofeedback // Introduction to quantitative EEG and Neurofeedback / Eds. J.R. Evans, A. Abarbanel. Academic Press, 1999. P. 223—240.

Поступила в редакцию 28.12.2010 г.

Утверждена к печати 01.04.2011 г.

#### Сведения об авторах

*Е.В. Кривоногова* — канд. биол. наук, ст. науч. сотрудник лаборатории биоритмологии ИФПА УрО РАН (г. Архангельск).

*Л.В. Поскотнинова* — д-р биол. наук, доцент, зав. лабораторией биоритмологии ИФПА УрО РАН (г. Архангельск).

*Д.Б. Дёмин* — канд. биол. наук, ст. науч. сотрудник лаборатории биоритмологии ИФПА УрО РАН (г. Архангельск).

#### Для корреспонденции

*Кривоногова Елена Вячеславовна*, тел. 8-906-284-3079; e-mail: elena200280@mail.ru

---

## Порядок рецензирования статей в журнале «Бюллетень сибирской медицины»

Все поступающие в редакцию рукописи после регистрации проходят этап обязательного двойного конфиденциального рецензирования членами редакционного совета либо внешними рецензентами. Рецензенты не имеют права копировать статью и обсуждать ее с другими лицами (без разрешения главного редактора).

При получении положительных рецензий работа считается принятой к рассмотрению редакционной коллегией журнала, которая окончательно решает вопрос о публикации материала в «Бюллетене сибирской медицины».

Редакция журнала извещает основного автора о результатах прохождения рецензирования и сроках публикации.

Редакция не принимает рукописи научно-практического характера, опубликованные ранее в других изданиях.

Все полученные редакцией журнала «Бюллетень сибирской медицины» рукописи будут рассмотрены без задержек и при получении положительных рецензий и решения редакционной коллегии опубликованы в течение одного года.

С правилами оформления работ можно ознакомиться в Интернете на сайте СибГМУ: <http://ssmu.tomsk.ru>.

*Кривоногова Е.В., Поскотинова Л.В., Демин Д.Б.*

*Сравнительный анализ структуры ЭЭГ и параметров ВСР...*

Статьи и информация для журнала принимаются в редакционно-издательском отделе СибГМУ.