

УДК [616.831-073.97-053.7 + 612.172.2](470.1/2)

## ЭЭГ-РЕАКЦИИ В ДИНАМИКЕ КАРДИОБИОУПРАВЛЕНИЯ У ПОДРОСТКОВ С РАЗЛИЧНЫМ ВЕГЕТАТИВНЫМ ТОНУСОМ, ПРОЖИВАЮЩИХ НА СЕВЕРНЫХ ШИРОТАХ

© 2016 г. <sup>1</sup>Д. Б. Дёмин, <sup>1,2</sup>Л. В. Поскотинова, <sup>1</sup>Е. В. Кривоногова

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики Российской академии наук,  
<sup>2</sup>Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова, г. Архангельск

Рассматривается характер изменения параметров электроэнцефалограммы (ЭЭГ) при проведении сеансов биоуправления по параметрам variability сердечного ритма у подростков 14–17 лет с различным типом вегетативных влияний на активность сердечной деятельности, проживающих в районах разных географических широт и климатозоологических условий Европейского Севера: в приполярном (64°30' с. ш.) и заполярном (67°40' с. ш.) районах. У подростков заполярного района, особенно в группе с преобладанием симпатических влияний на активность сердечной деятельности, при биоуправлении более интенсивно снижается тета-активность ЭЭГ ( $p < 0,05-0,001$ ) с преобладанием динамики в правом полушарии ( $p < 0,05$ ), которая продолжает снижаться и после окончания процедуры. У обследованных подростков из всех групп выявлено генерализованное усиление альфа-активности ЭЭГ над всеми участками коры мозга ( $p < 0,05-0,001$ ) с некоторым смещением градиента в передние и центральные его отделы. Приросты мощности бета-активности ЭЭГ происходят преимущественно за счёт передних и правых центрально-височных отделов мозга ( $p < 0,05-0,001$ ) у подростков из обоих районов, но наибольшие изменения выявлены у лиц со сбалансированным вегетативным тонусом ( $p < 0,05$ ).

**Ключевые слова:** электроэнцефалография, variability сердечного ритма, биоуправление, вегетативный тонус, подростки, Север

## EEG REACTIONS DURING HEART RATE VARIABILITY BIOFEEDBACK PROCEDURE IN ADOLESCENTS WITH DIFFERENT AUTONOMIC TONE LIVING IN NORTHERN AREAS

<sup>1</sup>D. B. Demin, <sup>1,2</sup>L. V. Poskotinova, <sup>1</sup>E. V. Krivonogova

<sup>1</sup>Federal Center for Integrated Arctic Research, Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk  
<sup>2</sup>Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia

The character of the electroencephalogram (EEG) changes during a once procedure of heart rate variability biofeedback was considered in adolescents 14–17 years with different autonomic nervous types living in the different geographical latitudes and climatic, ecological conditions of the European North: the Subpolar (64°30' N) and Polar (67°40' N) areas. More intensive reduction of theta EEG activity ( $p < 0,05-0,001$ ) with a predominance of the dynamics in the right brain hemisphere ( $p < 0,05$ ), which continues to decline after the procedure occurs in adolescents of Polar region, especially in the group with a predominance of sympathetic influences on the heart activity. A common increasing of EEG alpha activity over all areas of the cerebral cortex ( $p < 0,05-0,001$ ) with some displacement gradient in the front and center brain parts revealed in adolescents from all groups. A spectral power increment of beta<sub>1</sub> EEG activity occur primarily at the expense of the front and right center-temporal brain parts ( $p < 0,05-0,001$ ) in adolescents of both areas, but the biggest changes were found in persons with a balanced (normal) autonomic nervous tone ( $p < 0,05$ ).

**Keywords:** electroencephalography, heart rate variability, biofeedback, autonomic nervous tone, adolescents, North

### Библиографическая ссылка:

Дёмин Д. Б., Поскотинова Л. В., Кривоногова Е. В. ЭЭГ-реакции в динамике кардиобиоуправления у подростков с различным вегетативным тонусом, проживающих на северных широтах // Экология человека. 2016. № 10. С. 23–30.

Demin D. B., Poskotinova L. V., Krivonogova E. V. EEG Reactions during Heart Rate Variability Biofeedback Procedure in Adolescents with Different Autonomic Tone Living in Northern Areas. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2016, 10, pp. 23–30.

Длительное напряжение регуляторных систем организма может приводить к истощению адаптационных резервов, нарушению физиологических ритмов и механизмов регуляции [7]. Организм подростка, находящийся в процессе морфологического и функционального развития, в большей степени подвержен влиянию стресс-факторов, особенно в условиях неблагоприятных климатических факторов Севера и возрастающей школьной нагрузки [13]. В наших предыдущих исследованиях [3, 4] было показано, что в условиях более выраженного климатического дис-

комфорта на Севере, особенно в условиях Заполярья, у детей и подростков имеет место смещение баланса вегетативной нервной системы (ВНС) в сторону симпатикотонии, проявляемой прежде всего в нарушении ассоциативных вегетативных связей при барорефлекторной регуляции сердечно-сосудистой деятельности. В связи с этим выбор наиболее оптимального метода коррекции должен основываться на активационном воздействии парасимпатической нервной системы, которая преимущественно обеспечивает сердечно-легочные взаимодействия и позволяет оптимизиро-

вать вегетативный баланс. Одним из перспективных методов немедикаментозной коррекции сосудистой дистонии является метод биоуправления параметрами variability сердечного ритма (ВСР), при котором происходит усиление вагусных влияний на ритм сердца и снижение явлений симпатикотонии [15, 16]. Выраженность и реактивность основных ритмов биоэлектрической активности головного мозга может отражать характер функционирования таламокортикальных, таламоретикулярных и нейровисцеральных связей при реализации программ саморегуляции.

Учитывая различные темпы формирования биоэлектрической активности мозга и механизмов вегетативной регуляции сердечной деятельности у подростков, проживающих в климатоэкологических условиях приполярных и заполярных территорий Севера, представляется актуальным изучение характера динамики электроэнцефалографических изменений при биоуправлении параметрами ритма сердца по предложенному способу.

### Методы

Проведено рандомизированное поперечное неконтролируемое исследование, в котором приняли участие 349 практически здоровых подростка обоих полов. В осенний период выполняли исследования в районах разных географических широт и климатоэкологических условий Европейского Севера России: к району приполярных широт относили север Архангельской области (Приморский район — 64°30' с. ш.), к району заполярных широт относили Ненецкий автономный округ (Заполярный район — 67°40' с. ш.). Испытуемых лиц выбирали на добровольной основе, критериями включения при первичном отборе являлись: возраст 14–17 лет, рождение и постоянное проживание в исследуемых северных районах; критерием исключения служило наличие в анамнезе травм головного мозга и неврологических нарушений.

При первичной оценке преобладающего типа вегетативной регуляции сердечного ритма нами принимались во внимание значения индекса напряжения регуляторных систем (Stress Index — SI, усл. ед.), который адекватно отражает активность симпатoadренальной системы [1]. Соответственно все испытуемые в обоих районах были дополнительно разделены на 2 группы: лица со сбалансированным вегетативным тонусом (нормотоники, SI в диапазоне 50–150 усл. ед.) и лица с преобладанием симпатических влияний на активность сердечной деятельности (симпатотоники,  $SI \geq 151$  усл. ед.). Учитывая характер проводимых сеансов биоуправления — повышение вагусных влияний на сердечную деятельность, группу лиц с изначальным преобладанием вагусных влияний на ритм сердца (ваготоники) мы исключили из данного исследования. В приполярном районе в группу подростков с нормотоническим типом вошли 127 человек (средний возраст  $(16,2 \pm 0,9)$  года); в группу симпатотоников 72 человека,  $(16,1 \pm 1,0)$  года. В заполярном районе нормотониками являлись 87 че-

ловек,  $(16,0 \pm 1,0)$  года; симпатотониками 63 человека,  $(15,8 \pm 1,0)$  год. Предварительный анализ выборок не выявил выраженных половых различий изучаемых показателей, что позволило объединить данные по лицам мужского и женского пола. От всех подростков и их родителей было получено письменное информированное согласие на участие в исследовании, которое проводили с соблюдением этических норм, изложенных в Хельсинкской декларации и Директивах Европейского сообщества (8/609ЕС).

Исследования проводили в комфортной, привычной для испытуемых обстановке в период с 9 до 14 часов. Сеансы биологической обратной связи (БОС) проводили по авторской методике Поскототиновой Л. В., Семёнова Ю. Н. — патент на изобретение № 2317771 [15]. Для реализации принципа БОС в процессе регистрации электрокардиограммы во II стандартном отведении на аппаратно-программном комплексе «Варикард» («Рамена», г. Рязань) обследуемый получал на экране монитора информацию о состоянии общей мощности спектра ВСР (дисперсии кардиоинтервалов, Total Power — TP,  $ms^2$ ) [1] в виде линейного графика и цифровых показателей.

В динамике сеанса обновление указанных показателей происходило каждые 4 секунды по принципу скользящего окна, общая продолжительность БОС-тренинга составляла 5 минут. Перед началом исследования подростка инструктировали о том, что изменение графика на экране монитора зависит от его внутреннего состояния, цель тренинга — увеличение общей мощности спектра ВСР (повышение графика). Состояние, отражающее изменение выбранного параметра, формировалось посредством стратегии «свободного поиска» — создания положительно окрашенных мысленных образов в сочетании со спокойным глубоким дыханием с эффективным плавным выдохом и мышечной расслабленностью. В данном исследовании с каждым подростком был проведен один сеанс БОС-тренинга по вышеописанной методике [15]. Схема сеанса включала четыре этапа: 1) 5-минутная запись ЭЭГ с закрытыми глазами (регистрация фона) с одновременной регистрацией параметров ВСР; 2) 5-минутная процедура БОС, проводимая с открытыми глазами без регистрации ЭЭГ; 3) регистрация реакции последействия (воспроизведение комфортного состояния без сигналов обратной связи) — 5-минутная запись ЭЭГ и ВСР с закрытыми глазами (повторение первого этапа); 4) 2-минутная запись ЭЭГ с закрытыми глазами (заключительный фон).

Для контроля направленности церебральных изменений во время сеансов оценивали биоэлектрическую активность головного мозга. Электроэнцефалограмму (ЭЭГ) регистрировали сидя, в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами на ЭЭГА-21/26 «Энцефалан-131-03» (НПКФ «Медиком МТД», г. Таганрог) монополярно от 16 стандартных отведений с ушными референтными электродами, установленных по международной системе 10–20. При оценке ЭЭГ каждого испытуемого выделяли

безартефактные отрезки записи длительностью 60 секунд на каждом этапе исследования, спектр анализировали по тета- (4–6,9 Гц), альфа- (7–12,9 Гц), бета<sub>1</sub>- (13–24 Гц) диапазонам. Для количественной оценки спектра ЭЭГ в каждом частотном диапазоне проводили усреднённую для каждого испытуемого оценку амплитуды (мкВ), индекса (%) и абсолютных значений мощностей (мкВ<sup>2</sup>).

Обрабатывали полученные результаты при помощи компьютерного пакета прикладных программ Statistica v. 6.0 (StatSoft Inc., США). В связи с тем, что в большинстве случаев распределение признаков в выборках не подчинялось закону нормального распределения (оценка по критерию Shapiro-Wilk), статистическую обработку проводили непараметрическими методами, учитывали медиану (Me), нижний и верхний квартили (25–75 перцентили). Для проверки статистической гипотезы разности значений использовали критерии Wilcoxon для двух зависимых выборок, Mann-Whitney и критерий  $\chi^2$  (сравнение процентных долей) для двух независимых групп, Kruskal-Wallis для нескольких независимых групп. Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез принимали за  $p < 0,05$ .

### Результаты

Во время сеанса биоуправления у обследованных подростков из всех групп значения общей мощности спектра ВСП значительно повышались в сравнении с фоновыми показателями, а затем так же значительно снижались практически до исходных значений ( $p < 0,001$ ) (рис. 1). Индекс напряжения значительно снижался на этапе биоуправления, а на заключительном этапе сеанса так же значительно повышался, т. е. возвращался к исходному уровню у всех подростков независимо от исходного вегетативного тонуса ( $p < 0,001$ ). При этом фоновые и динамические различия изучаемых показателей ВСП между группами с различным вегетативным тонусом тоже были статистически значимы ( $p < 0,001$ ) – TP в группе нормотоников был значительно выше, а SI ниже.

В группах подростков заполярного района в сравнении с аналогичными группами приполярного района выявлены статистически более высокие показатели тета-активности и амплитуды альфа-активности, а также более низкие значения индекса бета-активности ( $p = 0,018–0,001$ ). Данные широтные различия указанных показателей ЭЭГ увеличиваются при усилении тонуса симпатического отдела ВНС, достигая максимума в группах симпатотоников ( $p < 0,001$ ), а также сохраняются в динамике проведения однократного сеанса биоуправления (см. рис. 1). Следует отметить наличие более высоких фоновых значений амплитуды и индекса тета-активности, а также амплитуды альфа-активности при усилении симпатического тонуса у подростков Заполярья, так, в группе симпатотоников данные показатели были значительно выше, чем у нормотоников ( $p = 0,022–0,045$ ). У подростков приполярного

района наблюдается схожая динамика, но лишь на уровне тенденции ( $p > 0,05$ ).

Изменение изучаемых показателей ЭЭГ в альфа-диапазоне во время сеанса биоуправления выразилось в их значимом повышении ( $p = 0,012–0,001$ ) от фона к этапу последствия БОС и вновь снижении в пределах нормативных значений ( $p = 0,031–0,004$ ) к заключительному этапу во всех группах подростков. На фоне повышения общей мощности спектра ВСП и снижения индекса напряжения у подростков отмечено повышение амплитуды и индекса альфа-диапазона от фона к этапу биоуправления. Амплитуда тета-ритма на этапе биоуправления значимо снижалась лишь в группе симпатотоников заполярного района ( $p = 0,024$ ), в остальных группах подростков это снижение происходило лишь на уровне тенденции. Однако к заключительному этапу уже во всех группах подростков снижение тета-амплитуды продолжилось статистически значимо ( $p = 0,014–0,001$ ). Тета-индекс также снижался при биоуправлении, причём наиболее интенсивно в заполярных группах ( $p = 0,043–0,001$ ). Показатели бета-активности к этапу последствия БОС изменялись в основном на уровне тенденции, значимо повысилась бета-амплитуда лишь у нормотоников приполярного района ( $p = 0,035$ ). К заключительному этапу было отмечено значимое снижение бета-амплитуды во всех группах подростков ( $p = 0,007–0,002$ ), а бета-индекса в группах нормотоников из обоих районов ( $p = 0,013–0,005$ ).

Динамика процентного изменения абсолютных значений мощности основных частотных диапазонов ЭЭГ от фонового состояния к этапу последствия БОС-тренинга представлена на рис. 2. Отмечается правосторонняя асимметрия в динамических откликах рассматриваемых частотных диапазонов на проведение сеанса. Снижение мощности тета-активности происходит у обследованных подростков всех групп. В группе нормотоников приполярного района данное снижение происходит преимущественно за счёт затылочных и правой височной областей ( $p = 0,035–0,001$ ), у симпатотоников этого района за счёт лобно-центральных областей ( $p = 0,042–0,014$ ). В группе нормотоников заполярного района выявлено наиболее интенсивное снижение тета-активности, происходящее симметрично в лобно-центральных областях мозга, а также в правой затылочной области ( $p = 0,018–0,005$ ), причём в правых лобных, центральных и височных областях выявленные изменения наиболее значимы в группе нормотоников по сравнению с симпатотониками этого района ( $p = 0,024–0,002$ ). У симпатотоников Заполярья значимое снижение мощности тета-активности происходит в правых лобно-височных и затылочных областях ( $p = 0,031–0,012$ ). При рассмотрении описываемых динамических изменений в частотных диапазонах ЭЭГ не было выявлено статистически значимых отличий между выборками из приполярного

и заполярного районов с однотипным вегетативным статусом.

Приросты абсолютных значений мощности альфа-диапазона в ходе сеанса биоуправления также происходят во всех рассматриваемых группах подростков. Следует отметить определённые топические особенности, указывающие на то, что данные приросты происходят не только в затылочных областях (больше справа,  $p = 0,014-0,001$ ), где градиент представленности альфа-ритма в норме должен быть максимальным, однако более активно и билатерально альфа-активность прирастает и в лобных областях у

подростков абсолютно во всех группах ( $p = 0,012-0,001$ ). Центральные и височные отделы обоих полушарий задействованы в приросте альфа-активности лишь у подростков групп заполярного района, причём наиболее отчётливо также в группе нормотоников ( $p = 0,025-0,001$ ). Мощность бета<sub>1</sub>-диапазона, подобно динамике альфа-активности, также максимально прирастает за счёт лобных отделов мозга у подростков во всех группах ( $p = 0,018-0,001$ ). Значимые приросты бета<sub>1</sub>-активности – билатерально в центральных, а также в правой височной областях происходят преимущественно в группах нормотоников

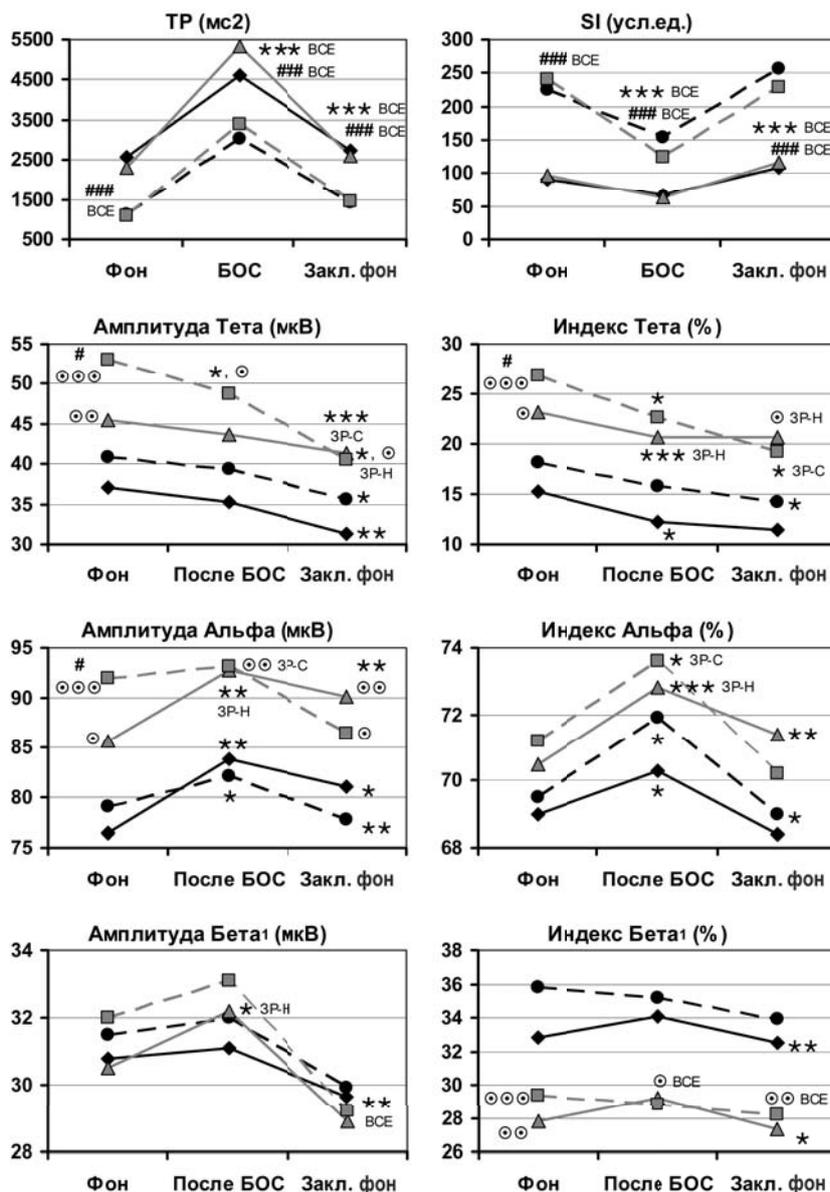


Рис. 1. Изменение показателей variability сердечного ритма и биоэлектрической активности головного мозга в динамике однократного сеанса биоуправления у подростков с различным вегетативным статусом, проживающих в приполярном и заполярном районах.

Примечания: Сплошные линии – группы нормотоников (Н); пунктирные линии – группы симпатотоников (С). Чёрные линии – группы приполярного района (ПР); серые линии – группы заполярного района (ЗР). Статистически значимое отличие в сравнении с предыдущим этапом исследования: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ ; # – между группами с различным вегетативным статусом в одном районе проживания; ⊙ – между выборками из разных районов с однотипным вегетативным статусом.

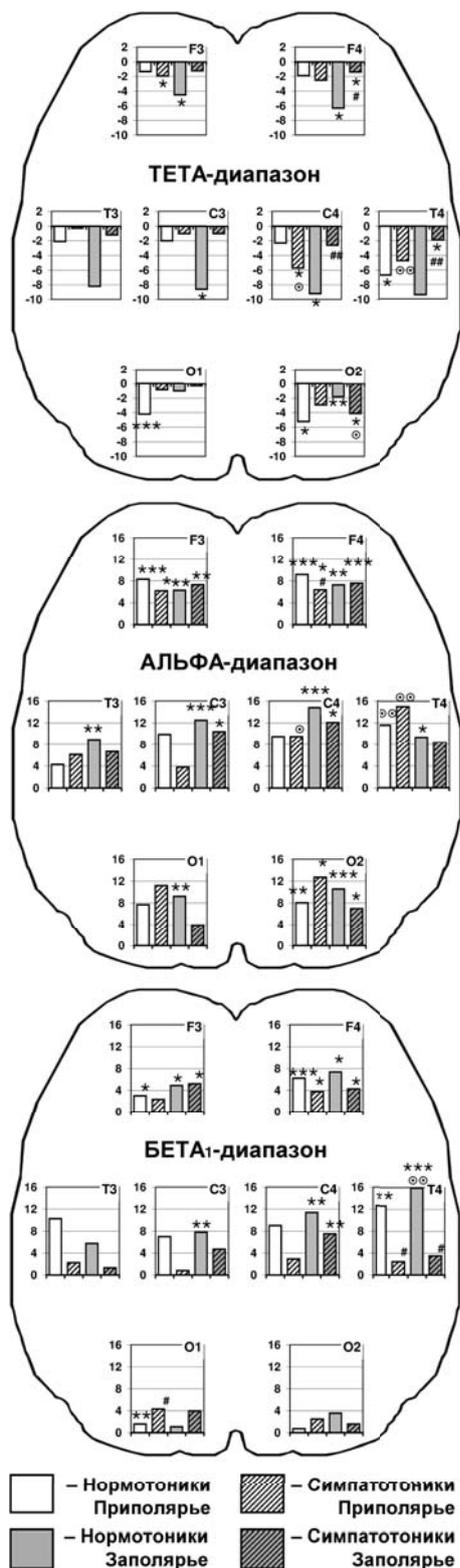


Рис. 2. Изменение (в процентах) абсолютных значений мощности основных частотных диапазонов ЭЭГ в динамике однократного сеанса биоуправления у подростков с различным вегетативным статусом, проживающих в приполярном и заполярном районах. *Примечания:* F3, F4, C3, C4, T3, T4, O1, O2 – левые и правые лобные, центральные, височные и затылочные отведения. Статистически значимое отличие между показателями фонового состояния и этапа последствия БОС-тренинга: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ ; # – между группами с различным вегетативным статусом в одном районе проживания; ⊙ – между показателями в симметричных отведениях слева и справа.

обоих северных районов ( $p = 0,004-0,001$ ), при этом в правой височной области эта динамика выражена гораздо сильнее, чем в группах симпатотоников этих районов ( $p = 0,031-0,012$ ).

### Обсуждение результатов

Как было отмечено в наших предыдущих работах [3], в группах подростков заполярного района (особенно у симпатотоников) в сравнении с аналогичными группами приполярного района отмечена более высокая фоновая активность подкорковых диэнцефальных мозговых структур, «созревание» волновой структуры ЭЭГ сопровождается у них сохранением повышенного уровня тета-активности, а также повышенной частотой встречаемости гиперсинхронных, высокоамплитудных вариантов ЭЭГ. Формирование гиперсинхронных паттернов ЭЭГ у подростков-северян при нарастании симпатической активности свидетельствует о наличии дисфункций диэнцефальных структур головного мозга и повреждении таламокортикальных связей, которые могут быть в основе нарушения центральных механизмов регуляции сосудистого тонуса [13].

Известно, что управляемое усиление активности парасимпатического отдела вегетативной регуляции может приводить к улучшению состояния мозгового кровотока и биоэлектрических процессов головного мозга [5, 6, 10]. У обследованных подростков из обоих районов, преимущественно из групп со сбалансированным вегетативным тонусом, после выполнения процедуры БОС-тренинга происходит регулирование ритмов и сдвиг биоэлектрической активности в сторону более высоких амплитуд в альфа-диапазоне, что может свидетельствовать об уменьшении уровня эмоционального напряжения при выполнении задания и синхронизации корково-подкорковых взаимодействий [11].

Стоит отметить, что наиболее интенсивное снижение показателей тета-активности происходило в группе симпатотоников Заполярья и достигало заключительному этапу уровней группы нормотоников того же района, хотя фоновые показатели у симпатотоников были значимо выше. На наш взгляд, это является благоприятным фактором, демонстрирующим оптимизацию нейрофизиологических функций у данных лиц в результате проведения БОС-тренинга. В предыдущих работах [10] было установлено, что у взрослых лиц с симпатикотонией на фоне артериальной гипертензии реактивность мозговых структур при однократном сеансе биоуправления была низкой, что свидетельствует о низкой пластичности нейрофизиологических процессов у взрослых лиц с нарушениями вегетативной регуляции. В настоящем же исследовании наличие выраженной динамики показателей ЭЭГ, в том числе тета-активности (от исходно более высоких уровней до значительного их снижения), может свидетельствовать о сохранении высокой пластичности таламокортикальных и диэнцефальных структур головного мозга у подростков

Заполярья, особенно у лиц с нормотонией. Однако и состояние исходной симпатикотонии, а также исходно высокой тета-активности ЭЭГ при условии сохранения высокой реактивности мозговых структур в процессе саморегуляции могут рассматриваться как варианты адаптивной реакции организма на дискомфортность среды обитания.

Исследования, проведённые у коренных жителей Севера, показали, что ведущим при обработке информации является правое полушарие головного мозга либо оба полушария равноценны в своём функционировании [7]. Обработка когнитивной и эмоциональной информации происходит в структурах медиальной префронтальной коры и паравентрикулярном ядре гипоталамуса, участвующем в нейроэндокринной и вегетативной регуляции [9], что необходимо для адаптации организма в изменяющихся условиях. Правые теменно-центральные области во взаимосвязи с правой поясной извилиной участвуют в решении пространственных задач [12], т. е. в пространственном распределении внимания. Полученные данные свидетельствуют о большем количестве вовлечённых структур головного мозга, необходимых для достижения согласованного восприятия и обработки информации у подростков заполярного района в сравнении со сверстниками из приполярного района.

Усиление альфа-ритма отражает доминирующую роль либо восходящих активирующих влияний ретикулярной формации, либо таламических структур на кору больших полушарий. Сочетанное усиленное влияние таламических и стволовых структур на биоэлектrogenез коры обуславливает усиление альфа-активности в центральных и передних областях мозга [17]. Усиление бета<sub>1</sub>-активности в правой центрально-височной области свидетельствует о вовлечении сенсомоторной коры и медиабазальных, возможно, эмоциогенных структур [11] при реализации индивидуальной стратегии эффективности биоуправления как вида когнитивной деятельности. Более выраженные перестройки биоэлектрического паттерна в правых отделах головного мозга свидетельствуют также об активизации центральных мозговых структур, связанных с сердечно-сосудистой афферентацией [2], что может оптимизировать вегетативную регуляцию сердечной деятельности организма. Достаточно слабая реакция бета<sub>1</sub>-ритма на процедуру биоуправления в группах симпатотоников, видимо, вызвана смещением вегетативных влияний на периферический уровень, при этом центральные структуры становятся менее чувствительными к биоуправлению [14]. В то же время известно, что формирование оптимального соотношения бета / тета активности головного мозга в подростковый период важно с точки зрения профилактики и коррекции синдрома гиперактивности [8]. Снижение выраженности медленно-волновых и повышение роли высокочастотных ритмов в центральных и

передних отделах мозга после данного вида БОС-тренинга отражает процессы снижения активности глубоких структур и повышения активности коры мозга. Это также является фактором оптимизации возрастного становления нейрофизиологических функций у подростка, особенно в условиях дискомфортной среды Севера.

Таким образом, БОС-тренинг по характеристикам ВСР у подростков способствует повышению устойчивости подкорковых структур регуляции, не позволяющих отклоняться частотному спектру ЭЭГ за оптимальные возрастные пределы независимо от исходного вегетативного тонуса. Формирование симпатикотонии у подростков, проживающих в более дискомфортных условиях заполярного Севера, в большей степени связано с изменением и возможным повреждением таламокортикальных связей, чем у сверстников из приполярного района. У подростков заполярного района, особенно в группе симпатотоников, наряду с усилением активности парасимпатического отдела вегетативной регуляции при биоуправлении происходит более интенсивное снижение тета-активности ЭЭГ с относительным преобладанием динамики в правом полушарии, которая продолжает снижаться и после окончания процедуры. У обследованных подростков из всех групп формирование церебральных ответов в альфа-диапазоне выражается в генерализованном усилении активности над всеми участками коры мозга с некоторым смещением градиента в передние и центральные его отделы, что отражает сочетанное усиленное влияние таламических и стволовых структур на биоэлектrogenез коры. Приросты мощности бета<sub>1</sub>-активности происходят преимущественно за счёт передних и правых центрально-височных отделов мозга у подростков из обоих районов, что свидетельствует о вовлечении сенсомоторной коры и медиабазальных, возможно, эмоциогенных структур при реализации индивидуальной стратегии эффективности биоуправления как вида когнитивной деятельности, наибольшие изменения выявлены у лиц со сбалансированным вегетативным тонусом.

*Работа выполнена при поддержке гранта Президиума Уральского отделения РАН № 15-15-4-9.*

#### Список литературы

1. Баевский Р. М., Иванов Г. Г., Гаврилушкин А. П. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации) // Вестник аритмологии. 2002. № 24. С. 65–86.
2. 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.
3. Дёмин Д. Б., Поскотинова Л. В., Кривоногова Е. В. Вегетативный статус и мозговая активность у подростков заполярного Севера // Вестник Российской академии медицинских наук. 2014. № 9–10. С. 5–9.

4. Дёмин Д. Б., Поскотинова Л. В., Кривоногова Е. В. Возрастные особенности функциональных показателей сердечно-сосудистой системы у подростков различных арктических территорий // *Экология человека*. 2015. № 7. С. 27–32.

5. Каменченко Е. А., Поскотинова Л. В. Динамика показателей реоэнцефалограммы при биоуправлении параметрами ритма сердца у подростков Заполярья // *Экология человека*. 2013. № 12. С. 26–32.

6. Кривоногова Е. В., Поскотинова Л. В., Дёмин Д. Б. Эффективность функционального биоуправления вегетативными параметрами и биоэлектрическая активность головного мозга у подростков // *Экология человека*. 2009. № 12. С. 39–42.

7. Кривошеков С. Г. Биоритмологические маркеры дизадаптации при вахтовом труде на Севере // *Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова*. 2012. Т. 98, № 1. С. 57–71.

8. Кротонов Ю. Д. Перспективы развития биообратной связи (БОС) при коррекции психических расстройств (на примере синдрома нарушения внимания с гиперактивностью) // *Биоуправление: теория и практика*. Новосибирск, 2010. С. 44–55.

9. Латаш Л. П. Гипоталамус, приспособительная активность и электроэнцефалограммы. М.: Наука, 1968. 295 с.

10. Поскотинова Л. В., Дёмин Д. Б., Кривоногова Е. В., Диева М. Н., Хасанова Н. М. Успешность биоуправления параметрами вариабельности сердечного ритма у лиц с различным уровнем артериального давления // *Вестник Российской академии медицинских наук*. 2013. № 7. С. 20–23.

11. Равич-Щербо И. В., Марютина Т. М., Григоренко Е. Л. Психогенетика. М.: Аспект Пресс, 2000. 447 с.

12. Рожков В. П., Сергеева Е. Г., Сороко С. И. Возрастная динамика вызванных потенциалов мозга при произвольном и непроизвольном внимании к девиантным стимулам у школьников-северян // *Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова*. 2008. Т. 94, № 11. С. 1240–1258.

13. Сороко С. И., Андреева С. С., Бекшаев С. С. Перестройки параметров электроэнцефалограммы у детей – жителей о. Новая Земля // *Вестник Северо-Восточного НЦ ДВО РАН*. 2009. № 2. С. 49–59.

14. Сороко С. И., Трубачев В. В. Нейрофизиологические и психофизиологические основы адаптивного биоуправления. СПб.: ИЭФБ РАН, 2010. 607 с.

15. Способ коррекции вегетативных дисбалансов с помощью комплекса для обработки кардиоинтервалограмм и анализа вариабельности сердечного ритма «Варикард 2.51», работающего под управлением компьютерной программы ISCIM 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.

16. Lehrer P. M., Vaschillo E., Vaschillo B. et al. Heart Rate Variability Biofeedback Increases Baroreflex Gain and Peak Expiratory Flow // *Psychosomatic Medicine*. 2003. Vol. 65. P. 796–805.

17. Maier S. F., Watkins L. R. Role of the medial prefrontal cortex in coping and resilience // *Brain Research*. 2010. Vol. 1355. P. 52–60.

## References

1. Baevskii R. M., Ivanov G. G., Gavrilushkin A. P. Analysis of heart rate variability using different electrocardiographic

systems (guidelines). *Vestnik aritmologii* [Bulletin of Arrhythmology]. 2002, 24, pp. 65–86. [in Russian]

2. Glazkova V. A., Sviderskaya N. E., Korol'kova T. A. Spatial organization of cortical electric activity in the voluntary regulation of heart rate. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology]. 1996, 22 (5), pp. 104–108. [in Russian]

3. Demin D. B., Poskotinova L. V., Krivonogova E. V. Autonomic nervous status and bioelectric brain activity in adolescents-inhabitants of the Polar North. *Vestnik Rossiiskoi akademii meditsinskikh nauk* [Annals of the Russian Academy of Medical Sciences]. 2014, 9–10, pp. 5–9. [in Russian]

4. Demin D. B., Poskotinova L. V., Krivonogova E. V. Age features of cardiovascular system functional parameters in adolescents living in different Arctic areas. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2015, 7, pp. 27–32. [in Russian]

5. Kamenchenko E. A., Poskotinova L. V. Dynamics of rheoencephalographic parameters during heart rate biofeedback in adolescents-inhabitants of Arctic area. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2013, 12, pp. 26–32. [in Russian]

6. Krivonogova E. V., Poskotinova L. V., Demin D. B. The functional biofeedback efficiency by autonomic parameters and brain bioelectric activity at adolescences. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2009, 12, pp. 39–42. [in Russian]

7. Krivoshekov S. G. Biorhythmic markers of stress and dysadaptation condition at work on a rotational basis in the North. *Rossiiskii fiziologicheskii jurnal imeni I. M. Sechenova / Rossiiskaia akademiia nauk* [Russian Journal of Physiology (formerly I. M. Sechenov Physiological Journal)]. 2012, 98 (1), pp. 57–71. [in Russian]

8. Kropotov Yu. D. Perspektivy razvitiya bioobratnoi svyazi (BOS) pri korrektsii psikhicheskikh rasstroistv (na primere sindroma narusheniya vnimaniya s giperaktivnost'yu) [Development prospects biofeedback (BFB) for the correction of mental disorders (in the case of attention deficit disorder with hyperactivity)]. In: *Bioupravlenie: teoriya i praktika* [Biofeedback: Theory and Practice]. Novosibirsk, 2010, pp. 44–55.

9. Latash L. P. *Gipotalamus, prisposobitel'naya aktivnost' i elektroentsefalogrammy* [Hypothalamus, adaptive activity and electroencephalograms]. Moscow, 1968, 295 p.

10. Poskotinova L. V., Demin D. B., Krivonogova E. V., Dieva M. N., Khasanova N. M. The success of heart rate variability biofeedback parameters in persons with different levels of blood pressure. *Vestnik Rossiiskoi akademii meditsinskikh nauk* [Annals of the Russian Academy of Medical Sciences]. 2013, 7, pp. 20–23. [in Russian]

11. Ravich-Shcherbo I. V., Maryutina T. M., Grigorenko E. L. *Psikhogenetika* [Psychogenetics]. Moscow, 2000, 447 p.

12. Rozhkov V. P., Sergeeva E. G., Soroko S. I. Developmental changes of auditory event-related potentials under involuntary and voluntary attention towards deviant stimuli in school children from the North region. *Rossiiskii fiziologicheskii jurnal imeni I. M. Sechenova / Rossiiskaia akademiia nauk* [Russian Journal of Physiology (formerly I. M. Sechenov Physiological Journal)]. 2008, 94 (11), pp. 1240–1258. [in Russian]

13. Soroko S. I., Andreeva S. S., Bekshaev S. S. The EEG parameters changes in children on Novaya Zemlya Island. *Vestnik Severo-Vostochnogo NTs DVO RAN* [Bulletin of the North-East Scientific Center, Russia Academy of Sciences Far East Branch]. 2009, 2, pp. 49–59. [in Russian]

14. Soroko S. I., Trubachev V. V. *Neirofiziologicheskie i psikhofiziologicheskie osnovy adaptivnogo bioupravleniya*

[Neurophysiological and psychophysiological bases of adaptive biofeedback]. Saint Petersburg, IEFB RAN, 2010, 607 p.

15. *Sposob korrektsii vegetativnykh disbalansov s pomoshch'yu kompleksa dlya obrabotki kardiointervalogramm i analiza variabel'nosti serdechnogo ritma «Varikard 2.51», abotayushchego pod upravleniem komp'yuternoï 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, Institut fiziologii prirodnykh adaptatsii UrO RAN. Byul. no. 6. Application: 2006110652/14, 03.04.2006. Date of publication 27.02.2008].

16. Lehrer P. M., Vaschillo E., Vaschillo B. et al. Heart Rate Variability Biofeedback Increases Baroreflex Gain and Peak Expiratory Flow. *Psychosomatic Medicine*. 2003, 65, pp. 796-805.

17. Maier S. F., Watkins L. R. Role of the medial prefrontal cortex in coping and resilience. *Brain Research*. 2010, 1355, pp. 52-60.

**Контактная информация:**

*Дёмин Денис Борисович* – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биоритмологии ФГБУН Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики Российской академии наук

Адрес: 163000, г. Архангельск, пр. Ломоносова, д. 249  
Тел. (8182) 65-29-92

E-mail: denisdemin@mail.ru