

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ФИЗИОЛОГИИ ПРИРОДНЫХ АДАПТАЦИЙ
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

На правах рукописи

ДЁМИН Денис Борисович

**НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВАРИАНТОВ
ВЕГЕТАТИВНОГО ТОНУСА У ПОДРОСТКОВ, ПРОЖИВАЮЩИХ
В УСЛОВИЯХ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА**

03.03.01 – физиология

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание учёной степени

доктора медицинских наук

Научный консультант:

доктор биологических наук, доцент

Л.В. Поскотинова

Архангельск – 2016

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	3
ВВЕДЕНИЕ	5
Глава 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	14
1.1. Особенности нейрофизиологического статуса в подростковом периоде	14
1.2. Климатоэкологические условия северных территорий и их влияние на сердечно-сосудистую и нервную системы человека	31
1.3. Нейрофизиологические эффекты тиреоидных гормонов	41
1.4. Физиологические основы методов функционального биоуправления	50
Глава 2. ОРГАНИЗАЦИЯ, ОБЪЁМ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	72
Глава 3. ОСОБЕННОСТИ ФОНОВОГО НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА У ПОДРОСТКОВ ПРИПОЛЯРНЫХ И ЗАПОЛЯРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА	82
3.1. Возрастные и широтные особенности становления вегетативных функций у подростков, проживающих на северных территориях	82
3.2. Возрастное формирование биоэлектрической активности мозга подростков северных территорий, с учётом района их проживания, вариантов вегетативного тонуса и этнической принадлежности	97
3.3. Значимость фонового тиреоидного статуса в становлении биоэлектрической активности мозга подростков-северян	119
Глава 4. РЕАКТИВНОСТЬ НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА ПРИ БИОУПРАВЛЕНИИ ПАРАМЕТРАМИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА У ПОДРОСТКОВ-СЕВЕРЯН	132
4.1. Варианты нейрофизиологических реакций при биоуправлении у подростков, в зависимости от района их проживания, исходного вегетативного тонуса, динамики альфа-активности ЭЭГ в ходе тренинга и успешности выполнения процедуры	132
4.2. Особенности изменения биоэлектрической активности мозга и вегетативных функций при выполнении курса из 10 сеансов биоуправления у подростков с различным исходным вегетативным тонусом	179
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	200
ВЫВОДЫ	216
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ	220
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	221

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АД	– артериальное давление, мм рт. ст.
АЗМ	– абсолютные значения мощностей ЭЭГ, мкВ ²
БОС	– биологическая обратная связь
ВНС	– вегетативная нервная система
ВСД	– вегетососудистая дистония
ВСР	– вариабельность сердечного ритма
ДАД	– диастолическое артериальное давление, мм рт. ст.
ЗР	– Заполярный район
ИМТ	– индекс массы тела, индекс Кетле, кг/м ²
КИГ	– кардиоинтервалограмма
НАО	– Ненецкий автономный округ
ПР	– Приполярный район
РУР	– реакция усвоения ритмов фотостимуляции
САД	– систолическое артериальное давление, мм рт. ст.
СВД	– синдром вегетативной дистонии
СКГР	– спонтанная кожно-гальваническая реакция
СПР	– стадия полового развития
T₃	– трийодтиронин (общий), нг/мл
T₄	– тироксин (общий), нг/мл
ТТГ	– тиреотропный гормон (тиреотропин), мМЕ/л
ЦНС	– центральная нервная система
ЧСС	– частота сердечных сокращений, уд / мин
ЭКГ	– электрокардиограмма
ЭЭГ	– электроэнцефалограмма
АМ_o%	– амплитуда моды, число кардиоинтервалов (в % ко всему объёму кардиоинтервалов), соответствующих значениям моды

C3, C4	– левые и правые центральные отведения ЭЭГ
F3, F4	– левые и правые лобные отведения ЭЭГ
LF%	– процент мощности колебаний длительности RR-интервалов в диапазоне низких частот (Low Frequency)
M	– средняя арифметическая величина
MxDMn	– вариационный размах значений RR в динамическом ряду
Me (25-75)	– медиана со значениями в диапазоне от 25 до 75 перцентилей
n	– число наблюдений
O1, O2	– левые и правые затылочные отведения ЭЭГ
p	– уровень значимости при проверке статистических гипотез
RR	– длительность диапазона между соседними кардиоциклами, мс
r_s	– коэффициент корреляции по Спирмену
SD	– стандартное отклонение
SI	– индекс напряжения регуляторных систем (Stress Index), усл. ед.
T3, T4	– левые и правые височные отведения ЭЭГ
TP	– общая мощность спектра ВСР (Total Power), мс ²
VLF%	– процент мощности колебаний длительности RR-интервалов в диапазоне сверхнизких частот (Very Low Frequency)

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Возможность человека приспособливаться (адаптироваться) к постоянно меняющимся условиям внешней среды является важнейшим биологическим свойством, сформировавшимся в процессе длительной эволюции [177, 209]. Рост и развитие подростка обуславливают как генетические факторы, так и климатоэкологические особенности региона проживания [223, 227]. Климатические условия Севера, в зависимости от географической широты, колеблются от крайне суровых за Полярным кругом, до относительно дискомфортных в приполярных районах [106]. В таких экстремальных условиях среды обитания наблюдается сокращение резервных возможностей организма человека [29, 34, 78, 183, 199, 216, 259], запаздывание в возрастном становлении морфофункциональных систем у подростков и формировании адекватных межсистемных взаимоотношений [74, 92, 222, 273].

Значимым природным фактором дискомфорта условий Европейского Севера России является нехватка необходимых для организма человека микроэлементов, в частности указанные территории относят к йоддефицитным биогеохимическим провинциям [87, 211]. Дефицит йода в окружающей природной среде приводит к снижению синтеза тиреоидных гормонов, а гипотиреоз в подростковом возрасте может вызывать нарушение процессов дифференцировки нейронов и миелинизации их волокон в коре головного мозга [114, 292].

Головной мозг является важным регулирующим и координирующим центром, обеспечивающим восприятие и анализ параметров внешней среды, поиск врожденных и приобретенных в процессе жизни оптимальных программ взаимодействия с окружающей средой и адаптации к ней [209, 225]. Установлены особенности организации биоэлектрической активности головного мозга у детей и подростков на различных возрастных этапах [165, 252]. Дискомфортные климатические условия окружающей среды Севера отражаются на функционировании стволовых структур головного мозга детей и подростков [197, 225, 228], а также на пространственно-временной организации

его корковой ритмики и особых корково-подкорковых взаимоотношениях [72, 90, 169, 218]. Вместе с тем, сравнительный анализ возрастных особенностей функциональной активности мозга и вегетативных функций у подростков, проживающих на разных географических широтах и в разных климатических условиях Арктической зоны России, детально в литературе не представлен.

Характер взаимодействия функциональных систем организма подростка, направленных на поддержание гомеостаза, их устойчивость в процессе адаптации организма к экстремальным условиям Севера во многом зависит и от типов вегетативной регуляции [12, 164]. Вегетативная нервная система интегрирует функции всех внутренних органов, в том числе опосредованно через модуляцию активности высших корковых центров. Одной из существенных характеристик индивидуальных особенностей человека является баланс активности симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы, в соответствии с которым группируют лиц с различными её типами, обладающими определёнными функциональными особенностями [17, 175]. Механизмы вегетативной регуляции сердечной деятельности у детей и подростков на Севере также подвержены сочетанному влиянию неблагоприятных климатических факторов, что нередко приводит к возникновению нейровегетативных расстройств (синдром вегетативной дистонии, артериальная гипертензия) [55, 160].

Одними из перспективных методов сохранения функциональных резервов регуляторных систем человека в различных дискомфортных условиях, а также немедикаментозной коррекции сосудистой дистонии являются методы биоуправления длительностью кардиоинтервалов [226, 237, 269] и интегральными параметрами сердечного ритма [37, 361, 434], при которых происходит усиление вагусных влияний на ритм сердца и снижение явлений симпатикотонии. Использование метода биоуправления интегральными параметрами variability ритма сердца в качестве когнитивного теста позволяет оценить эффективность функционирования кортико-висцеральных связей у лиц с нейровегетативными нарушениями [183, 186, 188, 403, 441].

Цель исследования: выявить особенности формирования биоэлектрической активности мозга и механизмов нейровегетативной регуляции сердечной деятельности у подростков, проживающих в климатогеографических условиях Приполярных и Заполярных территорий Европейского Севера, с учётом исходного физиологического статуса и при биоуправлении параметрами ритма сердца.

Для реализации поставленной цели решались следующие **задачи:**

1. Изучить возрастные особенности становления вегетативных функций и биоэлектрической активности головного мозга у подростков Приполярных и Заполярных территорий Европейского Севера.
2. Оценить значимость фонового тиреоидного статуса и вегетативного тонуса в становлении функциональной активности мозга подростков, проживающих на Приполярных и Заполярных северных территориях.
3. Определить варианты нейрофизиологических реакций при однократном сеансе биоуправления параметрами сердечного ритма у подростков в рамках контролируемого исследования, в зависимости от успешности выполнения процедуры и динамики альфа-активности ЭЭГ в ходе проведения тренинга.
4. Установить реактивность полиграфических показателей при однократном сеансе кардиобиоуправления у подростков-северян в зависимости от района их проживания и исходного вегетативного тонуса.
5. Выявить особенности изменения биоэлектрической активности мозга и вегетативных функций при выполнении курса из 10 сеансов биоуправления параметрами variability ритма сердца у подростков с различным исходным вегетативным тонусом.

Концепция работы: различные темпы созревания биоэлектрического паттерна мозга и механизмов нейровегетативной регуляции сердечной деятельности у подростков обусловлены неоднородностью климатогеографических условий Приполярных и Заполярных северных территорий, вариантами исходного тиреоидного профиля и вегетативного тонуса, а также определяют особенности функциональных изменений при биоуправлении параметрами ритма сердца.

Положения, выносимые на защиту:

1. Возрастные особенности становления биоэлектрической активности головного мозга, вегетативной регуляции сердечной деятельности и функционирования центральной гемодинамики у 14-17 летних подростков Приполярных (64°30' с.ш.) и Заполярных (67°40' с.ш.) территорий Европейского Севера обусловлены различными климатогеографическими условиями проживания.
2. Характеристика функциональной активности мозга подростков, проживающих на Приполярных и Заполярных территориях, зависит от исходного вегетативного тонуса, определяющего степень напряжения центральных механизмов регуляции функций организма, а также от фонового тиреоидного статуса, определяющего уровень энергетической потребности мозга.
3. Варианты нейрофизиологических и гемодинамических реакций при однократном сеансе биоуправления с целью усиления вагусных влияний на ритм сердца у подростков-северян зависят от района их проживания, исходного вегетативного тонуса, динамики альфа-активности ЭЭГ в ходе проведения тренинга и успешности выполнения процедуры.
4. Степень реактивности, характер изменений церебральной активации и гемодинамических показателей, а также стабильность эффекта от начала до завершения курса из 10 сеансов биоуправления параметрами variability ритма сердца у подростков определяется их исходным тонусом вегетативной нервной системы.

Научная новизна исследования. Впервые, на основании комплексного исследования подростков 14-17 лет, родившихся и постоянно проживающих в Приполярном и Заполярном районах Европейского Севера России, выявлена северная специфика возрастного формирования биоэлектрических процессов их головного мозга, реакций мозга на стимуляцию, особенностей становления вегетативных функций и функционального состояния щитовидной железы.

Для каждого исследуемого района определена доля лиц с различным исходным вегетативным тонусом, выявлены характерные региональные особенности показателей variability сердечного ритма и центральной гемодинамики, показаны темпы возрастного формирования электрогенеза

различных областей головного мозга, характер устойчивости ритмозадающих структур мозга к фотостимуляции. На основании клинической обработки ЭЭГ описаны варианты выявленных нарушений её структуры.

Определены особенности становления функциональной активности мозга подростков-северян в зависимости от содержания в сыворотке крови гормонов тиреоидного звена регуляции (тиреотропин, тироксин, трийодтиронин) и от исходного типа вегетативной нервной системы.

Впервые сформулированы предпосылки для усовершенствования контроля качества сеансов биологической обратной связи параметрами variability сердечного ритма по неуправляемым полиграфическим показателям (ЭЭГ, кожно-гальванической реакции, артериальному давлению) и на основании этих данных получены новые сведения о нейрофизиологических механизмах реализации эффектов биоуправления.

Установлено, что достижение успеха при проведении сеансов биологической обратной связи по параметрам variability сердечного ритма формируется различными вариантами изменений количественного и спектрального паттерна основного ритма биоэлектрической активности мозга подростка, которые обусловлены как индивидуальным выбором когнитивной стратегии, так и исходным вегетативным тонусом. Выявлены характерные регионально-широтные отличия изучаемых полиграфических показателей в динамике БОС-тренинга у подростков, а также различия в силе и топической локализации ЭЭГ ответов у лиц с различной успешностью выполнения процедуры биоуправления и у лиц из группы контроля.

Показано, что курс из 10 сеансов адаптивного биоуправления у подростков с преобладанием симпатических влияний на активность сердечной деятельности приводит к стабилизации артериального давления и в большинстве случаев способствует оптимизации функциональной активности мозга и повышению устойчивости подкорковых структур регуляции.

Научно-практическая значимость исследования. Полученные результаты позволяют расширить представления об особенностях процессов возрастного развития мозга и становления вегетативных функций у подростков, проживающих

в различных климатогеографических условиях Севера. Данные о сроках возрастного формирования амплитудно-частотных параметров, структуры взаимодействия компонентов ЭЭГ свидетельствуют о гетерохронности (неравномерности) “созревания” мозговых структур у подростков из Приполярного и Заполярного районов. На основе оценки межсистемных взаимодействий (нейровегетативной и эндокринной регуляции) у подростков из этих северных регионов показаны различия в степени влияния исходного вегетативного тонуса и тиреоидного профиля на становление биоэлектрической активности мозга, что позволяет понять механизмы формирования адаптации к более суровым природно-климатическим условиям Севера. Результаты работы могут являться теоретической основой при разработке региональных возрастных физиологических нормативов для подростков Европейского Севера.

Основные результаты работы могут быть использованы в качестве методических рекомендаций для специалистов медико-биологического профиля по разработке широко применяемых в настоящее время индивидуальных программ коррекции нейровегетативных расстройств на основе биоуправления параметрами ритма сердца с учётом исходной церебральной активности по данным ЭЭГ.

Материалы диссертации использованы в работе по совершенствованию диагностики и профилактики сердечно-сосудистой и неврологической патологии у детей и подростков в Архангельской областной детской клинической больнице имени П.Г. Выжлецова (акт внедрения от 22.09.2015), внедрены в лечебную деятельность для коррекции функциональных расстройств при артериальной гипертензии в медицинской компании “Биокор” (от 03.09.2015). Теоретические сведения диссертации использованы при подготовке учебно-методических разработок для студентов ВУЗов, а также для курсов лекций и практических занятий на кафедре экологической физиологии и биохимии Северного (Арктического) федерального университета (от 07.09.2015) и в Архангельском педагогическом колледже (от 24.09.2015).

Диссертационное исследование выполнено в соответствии с комплексными планами НИР Института физиологии природных адаптаций УрО РАН (№№ 0120.1.256462 и 0120.0.951604) и при финансовой поддержке грантов РФФИ № 08-04-09210 (2008); Фонда содействия отечественной науке (2008-2009); Президиума УрО РАН № 12-У-4-1019 (2012-2014) и Президиума РАН “Фундаментальные науки – медицине” № 12-П-4-1038 (2012-2014).

Легитимность исследования подтверждена решением Учёного совета ИФПА УрО РАН (протокол № 7 от 18.12.2009).

Апробация работы. Основные положения диссертации доложены и обсуждены на научных семинарах ФГБУН Института физиологии природных адаптаций УрО РАН (Архангельск, 2007-2015); на заседании проблемной комиссии Северного государственного медицинского университета по физиологии и восстановительной медицине (Архангельск, 2015); на заседаниях Архангельского отделения Физиологического общества им. И.П. Павлова (2007-2014) и более 40 научных конференциях: Международной конференции “Погода и биосистемы” (Санкт-Петербург, 2006); Международных совещаниях по эволюционной физиологии (Санкт-Петербург, 2006, 2011); Съездах Физиологического общества им. И.П. Павлова (Москва, 2007; Калуга, 2010); Научно-практических конференциях НИИ медицинских проблем Севера СО РАМН “Вопросы сохранения и развития здоровья населения Севера и Сибири” (Красноярск, 2007, 2010); Всероссийских конференциях с международным участием “Медико-физиологические проблемы экологии человека”. (Ульяновск, 2007, 2012); Всероссийских научно-практических конференциях “Фундаментальные аспекты компенсаторно-приспособительных процессов” (Новосибирск, 2007, 2009, 2011, 2013); Сибирских физиологических съездах (Барнаул, 2008; Красноярск, 2012); Съездах физиологов СНГ (Кишинёв, Молдова, 2008; Ялта, Украина, 2011; Сочи, 2014); Всероссийской научно-практической конференции “Физиология адаптации” (Волгоград, 2008); Международных конференциях “Новые информационные технологии в медицине, биологии, фармакологии и экологии” (Ялта, Украина, 2008, 2009);

Всероссийских симпозиумах “Вариабельность сердечного ритма: Теоретические аспекты и практическое применение” (Ижевск, 2008, 2011); Международных междисциплинарных конгрессах “Нейронаука для медицины и психологии” (Судак, Украина, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013; Россия, 2014, 2015); Международной научно-практической конференции “Циркумпольная медицина: влияние факторов окружающей среды на формирование здоровья человека” (Архангельск, 2011); Международной научной конференции “Психофизиологические и висцеральные функции в норме и патологии” (Киев, Украина, 2012); Международной конференции “Информационные технологии в неврологии” (Киев, Украина, 2013); Всероссийской научно-практической конференции “Нейрофизиологические исследования в клинике” (Москва, 2013); Всероссийской научно-практической конференции “Порядок и стандарты оказания помощи детям с эндокринной патологией” (Архангельск, 2013); Международной конференции “Резервные возможности адаптации и компенсаторные реакции у людей, работающих в условиях Арктики” (Архангельск, 2014); Всероссийской научной конференции “Фундаментальные проблемы нейронаук” (Москва, 2014); Международной конференции “Клиническая нейрофизиология и нейрореабилитация” (Санкт-Петербург, 2015); Всемирных Форумах FENS по нейронаукам (Барселона, Испания, 2012; Милан, Италия, 2014); Европейском конгрессе ассоциации эпидемиологов EuroEpi (Копенгаген, Дания, 2013); Всемирном конгрессе эпидемиологов (Анкоридж, Аляска, США, 2014) и др.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности:

03.03.01 “Физиология” по областям исследований:

- п. 3 – исследование закономерностей функционирования основных систем организма (нервной, иммунной, сенсорной, двигательной, крови, кровообращения, лимфообращения, дыхания, выделения, пищеварения, размножения, внутренней секреции и др.);
- п. 8 – изучение физиологических механизмов адаптации человека к различным географическим, экологическим, трудовым и социальным условиям.

Личный вклад автора составляет не менее 95 % и заключается в сборе и первичной обработке материалов исследования, создании электронных баз данных, выполнении статистического анализа и изложении в диссертации его результатов, а также в написании обзора литературы, обсуждении результатов, выводов и разработке практических рекомендаций.

Публикации. По материалам исследования опубликовано 58 научных работ, в том числе 28 статей в отечественных и зарубежных журналах, рекомендованных в действующем перечне ВАК РФ, 5 статей в иных рецензируемых журналах, главы в 3 коллективных монографиях, 2 патента на изобретение.

Структура и объём диссертации. Диссертация изложена на 270 страницах машинописного текста и состоит из введения, обзора литературы, описания материалов и методов исследования, результатов собственных исследований и их обсуждения, заключения, выводов и практических рекомендаций. Работа иллюстрирована 10 таблицами и 30 рисунками. Библиографический указатель литературы включает 450 источников, в том числе 277 отечественных и 173 зарубежных.

Глава 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Особенности нейрофизиологического статуса в подростковом периоде

Возрастные аспекты морфофункционального развития мозга и их отражение в его биоэлектрической активности. В процессе онтогенеза человека все системы и органы претерпевают ряд преобразований, заключающихся в росте, дифференцировке и интеграции частей развивающегося организма. Мозг, являясь важным регулятором всех жизненных функций, также развивается, обеспечивая адекватное приспособление человека к окружающей среде [209].

Становление нервной деятельности в пренатальном и постнатальном онтогенезе проявляется в развитии и усложнении рефлекторных реакций [444], в гетерохронном созревании функциональных систем [10, 209]. В основе этих процессов лежит прогрессирующее морфологическое созревание клеточных элементов и структур спинного и головного мозга: уменьшение плотности клеток в мозговых структурах, увеличение внутрицентральных связей, расширение контактов афферентных волокон с мотонейронами и промежуточными нейронами, повышение количества синапсов на телах и отростках нейронов, развитие внутрицентральных и межцентральных взаимоотношений, усовершенствование цитоархитектоники корковых полей, миелинизация проводящих путей. Вследствие этого происходит повышение скорости проведения возбуждения в рефлекторных дугах, усложнение координационных механизмов спинного и головного мозга [цит. по 209, 430].

Электроэнцефалограмма (ЭЭГ) является важнейшим объективным показателем работы мозга [38]. Биоэлектрическая активность отражает функциональную активность и сложное взаимодействие различных структур мозга и таким образом зависит от степени организации мозговых систем [104]. Ещё Павлов И. П. [178] подчёркивал модулирующее влияние подкорковых центров на кору головного мозга. Орбели Л. А. [177] развил представления об

адаптационно-трофическом действии высших вегетативных центров промежуточного мозга на функциональное состояние коры. По данным Ливанова М. Н. [152] существует две системы, регулирующие корковую активность: ретикулосептальная, действующая диффузно, и мамиллоталамическая, оказывающая пространственно избирательное действие. Вместе с тем убедительные данные о значении таламических структур в генезе основного ритма ЭЭГ [333, 386] не исключают роли нервных элементов коры больших полушарий в генерации биоэлектрической активности мозга. Уолтер Г. [250] высказал гипотетическую точку зрения о наличии двух процессов, принимающих участие в генерации альфа-ритма – корково-подкорковым и корково-корковым [цит. по 209].

Структурно-функциональные изменения мозга являются основой перестроек биоэлектрической активности в процессе онтогенеза. В работах многих авторов показана высокая прогностическая ценность ЭЭГ-методов для определения симптомов функциональной незрелости мозга [155, 209, 252, 268].

Вопросы изучения биоэлектрической активности мозга у детей и подростков занимают значительный объём исследований по электроэнцефалографии – свыше 20 % [252], особенности биоэлектрической активности мозга у детей изучены в деталях. Благодаря этим исследованиям Шеповальников А. Н. с соавт. [268] выделяют признаки, характеризующие “уровень зрелости” биоэлектрической активности головного мозга у бодрствующих детей: 1) особенности частотно-амплитудного спектра ЭЭГ; 2) наличие устойчивой ритмической активности; 3) средняя частота доминирующих волн; 4) топические особенности ЭЭГ по областям мозга; 5) особенности генерализованной и локальной вызванной активности мозга; 6) особенности пространственно-временной организации биопотенциалов мозга. Эти признаки, по мнению авторов, необходимо рассматривать комплексно [цит. по 209].

В процессе развития ребёнка происходит постоянное, вплоть до 18 лет, усложнение миелоархитектоники коры. Так, уровень корреляции между

потенциалами корковых клеток определяется развитием межнейронных связей в коре. Система вертикальных и горизонтальных связей коры к моменту рождения выражена относительно слабо. В первые годы постнатального онтогенеза человека наиболее интенсивно развивается система вертикальных связей. К 5-6 годам усложняется система связей по горизонтали за счёт роста в длину и разветвления базальных дендритов и развития боковых терминалей апикальных дендритов [209]. “Гармония взаимоотношений” между структурно-функциональным развитием мозга и динамикой фоновой электрической активности нарушается в подростковом возрасте (у девочек 12-14 лет, у мальчиков 13-15 лет) [165]. Согласно морфологическим данным, прогрессивные изменения нейронного аппарата коры, главным образом лобных отделов, продолжаются в подростковый период. К 12-14 годам в ансамблях чётко выражены разнообразные специализированные формы пирамидных нейронов, высокого уровня дифференцировки достигают все типы интернейронов, удельный вес волокон значительно выше удельного веса клеточных элементов [208, 209]. Исследования методами функциональной морфологии (MRI) также свидетельствуют о том, что в подростковом возрасте продолжают прогрессивные структурные изменения головного мозга, в частности, увеличивается относительный объём волокнистых структур [313]. Напротив, в структуре ЭЭГ прогресс не отмечается, а во многих случаях выявляются изменения, свойственные более младшему возрасту в виде снижения частоты альфа-ритма и нового всплеска медленноволновой генерализованной активности, часто приобретающей форму разрядов [165]. В подростковом возрасте изменения ЭЭГ связаны с разрушением уже сложившегося баланса корково-подкоркового взаимодействия вследствие повышения активности гипоталамо-гипофизарного комплекса и лимбических структур. “Возвращение” ЭЭГ затылочных областей к уровню, достигнутому в 11 лет, наблюдается лишь к 14-15 годам [252]. В центральных и лобных отделах окончательное формирование альфа-активности достигается только к 22-25 годам [372]. Созревание коры больших полушарий, функциональная

организация её нервных центров, уменьшение роли неспецифических подкорковых структур в генезе биоэлектрической активности мозга проявляется в снижении с возрастом представленности тета-ритма и усилении выраженности альфа-ритма, формировании его пространственной организации [цит. по 209, 252].

Таким образом, в постнатальном онтогенезе ребёнка с одной стороны создаются условия для вовлечения всё большего количества нейронов коры в синхронную активность, а с другой стороны, за счёт дифференцировки различных интернейронов, формируются предпосылки для ограничения процессов возбуждения и формирования функциональных объединений меньшего размера. Эти факторы приводят к уменьшению локальной синхронизации и, следовательно, к снижению с возрастом амплитуды волн ЭЭГ и увеличению частоты доминирующей активности [209, 252].

Жадин М. Н. [98] считает, что амплитуда ЭЭГ в основном определяется взаимосвязями между клетками коры. На величину регистрируемой амплитуды влияет также и толщина покровов мозга, а частота ритмов ЭЭГ находится в тесной положительной корреляционной связи с массой мозга, причём эта связь касается как возрастных различий массы мозга, так и различий, обусловленных нарушениями в развитии [209, 393].

Необходимо отметить, что онтогенетическая динамика параметров ЭЭГ, отражающая возрастные преобразования структурно-функциональной организации мозга, носит нелинейный характер. В работе Hudspeth W. G [348] приведён анализ возрастных изменений абсолютной мощности ЭЭГ в четырёх различных областях коры большого мозга человека в период от 1 до 21 года. На фоне общего уменьшения абсолютной мощности ЭЭГ в этом временном отрезке наблюдается волнообразная динамика этого показателя. Авторами обнаружено 5 стадий периодического увеличения и уменьшения абсолютной мощности ЭЭГ. Эти стадии синхронны в различных областях коры в течение первых 10,5 лет жизни, после чего они протекают относительно независимо в разных областях. Основные изменения в психофизиологическом развитии

человека, по мнению авторов, на основании этих стадий, должны ожидаться в 2,5; 7,5; 12; 15 и 18,5 лет [209].

Фарбер Д. А. с соавт. [252] в процессе формирования ЭЭГ выделяют следующие качественно переломные периоды. Возраст 6 лет характеризуется значительным увеличением мощности основного ритма покоя в диапазоне альфа-1. К 9-10 годам ведущим становится поддиапазон альфа-2, который начинает играть основную роль в пространственной организации биоэлектрической активности мозга. В это же время существенно возрастает мощность субдиапазона альфа-3. С 12-14 лет (половое созревание) наблюдается некоторый регресс в ЭЭГ, что проявляется в небольшом усилении мощности медленноволновой тета-активности и уменьшении скорости нарастания мощности поддиапазона альфа-2, а в височных областях и в его снижении. Эти изменения в пубертатный период больше выражены у девочек. На данном этапе онтогенеза отмечается снижение функции когерентности во всём диапазоне альфа-частот. С завершением периода полового созревания значительно увеличивается мощность средне- и высокочастотных составляющих альфа-диапазона. Формируется свойственная взрослым пространственная синхронизация ритмов ЭЭГ покоя, что отражает становление зрелого типа структурно-функциональной организации мозга, характерной для состояния спокойного бодрствования.

По мере созревания мозга происходят поэтапные изменения ЭЭГ, прежде всего направленные на изменения частоты, которая имеет тенденцию к увеличению, а также топографии выявления волн. На основании этих характеристик ЭЭГ создан ряд схем, образующих динамику развития ЭЭГ [цит. по 209, 222].

Исторически существовало две точки зрения, описывающие возрастную динамику ЭЭГ. Согласно одной из них, развитие ЭЭГ представляет собой прогрессивное ускорение медленных ритмических колебаний. Представители этого направления считают, что альфа-ритм возникает между 3 и 6 месяцами и составляет 3-4 Гц, к 4 годам его частота увеличивается до 8 Гц, к 12 годам

соответствует частоте, присущей взрослому человеку. Согласно второй позиции – на ЭЭГ детей всех возрастов имеются различной частоты волновые процессы, однако степень их выраженности у детей различного возраста и разных областей мозга изменяется в соответствии с морфофизиологическими особенностями деятельности той или иной структуры мозга ребёнка в зависимости от степени её зрелости. Поэтому не существует перехода одних частот в другие, но в процессе созревания мозга наблюдается постепенный сдвиг частотного спектра вправо, в сторону быстрых ритмов. Отмечается, что “нормальные” ритмы взрослых регистрируются в затылочных долях даже у младенцев, но они маскируются распространяющимися медленными ритмами [60, 95].

Представители второй точки зрения считают, что к 4-7 годам затухают медленные ритмы и преобладающей становится частота 4-7 Гц. Затем, к 10-12 годам, ритм 4-7 Гц также затухает, и на ЭЭГ начинает доминировать альфа-ритм. Но и в этом возрасте на ЭЭГ детей имеется довольно много дельта- и тета-волн, накладывающихся в задних и центральных областях головного мозга на альфа-, а в передних на бета-ритмы. Реакция десинхронизации альфа-ритма в ответ на световое раздражение чётко проявляется только к 8 годам, а в 12-17 лет не отличается от реакции взрослых. К этому времени появляется усвоение относительно высокой частоты световых мельканий (14-24 Гц), у младших детей усваиваются более медленные ритмы, что свидетельствует о постепенном повышении функциональной подвижности корковых нейронов в процессе созревания коры [61, 95]. Считается, что зрелый тип ЭЭГ, характерный для взрослых устанавливается к 15-16 годам [30].

Появление альфа-ритма и его преобразования связывают, в частности, с процессами созревания нейронного аппарата коры больших полушарий. С помощью компьютерной морфометрии установлено, что наиболее продолжительно в процессе онтогенеза развиваются ассоциативные поля “44”, “45”, “10” латеральной префронтальной зоны: особенно важные структурные преобразования в них носят этапный характер и отмечаются на первом году

жизни, а также к 3, 6-7, 10 и 13-14 годам. При этом полного объема, характерного для взрослых людей, головной мозг лиц женского пола достигает на 1-2 года раньше, чем головной мозг лиц мужского пола [60, 61, 260, 365].

Согласно данным Владимировой Г. А. [52], ЭЭГ детей школьного возраста отличается альфа-ритмом частотой 8-10 Гц с амплитудой до 120 мкВ, который преобладает в теменно-затылочных областях. На фоне альфа-ритма выявляются и отдельные группы медленных волн, но амплитуда их снижается. В 8-9-летнем возрасте количество дельта-волн продолжает уменьшаться. К 10-11 годам альфа-ритм полностью доминирует в теменно-затылочных зонах. В возрасте 12-14 лет доминирует альфа-ритм с частотой 10 Гц и амплитудой 90 мкВ. Стабилизация ритмов наступает в возрасте 18-20 лет [цит. по 209].

Таким образом, в процессе формирования корковой ритмики происходит постепенное изменение частотного спектра колебаний ЭЭГ, снижается количество медленных волн дельта- и тета- типа, стабилизируется альфа-ритм, происходит зональное распределение ритмики, т.е., в затылочных областях отмечается альфа-активность, в лобных областях преобладает бета-активность, тогда как в височных отделах регистрируются альфа- и бета-волны, смешанные с эпизодическими субтета волнами [12, 100, 352]. Из этих схем, дополненных сведениями о топических особенностях ЭЭГ детей, видна одна из основных особенностей развития биоэлектрической активности мозга в онтогенезе – смена доминирующих ритмов ЭЭГ с возрастом. В некоторой степени изменения частот основного ритма отражают морфофункциональное созревание мозга, но не говорят о становлении системы межцентральных связей [209, 268].

У подростков отмечается значительная вариабельность ЭЭГ-характеристик. При этом наличие в их ЭЭГ патологических признаков не всегда свидетельствует о каком-либо отклонении в развитии и может нивелироваться, т.к. с возрастом совершенствуются механизмы системной организации внутри- и межполушарных взаимодействий [209, 252, 423]. Например, при изучении мозгового обеспечения стереогностической

деятельности у взрослых и детей 5-10 лет выявлено, что для взрослых был характерен сочетанный паттерн межкортикальных взаимодействий, выразившийся в значительном усилении межполушарных взаимосвязей биопотенциалов коры одновременно с существенным повышением уровня системного взаимодействия передних отделов коры с задними. У детей усиление межполушарных связей ЭЭГ при выполнении стереогностического теста отмечается уже в возрасте 5-6 лет, достигая максимальной выраженности в 7-8 лет. Увеличение взаимокорреляции биопотенциалов коры во фронтально-окципитальном направлении развивается постепенно с возрастом, и в 9-10 лет приближается к дефинитивному уровню, типичному для взрослых людей [58].

Показано, что с возрастом прогрессивно увеличивается активация в типичных для конкретной деятельности областях мозга и повышается количество и теснота характерных внутри- и межполушарных взаимосвязей. При этом характер активации различается у лиц мужского и женского пола. Характерный рисунок взаимосвязи различных мозговых структур может искажаться, если происходит какое-либо нарушение развития, например речевого аппарата [58, 209, 410, 411].

В детском возрасте морфофункциональное созревание лобных областей и их нисходящих связей с другими структурами мозга обеспечивает повышение эффективности произвольного избирательного внимания, усвоение программы деятельности, торможение непосредственных реакций, регуляцию и организацию деятельности – функции, необходимые ребёнку для успешной учебной деятельности [25, 60].

Многие исследователи выявляют отличия в ЭЭГ мальчиков и девочек, поскольку известно, что общее физиологическое созревание отличается у тех и других по срокам [14]. Показаны некоторые особенности ЭЭГ детей разного пола при исследованиях спектральной мощности [339], ЭЭГ-картировании [67], организации когерентности [371]. Наиболее существенные отличия проявляются в пубертатный период, что может быть связано, по мнению авторов, с перестройками гормональной активности в этом возрасте [67]. В то

же время другие авторы [325] в своих исследованиях ЭЭГ детей школьного возраста половых различий не обнаружили [цит. по 209].

Большинство авторов считает, что рисунок ЭЭГ в большей или меньшей мере генетически детерминирован [227, 252, 268, 436]. Многие исследователи считают, что у родственников сходным оказывается спектральный состав по большинству ритмов [320]. Наиболее признанной считается точка зрения о наибольшей генетической обусловленности альфа-ритма [18, 152, 423]. Есть данные, что даже тип изменений связанных с созреванием ЭЭГ зависит от наследственных факторов [436]. По мнению авторов, устойчивость ЭЭГ-характеристик под влиянием условий жизни связана с ролью генетических факторов [209, 219].

Показано, что на формирование ЭЭГ оказывают влияние и социальные условия жизни, а именно, экономические и санитарные, при их низком уровне замедляется созревание мозга, сопровождающееся становлением характеристик ЭЭГ [338, 339, 395]. В то же время, социокультурные особенности района проживания напрямую не оказывают существенного влияния на формирование биоэлектрической активности мозга детей [338]. Однако при интерпретации этих данных необходимо учитывать существенные социально-экономические различия в зарубежных европейских странах и в северных районах России [цит. по 209].

Находит свои проявления на ЭЭГ и уровень интеллектуальных возможностей. Несколько отличными от общепринятых являются данные Кироя В. Н. [117], который обнаружил, что у подростков с низким уровнем интеллектуального развития более выражены альфа-частоты, а уровень когерентности альфа-ритма более высокий по сравнению с контрольной группой с высокими интеллектуальными возможностями. Правда, частота альфа-ритма при этом была низкой (8-9 Гц), а авторы ничего не говорят о реактивности и устойчивости низкочастотного альфа-ритма, что имеет важное функциональное значение. Так, в работе Фарбер Д. А. [251] было показано, что ЭЭГ подростков с низкой умственной работоспособностью характеризуется

гиперсинхронностью, моночастотностью, низкой реактивностью альфа-ритма и высоким уровнем генерализованной пространственной синхронизации. Для подростков с высокой работоспособностью характерны регионарная специфичность основного ритма ЭЭГ и наличие локальных динамических фокусов взаимосвязанной активности [209].

Несмотря на особенности подросткового кризиса, представленные сведения дают основание для использования ЭЭГ в целях изучения морфофункционального созревания мозга и его отдельных систем. Вместе с тем, применение электроэнцефалографических методов в медицинской и исследовательской практике для индивидуальной диагностики уровня зрелости мозга сопряжено с необходимостью разработки унифицированных нормативных ЭЭГ критериев, приуроченных как к определённым возрастным периодам, так и к климатоэкологическим и социально-экономическим условиям проживания подростков.

Особенности функционирования вегетативной нервной системы в подростковом периоде. Характер взаимодействия функциональных систем организма, направленных на поддержание гомеостаза, их устойчивость в процессе адаптации организма ребёнка к постоянно меняющейся внешней и внутренней среде во многом зависит от типов вегетативной регуляции [145].

Вегетативной нервной системе (ВНС) принадлежит важнейшая, во многом решающая, роль в жизнедеятельности организма [12, 174]. Одной из важнейших интегральных характеристик индивидуальных особенностей является баланс активности симпатического и парасимпатического отделов ВНС [175], в соответствии с которым группируют лиц с разным типом ВНС, обладающих определёнными функциональными особенностями – с преобладанием симпатических влияний (симпатотоников), с преобладанием вагусных влияний (ваготоников) и со сбалансированным вегетативным тонусом (нормотоников) [17, 174].

В современной биологии и медицине назначение ВНС рассматривается в двух аспектах [49]. Согласно первому, функции ВНС сводятся к поддержанию

гомеостаза. Это осуществляется надёжными механизмами, выработанными в ходе филогенеза, которые позволяют организму успешно адаптироваться к меняющимся факторам внешней и внутренней среды. Примечательно, что нарушение гомеостаза не только проявляется множеством разнообразных вегетативных расстройств, но и существенно меняет поведение человека [191].

Вторым аспектом функционирования ВНС является обеспечение различных форм психической и физической деятельности. В период напряжённой деятельности происходит значительная мобилизация энергетических ресурсов, кардиоваскулярной, респираторной и других систем на фоне резкого усиления катаболических процессов. Осуществляются процессы, как бы противоположные удержанию гомеостатического равновесия, но необходимые для осуществления конкретных форм поведения, в том числе и в экстремальных условиях. Расстройство вегетативного обеспечения той или иной функции нарушает поведение человека и обуславливает его дезадаптацию к изменившимся условиям [253]. Оба этих аспекта функционирования ВНС на первый взгляд противоположны, но в этой кажущейся противоположности заключается диалектическое единство, сущностью которого является обеспечение адекватного, целостного поведения [цит. по 12].

Ранее было показано, что напряжённость взаимодействия функциональных систем минимальна у нормотонического и максимальна у симпатикотонического типа, соответственно, наименее устойчив к различного рода воздействиям симпатикотонический тип регуляции [2, 99].

Надсегментарные вегетативные аппараты соединены с мозговыми механизмами поведения лимбико-ретикулярным комплексом, который в тесном взаимодействии с новой корой осуществляет формирование потребностей, конкретных мотивационных целей поведения, осуществляет реализацию поведенческих актов [12, 108, 127].

Высшим звеном вегетативной и эндокринной регуляции является гипоталамус. Это важнейший интегративный орган поддержания гомеостаза, верховный регулятор вегетативных функций организма. Гипоталамус

выступает в роли центрального звена гипоталамо-лимбико-ретикулярного комплекса, называемого “эмоциональным мозгом” организма [12, 49, 150].

В настоящее время для оценки типа ВНС широко используются параметры variability сердечного ритма (VCP) [17, 175]. Тип вегетативной нервной системы также оценивают по мощности дыхательных волн кардиоритма [280, 399], либо по балансу медленных и дыхательных волн [382].

С точки зрения поливагусной теории Porges S. [400], симпато-, нормо- и ваготоники представляют собой 3 группы обследуемых с различной степенью активации ядер блуждающего нерва. Ваготоники с низкой активацией центрального контура регуляции (низкая мощность альфа-ритма ЭЭГ в затылочных отведениях), низкой лабильностью центральной нервной системы, обладают большим тонусом обоюдного и дорсального моторного ядер вагуса, по сравнению с симпатотониками, у которых на фоне высокой активации корковых структур происходит подавление активности стволовых и, в частности, эфферентных ядер вагуса, вследствие чего резко снижается VCP.

Разная степень активации обоюдного ядра вагуса, которая согласно Cheng Z. [307], вызывает отрицательные хроно-, ино-, дромо- и батмотропные эффекты вагуса, обуславливает выраженные изменения показателей электрокардиограммы, отражающих биоэлектрические процессы в желудочках сердца, но не в предсердиях.

Предполагается [175], что группы с разным типом ВНС обладают и разными типами вегетативного обеспечения организма: ваготоники (по сравнению с симпатотониками) характеризуется более низким уровнем напряжения организма (более низкая частота сердечных сокращений – ЧСС, высокий уровень альфа-ритма), проявляющимся в более низком уровне произвольного внимания (более длительное время реакции на зрительный стимул), низкой моторной лабильности (низкая частота теппинга) и устойчивости на двух ногах (дисперсия стабиллограммы). Данный стиль вегетативного обеспечения организма предусматривает резкую активацию симпатических механизмов лишь на короткое время, а затем система

возвращается в состояние, связанное с преобладанием вагусных влияний. Это предположение подтверждается существенной выраженностью мощности волн очень низкочастотного VLF-диапазона (Very Low Frequency) ВСР у ваготоников, которые могут возникать только при резких “скачках” ЧСС [141].

У симпатотоников напротив, преобладают активационные (по сравнению с ваготониками) процессы, что характеризуется противоположными достоверными изменениями показателей состояния организма, а также психической и поведенческой активности [175]. ЧСС в данной группе высокая и отличается большей стабильностью, по сравнению с ваго- и нормотониками, что автор связывает с более низким спектром мощности волн VLF-диапазона. При осуществлении повседневной деятельности у симпатотоников не происходит значимого увеличения симпатического тонуса при дополнительной нагрузке, так как организм уже находится в состоянии высокой “активации”. Эти результаты совпадают с мнением Porges S. [399], согласно которым уровень тонуса блуждающего нерва и его реактивность могут служить индексом поведенческой регуляции индивида.

Авторами показано, что у детей при переходе из одной возрастной группы в другую внутри спектров кардиоритма, ритмов дыхания и артериального давления происходят сложные структурные перестройки, даже в том случае, когда общая мощность спектра ВСР остаётся неизменной [142, 183]. В подростковый период (11-16 лет) происходит закономерное изменение общей выраженности вегетативных регуляторных влияний на сердечную деятельность. Общая мощность спектра у мальчиков снижается от 11 к 15 годам, а у девочек от 11 к 14 годам. Наблюдаемая гетерохрония может быть связана с различными темпами полового созревания у мальчиков и девочек. Выраженность гуморально-метаболических влияний (VLF) увеличивается у мальчиков и девочек от 11 к 16 годам. Если в 10 лет на возбудимость миокарда у мальчиков влияет в основном сегментарный уровень вегетативной регуляции, то в период активного полового созревания функция возбудимости у них регулируется надсегментарным уровнем. Соотношение активности

симпатического и парасимпатического звеньев на изученном отрезке онтогенеза у мальчиков увеличивается от 11 до 14 лет и в дальнейшем снижается, что указывает на максимальную симпатическую активность в 14 лет. После завершения периода полового созревания регуляция возбудимости миокарда становится более сложной и характеризуется сочетанными влияниями сегментарного и надсегментарного уровней ВНС [247]. У девочек изменения в возрастном аспекте происходят по-другому. В начале и в период активного полового созревания выражены регуляторные влияния сегментарного и гуморально-метаболического уровней. Полученные данные позволяют утверждать, что с возрастом у мальчиков и девочек усиливается степень активации высших вегетативных центров и систем, ответственных за адаптацию. По завершению полового созревания не выявлено однозначного ведущего механизма регуляторных влияний на ритм сердца. В 16-17 лет повышается общая мощность спектра ВСР как у мальчиков, так и у девочек [цит. по 183, 247].

В работах по изучению вегетативной реактивности у подростков на Европейском Севере [183] выявлено, что у девушек в сравнении с юношами более выражены симпатические влияния на ритм сердца в покое за счёт активизации подкорковых механизмов регуляции, а при ортостазе за счёт барорефлекторных механизмов, особенно на завершающих этапах полового созревания. При нарастании уровня дискомфорта природно-климатических условий Севера происходит усиление симпатической реактивности на ортостаз за счёт подкорковых механизмов вегетативной регуляции и барорефлекторных механизмов на фоне повышения активности тиреоидной системы.

Показано [16], что у детей, часто болеющих респираторными заболеваниями, в вегетативной регуляции доминируют дисрегуляторные типы с преобладающими вагусными влияниями. В исследованиях Минина В. В. [12, 168] выявлено, что в период полового созревания у школьников, живущих в крупных промышленных городах, в целом преобладает парасимпатический

отдел ВНС, а у сельских школьников в тот же период онтогенеза отмечается преобладание симпатического отдела ВНС.

Весьма актуальными и в настоящее время остаются исследования [11], которыми было установлено, что при умственном утомлении у школьников происходит значительное изменение биопотенциалов головного мозга, весьма сходное с таковым при блокаде ретикулярной формации мозга, а так же существенно изменяется кровоснабжение мозга с явлениями спазма его сосудов. По мнению ряда авторов [125, 328], такое влияние связано с повышением удельного веса симпатической регуляции функций организма. Кроме того, давно известно, что тормозные процессы в коре сопровождаются усилением симпатических воздействий на кардиоваскулярную систему [12, 99].

Одними из наиболее распространённых форм психосоматической патологии являются вегетососудистые дистонии (ВСД) [50, 148], которые на современном этапе входят в синдром вегетативной дистонии (СВД) [3, 102]. Эти синдромы возникают вторично при целом ряде состояний, приводящих к нейрорегуляторным расстройствам и вегетативным дисфункциям. Необходимо отметить, что для детей и подростков характерны, прежде всего, нарушения вегетативных функций и тесно связанные с ними расстройства сосудистого тонуса и регуляции кровообращения [3, 73]. Рядом исследований было показано, что возникновению гипертонии у детей и подростков предшествует длительный период СВД по гипертоническому типу [12, 26, 71, 328].

Вегетативная дистония с артериальной гипертензией является формой вегетососудистой дисрегуляции, чаще она встречается у школьников среднего и старшего возраста. Повышенные цифры артериального давления (АД) выявляются у 5-15 % детей, а в школьном возрасте – у 7 % [148]. У городских школьников повышение АД встречается в 2 раза чаще, чем у сельских. С возрастом юноши по частоте этой формы ВСД обгоняют девушек (14 % и 10 % соответственно), хотя в младших группах доминируют девушки [105]. При ВСД с артериальной гипертензией имеются жалобы на головные боли, кардиалгии, раздражительность, утомляемость, снижение памяти. При этом, на

ЭЭГ, как правило, не выявляется грубых нарушений, а отмечающиеся изменения носят неспецифический характер. Наиболее важной чертой биоэлектрической активности головного мозга у детей со склонностью к повышению АД является наличие признаков повышенной активности мезэнцефалической ретикулярной формации, проявляющейся повышенной частотой “уплощённых” ЭЭГ и снижением альфа-индекса на функциональные нагрузки [цит. по 12, 125].

Особый интерес вызывают ВСД конституционного характера, обычно проявляющиеся в раннем детском возрасте и характеризующиеся нестойкостью вегетативных параметров: потливостью, колебаниями ЧСС и АД, склонностью к субфебрилитету, плохой переносимостью физического и умственного напряжения, метеотропностью [12]. Конституциональные заболевания могут проявиться психовегетативными расстройствами и синдромом прогрессирующей вегетативной недостаточности, а также вегетососудистотрофическим синдромом [267, 428].

ВСД психофизиологической природы (соматоформные дисфункции) возникают у здоровых людей на фоне острого или хронического стресса. Эмоционально-вегетативно-эндокринные реакции на острый стресс являются нормальным физиологическим ответом организма и не могут считаться патологическими. Однако избыточная неадекватная выраженность реакции, длительность и частота их на фоне хронического стресса, нарушение адаптационных возможностей человека являются уже патологическими, основу клинических проявлений которых составляет психовегетативный синдром [12, 102, 253, 299].

К ВСД при гормональных перестройках относят изменения в период пубертата. В пубертатном возрасте имеются две предпосылки к появлению вегетативных синдромов, а именно: возникновение новых вегетативно-эндокринных взаимоотношений и быстрая прибавка роста, при которой создаётся разрыв между новыми физическими параметрами и возможностями сосудистого обеспечения. Проявлениями этого являются вегетативные

нарушения на фоне мягких или выраженных эндокринных расстройств, колебания АД, эмоциональная неустойчивость, нарушение терморегуляции, предобморочные и обморочные состояния [цит. по 12, 26, 183].

Другим часто встречающимся процессом является ВСД при органических заболеваниях головного мозга. Рядом исследователей [104, 220, 281] было выявлено значение структур лимбико-ретикулярного комплекса, интегративных систем мозга, обеспечивающих целостное поведение и адекватную адаптацию в формировании вегетативной и психической регуляции. Узловой структурой является гипоталамическая область, обеспечивающая нейроэндокринные, мотивационные и терморегуляторные проявления. Стволовые структуры осуществляют интеграцию функциональных состояний мозга в цикле сон-бодрствование, регуляцию сердечно-сосудистых и дыхательных функций, супраспинального контроля мышечного тонуса. Важна роль и вестибуловегетативного взаимодействия. Помимо влияний лимбико-ретикулярного комплекса отмечается роль межполушарной асимметрии в обеспечении целостного поведения. Показана более тесная связь правого полушария с психовегетативной регуляцией [12, 49, 150, 191].

Вегетативные расстройства многообразны в своих проявлениях, поэтому большое значение приобретает анализ нозологической ситуации для правильного определения типа расстройств и подбора возможных коррекционных мероприятий [12]. Анализ результатов нейрофизиологических исследований позволяет проследить зависимость между характером изменений ЭЭГ и структурно-функциональными особенностями мозга детей разного возраста с учётом состояния их вегетативной нервной системы. Созревание нейронов коры связано с формированием нейронных сетей, и хотя этот процесс подчиняется определённой генетической программе, окончательный результат зависит и от влияний окружающей среды. В процессе развития формируются именно те нейронные сети, которые смогут наиболее эффективно обеспечивать деятельность организма во внешней среде [209, 222].

1.2. Климатоэкологические условия северных территорий и их влияние на сердечно-сосудистую и нервную системы человека

Человек является частью природы, и его нельзя рассматривать вне связи с окружающей средой, поскольку все процессы, происходящие в биосфере, оказывают влияние как на человечество в целом, так и на отдельного индивидуума. Детский организм, будучи наиболее пластичным и тонко реагирующим на любые воздействия, гармонично развивается, если его системы и органы находятся в равновесии с факторами среды, и в случае их суровости, формирование адаптаций и поддержание гомеостаза может предъявлять повышенные требования к физиологическим системам ребёнка, влияя на скорость морфофункционального созревания организма [85, 111].

Европейский Север занимает более 1 млн. кв. км, или 8,1 % всей территории Российской Федерации [209], значительную часть которого составляет Архангельская область и Ненецкий автономный округ (587,3 тыс. кв. км). В условиях Севера организм человека подвергается не однократному влиянию какого-либо одного фактора среды, а нескольких, причём нередко многократно действующих с одинаковыми или различными интервалами и чаще всего с неодинаковой силой. Более 20 лет назад Прохоровым Б. Б. было предложено определять степень комфортности территории на основе анализа примерно тридцати параметров среды обитания человека [190]. Согласно этой шкале все оцениваемые регионы делятся на комфортные, прекомфортные, гипоконфортные, дискомфортные и экстремальные. Экстремальные районы – территории, в пределах которых практически круглогодично природные условия резко осложняют труд, быт, отдых людей, а параметры отдельных факторов среды достигают критических для здоровья и жизни значений [79]. Исходя из этой классификации, большую часть высоких широт расположенную за Полярным кругом ($66^{\circ}33'$ с.ш.) можно отнести к дискомфортным и экстремальным территориям [135, 204].

Основными слагаемыми экстремального климата Заполярных широт являются: **Р** наличие своеобразной фотопериодичности (полярный день -

полярная ночь); **Р** низкая температура зимой, достаточно тёплое лето, резкие колебания температуры в течение суток; **Р** частые сильные ветра с низовыми метелями; **Р** высокая относительная влажность воздуха летом и низкая зимой; **Р** резкие колебания атмосферного давления, так называемые “барометрические ямы”; **Р** дефицит ультрафиолетовых лучей, который составляет 20 % от биологической потребности; **Р** сильная облачность, до 82 % пасмурных дней в течении календарного года; **Р** выраженные геомагнитные, гелиокосмические возмущения – повышенный уровень космической радиации, частые магнитные бури; **Р** усиленная циклоническая активность; **Р** недостаточная насыщенность воздуха кислородом, за счёт постоянных ветров и метелей, в зимний период ионизация воздуха достигает аномально высоких значений; **Р** своеобразный микро- и макроэлементный состав воды и почвы, характеризующийся недостатком биологически активных веществ. Климат Приполярных широт хоть и отличается меньшей суровостью, но всё же его влияние характеризуется выраженным напряжением адаптационных систем организма, особенно детского, и тенденциями к декомпенсации [34, 70, 79, 162, 204, 243, 262].

Дискомфортные климатогеографические условия жизни на Севере обуславливают развитие двух видов негативных реакций: торможение возрастного развития и сокращение резервных возможностей. Задержка возрастного развития детей, родившихся на Севере, подтверждается дефицитом роста и окружности грудной клетки, отставанием возрастного формирования эндокринной, репродуктивной, иммунной систем [209]. Основой для указанных негативных реакций является повышенный уровень затрат на обеспечение баланса обмена веществ с формированием дефицита энергетического субстрата. В таких условиях интенсивно работают все жизнеобеспечивающие системы [216, 243]. Но экстремальность условий внешней среды на Севере определяется не только суровыми климатическими условиями, к природным факторам добавляются и социально-экономические: значительная социальная и информационная изоляция, особенно сельских жителей, далекие от комфорта жилищно-бытовые условия, однообразие питания с дефицитом необходимых

для организма витаминов и микроэлементов. Бурное освоение северных территорий в 60-70-е годы привело к значительной деградации весьма ранимой окружающей среды, последствия которой в виде химического загрязнения почвы и воды проявляются до сих пор, несмотря на свёртывание программы экономического освоения Севера в конце XX века [209, 222, 223].

Система кровообращения служит маркером характера адаптационных процессов в организме и одной из первых сигнализирует о состояниях напряжения, истощения и патологии [78, 209]. Сопоставив данные, полученные в Заполярье, Красноярске и Москве, Раппопорт Ж. Ж. [192] ещё в 70-х годах сделал вывод о тенденции к повышению частоты сердечных сокращений у детей на Севере, особенно в младшей группе. У детей, живущих на Крайнем Севере, наблюдается тенденция к некоторому снижению максимального артериального давления, а среднее динамическое находится на уровне, характерном для здоровых детей средних широт.

По данным Евдокимова В. Г. [94], закономерность, при которой на Севере частота сердечных сокращений несколько больше, характерна только для девочек, а у мальчиков наблюдается обратная тенденция. Минутный объём кровообращения, рассчитанный косвенными методами, у детей, проживающих в высоких широтах, больше, чем у детей средней климатической зоны [192]. Интенсивность периферического кровообращения у детей и подростков Севера снижена относительно школьников средних широт [71]. Частота функциональных изменений электрокардиограммы возрастает у школьников Северо-Востока в пубертатный период и вероятно, связана с рассогласованностью в период полового созревания симпатических и парасимпатических влияний на хронотропную функцию сердца [126, цит. по 209].

В работах Максимова А. Л. [164] у подростков Магаданской области выявлено преобладание ваготонических типов реакции вегетативной нервной системы, что обусловлено специфическими адаптивными перестройками к действию низких температур.

Показано, что у подростков, проживающих на севере Архангельской области, по сравнению с подростками, проживающими на юге области, в условиях функциональной нагрузки происходит большее возрастание симпатической активности в период повышения естественной освещённости и максимума продолжительности светового дня [183].

При исследовании энергообмена и состояния кардиореспираторной системы у коренных и пришлых жителей Северо-Востока определено, что у коренных жителей наблюдается смещение вегетативного баланса в сторону преобладания парасимпатического отдела вегетативной нервной системы, при этом кардиореспираторная система функционирует значительно эффективнее [209, 217]. Исследования подтверждают, что лица с преобладанием в управлении сердечным ритмом симпатического или парасимпатического спектра при длительном напряжении регуляторных систем в большей степени подвержены формированию дизадаптационных состояний, приводящих к нарушениям в функционировании кардиореспираторной системы [146, 265]. Существует мнение, что наиболее успешную адаптацию к стрессу обеспечивает преобладание симпатических влияний над парасимпатическими [78], а индивидуальная переносимость разных видов стресса определяется особенностями баланса центральных и вегетативных центров.

Для северян характерно изменение функционирования системы дыхания: вдыхание холодного воздуха вызывает бронхоспазм, что приводит к гипертензии малого круга кровообращения и развитию воспалений легочной ткани [167]. Вместе с тем возникает гипертрофия правого желудочка – “легочное сердце” [1, 46, 78, 94]. Артериальное давление у северян выше, чем у жителей умеренных широт [46, 94, 209].

Напряжённость гомеостаза по показателям вегетативных функций может быть обусловлена как состоянием гуморального звена регуляции [49], так и нарушением функции сенсорной передачи [156]. Уже на начальном этапе адаптации к условиям Приполярья наблюдается активация функционального состояния сердечно-сосудистого комплекса и системы внешнего дыхания,

проявляющаяся в их высокой реактивности и снижении функциональных резервов [78], что требует специальной тренировки дыхательного аппарата [334, 345]. Коррекция реактивности кардиореспираторной системы даст возможность стабилизировать функциональное состояние вегетативной нервной системы, так как известны данные о том, что усиленная работа дыхательных мышц активизирует вегетативные центры [6, 183, 265, 409].

Влияние различных внешних стрессоров на сердечную деятельность осуществляется посредством изменения гормонального фона организма и активацией вегетативной нервной системы, её симпатoadреналового звена и блуждающего нерва [308, 319]. Резкий переход после стрессирования от адренергических к холинергическим влияниям нарушает сердечный ритм, вызывая спазм коронарных сосудов и гипоксию миокарда. Гипоксия и высокий уровень в крови катехоламинов вызывают нарушение пластических процессов в кардиомиоцитах [176] и в нейронах головного мозга [43]. Выявлено, что с увеличением широты проживания наблюдается рост признаков физиологического варианта гипертрофии отделов сердца, увеличиваются ударный объём крови и минутный объём кровообращения [46, 94, 265].

К числу экстремальных факторов климата Архангельской области относится температурный режим. Данные погодные условия негативно влияют на сердечно-сосудистую систему, вызывая метеопатические реакции у значительного количества людей, особенно страдающих заболеваниями сердца и сосудов. Отмечается особо неблагоприятное влияние “спастических” и “гипоксических” погодных ситуаций [21, 94, 265].

Вегетососудистые нарушения, усугубляясь под воздействием неблагоприятных факторов среды, способны вызывать начальные формы нарушений мозгового кровообращения [33]. В частности, указывается, что неблагоприятные условия обитания, ионизирующее излучение, вызывают комплекс изменений функционального состояния кровообращения головного мозга, заключающийся в изменении тонуса крупных сосудов, неустойчивости тонического напряжения мелких артериол, значительном снижении

кровенаполнения брахицефальных сосудов и изменении возрастной динамики объёмного мозгового кровотока [24, 185]. Значительная геомагнитная активность в сочетании с циклонической, высокая влажность воздуха оказывают сочетанное негативное влияние на мозговое кровообращение жителей Европейского Севера России [222].

В условиях северного региона и у коренного, и у пришлого населения отмечается компенсированная гипоксия, что проявляется в увеличении коэффициента использования кислорода. У северян при возникновении гипоксических состояний, при увеличении напряжения в системе внешнего дыхания, может отмечаться неблагоприятная перестройка биоэлектрической активности мозга – регистрируется усиление тета-активности, что указывает на снижение кислородной обеспеченности мозга [41]. Кроме того, гипоксические состояния вызывают нарушения в кислородтранспортной системе организма, способствуя возникновению окислительного стресса, последствия которого негативно влияют на функционирование мозга, вызывая митохондриальную дисфункцию, способствующую изменению подачи сигналов нейронами и торможению в работе нервных клеток [цит. по 265, 346].

Уже с детского возраста наблюдаются нарушения в активности мозговых процессов. В ряде работ отражено наличие структурных отклонений показателей ЭЭГ у детей-северян относительно возрастной нормы – в 42 % имеет место незрелость основного ритма электрической активности мозга, в 36 % – дисфункция регуляторных структур мозга, в 22 % – дисфункция регуляторных структур мозга проявляется в ЭЭГ без признаков незрелости основного ритма [223, 265].

Выявлено отставание в темпах формирования амплитудно-частотных и временных параметров биоэлектрической активности в отдельных зонах коры больших полушарий, характера межцентральных связей, характеристик когнитивных вызванных потенциалов у школьников проживающих на юге Архангельской области [196, 209]. Основными показателями этих изменений являются: а) низкая частота (8-9 Гц) и недостаточная выраженность альфа-

ритма в затылочных и теменных областях коры больших полушарий и нарушение его пространственной локализации (по сравнению с имеющимися среднеширотными возрастными нормативами); б) наличие более высокого уровня тета- и дельта-активности, особенно в височных и лобных зонах; в) возрастная “незрелость” организации волновой структуры взаимосвязей основных компонентов паттернов ЭЭГ с отсутствием характерных “функциональных ядер” в отдельных зонах коры больших полушарий; г) возрастное несоответствие амплитуды и латентного периода когнитивных вызванных потенциалов, объёма оперативной памяти и скорости переработки информации.

Наблюдается зависимость степени выраженности расстройств зрительной и слуховой памяти от стадий ранних нарушений мозгового кровообращения у молодых жителей республики Карелия. У них отмечается ухудшение концентрации внимания, снижение интеллектуально-мнестических процессов, умственной работоспособности, первичного восприятия, рост числа тревожных проявлений [124, 265].

Другие авторы [23] выявили более низкую скорость протекания сенсомоторных реакций, слабость и инертность нервных процессов, более выраженную астенизацию, тревожность и невротические состояния у подростков севера Магаданской области.

При исследовании системы зрительного восприятия детей Архангельской области выявлены трудности реализации его отдельных компонентов, что авторы связывают с функциональной незрелостью головного мозга, а также с сенсорной депривацией в условиях Севера [169].

В работах Сергеевой Е. Г. [209] установлено, что у сельских детей-северян младшего школьного возраста преобладает невербальный интеллект (по методике Векслера). Вербальный интеллект у детей этой возрастной группы был ниже нормативной шкалы. В процессе обучения в школе структура интеллекта претерпевает изменения и к 15-17 годам у большинства школьников начинает преобладать вербальный интеллект. Уровень развития интеллекта и

его структура достоверно коррелируют с выявленными темпами возрастного развития мозга.

В некоторых исследованиях указывается, что у детей, проживающих на Европейском Севере России, наблюдаются особенности в регуляции церебрального кровотока, указывающие на низкую реактивность мозговых сосудов на гипо- и гиперкапнию, региональном перераспределении мозгового кровотока стволовых центров головного мозга, которые регулируют витальные функции организма. Авторы указывают, что задержка темпов возрастного морфофункционального развития, замедление возрастного формирования основного ритма ЭЭГ в затылочно-теменно-височных областях коры мозга могут быть вызваны циркуляторными нарушениями в вертебрально-базиллярном бассейне [224, 265]. У 85 % детей северного региона выявлены функциональные нарушения биоэлектрической активности мозга и у 84 % – признаки церебральной ангиодистонии и регионарные нарушения [196, 197].

Обращает внимание тот факт, что в северном регионе снижение эффективности мозговой деятельности может происходить даже при повышенном потреблении кислорода. Данный процесс видимо связан с тем, что при активной мозговой деятельности, для покрытия дополнительных энергетических расходов организму достаточно повышения эффективности утилизации кислорода, доставляемого с кровью. Но если жёсткость гипоксии увеличивается – существенно возрастает роль повышения кровотока в кислородном обеспечении организма. Мозговой кровоток по мере понижения содержания кислорода крови при росте гипоксии возрастает в непропорционально большей степени [42, 265].

Кроме того, некоторые исследования указывают, что при холодových воздействиях наблюдается острое нарушение мозгового кровообращения и в регуляции деятельности усиливается роль центральных эрготропных и гуморально-метаболических механизмов (снижение показателей variability сердечного ритма), вследствие чего проявляется склонность к генерализованным сосудистым реакциям вазоконстрикторного типа [27, 265].

При изучении системных реакций человека на холодо-гипоксигиперкапнические воздействия показано, что становлению долговременной адаптации сопутствует динамика мозговых доминантных состояний – наблюдается изменение типа функциональной асимметрии полушарий. Если до холодовых воздействий активность наблюдалась в правом полушарии, то через 8 минут активным становилось левое полушарие, т.е. наблюдалась межполушарная гармонизация. Авторами выявлено, что при систематических холодовых тренировках в оптимально-индивидуальном режиме наблюдается оптимизация функционального состояния мозга, сердечно-сосудистой системы, психофизиологического, эндокринного и иммунного статуса. Это выражается в снятии стрессорного состояния, устранении функциональных аритмий сердца, повышении умственной и физической работоспособности [21]. Эти данные очень важны для понимания адаптивных механизмов мозговой деятельности, так как известно, что адаптивная деятельность к экстремальным условиям жизни протекает более благоприятно у людей с отсутствием межполушарной асимметрии [137, цит. по 265].

Имеет место межполушарная асимметрия мозга как физиологическая реакция на адаптацию к новым климатическим условиям [13, 151]. По данным ряда авторов при длительном проживании в суровых климатогеографических условиях активизируется правое полушарие [232, 259]. Показано, что уровень активности левого полушария связан с высоким уровнем социально-психологической адаптации [232], успешность обучения выше у студентов с вербально-логическим левополушарным типом восприятия [39, 265]. Правосторонняя асимметрия отличается более высокими возможностями в нейромоторной сфере [39, 153].

Специфика дискомфортных факторов Севера не ограничивается влияниями только на сердечно-сосудистую и нервную системы человека, она может приводить также к разбалансированности гуморального гомеостаза и более раннему истощению функциональных резервов организма [241, 242]. Так, для щитовидной железы характерно увеличение массы и гиперсекреция, что

может быть связано с холодовой адаптацией, обеспечиваемой тиреоидными гормонами [36, 209, 241, 161]. При этом типичный для северных территорий природно-обусловленный дефицит йода в биосфере ещё больше осложняет ситуацию, что способствует дестабилизации функций щитовидной железы уже у детей дошкольного (24 %) и школьного (45-50 %) возраста [139, 239]. Средние значения гормонов центрального и периферического звена у северян смещены в сторону максимальных значений [240, 241, 242], а снижение резервных возможностей иммунной регуляции предопределяет торможение возрастного развития иммунной системы у детей с формированием экологически зависимых иммунодефицитных состояний у взрослых [92, 266]. Данная мобилизация резервов эндокринной системы приводит к сокращению репродуктивного и трудоспособного периодов жизни, способствует более раннему биологическому старению [259, 265]. Кроме того, у здорового человека, проживающего на Севере, снижена способность к утилизации атерогенных фракций липидов, что приводит к повышению риска атеросклероза [29, 34]; неоднозначно усваивается глюкоза и продукты ее метаболизма (лактат и пируват) [35]. Данные процессы происходят на фоне повышения частоты встречаемости дефицита массы тела у детей и подростков северян и запаздывания возрастного становления морфофункциональных и нейрогуморальных систем в среднем на 2 года [138, 183, 223]. В последнее время в зарубежных изданиях высказывается предположение о том, что высокое потребление кислорода, незащищённость от оксидантов и повышенное содержание жиров в продуктах питания делают мозг очень уязвимым к окислительно-восстановительным дисбалансам. Окислительное повреждение в мозге может являться причиной расстройств нервной системы, способствуя развитию депрессивных и тревожных состояний [296].

Таким образом, исследования, посвящённые изучению природной зоны северных районов России, свидетельствуют о дискомфорте климатоэкологических условий проживания, которые вызывают напряжение функциональных систем организма. В основе развития донозологических

состояний у жителей Севера лежит истощение гомеостатических механизмов в ведущих системах транспорта энергетических и пластических субстратов, наблюдаются выраженная централизация и напряжение нейрогуморальных механизмов регуляции, а также снижение инотропных резервов кровообращения и дыхания [71, 76, 162, 183, 265].

1.3. Нейрофизиологические эффекты тиреоидных гормонов

Реактивность физиологических систем в условиях стресса, особенно острого стресса, безусловно, в первую очередь затрагивает изменения в гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системе [1, 240, 241, 242]. Однако в условиях постоянно действующих неблагоприятных факторов окружающей среды применимо к индивидам, родившимся и постоянно проживающим в дискомфортной среде обитания, важно также рассмотрение эндокринных систем ответственных за восстановление и поддержание энергетических и метаболических процессов клеток и тканей, особенно элементов нервной системы. Вследствие этого, рассмотрение роли тиреоидной системы во взаимосвязи с показателями нейрофизиологического статуса у подростков-северян является оправданной [183].

Как уже упоминалось, одним из факторов формирующих неблагоприятную экологическую обстановку в условиях высоких широт, является недостаток йода в окружающей среде. Архангельская область относится к йоддефицитным биогеохимическим провинциям и представляет собой очаг зубной эндемии. Эпидемиологическими исследованиями показана географическая дифференциация йодной обеспеченности пищевых цепей с выраженным йодным дефицитом на юге области и относительной йодной обеспеченностью на севере области. Соответственно этому, распространённость зоба варьирует от 10 % на севере (побережье Белого моря) до 80-98 % на юге области [87]. В некоторых северных районах (г. Архангельск, г. Новодвинск, Ненецкий автономный округ) установлено несоответствие между степенью йодного дефицита и распространённостью

зоба [139, 211]. Это подтверждает известную точку зрения о смешанной природе эндемического зоба, и свидетельствует о наличии на территории региона ряда струмогенных факторов [239].

Особое биологическое значение йода заключается в том, что он является составной частью молекул гормонов щитовидной железы: тироксина (T_4) и трийодтиронина (T_3). Следовательно, адекватное его поступление является необходимым этапом физиологического синтеза и секреции тиреоидных гормонов [114]. Совместное влияние струмогенных факторов нередко оказывается настолько существенным, что компенсаторное, иногда даже значительное увеличение размеров щитовидной железы не в состоянии нормализовать её функцию. При этом постепенно нарастают проявления гипотиреоза, хотя в детском и подростковом возрасте клинически выраженные формы заболевания встречаются крайне редко [275]. В то же время при гормональном обследовании более чем у половины детей и подростков с увеличенной щитовидной железой выявляются признаки так называемого субклинического гипотиреоза: наблюдается тенденция к снижению или низкий уровень T_4 , нормальные или несколько повышенные значения T_3 и повышение уровня ТТГ [114].

Тиреоидные гормоны обладают широким спектром действия – они участвуют в регуляции энергетического обмена, обмена белков, жиров, углеводов, кальция во всех клетках организма, в том числе и нервной системе, регулируют уровень содержания сахара в крови. Гормоны щитовидной железы необходимы для контроля образования тепла, скорости поглощения кислорода клетками, участвуют в поддержании нормального функционирования дыхательного центра, иммунитета. Особую роль тиреоидные гормоны играют в период внутриутробной и ранней постнатальной жизни. Так, тиреоидные гормоны в период внутриутробной жизни ответственны за формирование церебральных функций. Кроме того, эти гормоны осуществляют процессы эмбриогенеза, роста плода, дифференцирование тканей, созревание кроветворной иммунной и дыхательных систем. При дефиците гормонов

щитовидной железы мозг останавливается в развитии, подвергается дегенеративным изменениям, что резко ухудшает интеллектуальные и моторные функции человека. После рождения ребёнка тиреоидные гормоны отвечают за созревание высших структур головного мозга и интеллектуальный потенциал, физическое развитие и линейный рост, запуск и нормальное протекание полового созревания. На протяжении всей жизни человека нормальный уровень тиреоидных гормонов является необходимым условием гармоничного функционирования организма. Сбой в работе щитовидной железы может привести не только к её дисфункции, но и к функциональному нарушению других органов [20, 115, цит. по 140, 207, 211, 274].

Сердце является одним из основных органов-мишеней для действия гормонов щитовидной железы. Установлены прямые эффекты трийодтиронина на сердечную деятельность, которые могут быть нуклеарными или экстрануклеарными [183, 351]. Трийодтиронин способен увеличивать плотность бета-адренорецепторов [380] на поверхности клеток сердечной мышцы как опосредованной геномом реакции, так и негеномным путём [435]. Тироксин избирательно может связываться с клетками проводящей системы сердца и, прежде всего клетками атриовентрикулярного узла [193]. Тиролиберин и тиреотропин стимулируют дыхательную активность через действие на вегетативные структуры в головном мозге, в частности нейроны *nucleus tractus solitarii* [391]. Известно, что баланс тиреоидных гормонов формирует характер взаимоотношений между нервной и сердечно-сосудистой системами [183, 381]. В клинических исследованиях показаны прямые связи между увеличением секреции тиронинов и повышением симпатического тонуса [91, 302]. Установлено, что тиреоидный статус определяет реактивность нейрогенных структур в ответ на различные виды нагрузок, как в норме, так и при патологических состояниях [274, 398].

С другой стороны, тиреоидные гормоны являются принципиально важными для нормального развития ЦНС. Тироксин, а не трийодтиронин, является главной формой гормонов щитовидной железы, поглощаемой мозгом,

и от его биодоступности зависит нормальное развитие ЦНС [276, 439]. Тироксин является своего рода “прогормоном”, и его дейодинация, происходящая в целом ряде тканей, является решающим моментом для поддержания локального уровня трийодтиронина – активной формы. Развитие мозга ребёнка преимущественно зависит от уровня сывороточного T_4 , поскольку нейроны коры головного мозга около 80 % необходимого им T_3 получают при дейодинации T_4 in situ дейодиназой 5'-2-го типа (ДП) в глиальных клетках, таниоцитах третьего желудочка и астроцитах, которые захватывают T_4 из крови и выделяют T_3 для использования его нейронами [203, 412]. Трийодтиронин связывается затем с β -формой ядерного рецептора (в ряде других тканей – с α -формой рецептора T_3). Комплекс T_3 -рецептор связывается с гормон-чувствительными элементами (thyroid hormone responsive elements, TRE) генов-мишеней, влияя на их экспрессию [цит. по 276].

Активность дейодиназы 5'-ДП является важным компонентом контроля за воздействиями T_4 , поскольку она возрастает в случае недостатка T_4 , поддерживая концентрацию T_3 в головном мозге [202]. По-видимому, в мозге имеется независимый ауторегуляторный механизм, поддерживающий концентрацию тиреоидных гормонов в более узком пределе колебаний, чем это имеет место в сыворотке крови и других органах. Но выход содержания тиреоидных гормонов за эти пределы приводит в мозге к бóльшим, чем в любом другом органе, изменениям его метаболизма и функций.

В опытах на животных установлено, что, несмотря на значительные колебания уровней тиреоидных гормонов в крови, концентрация тироксина и трийодтиронина в мозге, образование в нём T_3 и скорость его оборота поддерживаются в достаточно узких пределах колебаний [283]. Возможно, что одной из причин поддержания на относительно постоянном уровне содержания тиреоидных гормонов в тканях мозга, является выраженная зависимость активности 5'-ДП дейодиназы от содержания гормонов в сыворотке крови [цит. по 276]. Концентрация мРНК к дейодиназе 5'-ДП у гипотиреоидных животных в постнатальном периоде возрастает в несколько раз по сравнению с

нормальными значениями в релейных ядрах и корковых мишенях первичных соматосенсорных и аудиторных путей [288]. Возможно, эти пути специфически защищены от недостатка T_4 , что свидетельствует об участии T_3 в формировании этих структур.

Дефицит йода приводит к характерным изменениям гормонального профиля: прежде всего, отмечается снижение уровня T_4 , при этом уровень T_3 долгое время остаётся в пределах нормальных значений, так что клинически диагностируется эутиреоидное состояние. Только при тяжёлом и длительном воздействии йодного дефицита наблюдается снижение T_3 . Таким образом, поскольку достаточный уровень циркулирующего T_4 является решающим для развития и функционирования нервной системы, в условиях умеренного йодного дефицита даже при отсутствии клинических признаков гипотиреоидного состояния, ЦНС уже испытывает состояние “тиреоидного голода” [274].

Доказано влияние тиреоидных гормонов на деление нейробластов, нейрональную миграцию, созревание и дифференциацию нейронов, дифференциацию олигодендроглиоцитов, пролиферацию нейрональных отростков, формирование цитоскелета астроцитов, выработку нейротрофинов и образование рецепторов к ним, дифференциацию питуитарных лактотрофов и соматотрофов, синаптогенез, миелинизацию, процессы апоптоза [283, 329, 373, 385]. При гипотиреозе запаздывает накопление гликопротеина, связывающегося с миелином в ростральных отделах мозга, коре и гиппокампе. Известно, что ранее всего миелинизация начинается в каудальных отделах мозга и этот процесс распространяется в ростральном направлении [207, 276]. При дефиците тиреоидных гормонов в подростковом возрасте процессы миелинизации страдают в тех отделах мозга, в которых миелинизация осуществляется наиболее поздно, поэтому наибольшие её изменения имеют место в коре головного мозга.

Тиреоидные гормоны участвуют также в регуляции активности генов кодирующих синтез основного белка миелина на транскрипционном и

посттранскрипционном уровнях [202, 254, 276]. Очевидно, что очень важным аспектом действия гормонов на процессы развития мозга является своевременность этого воздействия, которое должно быть синхронизировано с периодом чувствительности специфических генов к этим гормонам. Действие тиреоидных гормонов носит синхронизирующий, комплексный характер на одновременно протекающие в мозге процессы, например, рост аксонов и их миелинизацию, или последовательно осуществляемые в нервной системе процессы. Точками приложения действия гормонов являются не только ядерные процессы, но и влияние на эффекты факторов роста, нейромедиаторные процессы, активность дейодиназ и другие неядерные события [цит. по 276].

Пока не существует единого мнения о том, могут ли тиреоидные гормоны существенно изменять энергетический метаболизм мозга и потребление кислорода, но рядом исследователей показано [276, 370, 415], что мозговой кровотоком, потреблением глюкозы и кислорода взрослым мозгом отличается при гипо- и гипертиреозе. Потребление кислорода, глюкозы и мозговой кровотоком возрастают при гипертиреозе и уменьшаются при гипотиреозе.

Тиреоидные гормоны проникают в мозг через гематоэнцефалический барьер и обнаруживаются в сером веществе различных отделов мозга [276]. В состоянии гипотиреоза у людей замедляется скорость мыслительных процессов, понижается эмоциональный тонус, снижается память, возможности обучения. При гипертиреозе, наоборот, увеличивается скорость и амплитуда рефлекторных реакций, возбудимость, скорость мыслительных процессов, улучшается память и возможности обучения [290].

На электроэнцефалограмме у большинства людей с повышенным уровнем тиреоидных гормонов (при тиреотоксикозе) обнаруживается увеличение частоты альфа-ритма, выше того уровня, который мог бы быть объяснен повышением температуры, имеющим место у этих людей. При пониженном уровне тиреоидных гормонов альфа-ритм может отсутствовать и характерным является исчезновение медленных волн, частотой 3-6 Гц. Частоты

альфа-ритма коррелируют с величиной основного обмена при гипо- и гипертиреозе, но эта корреляция нарушается при больших отклонениях в содержании тиреоидных гормонов [257].

Хорошо известные факты существования зависимости многих функций ЦНС у людей с гипо- или гипертиреозом, особенно, при тиреотоксикозе, дали основание предположить, что даже небольшие отклонения в содержании тиреоидных гормонов в мозге могут вызывать значительные изменения его функций [202, 254]. Возможно, что основой этих изменений, прежде всего, является нарушение активности ферментов окислительной цепи митохондрий мозга. Так, индуцируемые при гипотиреозе изменения содержания РНК митохондрий в развивающемся мозге, сопровождаются понижением на 40 % оксидазной активности цитохрома-С. Дефицит содержания T_3 приводит к функциональной недостаточности митохондриальных процессов в период антенатального развития мозга, что может являться молекулярной основой специфического действия этого гормона на развивающийся мозг [193].

Тиреоидные гормоны оказывают влияние на интенсивность тканевого дыхания и тем самым – на величину энергообразования в клетках нервной ткани. Это влияние осуществляется через регуляцию, при участии тиреоидных гормонов, активности многих ферментов дыхательной цепи. При гипотиреозе понижается активность ферментов дегидрогеназ цикла Кребса, в том числе, сукцинатдегидрогеназы, НАДН-зависимой дегидрогеназы, дегидрогеназ α -глицерофосфата и глюкозо-6-фосфата [289]. Введение тироксина, напротив, активирует эти ферментные системы. Предполагается, что трийодтиронин в развивающемся мозге регулирует процессы внутриклеточной передачи сигналов и экспрессию генов, детерминирующих синтез белков митохондрий [254, 276].

В состоянии гипотиреоза понижается активность аспартат-аминотрансферазы, цереброзид-сульфотрансферазы, галактозил-трансферазы, трансферазы аминокислотной кислоты, тиамин-пирофосфатазы и инозитолфосфатазы, замедляется включение аминокислот в белки мозга.

Повышение уровня тиреоидных гормонов сопровождается у взрослых животных увеличением в коре мозга числа мест связывания агонистов β -адренорецепторов и понижения числа мест связывания гамма-аминомасляной кислоты. Изменяется уровень содержания серотонина и субстанции Р [336, 443]. Практический интерес представляет факт увеличения при тиреотоксикозе числа опиатных рецепторов в мозге и снижение соответственно этому порога болевой чувствительности [цит. по 276, 290].

Механизмы влияния дефицита гормонов при гипотиреозе на функции взрослого мозга остаются не совсем ясными. Возможно, что ухудшение когнитивных и поведенческих функций является следствием гипометаболизма, характерного для гипотиреоза. Действительно, при гипотиреозе у взрослых мозговой кровоток может уменьшаться на величину до 38 % ниже нормы, а потребление кислорода и глюкозы – до 27 %. Возрастает до 2-х раз сопротивление кровотоку в сосудах мозга [370, 415].

Как уже упоминалось, от уровня трийодтиронина в мозге зависит активность многих ферментных систем. Ядерные рецепторы T_3 в высоких концентрациях представлены в нейронах амигдалы и гиппокампа, коре головного мозга и в низких концентрациях в стволе мозга и мозжечке [276].

В экспериментах на животных установлено, что и в мозге взрослых организмов состояние ядерных рецепторов T_3 и дейодиназная активность фермента 5'-ДII зависят от уровня тиреоидных гормонов [288]. Содержание различных субфракций внутриклеточных G-белков различается при гипо- и гипертиреозе, а активность протеинкиназ А и С по-разному регулируется при гипотиреозе в различных отделах мозга. В мозге таких животных имеет место изменение активности лизосомальных кислых фосфатаз и арилсульфатазы А, метаболизма ряда ферментных нейромедиаторных и рецепторных систем, например, обмена глутамата. Тиреоидные гормоны играют определяющую роль в регуляции синтеза многих белков и гликопротеинов мозга, регулируют поглощение нейронами и астроцитами аминокислот и 2-дезоксиглюкозы [276, 329].

Одним из важных факторов, определяющих результаты влияния избытка или недостатка тиреоидных гормонов на функции мозга, является состояние активности симпатoadреналовой системы. Активность норадренергических нейронов находится в обратной зависимости от функции щитовидной железы. Тироксин угнетает активность дофамин- β -гидроксилазы и, например, после введения в течение 10 дней тироксина – синтез норадреналина уменьшается в сердце на 30 %, тогда как в мозге на 15 % [449]. Одновременно изменяется реакция серотонинергических и норадренергических рецепторных систем мозга. Так, после тиреоидэктомии уменьшается связывание лигандов β - и α 2-адренорецепторов нейронами лимбической системы и повышается связывание лигандов серотонинергическими рецепторами нейронов коры и гиппокампа [422]. Проведение после тиреоидэктомии заместительной терапии возвращает лиганд-связывающие свойства этих рецепторов к исходному уровню. Отмечаемое понижение чувствительности некоторых типов нейронов к норадреналину при гипотиреозе возвращается к исходному уровню после введения экспериментальным животным T_3 [цит. по 276, 298].

Возможно, что трийодтиронин оказывает свой терапевтический эффект при депрессиях за счёт коррекции отклонения уровня тиреоидных гормонов мозга от нормы. Это отклонение может быть результатом неспособности ауторегуляторных механизмов мозга поддерживать колебания уровня тиреоидных гормонов в мозге, когда уровень их в крови колеблется в широких пределах [387]. Мозг регулирует свой уровень тиреоидных гормонов отличающимся от других тканей образом. Если содержание тиреоидных гормонов в периферических тканях зависит от уровня трийодтиронина в плазме крови, то содержание этих гормонов в мозге зависит от уровня тироксина в плазме крови [276]. Из клинической практики известно, что назначение антидепрессантов приводит к понижению уровня T_4 в плазме крови и это понижение обычно тем больше, чем более чувствителен пациент к антидепрессивной терапии. На этом основании был сделан вывод, что депрессия может быть следствием относительного избытка T_4 в мозге. Поэтому

введение T_3 , понижая уровень T_4 в крови, приведёт к его понижению и в мозге. Этим и может объясняться один из механизмов его антидепрессивного действия [324].

Не только эндогенный, но и вводимый экзогенно трийодтиронин может оказывать эффект на норадренергическую и, возможно, на серотонинергическую системы, которые имеют отношение к развитию депрессивных состояний. Трийодтиронин оказывает стимулирующее влияние на норадренергические процессы, увеличивая активность β -адренорецепторов, чем, вероятно, также достигается терапевтический эффект при депрессиях. Кроме того, T_3 может оказывать лечебный эффект у пациентов, которые имеют субклинические формы гипотиреоза, как средство заместительной гормональной терапии [276, 324].

Таким образом, очевидно, что тиреоидные гормоны могут непосредственно влиять на различные процессы не только развивающейся нервной системы, но и на нервные процессы у взрослых животных и человека. Всё это свидетельствует о том, что и в мозге взрослого организма тиреоидные гормоны играют определяющую роль в регуляции многих биохимических процессов, а нарушение содержания или метаболизма йодсодержащих гормонов в мозге может быть одной из причин, обуславливающих возникновение когнитивных, двигательных, нейровегетативных, сосудистых, психических и поведенческих расстройств.

1.4. Физиологические основы методов функционального биоуправления

Концепция метода биоуправления. Методы функционального биоуправления базирующиеся на принципах биологической обратной связи (БОС) в настоящее время активно используются как в медицине, так и в различных психокоррекционных и личностно-развивающих практиках [157, 390, 397]. Термин “биологическая обратная связь” был введён для описания “нового вида” обратной связи более 30 лет назад [342]. Биоуправление – это

комплекс идей, методов и технологий, направленных на развитие и совершенствование механизмов саморегуляции физиологических функций при различных состояниях и в целях личностного роста [47, 215, 226, 340]. В основу метода положены кибернетические представления о механизмах регуляции и управления систем посредством обратной связи. Известно, что обработка информации и обратная связь являются основными вопросами кибернетики, одним из принципов которой является представление о том, что невозможно управлять процессом, не имея информации о состоянии переменных (обратной связи). Другой принцип кибернетики – наличие обратной связи делает возможным обучение. Обратная связь выступает в виде позитивной или негативной информации о поведении субъекта [130, 350]. Возможность качественно и количественно учесть изменения физиологических функций и качественно оценить собственную деятельность, направленную на изменение этих функций, делает БОС уникальным методом управления физиологическими системами организма человека. При этом происходит создание новых временных связей в коре головного мозга, что приводит к оптимизации функционального состояния организма [68].

Психофизиологическая сущность метода адаптивного биоуправления состоит в организации на основе биологической обратной связи от того или иного физиологического параметра дополнительного сенсорно-когнитивного контроля над физиологическим процессом с последующей выработкой ассоциативного произвольного регулирования конкретной функцией организма по принципу оперантного обучения [226]. Сочетание мышечного расслабления и высокой степени контроля сознания, концентрации внимания, активной работы воображения, значительных волевых усилий принципиально отличают этот метод от других релаксационных психотерапевтических процедур, таких как аутогенная тренировка, прогрессивная мышечная релаксация, медитация [62, 69, 183, 206, 295, 383, 448]. В отличие от классической аутогенной тренировки, при которой результаты самовоздействия улавливаются только субъективно с помощью самонаблюдения и ощущений, при адаптивном

биоуправлении результаты объективизированы и представляются пациенту в визуальной или акустической форме с помощью специальных устройств [130]. По этой информации и происходит регуляция функции или её параметров, авторы [31, 226, 270] показали, что использование таких устройств существенно усиливает корректирующее действие приёмов аутогенной тренировки и повышает возможности саморегуляции психических и вегетативных функций организма. Иными словами, физиологическая основа биоуправления – это подача количественно измеряемой информации, которая сопоставляется с текущим состоянием человека в последовательные промежутки времени [47].

Можно выделить три определяющих характеристики технологии биоуправления: 1) это прогрессивная технология научного исследования; 2) основа внутреннего совершенствования духовных и физических качеств; 3) органичный комплекс лечебных, реабилитационных и прогнозирующих процедур [269]. В реальности эти характеристики тесно переплетены в практике применения БОС-технологий в различных областях деятельности человека [61, 83, 272, 433]. С помощью биологической обратной связи решаются вопросы совершенствования нормальных и немедикаментозной коррекции нарушенных функций организма, путём целенаправленной активации резервных возможностей организма. Биоуправление как часть поведенческой терапии, позволяет обучиться управлению физиологическими функциями, чтобы произвольно влиять на сердечную деятельность, вазомоторную активность, параметры дыхания, температуру, секрецию желёз, сон и бодрствование, психоэмоциональное состояние [271, 256, 311, 367]. Увеличение информационных, психоэмоциональных перегрузок в процессе деятельности человека, нарастающая гиподинамия приводят к вегетативному дисбалансу. Обучение с детского возраста управлению функциональным состоянием своего организма посредством биологической обратной связи будет способствовать личности в последующем более эффективно справляться со стрессовыми воздействиями, используя энергосохраняющие стратегии. Именно

обратные связи определяют устойчивость организма к внешним воздействиям, постоянство и стабильность функций его органов и систем [226].

Гипотезы и физиологические механизмы формирования обратных связей. Принцип адаптивного биоуправления, как эффект лежащий в основе саморегуляции, наиболее активно стал изучаться в 60-70-е годы XX века [45, 47, 226]. Этот метод основывается на теоретических представлениях и концепциях отечественных учёных: Анохина П. К. о роли полезного результата в формировании функциональных систем [9], Бехтерева Н. П. о роли гибких и жёстких звеньев мозговых систем обеспечения психической деятельности [28]. Однако общебиологические закономерности биоуправления были выявлены на основании законов классического обусловливания по Павлову И. П. и оперантному обусловливанию по Скиннеру Б. Классическое обусловливание по Павлову И. П. является главным способом, посредством которого события окружающей среды оказывают запланированное влияние на наше развитие и поведение [183, 246]. Ключевое отличие оперантного обусловливания от классического состоит в том, что в случае первого живой организм своим поведением активно воздействует на окружающую среду и сталкивается с теми или иными последствиями. То есть, своими действиями (оперантами) он формирует будущее (последствия), в то время как классическое обусловливание – это закреплённая реакция на прошлый опыт [226]. Поэтому у человека реализация обратной связи от физиологических показателей в большей степени проходит по законам оперантного обусловливания (активный поиск оптимального собственного состояния и закрепление положительного результата-последствия). Тем не менее, именно в рамках парадигмы условных рефлексов по Павлову И. П. в эксперименте установлено, что обусловленное снижение ЧСС у кроликов и голубей ассоциировано с биоэлектрической активностью миндалины головного мозга. Повреждение центрального ядра миндалины ослабляет обученную брадикардию [323], повреждения гиппокампа и неокортекса ослабляют обусловленную брадикардию у кроликов. Также при эксперименте с участием кроликов доказано вовлечение передней поясной

коры и перегородки в обусловливании ЧСС [300, 401]. Однако эффекты классического обусловливания изменения ЧСС, по-видимому, видоспецифичны, так как у других животных (например, у птиц) не доказано участие перегородки и гиппокампа в обусловливании ЧСС [цит. по 226, 309].

Различают две основные разновидности биологически обратных связей: прямая и непрямая. “Прямая” БОС осуществляется при данном функциональном состоянии и является основным его проявлением (например, по уровню артериального давления при гипертонической болезни), “непрямая” БОС – по показателям, изменение которых не является специфичным для данного психофизиологического статуса [130, 326, 366].

Биоуправление можно рассматривать как ветвь поведенческой терапии, целью которой является регуляция психофизиологического состояния, в том числе, здорового человека в условиях эмоционально напряжённой деятельности [297]. Это метод управления произвольными процессами организма, контролируемые вегетативной нервной системой, при котором снижение уровня эмоционального стресса выступает в качестве полезного приспособительного результата, определяющего деятельность функциональных систем, сформированных для его достижения [238]. С точки зрения теории функциональных систем, обратные связи представляют собой сложное функциональное образование, включающее сигналы с периферии от результатов действия и его параметров, параметров функционирования систем и гомеостаза, а также оценки этих сигналов в аппарате сличения – акцепторе результата действия. Оценка осуществляется в нейрональных структурах путём сравнения полученных сигналов с эталонами (моделями), хранящимися в кратковременной и оперативной памяти. При этом происходят явления согласования (при сравнении с эталоном) или рассогласования (при несовпадении), и, как следствие, закрепление данной функциональной системы или её переформирование [130].

Пути передачи условного зрительного сигнала являются вызванными обучением модификациями разрядов на условный сигнал во время

обусловливания ЧСС. Эти “изменяемые” нейроны получают информацию безусловного сигнала и потом “модифицируют” свою активность в соответствии с природой условного сигнала. Эти изменения обнаружены в голубом пятне – n. coeruleus (часть ретикулярной формации ромбовидной ямки ствола головного мозга на уровне моста, где сосредоточены в основном норадренергические нейроны) [цит. по 226, 309]. Регистрация активности отдельных вагусных преганглионарных и симпатических постганглионарных сердечных нейронов показала, что сердечные мотонейроны изначально реагируют на условный сигнал, и обусловливание увеличивает вероятность появления и величину вызванного условным сигналом ответа [331].

Показана принципиальная разница между ответами, возникающими в работе структур головного мозга при биоуправлении и при различных релаксационных методиках. Так использование метода позитронно-эмиссионной томографии позволило определить различия в активности тех или иных зон головного мозга у людей при обычной релаксации и при реализации эффекта биологической обратной связи на примере управления параметрами электрокожного сопротивления с целью снижения симпатической активности. У добровольцев простая релаксация была связана со значительным увеличением активности левой передней поясной области коры и подкорковых ядер бледного шара. Релаксация с биологической обратной связью ассоциирована была с расширением активности передней поясной области и червя мозжечка [314].

Доказано, что обучение управлению несколькими физиологическими параметрами достигается быстрее, чем одним, и вызывает более значительные и стойкие изменения гомеостаза [103, 306]. Поведение висцеральных систем – закономерность их деятельности. Каждая висцеральная система может функционировать автономно, обладая своим эндогенным биоритмом, который диктуется в первую очередь сегментарной внутриорганной метасимпатической нервной системой. Синхронизация деятельности нескольких висцеральных систем осуществляется главным образом структурами лимбической системы, а

модуляция обеспечивается через симпатическую и парасимпатическую ветви вегетативной нервной системы и нейрогуморальные механизмы (семейство опиоидных пептидов) [295, 389].

Иерархические взаимоотношения между корой головного мозга, лимбической системой, ретикулярной формацией и отдельными висцеральными системами также носят циклический характер. Особая роль в этом процессе принадлежит коре больших полушарий, где имеются афферентные представительства висцеральных систем, что доказывает возможность торможения или возбуждения вегетативных функций при посредстве корковых образований. Известно, что церебральные механизмы модулируют сенсорные входы путём торможения или облегчения сенсорной передачи от рецепторов к корковым уровням. При этом важную роль в механизмах центростремительного контроля сенсорных процессов играет ретикулярная формация ствола мозга. Так как в ретикулярной формации конвергируют очень много афферентов висцеральных систем, возможно, что её автономная активность тоже служит модулятором сенсорных входов [205].

Такие глубокие изменения корково-висцеральных взаимоотношений могут возникать только при генерации уникального и в чём-то парадоксального сочетания коркового и лимбического уровней, отражающего повышение активности коры при одновременном снижении уровня активности подкорковых систем, повышении перцептуальной осознанности и одновременном понижении эмоционального напряжения и стресса [358]. Методы БОС применимы к регуляции биоритмических физиологических процессов. Применение этих методик приводит к реорганизации механизмов регуляции ряда функций, поломке их патологических взаимосвязей (жёстких связей) и возникновению новых слабых связей между отдельными висцеральными системами. В период сеанса БОС появляются гибкие функциональные взаимоотношения между системами, на основе которых возникает новая стабильная интеграция висцеральных систем [226].

Согласно гипотезе о программировании действий, базальные ядра и лобная кора головного мозга являются составными частями петли обратной связи. Базальные ядра получают информацию от коры больших полушарий, затем передают сигналы через таламус в префронтальную, премоторную и моторную кору, а также в ствол мозга [419]. Действие базальных ганглиев на таламус моделируется двумя параллельными путями (“прямым” и “непрямым”), начинающимися в стриатуме, которые оказывают тормозное или возбуждающее действие на таламические ядра [183, 301, 414].

Эффективность БОС-регуляции, по-видимому, связана с возможностью прямого доступа к нейронным сетям неокортекса, а также с таким фундаментальным свойством мозга, как пластичность (показана причастность феномена посттетанической потенциации в гиппокампе к механизмам БОС-обучения) [369]. Биоуправление облегчает восстановление и поддержание гомеостаза на многих уровнях, включая баланс симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы, поддерживает межполушарную симметричность функциональной специализации структур головного мозга. БОС-терапия стабилизирует баланс между нервной и висцеральными системами, тем самым, влияя на физические, эмоциональные, интеллектуальные и социальные процессы, обеспечивая оптимальное использование всех возможностей индивида [31].

Технологии и методы биоуправления. С целью регуляции психофизиологического состояния организма принцип биологической обратной связи был впервые применён к так называемым произвольным реакциям – это частота сердечных сокращений, электрическая активность мозга, параметры электропроводности и температуры кожи [130, 270, 343, 347, 364, 377]. Было показано, что в результате таких тренировок человек, получая информацию об этих “произвольных” физиологических реакциях, может научиться их регулировать [304, 317]. Показано, что с помощью БОС можно достигнуть, например, произвольного повышения или понижения частоты сердечных сокращений, увеличить или уменьшить артериальное давление [103, 236].

Целевым параметром в причинно-следственной цепи физиологических регуляций с использованием принципа БОС может стать любое звено [256]. Так, замедление сердечного ритма может служить механизмом, обеспечивающим произвольное снижение артериального давления (АД), но это же замедление может стать и предметом саморегуляции, и тогда, наоборот, повышение давления (благодаря деятельности синокаротидных рецепторов) отражается на механизмах замедления ритма [130, 206, 279, 332].

Электроэнцефалографическое биоуправление основано на предъявлении пациенту собственных биоэлектрических потенциалов мозга для обучения их произвольной регуляции и контроля соответствующего доминирующему ритму психического состояния [107, 130, 206, 270, 321, 344]. Данный вид БОС чаще используется для подавления тета- ритма и выработки навыков управления альфа- и бета-ритмами, и успешно применяется для профилактики и лечения инсультов [130, 154, 367], но требует использования специальных технических устройств и уязвим к воздействию различного рода помех.

Метод кожно-температурного биоуправления заключается в измерении небольших флюктуаций температуры на поверхности кожи и предъявлении этой информации обследуемому, в основе лежит факт сужения кровеносных сосудов в состоянии возбуждения (особенно сосудов конечностей) и их расширения при релаксации [318], что применяется для обучения релаксации при лечении мигрени [282, 306].

В основе метода электрокожной обратной связи лежит регистрация электрической активности различных участков кожи. Может использоваться несколько видов параметров: кожно-гальваническая реакция, реакция кожной проводимости, реакция кожного сопротивления, уровень кожной проводимости или уровень кожного сопротивления [316, 376]. Данный метод применяется при релаксации в стрессовых ситуациях, а также для изменения уровня активации центральной нервной системы (ЦНС) [цит. по 130, 214].

Одним из используемых методов является электромиографическая БОС, когда усиленный потенциал мышцы или группы мышц предъявляется в виде

светового или звукового сигнала [66, 425, 438]. Имеются данные об эффективности применения данного вида биоуправления для коррекции плоскостопия и лечения сколиоза [147].

Большое распространение получили БОС-тренинги по кардиореспираторным показателям [22, 40, 317, 361, 362, 442, 446]. В основе их лежат особенности дыхательной системы, как системы наиболее податливой волевому контролю [183, 434]. При помощи электрических, механических или плевтизмографических датчиков регистрируется частота сердечных сокращений, которую, используя принцип БОС, обследуемый может произвольно увеличивать или уменьшать [130, 230]. Изучается возможность применения данного вида БОС для лечения сердечных аритмий [32, 237] и сердечной недостаточности [426].

Возможно использование и полимодальных параметров. Полифункциональная БОС является методикой, позволяющей научиться изменению порогов сенсорного восприятия, эмоциональных, болевых ощущений и другим субъективным перцептуальным сдвигам. На практике часто используется работа с электрофизиологическими эквивалентами нескольких параметров, например, одновременное управление электрическим сопротивлением и температурой кожи, или электромиограммой мышц головы и ритмами ЭЭГ [130, 261]. В качестве управляемых параметров релаксации с БОС используются в различных сочетаниях ритмы ЭЭГ, ритмы дыхания и сердечных сокращений, электрическое сопротивление кожи, параметры электромиограммы. Одним из аспектов многопараметрического биоуправления с прямым выходом в клинику является возможность достижения физиологических состояний, сходных с таковыми при прогрессивной мышечной релаксации, медитации, занятиях аутотренингом, йогой и подобными методиками. Во время сеансов комплексно паттернированной БОС отмечается значительное понижение многих физиологических показателей – ЧСС, АД, дыхания, мышечного тонуса, активности потовых желез, а также повышение температуры тела, увеличение альфа-ритма на ЭЭГ и

соответствующие колебания других характеристик метаболизма организма [103, 130, 306, 440].

Следует особо подчеркнуть, что биоуправление – это достаточно мощная технология, которая в настоящее время активно используется при лечении различных заболеваний. Например, показана очень высокая эффективность этой технологии и отсутствие побочных эффектов и осложнений при лечении и реабилитации больных, перенесших инсульты [80, 261, 264]. Хорошие результаты получены при лечении различного рода болей, аддикций, вегетативных дисфункций, амблиопии [60, 182, 231, 271].

Хорошие результаты получены при использовании биоуправления в спортивной медицине для тренировки состояния “пика формы” – сосредоточения и концентрации максимальных физических, интеллектуальных и эмоциональных качеств в точке исполнения, обеспечивающих достижение успеха в различных видах деятельности. Этого не всегда удаётся достичь обычными методами тренировки. Например, у спортсменов эта технология помогает повышать успешность соревновательной деятельности, тренировок, улучшать состояние эмоционально-мотивационной сферы, увеличивать рост спортивного мастерства. Также она может применяться для повышения качества труда операторов [61, 75, 96, 166, 234, 263, 291].

При возрастающих школьных нагрузках даже обладающий достаточно развитым интеллектом подросток может испытывать сложности при обучении, совершать большое количество ошибок и в итоге иметь значительно более скромные результаты учебной деятельности, чем мог бы при более успешной адаптации к учебной деятельности [60]. Помочь ученику эффективно социализироваться, адаптироваться в ситуации школьного обучения можно с помощью оздоровительных уроков с применением игрового биоуправления. В результате у подростков значительно повышается качество социальных взаимодействий, улучшается внимание, они становятся более адаптированными к школе [60, 84, 88]. Приводятся данные о том, что участие в тренинге игрового биоуправления, организованном по кардиоинтервалограмме, значительно

повышает способность к концентрации внимания, усидчивость, самооценку, мотивацию к обучению, снижает уровень тревожности [119].

БОС-тренинги могут быть использованы как нефармакологический метод коррекции работы мозга при обнаружении различного рода проблем, например, связанных с синдромом дефицита внимания [89, 136, 200]. Показано, что этот метод позволяет значительно улучшить состояние и поведение таких детей, облегчает их социализацию, повышает школьную успеваемость [61, 172, 235].

Кроме того, БОС-тренинг может также использоваться как технология биотехнической нейрокоммуникации, например, как интерфейсы мозг-компьютер для пациентов, не владеющих собственным мышечным аппаратом (системы зависимой от ЭЭГ буквопечати и управления инвалидным креслом) или оздоровительного брэинфитнеса для тренировки функциональных возможностей [53, 61, 112, 374].

Разработаны новые принципы биоуправляемой хронофизиотерапии [82]. Их суть заключается в восстановлении временной гармонии и устойчивости регуляторных систем организма. Методы биоуправляемой хронофизиотерапии отличаются от традиционных тем, что позволяют оперативно учитывать индивидуальные биоритмологические особенности пациента и дозировать физиотерапевтическое воздействие путем модуляции его интенсивности и синхронизации в такт с этими ритмами.

Успешность БОС-тренинга подразумевает количественную оценку сдвига регулируемого параметра в заданном направлении [51, 93, 183, 237]. В результате БОС-тренинга организм переходит на новый уровень оптимального функционирования. Оптимальное функционирование – психофизиологический феномен, формирующийся на основе biofeedback technology, обеспечивающий эффективное “перемещение” в любое состояние, требующее выполнения задания при непредсказуемом исходе, минимальном времени принятия альтернативного решения, гармоничном сочетании внутримозговой нейродинамики и поведенческого паттерна [270]. Показано, что о новом алгоритме функционирования регуляторных систем возможно судить только

после 3-4 сеанса БОС-тренинга [226], а оптимальное количество сеансов достигает 10-15 процедур и более.

Проводилась проверка гипотезы о зависимости успешности управления тонусом церебральных сосудов с биологической обратной связью от индивидуальных нейрофизиологических особенностей человека. Показано наличие межгрупповых различий по выраженности гипертимности, амплитуды дельта-активности и индекса мощности дельта- и альфа-ритмов, а также амплитуды волн когнитивных вызванных потенциалов. Сделано предположение об общности механизмов различных видов биоуправления с обратной связью, заключающихся в изменении уровня функциональных лимбических структур [93, 183].

Показано, что тип стратегии саморегуляции произвольных функций человека и его взаимосвязь с личностными особенностями человека является достаточно устойчивой характеристикой. Тем не менее, наблюдается положительная динамика саморегуляции в режиме биоуправления и результат, полученный в ходе тренинга, сохраняется длительное время [61, 159].

Перспективы развития методов биоуправления параметрами ритма сердца. Сердечный ритм, наряду с другими физиологическими показателями, характеризуется сложной конфигурацией variability, представленной различными частотными составляющими [49, 327]. Предположительно, данные ритмы относятся к числу систем, поддерживающих кардиоваскулярную активность и физиологическую адаптацию в целом [130, 361]. Ряд работ посвящён одному из колебательных механизмов в сердечном ритме, которым является респираторная синусовая аритмия – вариация ритма, сопровождающая дыхательный цикл (частота сердечных сокращений возрастает на вдохе и снижается на выдохе) [293, 361, 418]. Частота респираторно обусловленных колебаний в сердечном ритме представлена “высокочастотными” (0,15-0,4 Гц) и “низкочастотными” (0,05-0,15 Гц) компонентами.

Распространённым методическим подходом является использование показателя ритма сердца, в том числе и респираторной синусовой аритмии, как

информативного признака баланса между парасимпатическим и симпатическим тонусом. Считается, что сдвиги variability сердечного ритма могут служить не только ранними признаками риска развития кардиоваскулярных расстройств, но и критериями нервно-психического напряжения [130, 360, 432]. Таким образом, модификация ритма может быть ключом к управлению функциональным состоянием организма.

Проведенные рядом авторов исследования показали, что с помощью техники биоуправления можно добиваться увеличения респираторной синусовой аритмии, что позволяет перейти к таким типам дыхания, при которых возникает резонанс между ритмами, связанными с барорефлекторной деятельностью (“низкочастотные” колебания) и сердечными ритмами, связанными с дыханием (“высокочастотные” колебания или собственно респираторная синусовая аритмия), что приводит к увеличению интенсивности барорефлексов; одновременно увеличивается их эффективность и, следовательно, модуляция автономной активности [15, 450]. Есть мнение, что человек способен достигать наибольших амплитуд лишь на определённых заданных частотах в указанных пределах, с центром примерно 0,1 Гц (6 колебаний в минуту), при ритме дыхания около 6 раз в минуту [293]. Такая частота дыхания может запускать достаточно высокие амплитуды респираторной синусовой аритмии, что может достаточно легко достигаться путём БОС-тренинга [цит. по 130].

Дыхание – функция в значительной степени кортикализованная [49, 394]. Это проявляется в способности человека произвольно управлять дыхательными движениями, что создаёт уникальный вход во внутреннюю среду организма. Однако в том случае, когда произвольные изменения легочной вентиляции или её задержка оказываются несовместимыми с требованиями метаболизма, произвольные сокращения респираторных мышц и соответствующая сигнализация из их проприорецепторов создают императивный стимул, выводящий дыхание из-под поведенческого контроля. Оказалось, что этот защитный механизм включает активацию ряда структур ЦНС, в том числе

определённых зон коры и лимбической системы. Паттерн дыхания тесно связан с функциональным состоянием ЦНС. Управляя дыханием, удаётся воспроизводить релаксацию, либо готовность организма к активной деятельности. Управление в основных контурах дыхательной системы производится по отклонению регулируемых переменных от заданных значений. Сознательное регулирование акта дыхания осуществляется посредством высшего отдела нервной системы – коры больших полушарий головного мозга. Влияние коры больших полушарий мозга на дыхательные движения выражается в возможности произвольно прерывать (в известных пределах напряжения CO_2 в артериальной крови) дыхательные движения и изменять их характер [цит. по 183, 205].

Учитывая то, что дыхание сопряжено с деятельностью сердечно-сосудистой системы [305, 362], предложены различные виды биоуправления по дыхательной аритмии сердца [237, 379]. Так, для коррекции вегетативных дисфункций применён знакопеременный БОС-тренинг по кардиоинтервалограмме [8, 236]. После БОС-тренинга у студентов с высоко- и среднеадаптивными типами пластичности функций мозга отмечается повышение суммарной активности внутри- и межсистемного уровней управления сердечным ритмом по отношению к автономному – индекс централизации более единицы. У лиц с высоким уровнем пластичности функций головного мозга происходит активация внутрисистемных взаимоотношений вегетативной регуляции ритма сердца. Регистрировали также разные типы изменений мозгового кровотока после сеансов БОС-тренинга в зависимости от уровня пластичности функций головного мозга: у лиц с высоким уровнем пластичности функций мозга происходит увеличение притока крови в передних отделах головы, у лиц со средним уровнем пластичности – к затылочным отделам головы, а у лиц с низким уровнем пластичности не выявлено значимых изменений тонуса сосудов по данным реоэнцефалограммы [8].

Наилучший эффект и индивидуальная зависимость выявляются при использовании методики альтернативного биоуправления, ориентированного не просто на однонаправленное изменение текущей ЧСС, а на усиление или ослабление выраженности волн разного периода в кардиоинтервалограмме. В этом случае идёт направленная модификация отдельных контуров центральных механизмов регуляции ЧСС. Так как система регуляции ЧСС определяется совместно двумя отделами вегетативной нервной системы, то БОС-регуляция по кардиоинтервалам содержит информацию о смешанном эффекте симпатических и парасимпатических влияний. В обусловленные хронотропные изменения ЧСС обычно вовлекаются синергические действия симпатической и парасимпатической сердечной иннервации [цит. по 226]. Показано, что передние отделы правого полушария мозга доминируют в сердечно-сосудистой афферентации при произвольной регуляции ЧСС [62].

В работах же посвящённых ЭЭГ-биоуправлению были показаны обратные влияния на показатели автономной регуляции когнитивных функций. Так, у пациентов с генерализованной тревожностью после 8-12 сессий тренинга увеличения мощности альфа-волн с помощью нейробиоуправления кардиоинтервалы удлинялись, реактивность пульса на стресс снижалась [278, 408]. Этот эффект сопровождался снижением тревожности [408]. Биоуправление же, направленное на снижение альфа-мощности, не изменяло реактивности ритма сердца на стрессорные стимулы [408]. После проведения курса тренингов произвольного увеличения альфа-мощности ЭЭГ другими авторами [7, 19] было выявлено, что у здоровых испытуемых с исходно низкой частотой альфа-ритма ЭЭГ увеличивается уровень альфа-активности в состоянии покоя, улучшается выполнение когнитивных задач, снижается психоэмоциональное напряжение и увеличивается вариабельность сердечного ритма (ВСР). У лиц с исходно высокой частотой альфа-ритма его мощность в покое и характеристики когнитивной эффективности не изменяются после курса биоуправления, а показатели ВСР снижаются.

Установлено, что БОС-тренинг по частоте сердечных сокращений наиболее эффективен в отношении лиц с высокой личностной и ситуативной тревожностью [359]. Весьма распространён метод кардиотренинга с целью урежения ЧСС [44, 61, 195]. При этом изменения показателей ВСП свидетельствуют о разнонаправленных вариантах соотношения симпатических и парасимпатических звеньев вегетативной регуляции ритма сердца [310]. Акцент в таких работах делается в большей степени на социальный эффект биоуправления (успешность обучения, социальная адаптация), а не на результат направленного усиления вагусных либо симпатических влияний на ритм сердца. Показана значимость успешности биоуправления по ЧСС и по показателю общей мощности спектра ВСП от свойств темперамента (эмоциональность, тревожность, темп, пластичность) [132, 194].

Широко используется обратная связь по параметрам кардиоритма у лиц с артериальной гипертензией, где в качестве управляемого параметра применяется показатель соотношения частоты сердечных сокращений и дыхания. Установлено, что после данной немедикаментозной коррекции гипертензивных состояний оптимизируется соотношение ЧСС и дыхания, снижается артериальное давление и улучшается психоэмоциональный фон [181, 183, 375, 384, 392, 405, 437, 445].

Биоуправление по статистическим параметрам ВСП позволяет более целенаправленно отслеживать состояние вегетативного тонуса во время и после БОС-тренинга [356, 421]. Так, использовалась оценка эффективности кардиотренинга по среднеквадратичному отклонению кардиоинтервала, степени энтропии разности между исходным и регулируемым параметром. В результате такого тренинга наблюдалось уменьшение проявлений синдрома вегетативной дистонии, логоневроза, нарушений памяти и внимания [37]. При таком виде тренинга, несмотря на повышение общей мощности спектра ВСП, соотношение спектральных показателей свидетельствует о сохранении достаточно высокой симпатической активности [37]. По-видимому, оценка спектральных показателей ВСП при нестационарном процессе даёт

неоднозначные результаты в характеристике соотношения симпатических и парасимпатических механизмов.

Однократное проведение сеанса релаксации с биологической обратной связью по индексу напряжения регуляторных систем показало отчётливую тенденцию к повышению устойчивости обследуемых к эмоциональному стрессу. Разработанные личностные и психофизиологические критерии стрессустойчивости, положенные в основу выделения групп “гиперреакция” и “гипореакция”, позволяют определять индивидуальные показания к практическому использованию адаптивного биоуправления параметрами variability сердечного ритма и прогнозировать его эффективность [97, 130]. В целом, однократный сеанс биоуправления расценивается как тест для определения адаптивных возможностей человека [335, 402, 403].

Одни из основоположников метода биоуправления параметрами ритма сердца Paul Lehrer и Evgeny Vaschillo продемонстрировали эффективность управления параметрами variability ритма сердца (HRV biofeedback) с целью усиления суммарной мощности сердца, что отражало активизацию вагусных влияний на ритм сердца. При этом важно было с целью активизации барорефлексов добиться усиления низкочастотной (LF – low frequency) составляющей спектра ВСП, которая с физиологических позиций является отражением как вагусных, так и симпатических влияний на ритм сердца. Наиболее успешно такой эффект достигался при более медленном дыхании. В результате сеансов биоуправления наблюдалось улучшение параметров внешнего дыхания у здоровых добровольцев [361].

Использование метода биологической обратной связи на определённых частотах ВСП возможно для изучения выраженности барорефлекторных механизмов. При тренинге на урежение и учащение частоты сердечных сокращений самые высокие амплитуды колебаний были произведены в диапазоне 0,05-0,11 Гц для ЧСС и 0,02-0,05 Гц для АД. Они были расценены как резонансные частоты колебательных процессов сердечно-сосудистой системы. Метод биологической обратной связи также позволил авторам

определить количественные характеристики чувствительности барорефлекторной системы, в том числе при лечении лиц с бронхиальной астмой [362, 363, 434].

Вариабельность сердечного ритма может служить вегетативным индикатором саморегуляции когнитивных и психоэмоциональных процессов [287, 407], так отмечается снижение показателей ВСР при депрессивных состояниях [354] и повышение при когнитивных нагрузках [447]. Увеличение общей variability сердечного ритма с помощью биологической обратной связи благотворно действует на людей с депрессиями [353, 420], с мышечными болями различной локализации [337, 341], головной болью [284], психоэмоциональными расстройствами [119, 343, 388, 416, 427, 441]. Несмотря на наличие большой доказательной базы, подтверждающей эффективность биологической обратной связи по параметрам ритма сердца, остаются открытыми вопросы долговременности эффекта биоуправления, так как успешность биоуправления по параметрам ритма сердца и клиническое улучшение состояния пациента не всегда совпадают по времени [110, 442].

Показатель общей мощности спектра ВСР (Total Power) как управляемый параметр представляется перспективным для использования с целью усиления вагусных влияний на ритм сердца. Известно, что при коротких записях (5 минут) данный показатель имеет аналогичный стандартному отклонению кардиоинтервала физиологический смысл – усиление вагусной активности [17]. Показатель общей мощности спектра ВСР отражает в основном сумму колебаний высоко-, низко- и сверхнизкочастотных волн классических диапазонов и минимальную долю непериодических волн. В отличие от данного показателя временные параметры общей variability ритма сердца содержат большую долю непериодических волн, обусловленных нестационарностью процесса биоуправления. Поэтому общая мощность спектра ВСР при коротких записях представляется нам более объективной в плане оценки вагусных влияний на ритм сердца, особенно если при этом происходит снижение индекса напряжения регуляторных систем [17, 230].

При выполнении исследований, посвящённых определению эффективности метода адаптивного биоуправления, используется обычно следующая последовательность действий: определение значения первичного параметра, выполнение процедуры БОС-тренинга, направленной на его стабилизацию и/или улучшение, определение значения того же параметра после проведения курса процедур. Подобные методы контроля являются внепроцедурными, т.е. оценивают некоторые параметры до и после проведения процедуры или курса процедур. Перспективным направлением контроля качества БОС-тренинга является возможность оценки динамики неуправляемых параметров во время самой процедуры (внутрипроцедурный метод контроля). Предложенный метод биоуправления параметрами variability сердечного ритма [230] позволяет рассматривать не только клиническую эффективность БОС-тренинга, но и служить в качестве диагностического маркера для выявления патогенетических механизмов изменения управляемых и неуправляемых физиологических параметров в ходе процедуры биоуправления. В связи с этим, была предложена схема диагностики, основанная на анализе данных, получаемых в результате контроля эффективности процедуры биоуправления, что позволяет дать интегративную оценку вегетативной регуляции организма на уровне баланса периферических и центральных структур нервной регуляции сердечной деятельности.

В ходе исследований проводимых с использованием данного метода БОС-тренинга [230] были установлены различия в реактивности тонуса мозговых сосудов по данным реоэнцефалограммы у подростков с учётом климатогеографических условий проживания в Приполярном и Заполярном районах Европейского Севера [109]. Также учитывались факторы внутренней среды организма (иммунологический статус, уровень нейромедиаторов в крови) в успешности и системных эффектах биоуправления [131, 184, 186, 187]. Показана эффективность применения данного метода биоуправления у больных с артериальной гипертензией [188]. Перспективными видятся и дальнейшие исследования с использованием современных методов функциональной

нейровизуализации (ЭЭГ высокого разрешения, магнитоэнцефалография, позитронно-эмиссионная томография) с целью определения активационных зон в структурах головного мозга при различных уровнях успешности биоуправления параметрами ритма сердца.

Проанализированные литературные источники демонстрируют высокую эффективность применения методов адаптивного биоуправления, основанных на внешней обратной связи, которые дают возможность получать устойчивые изменения в деятельности различных систем организма, что в свою очередь открывает широкие перспективы использования БОС для профилактики функциональных нарушений, а также ряда психосоматических заболеваний, путём раскрытия и использования резервов организма.

Проведенный обзор литературы показал высокую актуальность изучения возрастного становления биоэлектрической активности головного мозга, вегетативных функций и центральной гемодинамики у подростков, с целью диагностики уровня морфофункциональной зрелости мозга и его отдельных систем, а также выявления нейрогуморальных факторов регуляции сердечно-сосудистой системы. В то же время, представленные сведения демонстрируют высокую лабильность функциональных показателей указанных систем организма, обусловленную как закономерными процессами роста и взросления подростков, так и возможными влияниями климатоэкологических и социально-экономических условий их проживания. Однако, в большинстве случаев, литературные источники ограничиваются определением внутренних или внешних факторов среды влияющих на становление какой-либо одной из указанных систем организма. Накопленный фактический материал не даёт полного представления о возможных механизмах нейровегетативной регуляции сердечной деятельности у подростков, о роли фонового тиреоидного статуса и вегетативного тонуса в становлении функциональной активности их мозга. Ещё более ограничены сведения о взаимодействии этих систем в растущем организме подростков, проживающих в дискомфортных условиях Арктических

территорий России, а сравнительных трансширотных северных исследований по данной теме в доступной литературе не найдено. Очевидна необходимость разработки унифицированных нормативных критериев ЭЭГ, показателей центральной гемодинамики и вегетативной регуляции сердечной деятельности, приуроченных как к определённым возрастным периодам юношества, так и к климатоэкологическим условиям проживания лиц в Приполярных и Заполярных районах Европейского Севера.

Несмотря на достаточный объём литературных данных о применении методов адаптивного биоуправления у лиц с различными видами патологии, практически не представлены работы демонстрирующие возможности использования данных методик в качестве скрининга для оценки функциональных резервов вегетативной регуляции и особенностей электрогенеза различных областей головного мозга у молодых практически здоровых лиц. Эти сведения важны как нормативные для сравнения с изменениями нейровегетативной регуляции в ходе БОС-тренингов у лиц с нарушенным гомеостазом – синдромом вегетативной дистонии, артериальной гипертензией. Сведений о влиянии эндокринного профиля на эффективность биоуправления параметрами ритма сердца в доступной литературе не представлено. Кроме того, отсутствуют данные о динамике нейрофизиологических реакций при подобных кардиотренингах у молодых лиц, проживающих в различных климатоэкологических условиях Севера. Таким образом, очевидны теоретические предпосылки для проведения настоящего исследования.

Глава 2. ОРГАНИЗАЦИЯ, ОБЪЁМ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведено рандомизированное поперечное (на 1 и 2 этапах) и продольное (на 3 этапе) контролируемое исследование, выполненное в осенние периоды (сентябрь-октябрь) в течение 5 лет с 2009 по 2013 г.г. В комплексном обследовании принимали участие 426 практически здоровых подростка обоих полов в возрасте от 14 до 17 лет, родившихся и постоянно проживающих в районах разных географических широт и климатических условий Европейского Севера России [221, 262]. К району приполярных широт относили север Архангельской области (Приморский район: посёлки Рикасиха, Маймакса – 64°30' с.ш.), к району заполярных широт относили Ненецкий автономный округ (Заполярный район: национальные посёлки Ома – 66°40' с.ш., Нижняя Пёша – 66°45' с.ш., Индига – 67°40' с.ш., Красное – 67°50' с.ш.). Продолжительность светового дня в сентябре-октябре на указанных географических широтах была сопоставима и отличалась на 10-15 минут [245].

Испытуемых лиц выбирали на добровольной основе, критерием исключения при первичном отборе служило наличие в анамнезе травм головного мозга, хронических (неврологических и эндокринных) или недавно перенесённых острых заболеваний. Исследования проводили с соблюдением этических норм, изложенных в Хельсинкской декларации и Директивах Европейского сообщества (8/609ЕС). От всех подростков и их родителей было получено письменное информированное согласие на участие в исследовании, одобренном Комиссией по биомедицинской этике Института физиологии природных адаптации УрО РАН (ИФПА УрО РАН).

Обследованные подростки относились к I-II группе здоровья [56], особых различий в социально-экономическом положении обследованных лиц в указанных районах не выявлено, все подростки являлись сельскими жителями. В определении уровня здоровья, физического и полового развития принимали участие автор настоящей диссертационной работы и врач, д.б.н., доцент Поскотинова Л. В. Предварительный анализ выборок не выявил выраженных половых различий изучаемых показателей, что позволило объединить данные

лиц мужского (♂) и женского (♀) пола. Возрастное разделение подростков осуществляли с учётом статистического возраста обследуемых [56] (табл. 1).

Таблица 1

Количество обследованных подростков в каждой возрастной группе Приполярного и Заполярного районов Европейского Севера

Район \ Возраст	14 лет	15 лет	16 лет	17 лет	Всего
Приполярный	52 ♂29; ♀23	57 ♂27; ♀30	80 ♂33; ♀47	71 ♂26; ♀45	260 ♂115; ♀145
Заполярный	47 ♂23; ♀24	51 ♂27; ♀24	36 ♂16; ♀20	32 ♂17; ♀15	166 ♂83; ♀83

Исследования проводили на базе поселковых школ и лечебных учреждений. При первичном отборе у подростков были определены основные антропометрические показатели – длина и масса тела по унифицированной методике [56]. После оценки степени физического развития центильным методом для каждой возрастной группы [56, 180] выявлено, что в выборке обследованных подростков Приполярного района 6 % лиц с уровнем выше среднего, 78 % со средним уровнем и 16 % с уровнем ниже среднего; у подростков Заполярного района доля лиц с уровнем выше среднего составила также 6 %, со средним уровнем 57 % и с уровнем ниже среднего 37 %. Расчёт индекса массы тела (ИМТ, индекс Кетле), отображающего степень недостаточности или избытка веса, производился по формуле: $ИМТ = \text{масса тела (кг)} / \text{длина тела}^2 \text{ (м)}$. В норме ИМТ равен 17-26 кг/м² [48]. Среди обследованных подростков Приполярного района выявлено 4,6 % лиц с увеличенным ИМТ и 4 % со сниженным, у подростков Заполярного района доля лиц с увеличенным ИМТ составила 9 % и со сниженным 5,4 %. Стадию полового развития (СПР) оценивали по балловой формуле полового созревания Tanner J. [429] путём определения степени выраженности вторичных половых признаков и развития половых органов. В обследовании принимали участие подростки, вошедшие в период пубертата (II-VI стадии полового развития).

На первом этапе исследования определяли фоновые показатели биоэлектрической активности головного мозга, вариабельности сердечного ритма, центральной гемодинамики, полиграфические показатели вегетативной регуляции, а также уровни тиреоидных гормонов в сыворотке крови у подростков, проживающих на приполярных и заполярных территориях Европейского Севера. Типизацию групп при обработке результатов проводили в зависимости от района проживания, возраста, вегетативного и тиреоидного статуса. Всего на данном этапе обследовано 426 подростков, проведено около 3000 исследований, проанализировано около 20000 различных показателей.

Биоэлектрическую активность головного мозга оценивали в комфортной, привычной для испытуемых обстановке в период с 9 до 14 часов. Перед исследованием проводили опрос для исключения лиц с возможными нарушениями режима труда и отдыха, наличием социально обусловленных стрессовых состояний (напряжения, дискомфорта или утомления). В виде рекомендации испытуемым давалась установка на поддержание состояния спокойствия и расслабленности с целью возможной унификации их психологического состояния. Электроэнцефалограмму (ЭЭГ) регистрировали сидя, в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами при помощи электроэнцефалографа-анализатора 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” в полосе 1-35 Гц. При оценке ЭЭГ каждого испытуемого, выделяли безартефактные отрезки записи длительностью 60 секунд на каждом этапе исследования, спектр анализировали по дельта- (1,6-3,9 Гц), тета- (4-6,9 Гц), альфа- (7-12,9 Гц), бета₁- (13-24 Гц) диапазонам.

Для количественной оценки спектра ЭЭГ в каждом частотном диапазоне проводили усреднённую для каждого испытуемого оценку максимальной амплитуды (мкВ), индекса (%), абсолютных значений мощностей (мкВ²), доминирующих частот, реакции усвоения ритмов фотостимуляции в диапазоне частот 4-22 Гц с вариантами гармоник первого и второго порядка. Исходя из

того, что ЭЭГ является полиритмическим процессом – в один и тот же отрезок времени записи может отмечаться наложение волн более высокой частоты на волны более низкой. Для расчёта временного индекса выраженности использовали выделение полуволн каждого частотного диапазона из полиморфного сигнала ЭЭГ, включающего в себя суперпозицию волн различных ритмов, и вычисляли процент времени присутствия волн заданного диапазона ЭЭГ за период времени эпохи анализа.

Одновременно с регистрацией ЭЭГ проводили оценку вариабельности сердечного ритма (BCP) при помощи кардиоинтервалографического исследования с использованием аппаратно-программного комплекса “Варикард” (“Рамена”, г. Рязань), состоящего из автономного прибора и специализированного программного обеспечения, совместимого с персональным компьютером. Система предусматривала автоматическую обработку замеров длительности RR-интервалов электрокардиограммы во втором стандартном отведении с расчётом показателей BCP.

Оценку состояния вегетативной нервной системы осуществляли по показателям BCP. В данной работе в качестве статистической характеристики динамического ряда кардиоинтервалов использовали индекс напряжения регуляторных систем (Stress Index – SI, усл. ед.), рассчитанный по формуле: $SI = AMo / 2Mo \times MxDMn$, где $AMo\%$ – амплитуда моды, Mo – мода, $MxDMn$ – вариационный размах значений RR в динамическом ряду как показатель активности симпатического звена вегетативной регуляции. Индекс напряжения регуляторных систем отражает степень централизации управления сердечным ритмом. Чем меньше величина SI, тем больше активность парасимпатического отдела и автономного контура. Чем больше величина SI, тем выше активность симпатического отдела и степень централизации управления ритмом [17].

При спектральном анализе колебаний длительности кардиоинтервалов после выполнения быстрого преобразования Фурье оценивали общую мощность спектра колебаний длительности кардиоинтервалов (Total Power – TP, ms^2), как показатель преобладания парасимпатических влияний на ритм

сердца при коротких записях. Известно, что при коротких записях (5 минут) показатель общей мощности спектра ВСР является аналогом стандартного квадратического отклонения величины кардиоинтервала (SDNN), который по существу отражает не только суммарный эффект вегетативной регуляции, но и степень вагусных влияний на ритм сердца [17].

В качестве дополнительных методов оценки функционального состояния вегетативной нервной системы использовали регистрацию некоторых полиграфических показателей. Регистрацию спонтанной кожно-гальванической реакции (СКГР) проводили одновременно с записью ЭЭГ на ЭЭГА-21/26 “Энцефалан-131-03” при помощи двух стандартных электродов закрепленных на предварительно обезжиренную ладонную поверхность дистальных фаланг указательного и среднего пальцев руки испытуемого. При анализе СКГР учитывали динамическое изменение её амплитуды (мВ). Фиксацию артериального давления (АД, мм рт. ст.) и частоты сердечных сокращений (ЧСС, уд / мин) производили в конце каждого этапа исследования трёхкратно с последующим усреднением показателей при помощи метрологически аттестованного автоматического измерителя артериального давления (тонометра) “A&D Medical” (модель UA-668, Япония). Уровень фонового АД определяли по центильным таблицам, рекомендованным Ассоциацией детских кардиологов России в соответствии с возрастом, полом и длиной тела (Москва, 2009) [5, 56]. Констатация систолического или диастолического АД на уровнях, превышающих границу 90 центиля для данного возраста, пола и длины тела расценивалась как пограничная артериальная гипертензия. Оценку фоновой ЧСС проводили по центильным таблицам, ориентируясь на статистические нормативные данные [56].

В день проведения электрофизиологических исследований, до их начала, у подростков забирали кровь: натошак, из локтевой вены с 8 до 9 часов утра, центрифугировали, отбирали и замораживали сыворотку для дальнейших исследований. В сыворотке крови определяли уровни тиреотропина (ТТГ), гормонов щитовидной железы (тироксин – Т₄, трийодтиронин – Т₃). Гормоны

определяли в лаборатории иммунологии ИФПА УрО РАН (зав. лаб., д.м.н. Лютфалиева Г. Т.) на автоматическом иммуноферментном анализаторе “Evolis” фирмы “Bio-Rad” (Германия), коммерческими наборами “Monobind” (США). Использовали диапазоны колебаний гормональных показателей для исследуемой возрастной группы согласно инструкциям к наборам для иммуноферментного анализа гормонов: ТТГ – 0,28–6,82 мМЕ/л; Т₄ – 2,8–13,2 нг/мл; Т₃ – 0,19–2,18 нг/мл.

На втором этапе исследования определяли показатели биоэлектрической активности головного мозга, вариабельности сердечного ритма, центральной гемодинамики и полиграфические показатели вегетативной регуляции в динамике однократного сеанса биоуправления параметрами ВСР у подростков проживающих на обследуемых территориях. На данном этапе типизацию групп при обработке результатов проводили в зависимости от района проживания, возраста, исходного вегетативного тонуса, динамики альфа-активности ЭЭГ в ходе проведения кардиотренинга и успешности выполнения данной процедуры. Всего на данном этапе обследовано 346 подростков, проведено более 3700 исследований, проанализировано более 43000 различных показателей.

Сеансы биологической обратной связи (БОС) проводили по авторской методике Поскотиновой Л. В., Семёнова Ю. Н. – патент на изобретение № 2317771 [230]. 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) [17] в виде линейного графика и цифровых показателей (рис. 1).

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 (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.



Рис. 1. Пример успешного БОС-тренинга: повышение общей мощности спектра ВСР, изменение амплитуды и частоты волн кардиоинтервалограммы.

Схема сеанса включала четыре этапа:

1) 5-минутная запись ЭЭГ с закрытыми глазами (регистрация фона, реакция активации и ритмическая фотостимуляция) с одновременной регистрацией параметров ВСР;

2) 5-минутная процедура БОС проводимая с открытыми глазами по вышеописанной методике [230] без регистрации ЭЭГ;

3) регистрация реакции последствия (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 (заклучительный фон).

На этапе обработки результатов, успешность выполнения процедуры биоуправления оценивали по динамике показателей variability сердечного ритма: общей мощности спектра (TP) и индекса напряжения регуляторных систем (SI). Если происходило увеличение активности парасимпатической части вегетативной регуляции (увеличение TP и снижение SI), то констатировали успешно выполненную процедуру и сохранность функциональных резервов вегетативной регуляции ритма сердца. Если такового увеличения не происходило или симпатическая активность становилась доминирующей, то выполненную процедуру признавали неуспешной и фиксировали снижение функциональных резервов вегетативной регуляции ритма сердца [183].

В качестве **группы контроля** выступили 40 подростков 16-17 лет из Приморского района Архангельской области. Схема исследования включала также четыре этапа, но вместо проведения БОС-тренинга (2 этап) обследуемые лица в течение 5 минут находились в состоянии спокойного бодрствования с открытыми глазами. При этом обследуемый подросток не получал никакой информации об изменении параметров собственного организма.

На третьем этапе исследования определяли показатели биоэлектрической активности головного мозга, variability сердечного ритма и центральной гемодинамики при выполнении курса сеансов биоуправления параметрами ВСР у подростков с различным исходным вегетативным тонусом. С каждым подростком было проведено 10 сеансов БОС-тренинга по вышеописанной методике [230], сеансы проводили в течение 2 недель, ежедневно, кроме выходных дней. Для контроля эффективности адаптивного биоуправления во время первого и последнего сеанса проводили оценку биоэлектрической активности головного мозга. Всего на данном этапе

обследовано 57 подростков, проведено более 3700 исследований, проанализировано около 21000 различных показателей (табл. 2).

Таблица 2

Программа и количественные показатели диссертационного исследования

Вид исследования (методика)	Количество обследованных лиц	Количество показателей одного исследования	Общее число показателей
<i>1 этап – определение фоновых показателей</i>			
Электроэнцефалография	426	36	15 336
Определение параметров ВСР	426	3	1 278
Кожно-гальваническая реакция	260	1	260
Артериальное давление	426	2	852
Определение уровней гормонов	175	3	525
Антропометрия и оценка СПР	426	4	1 704
<i>2 этап – определение показателей при однократном сеансе БОС (3 этапа)</i>			
Электроэнцефалография	346	108	37 368
Определение параметров ВСР	346	9	3 114
Кожно-гальваническая реакция	201	3	603
Артериальное давление	346	6	2 076
<i>3 этап – определение показателей при курсе сеансов БОС (3 этапа, 10 сеансов)</i>			
Электроэнцефалография	57	216 (за 2 сеанса)	12 312
Определение параметров ВСР	57	90	5 130
Артериальное давление	57	60	3 420
<i>Итого:</i>		541	83 978

Статистическую обработку полученных результатов проводили с использованием компьютерного пакета прикладных программ Statistica v. 6.0 (StatSoft Inc., США). Оценку переменных на нормальность распределения проводили с помощью описательной статистики (асимметрия, эксцесс), а также

критерия Shapiro-Wilk ($n < 50$). Результаты описательной статистики для выборок, подчиняющихся закону нормального распределения, представляли в виде средних значений (M) и стандартных отклонений (SD), а для выборок, не подчиняющихся закону нормального распределения – в виде медианы (Me), нижнего и верхнего квартилей (25-75 перцентилей).

В случаях нормального распределения переменных использовали однофакторный анализ – Student's t-test для зависимых выборок с поправкой Bonferroni. В случаях несоответствия закону нормального распределения использовали непараметрические критерии: Wilcoxon для двух зависимых выборок, Mann-Whitney и критерий χ^2 (сравнение процентных долей) для двух независимых групп, Kruskal-Wallis для нескольких независимых групп [249].

Корреляционный анализ параметров проводили с учётом ранговой корреляции по Spearman (r_s). Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез принимали за $p < 0,05$. Множественный регрессионный анализ проводили методом пошагового включения предикторов. Предикторами выступали эндокринные параметры, а зависимыми величинами – показатели ЭЭГ. Регрессия имела вид: $y = Intercept + B_1x_1 + B_2x_2 + B_3x_3$, где y – зависимая переменная (показатель ЭЭГ); x – независимая переменная, предиктор (уровень гормона в крови); B – коэффициент уравнения регрессии; *Intercept* – свободная величина. Принимали к рассмотрению регрессионные модели, в результате построения которых распределение остатков соответствовало распределению Гаусса. Учитывали регрессионные уравнения, в которых статистически значимы само уравнение (F -критерий $< 0,05$) и его коэффициенты “ B ” ($p < 0,050-0,001$).

Сбор и дальнейшее использование первичного материала в рамках данной работы проводили совместно с сотрудниками лаборатории биоритмологии ИФПА УрО РАН – зав. лаб., д.б.н., доцентом Поскотиновой Л. В. и с.н.с., к.б.н. Кривоноговой Е. В.

Глава 3. ОСОБЕННОСТИ ФОНОВОГО НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА У ПОДРОСТКОВ ПРИПОЛЯРНЫХ И ЗАПОЛЯРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА

3.1. Возрастные и широтные особенности становления вегетативных функций у подростков, проживающих на северных территориях

Климатоэкологические особенности региона проживания оказывают существенное влияние на возрастное развитие подростков [163]. По совокупности климатических характеристик и с учётом общебиологического действия природных и антропогенных факторов, их сочетания и степени выраженности, территории Арктики в целом могут быть отнесены к зоне дискомфортных районов с элементами выраженной экстремальности по ряду параметров [262]. Особые географические, жёсткие климатические и сложные социально-бытовые условия Арктических территорий вызывают напряжение адаптационных механизмов [79, 162, 222, 243]. Известно, что комплексное воздействие этих неблагоприятных факторов в условиях высоких широт способствует увеличению функциональных нагрузок на организм и формированию у детей и подростков ряда достаточно устойчивых факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний, которые можно обнаружить в целом у 86 % детского населения, а с возрастом распространённость факторов риска ещё больше увеличивается [244]. Одними из наиболее распространённых форм сердечно-сосудистой патологии на Севере являются нарушения вегетативных функций и тесно связанные с ними расстройства сосудистого тонуса и регуляции кровообращения [94, 183]. Рядом исследований было показано, что возникновению артериальной гипертонии у детей и подростков предшествует длительный период вегетативной дистонии по гипертоническому типу [12, 102, 158, 179]. В работах по изучению вегетативной реактивности у подростков, проживающих в более южных районах Архангельской области (61-64° с.ш.) выявлено, что при увеличении географической широты и нарастании уровня дискомфорта природно-климатических условий Севера происходит

усиление симпатической реактивности как в покое, так и при функциональных нагрузках за счёт подкорковых механизмов вегетативной регуляции и барорефлекторных механизмов [183].

Представило интерес провести сравнительные трансширотные исследования по изучению особенностей возрастного становления вегетативной регуляции сердечной деятельности и функционирования центральной гемодинамики у подростков 14-17 лет, проживающих на Арктических территориях России, в Приполярных и Заполярных её районах.

У обследованных подростков в обоих рассматриваемых районах выявлено возрастное повышение артериального давления от 14 к 17 годам (табл. 3). Наиболее отчётливо отмечается повышение диастолического давления (ДАД) в выборке 16-летних подростков Приполярного района ($p = 0,004$), а также повышение систолического (САД) и диастолического давления в выборках 15 и 17-летних подростков Заполярного района ($p = 0,034-0,001$). При этом у 15-летних подростков Заполярного района САД значимо выше ($p = 0,008$), чем у их сверстников из Приполярного района.

Возрастная динамика ЧСС характеризовалась большей вариабельностью, так отмечено значимое снижение данного показателя у 15-летних подростков Приполярного района ($p = 0,025$) и у 16-летних подростков Заполярного ($p = 0,006$). При этом у 15-летних подростков Заполярного района ЧСС была значимо выше ($p = 0,032$), а у 16-летних ниже ($p = 0,044$), чем у сверстников из Приполярного района.

В возрастной динамике изучаемых показателей вариабельности сердечного ритма не было отмечено статистически значимых изменений. Так, значения индекса напряжения регуляторных систем (SI) имели тенденцию к снижению от 14 к 16 годам у обследованных подростков обоих северных районов, а у 15-летних подростков Заполярного района SI был значимо выше ($p = 0,028$), чем у сверстников из Приполярного. Значения общей мощности спектра ВСР (TP) были наименьшими также у 15-летних подростков Заполярного района ($p = 0,035$).

Показатели центральной гемодинамики и вариабельности сердечного ритма в различных возрастных группах подростков Приполярного (ПР) и Заполярного (ЗР) северных районов *Me* (25-75 перцентили)

Показатель	Район	14 лет	15 лет	16 лет	17 лет
САД, мм рт.ст.	ПР	110,5 (108,0-118,8)	109,0 (106,0-116,0)	112,0 (108,8-121,0)	117,0 (109,5-122,0)
	ЗР	111,0 (106,0-117,5)	117,5 ^{×××,##} (111,8-127,3)	114,0 (110,0-122,0)	119,0 [×] (112,0-128,0)
ДАД, мм рт.ст.	ПР	74,5 (69,3-78,0)	75,0 (70,0-79,0)	78,0 ^{××} (73,0-84,0)	80,0 (74,0-84,0)
	ЗР	74,0 (69,5-80,5)	78,0 ^{××} (75,0-82,0)	77,0 (72,8-81,3)	81,0 [×] (76,0-86,0)
ЧСС, уд / мин	ПР	78,5 (73,8-87,5)	73,0 [×] (67,0-81,0)	76,0 (69,0-87,0)	76,0 (69,0-83,0)
	ЗР	76,0 (71,5-83,0)	78,0 [#] (73,0-83,5)	71,0 ^{××,##} (66,5-80,0)	76,0 (68,5-81,0)
SI, усл. ед.	ПР	125,0 (72,3-169,0)	89,5 (51,0-147,3)	91,0 (53,0-123,0)	91,0 (55,0-148,0)
	ЗР	130,0 (68,0-192,5)	121,0 [#] (72,0-210,8)	104,0 (55,8-172,3)	112,0 (58,0-156,5)
TP, мс ²	ПР	2059 (1444-3317)	2783 (2008-4628)	2493 (1466-4144)	2514 (1358-3688)
	ЗР	1991 (1296-2975)	2072 [#] (1473-3170)	1913 (1375-3485)	2093 (1333-3716)

Примечание. Статистически значимое отличие между возрастными группами (в сравнении с предыдущей) в одном районе проживания: × – $p < 0,05$; ×× – $p < 0,01$; ××× – $p < 0,001$; # – между выборками Приполярного и Заполярного районов соответствующей возрастной группы.

Результаты нашей работы показывают, что наибольшие адренергические влияния на сердечно-сосудистую систему наблюдаются у 15-летних подростков Заполярного района, когда за счёт активации положительных хронотропных механизмов сердечной регуляции отмечены более высокие, в сравнении со

сверстниками из Приполярного района, значения САД, ЧСС и SI, а также более низкие значения TP. Достоверное увеличение величины данных показателей может свидетельствовать об усилении симпатических влияний в период нейрогормональной перестройки организма. Доказано, что роль симпатической регуляции сердечно-сосудистой системы повышается в период бурного роста организма, в период формирования симпатoadреналовой системы [77].

Другими авторами показано, что у детей при переходе из одной возрастной группы в другую, происходят сложные структурные перестройки внутри спектров кардиоритма, ритмов дыхания и артериального давления, даже в том случае, когда общая мощность спектра остаётся неизменной [143, 148, 183]. В подростковый период (от 11 к 16 годам) происходит закономерное изменение общей выраженности вегетативных регуляторных влияний на сердечную деятельность. Если в 11 лет на возбудимость миокарда у детей влияет в основном сегментарный уровень вегетативной регуляции, то в период активного полового созревания функция возбудимости регулируется надсегментарным уровнем [183]. После завершения пубертатного периода, регуляция возбудимости миокарда становится более сложной и характеризуется сочетанными влияниями сегментарного и надсегментарного уровней вегетативной нервной системы, а однозначного ведущего механизма регуляторных влияний на ритм сердца не выявляется [123, 247]. Полученные данные позволяют авторам утверждать, что с возрастом у детей и подростков усиливается степень активации высших вегетативных центров и систем, ответственных за адаптацию [183].

Одним из важных направлений в диагностике вегетативных дистоний является выявление групп риска по артериальной гипертензии. У обследованных подростков в обоих районах исследования выявлено отчётливое возрастное повышение артериального давления. Артериальная гипертензия является одним из наиболее распространённых неинфекционных заболеваний, а её манифестация часто происходит в подростковом возрасте [4, 160, 198]. Гипертоническая болезнь по современным представлениям имеет сложный

патогенез, включающий в себя нарушение функции центральной и вегетативной нервной системы, приводящей к дизрегуляции вазомоторного центра и сердечно-сосудистой системы. Несмотря на то, что ВСД рассматривается как прогностически благоприятное функциональное заболевание, тем не менее, существует риск перехода её в гипертоническую болезнь [81]. К клинико-патогенетическим особенностям пограничной артериальной гипертонии относятся основные симптомы вегетососудистой дистонии симпатической направленности (тахикардия, лабильность АД, гиперинсулинемия) [54, 118]. Таким образом, вопрос о дифференциальной диагностике ранней стадии артериальной гипертонии остаётся актуальным.

Оценка распределения по центильным точкам нормативов артериального давления у обследованных подростков обоих северных районов показала отчётливое возрастное увеличение процентных долей лиц с уровнем АД превышающим границу 90 центиля (табл. 4), что в целом соотносится с динамикой возрастного повышения значений медиан данного показателя. Наибольшая доля лиц с превышением границы 90 центиля отмечена у подростков из обоих районов для ДАД – от 22,7-34 % в 14-летнем возрасте до 63 % к 17 годам, при этом превышение САД у 17-летних подростков достигало 19,2-40,7 %. Доля лиц с превышением САД была значимо выше во всех возрастных группах Заполярного района ($p = 0,024-0,001$), особенно в группе 15-летних подростков, где также выявлена значимо более высокая доля лиц с превышением ДАД ($p = 0,037$).

Распределение по центильным точкам статистических нормативных данных ЧСС демонстрирует, что в целом значения этого показателя у обследованных подростков попадают в область средних величин. Превышение границы 90 центиля достигало от 6,4 до 18,2 % у подростков 14-летнего возраста. Значимо более высокая доля лиц с превышением ЧСС отмечена вновь у 15-летних подростков Заполярного района ($p = 0,005$), при этом стоит отметить, что при распределении их сверстников из Приполярного района в область 10-го центиля попало 35,3 % лиц (при норме до 15 %).

Распределение процентных долей лиц по центильным точкам нормативов артериального давления и частоты сердечных сокращений в различных возрастных группах подростков, проживающих в Приполярном (ПР) и Заполярном (ЗР) северных районах

Показатель	Район	Возраст, лет	n, чел.	Центили			
				10	25-75	90	> 90
САД, %	ПР	14	52	–	91,0	9,0	–
		15	57	5,8	76,6	17,6	–
		16	80	4,2	73,9	12,7	9,2
		17	71	2,0	68,7	10,1	19,2
	ЗР	14	47	2,0	74,6	14,9	8,5 [#]
		15	51	–	60,7	14,3	25,0 ^{###}
		16	36	–	66,5	11,0	22,5 [#]
		17	32	–	44,5	14,8	40,7 [#]
ДАД, %	ПР	14	52	–	41,0	36,3	22,7
		15	57	–	47,0	23,5	29,5
		16	80	–	26,9	24,4	48,7
		17	71	–	15,2	22,2	62,6
	ЗР	14	47	–	40,4	25,6	34,0
		15	51	–	19,6	28,6	51,8 [#]
		16	36	–	22,1	30,6	47,3
		17	32	–	18,5	18,5	63,0
ЧСС, %	ПР	14	52	9,0	59,0	13,8	18,2
		15	57	35,3	64,7	–	–
		16	80	4,2	68,9	12,6	14,3
		17	71	8,0	73,7	7,0	11,3
	ЗР	14	47	12,8	72,3	8,5	6,4
		15	51	–	76,8	8,9	14,3 ^{##}
		16	36	11,0	64,0	16,7	8,3
		17	32	7,4	88,9	3,7	–

Примечание. Статистически значимое отличие между выборками Приполярного и Заполярного районов соответствующей возрастной группы: # – $p < 0,05$; ## – $p < 0,01$; ### – $p < 0,001$.

При оценке уровня артериального давления принято руководствоваться Национальными рекомендациями по диагностике, лечению и профилактике артериальной гипертензии у детей и подростков [5], которые предлагают использовать термин “высокое нормальное АД” (или “пограничная артериальная гипертензия”) для величин АД между 90-м и 95-м центилями. Дети и подростки с таким артериальным давлением составляют группу риска и нуждаются в диспансерном наблюдении, им рекомендуется немедикаментозное лечение. Соответственно, доля детей и подростков в условно-нормальной популяции, попадающих в диапазон выше 90-го центиля, должна составлять не более 10 %. В зарубежных скрининговых исследованиях в последнее время выявлено возрастание данного показателя в подростковой популяции до 20-25 % [355, 378], а в отечественных – до 30-50 %, при этом доля подростков с гипертензией достигает 3-7 % во всех возрастных группах [64, 179]. Опыт отечественных и зарубежных исследователей показывает, что факторами риска для развития артериальной гипертензии, в т.ч. юношеской, считаются высокие информационные нагрузки, характеризующие процесс обучения на современном этапе, особенно в сочетании с гиподинамией [4, 179, 198, 277, 294, 424].

Данные факты позволяют предположить, что 15-летний возраст является наиболее чувствительным, когда уровень артериального давления у подростков Заполярного района наиболее тесно связан с уровнем симпатической активности, определяемой по спектральным показателям ВСР. Дальнейшее повышение АД к 16-17 годам, сопровождаемое снижением ЧСС и некоторым снижением симпатической активности, может отражать как закономерное возрастное изменение активности инотропных и хронотропных механизмов сердечно-сосудистой регуляции, так и отражать нарушения барорефлекторных механизмов, формирующих состояние предгипертензии у подростков [179].

Выявленное в нашем исследовании возрастное повышение артериального давления может также в значительной мере объясняться наличием так называемого трекинга, т.е. сохранения повышенного уровня АД в последующие

годы. Большинство авторов признают его наличие, но отмечают снижение стабильности уровня артериального давления с увеличением срока наблюдения. Нельзя не согласиться с тем, что для молодого возраста стабильная артериальная гипертензия не характерна, но у детей и подростков, имеющих АД выше среднего уровня, с возрастом сохраняется тенденция к наличию повышенных его уровней [4, 198].

Мультифакторный характер артериальной гипертензии общепризнан, но продолжается поиск её маркеров. Среди причин повышения артериального давления выделяют как средовые, так и генетические факторы, связанные с особенностями метаболизма, но эти причины составляют менее 50 % вариаций [4, 54]. Показано, что хроническое психоэмоциональное напряжение, вызванное проблемами в семье, в школе или иными причинами, часто приводит к развитию гипертензии [179]. В таких условиях, даже при отсутствии клинических проявлений соматических заболеваний, часто регистрируется повышение уровня АД до верхней границы нормы, при этом анализ ВСП позволяет обнаружить усиление симпатической активности [116, 368]. При генетической предрасположенности к гипертензии (наличие хотя бы одного родителя с данным заболеванием) состояние вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы подростка характеризуется такими же изменениями спектральных показателей ВСП по сравнению с потомством здоровых родителей [179, 315].

Таким образом, выявлена специфика возрастного формирования вегетативной регуляции сердечной деятельности у подростков 14-17 лет, проживающих в условиях Арктических территорий. У обследованных подростков в обоих районах исследования выявлено отчётливое возрастное повышение артериального давления. Доля лиц с пограничной артериальной гипертензией (с уровнем АД превышающим границу 90 центиля) также увеличивается с возрастом и достигает 63 % к 17 годам. По данным показателей ВСП и центральной гемодинамики среди подростков заполярного Севера отмечено значимое увеличение доли лиц с преобладанием

симпатических влияний на активность сердечной деятельности, по сравнению со сверстниками из Приполярного района. Наибольшие адренергические влияния на сердечно-сосудистую систему выявлены у 15-летних подростков Заполярного района, когда за счёт активации положительных хронотропных механизмов сердечной регуляции отмечены более высокие, в сравнении со сверстниками из Приполярного района, значения систолического артериального давления, ЧСС и индекса напряжения регуляторных систем, а также более низкие значения общей мощности спектра ВСР.

Характер взаимодействия функциональных систем организма, направленных на поддержание гомеостаза, их устойчивость в процессе адаптации организма подростка к дискомфортной среде Севера во многом зависит и от типов вегетативной регуляции [164]. Вегетативной нервной системе (ВНС) принадлежит важная, во многом решающая, роль в жизнедеятельности организма [12, 174]. Одной из важнейших интегральных характеристик индивидуальных особенностей человека является баланс активности симпатического и парасимпатического отделов ВНС, в соответствии с которым группируют лиц с разным типом ВНС, обладающих определёнными функциональными особенностями [17, 175]. Ранее было показано, что напряжённость взаимодействия функциональных систем минимальна у нормотонического и максимальна у симпатикотонического типа, соответственно, наименее устойчив к различного рода воздействиям симпатикотонический тип регуляции [2]. ВНС интегрирует функции всех внутренних органов, в том числе опосредованно через модуляцию активности высших корковых центров. Надсегментарные вегетативные аппараты соединены с мозговыми механизмами адаптации лимбико-ретикулярным комплексом, который в тесном взаимодействии с новой корой осуществляет формирование именно тех нейронных сетей, которые смогут наиболее эффективно обеспечивать деятельность организма во внешней среде [12, 222].

При первичной оценке преобладающего типа вегетативной регуляции сердечного ритма нами принимались во внимание значения индекса

напряжения регуляторных систем, который адекватно отражает активность симпатoadреналовой системы [17]. Соответственно все испытуемые в обоих районах были дополнительно разделены на 3 группы: лица с преобладанием вагусных влияний (ваготоники, $SI \leq 49$ усл. ед.); 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.) (рис. 2).

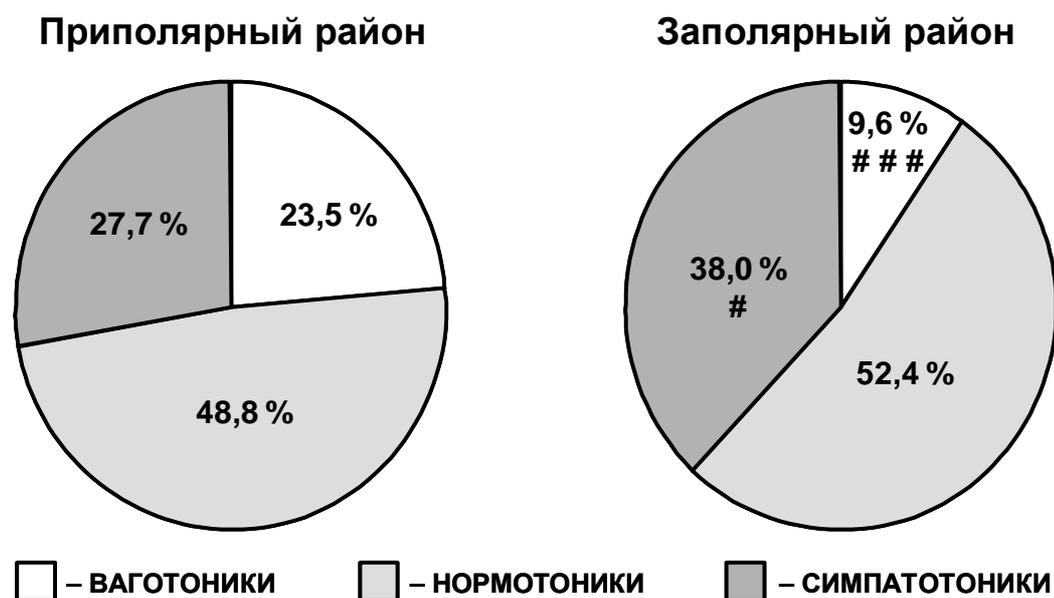


Рис. 2. Процентное соотношение лиц с различным вегетативным статусом в Приполярном и Заполярном северных районах.

Примечание. Статистически значимое отличие между выборками Приполярного и Заполярного районов с однотипным вегетативным статусом: # – $p < 0,05$; # # # – $p < 0,001$.

В Приполярном районе ($n = 260$) в группу подростков с нормотоническим типом вошли 127 человек (средний возраст $16,2 \pm 0,9$ лет); в группу ваготоников 61 человек ($16,2 \pm 0,8$ лет); в группу симпатотоников 72 человека ($16,1 \pm 1,0$ лет). В Заполярном районе ($n = 166$) нормотониками являлись 87 человек ($16,0 \pm 1,0$ лет); ваготониками 16 человек ($15,9 \pm 1,1$ лет); симпатотониками 63 человека ($15,8 \pm 1,0$ лет). Таким образом, соотношение нормотоников в обоих районах было примерно одинаковым, доля ваготоников в Заполярном районе была

значимо ниже, чем в Приполярном ($p < 0,001$), а доля симпатотоников значимо выше ($p = 0,026$). Учитывая значимость показателей ВСР для оценки не только регуляторных механизмов состояния организма в покое, но и при адаптации к экстремальным условиям окружающей среды и функциональным нагрузкам, ряд исследователей [94, 128, 164, 183] показали, что у подростков выявляется чётко выраженная зависимость адаптационных изменений в организме от исходного характера вегетативной регуляции. Обращает на себя внимание сохранение повышенного симпатического тонуса у обследованных подростков Заполярного района во всех рассматриваемых возрастных периодах. Результаты некоторых работ проведенных в Якутии, на севере Тюменской области и Ямале [170, 173, 233] также показали высокую распространённость числа подростков с фоновой симпатикотонией и низкую распространённость ваготоников по данным показателей ВСР. Этот факт авторы объясняют воздействием экстремальных экологических факторов Крайнего Севера – холодом, резкими колебаниями атмосферного давления, повышенной влажностью, высокой активностью гелиокосмических факторов, возрастающей к северу напряжённостью и изменчивостью магнитного поля Земли, резкой контрастностью продолжительности светового дня в течение года.

Исходя из способа формирования групп по вегетативному тону, характер различий между показателями ВСР был однотипным в обоих районах (табл. 5). Так, значения индекса напряжения регуляторных систем у симпатотоников выше, чем у нормотоников и тем более у ваготоников ($p < 0,001$), при этом процесс активации симпатического звена вегетативной регуляции обычно сопровождается снижением общей мощности спектра ВСР, а при активации парасимпатического звена наблюдается обратная реакция, что было показано и другими исследователями [116]. Соответственно, значения общей мощности спектра, характеризующей суммарный уровень активности регуляторных систем организма, были наибольшими у ваготоников ($p < 0,001$), при этом ТР у этой группы была ниже в Заполярном районе ($p = 0,015$).

Показатели центральной гемодинамики, вариабельности сердечного ритма и спонтанной кожно-гальванической реакции в группах подростков Приполярного (ПР) и Заполярного (ЗР) северных районов с различным вегетативным статусом *Me* (25-75 перцентили)

Показатель	Район	Ваготоники	Нормотоники	Симпатотоники
САД, мм рт.ст.	ПР	113,0 (110,0-118,0)	114,0 (107,8-121,0)	117,0 [×] (110,0-122,3)
	ЗР	113,0 (108,0-118,0)	114,0 (108,5-118,5)	121,0 ^{××, #} (112,0-130,0)
ДАД, мм рт.ст.	ПР	76,0 (70,0-83,0)	78,0 [×] (74,0-84,0)	78,0 (73,0-82,5)
	ЗР	76,0 (70,3-80,5)	77,0 [#] (71,0-83,5)	80,0 [×] (78,0-85,0)
ЧСС, уд / мин	ПР	66,0 (62,5-73,0)	75,0 ^{×××} (69,0-81,3)	85,0 ^{×××} (78,0-91,5)
	ЗР	67,0 (59,5-68,3)	75,0 ^{×××} (69,0-78,0)	86,0 ^{×××} (80,0-89,0)
SI, усл. ед.	ПР	34,4 (26,5-43,0)	91,0 ^{×××} (71,2-115,0)	230,8 ^{×××} (173,9-324,3)
	ЗР	36,5 (32,8-43,3)	96,0 ^{×××} (66,5-120,0)	237,0 ^{×××} (183,0-330,0)
TP, мс ²	ПР	5105 (4303-6261)	2570 ^{×××} (2005-3209)	1113 ^{×××} (742-1439)
	ЗР	4195 [#] (3730-5472)	2310 ^{×××} (1872-3246)	1082 ^{×××} (672-1428)
Амплитуда СКГР, мВ	ПР	5,4 (2,0-16,0)	9,5 (4,0-21,5)	20,5 [×] (2,0-32,3)
	ЗР	11,6 (3,3-20,0)	14,2 (5,0-24,4)	25,5 (4,2-36,4)

Примечание. Статистически значимое отличие между группами с различным вегетативным статусом (в сравнении с предыдущей) в одном районе проживания: × – $p < 0,05$; ×× – $p < 0,01$; ××× – $p < 0,001$; # – между выборками Приполярного и Заполярного районов с однотипным вегетативным статусом.

По мнению некоторых исследователей [174] величина индекса напряжения регуляторных систем отражает не столько увеличение активности одной симпатической нервной системы, сколько общий сдвиг вегетативного гомеостаза в сторону преобладания симпатической нервной системы над парасимпатической, что указывает на централизацию управления сердечным ритмом, т.е. усиление модулирующего влияния гипоталамуса. В то же время умеренное превалирование общей мощности спектра ВСР у ваго- и нормотоников согласуется с положением об адаптационно-трофическом защитном действии блуждающих нервов на сердце, при этом парасимпатическое воздействие является одним из факторов индивидуальной устойчивости здорового организма к действию неблагоприятных факторов и даже эмоционального стресса [164].

Ранее было показано, что неоднородность природно-климатических факторов Севера обуславливает формирование различий в вегетативной регуляции ритма сердца как в покое, так и при нагрузке у растущего организма подростка. При этом дискомфортность приполярных районов определяет более выраженные симпатические влияния на ритм сердца по сравнению с районами, граничащими со средними широтами [183]. Автор делает вывод, что в условиях более выраженного климатического дискомфорта на Севере у детей и подростков снижена эффективность регуляторного влияния дыхательных механизмов на пейсмекерную активность синусового узла, в результате чего возрастает необходимость в активизации регуляторных вегетативных влияний более высокого порядка.

Известно, что сердечный ритм можно рассматривать как чувствительный индикатор адаптационных реакций организма в процессе его приспособлений к условиям окружающей среды [59, 201]. Межгрупповые различия показателей центральной гемодинамики также были сходными в обоих районах (см. табл. 5). Одновременно с увеличением активности симпатического звена регуляции сердечного ритма во всех группах подростков значительно возрастала и ЧСС ($p < 0,001$). Систолическое артериальное давление было значимо выше

лишь у симпатотоников в сравнении с нормотониками ($p = 0,034-0,008$), причём наиболее активно в Заполярном районе ($p = 0,025$). Диастолическое давление также было значимо выше у симпатотоников Заполярного района в сравнении с нормотониками ($p = 0,019$), а также у нормотоников Приполярного района в сравнении с ваготониками ($p = 0,042$).

Отмечено, что поддержание определённого уровня артериального давления является способом, направленным на обеспечение достаточного кровотока, который определяет градиент кислорода между кровью и тканями [78]. Кроме того, активация симпатoadреналовой системы относится к наиболее ранним реакциям на холод. Хорошо известным действием холода является повышение системного артериального давления [94, 258], что может быть обусловлено не только спазмом периферических сосудов, но и увеличением сердечного выброса, например, за счёт активизации аденилатциклазы и угнетения активности 3-5 нуклеотидфосфодиэстеразы, что приводит к увеличению образования циклической АМФ [380].

Установлены наиболее чувствительные возрастные периоды для гелио-метеотропных воздействий на функцию кровообращения – 8, 10 и 14-16 лет [71]. Более выраженная подверженность организма подростков контрастам светового режима на Севере обуславливает снижение чувствительности симпатической активности и особенно эрготропных систем в состоянии покоя к изменению светового режима и обеспечивает баланс вегетативных влияний на сердце за счёт дыхательной, вагусной и барорефлекторной активности [183].

К ранее выявленным особенностям функционального состояния системы кровообращения у детей и подростков Европейского Севера относят также высокое среднее артериальное давление, высокие величины сердечного выброса, наклон электрической оси сердца вправо, фазовые сдвиги по типу синдрома высокого диастолического давления, уменьшение степени раскрытия сосудистого русла, повышение тонуса периферических и прекапиллярных сосудов, невысокую интенсивность периферического кровотока и увеличение просвета функционирующих капилляров [71, 77].

Кожно-гальваническая реакция (КГР) широко используется нейро- и психофизиологами в качестве полиграфического индикатора функциональных состояний человека. По величине данного показателя можно определить уровень эмоционального напряжения [213], также было показано, что КГР является наиболее чувствительной к изменениям работы симпатического отдела вегетативной нервной системы [318]. Распределение показателя спонтанной КГР было характерным для подростков с различным вегетативным статусом (см. табл. 5). Так, амплитуда СКГР в обоих районах была наименьшей в группах ваготоников, а наибольшей у симпатотоников. Причём в группах подростков Заполярного района данный показатель был выше, чем в аналогичных группах Приполярного района.

Многочисленные исследования, проведенные различными авторами, показали, что КГР отражает общую активацию человека, а также его напряжённость [38, 149, 175, 214]. При повышении уровня симпатической активации или увеличении напряжённости происходит увеличение разности потенциалов между двумя точками кожной поверхности, проявляемое в повышении амплитуды СКГР. Предъявляя зрительные стимулы различной эмоциональной значимости – приятные, нейтральные и неприятные, с параллельной регистрацией кожной проводимости, Dawson M. E. и соавт. [316] показали, что уровень кожной проводимости связан с уровнем возбуждения, причём кожная проводимость является неспецифическим показателем и не связана со знаком вызываемой эмоции. Уровень кожной проводимости был значимо выше при предъявлении приятных и неприятных стимулов по сравнению с реакцией на нейтральные, причём чем выше был уровень возбуждения испытуемого (то есть чем больше эмоционально окрашен стимул), тем меньше межиндивидуальный разброс данных. Деятельность вегетативной нервной системы при развитии эмоциональных сосудистых реакций изменяется в зависимости от активности структур лимбического мозга (гипоталамуса), следовательно, показатели биоэлектрической активности мозга могут дать более надёжную информацию о состоянии высших вегетативных центров [149].

Таким образом, среди подростков заполярного Севера в сравнении с приполярными сверстниками отмечено значимое снижение доли лиц с преобладанием вагусных влияний на активность сердечной деятельности (9,6 % против 23,5 %, $p < 0,001$), при значимом увеличении доли лиц с преобладанием симпатических влияний (38 % против 27,7 %, $p < 0,05$). Процессы адаптации к более суровым природно-климатическим условиям заполярного Севера характеризуются гетерохронностью нейрогормонального формирования организма подростков, способной вызывать избыточную активацию симпатoadреналовой системы и различные нарушения сосудистого тонуса. По мнению ряда авторов [221, 233], преобладание тонуса симпатической нервной системы над тонусом парасимпатической играет существенную роль в обеспечении биоэнергетических процессов субстратами, особенно в трофическом обеспечении мышечной деятельности. Исходя из теоретической концепции стресса, согласно которой форма и динамика его зависят от особенностей вегетативной нервной системы, естественно предположить, что для прогнозирования адаптации к стресс-факторам Севера первостепенное значение имеет баланс вегетативного реагирования. Можно полагать, что индивидуальная переносимость разных видов стресса, вероятно, определяется индивидуальными особенностями баланса центральных и вегетативных центров [78].

3.2. Возрастное формирование биоэлектрической активности мозга подростков северных территорий, с учётом района их проживания, вариантов вегетативного тонуса и этнической принадлежности

Развитие детей и подростков, формирование их морфологических, функциональных и психологических особенностей определяются не только внутренней генетической программой, но и комплексом внешних условий, связанных с влиянием экологических факторов. Установлены особенности организации биоэлектрической активности головного мозга у детей и подростков на различных возрастных этапах. Известно, что формирование

структурно-функциональной организации мозга в постнатальном онтогенезе продолжается в течение длительного периода развития, включая не только подростковый, но и юношеский возраст [165, 209, 268, 252]. Дискомфортные климатические условия окружающей среды, в том числе проживание на Севере, приводят к повышенным нагрузкам на физиологические системы и напряжению центральных механизмов регуляции функций у детей и подростков, что может являться причиной нарушения оптимальных темпов развития растущего организма [225].

Результаты многолетних исследований проводимых в районе Архангельской области, относящемся к буферной (61° с.ш.), переходной зоне между северными территориями с дискомфортными условиями проживания и умеренными широтами показали, что подобные закономерности характерны и для возрастного формирования электрогенеза и морфофункционального развития мозга проживающих там детей [196, 197, 209, 224, 228]. Авторы делают вывод, что специфика проживания в отдалённой сельской местности, изолированной от крупных городов, деревенский уклад жизни, социально-экономические трудности предъявляют к развивающемуся организму ребёнка повышенные требования, вызывая перенапряжение регулирующих механизмов всех систем организма, что неизбежно сказывается и на возрастном морфофункциональном развитии его нервной системы. Так у 70-80 % обследованных авторами сельских детей отмечена задержка темпов возрастного формирования биоэлектрической активности головного мозга, структуры межцентральных отношений, развития интеллектуальных процессов. Локальные и пространственные особенности частотного спектра ЭЭГ, полученные с помощью спектрального анализа, свидетельствуют о неравномерности (гетерохронности) и некоторой задержке темпов созревания нейрональных механизмов в отдельных структурах головного мозга у детей с юга Архангельской области, которая у детей младшего и среднего школьного возраста составляет 1,5-2 года по сравнению со сверстниками из средней полосы России [209].

Гетерохронность становления регуляторных систем сохраняется и в подростковом возрасте, что обуславливает отсроченность во времени формирования адекватных межсистемных взаимоотношений. В настоящее время обсуждается проблема запаздывания в формировании структуры биоэлектрической активности головного мозга у подростков на завершающих этапах возрастного становления. Традиционный метод количественной оценки электроэнцефалограммы (ЭЭГ) позволяет описать локальные и пространственные особенности электрической активности мозга у подростков.

Доминирующая частота основного ритма у всех обследованных нами подростков находилась в альфа-диапазоне и незначительно увеличивалась с возрастом от 9,5 до 10,2 Гц. Возрастная динамика амплитудных параметров церебральной биоэлектрической активности подростков была сходной и в целом выражалась в снижении их значений от 14 к 17 годам ($p = 0,015-0,008$). Учитывая, что амплитуда основных ритмов ЭЭГ у значительного числа 14-летних подростков была достаточно высока (тета-активность ≈ 50 мкВ, альфа- ≈ 100 мкВ, бета- ≈ 35 мкВ), то выявленное возрастное снижение этих параметров у подростков в обоих северных районах скорее является демонстрацией функционального созревания мозговых структур (табл. 6).

В норме амплитуда бета-ритма у взрослого человека обычно не превышает 15 мкВ. Условно эпилептиформной активностью считается бета-ритм амплитудой более 20 мкВ [63]. Обычно он представлен в виде веретён, часто распространяющихся за пределы нормальной его локализации (лобно-центральной области). Поскольку он имеет относительно высокую частоту (14-40 Гц), увеличение его амплитуды приводит к преобразованию ритма в группы острых волн. Следует отметить, что гиперсинхронный бета-ритм с амплитудой более 40 мкВ рассматривается как явно патологический феномен [12, 63, 104].

Представленность (индекс) ритмов значимо снижалась с возрастом в тета-диапазоне ЭЭГ также синхронно в группах подростков из обоих районов, а бета-индекс при этом повышался ($p = 0,028-0,007$). В период с 14 до 15 лет у подростков в обоих районах происходит некоторое снижение индекса альфа-ритма, подобный “регресс” ЭЭГ, многими авторами связывается с гормональными перестройками, имеющими место в данном возрасте [252, 165].

Показатели биоэлектрической активности головного мозга в различных возрастных группах подростков Приполярного (ПР) и Заполярного (ЗР) северных районов *Me* (25-75 перцентили)

Показатель	Район	14 лет	15 лет	16 лет	17 лет
Доминирующая частота, Гц	ПР	9,7 (9,0-10,2)	9,5 (8,8-10,4)	10,2 (9,5-10,9)	10,1 (9,4-10,6)
	ЗР	9,5 (8,8-10,5)	9,4 (8,6-10,2)	9,8 (9,0-10,5)	10,0 (9,3-10,7)
Амплитуда Тета, мкВ	ПР	44,5 (37,0-59,8)	45,0 (33,8-65,0)	36,0 ^{××} (29,0-52,3)	39,0 (30,0-55,0)
	ЗР	56,0 [#] (40,0-70,5)	54,0 (40,0-70,0)	46,0 ^{×,###} (37,0-65,5)	45,0 [×] (34,0-61,5)
Индекс Тета, %	ПР	24,0 (17,0-35,0)	21,5 [×] (15,0-30,0)	17,0 ^{××} (8,8-24,0)	15,0 ^{××} (10,0-22,0)
	ЗР	27,0 [#] (19,5-39,0)	22,0 [×] (15,0-28,3)	22,0 ^{×,###} (15,3-30,0)	21,0 ^{×,##} (15,0-27,5)
Амплитуда Альфа, мкВ	ПР	97,0 (70,0-113,0)	81,5 (67,0-110,0)	75,5 ^{××} (54,8-98,3)	79,0 [×] (66,0-93,0)
	ЗР	98,0 (74,0-120,0)	96,0 [#] (70,8-115,0)	85,0 [×] (68,0-95,3)	84,0 [×] (69,0-96,0)
Индекс Альфа, %	ПР	75,0 (68,3-81,3)	69,0 (65,0-81,0)	69,0 (47,8-77,3)	69,0 (60,0-80,0)
	ЗР	71,0 (62,0-77,0)	67,0 (62,0-76,3)	74,0 [#] (59,8-80,3)	66,0 (58,0-78,0)
Амплитуда Бета ₁ , мкВ	ПР	33,5 (13,8-39,5)	34,0 (28,0-39,0)	30,5 (23,0-37,0)	30,0 (23,0-37,0)
	ЗР	33,0 (25,0-38,5)	30,0 (18,3-39,5)	28,5 [×] (10,0-35,3)	30,0 (14,0-36,0)
Индекс Бета ₁ , %	ПР	29,5 (13,8-36,3)	32,0 (27,0-38,0)	35,0 [×] (27,0-40,0)	36,0 ^{××} (30,0-40,3)
	ЗР	29,0 (17,0-37,5)	31,0 (25,0-38,5)	33,0 (12,3-38,3)	34,0 (10,0-40,3)

Примечание. Статистически значимое отличие между возрастными группами (в сравнении с группой 14 лет) в одном районе проживания: × – $p < 0,05$; ×× – $p < 0,01$; ××× – $p < 0,001$; # – между выборками Приполярного и Заполярного районов соответствующей возрастной группы.

Наиболее отчётливые возрастные изменения амплитуд и индексов рассматриваемых частотных диапазонов спектра ЭЭГ отмечены в группе подростков Приполярного района. Широкие отличия проявлялись в значимо более высоких значениях тета-активности ($p = 0,017-0,001$) и относительно меньшей бета-активности в возрастных группах Заполярного района. Амплитуда альфа-активности также была выше у заполярных подростков, особенно в группе 15 лет ($p = 0,035$).

Предварительный анализ выборок не выявил выраженных половых различий изучаемых показателей, что позволило объединить данные лиц мужского и женского пола. В частности, методы рангового дисперсионного анализа по критерию Kruskal-Wallis и сравнения по критерию Mann-Whitney, отражающих разность значений медиан изучаемых показателей биоэлектрической активности головного мозга, центральной гемодинамики и вариабельности сердечного ритма в однотипных возрастных группах подростков, проживающих в одном районе, не выявили статистически значимых различий в подгруппах лиц разного пола ($p > 0,05$). С точки зрения современной возрастной нейрофизиологии [268], главным в формировании нейрогенного пола является не столько сам факт наличия центров активности в тех или иных областях мозга, сколько наличие и характер межцентральных взаимосвязей между этими областями, выявить которые можно с помощью изучения когерентных и корреляционных взаимосвязей между различными областями мозга [25, 155, 165, 252]. По-видимому, применение клинических рутинных методов обработки ЭЭГ не показывает столь выраженных половых особенностей, как вышеуказанные виды математического анализа, оценку которых мы не ставили себе целью в рамках данной работы.

Электрическая ритмическая активность мозга связана со сложными физиологическими явлениями. Особая роль в формировании корковой ритмики принадлежит ретикулярной формации мозга. Отмечается активирующее воздействие ретикулярной формации среднего мозга и нижнестволовых структур на кору полушарий большого мозга, проявляющееся в десинхронизации корковой ритмики (понижение амплитуды колебаний и повышение выраженности колебаний высоких частот) [322]. Помимо

активирующей системы, существуют образования, оказывающие тормозное влияние на кору большого мозга – таламус, нижние отделы моста, что сопровождается синхронизацией корковой ритмики (повышение амплитуды колебаний и группирование их в виде веретён) [12].

Кора большого мозга постоянно подвергается синхронизирующим и десинхронизирующим влияниям, которые находятся во взаимно антагонистических отношениях. В свою очередь ретикулярная формация мозга находится под постоянным контролирующим и регулирующим влиянием коры больших полушарий, а также под воздействием афферентаций, приходящих из нижележащих отделов. С преобладанием тормозящих или активирующих воздействий на кору большого мозга со стороны ретикулярной формации связан тот или иной уровень бодрствования и сна [413]. Таким образом, суммарная ЭЭГ является показателем не только функционального состояния коры полушарий мозга, но и корково-подкорковых отношений [12, 104, 285].

Картина изменения абсолютных значений мощности основных частотных диапазонов ЭЭГ в целом повторяет возрастную динамику и широтные отличия значений медиан амплитудно-частотных характеристик (рис. 3). Подтверждается более высокая тета-составляющая спектра в возрастных группах Заполярного района. Мощность тета-ритма одинаково сильно распространена по всей конвексимальной поверхности мозга, в представленности альфа- и бета₁-активности сохранены зональные отличия.

В литературе имеется достаточное количество данных, позволяющих по локальным и пространственным особенностям спектральной мощности ЭЭГ судить о соответствии амплитудно-частотных параметров тому или иному возрасту детей и подростков, о наличии задержек морфофункционального созревания мозга или отклонениях в развитии [209, 252, 303]. Топические особенности в динамике амплитудно-частотных перестроек свидетельствуют об уменьшении с возрастом спектральной мощности потенциалов в тета-диапазоне частот для всех отведений ЭЭГ, но наиболее выраженном в лобных, центральных и височных отведениях с относительным преобладанием динамики в правом полушарии.

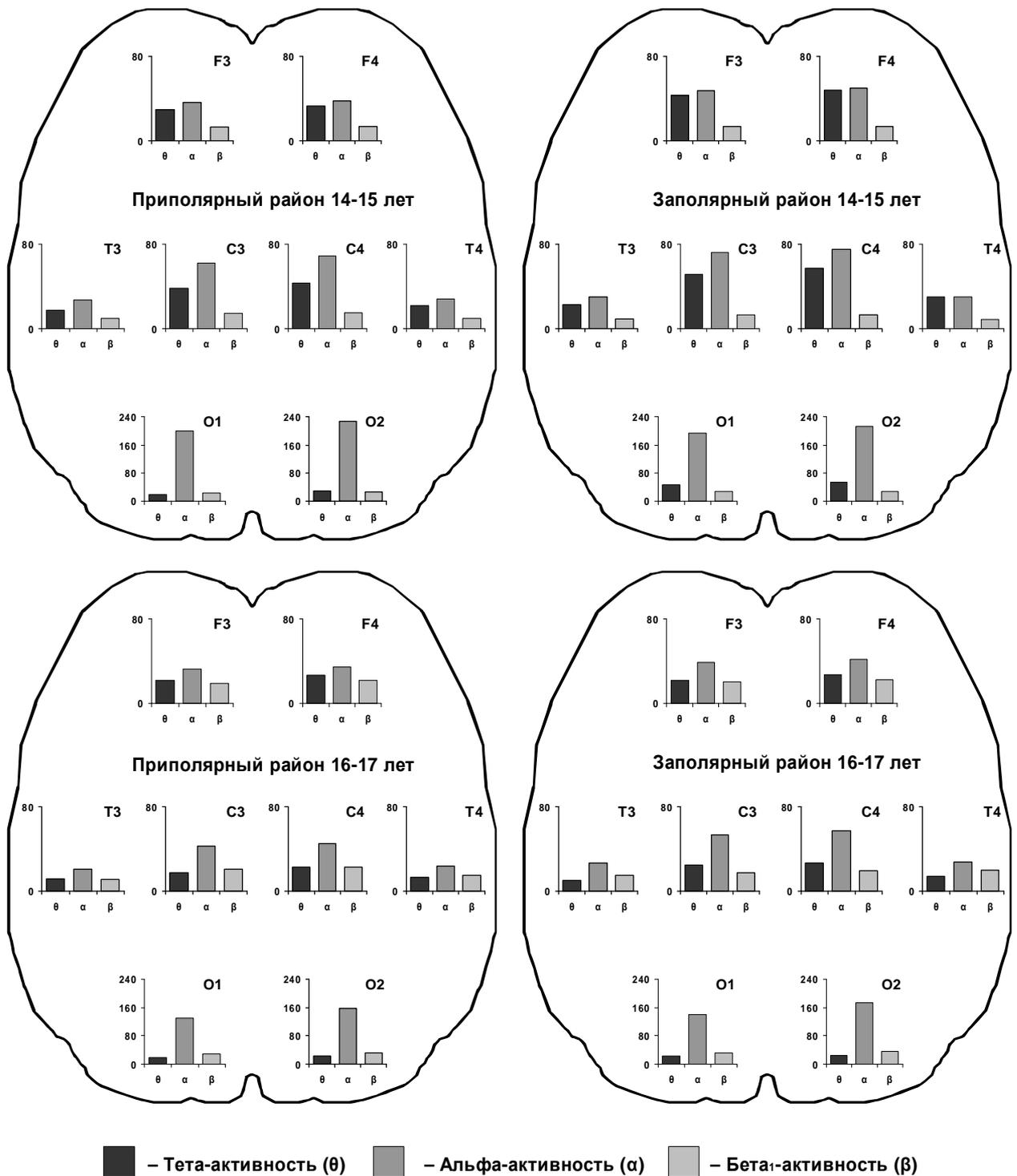


Рис. 3. Схема пространственного распределения спектров абсолютных значений мощности ($\mu\text{В}^2$) основных частотных диапазонов ЭЭГ в различных возрастных группах подростков Приполярного и Заполярного районов.

Примечание. F3, F4, C3, C4, T3, T4, O1, O2 – левые и правые лобные, центральные, височные и затылочные отведения ЭЭГ в соответствии с международной системой “10-20”.

Диффузно, но с небольшим преобладанием в центральных и затылочных областях, снижаются с возрастом и абсолютные значения мощности в альфа-

диапазоне, преимущественно за счёт снижения повышенной амплитудной составляющей. Изменения в бета₁-диапазоне частот характеризуются в повышении спектральной мощности, более выраженном в лобных, центральных и височных областях. Наиболее генерализованная возрастная динамика описываемых изменений наблюдается в выборках Заполярного района. Примечательно, что формирование электрогенеза правого полушария несколько опережает левое. По данным Сергеевой Е. Г. [209], наблюдаемая гетерохрония изменений в правом и левом полушариях приводит к увеличению и стабилизации функциональной дифференцировки полушарий к старшему школьному возрасту.

Описанный характер локальных и пространственных перестроек амплитудно-частотного спектра ЭЭГ, динамики волновых компонентов отражают постепенное морфофункциональное созревание мозга как системы, формирование межцентральных отношений, которые, в конечном итоге, и обеспечивают специфику механизмов саморегуляции, координацию межсистемных взаимодействий на разных возрастных этапах развития подростка, направленных на поддержание его жизнедеятельности и приспособление к окружающему миру.

При анализе функциональных параметров биоэлектрической активности мозга обследованных подростков в группах с различным вегетативным статусом также были выявлены характерные отличия (табл. 7). Доминирующая частота была несколько ниже у заполярных подростков, особенно в группе ваготоников ($p = 0,038$). Как было отмечено ранее, при описании возрастной динамики амплитудно-частотных характеристик ЭЭГ, 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 бета-активности ($p = 0,018-0,001$). Данные широтные различия увеличиваются при нарастании вегетативного тонуса, достигая максимума в группах симпатотоников ($p < 0,001$).

Показатели биоэлектрической активности головного мозга в группах подростков Приполярного (ПР) и Заполярного (ЗР) северных районов с различным вегетативным статусом *Me* (25-75 перцентили)

Показатель	Район	Ваготоники	Нормотоники	Симпатотоники
Доминирующая частота, Гц	ПР	10,2 (9,2-10,7)	10,0 (9,0-10,8)	10,0 (8,9-10,5)
	ЗР	9,5 [#] (8,8-10,3)	9,8 (9,0-10,5)	9,6 (8,7-10,2)
Амплитуда Тета, мкВ	ПР	35,5 (30,0-54,8)	37,0 (29,0-53,0)	40,0 (30,0-54,0)
	ЗР	51,5 [#] (32,8-71,5)	45,0 ^{##} (37,0-70,0)	53,0 ^{×,###} (36,5-63,5)
Индекс Тета, %	ПР	15,5 (10,3-20,8)	15,0 (9,0-24,3)	18,0 (11,0-24,5)
	ЗР	19,5 (10,5-28,3)	23,0 [#] (17,0-31,5)	26,0 ^{×,###} (18,0-33,0)
Амплитуда Альфа, мкВ	ПР	81,0 (63,3-93,0)	76,5 (59,0-98,0)	79,0 (61,8-99,5)
	ЗР	90,5 (61,5-118,0)	85,0 [#] (68,0-105,0)	92,0 ^{×,###} (71,0-110,5)
Индекс Альфа, %	ПР	70,0 (53,3-79,8)	69,0 (57,5-77,5)	69,5 (57,0-80,0)
	ЗР	69,5 (56,5-77,3)	71,0 (61,0-77,0)	71,0 (63,0-78,0)
Амплитуда Бета ₁ , мкВ	ПР	32,0 (24,0-39,0)	30,0 [×] (22,8-38,0)	31,0 (23,0-37,0)
	ЗР	27,0 [#] (10,0-34,8)	30,0 (10,0-38,0)	32,0 (25,0-39,0)
Индекс Бета ₁ , %	ПР	35,5 (29,3-41,0)	33,0 [×] (28,0-39,0)	36,0 (29,8-39,0)
	ЗР	33,5 (10,0-40,3)	28,0 ^{##} (10,0-33,0)	30,0 ^{###} (23,0-35,0)

Примечание. Статистически значимое отличие между группами с различным вегетативным статусом (в сравнении с предыдущей) в одном районе проживания: × – $p < 0,05$; ×× – $p < 0,01$; ××× – $p < 0,001$; # – между выборками Приполярного и Заполярного районов с однотипным вегетативным статусом.

Обращает на себя внимание увеличение амплитуды и индекса тета-активности, а также амплитуды альфа-активности при нарастании вегетативного тонуса у подростков Заполярного района, так в группе симпатотоников данные показатели были статистически значимо выше, чем у нормотоников ($p = 0,022-0,045$). У подростков Приполярного района наблюдается схожая динамика, но лишь на уровне тенденции ($p > 0,05$). Формирование гиперсинхронных паттернов ЭЭГ у подростков при нарастании симпатической активности свидетельствует о наличии дисфункций диэнцефальных структур головного мозга, которые могут быть в основе нарушения центральных механизмов регуляции сосудистого тонуса [224].

Световая ритмическая стимуляция с разной частотой вызывает появление на ЭЭГ ритмических ответов разной степени выраженности, повторяющих ритм световых мельканий. Характер и степень выраженности реакции усвоения ритма в детском возрасте меняется по мере того, как происходит созревание нервных элементов коры и повышается активирующее влияние ретикулярной формации среднего мозга. В результате нейродинамических процессов на уровне синапсов, кроме однозначного повторения ритма мельканий, на ЭЭГ могут наблюдаться явления преобразования частоты стимуляции, обычно в чётное число раз [12, 104]. Примечательно, что в любом случае возникает эффект синхронизации активности мозга с внешним датчиком ритма. В норме оптимальная частота стимуляции для выявления максимальной реакции усвоения лежит в области собственных частот ЭЭГ, составляя 8-20 Гц, амплитуда не превышает обычно 50 мкВ [286].

При оценке реакции усвоения ритмов фотостимуляции с вариантами гармоник (рис. 4) было отмечено, что количество усвоений ритмов в тета- и бета-диапазонах (при сохранении собственной доминирующей частоты в альфа-диапазоне) у подростков Заполярного района достигало 40-50 %, что в 1,5-2,5 раза выше ($p = 0,005-0,008$), чем у сверстников из Приполярного района, этот факт может расцениваться как признак компенсированной фотозависимой дисфункции заднегаламических ритмозадающих структур.

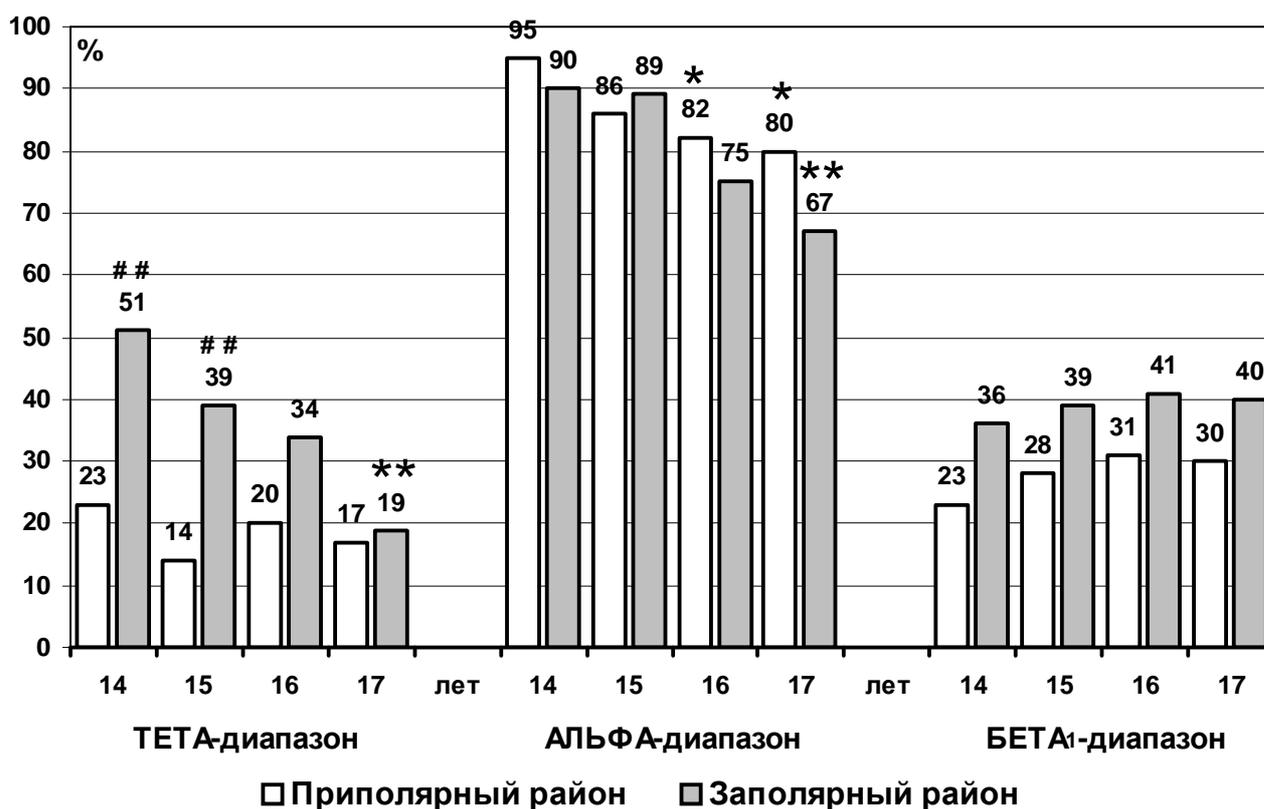


Рис. 4. Процентная доля лиц в возрастных группах подростков Приполярного и Заполярного северных районов с усвоением ритмов фотостимуляции в основных частотных диапазонах ЭЭГ.

Примечание. Статистически значимое отличие в сравнении с первой возрастной группой одного района: × – $p < 0,05$; ×× – $p < 0,01$; # – между выборками Приполярного и Заполярного районов одного возраста.

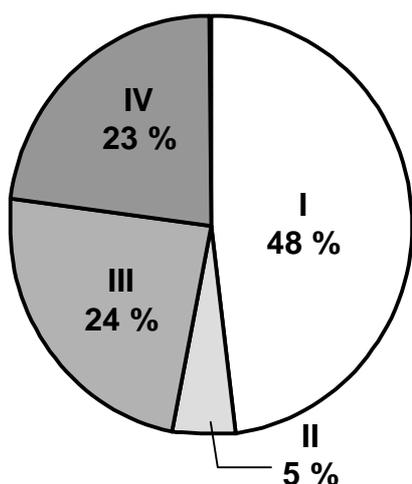
Усвоение частот альфа-диапазона стимуляции у обследованных подростков в обоих районах было примерно одинаковым и достигало 85-95 %. К 16-17-летнему возрасту у этих лиц происходило снижение количества усвоений на 15-30 % ($p = 0,034-0,003$) в тета- и альфа-диапазонах частот фотостимуляции, а также некоторое повышение в бета-диапазоне.

Рассмотренные количественные методы анализа ЭЭГ, с одной стороны, позволяют унифицировано подойти к оценке соответствия подростковой ЭЭГ возрастной норме, максимально нивелируя субъективный фактор. С другой стороны, в результате использования количественного описания структуры ЭЭГ теряется связь между электроэнцефалографическими феноменами и функциональным состоянием мозга в целом и его отдельными системами. Главным образом, это касается функционального состояния глубинных подкорковых структур, активность которых проявляется на ЭЭГ в виде особых

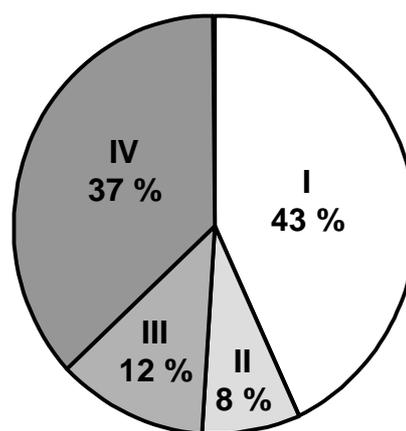
паттернов [100, 209, 312]. Предложенные ещё в 1963 году Жирмунской Е. А. пять основных типов ЭЭГ сгруппированы в соответствии с критериями частоты и организации ритмов, степени и характера представленности целостного паттерна ЭЭГ [101]. Эти типы всё же носят условный характер при описании детской ЭЭГ, учитывая ещё не закончившийся процесс созревания стволово-корковых взаимоотношений и продолжающееся при этом формирование организованного паттерна ЭЭГ. В нашей работе мы используем данную модифицированную типизацию лишь в сравнительном аспекте, с целью демонстрации характерных транширотных и возрастных отличий в нативной фоновой ЭЭГ у подростков, и без подразделения на более узкие группы внутри каждого типа. ***Tun I*** – организованный с модулированной альфа-активностью максимальной амплитудой от 50 до 100 мкВ, с частотой от 8 до 13 Гц, чёткими зональными различиями и выраженной реакцией активации. ***Tun II*** – гиперсинхронный ритм альфа- или бета-диапазона с нарушением чёткости зональных различий, максимальной амплитудой выше 100 мкВ и индексом тета-активности более 30 %. ***Tun III*** – десинхронный с ослаблением альфа-активности индексом ниже 50 %, максимальной амплитудой до 50 мкВ и ослабленной реакцией активации. ***Tun IV*** – дезорганизованный со среднего индекса немодулированной альфа-активностью, максимальной амплитудой до 100 мкВ и выше, сглаженными зональными различиями, могут присутствовать высокоамплитудные тета-волны. ***Tun V*** – дезорганизованный с плохой выраженностью альфа-активности, с преобладанием тета- и дельта-активности.

На основании клинической обработки ЭЭГ у обследованных подростков были выявлены характерные варианты её структуры (рис. 5). Так наибольшей представленностью (43-51 %) во всех группах подростков обладал I тип ЭЭГ с организованный альфа-активностью, причём процент лиц попадающих в этот тип несколько увеличивался с возрастом, а у подростков Приполярного района он преобладал над сверстниками из Заполярья. Лица со II типом гиперсинхронной ЭЭГ составляли наоборот наименьшую часть (3-8 %), наблюдалось симметричное возрастное уменьшение их доли, вплоть до полного исчезновения у подростков Приполярного района.

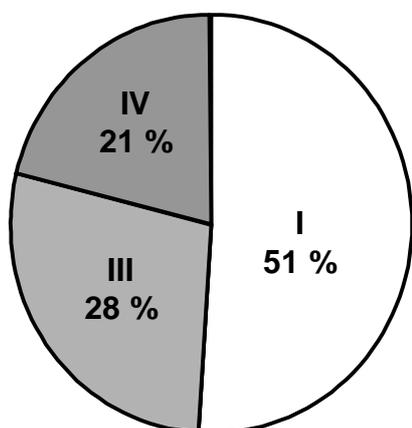
Приполярный район 14-15 л.



Заполярный район 14-15 л.



Приполярный район 16-17 л.



Заполярный район 16-17 л.

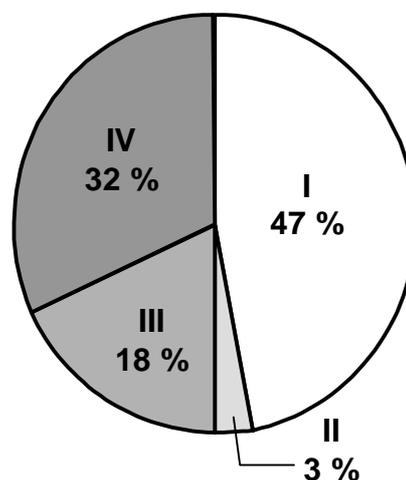


Рис. 5. Процентное соотношение лиц с различными типами ЭЭГ (по классификации Жирмунской Е. А.) в Приполярном и Заполярном районах.

Лица, вошедшие в III тип ЭЭГ с десинхронным, ослабленным альфаритмом, преобладали среди подростков Приполярного района (24-28%), их доля почти вдвое превышала таковую у заполярных сверстников ($p = 0,025$) и несколько увеличивалась с возрастом. Лица IV типа с дезорганизованной высокоамплитудной альфа-активностью и присутствием большого количества тета-волн в 1,5 раза преобладали ($p = 0,048$) в возрастных группах Заполярного района (32-37%), их количество снижалось с возрастом. Лиц V типа с преобладанием тета- и дельта-активности в ЭЭГ-паттерне среди обследованных

подростков в обоих северных районах выявлено не было. Как указывалось ранее, наличие значительной доли лиц с дезорганизованным типом ЭЭГ может свидетельствовать о продлённых сроках возрастного формирования ритмозадающих структур головного мозга, а также о повышенной активности подкорковых структур мозга в дискомфортных условиях Заполярья [57].

Таким образом, у обследованных подростков отмечается относительное возрастное “созревание” основного ритма электрической активности мозга, несколько снижается доля лиц с выраженной дезорганизованной ЭЭГ, практически исчезают лица с гиперсинхронными вариантами активности, при этом возрастает количество подростков с десинхронизацией основного ритма и увеличением числа бета-колебаний. В Заполярном районе отмечается достаточное число лиц (до 30 %) с признаками дисфункции регуляторных структур мозга, особенно среди младших подростков и лиц с повышенным симпатическим тонусом (более половины случаев). Характерной особенностью отклонений ЭЭГ, выявленных при обследовании заполярных подростков, было возникновение пароксизмальных форм активности в виде острых волн, а также билатерально-синхронных разрядов в тета- и альфа-диапазонах с амплитудой в 1,5-2 раза превышающей фоновую, а иногда и с условно-эпилептиформными знаками (рис. 6). Эти изменения демонстрируют высокую степень активности (напряжения) регуляторных механизмов мозга, прежде всего, лимбико-гипоталамического уровня, механизмам которого принадлежит ведущая роль в координации вегетативно-висцеральных функций, поддержании гомеостаза и формировании адаптационных реакций. Ранее было отмечено, что нарушение функции гипоталамических образований отражается в показателях мозгового электрогенеза, а именно, в билатерально-синхронных вспышках медленной активности, в полиритмии основного ритма, замедленном альфа-ритме [150, 349, 357]. Это, в свою очередь, сочетается с затруднённой адаптацией к внешнесредовым факторам, отражает склонность к неоптимальному варианту регулирования [209].



Рис. 6. Примеры нативной электроэнцефалограммы, характерной для подростков из Заполярного (А) и Приполярного (Б) северных районов.

Нередко специфика и выраженность этих отклонений (усиление тета-активности, появление диффузных реакций усвоения ритмов фотостимуляции и редуцированных эпилептиформных комплексов) позволяет заподозрить определённую степень ирритации (чрезмерного возбуждения) структур лимбико-диэнцефального уровня и центральных механизмов регуляции сосудистого тонуса, предположительно в связи с перенапряжением работы функциональных систем, обеспечивающих процессы адаптации к более суровым природно-климатическим условиям заполярного Севера [225].

Пластичность центральных механизмов регуляции является одним из важнейших свойств, определяющих приспособляемость организма в изменённых условиях существования. Действие специфического комплекса раздражителей вызывает функциональную перестройку активности коры больших полушарий и подкорковых центров [228]. Полученные результаты свидетельствуют о продолжающемся в течение периода обучения в школе процессе формирования ЦНС у подростков. В организации биоэлектрической активности мозга школьников наиболее демонстративно снижение с возрастом активности в тета-диапазоне частот ЭЭГ, и относительное повышение представленности потенциалов в бета-диапазоне. Эта динамика отражает процессы перехода от физиологически “незрелого” паттерна ЭЭГ в форме доминирования (или феномена полиритмии) тета-ритмов ЭЭГ к дефинитивному паттерну с постепенным доминированием альфа-ритма [209, 252]. Судя по динамике возрастных изменений мощности этих частотных составляющих ЭЭГ (см. рис. 3), более высокими темпами морфофункционального созревания отличаются затылочные зоны коры мозга, наименьшими – лобно-центральные. Обращает на себя внимание также относительное преобладание изменений в правом полушарии головного мозга, что свидетельствует о наличии неравномерности темпов онтогенетической эволюции функций и гетерохронности формирования нейрофизиологических механизмов, определяющих возрастные особенности когнитивных процессов.

Выявленная у подростков Приполярного района бóльшая сформированность амплитудно-частотной части альфа-активности и её зонального градиента, снижение доминирующего влияния медленно-волновой активности и умеренно выраженная высокочастотная активность соответствует более оптимальному соотношению восходящих активирующих (тонизирующих) влияний на кору со стороны структур ретикулярной формации и активности диэнцефальных (в том числе гипоталамических) структур. Очевидно, что по темпам формирования ЭЭГ подростки Приполярного района опережают сверстников из Заполярья, подобная разница в темпах “созревания”

у подростков на различных широтах циркумполярного региона может быть обусловлена различиями в требованиях среды обитания к адаптивно-приспособительным механизмам центральной нервной системы.

В то же время, есть основания полагать, что высокая активность филогенетически более древних структур головного мозга коренных жителей Крайнего Севера более оправдана для адаптации именно в этих климатогеографических условиях, нежели энергозатратная активация неокортекса. Выявленные церебральные изменения у подростков Заполярного района минимально отражаются на структуре их темперамента, успешности обработки ими когнитивной информации и свидетельствуют о разных мозговых механизмах произвольного внимания. Наиболее высокий показатель устойчивости произвольного внимания отмечается именно у обследованных нами подростков Заполярного района (в сравнении со сверстниками из Приполярного района), что свидетельствует о наиболее выраженной способности у данных лиц к волевым усилиям, эмоциональной устойчивости и уравновешенности [133, 134].

Некоторые расово-диагностические признаки сформировались под влиянием условий внешней среды, в которых обитает данная раса, но поскольку каждая из ландшафтных зон населена, как правило, людьми различной этнической, а иногда и расовой принадлежности, то это обстоятельство облегчает задачу изучения влияния факторов внешней среды на человеческие популяции, так как позволяет одновременно проследить параллелизм реакций на воздействие среды в различных этносах и, в то же время, выявить возможность генетической детерминации этих реакций [121]. В этом отношении Арктические территории Ненецкого автономного округа и Архангельской области являются естественным природным полигоном, позволяющим исследовать физиологические адаптации к дискомфортным условиям среды обитания у разных этнических групп. К настоящему времени подобные сравнительные исследования были выполнены на других северных территориях РФ [113, 129, 227], результаты этих работ разноречивы и

демонстрируют как наличие, так и отсутствие разницы в функциональном состоянии нервной системы у некоторых этнических групп.

В рамках данной работы представило дополнительный интерес изучить адаптивные перестройки биоэлектрической активности мозга к сочетанному влиянию неблагоприятных факторов Севера у подростков, принадлежащих к различным этническим группам Заполярного и Приполярного районов. В каждом районе проживания обследованные подростки старшего возраста (16-17 лет) были дополнительно разделены на группы согласно их этнической принадлежности. Принадлежность к коренным этносам – ненцам и русским, устанавливалась по данным анкетного опроса до 4-й степени родства к коренному населению Севера РФ. Критерием исключения служила принадлежность к другим коренным этносам или метисам. Выборки составили: в Заполярном районе – ненцы ($n = 32$) и русские ($n = 35$); в Приполярном районе – русские ($n = 73$).

При анализе изучаемых амплитудно-частотных параметров церебральной биоэлектрической активности у обследованных подростков Заполярного района не было выявлено статистически значимых различий между группами ненцев и русских, отмечены лишь незначительно повышенные значения тета- и альфа-активности у подростков-ненцев (табл. 8). Однако при сравнении обеих групп Заполярного района с группой русских подростков из Приполярного района были подтверждены характерные широтные отличия. У подростков из Заполярья отмечены статистически более высокие показатели тета-активности ($p = 0,023-0,001$), а также относительно более высокие значения альфа-активности за счёт повышенной частоты встречаемости гиперсинхронных, высокоамплитудных вариантов ЭЭГ. Показатели бета₁-активности в обеих группах подростков из Заполярья наоборот, были несколько ниже, чем у русских сверстников из Приполярного района. Выявленные широтные различия в функциональной активности головного мозга наиболее отчётливо проявляется у подростков-ненцев Заполярного района ($p = 0,017-0,001$).

Показатели биоэлектрической активности головного мозга в различных этнических группах 16-17 летних подростков Приполярного (ПР) и Заполярного (ЗР) северных районов *Me* (25-75 перцентили)

Показатель	Ненцы ЗР	Русские ЗР	Русские ПР
Доминирующая частота, Гц	9,7 (8,8-10,5)	10,0 (9,3-10,5)	10,2 (9,6-11,0)
Амплитуда Тета, мкВ	52 ^{***} (38,8-64,3)	46 [*] (33,0-66,0)	36 (29,0-53,0)
Индекс Тета, %	21 ^{**} (16,0-30,3)	20 [*] (15,0-27,5)	16 (9,0-23,0)
Амплитуда Альфа, мкВ	87 [*] (71,0-95,3)	84 (67,0-100,0)	77 (57,3-96,8)
Индекс Альфа, %	75 (64,0-80,0)	70 (57,0-76,5)	68 (54,3-72,8)
Амплитуда Бета ₁ , мкВ	29 (10,0-38,3)	30 (10,0-38,0)	32 (24,0-38,0)
Индекс Бета ₁ , %	27 ^{**} (10,0-37,0)	29 (10,0-40,5)	35 (31,0-40,0)

Примечание. Статистически значимое отличие между группами ненецких и русских подростков из Заполярного района в сравнении с группой русских подростков из Приполярного района: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$.

В ряде работ отражено наличие некоторых генофенотипических особенностей морфофункционального развития нервной системы у представителей различных этнических групп. В частности показано, что возрастные перестройки структуры взаимодействия ритмов ЭЭГ происходят у них в разное время для различных корковых областей и частотных диапазонов, а у детей аборигенного населения (коряки, эвены) наступают на 2-3 года позже, чем у потомков пришлого населения (европеиды) [227]. При исследовании состояния кардиореспираторной системы у жителей Северо-Востока РФ выявлено, что у представителей коренных национальностей наблюдается смещение вегетативного баланса в сторону преобладания парасимпатического

отдела вегетативной нервной системы, при этом их кардиореспираторная система функционирует значительно эффективнее [217]. Эти данные подтверждаются при сравнительных исследованиях школьников тувинской и русской национальностей, в которых демонстрируется, что адаптационные приспособления кардиореспираторной системы к окружающей среде у тувинцев осуществляются более рациональными механизмами [129]. При изучении характера биоэлектрической активности головного мозга у жителей Хакасии, авторами не было выявлено каких-либо значимых различий в пространственно-временной организации ЭЭГ у хакасов и русских, однако отмечены этнические особенности в их психоэмоциональной сфере [113].

В то же время, многими авторами указывается, что именно широтный фактор, определяемый целым комплексом климатических составляющих, в пределах Европейского Севера наиболее сильно проявляет свое физиологическое влияние на организм человека уже при разнице географической широты проживания всего в 3° [142, 221, 225].

Показанные нами изменения церебральной биоэлектрической активности у подростков обеих этнических групп Заполярного района могут свидетельствовать о наличии определённых нарушений центральных механизмов регуляции сосудистого тонуса [224]. В частности, указывается, что неблагоприятные условия обитания на Европейском Севере вызывают комплекс изменений функционального состояния кровообращения головного мозга подростков, заключающийся в снижении тонуса крупных сосудов, неустойчивости тонического напряжения мелких артериол, значительном снижении кровенаполнения брахицефальных сосудов и изменении возрастной динамики объёмного мозгового кровотока [185].

В условиях Арктического региона и у коренного, и у пришлого населения отмечается компенсированная гипоксия, проявляющаяся в увеличении коэффициента использования кислорода [76]. У северян при возникновении гипоксических состояний, при увеличении напряжения в системе внешнего дыхания, может отмечаться неблагоприятная перестройка биоэлектрической

активности мозга – регистрируется усиление тета-активности, что указывает на снижение кислородной обеспеченности мозга [41]. Известно, что церебральная гипоксия развивается вследствие рефлекторного спазма артериол и уменьшения мозгового кровотока в ответ на повышение содержания углекислого газа в крови. Экспериментальные данные показывают, что гипоксия приводит к деполяризации мембраны нейронов, повышению их возбудимости и общему деполяризационному сдвигу в коре, с чем и связано появление патологической активности на ЭЭГ [12, 42]. Кроме того, гипоксические состояния вызывают нарушения в кислородтранспортной системе организма, способствуя возникновению окислительного стресса, последствия которого негативно влияют на функционирование мозга, вызывая митохондриальную дисфункцию, способствующую изменению подачи сигналов нейронами и торможению в работе нервных клеток [265, 346]. Полученные в некоторых работах данные позволяют также говорить о наличии у детей и подростков на Севере функциональных особенностей брахиоцефальных артерий в процессе возрастной эволюции, динамике их функционального состояния, обусловленных характером вегетативно-эндокринной регуляции сосудистого тонуса, связанного с активацией симпатической нервной системы и гетерохронностью развития в период полового созревания [77].

Другим немаловажным фактором дискомфорта климатозекологических условий Арктических территорий является резкая контрастность продолжительности светового дня в течение года, которая ещё больше возрастает с увеличением географической широты, достигая максимума в заполярных районах [79, 262]. Показано, что у подростков-северян сдвиг частотного спектра ЭЭГ в сторону медленноволнового диапазона усиливается в периоды уменьшения продолжительности светового дня и полярной ночи, что отражает, с одной стороны, снижение общего уровня активации мозга вследствие сокращения афферентации со стороны зрительной системы (относительная сенсорная депривация) и вынужденной гиподинамии в эти периоды года вследствие суровых погодных условий, а с другой –

адаптационные перестройки механизмов саморегуляции мозга, направленные на формирование нового адаптивного состояния организма в целях поддержания его жизнедеятельности и работоспособности в суровых климатических условиях [72, 90, 225].

Таким образом, по результатам работы были выявлены особенности формирования биоэлектрических процессов головного мозга и реакций мозга на сенсорные сигналы у обследованных 14-17-летних подростков, проживающих на Арктических территориях России, в Приполярных и Заполярных её районах. Отмечена более высокая активность подкорковых диэнцефальных мозговых структур у подростков из Заполярного района, возрастное “созревание” волновой структуры ЭЭГ проявляется у них в виде сохранения повышенного уровня тета-активности, особенно в лобно-центральных отделах и дезорганизованной высокоамплитудной альфа-активности (до 37 % лиц), наличия диффузных реакций усвоения ритмов фотостимуляции в тета-диапазоне (до 50 % случаев) и пароксизмальных форм активности (до 30 % лиц). Показанные церебральные изменения наиболее выражены среди подростков заполярного Севера из младшей возрастной группы (14-15 лет), а также у лиц с преобладанием симпатического тонуса (более половины случаев). У подростков из Приполярного района независимо от состояния их вегетативного тонуса происходит более интенсивная возрастная оптимизация нейродинамических процессов, проявляемая в виде более сформированной амплитудно-частотной части альфа-активности и её зонального градиента, снижения доминирующего влияния медленно-волновой активности и умеренно выраженной бета-активности.

Установлено, что фактор этноса вносит наименьший вклад в выявленные изменения структуры ЭЭГ, при этом максимальное влияние на адаптивные перестройки биоэлектрической активности мозга у подростков, принадлежащих к различным этническим группам Заполярного и Приполярного районов, оказывает именно сочетанное влияние неблагоприятных факторов Севера.

3.3. Значимость фонового тиреоидного статуса в становлении биоэлектрической активности мозга подростков-северян

Территории Архангельской области и Ненецкого автономного округа относят к зобэндемичным регионам [87, 211]. Внутри этих территорий, ряд районов, преимущественно удалённых от морского побережья, является йоддефицитными биогеохимическими провинциями, в приморских же районах (относительно йодобеспеченных) определяющим фактором развития зобной эндемии может являться воздействие на организм детей и подростков различных природно-экологических стромогенов [139, 210, 212, 239]. Дефицит йода в окружающей природной среде приводит к снижению синтеза тиреоидных гормонов, т.е. является причиной снижения функциональной активности щитовидной железы [114]. Как известно, тиреоидные гормоны обладают широким спектром действия. В детском и подростковом возрасте гормоны щитовидной железы принимают непосредственное участие в регуляции физического развития и линейного роста подростка, дифференцировании (созревании) органов и систем, запуске и нормальном протекании полового созревания, а также отвечают за формирование высших структур головного мозга и интеллектуальный потенциал [275]. Главными эффектами действия тиреоидных гормонов в развивающемся мозге являются дифференцировка клеток, рост отростков, их миелинизация и синаптогенез [193]. При гипотиреозе запаздывает накопление гликопротеина, связывающегося с миелином в ростральных отделах мозга, коре и гиппокампе. Известно, что ранее всего миелинизация начинается в каудальных отделах мозга и этот процесс распространяется в ростральном направлении [276, 292]. При дефиците тиреоидных гормонов в подростковом возрасте процессы миелинизации страдают в тех отделах мозга, в которых миелинизация осуществляется наиболее поздно, поэтому наибольшие её изменения имеют место в коре головного мозга.

В системе тиреоидного звена эндокринной регуляции выявлены характерные возрастные изменения содержания гормонов, и их широтные

отличия (табл. 9). Концентрации сывороточных тиреотропина (ТТГ) и тиреоидных гормонов у обследуемых лиц в основном не выходили за пределы заявленных возрастных норм согласно инструкциям к наборам для иммуноферментного анализа данных гормонов (см. главу 2).

Таблица 9

Показатели гипофизарно-тиреоидной системы в различных возрастных группах подростков Приполярного (ПР) и Заполярного (ЗР) северных районов *Me* (25-75 перцентили)

Показатель	Район	14 лет	15 лет	16 лет	17 лет
Тиреотропин, мМЕ/л	ПР	1,2 (1,0-1,5)	1,3 (1,2-1,6)	1,1 (0,8-1,5)	1,3 (0,9-1,8)
	ЗР	1,4 (1,0-1,7)	1,4 (1,3-1,7)	1,4 [#] (1,3-1,8)	1,5 (1,3-1,7)
Трийодтиронин, нг/мл	ПР	1,0 (0,9-1,2)	1,2 (1,1-1,4)	1,4 [×] (1,2-1,6)	1,5 ^{×××} (1,2-1,7)
	ЗР	1,5 ^{##} (1,2-1,6)	1,4 (1,2-1,5)	1,3 (1,2-1,5)	1,2 ^{×,##} (1,0-1,3)
Тироксин, нг/мл	ПР	6,9 (6,3-8,3)	4,8 (4,5-5,5)	4,5 [×] (4,1-5,0)	3,9 ^{×××} (3,6-4,7)
	ЗР	7,6 (7,4-8,8)	8,1 ^{##} (7,4-8,6)	7,4 [#] (6,2-8,5)	8,6 ^{###} (7,1-9,6)

Примечание. Статистически значимое отличие между возрастными группами (в сравнении с группой 14 лет) в одном районе проживания: × – $p < 0,05$; ×× – $p < 0,01$; ××× – $p < 0,001$; # – между выборками Приполярного и Заполярного районов соответствующей возрастной группы.

Более высокие концентрации ТТГ выявлены у подростков Заполярного района, значимые широтные различия отмечены в возрастной группе 16 лет ($p = 0,032$). Возрастные изменения трийодтиронина (T_3) у обследованных подростков выражались в значимом повышении его концентрации в Приполярной группе ($p < 0,001$) и возрастном снижении в группе Заполярного района ($p = 0,014$). Широтные различия в содержании T_3 проявлялись в наименьших ($p = 0,007$) его значениях у 14 летних подростков Приполярного

района и у 17 летних подростков Заполярного района. Наименьшие концентрации тироксина (T_4) отмечены у подростков Приполярного района ($p < 0,05-0,001$), причём с возрастом у этих подростков происходит ещё более отчётливое снижение концентрации гормона ($p < 0,001$). Видимо усиленный рост организма подростка в этом возрасте требует повышенных концентраций трийодтиронина, как главного активатора обменных процессов [274], а снижение тироксина связано с усиленной конверсией его в T_3 .

В очагах зубной эндемии фоновой эндокринной патологией является субклинический гипотиреоз, популяционный уровень которого может достигать 30 % [114]. Предыдущими исследованиями показано, что северные (приморские) районы Архангельской области являются относительно йодобеспеченными, но, несмотря на это, распространённость зоба в них составляет от 15 до 20 % [211]. Согласно нормативам ВОЗ, местность считается эндемичной по зобу в том случае, если популяционный уровень диффузного увеличения щитовидной железы среди детей и подростков составляет 5 % и более. По данным ультразвукового исследования проведенного в школах Приморского района Архангельской области у 20 % обследованных авторами детей и подростков наблюдалось увеличение щитовидной железы [140], соответственно этому, территория данного района, несмотря на оптимальный йодный фон, может считаться зобэндемичной.

В нашем исследовании у обследованных подростков не было выявлено отчётливых отклонений от заявленных нормативов в содержании гормонов гипофизарно-тиреоидной системы, хотя в предыдущих работах, проведенных на территории Приморского района Архангельской области, было показано, что с наступлением пубертатного периода и при его течении значения ТТГ были повышены, а тиреоидных гормонов снижены. В общей выборке у 32 % обследованных детей и подростков данного района было выявлено повышение тиреотропина [138, 183].

Известно, что растущий организм детей и подростков, в силу незрелости физиологических механизмов поддержания гомеостаза, активно абсорбирует

токсичные элементы, в том числе тяжёлые металлы [139, 140]. Относительно пониженный функциональный статус щитовидной железы у подростков йодобеспеченного Приморского района может быть обусловлен наличием в окружающей среде струмогенных факторов (микроэлементный дисбаланс, техногенное загрязнение окружающей среды и т.д.). Исходя из того, что исследуемый район находится на территории Архангельского промышленного узла, в качестве струмогенов может выступать избыток в окружающей среде токсичных (тяжёлых) металлов. По данным Кубасовой Е. Д. средние концентрации Cd, Cr, Fe, Al, Mn, Sr, Zn и др. в сыворотке крови и волосах обследуемых школьников, проживающих в указанном районе, значительно превышали биологически допустимые уровни [140]. Кумуляция в организме подростков подобных природно-экологических струмогенов способна блокировать усвоение йода и нарушать синтез тиреоидных гормонов. Кроме того, относительную йодную недостаточность и компенсаторное увеличение щитовидной железы, как проявление зубной эндемии, может вызывать повышенная экскреция йода с мочой [114].

По данным исследований проведенных Сибилевой Е. Н с соавт. в Ненецком автономном округе [212], зубная эндемия у проживающих там детей и подростков граничит с умеренной степенью согласно критериям ВОЗ, при этом по индикатору клинически значимого зоба напряжённость зубной эндемии носит спорадический характер. При оценке состояния йодной обеспеченности было установлено, что йодный дефицит в НАО распространён с высокой частотой, авторы говорят о своеобразном “феномене зоны тундры” – отсутствии зоба как клинически значимого, так и доклинических стадий (тиромегалии) при наличии йодной недостаточности.

Имеющийся факт можно связать с экономным характером эндокринных реакций в условиях дефицита йода, что сопровождается более высокими концентрациями функционально более активного гормона трийодтиронина при наступлении пубертатного периода (14 лет), позволяющего обеспечить достаточный уровень обмена веществ и терморегуляции. Более высокие, в

сравнении со сверстниками из Приполярного района, концентрации тиреоидных гормонов у 14-15-летних подростков Заполярья, могут указывать на происходящее в этот период определённое уменьшение стимулирующего влияния гипоталамо-гипофизарной системы на процессы гиперплазии / гипертрофии щитовидной железы, обусловленной дефицитом йода. Поэтому ликвидация и адекватная профилактика йодного дефицита в данной возрастной группе является первичным предупреждением узлообразований и иммунных тиреопатий, возникающих в пубертатном периоде. Дальнейшие ростовые и обменные процессы видимо вызывают большее напряжение тиреоидной системы у подростков при адаптации к неблагоприятным условиям арктического региона, что приводит к повышенному расходу трийодтиронина, снижению его концентрации к 17 годам, а также сохранению более высоких уровней ТТГ по сравнению со сверстниками из Приполярного района.

Система тиреостата работает по принципу закона “обратной связи”, в связи с этим уровень тиреотропина в крови достаточно точно отражает функциональное состояние щитовидной железы [115]. После первичного анализа функционального состояния щитовидной железы по содержанию ТТГ подростки были дополнительно разделены на две группы по значению его медианы (1,27 мМЕ/л) в объединённой выборке районов обследования. Были сформированы группы подростков Приполярного района (средний возраст $16,1 \pm 1,1$ лет): ПР-1 – с уровнем ТТГ ниже медианы ($n = 55$) и ПР-2 – с уровнем ТТГ выше медианы ($n = 52$), аналогично были сформированы группы подростков Заполярного района (средний возраст $15,9 \pm 1,0$ лет) – ЗР-1 ($n = 32$) и ЗР-2 ($n = 36$).

Изменения, выявленные в системе тиреоидного звена эндокринной регуляции и характеристиках биоэлектрической активности головного мозга, представлены в таблице 10. Исходя из способа формирования групп, значения тиреотропина были выше в группах ПР-2 и ЗР-2 ($p \leq 0,001$), более высокие концентрации этого гормона выявлены также у подростков ЗР-1 в сравнении с группой ПР-1 ($p < 0,001$).

Показатели гипофизарно-тиреоидной системы и биоэлектрической активности головного мозга в различных по степени функционального состояния щитовидной железы группах подростков Приполярного и Заполярного северных районов *Me* (25-75 перцентили)

Показатель	ПР-1	ПР-2	ЗР-1	ЗР-2
Тиреотропин, мМЕ/л	0,8 (0,6-1,1)	1,6 ^{xxx} (1,3-1,9)	1,1 ^{###} (1,0-1,3)	1,6 ^{xxx} (1,4-2,0)
Трийодтиронин, нг/мл	1,5 (1,1-1,6)	1,4 (1,2-1,6)	1,4 (1,2-1,5)	1,3 (1,2-1,5)
Тироксин, нг/мл	5,1 (4,5-6,7)	4,5 ^{xxx} (3,8-5,7)	8,5 ^{###} (7,7-9,5)	7,4 ^{xxx, ###} (6,3-8,0)
Тиреоидный индекс, у.е.	7,8 (7,5-11,7)	3,7 ^{xxx} (3,2-5,4)	8,8 [#] (8,1-11,1)	5,1 ^{xxx, ###} (3,9-6,1)
Амплитуда Тета, мкВ	34 (29,8-40,0)	38 (30,5-42,5)	51 ^{###} (41,5-62,0)	46 ^{×, ###} (40,0-57,0)
Индекс Тета, %	15 (10,0-19,5)	18 (12,0-23,0)	27 ^{###} (21,5-31,0)	23 ^{###} (20,0-30,0)
Амплитуда Альфа, мкВ	73 (64,3-89,3)	77 (68,5-85,5)	97 ^{###} (84,0-107,5)	81 ^{×, #} (75,0-91,0)
Индекс Альфа, %	70 (61,8-75,0)	73 (60,0-76,0)	75 [#] (65,5-79,5)	67 [×] (58,0-71,0)
Амплитуда Бета ₁ , мкВ	34 (27,8-40,0)	31 (26,0-38,0)	28 [#] (20,0-34,5)	32 (27,0-40,0)
Индекс Бета ₁ , %	27 (22,0-30,3)	26 (22,0-30,0)	22 ^{##} (17,0-27,0)	24 (18,0-29,0)

Примечание. ПР-1 и ПР-2 – группы Приполярного района с уровнем ТТГ ниже и выше значения медианы в объединённой выборке; ЗР-1 и ЗР-2 – группы Заполярного района с уровнем ТТГ ниже и выше значения медианы. Статистически значимое отличие между группами с различным тиреоидным статусом в одном регионе проживания: × – $p < 0,05$; ×× – $p < 0,01$; ××× – $p < 0,001$; # – между выборками Приполярного и Заполярного районов с однотипным тиреоидным статусом.

Уровни трийодтиронина у обследованных подростков значимо не отличались, однако концентрации тироксина были статистически значимо ниже в обеих группах Приполярного района ($p < 0,001$). Кроме того, в обоих регионах обследования выявлено значимое снижение концентрации тироксина в группах с повышенной медианой ТТГ ($p \leq 0,001$).

Для характеристики функциональной активности щитовидной железы проанализировали также величину тиреоидного индекса – отношение самих гормонов щитовидной железы к их гипофизарному регулятору: $(T_3 + T_4) / ТТГ$. Тиреоидный индекс является интегральным показателем состояния гипофизарно-тиреоидной системы [115], значение данного показателя меньше 7,04 свидетельствует о гипofункции щитовидной железы. Значения тиреоидного индекса ниже пограничных были выявлены в группах ПР-2 и ЗР-2, причём наиболее значимые изменения отмечены в выборке Приполярного района ($p < 0,001$).

При анализе функциональных параметров церебральной биоэлектрической активности обследованных подростков выявлены уже описанные ранее характерные широтные отличия (см. табл. 10). У подростков Заполярного района отмечены более высокие показатели тета- и альфа-активности ($p = 0,034-0,001$), а также относительно меньшие значения бета-активности, преимущественно в группе ЗР-1 ($p = 0,041-0,015$). Кроме того, в данном регионе наиболее отчётливо наблюдается отличие между группами подростков с различным тиреоидным статусом. Так, амплитудно-частотные характеристики тета- и альфа-диапазонов были ниже у подростков Заполярного района с более высокой медианой ТТГ ($p = 0,039-0,025$). В группах подростков Приполярного района изучаемые показатели мозговой активности значимо не отличались.

Изменение уровня тиреотропина в крови свидетельствует о состоянии функциональной активности щитовидной железы, поэтому даже незначительное повышение концентрации этого гормона является одним из механизмов приспособительной компенсации тиреоидной системы к

эндемическому дефициту йода в пищевом рационе или факторам, влияющим на его усвоение. Относительно более высокие уровни ТТГ, а также более низкие концентрации тироксина и тиреоидного индекса, выявленные у подростков групп ПР-2 и ЗР-2, могут свидетельствовать о некотором снижении функциональной активности щитовидной железы этих лиц.

При анализе корреляций параметров ЭЭГ и тиреоидного статуса наибольшее число связей в сравнении с другими группами выявлено у 14-15 летних подростков Приполярного района. У них отмечены значимые связи уровней гормонов с показателями биоэлектрической активности мозга – амплитудой (Ам), индексом (Ин), абсолютным значением мощности (АЗМ) в стандартных отведениях: ТТГ с АЗМ тета-активности в лобных отделах ($r = 0,48$); индексом альфа- ($r = -0,40$) и бета-активности ($r = -0,35$); связи тироксина с амплитудой ($r = 0,45$) и АЗМ альфа-активности в затылочных отведениях ($r = 0,46$), а также бета-индексом ($r = -0,50$). Регрессионные модели подтверждают зависимость биоэлектрической активности мозга от секреции тиреоидных гормонов.

$$\text{Ам альфа} = 25,1 + 9,5 \times T_4 \quad (R^2 = 0,17; p = 0,031);$$

$$\text{АЗМ альфа } O_2 = -164,5 + 54,9 \times T_4 \quad (R^2 = 0,19; p = 0,040);$$

$$\text{Ин бета} = 59,5 - 4,4 \times T_4 \quad (R^2 = 0,19; p = 0,024).$$

У подростков Заполярного района зависимость характеристик ЭЭГ от уровня тиреоидных гормонов проявляется лишь к 16-17 годам. Выявлены положительные связи тироксина с АЗМ тета-активности в затылочных отведениях ($r = 0,52$).

Наши данные в целом согласуются с результатами исследований [36, 241, 161], которые выявили повышение значимости тиреоидной системы в дискомфортных условиях Севера, как системы с высокими резервными возможностями эндокринного регулятора анаболических процессов в организме человека. При этом симпатическая активность напрямую зависит от уровня гормонов щитовидной железы, а роль тиреоидной регуляции в обеспечении вегетативных процессов возрастает у подростков-северян на

завершающих этапах полового развития [183]. У проживающих на йоддефицитных территориях школьников при наличии дисфункции щитовидной железы (присутствие зоба) было выявлено напряжение вегетативной регуляции кровообращения и значительное повышение артериального давления, особенно диастолического [171].

Существует мнение, что тиреотропин и тиролиберин наряду с другими нейромодуляторами (норадреналин, ацетилхолин) являются регуляторами вегетативного тонуса, особенностей поведения и когнитивных процессов. Ранее было доказано прямое влияние уровня тиреотропина на показатели аналитико-синтетических процессов и усвоения новых навыков у школьников [274]. В то же время медиатор ацетилхолин повышает способность тиреоидных клеток концентрировать йод и образовывать йодтирозины [276], также гормоны щитовидной железы способны повышать чувствительность адренорецепторов к адреналину [183]. Известно, что ТТГ напрямую стимулирует активность вегетативных структур в продолговатом мозге, модулируя как дыхательную активность, так и барорефлекторные механизмы сердечной деятельности [391]. Вероятно, поддержание исходно высокого симпатического тонуса у подростков обусловлено высокой регуляторной значимостью ТТГ на уровне модулирования центральных вегетативных структур, о чём свидетельствуют его корреляционные связи с параметрами ЭЭГ во всех частотных диапазонах.

При корреляционном анализе в группах подростков отличных по значению медианы ТТГ, было выявлено наибольшее число связей в группе ПР-1 (рис. 7). Отмечены отрицательные связи уровня трийодтиронина с Ам альфа ($r = -0,35$); Ин альфа ($r = -0,43$); АЗМ тета O_{1-2} ($r = -0,41$); АЗМ альфа O_{1-2} ($r = -0,44$); АЗМ бета F_3 ($r = -0,39$). Множественный регрессионный анализ также подтвердил зависимость показателей ЭЭГ от эндокринных предикторов.

$$\text{Ин альфа} = 89,7 - 17,8 \times T_3 (R^2 = 0,14; p = 0,022);$$

$$\text{АЗМ альфа } O_1 = 314,8 - 119,3 \times T_3 (R^2 = 0,14; p = 0,032);$$

$$\text{АЗМ тета } O_1 = 35,8 - 11,5 \times T_3 (R^2 = 0,13; p = 0,037);$$

$$\text{АЗМ бета } F_3 = 23,7 - 6,8 \times T_3 (R^2 = 0,14; p = 0,027).$$

У подростков группы ПР-2 трийодтиронин отрицательно связан с тета-амплитудой ($r = -0,34$), а тироксин – положительно с альфа-амплитудой ($r = 0,36$).

$$\text{Ам альфа} = 57,5 + 4,1 \times \text{T}_4 \quad (R^2 = 0,15; p = 0,043).$$

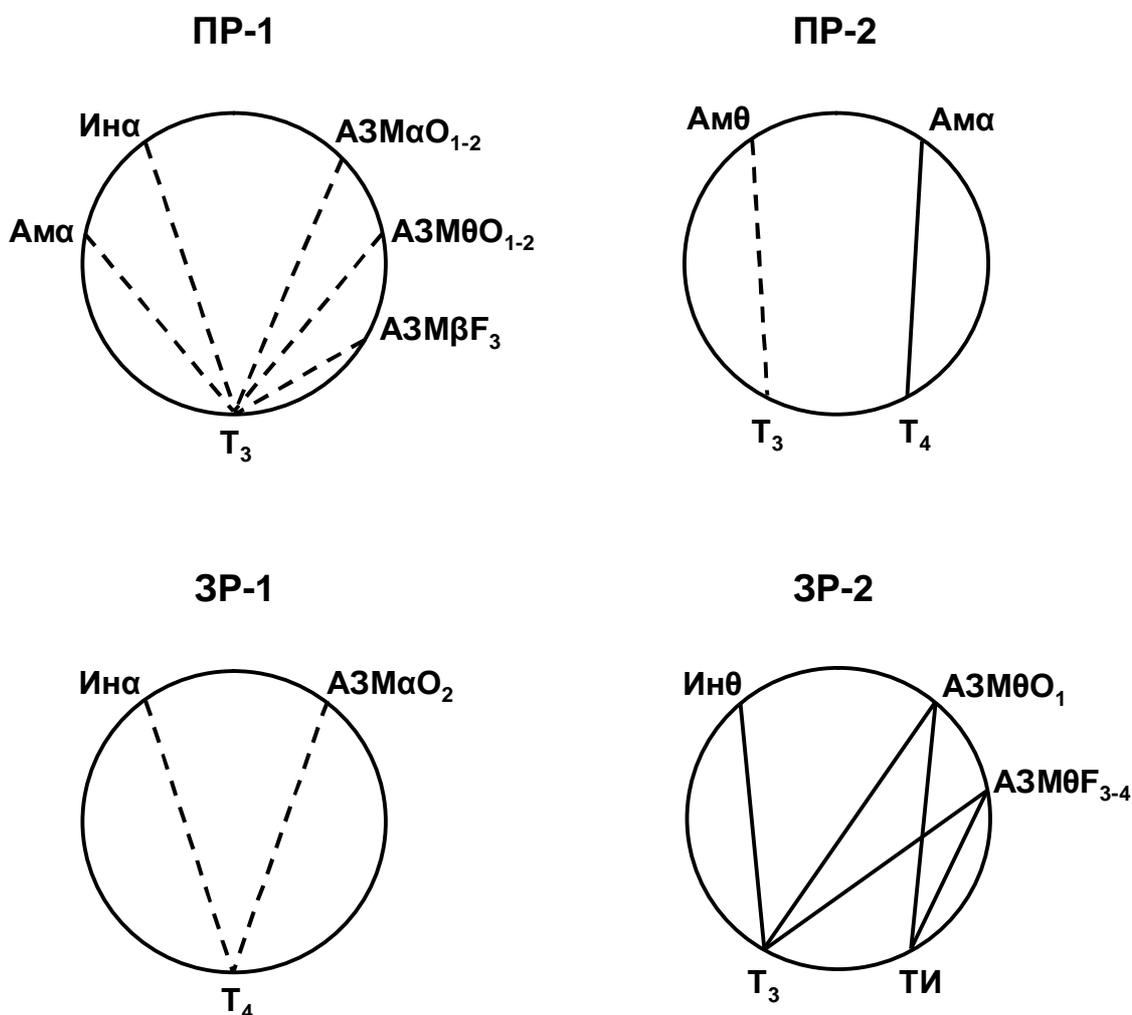


Рис. 7. Корреляционные связи параметров ЭЭГ и тиреоидного статуса в различных по степени функционального состояния щитовидной железы группах подростков Приполярного и Заполярного северных районов.

Примечание. ПР-1 и ПР-2 – группы Приполярного района с уровнем ТТГ ниже и выше значения медианы в объединённой выборке; ЗР-1 и ЗР-2 – группы Заполярного района с уровнем ТТГ ниже и выше значения медианы. Сплошная линия – положительная корреляционная связь, пунктирная линия – отрицательная связь. Показатели электроэнцефалограммы: Ам – амплитуда, Ин – индекс, АЗМ – абсолютное значение мощности в стандартных отведениях. Диапазоны ЭЭГ: θ – тета, α – альфа, β – бета₁.

У подростков группы ЗР-1 были отмечены отрицательные связи тироксина со значениями альфа-индекса ($r = -0,41$), особенно в затылочных отведениях ($r = -0,38$).

$$\text{Ин альфа} = 100,9 - 3,8 \times T_4 \quad (R^2 = 0,15; p = 0,013);$$

$$\text{АЗМ альфа } O_2 = 407,5 - 26,1 \times T_4 \quad (R^2 = 0,10; p = 0,037).$$

В группе подростков ЗР-2 отмечены положительные связи трийодтиронина и тиреоидного индекса (ТИ) с характеристиками тета-активности: Ин тета ($r = 0,43$); АЗМ тета O_1 ($r = 0,47$); АЗМ тета F_{3-4} ($r = 0,52$).

$$\text{Ин тета} = 7,5 + 11,8 \times T_3 \quad (R^2 = 0,13; p = 0,047);$$

$$\text{АЗМ тета } O_1 = -13,5 + 3,6 \times \text{ТИ} + 15,8 \times T_3 \quad (R^2 = 0,35; p = 0,004);$$

$$\text{АЗМ тета } F_3 = 5,4 + 19,1 \times T_3 \quad (R^2 = 0,18; p = 0,025);$$

$$\text{АЗМ тета } F_4 = -20,3 + 23,3 \times T_3 + 4,6 \times \text{ТИ} \quad (R^2 = 0,34; p = 0,006).$$

Можно заключить, что более комфортные климатические условия Приполярного района обуславливают менее жёсткие эндокринно-церебральные взаимосвязи у подростков в поддержании гомеостаза. Это целесообразно с позиции сохранения бóльшего числа биологических свобод, более гибких вариантов приспособительных реакций живой системы к окружающей среде [9, 183]. Согласно современным представлениям, мозг обеспечивает относительно автономную регуляцию продукции тиреоидных гормонов, изменение концентрации которых может и не определяться во внутренней среде организма, но влиять на церебральный энергетический гомеостаз и проявляться в изменении уровня биоэлектрической активности головного мозга [255]. В организации биоэлектрической активности мозга подростков Заполярного района наиболее демонстративно снижение активности в альфа- и тета-диапазонах частот ЭЭГ даже при незначительном снижении функциональной активности щитовидной железы. Эта динамика отражает процессы энергетического метаболизма мозга, а также метаболизма глюкозы и кислорода. В ряде исследований показано, что гипотиреоз связан с уменьшением регионального церебрального кровотока и снижением церебрального метаболизма глюкозы, приводящим к угнетению

энергетического метаболизма мозга [202, 229], а на электроэнцефалограмме большинства людей со сниженным уровнем тиреоидных гормонов может подавляться альфа-ритм и зачастую исчезает тета-активность [257].

Формирование механизмов нейроэндокринных взаимодействий, выявленных в ходе регрессионного анализа, видимо, происходит за счёт влияния тиреоидных гормонов на электрофизиологические свойства мембранных систем клеток и, следовательно, на величину энергопродукции в клетках нервной ткани [120, 449]. Известно, что с уровнем тиреоидных гормонов коррелирует распределение Na^+ и K^+ внутри клетки и во внеклеточном пространстве [276]. Снижение уровня тиреоидных гормонов сопровождается снижением уровня Na^+ внутри клетки и переходом некоторой части ионов K^+ в клетку. Такое изменение в распределении Na^+ и K^+ ведёт к повышению порога возбудимости нервных клеток и, возможно, является одной из причин снижения общей возбудимости тканей мозга при гипотиреозе. Кроме того, известно, что в мозговой ткани происходят процессы дейодирования тироксина в активную форму – трийодтиронин, необходимый для активации дегидрогеназ и окислительных процессов в нейронах [292], а достаточный уровень циркулирующего тироксина является решающим для нормального функционирования и созревания нервных клеток и развития нейрональных связей [398].

Таким образом, выявлена северная специфика функционального состояния щитовидной железы, а также степень её влияния на формирование биоэлектрических процессов головного мозга обследованных подростков. Полученные данные подтверждают значимость оптимальных уровней тиреоидных гормонов на завершающих этапах пубертата для возрастного становления биоэлектрической активности головного мозга (формированию амплитудно-частотных взаимоотношений – снижение тета-активности, особенно в лобных отделах, и повышение альфа- и бета-активности). Фоновое состояние тиреоидной системы определяет возрастное становление церебральной биоэлектрической активности, наибольшее влияние гормонов

отмечено у 14-15 летних школьников Приполярного района, при этом с возрастанием концентрации тироксина в крови у данных лиц, возрастает и степень реактивности ритмозадающих структур во всех рассматриваемых частотных диапазонах. У подростков Заполярья подобная зависимость проявляется в гораздо меньшей степени и лишь к 16-17 годам. С возрастанием концентрации тиреотропина на фоне снижения уровней гормонов щитовидной железы в сыворотке крови подростков Заполярного района, происходит снижение церебральных характеристик тета- и альфа-активности, а также появляются значимые связи тиреоидных гормонов с показателями тета-активности. У подростков Приполярного района формирование амплитудно-частотных взаимоотношений ЭЭГ более устойчиво к колебаниям тиреоидного статуса, в то же время у этих лиц отмечается наибольшее количество нейроэндокринных связей, значительно снижающееся с возрастанием концентрации тиреотропина в крови.

Своевременное выявление и коррекция йоддефицитных нарушений и функциональных расстройств нервной системы не только создаст предпосылки для полноценного физического и умственного развития детей и подростков, но и позволит избежать многих проблем со здоровьем и трудоспособностью в зрелом возрасте, которые особенно прогрессируют у жителей Северных территорий при комплексном воздействии сложных природно-климатических факторов и социально-бытовых условий.

Глава 4. РЕАКТИВНОСТЬ НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА ПРИ БИОУПРАВЛЕНИИ ПАРАМЕТРАМИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА У ПОДРОСТКОВ-СЕВЕРЯН

4.1. Варианты нейрофизиологических реакций при биоуправлении у подростков, в зависимости от района их проживания, исходного вегетативного тонуса, динамики альфа-активности ЭЭГ в ходе тренинга и успешности выполнения процедуры

Длительное напряжение регуляторных систем организма может приводить к истощению адаптационных резервов, нарушению физиологических ритмов и механизмов регуляции [85]. 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 [192, 222]. В этой связи возрастает необходимость поиска методов, способствующих восстановлению нарушенных физиологических функций, адресованных к нейрофизиологическим механизмам адаптивной перестройки интегративных систем мозга. На сегодняшний день в мировой научно-исследовательской и лечебно-профилактической практике показана эффективность и перспективность применения методов функционального биоуправления на основе биологической обратной связи (БОС) для решения как фундаментальных научных задач (изучение механизмов нервной регуляции в конкретных экспериментальных условиях), так и задач практической медицины, например, при коррекции психогенных и вегетативных нарушений [47, 226, 270]. С учётом того, что как было показано выше (см. главу 3.1), в условиях более выраженного климатического дискомфорта на Севере у детей и подростков имеет место смещение баланса вегетативной нервной системы в сторону симпатикотонии, проявляемой, прежде всего, в нарушении ассоциативных вегетативных связей между водителями ритмов сердца и лёгких, выбор наиболее оптимального метода коррекции должен основываться на активационном воздействии парасимпатической нервной системы, которая

преимущественно обеспечивает сердечно-легочные взаимодействия и позволяет оптимизировать вегетативный баланс.

Одним из перспективных методов немедикаментозной коррекции сосудистой дистонии является метод биоуправления параметрами variability сердечного ритма, при котором происходит усиление вагусных влияний на ритм сердца и снижение явлений симпатикотонии [230, 361]. В литературе обсуждались изменения биоэлектрической активности некоторых зон головного мозга при “сердечно-сосудистом обучении” животных. Было установлено, что передача условного зрительного сигнала во время регуляции частоты сердцебиений является вызванной обучением модификацией нервных импульсов на этот сигнал. Эти “изменяемые” норадренергические нейроны, сконцентрированные в основном в ядрах голубого пятна – *n. coeruleus*, получают информацию безусловного сигнала, а затем трансформируют свою активность в соответствии с природой поступающего условного сигнала [226]. По результатам других работ [314], у здоровых добровольцев при управляемом снижении симпатического тонуса происходило усиление метаболической активности в передней части поясной извилины коры головного мозга и в черве мозжечка. При этом изменение вегетативных показателей с помощью релаксации без элемента биоуправления и плацебо-эффекты были связаны с активностью других зон головного мозга. Использование в качестве управляемых показателей статистических [37, 122] и спектральных параметров variability сердечного ритма [230] позволяет дать интегративную оценку вегетативной регуляции организма на уровне баланса периферических и центральных структур нервной регуляции сердечной деятельности. В ходе подобных кардиотренингов происходит выработка новых временных связей в коре головного мозга, и могут наблюдаться различные варианты перестроек в амплитудно-частотной структуре биоэлектрической активности мозга [132]. Выраженность и реактивность основных ритмов биоэлектрической активности головного мозга может отражать характер функционирования таламокортикальных, таламоретикулярных и нейровисцеральных связей при реализации программ саморегуляции.

Контролируемое исследование. В связи с этим, представило интерес оценить изменения в пространственно-временной организации биоэлектрической активности головного мозга, а также динамику показателей variability сердечного ритма и центрального кровообращения в ходе проведения однократного сеанса биоуправления параметрами variability сердечного ритма у подростков. На начальном периоде в обследуемую выборку вошёл 151 подросток из старшей возрастной группы (16-17 лет) Приполярного района: 111 подростков проводили 5-минутную процедуру БОС по вышеописанной методике [230] (см. главу 2) и 40 подростков выступили в качестве группы контроля. При этом вместо проведения БОС-тренинга (2 этап) данные лица в течение 5 минут находились в состоянии спокойного бодрствования и не получали никакой информации об изменении параметров собственного организма.

У обследованных подростков из группы проводившей БОС-тренинг выявлены характерные изменения изучаемых показателей variability сердечного ритма (рис. 8). Так, значения общей мощности спектра ВСП (TP) статистически значимо повышались в ходе сеанса биоуправления в сравнении с фоновыми показателями ($p < 0,001$). На заключительном этапе, когда обследуемый подросток переходил в состояние аналогичное исходному фону, показатели TP стремились к фоновым значениям ($p < 0,001$). Известно, что при коротких записях кардиоинтервалограммы (5 минут) показатель общей мощности спектра ВСП отражает не только общую variability ритма сердца, но и степень сохранности вагусных механизмов сердечной регуляции [17]. Следовательно, увеличивая общую мощность ритма сердца в данном временном диапазоне в процессе кардиотренинга, есть возможность увеличить резерв парасимпатического отдела нервной системы на ритм сердца. Учитывая, что показатель TP в отличие от стандартного отклонения кардиоинтервалов (SDNN, мс) содержит минимальный вклад неперiodических (недыхательных) волн, можно полагать, что эффект биоуправления достигается за счёт увеличения вклада в первую очередь дыхательной и барорефлекторной составляющих спектра ВСП [189].

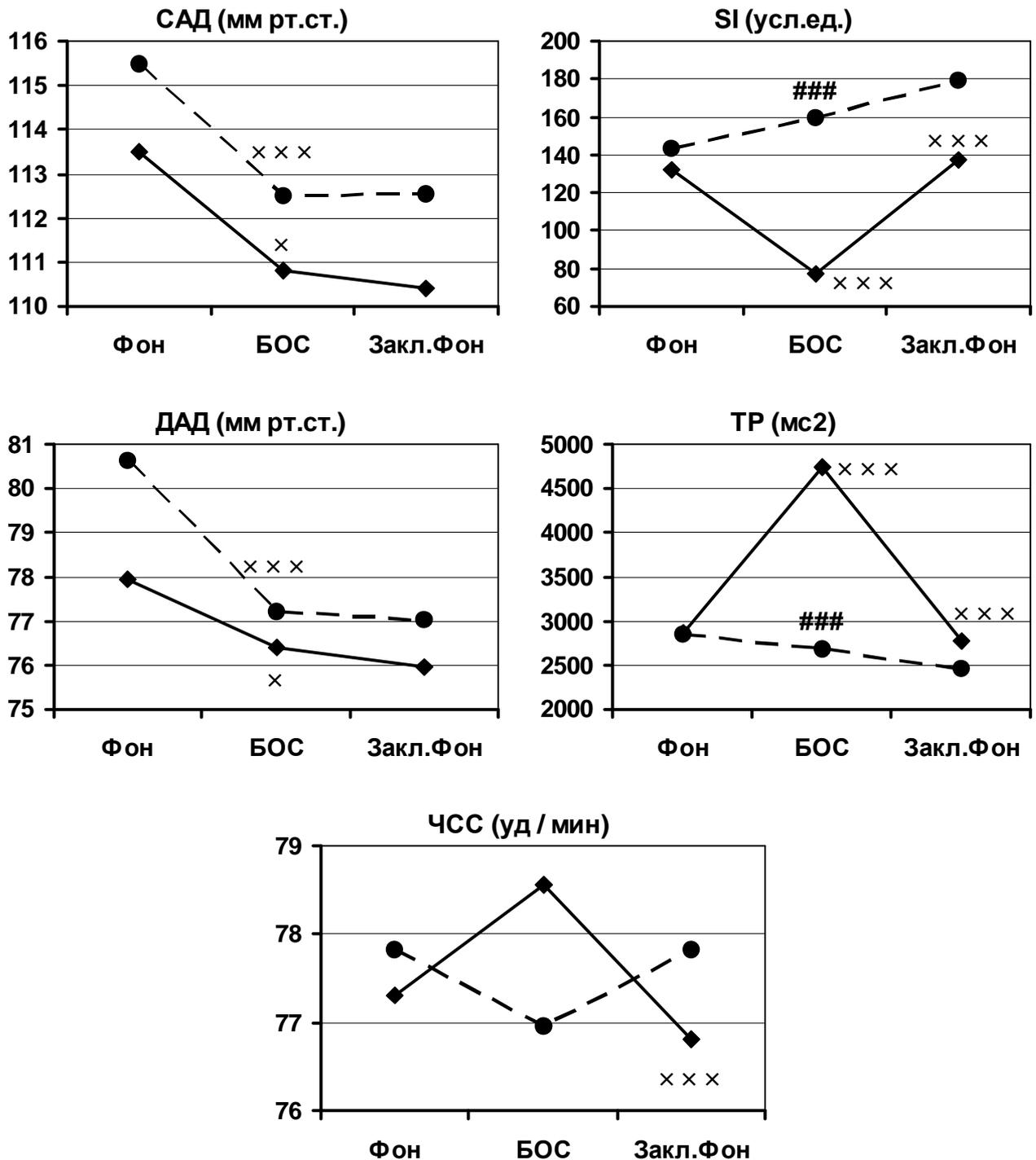


Рис. 8. Изменение показателей центральной гемодинамики и variability сердечного ритма в динамике исследования у подростков из группы проводившей БОС-тренинг и группы контроля.

Примечание. Сплошная линия – БОС-группа; пунктирная линия – группа контроля. “Фон” – фоновые значения; “БОС” – значения при БОС-тренинге или спокойном бодрствовании (для группы контроля); “Закл. Фон” – заключительные фоновые значения. Статистически значимое отличие в сравнении с предыдущим этапом исследования: × – $p < 0,05$; ××× – $p < 0,001$; # – между группами БОС и Контроль на соответствующем этапе.

Индекс напряжения регуляторных систем (SI) значительно снижался на этапе биоуправления, а на заключительном этапе сеанса также значительно повышался, т.е. возвращался к исходному уровню ($p < 0,001$). В ходе сеанса БОС-тренинга также наблюдался сдвиг доминирующего пика спектральной мощности ВСП в низкочастотный диапазон, что может указывать на активизацию барорефлекторных механизмов. Тем не менее, детальный анализ изменений спектральных показателей различных частотных диапазонов ВСП при таком воздействии не представлялся возможным для однозначной интерпретации, так как большинство испытуемых стремились замедлить ритм дыхания менее 9 дыхательных циклов в минуту.

У подростков из группы контроля ожидаемо не происходило каких-либо значимых изменений показателей ВСП в динамике исследования. Отмечена тенденция к плавному снижению общей мощности спектра ВСП и повышению индекса напряжения от начального фона к заключительному, при этом показатели 2-го этапа (БОС-тренинг / спокойное бодрствование) значительно отличались для показателей ВСП в группах “БОС” и “Контроль” ($p < 0,001$).

Изменение артериального давления в динамике исследования было однотипным в обеих группах подростков и выражалось в его значимом снижении ко 2-му этапу и сохранению достигнутых уровней до заключительного этапа. Более отчетливое снижение АД наблюдалось у подростков из группы контроля ($p < 0,001$), при этом как фоновые, так и динамические показатели АД были у них несколько выше, чем в БОС-группе. Динамика ЧСС выражалась в некотором повышении показателя при биоуправлении и значимом его снижении на заключительном этапе ($p < 0,001$) у подростков проводивших БОС-тренинг, у подростков из группы контроля данный показатель значимо не изменялся. Тенденция к повышению ЧСС в группе БОС-тренинга в ходе сеанса объясняется тем, что при биоуправлении интегральными показателями ВСП происходит не только усиление вагусных, но и симпатических влияний на ритм сердца, особенно за счёт барорефлекторной активности [226, 364, 434]. Учитывая то, что однократный сеанс биоуправления

расценивается как когнитивная нагрузка, связанная с активным поиском оптимального состояния согласно заданным параметрам, логично предположить, что именно на первом сеансе БОС-тренинга за счёт присутствующего напряжения центральных механизмов реализуется ориентировочная, поисковая реакция. Также определённым вкладом симпатической активности можно объяснить менее выраженное снижение артериального давления у лиц группы контроля в сравнении с группой БОС-тренинга. При повторных сеансах в режиме кардиотренинга происходит выработка нового алгоритма функционирования кардиореспираторной системы, при котором симпатическая составляющая в общей структуре спектра ВСР, как правило, снижается.

Процентное изменение абсолютных значений мощности основных частотных диапазонов ЭЭГ в динамике исследования при сравнении фоновых значений и показателей после этапа БОС-тренинга / спокойного бодрствования представлено на рисунках 9, 10, 11. У подростков из БОС-группы после сеанса биоуправления выявлено снижение тета-активности, более выраженное в лобных, затылочных и правых височных отделах ($p = 0,032-0,004$). У подростков из группы контроля отмечается лишь незначительная тенденция к снижению тета-активности на уровне 1-2 % (рис. 9). В большинстве случаев обращает внимание наличие значимой (статистически подтверждённой) правосторонней асимметрии в динамических изменениях рассматриваемых частотных диапазонов ЭЭГ.

Прирост мощности альфа-ритма у подростков проводивших БОС-тренинг наиболее значимо выражен в затылочных областях, и захватывая центральные отделы он распространяется до префронтальных областей ($p = 0,025-0,001$) достигая в среднем 10-15 % (рис. 10). В группе контроля повышение альфа-активности более выражено в лобных и правых затылочных отделах ($p = 0,048-0,035$). Наиболее значимые изменения спектральных характеристик ЭЭГ выявлены в БОС-группе против группы контроля ($p = 0,017-0,003$).

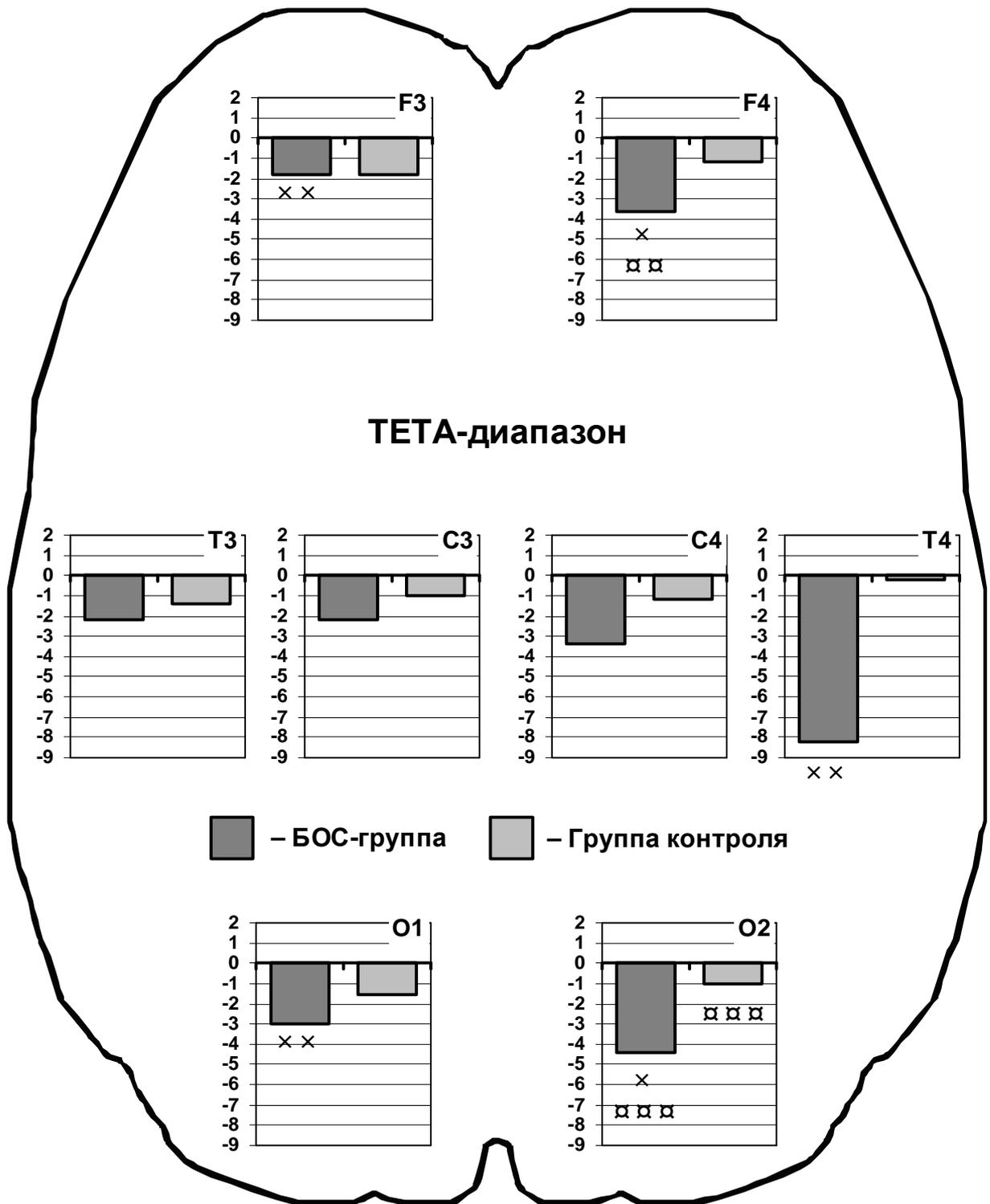


Рис. 9. Изменение абсолютных значений мощности ЭЭГ (%) в тета-диапазоне.

Примечание. F3, F4, C3, C4, T3, T4, O1, O2 – левые и правые лобные, центральные, височные и затылочные отведения ЭЭГ. Статистически значимое отличие в сравнении с предыдущим этапом исследования: x – $p < 0,05$; xx – $p < 0,01$; xxx – $p < 0,001$; α – между показателями в симметричных отведениях слева и справа.

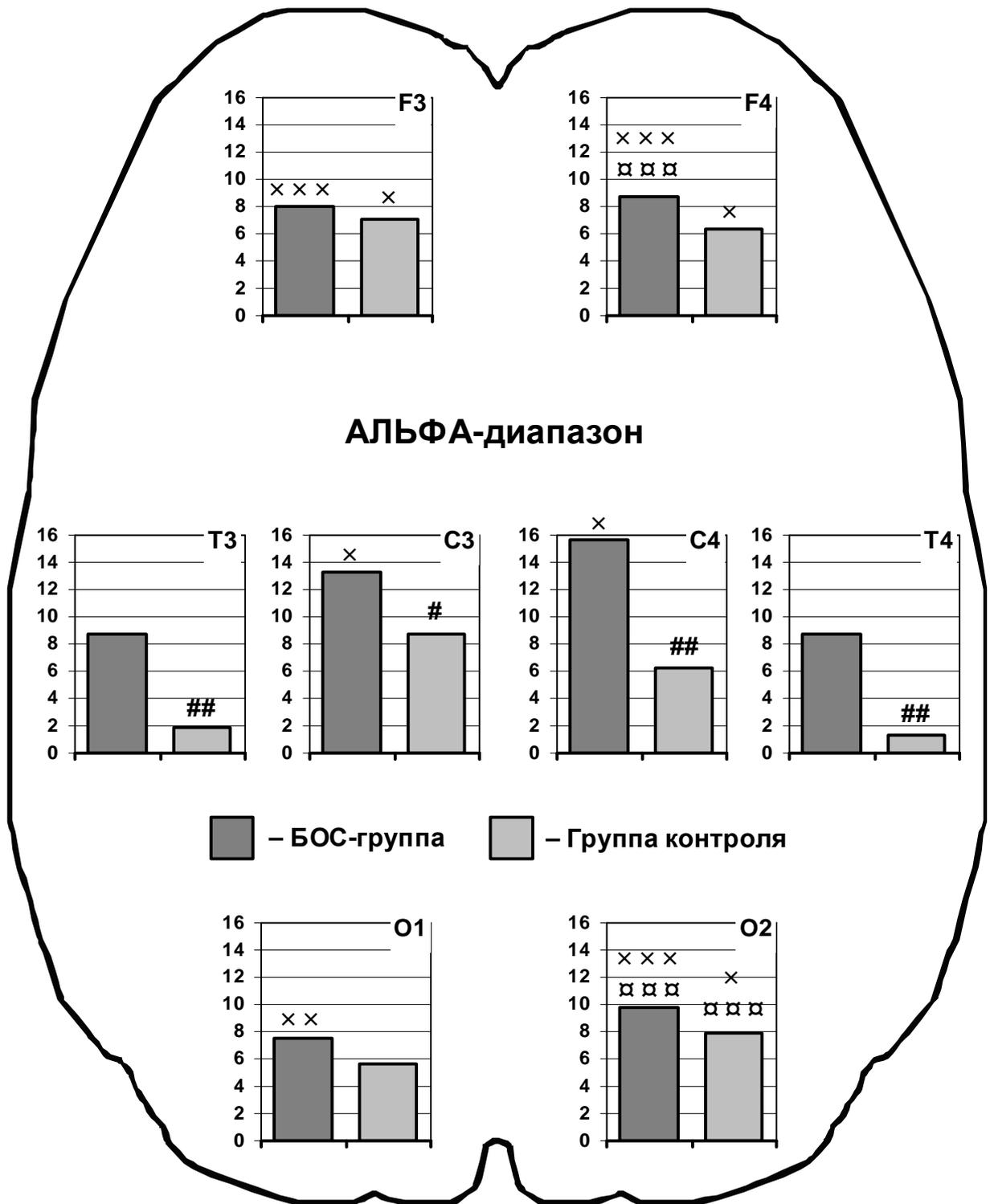


Рис. 10. Изменение значений мощности ЭЭГ (%) в альфа-диапазоне.

Примечание. F3, F4, C3, C4, T3, T4, O1, O2 – левые и правые лобные, центральные, височные и затылочные отведения ЭЭГ. Статистически значимое отличие в сравнении с предыдущим этапом исследования: x – $p < 0,05$; xx – $p < 0,01$; xxx – $p < 0,001$; # – между группами БОС и Контроль; □ – между показателями в симметричных отведениях слева и справа.

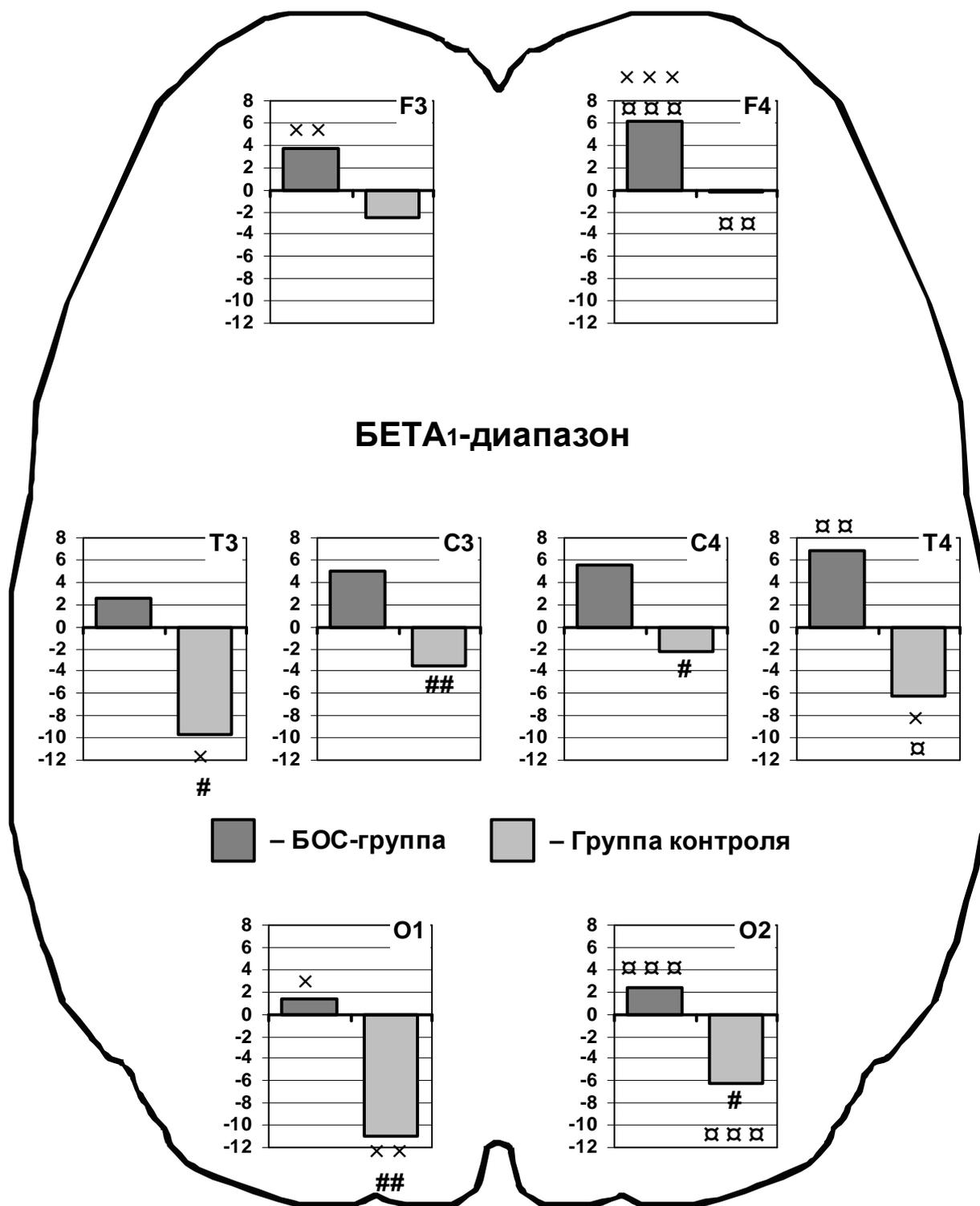


Рис. 11. Изменение абсолютных значений мощности ЭЭГ (%) в бета-диапазоне.

Примечание. F3, F4, C3, C4, T3, T4, O1, O2 – левые и правые лобные, центральные, височные и затылочные отведения ЭЭГ. Статистически значимое отличие в сравнении с предыдущим этапом исследования: x – $p < 0,05$; xx – $p < 0,01$; xxx – $p < 0,001$; # – между группами БОС и Контроль; alpha – между показателями в симметричных отведениях слева и справа.

Для изменения мощности бета₁-активности характерна разнонаправленная динамика (рис. 11). Так у подростков из БОС-группы в целом отмечено повышение бета₁-активности преимущественно за счёт лобных отделов ($p = 0,005-0,001$), при этом у лиц из группы контроля выявлено снижение данного вида активности наиболее значимой в височных и затылочных областях ($p = 0,033-0,010$).

Увеличение мощности альфа-активности над всеми точками конвексимальной поверхности скальпа обусловлено усилением синхронизирующих влияний таламических структур и некоторым снижением десинхронизирующих влияний стволовых ретикулярных структур на кору головного мозга, что в целом отражает процесс относительного снижения уровня напряжения и психофизиологической активности. По современным представлениям [357], генез альфа-ритма определяется таламо-кортикальными нейронными сетями и связан с взаимодействием субъекта и внешнего мира, а генез тета-ритма – обуславливается гиппокампально-кортикальной системой, участвующей в функционировании памяти, то есть более ориентирован на приём и обработку информации от внутренней среды организма. Эти нейрофизиологические представления совпадают с существующим предположением [69], что при релаксации происходит изменение состояния сознания, при котором внимание от внешнего мира переключается на обработку информации от внутренней среды организма.

Повышение мощности альфа-ритма свидетельствует об оптимизации корково-подкорковых взаимоотношений, способствующих уменьшению активности симпатического отдела вегетативной нервной системы. Снижение повышенной активности лимбической и гипоталамической областей сопровождается уменьшением уровня тревожности, психологической и физиологической реакции на стрессовое воздействие [130, 150, 238]. По данным Сметанкина А. А. [215], существенное возрастание выраженности альфа-ритма и снижение выраженности тета-ритма коррелирует со снижением уровня тревожности и эмоционального напряжения. При функциональных

перестройках в заданных условиях процедуры, происходит формирование нового алгоритма работы ритмозадающих систем за счёт снижения активности глубоких подкорковых структур (тета-активность), на фоне возбуждения структур, ответственных за сосредоточение и поисковую активность в новых условиях (бета-активность).

Правосторонняя асимметрия функциональной топографии мозга в ответ на процедуру биоуправления, видимо, вызвана преобладающей скоростью формирования внутренних моделей в правом полушарии на ранних стадиях обучения когнитивному навыку [65], при этом эмоционально окрашенная деятельность независимо от её знака вызывает более генерализованные сдвиги ЭЭГ также в правом полушарии. Кроме того, в некоторых работах [62] показано, что произвольная регуляция частоты сердечных сокращений сопровождается изменениями электрической активности в передних отделах правого полушария при незначительных изменениях в левом.

Изменения при БОС-тренинге, усиливающим парасимпатические влияния на ритм сердца, происходят посредством возбуждения парасимпатических центров передних отделов гипоталамуса, а как следствие активируются и лобные отделы коры [65]. Роль лобных долей в работе с когнитивной новизной была подтверждена в экспериментах, проведенных с применением методов функциональной нейровизуализации [330, 417], когда при обучении новым навыкам было отмечено повышение активности относительно исходных значений в префронтальной области коры правого полушария (средняя лобная извилина). Стоит заметить, что в исследованиях вышеприведённых авторов доказывается наличие эффекта биоуправления параметрами ритма сердца, что отличает данный способ немедикаментозной коррекции изменённых состояний от простой релаксации и плацебо-эффекта. Использование метода позитронно-эмиссионной томографии позволило определить различия в активности тех или иных зон головного мозга при обычной релаксации и при реализации эффекта биологической обратной связи на примере управления параметрами электрического сопротивления кожи с целью снижения симпатической

активности. У добровольцев релаксация была связана со значительным увеличением активности передней поясной области коры и подкорковых ядер бледного шара. Релаксация в сочетании с эффектом биологической обратной связи связана с расширением активности передней поясной области и червя мозжечка. Представленные данные демонстрируют функциональную анатомию сочетания когнитивных процессов и физического усилия при реализации эффекта биологической обратной связи [314].

Таким образом, способность испытуемого изменять активность параметров ритма сердца также определяет степень его воздействия и на функции центральных структур вегетативной регуляции. Со стороны показателей центральной гемодинамики отмечаются в целом однотипные сдвиги, выражающиеся в снижении уровня артериального давления как при обычном расслаблении, связанном видимо с адаптацией к обстановке исследования, так и при выполнении процедуры БОС-тренинга. В то же время, состояние расслабленности, подкрепленное сигналами биологической обратной связи, вызывает более сильные сдвиги в функциональной активности мозга и способствует нормализации механизмов активации, улучшая при этом кортикальную стабильность проявляемую в увеличении альфа- и снижении тета-активности. Процессы синхронизации мозговой активности в динамике биоуправления наиболее отчётливо проявляются в правом полушарии, при этом часто с вовлечением префронтальных областей. Стоит отметить, что контроль неуправляемых полиграфических показателей при кардиобиоуправлении в целом имеет существенное значение для определения функционального состояния испытуемого и эффективности проводимого тренинга.

Зависимость нейрофизиологических реакций при однократном сеансе биоуправления параметрами сердечного ритма от успешности выполнения процедуры. В ходе дальнейшей обработки результатов нами было выявлено, что не у всех подростков выполнявших однократный сеанс БОС-тренинга он являлся успешным. Учитывая, что при биоуправлении максимально

задействованы кортико-висцеральные связи и эмоционально-волевая сфера, представило интерес определить, насколько успешность выполнения кардиотренинга влияет на описанные выше изменения показателей ЭЭГ и центральной гемодинамики. Предыдущие исследования [189, 226] показали, что направленное произвольное управление вегетативной регуляцией обычно становится возможным после 3-4 сеансов обучения, когда у испытуемых минимизируется рефлекс на обстановку исследования и устанавливается ассоциативная связь между изменениями контролируемого параметра и внутренним состоянием. Но даже при однократном сеансе в рамках текущего исследования – более 85 % лиц смогли успешно выполнить процедуру БОС. Критерием успешности служило снижение индекса напряжения и увеличение общей мощности спектра ВСР, при этом испытуемые достигали состояния общей расслабленности, покоя, психического комфорта и эмоционального равновесия. После оценки степени успешности выполнения процедуры биоуправления все испытуемые были условно разделены на 2 группы: лица с успешным сеансом ($n = 95$) и лица которым не удалось достигнуть желаемого результата с первого раза ($n = 16$).

Так, в группе подростков с успешно выполненной процедурой, общая мощность спектра значимо повышалась в процессе БОС-тренинга в сравнении с фоновыми значениями ($p < 0,001$), при этом индекс напряжения значимо снижался ($p < 0,001$) (рис. 12). В группе лиц с неуспешным БОС-тренингом, в динамике процедуры напротив происходило значимое снижение общей мощности спектра и повышение индекса напряжения ($p < 0,001$). Значимые различия фоновых показателей ВСР в группе лиц с успешным и неуспешным тренингом ($p < 0,001$), могут быть свидетельством относительно бóльшего вагусного влияния на ритм сердца у последних. Можно предположить, что в процессе БОС-тренинга с целью повышения парасимпатических влияний на ритм сердца у этих лиц срабатывает механизм стабилизации вегетативного тонуса для возвращения вегетативного гомеостаза к сбалансированному состоянию [45].

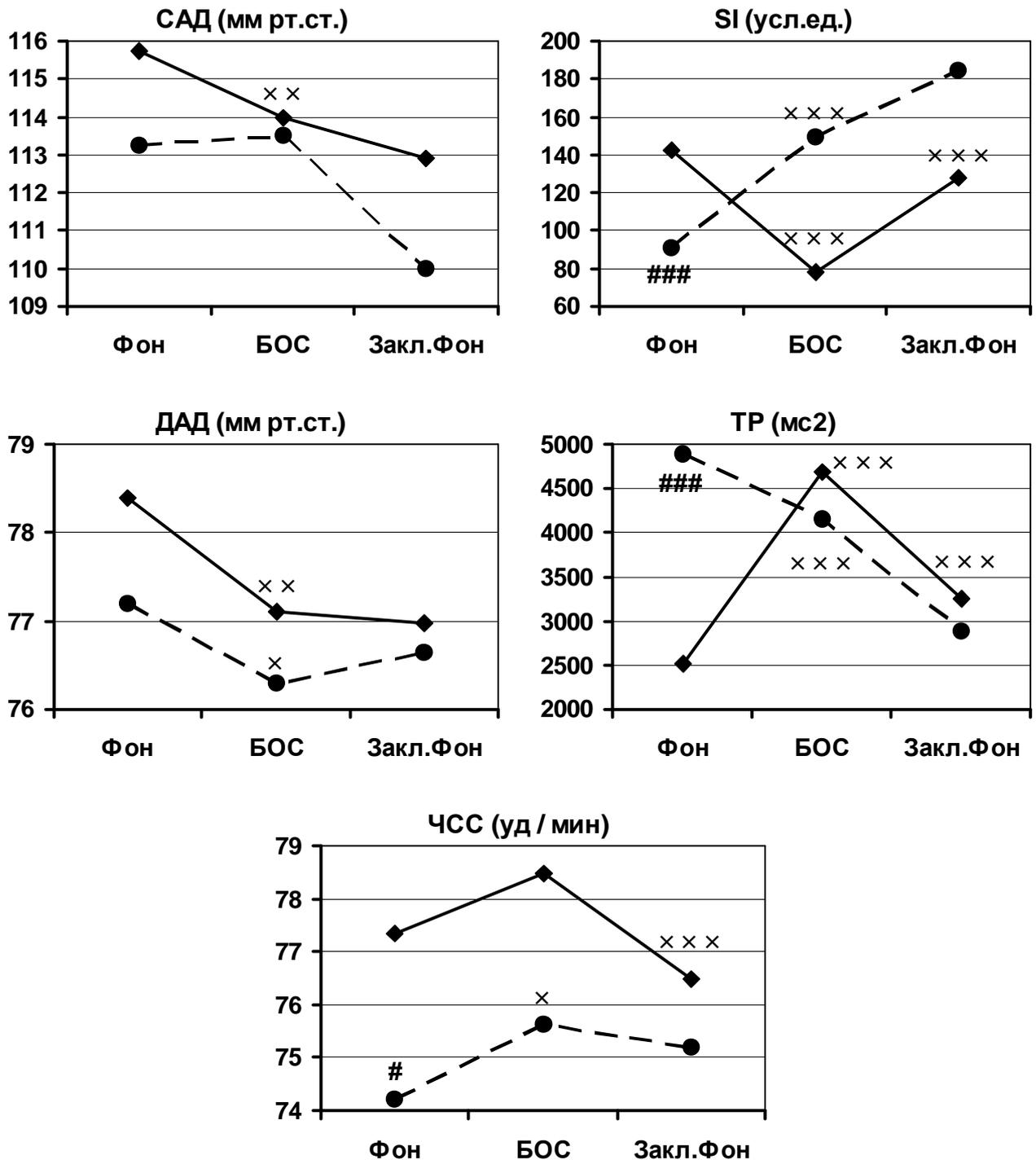


Рис. 12. Изменение показателей центральной гемодинамики и вариабельности сердечного ритма в ходе сеанса биоуправления у подростков в зависимости от степени успешности выполнения процедуры.

Примечание. Сплошная линия – успешный сеанс; пунктирная линия – неуспешный сеанс. “Фон” – фоновые значения; “БОС” – значения при БОС-тренинге; “Закл. Фон” – заключительные фоновые значения. Статистически значимое отличие в сравнении с предыдущим этапом исследования: x – $p < 0,05$; x x – $p < 0,01$; x x x – $p < 0,001$; # – между группами с успешным и неуспешным сеансом на соответствующем этапе исследования.

В ряде работ посвящённых оценке эффективности биоуправления по параметрам сердечного ритма было также показано, что у лиц с исходным преобладанием парасимпатических влияний сеансы были неэффективны, в то же время, данными авторами отмечено снижение психофизиологического напряжения у испытуемых лиц после проведения сеансов БОС независимо от их исходного вегетативного тонуса [122].

В частности было отмечено, что лица склонные к слабости синусового узла реагируют не типичным уменьшением длительности сердечного цикла на попытку когнитивного висцерального кардиобиоуправления, а наоборот увеличением ЧСС и усилением симпатических влияний. Авторы отмечают, что указанный феномен является физиологически обоснованной реакцией, оптимизирующей работу кардиопейсмекеров, и представляет наиболее стереотипный ответ в условиях фоновой ваготонии [44].

Артериальное давление снижалось после биоуправления в среднем у подростков из обеих групп: у лиц с успешно выполненной процедурой снижалось САД и ДАД ($p = 0,008-0,002$), у лиц с неуспешным БОС-тренингом снижалось лишь диастолическое АД ($p = 0,032$). ЧСС значимо снижалась лишь в группе успешных подростков на заключительном этапе ($p < 0,001$), а у неуспешных лиц даже отчётливо повышалась в ходе БОС-тренинга ($p = 0,045$). При этом фоновые значения изучаемых гемодинамических показателей также были ниже в группе лиц с неуспешным тренингом.

Изменение деятельности сердца, вне зависимости от того, идёт ли речь об урежении или учащении сердечных сокращений, служат наиболее надёжными объективными показателями степени эмоционального напряжения у человека по сравнению с другими вегетативными функциями при наличии двух условий: эмоциональное переживание характеризуется сильным напряжением и не сопровождается физической нагрузкой [149]. Частота сердечных сокращений часто используется для идентификации состояния напряжения. Однако данная реакция неспецифична в отношении стимула, и до сих пор неясно, каким образом она изменяется в аналогичных условиях. Проблема заключается в том, что ЧСС имеет двойной контроль со стороны симпатической и

парасимпатической систем. Такая многофакторная природа ЧСС затрудняет однозначную интерпретацию её изменений [174]. Тем не менее, этот показатель часто используется в целях диагностики функциональных состояний, ЧСС отражает степень потребности тканей в кислороде, активации окислительных процессов, нарастания гипоксии тканей. Ряд исследований в нашей стране и за рубежом показывают, что в результате когнитивной нагрузки происходит возрастание ЧСС. У переводчиков-синхронистов частота сердечных сокращений во время работы достигает иногда 160 ударов в минуту, при этом даже значительная физическая нагрузка у них же увеличивает ЧСС лишь до 145 ударов в минуту [цит. по 149].

В проведенных нами исследованиях было обнаружено, что перестройки параметров ЭЭГ при произвольной регуляции характеристиками ВСР могут достигаться как за счёт изменения амплитуды отдельных составляющих спектра ЭЭГ, так и изменения их удельного веса (индекса) в биоэлектрической активности (рис. 13). При сравнении показателей начального фона и реакции последствия БОС (см. схему сеанса в главе 2) – было отмечено повышение амплитуд и индексов альфа-диапазона у 65-70 % обследованных лиц. Изменение этих показателей выражалось в значимом повышении ($p = 0,008-0,001$) от фона к этапу последствия БОС и вновь снижении ($p < 0,001$) к заключительному фону, что может свидетельствовать о высокой реактивности мозговых структур в ответ на процедуру БОС-тренинга. Во время регистрации заключительного фона значения амплитудно-частотных характеристик альфа-активности снизились практически к уровням начальных фоновых значений у обеих групп лиц независимо от успешности выполнения процедуры. После завершения процедуры биоуправления и уменьшения парасимпатических влияний на этапе заключительного фона – показатели ВСР стремятся к фоновым значениям, показатели альфа- и бета₁-активности также компенсаторно возвращаются к исходным значениям. Этот факт подчёркивает наличие определённых изменений функциональной активности головного мозга происходящих на предыдущих этапах, обусловленных именно эффектами биоуправления.

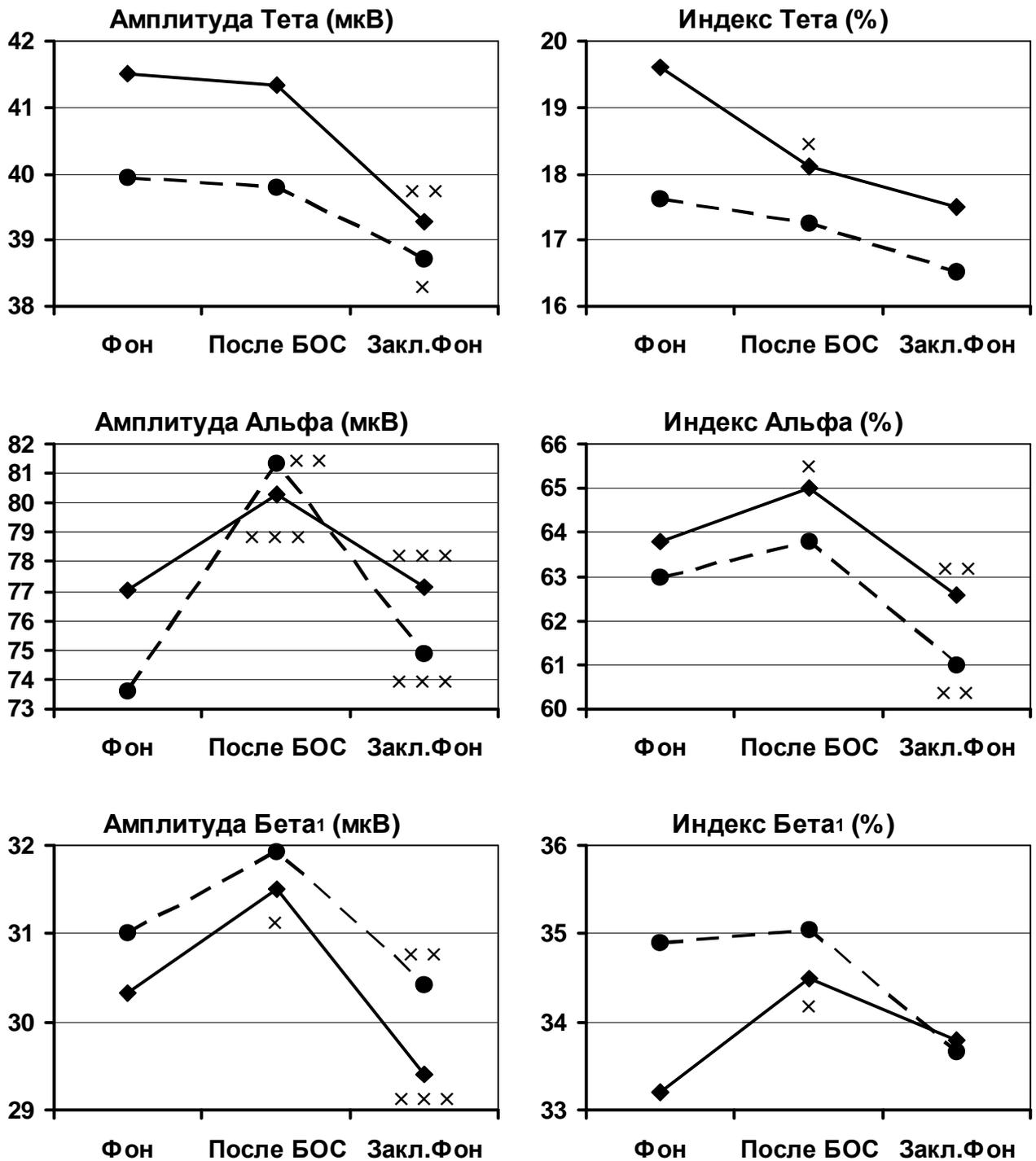


Рис. 13. Изменение показателей биоэлектрической активности головного мозга в динамике сеанса биоуправления у подростков в зависимости от степени успешности выполнения процедуры.

Примечание. Сплошная линия – успешный сеанс; пунктирная линия – неуспешный сеанс. “Фон” – фоновые значения; “После БОС” – значения этапа последействия БОС-тренинга; “Закл. Фон” – заключительные фоновые значения. Статистически значимое отличие в сравнении с предыдущим этапом исследования: x – $p < 0,05$; x x – $p < 0,01$; x x x – $p < 0,001$.

Динамика значений бета₁-активности в целом была сходна изменениям в альфа-диапазоне, более значимые изменения происходили в группе подростков с успешно выполненным сеансом ($p = 0,033-0,001$).

Повышение бета₁-активности у подростков на этапе последствий БОС, может являться признаком усиления концентрации внимания в процессе формирования биологической обратной связи. Результаты некоторых исследований показали, что мотивация к успешности выполнения вербальных заданий с элементами новизны и тестов на зрительно-пространственные отношения положительно связана с высокой активностью бета-диапазона ЭЭГ. Также предполагается, что эта активность связана с отражением деятельности механизмов сканирования структуры внешнего стимула, осуществляемой нейронными сетями, продуцирующими высокочастотную активность ЭЭГ [191]. Кроме того, отмечено [404], что высокочастотная активация префронтальной коры происходит более значительно в случаях успешности выполнения предъявляемых когнитивных заданий.

Тета-индекс значимо снижался уже на этапе последствий БОС у подростков с успешно выполненной процедурой ($p = 0,018$), амплитуда тета-активности к этапу последствий БОС снижалась на уровне тенденции, значимое же её снижение ($p = 0,024-0,005$) происходило лишь к заключительному фону для обеих групп подростков. Как известно, основную роль в генезе тета-ритма играют промежуточный мозг и лимбическая система – т.е. структуры, непосредственно участвующие в детекции и регуляции эмоций [149]. Наблюдаемая депрессия тета-активности может быть обусловлена стабилизацией психоэмоционального состояния испытуемого при выполнении процедуры БОС-тренинга и снижением активности глубинных структур на кору мозга.

Таким образом, меняя фундаментальные ритмические механизмы за счёт изменения нейромодуляторных влияний подкорковых структур регуляции, кардиотренинг нормализует механизмы церебральной активации. В зависимости от успешности выполнения процедуры, адаптивное биоуправление параметрами ритма сердца с целью повышения резервов его

парасимпатической регуляции формирует сходные по характеру, но различные по силе варианты изменений биоэлектрической активности мозга и гемодинамических показателей у подростков. Более 85 % лиц смогли успешно выполнить однократный сеанс биоуправления, у них отмечена наибольшая выраженность изменений, когда наряду с усилением активности парасимпатического отдела вегетативной регуляции и снижения уровня артериального давления происходит более интенсивная оптимизация нейродинамических процессов. По-видимому, успешность направленных вегетативных сдвигов при саморегуляции сопряжена с высокой пластичностью нейрофизиологических механизмов [226]. Однонаправленность изменений ЭЭГ у подростков с различной степенью успешности биоуправления и малая доля неуспешных лиц (менее 15 %), обосновали дальнейшее рассмотрение нейрофизиологических и вегетативных реакций у таких подростков в общей выборке. Достижение положительного эффекта биоуправления в группе неуспешных подростков, видимо, возможно при более длительном курсе процедур, но целесообразность проведения такого курса необходимо уточнять индивидуально с учётом исходного вегетативного тонуса и психоэмоционального состояния испытуемого.

Зависимость нейрофизиологических реакций при однократном сеансе биоуправления параметрами сердечного ритма от района проживания и динамики альфа-активности ЭЭГ в ходе проведения тренинга. Выраженность и реактивность основного ритма биоэлектrogenеза человека (альфа-ритма) отражает степень оптимального функционирования таламо-кортикальных, таламо-ретикулярных нервных путей [18] и, следовательно, мозговых центров, отвечающих за нейровисцеральные связи в организме. Учитывая выявленные и описанные в предыдущих главах работы различия в темпах формирования биоэлектрической активности мозга и механизмах нейровегетативной регуляции сердечной деятельности у обследованных подростков 14-17 лет, проживающих в климатоэкологических условиях приполярных и заполярных территорий Севера, представилось актуальным

определение у них направленности электроэнцефалографических реакций при биоуправлении параметрами ритма сердца.

При анализе активности основного ритма ЭЭГ до и после проведения сеанса кардиобюуправления было выявлено, что у подростков может происходить как повышение, так и снижение абсолютных значений мощности альфа-активности (рис. 14). Подростки из каждого района обследования были разделены на две группы: ПР-1 – группа Приполярного района с повышением мощности альфа-активности после сеанса биоуправления ($n = 125$) и ПР-2 – со снижением мощности альфа-активности ($n = 72$), на аналогичные группы были разделены подростки из Заполярного района – ЗР-1 ($n = 104$) и ЗР-2 ($n = 45$).

Динамика показателей ВСР была сходной во всех группах подростков – общая мощность спектра значимо повышалась в процессе БОС-тренинга в сравнении с фоновыми значениями ($p < 0,001$), при этом индекс напряжения значимо снижался ($p < 0,001$) (рис. 15). В группе подростков Заполярного района с повышением мощности альфа-активности в сравнении с аналогичной группой Приполярного района отмечены более высокие фоновые значения SI ($p = 0,028$) и более низкие фоновые показатели TP ($p = 0,041$), что свидетельствует о преобладании симпатических влияний на активность сердечной деятельности у подростков из этой заполярной группы. Анализ динамических показателей ВСР в ходе кардиотренинга выявил статистически более высокие значения TP на этапе “БОС” в группе Заполярного района со снижением мощности альфа-активности в сравнении с остальными группами подростков ($p = 0,003-0,001$), что может являться критерием более успешного выполнения процедуры данными подростками.

Систолическое артериальное давление снижалось как при биоуправлении, так и после окончания процедуры – у подростков Приполярного района лишь на уровне тенденции, а у их заполярных сверстников более активно ($p = 0,012-0,007$). Диастолическое давление практически не изменялось при проведении процедуры и снижалось лишь после её окончания, более значимо также в группах Заполярного района ($p = 0,035-0,004$).

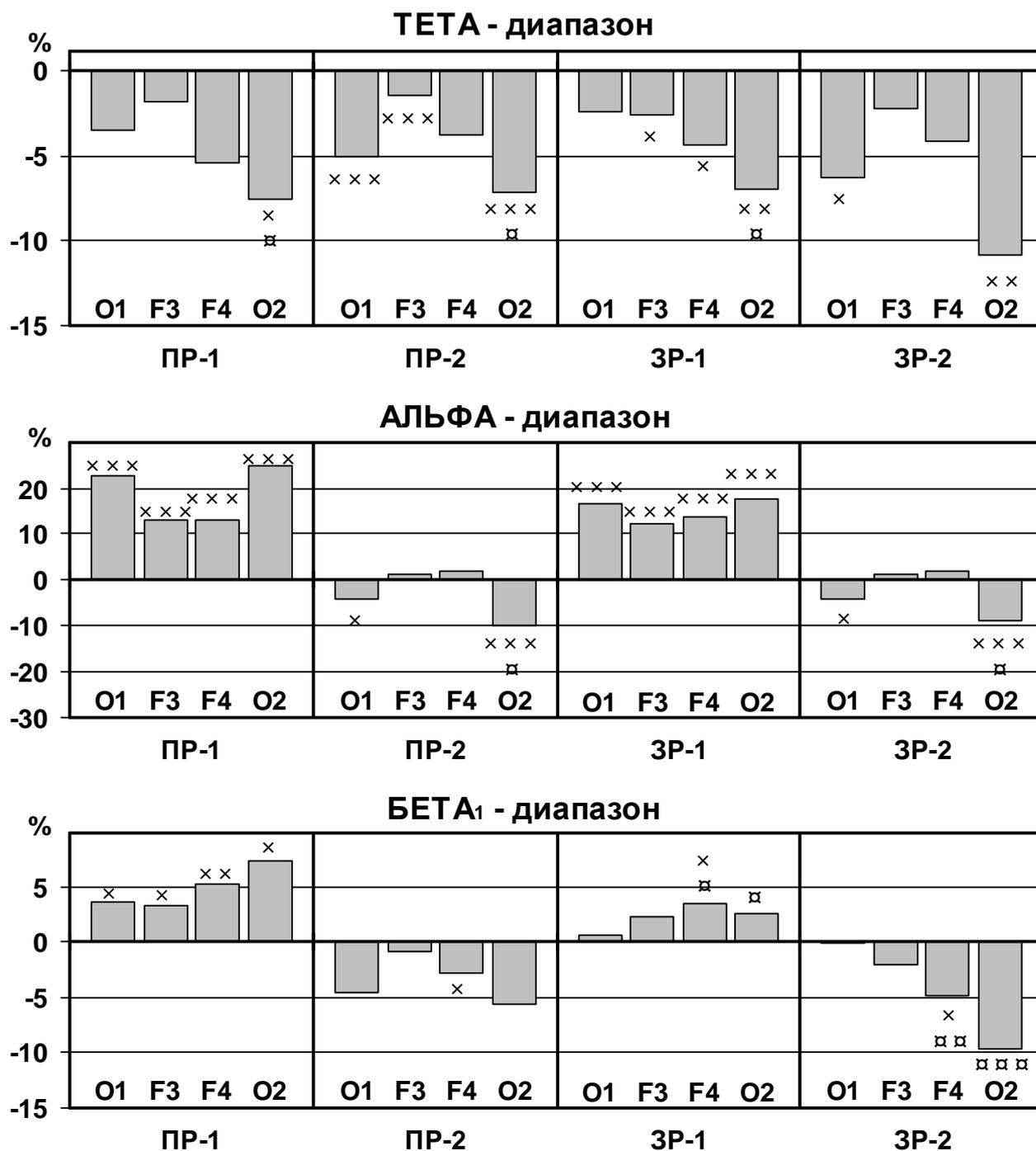


Рис. 14. Прирост / снижение (в процентах) абсолютных значений мощности основных частотных диапазонов ЭЭГ в динамике сеанса биоуправления у подростков из Приполярного и Заполярного северных районов.

Примечание. F3, F4, O1, O2 – левые и правые лобные и затылочные отведения ЭЭГ. ПР-1 и ПР-2 – группы Приполярного района с повышением и снижением мощности альфа-активности в динамике сеанса биоуправления; ЗР-1 и ЗР-2 – аналогичные группы Заполярного района. Статистически значимое отличие между показателями фонового состояния и этапа последействия БОС-тренинга: x – $p < 0,05$; xx – $p < 0,01$; xxx – $p < 0,001$; α – между показателями в симметричных отведениях слева и справа.

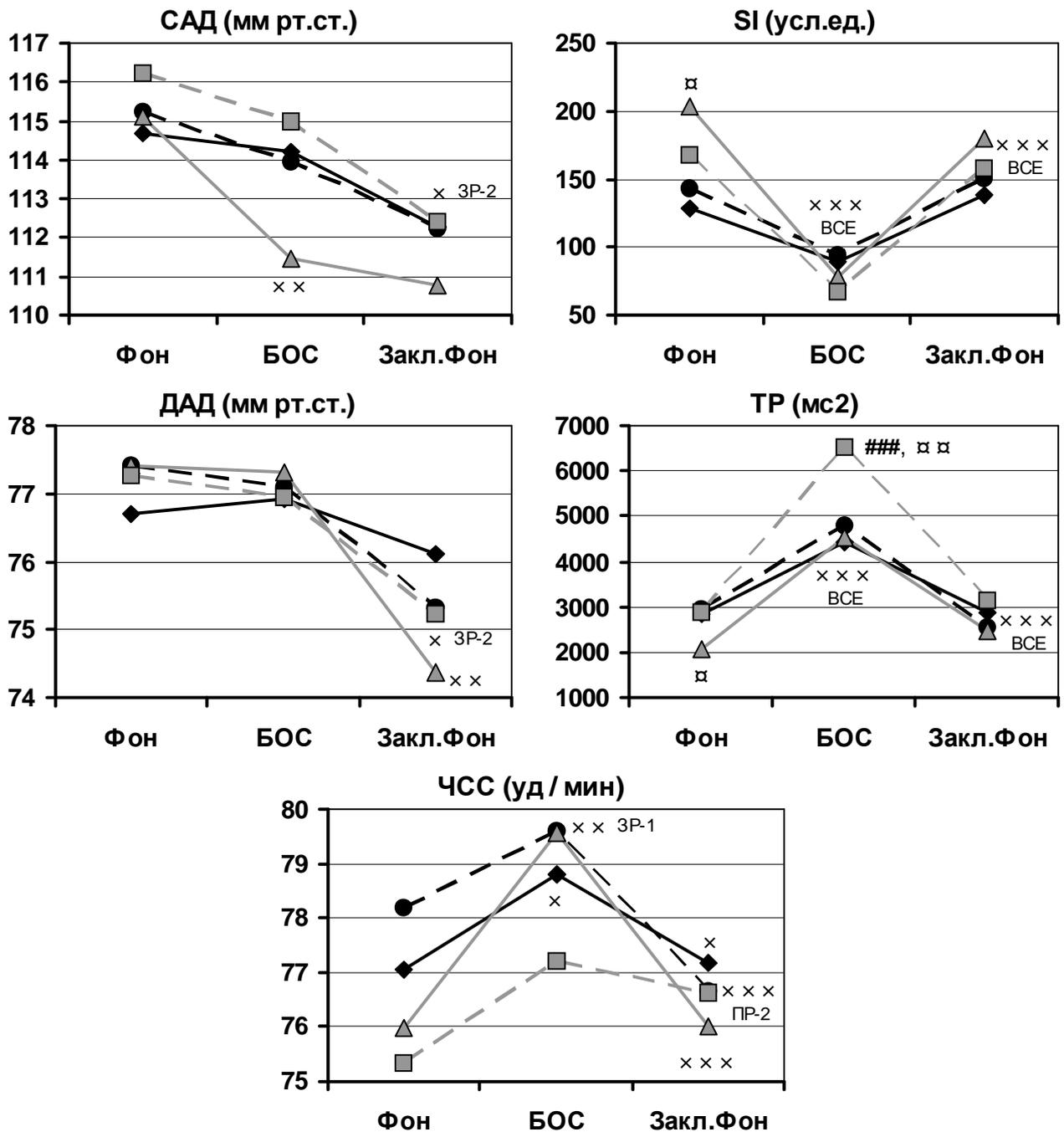


Рис. 15. Изменение показателей гемодинамики и variability сердечного ритма в ходе сеанса биоуправления у подростков с различной динамикой альфа-активности, проживающих в Приполярном и Заполярном районах.

Примечание. Сплошные линии – группы с повышением мощности альфа-активности в динамике сеанса; пунктирные линии – группы со снижением. Чёрные линии – группы Приполярного района; серые линии – группы Заполярного района. Статистически значимое отличие в сравнении с предыдущим этапом исследования: x – $p < 0,05$; x x – $p < 0,01$; x x x – $p < 0,001$; # – между группами с различной динамикой альфа-активности в одном районе проживания; x x x – между выборками из Приполярного и Заполярного районов с однотипной динамикой альфа-активности.

Динамика ЧСС также была сходной во всех группах подростков и выражалась в повышении значений на этапе БОС-тренинга, статистически значимо повышение происходило в группах подростков с повышением мощности альфа-активности из обоих северных районов ($p = 0,025-0,010$); после окончания процедуры значения ЧСС возвращались практически к исходным фоновым ($p = 0,044-0,001$).

При анализе функциональных параметров церебральной биоэлектрической активности обследованных подростков выявлены характерные отличия фоновых и динамических значений амплитудно-частотных характеристик ЭЭГ между выборками из Приполярного и Заполярного районов (рис. 16). У подростков из обеих групп Заполярного района отмечены более высокие амплитуда и индекс тета-активности ($p = 0,017-0,001$), а в группе подростков ЗР-1 также наблюдается более высокая амплитуда альфа-активности ($p < 0,001$) и значимо меньшие амплитуда и индекс бета₁-активности ($p = 0,012-0,001$).

Кроме того, в Заполярном районе наиболее отчётливо наблюдается отличие между группами подростков с различной динамикой альфа-активности после сеанса биоуправления. Так, фоновые и динамические значения амплитуды тета- и альфа-диапазонов были значимо выше, а амплитуда и индекс бета₁-активности ниже в группе подростков ЗР-1 ($p = 0,023-0,008$). При сравнении групп подростков из Приполярного района отмечены лишь более высокие фоновые значения альфа-индекса в группе ПР-2 ($p = 0,035$), остальные изучаемые показатели мозговой активности у подростков этого района значимо не отличались.

В соответствии с направленностью динамики мощности альфа-активности у подростков в группах ПР-1 и ЗР-1, амплитуда и индекс альфа-диапазона также повышались на этапе последействия БОС у этих лиц ($p < 0,001$). При этом восстановление симпатических влияний на ритм сердца на этапе заключительного фона происходило параллельно с компенсаторным снижением альфа-активности в группе подростков ПР-1 ($p < 0,001$).

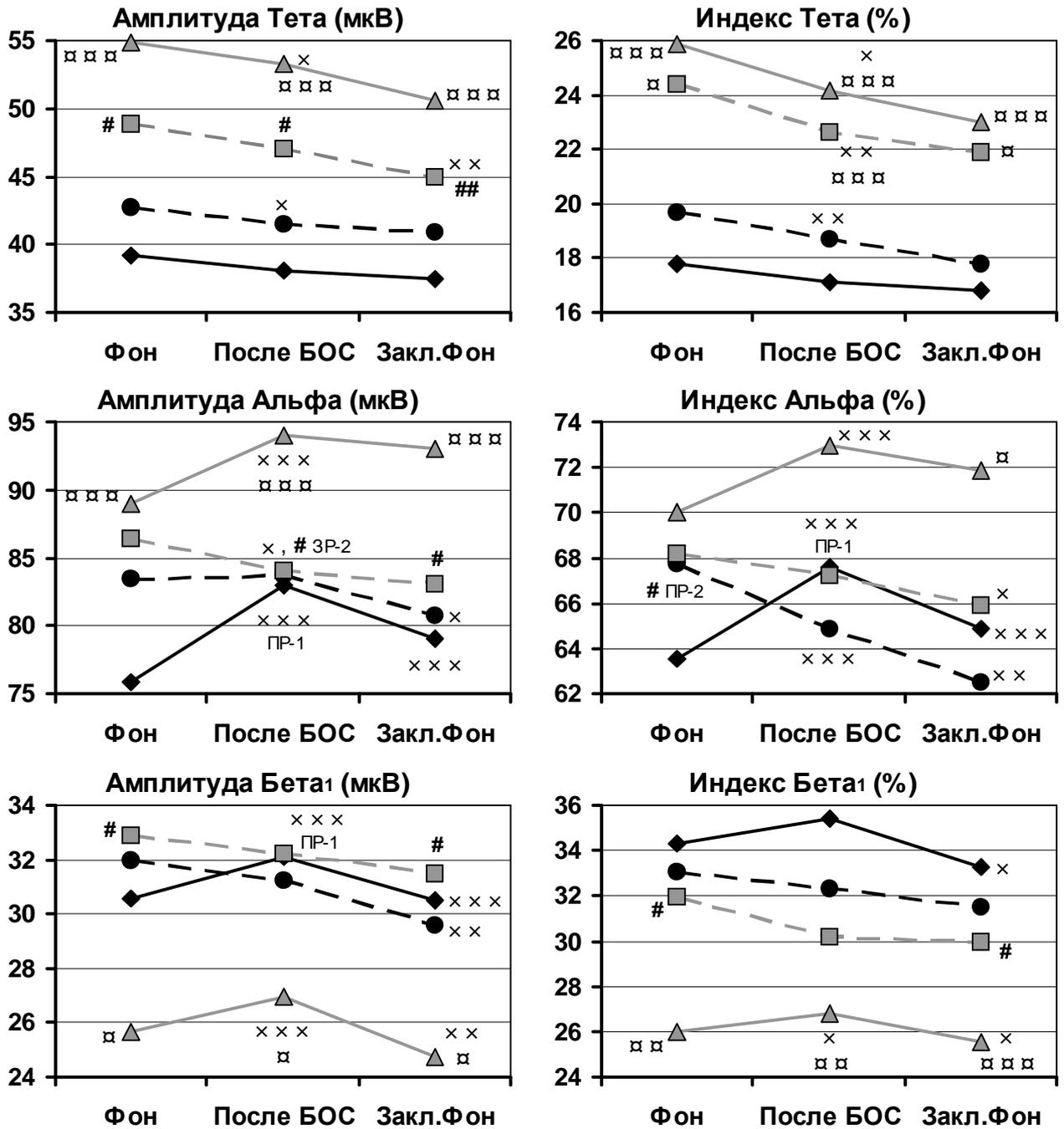


Рис. 16. Изменение показателей биоэлектрической активности головного мозга в ходе сеанса биоуправления у подростков с различной динамикой альфа-активности, проживающих в Приполярном и Заполярном районах.

Примечание. Сплошные линии – группы с повышением мощности альфа-активности в динамике сеанса; пунктирные линии – группы со снижением. Чёрные линии – группы Приполярного района; серые линии – группы Заполярного района. Статистически значимое отличие в сравнении с предыдущим этапом исследования: x – $p < 0,05$; xx – $p < 0,01$; xxx – $p < 0,001$; # – между группами с различной динамикой альфа-активности в одном районе проживания; □ – между выборками из Приполярного и Заполярного районов с однотипной динамикой альфа-активности.

В группе ЗР-1 не было выявлено статистически значимого снижения характеристик альфа-активности на заключительном этапе, что демонстрирует более стойкое её усиление в процессе кардиотренинга, в сравнении со сверстниками из Приполярного района.

В группах подростков ПР-2 и ЗР-2 происходило снижение рассматриваемых характеристик альфа-активности как после выполнения процедуры кардиотренинга по предложенной методике, так и на этапе заключительного фона ($p = 0,015-0,001$). Несмотря на достижение состояния субъективной расслабленности при эффективном завершении процедуры биоуправления, у испытуемых лиц происходили активные изменения биоэлектрических процессов в мозговых структурах. Поиск новых когнитивных вариантов изменения активности параметров ритма сердца, видимо сопровождался у этих лиц усилением активирующих влияний ретикулярных структур на функцию коры головного мозга, что может обуславливать некоторое снижение альфа-активности в общем паттерне ЭЭГ после окончания процедуры биоуправления. Принципиальная разница между ответами, возникающими в работе структур головного мозга при биоуправлении параметрами ритма сердца и при релаксационных методиках, описана у других авторов [314].

Динамика значений бета₁-активности в целом была сходна изменениям в альфа-диапазоне, более значимые изменения происходили в группах подростков ПР-1 и ЗР-1 ($p = 0,032-0,001$). Показатели тета-активности снижались как на этапе последействия БОС, так и на этапе заключительного фона наиболее значимо в группах ЗР-1, ЗР-2 и ПР-2 ($p = 0,011-0,008$).

Картина процентного изменения абсолютных значений мощности основных частотных диапазонов ЭЭГ до и после сеанса биоуправления в целом повторяет колебание значений амплитуд и индексов (см. рис. 14). Как было отмечено ранее, обращает внимание наличие статистически значимой правосторонней асимметрии в динамических изменениях рассматриваемых частотных диапазонов. Мощность тета-ритма снижается в среднем у всех подростков, более отчётливо в затылочных отделах. Приросты мощности

альфа- и бета₁-активности распространяются до префронтальных областей у подростков групп ПР-1 и ЗР-1, а снижение мощности колебаний ЭЭГ в этих диапазонах отмечены в группах ПР-2 и ЗР-2 в затылочных отделах преимущественно справа.

Считается, что на блокирование альфа-активности в наибольшей степени влияет открывание глаз, при этом альфа-активность не исчезает полностью. Когнитивные задания снижают альфа-активность примерно у половины испытуемых, а степень снижения зависит от субъективной сложности задания [60, 100]. Однако десинхронизация может быть не связана с повышением уровня активации. Показано, что неструктурированное, не несущее информации видеовоздействие может приводить также к значимым снижениям средней мощности ЭЭГ в альфа-диапазоне, эта динамика носит системный характер, но существенно менее интенсивна, чем при открывании глаз [60, 86].

Отмечено также, что наличие более высокого фонового альфа-ритма (как в группе ПР-2) не способствует активному восприятию, а наоборот, нарушает, искажает и блокирует его. На фоне выраженного альфа-ритма семантическая обработка вербальных и зрительных стимулов резко затрудняется или прекращается [61]. Картина ЭЭГ покоя влияет и на последующие изменения ЭЭГ при мыслительной деятельности, например, испытуемые, в ЭЭГ которых преобладала спектральная мощность 10-13 Гц, в отличие от испытуемых, в ЭЭГ которых преобладал диапазон 7-10 Гц, лучше справлялись с заданием, предполагающим запоминание, у них было меньшее количество ошибок. Кроме того, в момент запоминания у них было больше выражено снижение спектральной мощности тета-ритма ЭЭГ в центральных и фронтальных областях коры [248]. Испытуемые, наименее успешно решавшие экспериментальные задачи, имели слабую активацию лобных областей, зоны активности у них были локализованы в задних отделах мозга [61, 431].

Таким образом, подтверждено описанное ранее (см. главу 3.2) наличие более высокой фоновой активности подкорковых диэнцефальных мозговых структур у подростков из Заполярного района, сохраняющей свои повышенные значения и в ходе проведения однократного сеанса биоуправления. Наиболее

высокие уровни тета-активности при наименьших значениях бета₁-активности выявлены в группе подростков Заполярного района с повышением мощности альфа-активности в динамике проведения БОС-тренинга. Выявлено, что независимо от региона проживания достижение успеха при кардиотренинге формируется различными вариантами изменений биоэлектрической активности мозга подростка, которые обусловлены как индивидуальным выбором когнитивной стратегии, так и, возможно, исходным вегетативным тонусом. Может отмечаться как общее усиление мощности альфа-активности (в 63-70 % случаев), свидетельствующее об увеличении внутренней синхронизации ритмозадающих структур головного мозга, так и снижение мощности альфа-активности в области зрительной коры (в 30-37 % случаев), отражающее процессы усиления десинхронизирующих восходящих активирующих влияний ретикулярной формации ствола на кору головного мозга. При варианте повышения альфа-активности – у подростков из Заполярного района это повышение сохраняется более продолжительное время и происходит на фоне более выраженного снижения тета-активности как в затылочных, так и в лобных отделах мозга, в сравнении со сверстниками из Приполярного района.

Зависимость нейрофизиологических реакций при однократном сеансе биоуправления параметрами сердечного ритма от района проживания и исходного вегетативного тонуса. Учитывая вышеизложенные данные, указывающие на усиление тонуса симпатической нервной системы у обследованных подростков-северян 14-17 лет, особенно у лиц проживающих в более суровых природно-климатических условиях заполярного Севера, представило значительный интерес оценить у них характер динамики функциональной активности головного мозга и полиграфических показателей ВНС при выполнении БОС-тренинга по предложенному способу. Группы испытуемых были условно сформированы при первичной оценке преобладающего типа вегетативной регуляции сердечного ритма (см. главу 3.1). В обоих северных районах к участию в данном фрагменте исследования

привлечены лица со сбалансированным вегетативным тонусом (нормотоники) и лица с преобладанием симпатических влияний (симпатотоники).

Во время сеанса биоуправления у обследованных подростков из всех групп значения общей мощности спектра ВСП значительно повышались в сравнении с фоновыми показателями, а затем также значительно снижались практически до исходных значений ($p < 0,001$) (рис. 17). Индекс напряжения регуляторных систем значительно снижался на этапе биоуправления, а на заключительном этапе сеанса также 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 также были статистически значимы ($p < 0,001$) – ТР в группе нормотоников был значительно выше, а СИ ниже.

Изменения показателей центральной гемодинамики в процессе БОС-тренинга были практически идентичными в обоих северных районах. Так, во всех группах подростков происходило значимое снижение систолического артериального давления в течение сеанса биоуправления ($p = 0,008-0,002$) или после его окончания ($p = 0,024$). Диастолическое давление значительно снижалось лишь у нормотоников в обоих районах ($p = 0,035-0,015$), причём в группе Заполярного района оно продолжало снижаться и после окончания процедуры ($p = 0,048$). В группах симпатотоников ДАД на этапе биоуправления снижался лишь на уровне тенденции, значимое его снижение происходило лишь у симпатотоников Заполярного района на заключительном этапе сеанса ($p = 0,005$). Частота сердечных сокращений значительно повышалась при биоуправлении лишь в группах нормотоников их обоих районов ($p = 0,038-0,001$), а после окончания процедуры также значительно снижалась ($p = 0,006-0,002$). В группах симпатотоников ЧСС несколько снижалась при выполнении БОС-тренинга, а после его окончания снижение было уже значимым ($p = 0,005-0,001$). Подобные проявления оптимизации нейровегетативных процессов, показаны в эффектах различных БОС-методик коррекции гипертензивных состояний [97, 188, 226].

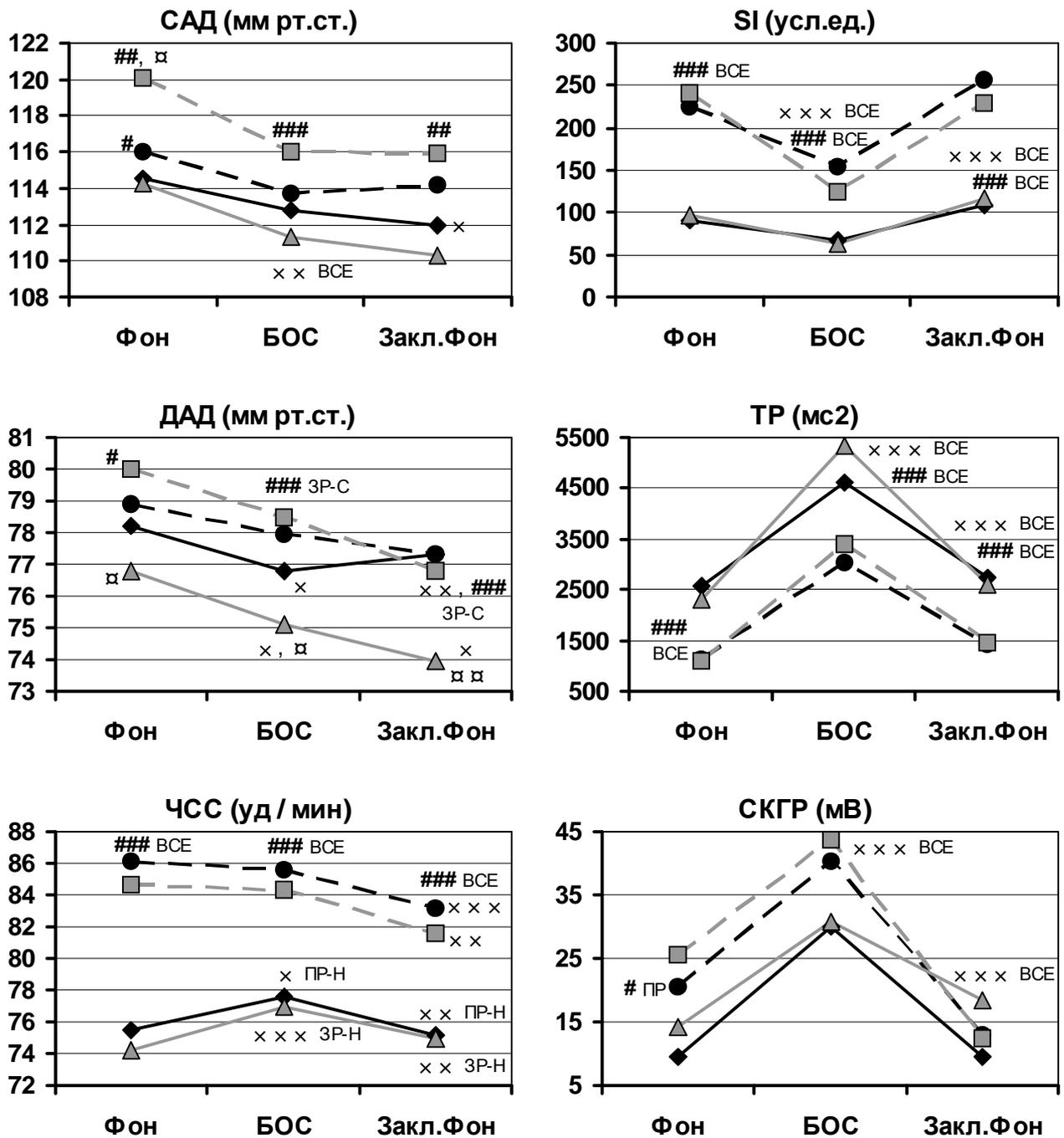


Рис. 17. Изменение показателей центральной гемодинамики, вариабельности сердечного ритма и спонтанной кожно-гальванической реакции в ходе однократного сеанса биоуправления у подростков Приполярного и Заполярного северных районов с различным вегетативным статусом.

Примечание. 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; α – между выборками из разных районов с однотипным вегетативным статусом.

Межгрупповые различия фоновых и динамических показателей центрального кровообращения также были сходными в обоих районах. Одновременно с увеличением активности симпатического звена регуляции в группах подростков их обоих районов значимо возрастала и ЧСС ($p < 0,001$). Систолическое артериальное давление было значимо выше у симпатотоников из обоих районов в сравнении с нормотониками ($p = 0,034-0,001$), диастолическое давление было значимо выше у симпатотоников Заполярного района в сравнении с нормотониками ($p = 0,019-0,001$). Обращает также внимание, что фоновые значения САД были значимо выше в группе симпатотоников Заполярного района в сравнении с аналогичной группой Приполярного района ($p = 0,042$), а фоновые и динамические значения ДАД у нормотоников Заполярья были ниже, чем у нормотоников из Приполярного района ($p = 0,031-0,002$).

Динамика амплитуды спонтанной кожно-гальванической реакции была идентичной во всех группах обследованных подростков и проявлялась в значимом повышении во время сеанса биоуправления ($p < 0,001$) и снижении после его окончания ($p < 0,001$), значимых широтных различий данного показателя выявлено не было. Увеличение амплитуды пиков СКГР, которое было зафиксировано в процессе БОС-тренинга, можно связать с активацией вегетативной нервной системы, а также с ориентировочной реакцией на новизну информации. Так, по изменению амплитуды кожной реакции судят, например, об эмоциональной значимости для субъекта предъявляемых когнитивных заданий и других стимулов, в том числе эндогенного характера [316, 413]. Показано также, что проявление электродермальной реакции преимущественно связано с информационно-эмоциональными и другими несоматическими компонентами активации организма [316], а также коррелирует и с напряжением мускулатуры лица, диагностируя степень активации организма [213].

Как было отмечено ранее, при описании фоновых различий амплитудно-частотных характеристик ЭЭГ (см. главу 3.2), 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 бета₁-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 (рис. 18).

Обращает на себя внимание наличие более высоких фоновых значений амплитуды и индекса тета-активности, а также амплитуды альфа-активности при усилении симпатического тонуса у подростков Заполярного района, так в группе симпатотоников данные показатели были статистически значимо выше, чем у нормотоников ($p = 0,022-0,045$). У подростков Приполярного района наблюдается схожая динамика, но лишь на уровне тенденции ($p > 0,05$). Формирование гиперсинхронных паттернов ЭЭГ у подростков-северян при нарастании симпатической активности свидетельствует о наличии дисфункций диэнцефальных структур головного мозга и повреждении таламо-кортикальных связей, которые могут быть в основе нарушения центральных механизмов регуляции сосудистого тонуса [224].

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 ВСР и СКГР, снижения индекса напряжения и артериального давления у подростков отмечено повышение амплитуды и индекса альфа-диапазона от фона к этапу биоуправления. Известно, что управляемое усиление активности парасимпатического отдела вегетативной регуляции может приводить к улучшению состояния мозгового кровотока и биоэлектрических процессов головного мозга [110, 132, 188, 403].

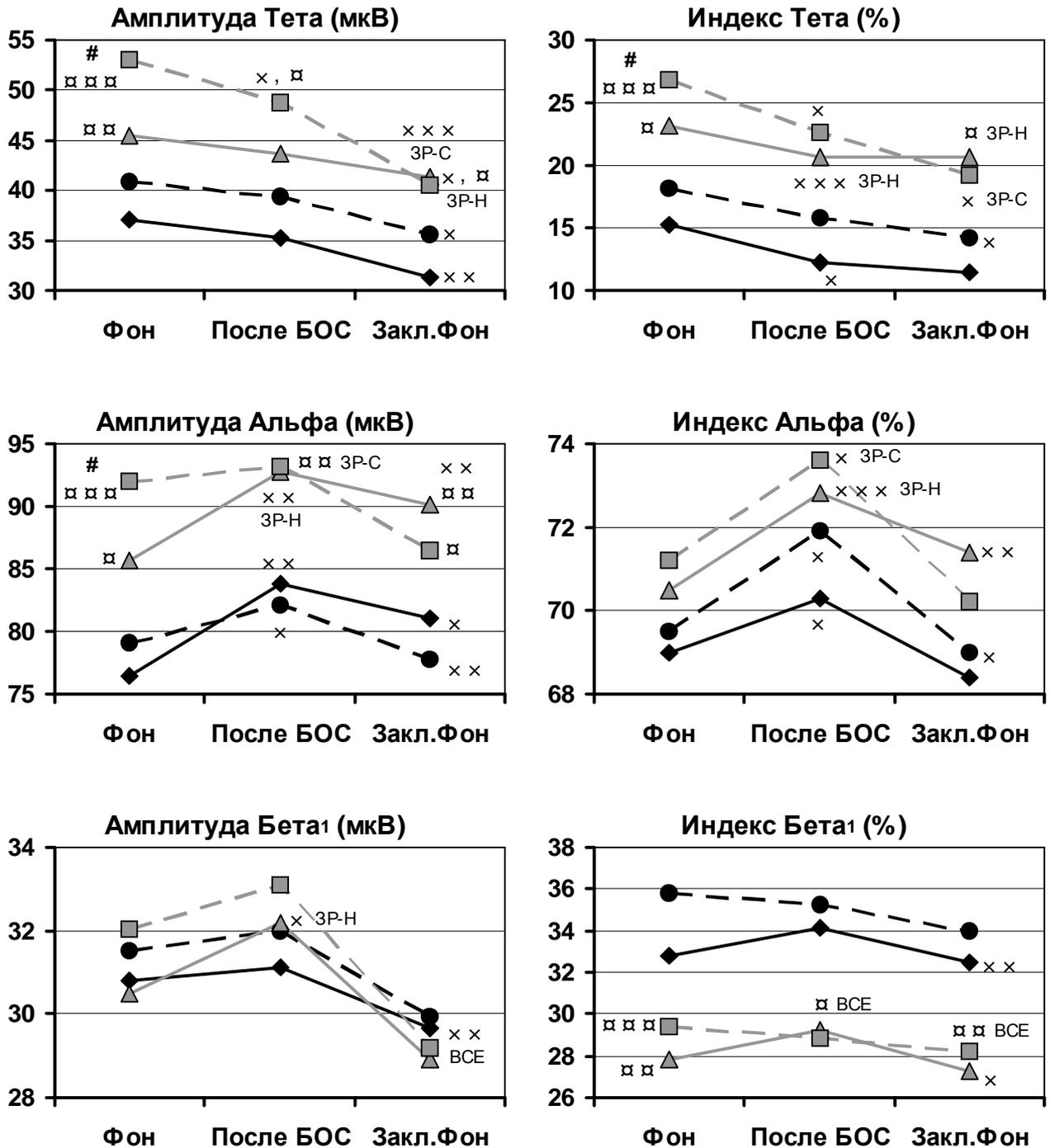


Рис. 18. Изменение показателей биоэлектрической активности головного мозга в динамике однократного сеанса биоуправления у подростков Приполярного и Заполярного северных районов с различным вегетативным статусом.

Примечание. 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: x – $p < 0,05$; xx – $p < 0,01$; xxx – $p < 0,001$; # – между группами с различным вегетативным статусом в одном районе проживания; □ – между выборками из разных районов с однотипным вегетативным статусом.

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 [191].

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 ($p = 0,043-0,001$). Стоит отметить, что наиболее интенсивное снижение показателей тета-активности происходило в группе симпатотоников Заполярья и достигало к 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. Кроме того, примерно в трети случаев у подростков из обеих групп Заполярного района после завершения процедуры биоуправления отмечалось снижение частоты встречаемости пароксизмальных форм активности и условно-эпилептиформных знаков.

Показатели бета₁-активности к этапу последействия 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 последействия БОС-тренинга представлена на рисунках 19, 20, 21. Отмечается

уже описанная ранее правосторонняя асимметрия в динамических откликах рассматриваемых частотных диапазонов на проведение сеанса. Снижение мощности тета-активности происходит у обследованных подростков всех групп (рис. 19). 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 ($p = 0,042-0,014$). Наиболее интенсивное снижение тета-активности выявлено в группе нормотоников Заполярного района, 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. В других исследованиях [188] 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 таламо-кортикальных 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.

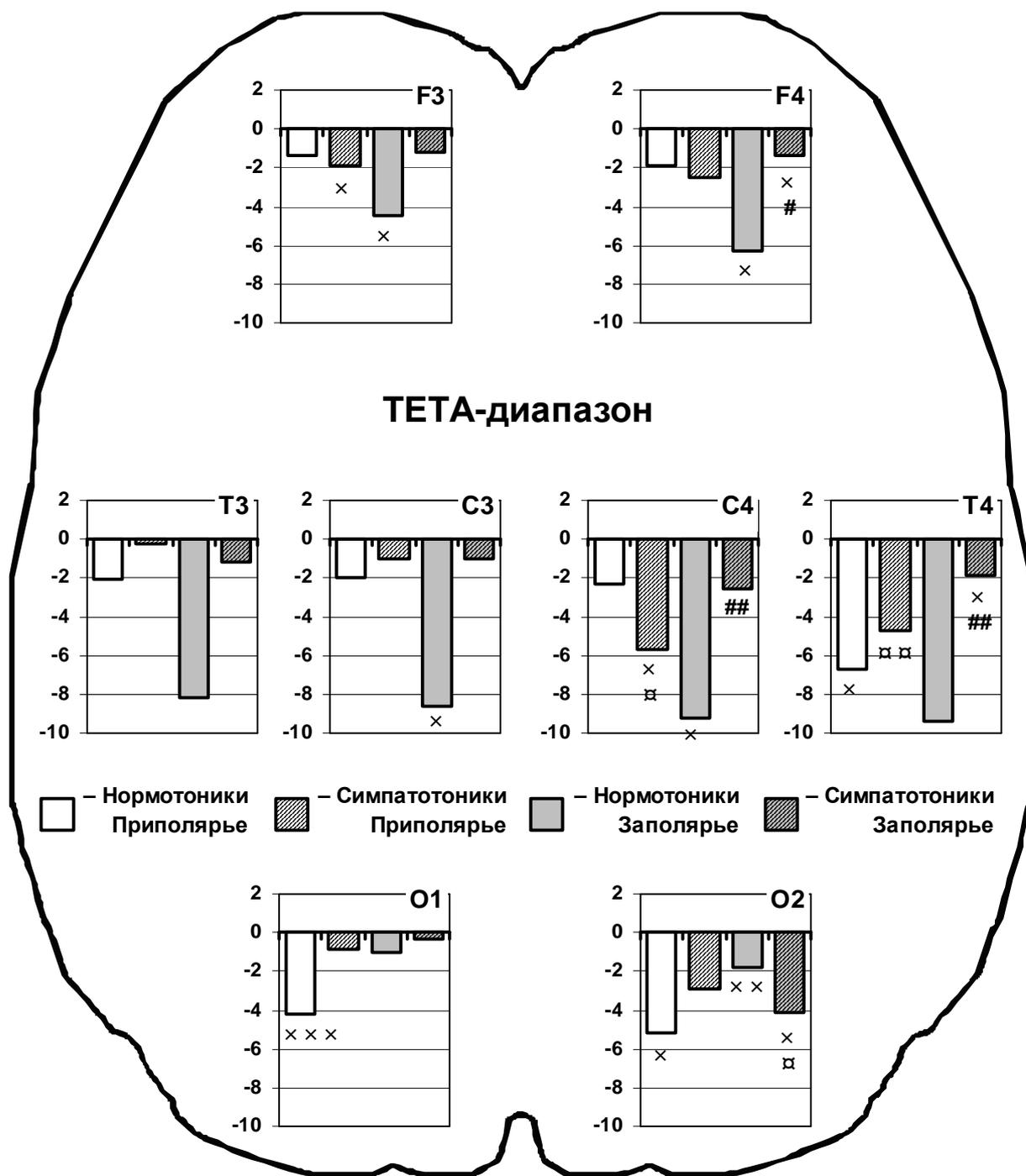


Рис. 19. Снижение (в процентах) абсолютных значений мощности тета-диапазона ЭЭГ в динамике однократного сеанса биоуправления у подростков Приполярье и Заполярного районов с различным вегетативным статусом.

Примечание. 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 последствий БОС-тренинга: x – $p < 0,05$; xx – $p < 0,01$; xxx – $p < 0,001$; # – между группами с различным вегетативным статусом в одном районе проживания; alpha – между показателями в симметричных отведениях слева и справа.

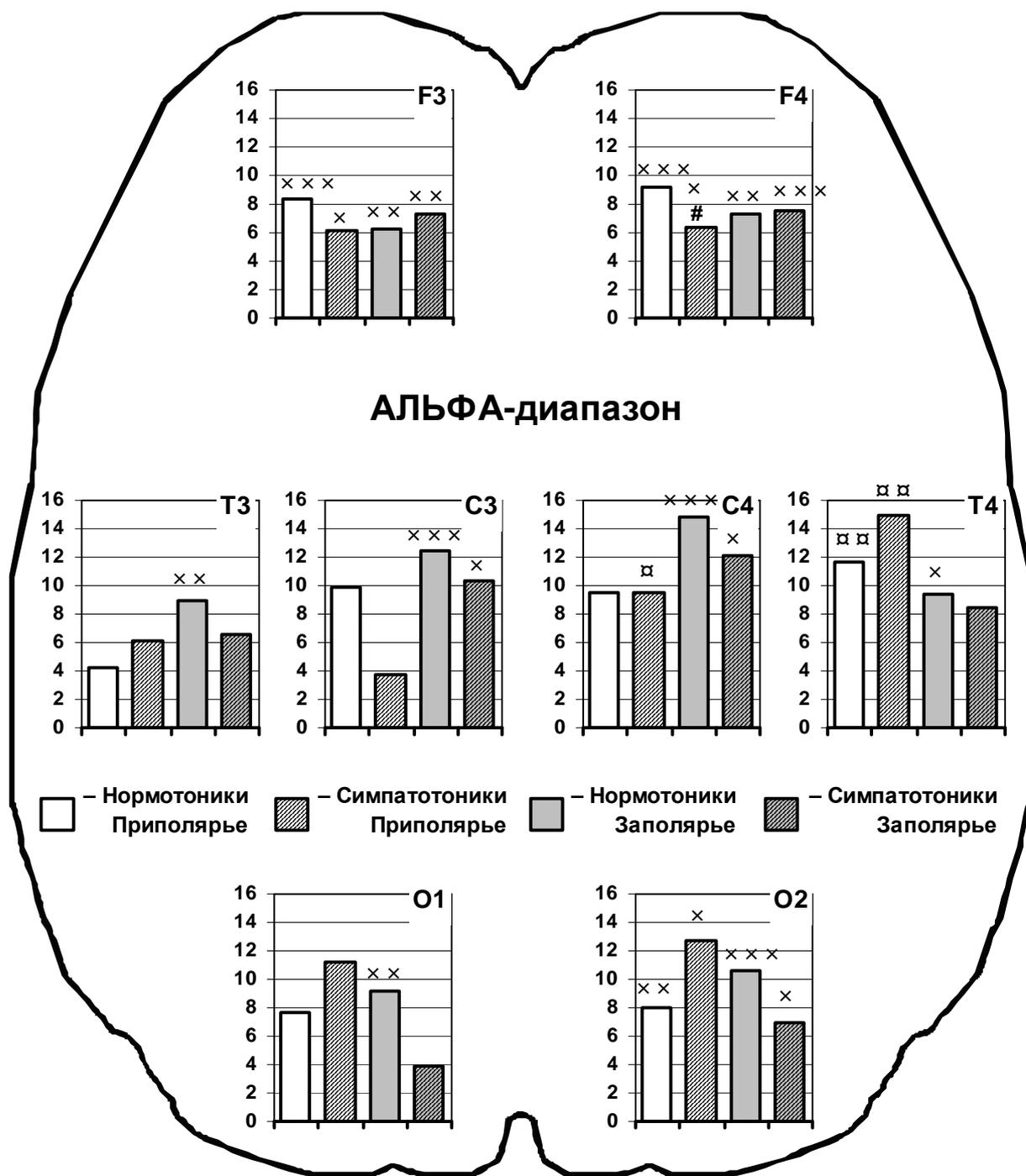


Рис. 20. Прирост (в процентах) абсолютных значений мощности альфа-диапазона ЭЭГ в динамике однократного сеанса биоуправления у подростков Приполярного и Заполярного районов с различным вегетативным статусом.

Примечание. 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 последствий 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.

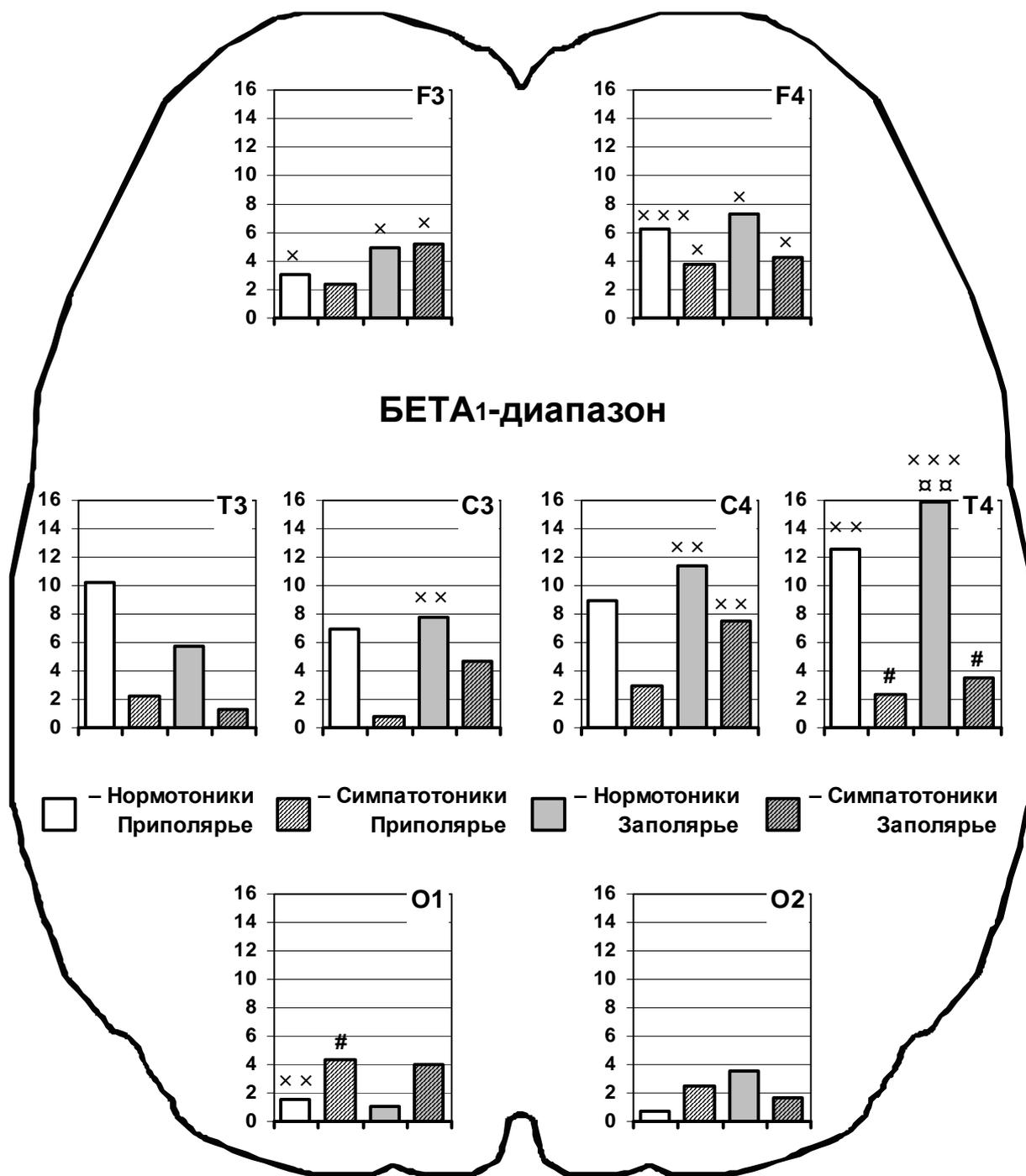


Рис. 21. Прирост (в процентах) абсолютных значений мощности бета₁-диапазона ЭЭГ в динамике однократного сеанса биоуправления у подростков Приполярного и Заполярного районов с различным вегетативным статусом.

Примечание. 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 последствий БОС-тренинга: x – $p < 0,05$; xx – $p < 0,01$; xxx – $p < 0,001$; # – между группами с различным вегетативным статусом в одном районе проживания; α – между показателями в симметричных отведениях слева и справа.

Исследования, проведённые у коренных жителей Севера, показали, что ведущим при обработке информации является правое полушарие головного мозга, либо оба полушария равноценны в своём функционировании [135]. Обработка когнитивной и эмоциональной информации происходит в структурах медиальной префронтальной коры и паравентрикулярном ядре гипоталамуса, участвующем в нейроэндокринной и вегетативной регуляции [150], что необходимо для адаптации организма в изменяющихся условиях. Правые теменно-центральные области во взаимосвязи с правой поясной извилиной участвуют в решении пространственных задач [196], т.е. в пространственном распределении внимания. Наличие более выраженной правополушарной асимметрии при когнитивной деятельности у обследованных подростков Заполярья подтверждается также в работах Кривоноговой Е. В. [133, 134]. В частности автором установлено, что при формировании когнитивного вызванного потенциала у лиц Приполярного района отмечается межполушарная асимметрия с более коротким латентным временем P300 в височной области (F8, T4) правого полушария, а у подростков Заполярного района латентное время P300 значимо ниже в лобно-центральной (F4, C4) и височной области (F8) правого полушария. Полученные данные свидетельствуют о бóльшем количестве вовлечённых структур головного мозга, необходимых для достижения согласованного восприятия и обработки информации у подростков Заполярного района в сравнении со сверстниками из Приполярного района.

Приросты абсолютных значений мощности альфа-диапазона в ходе сеанса биоуправления также происходят во всех рассматриваемых группах подростков (рис. 20). Обращают на себя внимание определённые топические особенности указывающие, 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, но и более активно и билатерально альфа-активность прирастает в лобных областях абсолютно во всех группах подростков ($p = 0,012-0,001$). Центральные и

височные отделы обоих полушарий задействованы в приросте альфа-активности лишь у групп Заполярного района, причём наиболее отчётливо также в группе нормотоников ($p = 0,025-0,001$).

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 [369]. Фронтальное смещение градиента активности основного ритма может быть также вызвано изменением характера кровенаполнения мозговых сосудов при биоуправлении параметрами ритма сердца у подростков [109]. В частности авторами отмечено, что по данным реоэнцефалограммы у подростков изменяется тонус сосудов преимущественно в передних областях головного мозга в ответ на сеанс саморегуляции как вариант когнитивной нагрузки. При этом у подростков Приполярного района происходят более дифференцированные, локальные реакции изменения кровенаполнения сосудов головного мозга в правой фронтальной области, а у подростков Заполярья изменения происходят как во фронтальных, так и вертебро-базиллярных областях обоих полушарий.

Мощность бета₁-диапазона подобно динамике альфа-активности также максимально прирастает за счёт лобных отделов мозга во всех группах подростков ($p = 0,018-0,001$, рис. 21). Значимые приросты бета₁-активности – билатерально в центральных, а также в правой височной областях, происходят преимущественно в группах нормотоников обоих северных районов ($p = 0,004-0,001$), при этом в правой височной области эта динамика выражена гораздо сильнее, чем в группах симпатотоников из этих районов ($p = 0,031-0,012$).

Усиление бета₁-активности в правой центрально-височной области свидетельствует о вовлечении сенсомоторной коры и медиабазальных, возможно эмоциогенных структур [149] 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 [62], что может

оптимизировать вегетативную регуляцию сердечной деятельности организма. Достаточно слабая реакция бета₁-ритма на процедуру биоуправления в группах симпатотоников видимо вызвана смещением вегетативных влияний на периферический уровень, при этом центральные структуры становятся менее чувствительны к биоуправлению [97]. 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 [136, 200]. Снижение выраженности медленно-волновых и повышение роли высокочастотных ритмов в центральных и передних отделах мозга после данного вида БОС-тренинга отражает процессы снижения активности глубинных структур и повышения активности коры мозга. Это также является фактором оптимизации возрастного становления нейрофизиологических функций у подростка, особенно в условиях дискомфортной среды Севера.

При оценке реакции усвоения ритмов фотостимуляции (рис. 22) было отмечено, что количество случаев усвоений ритмов в тета-диапазоне (при сохранении собственной доминирующей частоты в альфа-диапазоне) у подростков из Заполярного района достигало 39 %, что в 1,5-2 раза выше, чем у их сверстников из Приполярного района ($p = 0,037-0,015$). Этот факт может расцениваться как признак компенсированной фотозависимой дисфункции заднеталамических ритмозадающих структур. Усвоение частот альфа-диапазона стимуляции у нормотоников Приполярного района составляло 70 %, что значительно ниже, чем в аналогичной заполярной группе ($p = 0,024$), в остальных группах обследованных подростков это усвоение частот было примерно одинаковым и достигало 85 %. Обращает внимание, что усвоение частот тета- и альфа-диапазонов в группах симпатотоников из обоих районов было несколько выше, чем у их сверстников из групп нормотоников. Это может отражать связь формирования симпатикотонии с исходно высокой чувствительностью как фронто-таламических фотозависимых нейрональных сетей, так и гипоталамических и стволовых центров сосудистой регуляции, особенно у подростков Заполярья. Доля случаев усвоений ритмов в бета₁-диапазоне у подростков из обоих районов составляла 30-35 %.

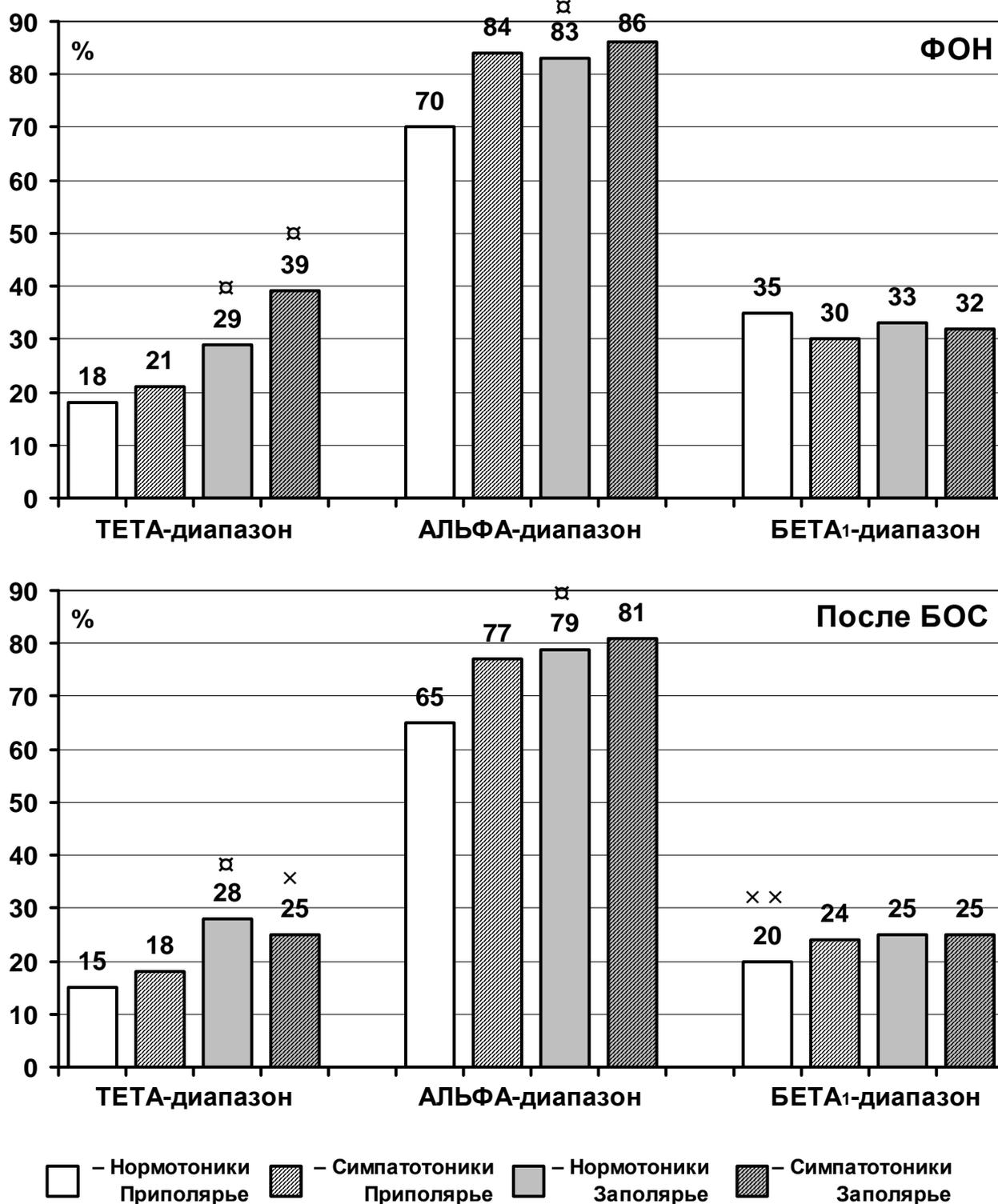


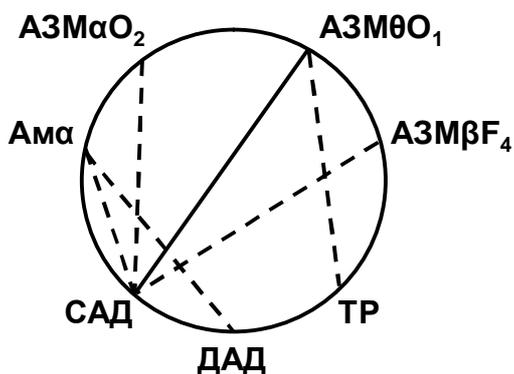
Рис. 22. Изменение процентных долей лиц с усвоением ритмов фотостимуляции в основных частотных диапазонах ЭЭГ при проведении однократного сеанса биоуправления в группах подростков Приполярного и Заполярного районов с различным вегетативным статусом.

Примечание. Статистически значимое отличие между показателями фонового состояния и этапа последействия БОС-тренинга: × – $p < 0,05$; ×× – $p < 0,01$; α – между выборками Приполярного и Заполярного районов с однотипным вегетативным статусом.

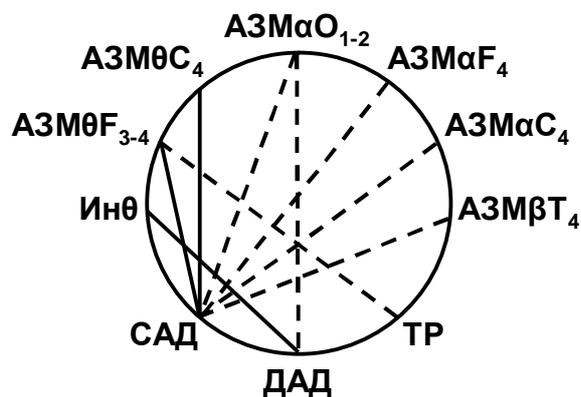
По окончании кардиотренинга в сравнении с фоном наблюдалось снижение числа усвоенных ритмов практически у всех подростков во всех диапазонах частот фотостимуляции. У подростков из обоих районов количество случаев усвоенных ритмов несколько снизилось в тета-диапазоне, наиболее значимо в группе симпатотоников Заполярного района (на 14 %, $p = 0,045$). В альфа-диапазоне частот фотостимуляции у подростков из всех групп количество случаев усвоенных ритмов снизилось примерно на 5 %, а в бета₁-диапазоне на 10-15 %, наиболее значимо у нормотоников Приполярного района ($p = 0,032$). Иначе говоря, можно предположить, что БОС-тренинг направленный на повышение парасимпатической активности вегетативной регуляции ритма сердца, в конечном итоге способствует повышению устойчивости ритмозадающих структур мозга подростков. При этом повышение устойчивости структур мозга наиболее выражено в тех диапазонах ЭЭГ, в которых изначально было максимальное усвоение ритмов.

При корреляционном анализе изучаемых показателей на этапе биоуправления наибольшее число связей выявлено в группах нормотоников, особенно в Заполярном районе (рис. 23). У них отмечены значимые связи систолического (САД) и диастолического (ДАД) артериального давления, а также общей мощности спектра ВСР (ТР) с показателями биоэлектрической активности мозга – амплитудой (Ам), индексом (Ин), абсолютным значением мощности (АЗМ) в стандартных отведениях ЭЭГ. В целом выявленный характер связей подтверждает разнонаправленную динамику артериального давления с показателями альфа- и бета₁-активности и однонаправленную динамику с показателями тета-активности показанную в ходе сеанса биоуправления. У нормотоников Приполярного района САД положительно связано с АЗМ тета О₁ ($r = 0,42$) и отрицательно с Ам альфа ($r = -0,37$); АЗМ альфа О₂ ($r = -0,45$); АЗМ бета F₄ ($r = -0,39$). ДАД также отрицательно связано с Ам альфа ($r = -0,38$), а ТР с АЗМ тета О₁ ($r = -0,44$).

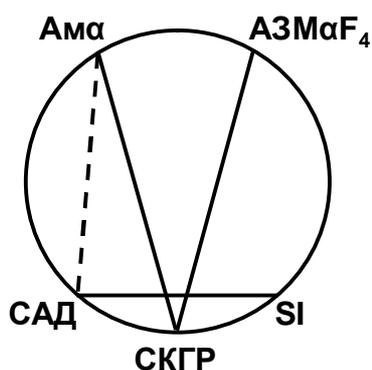
Нормотоники Приполярье



Нормотоники Заполярье



Симпатотоники Приполярье



Симпатотоники Заполярье

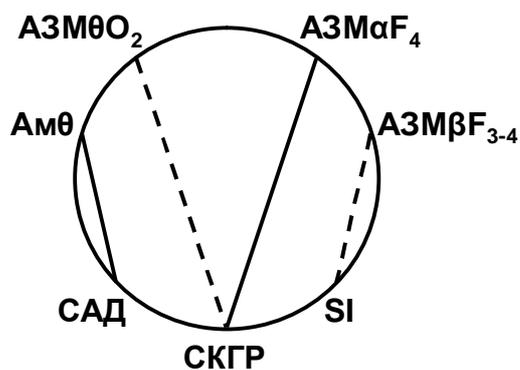


Рис. 23. Корреляционные связи показателей биоэлектрической активности головного мозга, артериального давления, вариабельности сердечного ритма и спонтанной кожно-гальванической реакции, выявленные на этапе биоуправления у подростков Приполярного и Заполярного северных районов с различным вегетативным статусом.

Примечание. Сплошная линия – положительная корреляционная связь, пунктирная линия – отрицательная корреляционная связь. Показатели электроэнцефалограммы: Ам – амплитуда, Ин – индекс, АЗМ – абсолютное значение мощности в стандартных отведениях. Диапазоны ЭЭГ: θ – тета, α – альфа, β – бета₁. F₃, F₄, C₃, C₄, T₃, T₄, O₁, O₂ – левые и правые лобные, центральные, височные и затылочные отведения. Показатели ВСР: TP – общая мощность спектра, SI – индекс напряжения регуляторных систем. САД и ДАД – систолическое и диастолическое артериальное давление. СКГР – амплитуда спонтанной кожно-гальванической реакции.

В группе нормотоников Заполярного района была выявлена максимальная реакция абсолютных значений мощности основных частотных диапазонов ЭЭГ в динамике сеанса биоуправления, видимо этим вызвано наибольшее количество корреляционных связей между церебральными и гемодинамическими показателями отмеченное у этих подростков, что отражает максимальную согласованность периферических и вегетативных структур, обеспечивающих успешность биоуправления. САД положительно связано с АЗМ тета F_{3-4} ($r = 0,32$); АЗМ тета C_4 ($r = 0,36$) и отрицательно с АЗМ альфа O_{1-2} ($r = -0,55$); АЗМ альфа F_4 ($r = -0,41$); АЗМ альфа C_4 ($r = -0,45$); АЗМ бета T_4 ($r = -0,38$). ДАД положительно связано с Ин тета ($r = 0,40$) и отрицательно с АЗМ альфа O_{1-2} ($r = -0,45$). ТР отрицательно связана с АЗМ тета F_{3-4} ($r = -0,48$).

В группах симпатотоников изучаемые показатели вступают во взаимоотношения наименее значимо, подобное уменьшение количества корреляционных связей при нарастании симпатического тонуса отмечено и у других авторов [144]. Так в Приполярном районе выявлены лишь связи САД с Ам альфа ($r = -0,38$) и с индексом напряжения SI ($r = 0,53$), а также появляются положительные связи амплитуды СКГР с Ам альфа ($r = 0,37$) и АЗМ альфа F_4 ($r = 0,45$). У симпатотоников Заполярья САД связано с Ам тета ($r = 0,52$); SI с АЗМ бета F_{3-4} ($r = -0,43$); СКГР с АЗМ тета O_2 ($r = -0,57$) и АЗМ альфа F_4 ($r = 0,32$). В целом, при управляемом повышении общей мощности спектра ВСР в ходе БОС-тренинга у симпатотоников Заполярного района, изменения биоэлектрической активности мозга связаны не столько с повышением вагусных влияний на ритм сердца, как у нормотоников, сколько со снижением симпатической активности. При этом снижение индекса напряжения в большей степени было связано с повышением мощности бета₁-активности ЭЭГ (отрицательная связь) в лобных отделах, а снижение систолического артериального давления – со снижением амплитуды тета-активности. По-видимому, исходное повышение симпатического тонуса может отражать мобилизацию функциональных резервов центральной нервной и

вегетативной регуляции ритма сердца (в том числе, обусловленную гетерохронным возрастным становлением нервной и сердечно-сосудистой систем подростков), которая реализуется разнообразными индивидуальными вариантами нейровисцеральных взаимоотношений и когнитивными стратегиями в популяции. Это обуславливает снижение общегрупповых межсистемных корреляционных связей, что максимально проявилось в группе симпатотоников Приполярного района (отсутствие значимых связей показателей ВСП и ЭЭГ). Тем не менее, наличие более выраженных взаимосвязей показателей вегетативной регуляции ритма сердца и мозговой активности у подростков Заполярного района (как нормо-, так и симпатотоников) свидетельствует о более выраженных межсистемных взаимосвязях и более однонаправленной общегрупповой реакции функциональных систем на однократный сеанс биоуправления у лиц, проживающих в более дискомфортных условиях Заполярья, чем у подростков Приполярного района.

Кроме того, уменьшение количества межсистемных связей может быть обусловлено относительным снижением пластичности нейровисцеральных связей при симпатикотонии как состоянии риска развития артериальной гипертензии. Преобладание симпатических влияний на сердечно-сосудистую систему у этих подростков, возникает при раздражении определённых зон гипоталамуса и миндалины, что характерно для состояния напряжения. Симпатическая импульсация зарождается в преганглионарных симпатических нейронах тораколюмбальных сегментов спинного мозга, а роль высших вазомоторных центров, расположенных в бульбарной и гипоталамической областях, видимо, можно уподобить роли, которую играет центральная регуляция деятельности сердца [77]. Ранее было отмечено, что выраженный характер подобных гемодинамических сдвигов возникает при снижении активирующих влияний со стороны ретикулярной формации мозга на кору больших полушарий при реализации различных видов биоуправления, что приводит к нормализации артериального давления и ЧСС [103, 181, 437].

Известно также, что КГР находится в тесной связи с потоотделением и его терморегуляционной функцией. Эккриновые потоотделительные железы, определяющие генез КГР, имеют чисто симпатическую иннервацию в отличие от других органов, которые имеют смешанную симпатическую и парасимпатическую иннервацию [316]. Установлены многочисленные влияния лимбической системы на терморегуляционные функции гипоталамуса [318]. Соответственно, наибольшее влияние на КГР должны иметь те кортикальные области, которые взаимодействуют с лимбическими структурами. В нашем исследовании также обнаружена кортикальная реакция на проведение сеанса в виде изменения активности лобных долей. Можно предположить, что в основе формируемого функционального состояния организма при однократном сеансе кардиотренинга лежит неспецифическая активация, которая обеспечивается участием ретикулярной формации, гипоталамуса, неспецифических ядер таламуса и корой больших полушарий.

Таким образом, в зависимости от района проживания и исходного вегетативного тонуса обследованных подростков, при однократном сеансе биоуправления параметрами сердечного ритма формируются определённые различия в интенсивности изменения показателей центральной гемодинамики и биоэлектрической активности мозга. Выраженность гемодинамических изменений проявляется в значимом снижении систолического и диастолического АД у подростков из обоих районов со сбалансированным вегетативным тонусом, а также в снижении изначально более высоких уровней систолического АД и ЧСС у подростков с преобладанием симпатических влияний на активность сердечной деятельности. БОС-тренинг по характеристикам ВСР 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 таламо-кортикальных 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. Кроме того, у подростков Заполярного района отмечено снижение (до 30 %) частоты встречаемости пароксизмальных форм активности после проведения кардиотренинга. 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 бета₁-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. Более выраженные перестройки биоэлектрического паттерна в правых отделах головного мозга свидетельствуют также об активизации центральных мозговых структур, связанных с сердечно-сосудистой афферентацией, что может оптимизировать вегетативную регуляцию сердечной деятельности организма. Снижение выраженности медленно-волновых и повышение роли высокочастотных ритмов в центральных и передних отделах мозга после данного вида БОС-тренинга отражает процессы снижения активности глубинных структур и повышения активности коры мозга. Наибольшее количество корреляционных связей между церебральными и вегетативными показателями отмечено у подростков из групп со сбалансированным вегетативным тонусом, особенно в группе Заполярного района, что

свидетельствует о более выраженных межсистемных взаимосвязях и более однонаправленной общегрупповой реакции функциональных систем на однократный сеанс биоуправления у лиц, проживающих в более дискомфортных условиях Заполярья. Независимо от характера исходного вегетативного тонуса, после БОС-тренинга у обследованных лиц отмечено повышение устойчивости подкорковых структур регуляции к ритмической фотостимуляции. Особенно наглядно эти изменения происходят у симпатотоников Заполярного района (снижение усвоения ритмов в тета-диапазоне) и у нормотоников Приполярного района (снижение усвоения ритмов в бета₁-диапазоне).

4.2. Особенности изменения биоэлектрической активности мозга и вегетативных функций при выполнении курса из 10 сеансов биоуправления у подростков с различным исходным вегетативным тонусом

Использование однократного сеанса кардиобиоуправления можно применить в качестве скринингового диагностического теста определения общей реактивности ВНС [89]. Однако проведение курса подобных сеансов уже может быть использовано для повышения адаптивных возможностей подростка, который при этом обучается навыкам саморегуляции физиологических функций, в том числе в условиях психоэмоциональной нагрузки, восстановлению нормальной работы функциональных систем организма и одновременно приобретает опыт целенаправленного поведения, выработки верной стратегии достижения цели [61, 84, 88, 194]. Систематическое применение методик адаптивного биоуправления приводит к реорганизации механизмов регуляции ряда функций, поломке их патологических взаимосвязей (жёстких связей) и возникновению новых слабых связей между отдельными висцеральными системами. В период проведения БОС-сеанса появляются гибкие функциональные взаимоотношения между

системами, на основе которых в дальнейшем возникает новая стабильная интеграция висцеральных систем. При соответствующей регулярной тренировке биологическая обратная связь закрепляется на уровне рефлекса и помогает перейти организму на новый, более правильный и здоровый режим работы [226].

С учётом показанной на предыдущих этапах работы (см. главу 4.1) эффективности однократного сеанса биоуправления параметрами сердечного ритма в стабилизации вегетативного тонуса, артериального давления, а также нормализации механизмов церебральной активации и кортикальной стабильности у обследованных подростков-северян, представило интерес оценить характер динамики изучаемых нейрофизиологических показателей при прохождении курса из 10 сеансов адаптивного биоуправления по предложенному способу. К участию в данном фрагменте исследования были привлечены подростки-добровольцы из старшей возрастной группы (16-17 лет) Приполярного района со сбалансированным вегетативным тонусом (нормотоники, $n = 30$) и с преобладанием симпатических влияний на активность сердечной деятельности (симпатотоники, $n = 27$). Группы испытуемых были условно сформированы при первичной оценке преобладающего типа вегетативной регуляции сердечного ритма (см. главу 3.1). Учитывая характер проводимых БОС-тренингов – повышение вагусных влияний на сердечную деятельность, группу лиц с изначальным преобладанием вагусных влияний на ритм сердца (ваготоников) мы не включали в данное исследование. С каждым подростком было проведено 10 сеансов биоуправления по вышеописанной методике [230], сеансы проводили в течение 2 недель, ежедневно, кроме выходных дней. Для контроля эффективности адаптивного биоуправления во время первого и заключительного сеансов проводили оценку биоэлектрической активности головного мозга.

При первом сеансе биоуправления у подростков из обеих групп показатели общей мощности спектра ВСР (TP) значительно повышались в сравнении с фоновыми уровнями, а затем так же значительно снижались

практически до исходных уровней ($p < 0,001$, рис. 24). Увеличение общей мощности спектра ВСП в процессе кардиотренинга свидетельствует об увеличении синхронизации процессов дыхания и сердечной деятельности, и усилении влияния парасимпатического отдела нервной системы на ритм сердца [17]. В течение курса БОС-тренингов у обследованных подростков из 10 сеансов в среднем 7-8 были успешными. В ходе десятого сеанса динамика ТР была аналогичной, при этом у нормотоников повышение ТР при биоуправлении во время этого сеанса происходило более значительно, чем во время первого ($p = 0,004$). Индекс напряжения регуляторных систем (SI) значительно снижался при биоуправлении, а на заключительном этапе каждого сеанса так же значительно повышался, т.е. возвращался к исходному уровню у всех подростков независимо от исходного вегетативного тонуса ($p < 0,001$). Во время заключительного десятого сеанса снижение SI у симпатотоников происходило более активно, при этом фоновые и динамические значения SI на десятом сеансе были несколько ниже, чем на первом, а значения ТР несколько выше у подростков из обеих групп. Кроме того, во время обоих сеансов фоновые и динамические межгрупповые различия изучаемых показателей ВСП также были статистически значимы ($p < 0,001$) – ТР в группе нормотоников был значительно выше, а SI ниже. Таким образом, при проведении курса из 10 сеансов кардиотренинга, повышение вагусных влияний на ритм сердца становится более выраженным, что свидетельствует о выработке у данных подростков нового алгоритма функционирования вегетативной регуляции ритма сердца. Более высокий прирост общей мощности спектра ВСП у нормотоников, особенно во время заключительного сеанса (в среднем в два раза по сравнению с исходным значением) свидетельствует о выработке более высокой реактивности вегетативных структур, обеспечивающих кардиореспираторное сопряжение (барорефлекторных структур, обеспечивающих оптимальное соотношение частот дыхания и сердечных сокращений). У симпатотоников несмотря на нарастание положительного эффекта биоуправления, снижение симпатической активности происходило менее выражено.

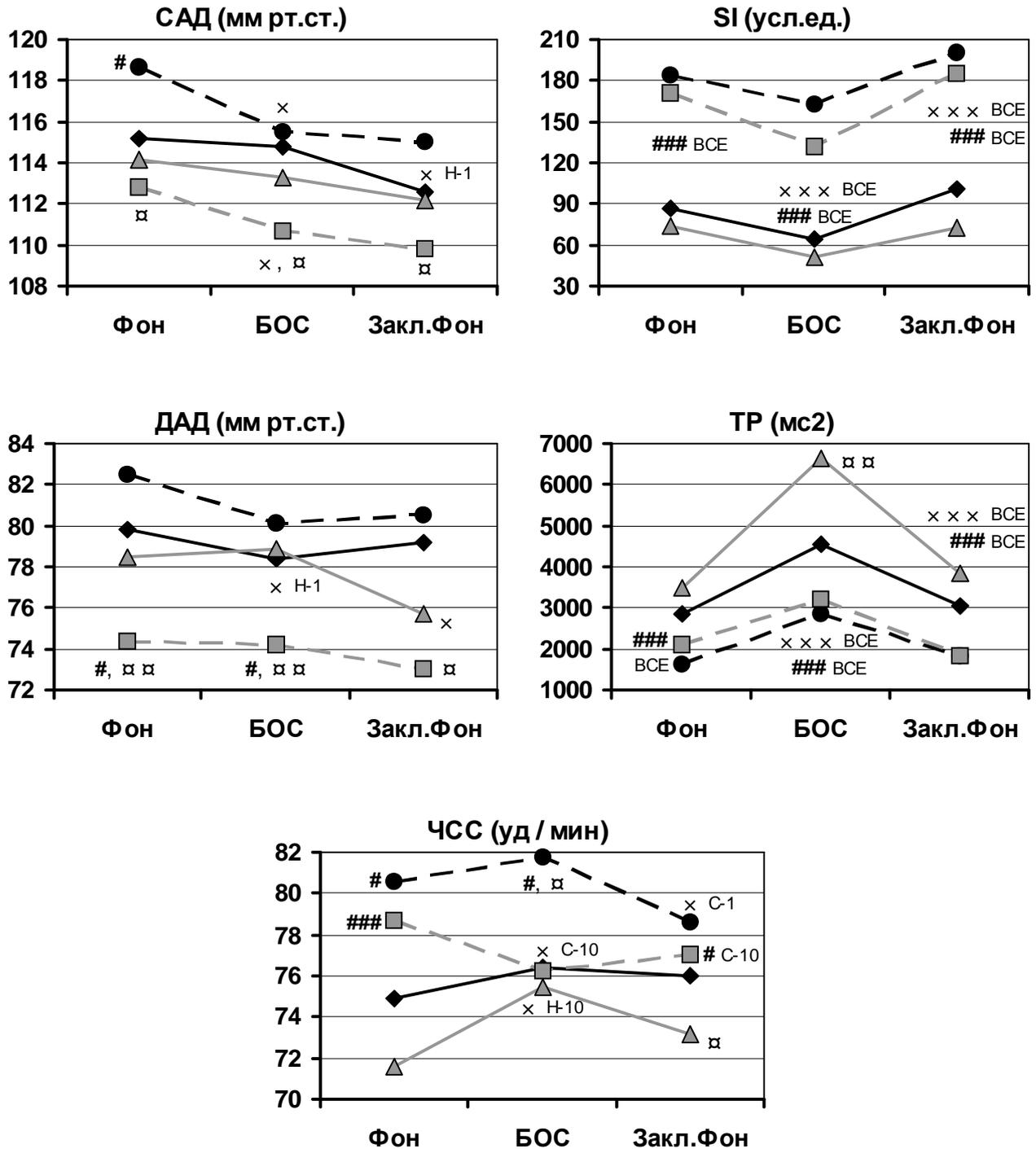


Рис. 24. Изменение показателей центрального кровообращения и variability сердечного ритма в динамике первого и десятого сеансов биоуправления у подростков 16-17 лет с различным вегетативным статусом.

Примечание. Сплошные линии – группы нормотоников (Н); пунктирные линии – группы симпатотоников (С). Чёрные линии – 1 сеанс; серые линии – 10 сеанс. Статистически значимое отличие в сравнении с предыдущим этапом исследования: × – $p < 0,05$; × × – $p < 0,01$; × × × – $p < 0,001$; # – между нормотониками и симпатотониками на соответствующем этапе текущего сеанса; α – между 1 и 10 сеансом у одной группы лиц на соответствующем этапе.

Во время десятого сеанса на заключительном этапе индекс напряжения возвращался к повышенным значениям (в среднем SI выше 150 усл. ед.), что отражает снижение пластичности нейровегетативных структур у лиц с изменённым вегетативным тонусом. По-видимому, симпатотоникам вошедшим в выборку для прохождения курса сеансов кардиотренинга, было недостаточно десяти сеансов для сохранения эффекта снижения симпатической активности и на заключительном этапе; данным лицам есть показания для продолжения курса тренинга, возможно в сочетании с другими методами коррекции напряжения сердечной деятельности (возможно психотерапии). Тем не менее, в литературе показано, что у лиц с фоновым преобладанием симпатических влияний после окончания курса кардиобиоуправления может сохраняться эффект снижения уровня симпатической активности [122, 189].

Изменение показателей центральной гемодинамики в процессе БОС-тренингов было более разнообразным (см. рис. 24). Так, в течение обоих сеансов у симпатотоников снижалось артериальное давление, систолическое более значимо ($p = 0,041-0,024$), при этом к десятому сеансу исходные фоновые и динамические значения систолического и диастолического АД были значительно ниже аналогичных показателей первого сеанса ($p = 0,032-0,002$), что безусловно является положительным фактором курсового воздействия кардиотренингов. У нормотоников во время первого сеанса биоуправления значимо снижалось диастолическое АД ($p = 0,028$), а систолическое снижалось лишь к заключительному этапу ($p = 0,045$), при этом во время проведения десятого сеанса значения САД практически не изменялись, а ДАД значимо снижалось к заключительному этапу ($p = 0,031$). Фоновые значения САД на первом сеансе биоуправления в группе симпатотоников были значимо выше ($p = 0,035$), а фоновые и динамические значения ДАД на десятом сеансе были значимо ниже ($p = 0,047-0,012$), чем в группе нормотоников.

Динамика ЧСС в ходе первого сеанса кардиотренинга оставалась практически без изменений, значимое снижение показателя происходило лишь у симпатотоников на заключительном этапе ($p = 0,037$). При выполнении десятого сеанса была отмечена разнонаправленная динамика ЧСС в группах с

различным вегетативным тонусом – так, у симпатотоников на этапе биоуправления наблюдалось значимое снижение показателя ($p = 0,018$), а в группе нормотоников значимое его повышение в пределах нормативных значений ($p = 0,043$). При этом фоновые и динамические значения ЧСС во время десятого сеанса были ниже значений первого сеанса в обеих группах подростков – у симпатотоников значимые различия отмечены на этапе биоуправления ($p = 0,035$), а у нормотоников на завершающем этапе ($p = 0,022$). Значимые межгрупповые различия ЧСС отмечены при проведении обоих сеансов, при этом данный показатель был выше у симпатотоников как в фоне, так и в динамике проведения процедуры ($p = 0,014-0,001$).

Можно полагать, что наиболее выраженное снижение систолического АД у симпатотоников отражает процессы снижения систолического, ударного объёма крови. По-видимому, биоуправление с целью усиления общей мощности спектра ВСР при коротких сеансах способно влиять в первую очередь на изменение уровня циклических нуклеотидов и энергетический обмен в миокарде, что отражает снижение инотропного эффекта [130]. В то же время, сохранение и даже некоторое повышение ЧСС в ходе первого сеанса биоуправления у симпатотоников отражает процесс компенсации снижения ударного объёма за счёт активизации хронотропных механизмов и тем самым удержание фракции сердечного выброса. Тенденция снижения диастолического АД косвенно может отражать процесс снижения общего периферического сосудистого сопротивления. На заключительном десятом сеансе происходит переход функционирования сердечно-сосудистой системы на более оптимальный режим – более низкие значения ЧСС, САД и ДАД, т.е. более соответствующие возрастным нормативам.

У подростков со сбалансированным вегетативным тонусом к завершению курса процедур более выражена реактивность “функциональных качелей” при биоуправлении, когда наряду с отчётливым усилением активности парасимпатического отдела вегетативной регуляции (более активное повышение общей мощности спектра ВСР) и снижением ударного объёма (снижение систолического АД) происходит также активация симпатического

звена (увеличение ЧСС). Можно предположить, что при систематическом воздействии афферентной импульсации идущей с периферии и направленной на увеличение парасимпатического тонуса в ходе биоуправления, происходит ответная активация всех центров ВНС, составляющих единую регулируемую систему, объединённую под общим названием сердечно-сосудистый центр [49]. Учитывая, что повышение ЧСС происходило в нормативных пределах (не более 80 уд / мин), можно полагать, что в процессе кардиотренинга у здоровых нормотоников срабатывает механизм уравнивания и стабилизации вегетативного тонуса с целью сохранения вегетативного гомеостаза. По-видимому, в данном случае наблюдался схожий эффект, описанный в работах других авторов, использовавших биоуправление параметрами ритма сердца у ваготоников – при этом происходило некоторое усиление симпатической реактивности, что рассматривалось как позитивный, стабилизирующий эффект в отношении вегетативной нервной системы [44].

В то же время, длительное курсовое воздействие подобных БОС-тренингов у лиц с исходно повышенным симпатическим тонусом ВНС, оказывает более отчётливое регулирующее влияние на сердечно-сосудистый центр продолговатого мозга и высших вегетативных центров гипоталамуса, находящихся под контролем коры головного мозга. При этом одновременно происходит как активация вагусного ядра продолговатого мозга, в котором расположен парасимпатический центр, замедляющий сердечный ритм, так и угнетение тонической активности нейронов симпатического сосудосуживающего центра ретикулярной формации, отвечающего за уменьшение тонуса сосудов и артериального давления, что может свидетельствовать о сохранении у этих молодых лиц эффективного функционирования кортико-висцеральных нервных связей, адекватных механизмов барорефлекса и кардиореспираторного сопряжения.

При анализе функциональных перестроек параметров ЭЭГ в ходе кардиотренинга было выявлено, что фоновые и динамические значения амплитудно-частотных характеристик в большинстве случаев были значимо выше ($p = 0,014-0,002$) в группе симпатотоников как при первом, так и при

десятом сеансе БОС (рис. 25). Более выраженная альфа- и тета-активность у этих лиц свидетельствует о большей представленности гиперсинхронных вариантов ЭЭГ, большей вовлечённости нейронных ансамблей в генерацию основных ритмов, а также о большей мощности функционирования таламических и стволовых ритμοзадающих структур по сравнению с нормотониками.

Значимое снижение тета-индекса при биоуправлении отмечено в обеих группах обследованных подростков лишь на первом сеансе ($p = 0,014-0,002$), во время проведения десятого сеанса данный показатель практически не изменялся. Амплитуда тета-ритма снижалась также в обеих группах лиц как на первом, так и на десятом сеансе кардиотренинга, но значимо лишь к заключительному этапу и более отчётливо в группе нормотоников ($p = 0,020-0,005$). В то же время обращает внимание, что исходно более высокие показатели тета-активности в группе симпатотоников на первом сеансе снизили свои фоновые уровни к началу десятого сеанса ($p = 0,027$), в группе с нормальным тонусом подобное снижение отмечалось на уровне тенденции. То есть, несмотря на стабильно более высокую тета-активность ЭЭГ, отражающую активность подкорковых, диэнцефальных структур, у симпатотоников в результате курса биоуправления произошло значимое её снижение.

Изменение амплитуды и индекса альфа-диапазона во время первого сеанса биоуправления выразилось в их значимом повышении ($p = 0,017-0,003$) от фона к этапу последствий БОС и вновь снижении ($p = 0,042-0,008$) к заключительному фону в обеих группах подростков. Однако в ходе десятого сеанса для обеих групп подростков изменения альфа-активности при биоуправлении были уже незначительными – отмечалось некоторое снижение альфа-индекса в пределах нормативных значений, при этом в группе симпатотоников во время проведения десятого сеанса на этапе последствий БОС показатели альфа-индекса были значимо более низкие, чем на аналогичном этапе первого сеанса ($p = 0,048$).

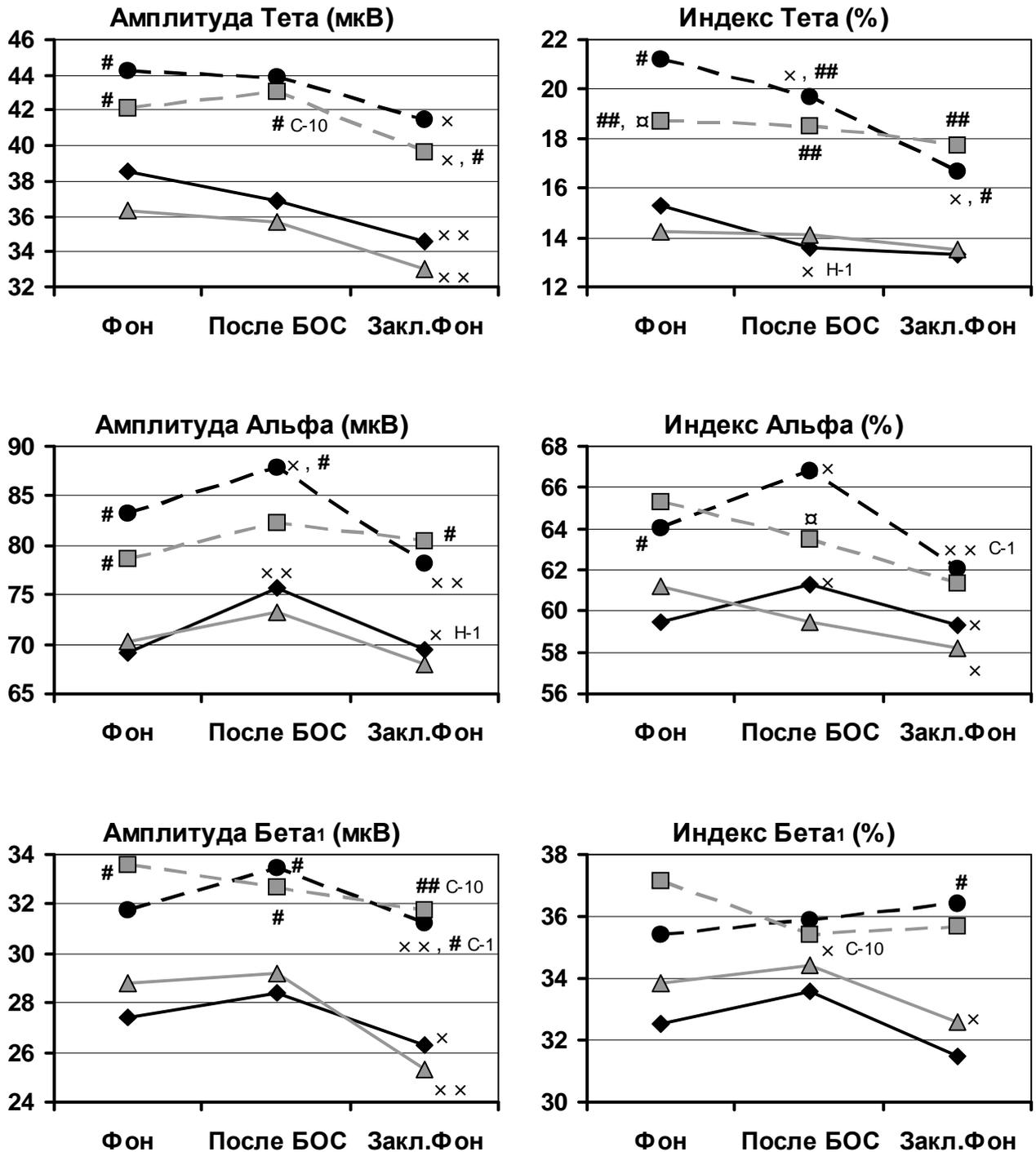


Рис. 25. Изменение показателей биоэлектрической активности головного мозга в динамике первого и десятого сеансов биоуправления у подростков 16-17 лет с различным вегетативным статусом.

Примечание. Сплошные линии – группы нормотоников (Н); пунктирные линии – группы симпатотоников (С). Чёрные линии – 1 сеанс; серые линии – 10 сеанс. Статистически значимое отличие в сравнении с предыдущим этапом исследования: x – $p < 0,05$; xx – $p < 0,01$; xxx – $p < 0,001$; # – между нормотониками и симпатотониками на соответствующем этапе текущего сеанса; α – между 1 и 10 сеансом у одной группы лиц на соответствующем этапе.

Синхронизация основного ритма при выполнении первого сеанса биоуправления может быть проявлением процесса корковой обработки афферентной информации [396]. Экспериментальные исследования показали, что альфа-ритм ослабевает в ситуациях, когда для решения задач требуется зрительное внимание на внешнем стимуле [406]. Однако при концентрации на внутреннем состоянии, формировании умственных образов и при творческом мышлении альфа-активность, как правило, увеличивается [396]. Повышение альфа-активности может отражать корковое торможение, которое служит для увеличения отношения “сигнал-шум” при активации процессов. Некоторые авторы полагают, что синхронизация альфа-активности может играть функциональную роль в предотвращении потока информации в областях, которые участвуют в сохранении памяти, т.е. в максимизации эпизодической кратковременной памяти [357]. В то же время тета-ритм также особым образом связан с процессом запоминания, так как одной из структур, генерирующих тета-ритм, является гиппокамп, участвующий в процессе формирования следов долговременной памяти. В гиппокампе тета-ритм имеет максимальную амплитуду и выраженность [149].

Показатели бета₁-активности во время первого сеанса биоуправления незначительно повышались в обеих группах подростков на этапе последействия БОС, однако затем к заключительному этапу происходило значимое снижение бета-амплитуды ($p = 0,025-0,005$). При выполнении десятого сеанса значимое снижение бета-индекса выявлено в группе симпатотоников на этапе последействия БОС ($p = 0,037$), а у нормотоников значимое снижение этого показателя отмечено на этапе заключительного фона ($p = 0,018$). При этом фоновые значения бета₁-активности к началу десятого сеанса были несколько выше, чем на первом в обеих группах подростков.

Снижение показателей тета-активности ЭЭГ, повышение амплитуды и индекса альфа-ритма, при некотором повышении бета₁-активности в ходе проведения первого сеанса биоуправления может свидетельствовать об улучшении состояния мозгового кровотока, повышении уровня активности

коры больших полушарий и снижении влияния на неё срединных регуляторных структур головного мозга. Вероятно на начальных этапах формирования нового алгоритма работы ритмозадающих систем, важным элементом для достижения положительного результата адаптивного биоуправления является концентрация внимания, т.е. концентрация на регуляции дыхания. Правильная или неправильная регуляция дыхания напрямую связана с достижением концентрации и, следовательно, с успешностью биоуправления [132]. При этом биоуправление на начальных этапах (1-й сеанс) предусматривает вовлечение большего количества структур головного мозга, что обуславливает более интенсивный режим корково-подкорковых взаимодействий, в сравнении с менее активными изменениями ЭЭГ на десятом сеансе.

Некоторая десинхронизация альфа- и бета₁-ритмов при проведении десятого сеанса, характерная в основном для ЭЭГ симпатотоников, свидетельствует о вполне ожидаемой реакции активации на уже знакомую подросткам процедуру БОС-тренинга, при этом нейрональная корковая активность переходит на более экономный режим работы. Данный факт следует интерпретировать как признак повышения вегетативной устойчивости у БОС-тренированных лиц [49]. Также в некоторых работах отмечено, что ЭЭГ-активация (депрессия альфа-активности) коррелирует с ростом возбудимости, реактивности и лабильности нейронов коры [66]. Подобная форма активации сенсорной и моторной группировок клеток направлена на интеграцию нейронов в функциональные системы, что обеспечивает как эффективность процесса восприятия, так и выполнение определённого сенсомоторного акта [66]. Учитывая более часто встречаемые фоновые гиперсинхронные варианты ЭЭГ у симпатотоников, что отразилось в более высокой альфа- и тета-активности – относительное снижение индекса альфа-активности (не ниже 50 %) на десятом сеансе биоуправления можно расценивать с позиции усиления корковых влияний на более глубокие структуры головного мозга. При этом статистически индекс альфа-активности на десятом сеансе был идентичен таковому у нормотоников.

Динамика процентного изменения абсолютных значений мощности основных частотных диапазонов ЭЭГ от фонового состояния к этапу последействия БОС-тренинга представлена на рисунках 26, 27, 28. Наибольшее снижение мощности тета-активности выявлено у подростков на первом сеансе кардиотренинга (рис. 26). В группе нормотоников наиболее значимые изменения происходили в правой лобной, правой височной и в обеих затылочных областях ($p = 0,031-0,004$), в группе симпатотоников тета-активность значимо снижалась в обеих лобных, правой центральной и правой затылочной, а также в левой височной областях ($p = 0,012-0,005$). Таким образом, снижение тета-активности у симпатотоников происходило с вовлечением большего числа нейрональных ансамблей, т.е. наблюдалась более генерализованная реакция ЭЭГ, чем у нормотоников. При проведении десятого сеанса биоуправления значимых изменений мощности тета-активности уже не наблюдалось, отмечена лишь тенденция к её снижению преимущественно в правых отделах мозга. Наиболее ощутимая разница в динамических откликах на проведение первого и десятого сеанса БОС-тренинга отмечена в передних и задних отделах мозга ($p = 0,025-0,008$).

Доминирование правого полушария в процессе БОС-тренинга также может быть связано с преобладанием образного мышления и использованием эмоциональной компоненты, именно эти функции относятся к числу “правополушарных”. Действительно, для достижения значимых результатов при кардиотренинге важно наиболее ярко представить себе внешнюю обстановку и то внутреннее состояние, которые в реальных условиях способствуют физическому расслаблению и замедлению ЧСС.

Наибольшие приросты абсолютных значений мощности альфа-диапазона также выявлены в динамике первого сеанса биоуправления, при этом наблюдается уже отмеченная ранее отчётливая правосторонняя асимметрия (рис. 27). У подростков со сбалансированным вегетативным тонусом отмечено значимое увеличение мощности альфа-активности диффузно над всеми точками конвекситальной поверхности скальпа ($p = 0,032-0,001$).

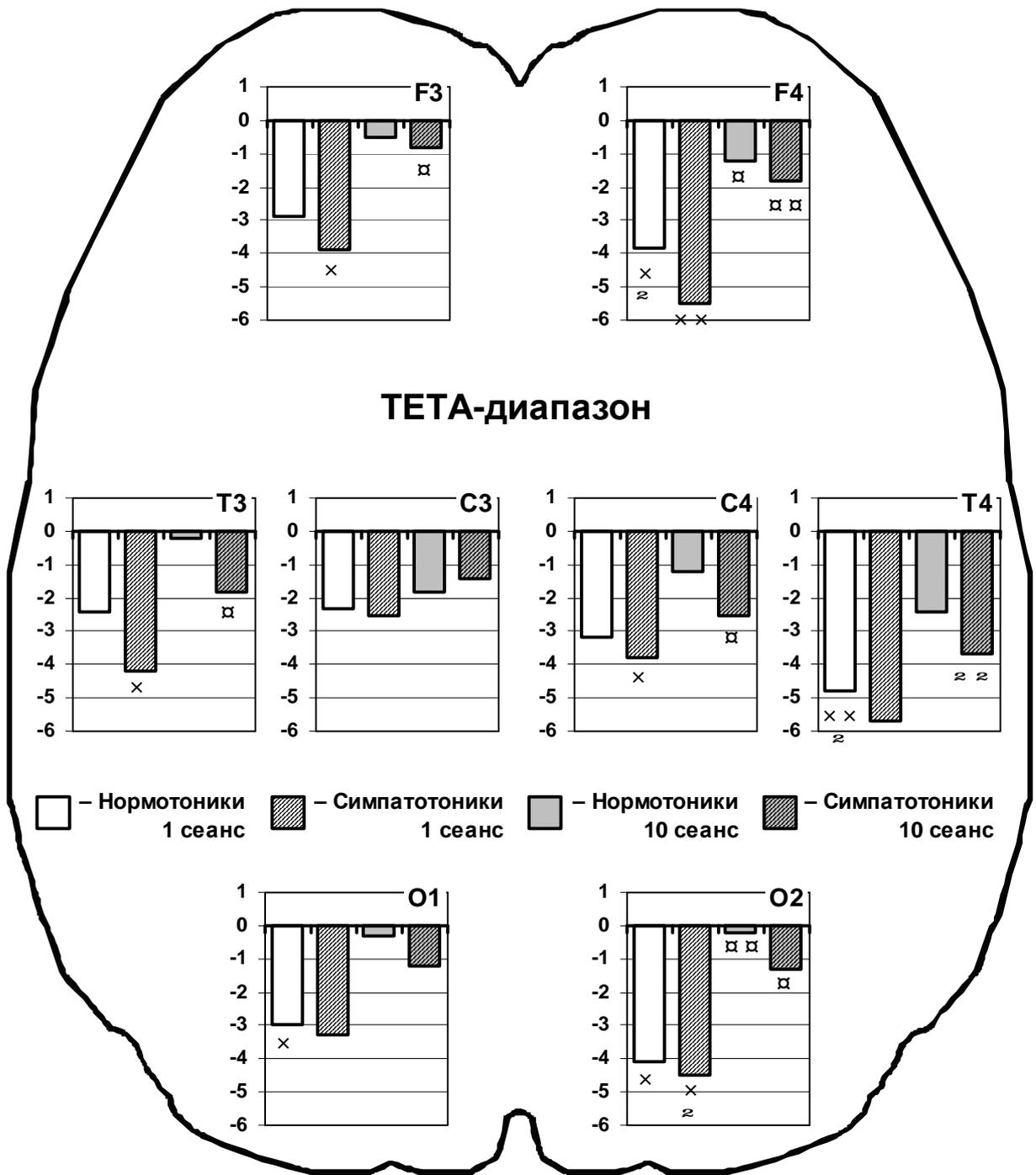


Рис. 26. Изменение (в процентах) абсолютных значений мощности тета-диапазона ЭЭГ в динамике первого и десятого сеансов биоуправления у подростков 16-17 лет с различным вегетативным статусом.

Примечание. 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 последействия БОС-тренинга: x – $p < 0,05$; x x – $p < 0,01$; x x x – $p < 0,001$; □ – между 1 и 10 сеансом у одной группы лиц; ≈ – между показателями в симметричных отведениях слева и справа.

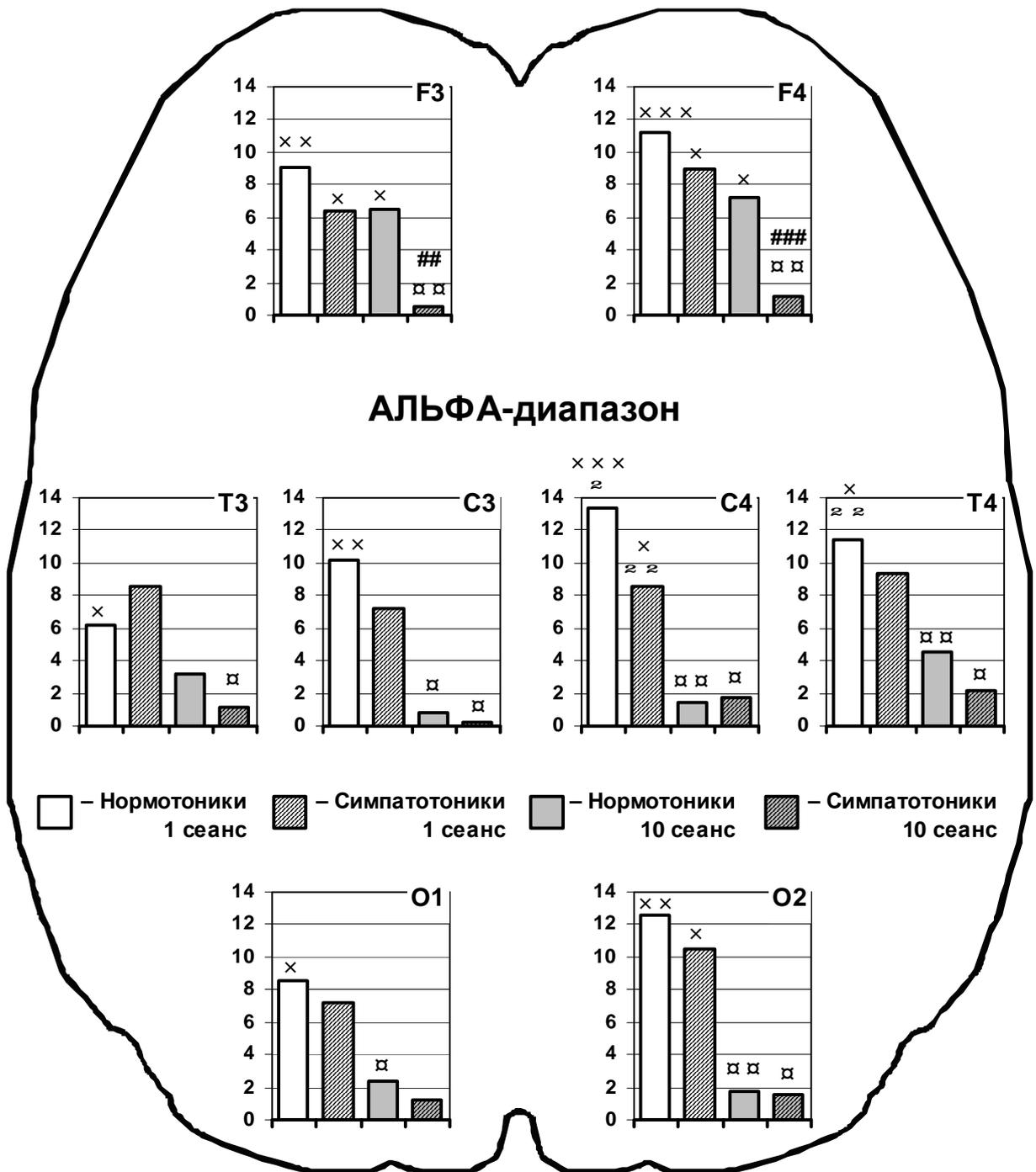


Рис. 27. Изменение (в процентах) абсолютных значений мощности альфа-диапазона ЭЭГ в динамике первого и десятого сеансов биоуправления у подростков 16-17 лет с различным вегетативным статусом.

Примечание. 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 последействия БОС-тренинга: x – $p < 0,05$; x x – $p < 0,01$; x x x – $p < 0,001$; # – между нормотониками и симпатотониками на текущем сеансе; α – между 1 и 10 сеансом у одной группы лиц; ≈ – между симметричными отведениями слева и справа.

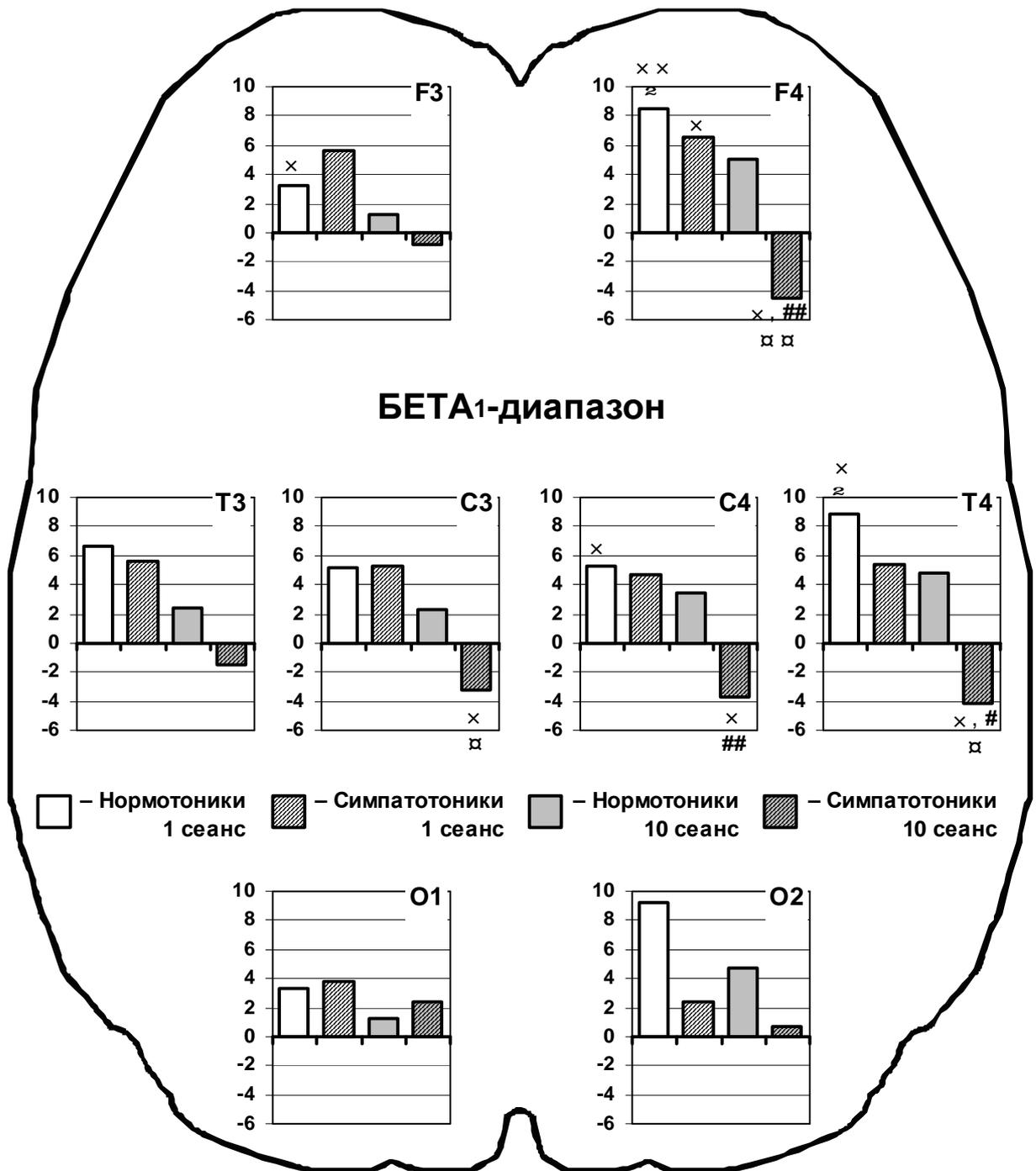


Рис. 28. Изменение (в процентах) абсолютных значений мощности бета₁-диапазона ЭЭГ в динамике первого и десятого сеансов биоуправления у подростков 16-17 лет с различным вегетативным статусом.

Примечание. 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 последействия БОС-тренинга: x – $p < 0,05$; x x – $p < 0,01$; x x x – $p < 0,001$; # – между нормотониками и симпатотониками на текущем сеансе; α – между 1 и 10 сеансом у одной группы лиц; ≈ – между симметричными отведениями слева и справа.

У симпатотоников также наблюдается равномерное повышение альфа-активности как в передних, так и в задних отделах мозга, наиболее значимые изменения выявлены в обеих лобных, правой центральной и правой затылочной областях ($p = 0,040-0,015$). На десятом сеансе кардиотренинга альфа-мощность значимо прирастает лишь у нормотоников в лобных областях ($p = 0,035-0,021$), другие отделы мозга у них остаются практически интактными к проведению процедуры. В группе симпатотоников мощность альфа-диапазона после проведения десятого сеанса также значимо не отличается от фоновой.

Усиление мощности альфа-ритма отражает модуляцию активности кальциевых каналов таламуса, способствующих адекватному восприятию информации, оптимальной переработке восходящей и нисходящей информации в коре головного мозга [18]. Поэтому усиление альфа-активности при проведении первого сеанса кардиотренинга свидетельствует о сохранности оптимальных таламо-кортикальных и нейровисцеральных связей у подростков со сбалансированным вегетативным тонусом. У подростков с выраженной симпатикотонией также сохраняется реактивность мозговых структур в ответ на управляемое повышение вагусной активности, но она носит менее выраженный характер.

Однонаправленные приросты альфа-мощности с примерно одинаковой силой в задних и передних отделах мозга могут отражать общую скорость передачи возбуждения нервными волокнами в пределах формируемых в ходе БОС-тренинга ассоциативных межнейронных связей. Формирование устойчивого лобно-затылочного “равновесия” видимо зависит от условий проведения БОС-тренинга, а именно от того, с какими индикаторами деятельности сердца работает пациент. В нашем случае наиболее важные функции выполняет графический индикатор (см. главу 2, рис. 1), что предполагает участие в работе затылочных отделов головного мозга (коркового отдела зрительного анализатора). Таким образом, между затылочными и лобными отделами мозга, контролирующими мотивацию поведения и имеющими обширные двусторонние связи с гипоталамусом [150], должны установиться ассоциативные связи, несущие информацию о получаемых

изображениях с тем, чтобы возникла возможность “управлять” показаниями индикатора на экране монитора. В литературе имеются работы [321, 344], в которых было показано усиление взаимоотношений лобно-затылочных отделов в ходе различной творческой деятельности. Эти данные также могут подтвердить теорию временного возникновения ассоциативных лобно-затылочных связей при определённой умственной нагрузке. Описано, что в состоянии когнитивной деятельности усиливается явление “переливов” альфаритма между переднезадними областями [61], что отражает перестройки функциональной активности различных областей коры у нормотоников на десятом сеансе. Видимо к окончанию курса биоуправления, участие зрительного анализатора и затылочных отделов мозга уже не так важно для контроля над изменением собственного состояния в динамике тренинга. У испытуемого к этому времени уже имеется необходимый опыт, наработаны ощущения и сформированы необходимые ассоциативные связи, поэтому процесс биоуправления происходит по более экономному варианту и с незначительными церебральными проявлениями.

Мощность бета₁-диапазона отчётливо повышается у нормотоников в лобных и правой центрально-височной областях ($p = 0,034-0,007$) при проведении первого сеанса БОС (рис. 28), а у симпатотоников значимые приросты выявлены лишь в правой лобной области ($p = 0,047$). Во время проведения десятого сеанса биоуправления в группах подростков была выявлена разнонаправленная динамика бета₁-активности. Так у нормотоников наблюдалась тенденция к повышению мощности бета₁-диапазона, а у симпатотоников отмечено её значимое снижение в правых лобно-височных и центральных областях ($p = 0,045-0,018$), при этом динамические показатели значимо отличались как в группах с различным вегетативным тонусом, так и при сравнении с показателями первого сеанса ($p = 0,033-0,002$).

Повышение альфа-активности в лобных, центральных, височных и затылочных отделах мозга у нормотоников на первом сеансе сочетается с повышением спектральной мощности бета₁-активности в передних и правых отделах головного мозга. Синхронизацию активности нейронов зачастую

связывают с сетью осцилляций, которые, как полагают, обеспечивают интеграцию нейрональных структур для обработки информации. Так, в некоторых работах отмечается, что синхронизация альфа-, бета₁-колебаний необходима для единой мыслительной деятельности, при этом наблюдается эффект “частотной фазовой синхронизации” в альфа-бета диапазонах, который координирует нейрональные структуры для формирования рабочей памяти, восприятия и сознания [396].

Предполагается, что кодировка новой информации находит своё отражение в тета-осцилляциях гиппокампо-кортикальной петли обратной связи, в то время как поиск и извлечение информации из долговременной памяти отражается в альфа-колебаниях, связанных с формированием таламо-кортикальной петли обратной связи [357]. Таким образом, для достижения биоуправления на начальных этапах необходима интеграция сенсорных, ассоциативных механизмов и контекстной информации с учётом индивидуальных особенностей. Возможно также, что выявленные на десятом сеансе различия в группах нормотоников и симпатотоников отражают разные способы сформировавшегося нейрофизиологического обеспечения в реализации решения одинаковых когнитивных задач.

При оценке реакции усвоения ритмов фотостимуляции (рис. 29) у подростков во время прохождения курса кардиотренингов было отмечено, что фоновое количество случаев усвоений ритмов в тета- и альфа-диапазонах было несколько выше (от 6 до 14 %) в группе симпатотоников как на первом, так и на десятом сеансе, что может быть следствием некоторого повышения триггерной реактивности таламуса у этих лиц. Как уже отмечалось в предыдущей главе, по окончании кардиотренинга в сравнении с фоном наблюдается снижение числа усвоений ритмов практически у всех подростков во всех диапазонах частот фотостимуляции. Так, снижение в тета- и альфа-диапазонах стимуляции достигало 7 %, а в бета₁-диапазоне 15 %, причём наиболее активные изменения происходили у подростков при проведении десятого сеанса.

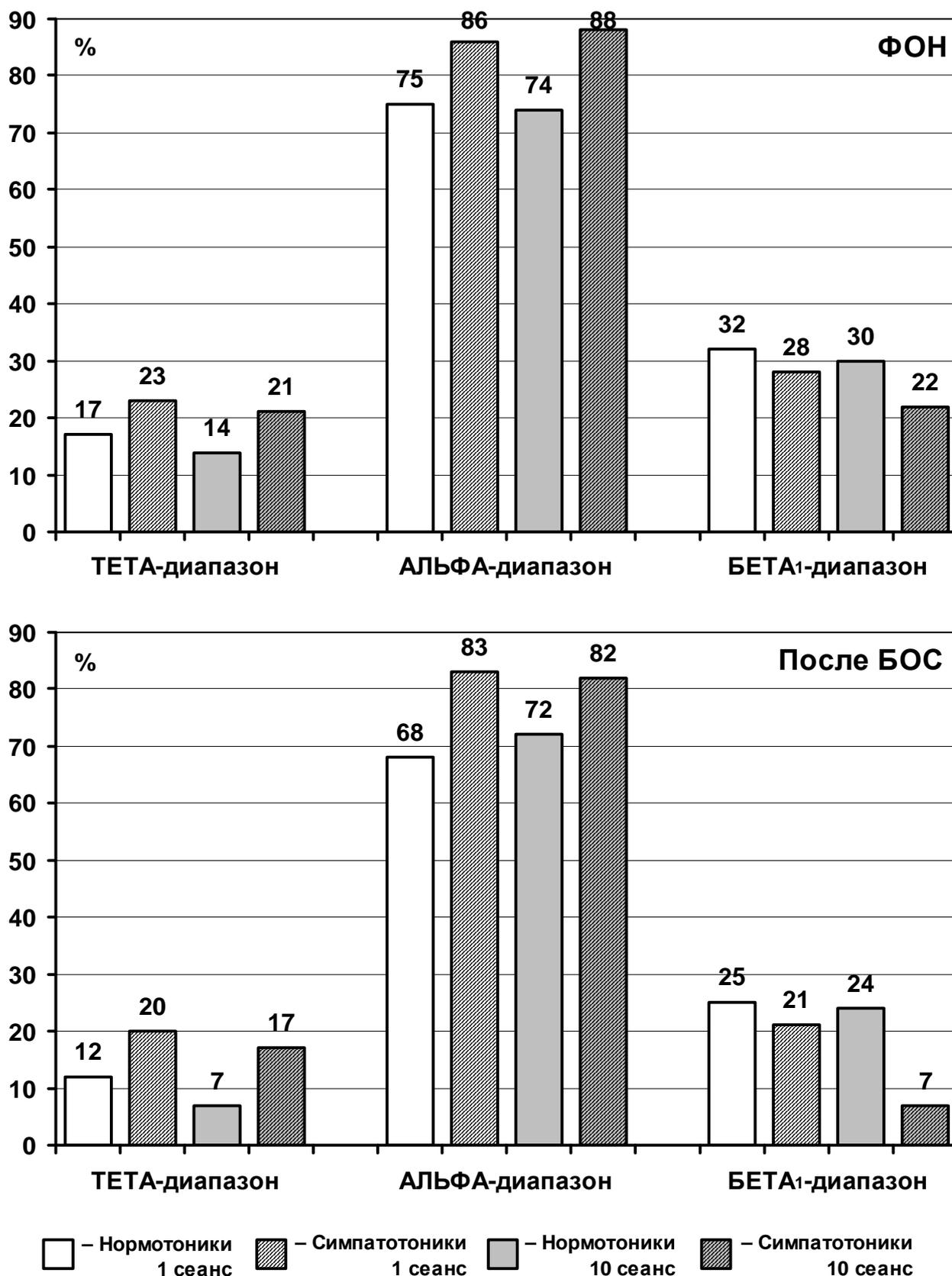


Рис. 29. Изменение процентных долей лиц с усвоением ритмов фотостимуляции в основных частотных диапазонах ЭЭГ в динамике первого и десятого сеансов биоуправления у подростков 16-17 лет с различным вегетативным статусом.

Стоит отметить, что к десятому сеансу даже фоновое количество случаев усвоений ритмов фотостимуляции было несколько ниже аналогичных показателей первого сеанса, особенно отчётливо это проявляется в группе симпатотоников, демонстрируя у них повышение устойчивости ритмозадающих структур мозга.

Таким образом, проведение курса из десяти процедур адаптивного биоуправления параметрами ритма сердца с целью повышения резервов его парасимпатической регуляции формирует различные варианты изменений показателей variability сердечного ритма, центральной гемодинамики и биоэлектрической активности мозга подростка в зависимости от его исходного вегетативного тонуса. У подростков с преобладанием симпатических влияний на активность сердечной деятельности отмечены значимо более высокие фоновые значения артериального давления, частоты сердечных сокращений и индекса напряжения регуляторных систем, а также значимо более низкие показатели общей мощности спектра ВСР. На основе изменения данных показателей к завершению курса из десяти процедур биоуправления, у обследованных подростков из обеих групп отмечено снижение тонуса симпатического отдела ВНС. У подростков с преобладанием симпатических влияний в ходе проведения сеансов биоуправления отмечено более активное снижение АД и ЧСС, а при завершении курса процедур у большинства подростков из данной группы наблюдается значительная стабилизация фонового артериального давления до нормальных уровней, что может свидетельствовать о сохранении у этих лиц эффективного функционирования кортико-висцеральных нервных связей, адекватных механизмах барорефлекса и кардиореспираторного сопряжения. У подростков со сбалансированным вегетативным тонусом к завершению курса более выражена реактивность “функциональных качелей” при биоуправлении, когда наряду с усилением активности парасимпатического отдела вегетативной регуляции происходит также активация симпатического звена.

Для большинства рассматриваемых амплитудно-частотных характеристик ЭЭГ были выявлены их значимо более высокие фоновые и динамические значения в группе симпатотоников как при первом, так и при десятом сеансе биоуправления. В обеих группах подростков выявлена более высокая

реактивность ритмов ЭЭГ на проведение первого сеанса кардиотренинга, проявляемая в значимом снижении тета-активности преимущественно в правых отделах мозга, а также в диффузном повышении альфа-активности во всех отделах мозга и бета₁-активности в правых передних отделах мозга, что свидетельствует об активизации таламо-кортикальных нейронных сетей, в которых происходит интеграция вегетативных реакций с когнитивными и эмоциональными процессами.

К заключительному десятому сеансу кардиотренинга у подростков с преобладанием симпатических влияний оптимизация корково-подкорковых взаимоотношений закрепляется уже в фоновых значениях и проявляется в более низкой тета- и относительно более высокой бета₁-активности, при уменьшении количества усвоенных ритмов фотостимуляции в этих диапазонах. В динамике десятого сеанса у этих лиц не было выявлено значимых изменений в тета- и альфа-диапазонах, но происходило значимое снижение бета₁-активности. С другой стороны, минимальные различия между фоновыми и динамическими значениями ЭЭГ на заключительном сеансе свидетельствуют о более выраженном снижении реактивности таламо-кортикальной системы у симпатотоников по сравнению с нормотониками. У подростков со сбалансированным вегетативным тонусом при минимальных изменениях в тета- и бета₁-диапазонах, значимо увеличивается альфа-активность в передних отделах мозга. Видимо к окончанию курса кардиотренингов, уже сформированы как необходимые внутримозговые ассоциативные связи, так и новые нейровисцеральные связи для оптимизации вегетативной регуляции сердечной деятельности, поэтому процесс биоуправления происходит по более экономному варианту и с незначительными церебральными проявлениями.

Выявленные варианты произвольных направленных сдвигов (перестроек) структуры паттерна ЭЭГ у лиц с различным уровнем напряжения сердечной деятельности свидетельствуют о различиях в центральных механизмах регуляции головного мозга подростков, разной степени взаимодействия его структур и способности функциональной реорганизации мозга как единой системы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие детей и подростков, формирование их морфологических, функциональных и психологических особенностей определяются не только внутренней генетической программой, но и комплексом внешних условий, связанных с влиянием экологических факторов. Исследования, посвящённые изучению природной зоны северных районов России, свидетельствуют о дискомфорте климатоэкологических условий проживания и сложных социально-бытовых условиях, которые вызывают напряжение функциональных систем организма [79, 162, 222, 243] и оказывают существенное влияние на возрастное развитие подростков [71, 138, 163, 183, 211, 223]. В настоящем исследовании нами была поставлена цель выявления особенностей формирования биоэлектрической активности мозга и механизмов нейровегетативной регуляции сердечной деятельности у подростков, проживающих в климатогеографических условиях Приполярных и Заполярных территорий Европейского Севера, с учётом исходного физиологического статуса и при биоуправлении параметрами ритма сердца. Основные этапы выполненной работы схематично представлены на рисунке 30.

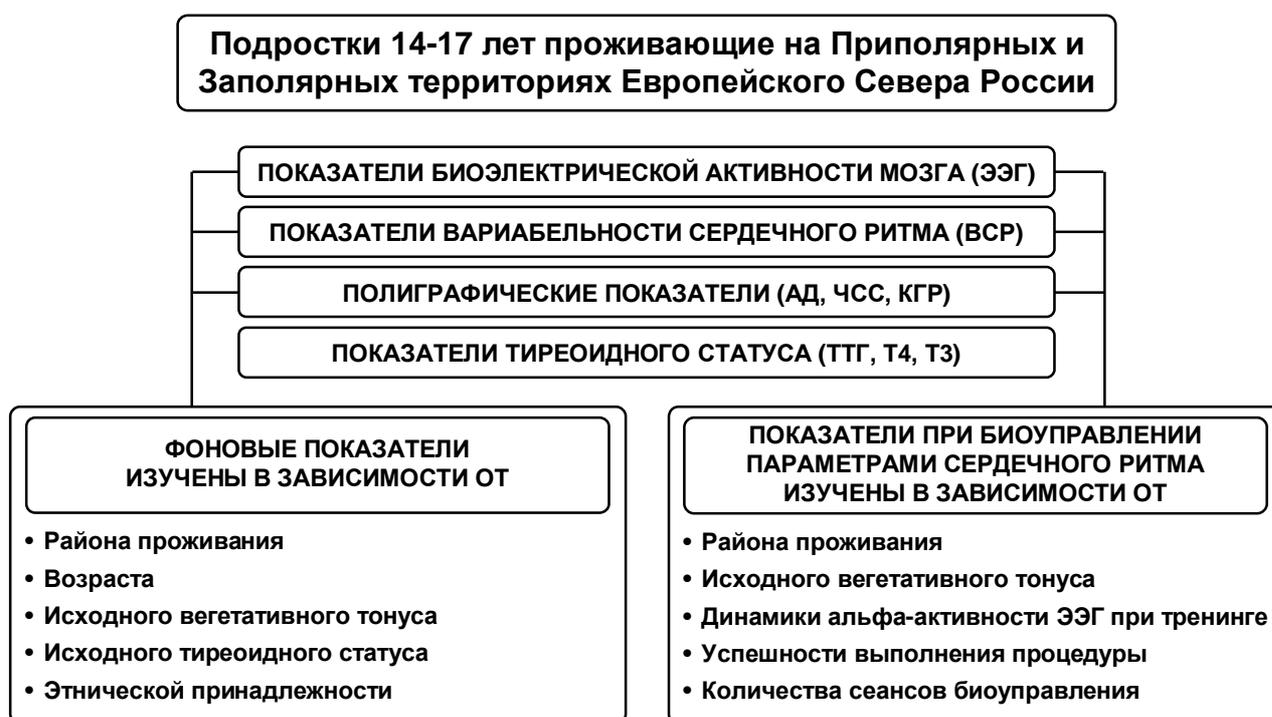


Рис. 30. Схема проведения диссертационного исследования.

Одними из наиболее распространённых форм сердечно-сосудистой патологии на Севере являются нарушения вегетативных функций и тесно связанные с ними расстройства сосудистого тонуса и регуляции кровообращения [94, 183]. Рядом исследований было показано, что возникновению артериальной гипертонии у детей и подростков предшествует длительный период вегетативной дистонии по гипертоническому типу [12, 102, 158, 179]. В работах по изучению вегетативной реактивности у подростков, проживающих в более южных районах Архангельской области (61-64° с.ш.) выявлено, что при увеличении географической широты и нарастании уровня дискомфортности природно-климатических условий Севера происходит усиление симпатической реактивности как в покое, так и при функциональных нагрузках за счёт подкорковых механизмов вегетативной регуляции и барорефлекторных механизмов [183].

Результаты проведенных нами сравнительных трансширотных исследований по изучению особенностей возрастного становления вегетативной регуляции сердечной деятельности и функционирования центральной гемодинамики у подростков 14-17 лет, проживающих на Арктических территориях России, в Приполярных и Заполярных её районах показали отчётливое возрастное повышение артериального давления ($p < 0,05-0,001$) у обследованных подростков. Доля лиц с пограничной артериальной гипертензией (с уровнем АД превышающим границу 90 центиля) также увеличивается с возрастом и достигает 63 % к 17 годам. По данным показателей ВСП и центральной гемодинамики среди подростков заполярного Севера отмечено значимое увеличение доли лиц с преобладанием симпатических влияний на активность сердечной деятельности, по сравнению со сверстниками из Приполярного района. Наибольшие адренергические влияния на сердечно-сосудистую систему выявлены у 15-летних подростков Заполярного района, когда за счёт активации положительных хронотропных механизмов сердечной регуляции отмечены более высокие ($p < 0,05-0,01$), в сравнении со сверстниками из Приполярного района, значения систолического

артериального давления, ЧСС и индекса напряжения регуляторных систем, а также более низкие значения общей мощности спектра ВСР.

Характер взаимодействия функциональных систем организма, направленных на поддержание гомеостаза, их устойчивость в процессе адаптации организма подростка к дискомфортной среде Севера во многом зависит и от типов вегетативной регуляции [12, 164]. Ранее было показано, что напряжённость взаимодействия функциональных систем минимальна у нормотонического и максимальна у симпатикотонического типа, соответственно, наименее устойчив к различного рода воздействиям симпатикотонический тип регуляции [2]. ВНС интегрирует функции всех внутренних органов, в том числе опосредованно через модуляцию активности высших корковых центров. Надсегментарные вегетативные аппараты соединены с мозговыми механизмами адаптации лимбико-ретикулярным комплексом [12], который в тесном взаимодействии с новой корой осуществляет формирование именно тех нейронных сетей, которые смогут наиболее эффективно обеспечивать деятельность организма во внешней среде [209, 222].

Среди подростков заполярного Севера в сравнении с приполярными сверстниками нами было отмечено значимое снижение доли лиц с преобладанием вагусных влияний на активность сердечной деятельности (9,6 % против 23,5 %, $p < 0,001$), при значимом увеличении доли лиц с преобладанием симпатических влияний (38 % против 27,7 %, $p < 0,05$). Процессы адаптации к более суровым природно-климатическим условиям заполярного Севера характеризуются гетерохронностью нейрогормонального формирования организма подростков, способной вызывать избыточную активацию симпатoadреналовой системы и различные нарушения сосудистого тонуса. По мнению ряда авторов [221, 233], преобладание тонуса симпатической нервной системы над тонусом парасимпатической играет существенную роль в обеспечении биоэнергетических процессов субстратами, особенно в трофическом обеспечении мышечной деятельности. Исходя из теоретической

концепции стресса, согласно которой форма и динамика его зависят от особенностей вегетативной нервной системы, естественно предположить, что для прогнозирования адаптации к стресс-факторам Севера первостепенное значение имеет баланс вегетативного реагирования. Можно полагать, что индивидуальная переносимость разных видов стресса, вероятно, определяется индивидуальными особенностями баланса центральных и вегетативных центров [78].

Известно, что формирование структурно-функциональной организации мозга в постнатальном онтогенезе продолжается в течение длительного периода развития, включая не только подростковый, но и юношеский возраст [165, 209, 252, 268]. Дискомфортные климатические условия окружающей среды, в том числе проживание на Севере, приводят к повышенным нагрузкам на физиологические системы и напряжению центральных механизмов регуляции функций у детей и подростков, что может являться причиной нарушения оптимальных темпов развития растущего организма [225].

По результатам нашей работы были выявлены особенности формирования биоэлектрических процессов головного мозга и реакций мозга на сенсорные сигналы у обследованных подростков, проживающих на Арктических территориях России. На основании клинической обработки ЭЭГ у этих лиц были выявлены характерные варианты её структуры: отмечается относительное возрастное “созревание” основного ритма электрической активности мозга, несколько снижается доля лиц с выраженной дезорганизованной ЭЭГ, практически исчезают лица с гиперсинхронными вариантами активности, при этом возрастает количество подростков с десинхронизацией основного ритма и увеличением числа бета-колебаний. В Заполярном районе отмечается достаточное число лиц (до 30 %) с признаками дисфункции регуляторных структур мозга, особенно среди младших подростков (14-15 лет) и лиц с повышенным симпатическим тонусом (более половины случаев). Характерной особенностью отклонений ЭЭГ, выявленных при обследовании заполярных подростков, было возникновение

пароксизмальных форм активности в виде острых волн, а также билатерально-синхронных разрядов в тета- и альфа-диапазонах с амплитудой в 1,5-2 раза превышающей фоновую, а иногда и с условно-эпилептиформными знаками. Кроме того, более высокая активность подкорковых диэнцефальных мозговых структур у подростков из Заполярного района, проявляется в виде сохранения повышенного уровня тета-активности, особенно в лобно-центральных отделах и дезорганизованной высокоамплитудной альфа-активности (до 37 % лиц), а также наличие диффузных реакций усвоения ритмов фотостимуляции в тета-диапазоне (до 50 % случаев). В то же время, у подростков из Приполярного района независимо от состояния их вегетативного тонуса происходит более интенсивная возрастная оптимизация нейродинамических процессов, проявляемая в виде более сформированной амплитудно-частотной части альфа-активности и её зонального градиента, снижения доминирующего влияния медленно-волновой активности и умеренно выраженной бета-активности. Установлено также, что фактор этноса вносит наименьший вклад в выявленные изменения структуры ЭЭГ, при этом максимальное влияние на адаптивные перестройки биоэлектрической активности мозга у подростков, принадлежащих к различным этническим группам Заполярного и Приполярного районов, оказывает именно сочетанное влияние неблагоприятных факторов Севера.

Территории Архангельской области и Ненецкого автономного округа относят к зобэндемичным регионам [87, 211]. Внутри этих территорий, ряд районов, преимущественно удалённых от морского побережья, является йоддефицитными биогеохимическими провинциями, в приморских же районах (относительно йодобеспеченных) определяющим фактором развития зобной эндемии может являться воздействие на организм детей и подростков различных природно-экологических стромогенов [139, 210, 212, 239]. Дефицит йода в окружающей природной среде приводит к снижению синтеза тиреоидных гормонов, т.е. является причиной снижения функциональной активности щитовидной железы [114]. Главными эффектами действия

тиреоидных гормонов в развивающемся мозге являются дифференцировка клеток, рост отростков, их миелинизация и синаптогенез [193]. При гипотиреозе запаздывает накопление гликопротеина, связывающегося с миелином в ростральных отделах мозга, коре и гиппокампе. Известно, что ранее всего миелинизация начинается в каудальных отделах мозга и этот процесс распространяется в ростральном направлении [276, 292]. При дефиците тиреоидных гормонов в подростковом возрасте процессы миелинизации страдают в тех отделах мозга, в которых миелинизация осуществляется наиболее поздно, поэтому наибольшие её изменения имеют место в коре головного мозга.

В нашей работе была выявлена северная специфика функционального состояния щитовидной железы, а также степень её влияния на формирование биоэлектрических процессов головного мозга обследованных подростков. Полученные данные подтверждают значимость оптимальных уровней тиреоидных гормонов на завершающих этапах пубертата для возрастного становления биоэлектрической активности головного мозга (формированию амплитудно-частотных взаимоотношений – снижение тета-активности, особенно в лобных отделах, и повышение альфа- и бета-активности). Фоновое состояние тиреоидной системы определяет возрастное становление церебральной биоэлектрической активности, наибольшее влияние гормонов отмечено у 14-15 летних школьников Приполярного района, при этом с возрастанием концентрации тироксина в крови у данных лиц, возрастает и степень реактивности ритмозадающих структур во всех рассматриваемых частотных диапазонах. У подростков Заполярья подобная зависимость проявляется в гораздо меньшей степени и лишь к 16-17 годам. С возрастанием (в физиологических пределах) концентрации тиреотропина на фоне снижения уровней гормонов щитовидной железы в сыворотке крови подростков Заполярного района, происходит снижение церебральных характеристик тета- и альфа-активности ($p < 0,05$), а также появляются значимые связи тиреоидных гормонов с показателями тета-активности. У подростков Приполярного района

формирование амплитудно-частотных взаимоотношений ЭЭГ более устойчиво к колебаниям тиреоидного статуса, в то же время у этих лиц отмечается наибольшее количество нейроэндокринных связей, значительно снижающееся с возрастанием концентрации тиреотропина в крови.

Длительное напряжение регуляторных систем организма может приводить к истощению адаптационных резервов, нарушению физиологических ритмов и механизмов регуляции [85]. 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 [192, 222]. В этой связи возрастает необходимость поиска методов, способствующих восстановлению нарушенных физиологических функций, адресованных к нейрофизиологическим механизмам адаптивной перестройки интегративных систем мозга. Одним из перспективных методов немедикаментозной коррекции сосудистой дистонии является метод биоуправления параметрами variability сердечного ритма, при котором происходит усиление вагусных влияний на ритм сердца и снижение явлений симпатикотонии [230, 361]. Использование в качестве управляемых показателей статистических [37, 122] и спектральных параметров variability сердечного ритма [230] позволяет дать интегративную оценку вегетативной регуляции организма на уровне баланса периферических и центральных структур нервной регуляции сердечной деятельности.

После оценки изменений в пространственно-временной организации биоэлектрической активности головного мозга обследованных подростков, а также динамики показателей variability сердечного ритма и центрального кровообращения в ходе проведения однократного сеанса биоуправления параметрами ВСР нами было показано, что способность испытуемого изменять активность параметров ритма сердца также определяет степень его воздействия и на функции центральных структур вегетативной регуляции. Со стороны показателей центральной гемодинамики отмечаются в целом однотипные

сдвиги, выражающиеся в снижении уровня артериального давления ($p < 0,05-0,001$) как при обычном расслаблении (у лиц из группы контроля), связанном видимо с адаптацией к обстановке исследования, так и при выполнении процедуры БОС-тренинга. В то же время, состояние расслабленности, подкрепленное сигналами биологической обратной связи, вызывает более сильные сдвиги в функциональной активности мозга и способствует нормализации механизмов активации, улучшая при этом кортикальную стабильность, проявляемую в увеличении альфа- и снижении тета-активности ($p < 0,05-0,001$). Процессы синхронизации мозговой активности в динамике биоуправления наиболее отчётливо проявляются в правом полушарии, при этом часто с вовлечением префронтальных областей.

Учитывая, что при биоуправлении максимально задействованы кортико-висцеральные связи и эмоционально-волевая сфера, представило дальнейший интерес определить, насколько успешность выполнения кардиотренинга влияет на описанные выше изменения показателей ЭЭГ и центральной гемодинамики. Предыдущие исследования [189, 226] показали, что направленное произвольное управление вегетативной регуляцией обычно становится возможным после 3-4 сеансов обучения, когда у испытуемых минимизируется рефлекс на обстановку исследования и устанавливается ассоциативная связь между изменениями контролируемого параметра и внутренним состоянием. В нашем исследовании было выявлено, что в зависимости от успешности выполнения процедуры, адаптивное биоуправление параметрами ритма сердца формирует сходные по характеру, но различные по силе варианты изменений биоэлектрической активности мозга и гемодинамических показателей у подростков. Более 85 % лиц смогли успешно выполнить однократный сеанс биоуправления, у них отмечена наибольшая выраженность изменений, когда наряду с усилением активности парасимпатического отдела вегетативной регуляции и снижением уровня артериального давления ($p < 0,01$) происходит более интенсивная оптимизация нейродинамических процессов (увеличение альфа- и снижение тета-активности, $p < 0,05-0,001$). По-видимому, успешность направленных

вегетативных сдвигов при саморегуляции сопряжена с высокой пластичностью нейрофизиологических механизмов [226]. Однонаправленность изменений ЭЭГ у подростков с различной степенью успешности биоуправления и малая доля неуспешных лиц (менее 15 %), обосновали дальнейшее рассмотрение нейрофизиологических и вегетативных реакций у таких подростков в общей выборке. Достижение положительного эффекта биоуправления в группе неуспешных подростков, видимо, возможно при более длительном курсе процедур, но целесообразность проведения такого курса необходимо уточнять индивидуально с учётом исходного вегетативного тонуса и психоэмоционального состояния испытуемого.

Выраженность и реактивность основного ритма биоэлектrogenеза человека (альфа-ритма) отражает степень оптимального функционирования таламо-кортикальных, таламо-ретикулярных нервных путей [18] и, следовательно, мозговых центров, отвечающих за нейровисцеральные связи в организме. Учитывая выявленные нами различия в темпах формирования биоэлектрической активности мозга и механизмах нейровегетативной регуляции сердечной деятельности у обследованных подростков 14-17 лет, проживающих в климатоэкологических условиях приполярных и заполярных территорий Севера, представилось актуальным определение у них направленности электроэнцефалографических реакций при биоуправлении параметрами ритма сердца. При анализе активности основного ритма ЭЭГ до и после проведения сеанса кардиобиоуправления было выявлено, что у подростков может происходить как повышение, так и снижение абсолютных значений мощности альфа-активности.

Показано, что более высокая фоновая активность подкорковых диэнцефальных мозговых структур у подростков из Заполярного района, сохраняет свои повышенные значения и в ходе проведения однократного сеанса биоуправления. Наиболее высокие уровни тета-активности ($p < 0,001$) при наименьших значениях бета₁-активности ($p < 0,05-0,001$) выявлены в группе подростков Заполярного района с повышением мощности альфа-активности в

динамике проведения БОС-тренинга. Выявлено, что независимо от региона проживания достижение успеха при кардиотренинге формируется различными вариантами изменений биоэлектрической активности мозга подростка, которые обусловлены как индивидуальным выбором когнитивной стратегии, так и, возможно, исходным вегетативным тонусом. Может отмечаться как общее усиление мощности альфа-активности (в 63-70 % случаев), свидетельствующее об увеличении внутренней синхронизации ритмозадающих структур головного мозга, так и снижение мощности альфа-активности в области зрительной коры (в 30-37 % случаев), отражающее процессы усиления десинхронизирующих восходящих активирующих влияний ретикулярной формации ствола на кору головного мозга. При варианте повышения альфа-активности – у подростков из Заполярного района это повышение сохраняется более продолжительное время и происходит на фоне более выраженного снижения тета-активности как в затылочных, так и в лобных отделах мозга ($p < 0,05-0,01$), в сравнении со сверстниками из Приполярного района.

Учитывая полученные нами данные, указывающие на усиление тонуса симпатической нервной системы у обследованных подростков-северян 14-17 лет, особенно у лиц проживающих в более суровых природно-климатических условиях заполярного Севера, представило значительный интерес оценить у них характер динамики функциональной активности головного мозга и полиграфических показателей ВНС при выполнении БОС-тренинга по предложенному способу. В обоих северных районах к участию в данном фрагменте исследования привлечены лица со сбалансированным вегетативным тонусом (нормотоники) и лица с преобладанием симпатических влияний на активность сердечной деятельности (симпатотоники).

Выявлено, что в зависимости от района проживания и исходного вегетативного тонуса обследованных подростков, при однократном сеансе биоуправления параметрами сердечного ритма формируются определённые различия в интенсивности изменения показателей центральной гемодинамики и биоэлектрической активности мозга. Выраженность гемодинамических

изменений проявляется в значимом снижении систолического и диастолического АД ($p < 0,05-0,01$) у подростков из обоих районов со сбалансированным вегетативным тонусом, а также в снижении изначально более высоких уровней систолического АД и ЧСС ($p < 0,01-0,001$) у подростков с преобладанием симпатических влияний на активность сердечной деятельности. БОС-тренинг по характеристикам ВСР 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 таламо-кортикальных 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 ($p < 0,05-0,001$) с относительным преобладанием динамики в правом полушарии ($p < 0,05$), которая продолжает снижаться и после окончания процедуры. Кроме того, у подростков Заполярного района отмечено снижение (до 30 %) частоты встречаемости пароксизмальных форм активности после проведения кардиотренинга. У обследованных подростков из всех групп формирование церебральных ответов в альфа-диапазоне выражается в генерализованном усилении активности над всеми участками коры мозга ($p < 0,05-0,001$) с некоторым смещением градиента в передние и центральные его отделы, что отражает сочетанное усиленное влияние таламических и стволовых структур на биоэлектrogenез коры. Приросты мощности бета₁-активности происходят преимущественно за счёт передних и правых центрально-височных отделов мозга ($p < 0,05-0,001$) 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 ($p < 0,05$). Более выраженные перестройки биоэлектрического паттерна в правых отделах головного мозга свидетельствуют также об активизации центральных мозговых структур, связанных с сердечно-сосудистой афферентацией, что может оптимизировать вегетативную регуляцию сердечной деятельности организма. Снижение выраженности медленно-волновых и повышение роли высокочастотных ритмов в центральных и передних отделах мозга после данного вида БОС-тренинга отражает процессы снижения активности глубинных структур и повышения активности коры мозга. Наибольшее количество корреляционных связей между церебральными и вегетативными показателями отмечено у подростков из групп со сбалансированным вегетативным тонусом, особенно в группе Заполярного района, что свидетельствует о более выраженных межсистемных взаимосвязях и более однонаправленной общегрупповой реакции функциональных систем на однократный сеанс биоуправления у лиц, проживающих в более дискомфортных условиях Заполярья. Независимо от характера исходного вегетативного тонуса, после БОС-тренинга у обследованных лиц отмечено повышение устойчивости подкорковых структур регуляции к ритмической фотостимуляции. Особенно наглядно эти изменения происходят у симпатотоников Заполярного района (снижение усвоения ритмов в тета-диапазоне, $p < 0,05$) и у нормотоников Приполярного района (снижение усвоения ритмов в бета₁-диапазоне, $p < 0,01$).

Использование однократного сеанса кардиобиоуправления можно применить в качестве скринингового диагностического теста определения общей реактивности ВНС [89]. Однако проведение курса подобных сеансов уже может быть использовано для повышения адаптивных возможностей подростка, который при этом обучается навыкам саморегуляции физиологических функций, в том числе в условиях психоэмоциональной нагрузки, восстановлению нормальной работы функциональных систем организма и одновременно приобретает опыт целенаправленного поведения,

выработки верной стратегии достижения цели [61, 84, 88, 194]. Систематическое применение методик адаптивного биоуправления приводит к реорганизации механизмов регуляции ряда функций, поломке их патологических взаимосвязей (жёстких связей) и возникновению новых слабых связей между отдельными висцеральными системами. В период проведения БОС-сеанса появляются гибкие функциональные взаимоотношения между системами, на основе которых в дальнейшем возникает новая стабильная интеграция висцеральных систем. При соответствующей регулярной тренировке биологическая обратная связь закрепляется на уровне рефлекса и помогает перейти организму на новый, более правильный и здоровый режим работы [226]. С учётом показанной нами эффективности однократного сеанса биоуправления параметрами сердечного ритма в стабилизации вегетативного тонуса, артериального давления, а также нормализации механизмов церебральной активации и кортикальной стабильности у обследованных подростков-северян, представило интерес оценить характер динамики изучаемых нейрофизиологических показателей при прохождении курса из 10 сеансов адаптивного биоуправления по предложенному способу.

Выявлено, что проведение курса из десяти процедур адаптивного биоуправления параметрами ритма сердца с целью повышения резервов его парасимпатической регуляции формирует различные варианты изменений показателей variability сердечного ритма, центральной гемодинамики и биоэлектрической активности мозга подростка в зависимости от его исходного вегетативного тонуса. У подростков с преобладанием симпатических влияний на активность сердечной деятельности отмечены значимо более высокие фоновые значения артериального давления ($p < 0,05$), частоты сердечных сокращений ($p < 0,05$) и индекса напряжения регуляторных систем ($p < 0,001$), а также значимо более низкие показатели общей мощности спектра ВСР ($p < 0,001$). На основе изменения данных показателей к завершению курса из десяти процедур биоуправления, у обследованных подростков из обеих групп отмечено снижение тонуса симпатического отдела ВНС. У подростков с

преобладанием симпатических влияний в ходе проведения сеансов биоуправления отмечено более активное снижение АД и ЧСС ($p < 0,05$), а при завершении курса процедур у большинства подростков из данной группы наблюдается значительная стабилизация фонового артериального давления до нормальных уровней, что может свидетельствовать о сохранении у этих лиц эффективного функционирования кортико-висцеральных нервных связей, адекватных механизмах барорефлекса и кардиореспираторного сопряжения. У подростков со сбалансированным вегетативным тонусом к завершению курса более выражена реактивность “функциональных качелей” при биоуправлении, когда наряду с усилением активности парасимпатического отдела вегетативной регуляции происходит также активация симпатического звена.

Для большинства рассматриваемых амплитудно-частотных характеристик ЭЭГ были выявлены их значимо более высокие фоновые и динамические значения в группе симпатотоников как при первом, так и при десятом сеансе биоуправления ($p < 0,05-0,01$). В обеих группах подростков выявлена более высокая реактивность ритмов ЭЭГ на проведение первого сеанса кардиотренинга, проявляемая в значимом снижении тета-активности преимущественно в правых отделах мозга, а также в диффузном повышении альфа-активности во всех отделах мозга и бета₁-активности в правых передних отделах мозга ($p < 0,05-0,001$), что свидетельствует об активизации таламо-кортикальных нейронных сетей, в которых происходит интеграция вегетативных реакций с когнитивными и эмоциональными процессами.

К заключительному десятому сеансу кардиотренинга у подростков с преобладанием симпатических влияний оптимизация корково-подкорковых взаимоотношений закрепляется уже в фоновых значениях и проявляется в более низкой тета- ($p < 0,05$) и относительно более высокой бета₁-активности, при уменьшении количества усвоенных ритмов фотостимуляции в этих диапазонах. В динамике десятого сеанса у этих лиц не было выявлено значимых изменений в тета- и альфа-диапазонах, но происходило значимое снижение бета₁-активности ($p < 0,05-0,01$). С другой стороны, минимальные

различия между фоновыми и динамическими значениями ЭЭГ на заключительном сеансе свидетельствуют о более выраженном снижении реактивности таламо-кортикальной системы у симпатотоников по сравнению с нормотониками. У подростков со сбалансированным вегетативным тонусом при минимальных изменениях в тета- и бета₁-диапазонах, значимо увеличивается альфа-активность в передних отделах мозга ($p < 0,05-0,01$). Видимо к окончанию курса кардиотренингов, уже сформированы как необходимые внутримозговые ассоциативные связи, так и новые нейровисцеральные связи для оптимизации вегетативной регуляции сердечной деятельности, поэтому процесс биоуправления происходит по более экономному варианту и с незначительными церебральными проявлениями. Выявленные варианты произвольных направленных сдвигов (перестроек) структуры паттерна ЭЭГ у лиц с различным уровнем напряжения сердечной деятельности свидетельствуют о различиях в центральных механизмах регуляции головного мозга подростков, разной степени взаимодействия его структур и способности функциональной реорганизации мозга как единой системы.

Таким образом, в представленной работе была выявлена северная специфика возрастного формирования биоэлектрических процессов головного мозга подростков-северян, реакций их мозга на стимуляцию, особенностей становления вегетативных функций и функционального состояния щитовидной железы. Для каждого исследуемого северного района определена доля лиц с различным исходным вегетативным тонусом, выявлены характерные региональные особенности показателей variability сердечного ритма и центральной гемодинамики, показаны темпы возрастного формирования электрогенеза различных областей головного мозга, характер устойчивости ритмозадающих структур мозга к фотостимуляции. На основании клинической обработки ЭЭГ описаны варианты выявленных нарушений её структуры. Определены особенности становления функциональной активности мозга подростков-северян в зависимости от содержания в сыворотке крови гормонов

тиреоидного звена регуляции (тиреотропин, тироксин, трийодтиронин) и от исходного типа вегетативной нервной системы. Были сформулированы предпосылки для усовершенствования контроля качества сеансов биологической обратной связи параметрами variability сердечного ритма по неуправляемым полиграфическим показателям (ЭЭГ, кожно-гальванической реакции, артериальному давлению) и на основании этих данных получены новые сведения о нейрофизиологических механизмах реализации эффектов биоуправления. Было установлено, что достижение успеха при проведении сеансов биологической обратной связи по параметрам variability сердечного ритма формируется различными вариантами изменений количественного и спектрального паттерна основного ритма биоэлектрической активности мозга подростка, которые обусловлены как индивидуальным выбором когнитивной стратегии, так и исходным вегетативным тонусом. Выявлены характерные регионально-широтные отличия изучаемых полиграфических показателей в динамике БОС-тренинга у подростков, а также различия в силе и топической локализации ЭЭГ ответов у лиц с различной успешностью выполнения процедуры биоуправления и у лиц из группы контроля. Показано, что курс из 10 сеансов адаптивного биоуправления у подростков с преобладанием симпатических влияний на активность сердечной деятельности приводит к стабилизации артериального давления и в большинстве случаев способствует оптимизации функциональной активности мозга и повышению устойчивости подкорковых структур регуляции.

ВЫВОДЫ

1. Среди подростков (14-17 лет) Заполярного района (67°40' с.ш.) в сравнении с Приполярным районом (64°30' с.ш.) отмечено значимое увеличение доли лиц с преобладанием симпатических влияний на активность сердечной деятельности (38 % против 27,7 %, $p < 0,05$), при значимом снижении доли лиц с преобладанием вагусных влияний (9,6 % против 23,5 %, $p < 0,001$). Доля лиц с уровнем артериального давления превышающим границу 90 центиля увеличивается с возрастом и достигает 63 % к 17 годам. Наиболее высокие значения систолического АД, ЧСС и индекса напряжения регуляторных систем выявлены у 15-летних подростков Заполярного района ($p < 0,05-0,01$) в сравнении со сверстниками из Приполярного района.
2. У подростков из обоих районов исследования выявлено отчётливое возрастное снижение тета- и альфа-активности ЭЭГ ($p < 0,05-0,01$). При этом у подростков Заполярного района отмечена более высокая активность подкорковых диэнцефальных мозговых структур, проявляемая в виде сохранения повышенного уровня тета-активности, особенно в лобно-центральных отделах и дезорганизованной высокоамплитудной альфа-активности (до 37 % лиц), наличия диффузных реакций усвоения ритмов фотостимуляции в тета-диапазоне (до 50 % случаев) и пароксизмальных форм активности (до 30 % лиц). Показанные изменения наиболее выражены среди заполярных подростков 14-15 лет, а также у лиц с симпатикотонией (более 50 % случаев). У подростков из Приполярного района независимо от состояния их вегетативного тонуса происходит более интенсивная возрастная оптимизация нейродинамических процессов, проявляемая в виде более сформированной амплитудно-частотной части альфа-активности ЭЭГ и её зонального градиента, снижения доминирующего влияния медленно-волновой активности и умеренно выраженной бета₁-активности.
3. Фоновые гормональные показатели тиреоидной системы являются значимыми предикторами, обуславливающими возрастное становление биоэлектрической активности мозга у подростков (формирование

амплитудно-частотных взаимоотношений – снижение тета-активности, особенно в лобных отделах, и повышение альфа- и бета₁-активности). По данным регрессионного анализа, наибольшее влияние тиреоидных гормонов выявлено у 14-15 летних подростков Приполярного района, при этом с возрастом концентрация тироксина в крови у данных лиц, возрастает и степень реактивности ритмозадающих структур во всех рассматриваемых частотных диапазонах ЭЭГ. У подростков Заполярного района подобная зависимость проявляется в меньшей степени и лишь к 16-17 годам.

4. У подростков Заполярного района напряжение в системе тиреостата, проявляемое в виде повышения (в физиологических пределах) концентрации тиреотропина и снижения уровней гормонов щитовидной железы в сыворотке крови, значимо отражается на активности ритмозадающих структур головного мозга (снижение тета- и альфа-активности ЭЭГ ($p < 0,05$), значимые связи тиреоидных гормонов с показателями тета-активности). У подростков Приполярного района формирование амплитудно-частотных взаимоотношений ЭЭГ более устойчиво к колебаниям тиреоидного статуса, в то же время у этих лиц отмечается наибольшее количество нейроэндокринных связей.
5. В динамике проведения однократного сеанса биоуправления параметрами ритма сердца выявлено значимое снижение систолического и диастолического АД ($p < 0,05-0,01$) у подростков с нормотонией из обоих северных районов, а также снижение изначально более высоких уровней систолического АД и ЧСС ($p < 0,01-0,001$) у подростков с симпатикотонией.
6. У обследованных подростков из всех групп после однократного сеанса биоуправления выявлено генерализованное усиление альфа-активности над всеми участками коры мозга ($p < 0,05-0,001$) и прирост мощности бета₁-активности преимущественно в передних и правых центрально-височных отделах мозга ($p < 0,05-0,001$), наибольшие изменения бета₁-активности выявлены у лиц с нормотонией ($p < 0,05$). У подростков Заполярного района, особенно в группе симпатотоников, происходит более интенсивное

и продолжительное по времени снижение тета-активности ЭЭГ ($p < 0,05-0,001$) с преобладанием динамики в правом полушарии ($p < 0,05$), снижение (до 30 %) частоты встречаемости пароксизмальных форм ЭЭГ активности, снижение усвоения ритмов фотостимуляции в тета-диапазоне ($p < 0,05$). У подростков с нормотонией из Приполярного района отмечено снижение усвоения ритмов фотостимуляции в бета₁-диапазоне ЭЭГ ($p < 0,01$).

7. В обоих районах исследования в ходе однократного сеанса биоуправления выделены группы лиц как с усилением мощности альфа-активности (в 63-70 % случаев), так и снижением таковой в области зрительной коры (в 30-37 % случаев). При варианте повышения альфа-активности – у подростков из Заполярного района это повышение сохраняется более продолжительное время как в затылочных, так и в лобных отделах мозга, и происходит на фоне более выраженного снижения тета-активности в этих отделах мозга ($p < 0,05-0,01$), в сравнении со сверстниками из Приполярного района.
8. Наибольшая выраженность изменений изучаемых показателей отмечена для группы лиц с успешным выполнением процедуры биоуправления (более 85 % лиц), когда наряду со снижением уровня АД ($p < 0,01$) происходит более интенсивное увеличение альфа- и снижение тета-активности ($p < 0,05-0,001$). Наиболее значимые изменения спектральных характеристик ЭЭГ выявлены у подростков проводивших сеанс БОС-тренинга в сравнении с лицами из группы контроля ($p < 0,05-0,01$).
9. При проведении курса из 10 сеансов БОС-тренинга выявлено, что у подростков с симпатикотонией как при первом, так и при десятом сеансе наблюдаются значимо более высокие фоновые и динамические значения ЭЭГ характеристик ($p < 0,05-0,01$) в сравнении с лицами с нормотонией. В обеих группах подростков отмечена более высокая реактивность ритмов ЭЭГ на проведение первого сеанса кардиотренинга, проявляемая в значимом снижении тета-активности преимущественно в правых отделах мозга, а также в диффузном повышении альфа-активности во всех отделах мозга и бета₁-активности в правых передних отделах мозга ($p < 0,05-0,001$).

10. В группе подростков с симпатикотонией (в сравнении с нормотониками) в ходе проведения сеансов происходит более активное снижение АД и ЧСС ($p < 0,05$), а при завершении курса процедур у подростков из данной группы наблюдается стабилизация фонового АД до нормальных уровней. К десятому сеансу кардиотренинга у лиц с симпатикотонией уже в фоновых значениях отмечается более низкая тета- ($p < 0,05$) и относительно более высокая бета₁-активность, при уменьшении количества усвоений ритмов фотостимуляции в этих диапазонах. У подростков с нормотонией после десятого сеанса кардиотренинга при минимальных изменениях в тета- и бета₁-диапазонах ЭЭГ, значимо увеличивается альфа-активность, преимущественно в передних отделах мозга ($p < 0,05-0,01$).

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. В рамках медико-профилактических программ по сохранению здоровья населения Арктических территорий, мониторинг параметров вегетативной регуляции ритма сердца и центральной гемодинамики у лиц подросткового возраста следует проводить с учётом исходной функциональной активности их мозга и фонового тиреоидного статуса. Рекомендовано учитывать результаты работы при разработке региональных возрастных физиологических нормативов клинической ЭЭГ для подростков, проживающих в различных климатогеографических условиях Севера.
2. При лечении и профилактике нейровегетативных расстройств у учащихся образовательных учреждений, в ряду прочих методов психологической и медицинской коррекции, рекомендовано проводить многократные сеансы биоуправления параметрами ритма сердца. С целью усовершенствования контроля качества проводимых сеансов кардиотренинга рекомендовано использование неуправляемых полиграфических показателей (ЭЭГ, артериальное давление).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авцын А.П. Патология человека на Севере / А.П. Авцын, А.А. Жаворонков, А.Г. Марачев, А.П. Милованов. – М.: Медицина, 1985. – 416 с.
2. Агаджанян Н.А. Сравнительные особенности variability сердечного ритма у студентов, проживающих в различных природно-климатических регионах / Н.А. Агаджанян, Т.Е. Батоцыренова, А.Е. Северин, Ю.Н. Семенов // Физиология человека. – 2007. – Т. 33, № 6. – С. 66-70.
3. Акарачкова Е.С. Синдром вегетативной дистонии у современных детей и подростков / Е.С. Акарачкова, С.В. Вершинина // Педиатрия. – 2011. – Т. 90, № 6. – С. 129-136.
4. Александров А.А. Повышенное артериальное давление в детском и подростковом возрасте (ювенильная артериальная гипертензия) / А.А. Александров // Русский медицинский журнал. – 1997. – Т. 5, № 9. – С. 559-565.
5. Александров А.А. Диагностика, лечение и профилактика артериальной гипертензии у детей и подростков / А.А. Александров, О.А. Кисляк, И.В. Леонтьева, В.Б. Розанов // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2009. – Т. 8, № 4. Прил. 1. – С. 253-288.
6. Александрова Н.П. Дыхательные мышцы человека: три уровня управления / Н.П. Александрова, И.С. Бреслав, Е.В. Подкорытова // Физиология человека. – 2009. – Т. 35, № 2. – С. 103-111.
7. Алексеева М.В. Использование тренинга произвольного увеличения мощности ЭЭГ в индивидуальном высокочастотном альфа-диапазоне для улучшения когнитивной деятельности / М.В. Алексеева, Н.В. Балиоз, К.Б. Муравлева // Физиология человека. – 2012. – Т. 38. № 1. – С. 51-55.
8. Андреева В.М. Дифференцированный эколого-физиологический подход к диагностике и коррекции дизадаптаций, отягощенных табакокурением при информационной нагрузке в ВУЗе: автореф. дис. ... канд. биол. наук / В.М. Андреева. – Ульяновск, 2006. – 18 с.

9. Анохин П.К. Принципы системной организации функций / П.К. Анохин. – М.: Наука, 1973. – С. 5-61.
10. Анохин П.К. Философские аспекты теории функциональной системы. Избранные труды / П.К. Анохин. – М.: Наука, 1978. – 400 с.
11. Антропова М.В. Психофизиологические и вегетативные показатели у медлительных и подвижных подростков (лонгитудинальные исследования) / М.В. Антропова // Физиология человека. – 1995. – № 5. – С. 68-74.
12. Арешидзе Н.В. Формирование биоэлектрической активности головного мозга, вегетативного гомеостаза, морфотипа и психологических свойств личности в различные периоды онтогенеза человека: дис. ... канд. биол. наук / Н.В. Арешидзе. – Ставрополь, 2004. – 147 с.
13. Аршавский В.В. Характер пространственной синхронизации ЭЭГ и изменение уровня тревоги при воздействии запахов у лиц с различным типом полушарного реагирования / В.В. Аршавский, Н.И. Гольдштейн // Физиология человека. – 1994. – № 1. – С. 27-36.
14. Аршавский И.А. Основы возрастной периодизации. Возрастная физиология / И.А. Аршавский. – Л., 1975. – С. 5-67.
15. Астахова А.И. Применение респираторного БОС-тренинга при обучении дыхательным гимнастикам / А.И. Астахова // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2008. – № 6. – С. 47-49.
16. Бабий И.Л. Особенности вегетативного гомеостаза у детей с частыми респираторными заболеваниями / И.Л. Бабий, О.В. Морозова // Вісник Української медицини. – 2002. – № 4. – С. 22-25.
17. Баевский Р.М. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации) / Р.М. Баевский, Г.Г. Иванов, А.П. Гаврилушкин // Вестник аритмологии. – 2002. – № 24. – С. 65-86.
18. Базанова О.М. Современная интерпретация альфа-активности ЭЭГ / О.М. Базанова // Успехи физиологических наук. – 2009. – № 3. – С. 32-53.

19. Базанова О.М. Влияние тренинга произвольного увеличения альфа-мощности ЭЭГ на вариабельность сердечного ритма / О.М. Базанова, Н.В. Балиоз, К.Б. Муравлева, М.В. Скорая // Физиология человека. – 2013. – Т. 39, № 1. – С. 103-116.
20. Балаболкин М.Н. Эндокринология / М.Н. Балаболкин. – М.: Универсум паблицинг, 1998. – 582 с.
21. Баранова Т.И. Системно-динамический подход к анализу адаптивных реакций человека / Т.И. Баранова // Экология человека. Прил. 2004. – Т. 1. – С. 31-34.
22. Барташевич В.В. Метод биологической обратной связи в лечении психовегетативных нарушений больных шейным миофасциальным болевым синдромом / В.В. Барташевич, И.И. Басто, А.А. Стариковская, Д.В. Камзеев // Нижегородский медицинский журнал. – 2005. – № 2. – С. 150-154.
23. Бартош Т.П. Особенности психофизиологического статуса у подростков различных районов Магаданской области / Т.П. Бартош, А.Л. Максимов // Экология человека. – 2007. – № 6. – С. 19-24.
24. Безобразова В.Н. Влияние неблагоприятных экологических условий на развитие периферического кровообращения / В.Н. Безобразова, С.Б. Догаткина // Экология человека. Прил. 2004. – Т. 1. – С. 43-44.
25. Безруких М.М. Структурно-функциональная организация развивающегося мозга и формирование познавательной деятельности в онтогенезе ребенка / М.М. Безруких, Р.И. Мачинская, Д.А. Фарбер // Физиология человека. – 2009. – № 6. – С. 10-24.
26. Беляева Л.М. Функциональные заболевания сердечно-сосудистой системы у детей / Л.М. Беляева, Е.К. Хрусталёва. – Минск: Алмафея, 2000. – 208 с.
27. Берлогина С.Ю. Функциональное состояние сердечно-сосудистой системы у пациентов, перенесших острое нарушение мозгового кровообращения / С.Ю. Берлогина, Л.И. Герасимова // Бюл. СГМУ. – 2009. – № 2. – С. 18-19.

28. Бехтерева Н.П. О гибких и жестких звеньях мозговых систем обеспечения психической деятельности / Н.П. Бехтерева // *Нейропсихология*. Под ред. Е.Д. Хомской. – М.: Изд. Моск. унив., 1984. – С. 28-31.
29. Бичкаева Ф.А. Резервные возможности эндокринной регуляции метаболических процессов у человека на Севере: автореф. дис. ... докт. биол. наук / Ф.А. Бичкаева. – Архангельск, 2006. – 38 с.
30. Благосклонова Н.К. Клиническая детская электроэнцефалография / Н.К. Благосклонова, Л.А. Новикова. – М.: Медицина, 1994. – 204 с.
31. Богданов О.В. Эффективность различных форм сигналов обратной связи в ходе лечебных сеансов функционального биоуправления / О.В. Богданов, Д.Ю. Пинчук, Е.Л. Михайленок // *Физиология человека*. – 1990. – Т. 16, № 1. – С. 13-18.
32. Богданова Т.А. Коррекция предсердной экстрасистолии у больных синдромом вегетососудистой дистонии с помощью биоуправления с обратной связью / Т.А. Богданова, Н.М. Яковлев // *Биологическая обратная связь*. – 2000. – № 1. – С. 26-30.
33. Божокин С.В. Анализ вариабельности ритма сердца в условиях стрессовых нагрузок / С.В. Божокин, И.М. Щенкова // *Физиология человека*. – 2008. – Т. 34, № 4. – С. 80-87.
34. Бойко Е.Р. Физиолого-биохимические основы жизнедеятельности человека на Севере / Е.Р. Бойко. – Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – 190 с.
35. Бойко Е.Р. Основные аспекты метаболической адаптации человека на Севере / Е.Р. Бойко, А.Л. Максимов, Т.В. Годовых, Ф.А. Бичкаева. – Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2007. – С. 173-188.
36. Бойко Е.Р. Система гипофиз-щитовидная железа у человека в условиях хронического воздействия холода / Е.Р. Бойко, А.М. Потолицына, А.М. Канева // *Доклады Академии наук*. – 2007. – Т. 416, № 1. – С. 130-132.
37. Бразовская Н.Г. Адаптивное биоуправление на основе биологической обратной связи по динамике параметров сердечного ритма человека: автореф. дис. ... канд. мед. наук / Н.Г. Бразовская. – Томск, 2002. – 23 с.

38. Бреже М. Электрическая активность нервной системы / М. Бреже. – М.: Мир, 1978. – 264 с.
39. Будук-оол Л.К. Сравнительная оценка профиля функциональной асимметрии мозга и свойств нервной системы у студентов тувинской и русской национальности / Л.К. Будук-оол, Р.И. Айзман // Бюллетень СО РАМН. – 2009. – Т. 139, № 5. – С. 61-67.
40. Булгакова О.С. Влияние коррекционных сеансов биоуправления с обратной связью по кардиоритму на течение невропатии у детей младшего и среднего школьного возраста / О.С. Булгакова, Н.Ф. Фомина // Психология образования в поликультурном пространстве. – 2008. – Т. 2, № 3-4. – С. 56-63.
41. Бурых Э.А. Особенности ЭЭГ человека при когнитивно-мнестической деятельности на фоне гипоксического воздействия / Э.А. Бурых, Е.Г. Сергеева // Физиология человека. – 2007. – Т. 33, № 2. – С. 48-52.
42. Бурых Э.А. Электрическая активность мозга и кислородное обеспечение когнитивно-мнестической деятельности человека при различных условиях гипоксии / Э.А. Бурых, Е.Г. Сергеева // Физиология человека. – 2008. – Т. 34, № 6. – С. 51-62.
43. Бурых Э.А. Компенсаторные и адаптивные перестройки в системе дыхания у человека при остром гипоксическом воздействии / Э.А. Бурых // Физиология человека. – 2009. – Т. 35, № 3. – С. 82-93.
44. Валеева А.М. Особенности изменения длительности сердечного цикла у ваготоников в ходе кардиобиоуправления / А.М. Валеева, О.В. Сорокин // Медицина и образование в Сибири. – 2013. – № 4. – С. 5-11.
45. Валуева М.Н. Произвольная регуляция вегетативных функций организма / М.Н. Валуева. – М.: Наука, 1967. – 167 с.
46. Варламова Н.Г. Изменения функционального состояния сердечно-сосудистой системы у жителей Севера / Научно-аналитические материалы по районированию Севера России // Н.Г. Варламова. – Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2004. – С. 42-43.

47. Василевский Н.Н. Метод альтернативного биоуправления с обратными связями и критерии эффективности тренинга / Н.Н. Василевский, Н.А. Мигаловская // Биоуправление-2: теория и практика. – Новосибирск, 1993. – С. 65-77.
48. Василенко С.Г. Функциональные возможности организма подростков в зависимости от индекса массы тела / С.Г. Василенко, Г.Ф. Беренштейн // Гигиена и санитария. – 2003. – № 3. – С. 53-55.
49. Вегетативные расстройства: Клиника, диагностика, лечение / Под ред. А.М. Вейна. – М.: ООО “Медицинское информационное агентство”, 2003. – 752 с.
50. Вейн А.М. Вегетативно-сосудистая дистония / А.М. Вейн, А.Д. Соловьева, О.А. Колосова. – М.: Медицина, 1981. – 306 с.
51. Виноходова А.Г. Произвольная саморегуляция на основе биологической обратной связи как метод оценки и коррекции психологической устойчивости к стрессу в экстремальных условиях / А.Г. Виноходова, А.Ф. Быстрицкая, Т.М. Смирнова // Материалы XX съезда Физиологического общества им. И.П. Павлова. – М., 2007. – С. 24.
52. Владимирова Г.А. Электроэнцефалография / Г.А. Владимирова // Функциональная диагностика в детском возрасте. – София: Медицина и физкультура, 1979. – С. 55-91.
53. Владимирский Б.М. Пути создания интерфейса “мозг-компьютер” для людей / Б.М. Владимирский, В.Н. Киров, А.А. Скоморохов // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2008. – № 6. – С. 210-212.
54. Волков В.С. Этиологические и патогенетические факторы первичной артериальной гипертензии / В.С. Волков, А.П. Тофило // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2010. – Т. 9, № 7. – С. 105-111.
55. Волокитина Т.В. Вегетативный гомеостаз и ортостатическая реактивность детского организма в условиях Европейского Севера России: автореф. дис. ... докт. биол. наук / Т.В. Волокитина. – Архангельск, 2002. – 39 с.

56. Воронцов И.М. Пропедевтика детских болезней / И.М. Воронцов, А.В. Мазурин. – СПб.: Фолиант, 2009. – 1001 с.
57. Галашева З.В. Типы организации биоэлектрической активности головного мозга у подростков 15-17 лет, проживающих в Заполярье / З.В. Галашева, Л.В. Поскотинова // Труды 10-го Международного междисциплинарного конгресса “Нейронаука для медицины и психологии”. – Судак, М.: МАКС Пресс, 2014. – С. 113.
58. Гальперина Е.И. Становление нейрофизиологических механизмов стереогностической функции (ЭЭГ-исследование) / Е.И. Гальперина, М.Н. Цицерошин, Л.Г. Зайцева // Физиология человека. – 2010. – № 1. – С. 18-31.
59. Гапон Л.И. Суточный профиль и хроноструктура ритма артериального давления у больных артериальной гипертонией: десинхроноз как фактор формирования болезни в условиях вахты на Крайнем Севере / Л.И. Гапон, Н.П. Шуркевич, А.С. Ветошкин, Д.Г. Губин // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2011. – Т. 10, № 1. – С. 38-46.
60. Гилёва О.Б. Влияние обучения по программам разной степени сложности на особенности возрастной динамики времени реакции школьников 7-16 лет / О.Б. Гилева // Валеология. – 2010. – № 1. – С. 8-15.
61. Гилёва О.Б. Способность к саморегуляции в игровом биоуправлении и успешность учащихся 11-13 лет / О.Б. Гилева // Бюллетень сибирской медицины. – 2013. – Т. 12, № 2. – С. 141-146.
62. Глазкова В.А. Пространственная организация корковой электрической активности при произвольной регуляции частоты сердечных сокращений / В.А. Глазкова, Н.Е. Свидерская, Т.А. Королькова // Физиология человека. – 1996. – Т. 22, № 5. – С. 104-108.
63. Гнездицкий В.В. Анализ реакций ЭЭГ на гипервентиляцию (тренды и дипольная локализация): проблемы интерпретации / В.В. Гнездицкий, Е.Е. Кошурникова, О.С. Корепина, А.А. Скоморохов // Функциональная диагностика. – 2010. – № 1. – С. 13-25.

64. Гнусаев С.Ф. Факторы риска артериальной гипертонии и распространённость повышенного артериального давления в детской популяции г. Твери / С.Ф. Гнусаев, Д.А. Иванов, Б.Н. Яковлев // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2005. – Т. 4, № 4. – С. 82.
65. Голдберг Э. Управляющий мозг: Лобные доли, лидерство и цивилизация. Пер. с англ. Д. Бугакова / Э. Голдберг. – М.: Смысл, 2003. – 335 с.
66. Голуб Я.В. Медико-психологические аспекты применения светозвуковой стимуляции и биологически обратной связи / Я.В. Голуб, В.М. Жиров. – СПб., 2007. – 97 с.
67. Горбачевская Н.Л. Динамика развития ответов ЭЭГ у мальчиков и девочек школьного возраста / Н.Л. Горбачевская, Л.Ф. Кожушко // Журнал невропатологии и психиатрии. – 1990. – № 9. – С. 75-79.
68. Горев А.С. Эффективность БОС-тренинга регуляции функционального состояния в зависимости от индивидуальных психофизиологических характеристик / А.С. Горев, Е.Н. Панова // Физиология человека. – 2009. – № 5. – С. 25-32.
69. Горев А.С. Динамика пространственной синхронизации ритмических компонентов ЭЭГ при релаксации и их связь с регуляцией сердечного ритма / А.С. Горев, А.В. Ковалева, Е.Н. Панова, А.К. Горбачева // Физиология человека. – 2014. – Т. 40, № 5. – С. 38-47.
70. Грибанов А.В. Общая характеристика климатогеографических условий Русского Севера и адаптивные реакции человека в холодной климатической зоне / А.В. Грибанов, Р.И. Данилова // Север. Дети. Школа: Сборник научных трудов – Архангельск, 1994. – С. 4-27.
71. Грибанов А.В. Здоровье и функциональное развитие школьников на Европейском Севере России / А.В. Грибанов, Т.В. Волокитина // Вестник национального комитета “Интеллектуальные ресурсы России”. – 2006. – № 4. – С. 71-75.
72. Грибанов А.В. Изменения параметров биоэлектрической активности головного мозга у школьников-северян 16-17 лет в различных условиях

- естественной освещённости / А.В. Грибанов, Ю.С. Джос, Н.Н. Рысина // Экология человека. – 2013. – № 6. – С. 42-48.
73. Григорян В.Г. Особенности вегетативной регуляции сердечного ритма у подростков в условиях моделирования конфликтиндуцирующей среды / В.Г. Григорян, Л.С. Степанян, А.Ю. Степанян // Гигиена и санитария. – 2010. – № 3. – С. 66-68.
74. Губкина З.Д. Физическое, половое развитие и функции эндокринной системы у жительниц заполярных районов Архангельской области: автореф. дис. ... докт. мед. наук / З.Д. Губкина. – Архангельск, 2007. – 48 с.
75. Гувакова И.В. Нарушения вегетативного статуса у спортсменов ациклических видов спорта и их коррекция средствами технологии игрового биоуправления и транскраниальной стимуляции / И.В. Гувакова, Л.А. Кузнецова // Бюллетень сибирской медицины. – 2010. – № 2. – С. 68-72.
76. Гудков А.Б. Внешнее дыхание человека на Европейском Севере / А.Б. Гудков, О.Н. Попова. – Архангельск: Изд-во СГМУ, 2009. – 293 с.
77. Гудков А.Б. Морфофункциональное состояние сердца и магистральных сосудов у детей школьного возраста / А.Б. Гудков, О.В. Шишелова. – Архангельск: Изд-во СГМУ, 2011. – 152 с.
78. Гудков А.Б. Новосёлы на Европейском Севере. Физиолого-гигиенические аспекты / А.Б. Гудков, О.Н. Попова, А.А. Небученных. – Архангельск: Изд-во СГМУ, 2012. – 285 с.
79. Гудков А.Б. Эколого-физиологическая характеристика климатических факторов Севера / А.Б. Гудков, О.Н. Попова, Н.Б. Лукманова // Экология человека. – 2012. – № 1. – С. 12-17.
80. Гук Р.Ю. Нейрореабилитация (нейробиоуправление) в виртуальной сети / Р.Ю. Гук, Е.А. Тарасов, М.М. Скляр // Бюллетень сибирской медицины. – 2010. – № 2. – С. 17-23.
81. Гуничева Е.А. Показатели велоэргометрической пробы при различных типах вегетативной нервной системы у подростков с артериальной

- гипертензией / Е.А. Гуничева, И.В. Логачева, А.М. Ожегов // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2008. – Т. 7, № 2. – С. 108.
82. Гуров Ю.В. Иерархия ритмов сердца и новые методы хронодиагностики / Ю.В. Гуров, С.Л. Загускин // Владикавказский медико-биологический вестник. – 2010. – Т. 10, № 17. – С. 13-17.
83. Гусева Н.Л. Адаптивное биоуправление в психофизиологической подготовке операторов / Н.Л. Гусева // Бюллетень СО РАМН. – 2004. – Т. 113, № 3. – С. 18-24.
84. Даниленко Е.Н. Игровое биоуправление в адаптации школьников / Е.Н. Даниленко О.А. Джафарова, О.Л. Гребнева // Бюллетень сибирской медицины. – 2010. – № 2. – С. 108-112.
85. Данишевский Г.М. Патология человека и профилактика заболеваний на Севере / Г.М. Данишевский. – М.: Медицина, 1968. – 412 с.
86. Данько С.Г. Динамика мощности ЭЭГ при неструктурированном видеовоздействии в условиях покоя и направленного внимания / С.Г. Данько, Ю.А. Бойцова, Л.М. Качалова // Физиология человека. – 2011. – № 1. – С. 136-139.
87. Дедов И.И. Стратегия ликвидации йоддефицитных заболеваний в Российской Федерации / И.И. Дедов, Н.Ю. Свириденко // Проблемы эндокринологии. – 2001. – Т. 47, № 6. – С. 3-12.
88. Джафарова О.А. Игровое биоуправление / О.А. Джафарова // Биоуправление: теория и практика. – Новосибирск, 2010. – С. 81-98.
89. Джафарова О.А. Скрининг групп риска СДВГ на основе технологии игрового биоуправления / О.А. Джафарова, О.Л. Гребнева, И.А. Столлер // Бюллетень сибирской медицины. – 2013. – Т. 12, № 2. – С. 154-160.
90. Джос Ю.С. Биоэлектрическая активность головного мозга у детей-северян 9-10 лет при различной длительности светового дня / Ю.С. Джос, А.В. Грибанов, Т.В. Багрецова // Экология человека. – 2014. – № 7. – С. 42-48.
91. Дзгоева З.Г. Вегетативный гомеостаз и активность тиреоидных гормонов у пациентов с первичной артериальной гипотензией / З.Г. Дзгоева, В.Б. Брин,

- К.М. Дзилихова // Кубанский научный медицинский вестник. – 2008. – Т. 104, № 5. – С. 55-59.
92. Добродеева Л.К. Иммунологическая реактивность, состояние здоровья населения Архангельской области / Л.К. Добродеева, Л.П. Жилина. – Екатеринбург: УрО РАН, 2004. – 229 с.
93. Долецкий А.Н. Использование нейрофизиологических критериев для прогноза успешности управления тонусом мозговых сосудов с помощью биологической обратной связи / А.Н. Долецкий // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. – 2005. – № 2. – С. 8-11.
94. Евдокимов В.Г. Модулирующее влияние факторов Севера на кардиореспираторную систему человека в онтогенезе / В.Г. Евдокимов, О.В. Рогачевская, Н.Г. Варламова. – Екатеринбург: УрО РАН, 2007. – 258 с.
95. Егорова И.С. Электроэнцефалография / И.С. Егорова. – М.: Медицина, 1973. – 296 с.
96. Еремеева О.В. Кумулятивный эффект нейробиоуправления по показателям индексов фоновой электроэнцефалограммы спортсменов с доминированием метаболического модулятора сердечного ритма / О.В. Еремеева, В.С. Кормилец, С.И. Еремеев // Бюллетень сибирской медицины. – 2011. – № 1. – С. 25-32.
97. Ефимова Е.А. Применение БОС-тренинга в лечении детей с синдромом вегетативной дисфункции: автореф. дис. ... канд. мед. наук / Е.А. Ефимова. – Пятигорск, 2007. – 25 с.
98. Жадин М.Н. Формирование ритмических процессов в биоэлектрической активности коры головного мозга / М.Н. Жадин // Биофизика. – 1984. – Т. 39, № 1. – С. 129-147.
99. Жемайтите Д.И. Взаимодействие парасимпатического и симпатического отделов вегетативной нервной системы в регуляции сердечного ритма / Д.И. Жемайтите, Г.А. Варонецкас, Е.Н. Соколов // Физиология человека. – 1985. – Т. 11, № 3. – С. 448-455.

100. Жирмунская Е.А. В поисках объяснения феномена ЭЭГ / Е.А. Жирмунская. – М., 1996. – 120 с.
101. Жирмунская Е.А. Электроэнцефалография в клинической практике / Е.А. Жирмунская, В.С. Лосев. – М., 1997. – 118 с.
102. Заваденко Н.Н. Клинические проявления и лечение синдрома вегетативной дисфункции у детей и подростков / Н.Н. Заваденко, Ю.Е. Нестеровский // Педиатрия. Журнал им. Г.Н. Сперанского. – 2012. – Т. 91, № 2. – С. 92-101.
103. Захарова В.В. Реорганизация биоэлектрических ритмов у пациентов с гипертонической болезнью в сеансах с мультипараметрической биообратной связью / В.В. Захарова, В.Л. Неклюдова, О.М. Базанова // Бюллетень СО РАМН. – 2005. – Т. 17, № 3. – С. 65-70.
104. Зенков Л.Р. Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии) / Л.Р. Зенков. – М.: МЕДпресс-информ, 2001. – 368 с.
105. Зязин С.В. Выявление групп риска по артериальной гипертензии среди молодых лиц с вегетососудистой дистонией / С.В. Зязин // Российский кардиологический журнал. – 2005. – Т. 53, № 3. – С. 76-78.
106. Казначеев В.П. Современные аспекты адаптации / В.П. Казначеев. – Новосибирск: Наука, 1980. – 189 с.
107. Кайгородцева О.В. Динамика электроэнцефалограммы после курса нейробиоуправления / О.В. Кайгородцева, В.Г. Тристан, И.Г. Таламова // Бюллетень сибирской медицины. – 2010. – № 2. – С. 88-91.
108. Каменецакая Б.И. Роль структур головного мозга в организации вегетативных функций / Б.И. Каменецакая, Н.Б. Хаспекова, Н.Ю. Березова // Журнал невропатологии и психиатрии. – 1998. – № 12. – С. 35-38.
109. Каменченко Е.А. Динамика показателей реоэнцефалограммы при биоуправлении параметрами ритма сердца у подростков Заполярья / Е.А. Каменченко, Л.В. Поскотинова // Экология человека. – 2013. – № 12. – С. 26-32.
110. Каменченко Е.А. Показатели реоэнцефалограммы у подростков при биоуправлении параметрами ритма сердца в режиме мониторинга / Е.А.

- Каменченко, Л.В. Поскотинова, Е.В. Кривоногова // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Медико-биологические науки. – 2014. – № 2. – С. 37-48.
111. Кандрор И.С. Очерки по физиологии и гигиене человека на Крайнем Севере / И.С. Кандрор. – М.: Медицина, 1968. – 279 с.
112. Каплан А.Я. ЭЭГ как управляющий сигнал: на пути к биотехнической нейрокоммуникации // Биоуправление: теория и практика. – Новосибирск, 2010. – С. 7-18.
113. Караваева Е.Н. Особенности биоэлектрической активности головного мозга у жителей Хакасии с разными типами темперамента / Е.Н. Караваева, Ю.И. Савченков // Бюллетень сибирской медицины. – 2009. – № 2. – С. 23-27.
114. Касаткина Э.П. Йоддефицитные заболевания у детей и подростков (пленарная лекция) / Э.П. Касаткина // Проблемы эндокринологии. – 1997. – Т. 43, № 3. – С. 3-7.
115. Касаткина Э.П. Анализ современных рекомендаций и критериев Всемирной организации здравоохранения по оценке йоддефицитных состояний / Э.П. Касаткина, Д.Е. Шилин, Г.В. Ибрагимова // Проблемы эндокринологии. – 1997. – Т. 43, № 4. – С. 3-6.
116. Кахраманова С.М. Вариабельность сердечного ритма при гипертонической болезни / С.М. Кахраманова, А.Б. Бахшалиев, Н.С. Насруллаев // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2010. – Т. 9, № 8. – С. 96-101.
117. Кирой В.Н. Электроэнцефалографические корреляты интеллектуальных способностей подростков / В.Н. Кирой, В.Б. Войнов, В.В. Васильева // Журнал высшей нервной деятельности. – 1995. – Т. 45, № 4. – С. 669-675.
118. Кисляк О.А. Артериальная гипертензия у подростков и лиц молодого возраст: вопросы диагностики и лечения / О.А. Кисляк, Е.В. Петрова, Д.С. Саргаева // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2009. – Т. 8, № 2. – С. 82-88.

119. Кистенева Р.А. Коррекция психоэмоционального напряжения у детей школьного возраста с особыми образовательными потребностями с использованием адаптивного биоуправления / Р.А. Кистенева, Ю.В. Кистенев, Я.С. Пеккер // Бюллетень сибирской медицины. – 2010. – № 2. – С. 113-118.
120. Клименко Л.Л. Нейроэндокринные влияния на энергетический обмен и латерализацию головного мозга при патологии щитовидной железы / Л.Л. Клименко, А.И. Деев, О.В. Протасова // Асимметрия. – 2011. – Т. 5, № 3. – С. 83-85.
121. Козлов А.И. Медицинская антропология коренного населения Севера России / А.И. Козлов, Т.Г. Вершубская. – М., 1999. – 288 с.
122. Койчубеков Б.К. Оценка эффективности биоуправления по параметрам сердечного ритма / Б.К. Койчубеков, М.А. Сорокина, А.М. Шайхин, И.В. Коршуков // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 3. – С. 21-24.
123. Копосова Т.С. Динамика показателей сердечного ритма и адаптивные возможности организма студентов в разные сезоны года / Т.С. Копосова, С.Н. Чикова, А.Е. Чиков // Вестн. Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Естественные науки. – 2009. – № 1. – С. 11-19.
124. Коробков М.Н. Распространённость ранних нарушений мозгового кровообращения у жителей республики Карелия / М.Н. Коробков, И.П. Дуданов, И.В. Хяникяйнен // Медицинский академический журнал. – 2004. – № 2. – С. 96-104.
125. Королева Н.В. Характер биоэлектрической активности головного мозга у детей с различным уровнем артериального давления / Н.В. Королева, О.В. Бугун, С.И. Колесников // Бюллетень СО РАМН. – 2005. – Т. 43, № 5. – С. 166-169.
126. Корчин В.И. Некоторые показатели состояния сердечно-сосудистой системы у детей коренной народности Севера (ханты) / В.И. Корчин, О.Л. Нифонтова // Экология человека. – 2007. – № 7. – С. 34-38.

127. Котельников С.А. Индекс эрготропной активности – интегральный показатель состояния надсегментарных центров вегетативной регуляции / С.А. Котельников, А.Д. Ноздрачев, А.П. Коваленко, М.М. Одинак // Физиология человека. – 2003. – Т. 29, № 3. – С. 66.
128. Краева Н.В. Интегральная составляющая variability сердечного ритма при артериальной гипертензии у детей подросткового возраста / Н.В. Краева, В.И. Макарова, А.И. Макаров // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2. – С. 333.
129. Красильникова В.А. Морфофункциональное развитие школьников тувинской и русской национальностей / В.А. Красильникова, Л.К. Будук-оол, Р.И. Айзман // Физиология человека. – 2008. – Т. 34, № 1. – С. 74-81.
130. Красильникова М.О. Психофизиологические критерии эффективности управления variability сердечного ритма с биологической обратной связью: дис. ... канд. мед. наук / М.О. Красильникова. – Волгоград, 2005. – 129 с.
131. Кривоногова Е.В. Сравнительный анализ структуры ЭЭГ и параметров variability сердечного ритма при БОС-тренинге в зависимости от уровня серотонина в сыворотке крови девушек 15-17 лет / Е.В. Кривоногова, Л.В. Поскотинова, Д.Б. Дёмин // Бюллетень сибирской медицины. – 2011. – Т. 10, № 4. – С. 21-26.
132. Кривоногова Е.В. Нейрофизиологическая характеристика когнитивных функций при успешном БОС-тренинге параметрами variability ритма сердца / Е.В. Кривоногова // Вестник Российского государственного медицинского университета. – 2012. – № 1. – С. 267.
133. Кривоногова Е.В. Особенности структуры темперамента у молодых людей приполярного и заполярного районов Европейского Севера / Е.В. Кривоногова // Вестник Уральской медицинской академической науки. – 2014. – № 3. – С. 78-79.
134. Кривоногова Е.В. Сравнительный анализ параметров произвольного внимания у молодых лиц, проживающих в субарктическом и арктическом

- регионах / Е.В. Кривоногова // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2014. – № 4. – С. 41-42.
135. Кривошеков С.Г. Биоритмологические маркеры дизадаптации при вахтовом труде на Севере / С.Г. Кривошеков // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. – 2012. – Т. 98, № 1. – С. 57-71.
136. Кропотов Ю.Д. Перспективы развития биообратной связи (БОС) при коррекции психических расстройств (на примере синдрома нарушения внимания с гиперактивностью) / Ю.Д. Кропотов // Биоуправление: теория и практика. – Новосибирск, 2010. – С. 44-55.
137. Ксенофонтов А.М. Использование аппаратных методов при диагностике психологического состояния ветеранов боевых действий / А.М. Ксенофонтов, И.И. Беликов // Бюллетень СГМУ. – 2007. – № 1. – С. 80-88.
138. Кубасов Р.В. Становление системы гипофиз - щитовидная железа - гонады в пубертате у мальчиков Архангельской области / Р.В. Кубасов, Д.Б. Дёмин, Е.В. Типисова, А.В. Ткачев // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. – 2005. – Т. 91, № 4. – С. 400-407.
139. Кубасов Р.В. Йодная обеспеченность населения в Архангельской области / Р.В. Кубасов, Е.Д. Кубасова // Гигиена и санитария. – 2008. – № 3. – С. 14-16.
140. Кубасова Е.Д. Физиологическая характеристика биоэлементного статуса и его влияние на состояние щитовидной железы детей Архангельской области: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Е.Д. Кубасова. – Архангельск, 2007. – 18 с.
141. Кудря О.Н. Особенности срочной адаптации сердечно-сосудистой системы спортсменов с различным исходным вегетативным тонусом при ортостатическом тестировании / О.Н. Кудря // Вестник Томского государственного педагогического университета. – 2011. – Т. 107, № 5. – С. 55-61.

142. Кузнецова Д.А. Особенности заболеваемости подростков, проживающих в разных географических широтах / Д.А. Кузнецова, Е.Н. Сизова, О.В. Тулякова // Вестник Уральской медицинской академической науки. – 2013. – № 1. – С. 9-11.
143. Кузнецова О.В. Спектральный анализ variability ритмов сердца, артериального давления и дыхания у детей 8-11 лет в покое / О.В. Кузнецова, В.Д. Сонькин // Физиология человека. – 2005. – Т. 31, № 1. – С. 33-39.
144. Курданова М.Х. Некоторые особенности variability ритма сердца и параметров биоэлектрической активности головного мозга у больных артериальной гипертонией / М.Х. Курданова, М.А. Уметов, И.А. Бесланеев, Л.М. Батырбекова, Х.А. Курданов // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2014. – Т. 13, № 6. – С. 12-17.
145. Кутерман Э.М. Типологические особенности тонических составляющих ритма сердца / Э.М. Кутерман, Н.Б. Хаспекова // Физиология человека. – 1995. – Т. 21, № 6. – С. 146-152.
146. Кушкова Н.Е. Показатели функционирования кардиореспираторной системы у студентов медицинского ВУЗа / Н.Е. Кушкова, А.П. Спицин // Экология человека. – 2007. – № 10. – С. 33-36.
147. Лаврикова В.И. ЭМГ биологическая обратная связь при лечении сколиоза у детей в режиме статического напряжения / В.И. Лаврикова, М.И. Кожевникова, В.С. Синяков // Биоуправление-4: Теория и практика. – Новосибирск: ЦЭРИС, 2002. – С. 178-185.
148. Лакосина Н.Д. Вегетососудистая дистония у детей школьного возраста / Н.Д. Лакосина, Г.К. Ушаков. – М.: Медицина, 1995. – 321 с.
149. Лапшина Т.Н. Психофизиологическая диагностика эмоций человека по показателям ЭЭГ: дис. ... канд. психол. наук / Т.Н. Лапшина. – Москва, 2007 – 133 с.
150. Латаш Л.П. Гипоталамус, приспособительная активность и электроэнцефалограмма / Л.П. Латаш. – М.: Наука, 1968. – 295 с.

151. Леутин В.Н. Функциональная асимметрия мозга: мифы и действительность / В.Н. Леутин. – СПб.: Речь, 2005. – 368 с.
152. Ливанов М.Н. Пространственно-временная организация потенциалов и системная деятельность головного мозга / М.Н. Ливанов. – М.: Наука, 1989. – 400 с.
153. Литвинова Н.А. Адаптация студентов младших курсов в зависимости от уровня функциональной подвижности нервных процессов и функциональной асимметрии мозга / Н.А. Литвинова, М.Г. Березина, А.М. Прохорова // Валеология. – 1999. – № 3. – С. 53-57.
154. Лопатин А.А. Опыт использования альфа-тета тренинга для некоторых категорий кризисных пациентов / А.А. Лопатин // Биоуправление-3: Теория и практика. – Новосибирск, 1998. – С. 188-193.
155. Лукашевич И.П. Роль структур правого и левого полушарий головного мозга в формировании речи и памяти у детей / И.П. Лукашевич, Р.И. Мачинская, В. Шкловский // Физиология человека. – 2002. – Т. 28, № 6. – С. 52-56.
156. Лупандин В.И. Основы сенсорной физиологии / В.И. Лупандин, О.Е. Сурнина. – Екатеринбург: Изд-во УрГУ, 1994. – 238 с.
157. Луценко Е.Л. Эффективность психофизиологических тренингов с биологической обратной связью при разных особенностях личности / Е.Л. Луценко // Вісник Харк. нац. ун-ту імені В.Н. Каразіна. Серія: Психологія. – 2010. – № 9. – С. 13-25.
158. Лямина Н.П. Высокое нормальное артериальное давление у лиц молодого возраста – болезнь или фактор риска / Н.П. Лямина, П.В. Долотовская // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2005. – Т. 4, № 6-2. – С. 16-20.
159. Мажирина К.Г. Типологизация профилей индивидуальной динамики саморегуляции при помощи технологии компьютерного игрового биоуправления / К.Г. Мажирина, О.А. Джафарова, В.Р. Фрезе // Бюллетень сибирской медицины. – 2010. – № 2. – С. 119-124.

160. Макарова В.И. Синдром артериальной гипертензии в подростковом возрасте и качество жизни / В.И. Макарова, О.И. Косенкова, Н.В. Ефимова, Н.В. Краева // Детская медицина Северо-Запада. – 2011. – Т. 2, № 3. – С. 36-42.
161. Максимов А.Л. Влияние холодого закаливания на щитовидную железу и на параметры липидного обмена у лиц, длительно проживающих в условиях Северо-Востока России / А.Л. Максимов, А.Л. Горбачев // Физиология человека. – 2003. – Т. 29, № 2. – С. 62-66.
162. Максимов А.Л. Концептуальные и методические подходы к районированию территорий с экстремальными условиями проживания / А.Л. Максимов. – Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2006. – 54 с.
163. Максимов А.Л. Опыт комплексной оценки здоровья и психофизиологического состояния подростков Магаданской области. Человек на Севере: системные механизмы адаптации: сборник трудов / А.Л. Максимов, Е.В. Пегова, Т.П. Бартош. – Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2007. – С. 111-137.
164. Максимов А.Л. Особенности структуры variability кардиоритма уроженцев Магаданской области в зависимости от типа вегетативной регуляции / А.Л. Максимов, А.Н. Лоскутова // Экология человека. – 2013. – № 6. – С. 3-10.
165. Мачинская Р.И. Функциональное созревание мозга и формирование нейрофизиологических механизмов избирательного произвольного внимания у детей младшего школьного возраста / Р.И. Мачинская // Физиология человека. – 2006. – Т. 32, № 1. – С. 26-36.
166. Мерная Е.М. Биоуправление в психомоторном обучении. Результаты двухмесячного курса / Е.М. Мерная // Бюллетень сибирской медицины. – 2010. – № 2. – С. 92-100.
167. Милованов А.П. Адаптация малого круга кровообращения человека в условиях Севера / А.П. Милованов. – Новосибирск: Наука, 1981. – 172 с.

168. Минин В.В. Особенности вегетативных и эндокринных функций у сельских и городских школьников пубертатного возраста: автореф. дис. ... канд. биол. наук / В.В. Минин. – Томск. 2002. – 22 с.
169. Морозова Л.В. Особенности формирования системы зрительного восприятия у детей Европейского Севера России / Л.В. Морозова, Н.В. Звягина, Н.Н. Терехова // Экология человека. – 2007. – № 5. – С. 38-42.
170. Мошкова Е.В. Динамика распространённости артериальной гипертензии и факторов риска у пришлых и коренных жителей Ямало-Ненецкого автономного округа / Е.В. Мошкова, А.И. Попов, М.А. Романюк // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2008. – Т. 7, № 2. – С. 253-254.
171. Мусин А.М. Артериальная гипертензия при гипотиреозе – клиничко-патогенетические взаимоотношения / А.М. Мусин, Н.В. Васильченко, А.А. Мусина, Б.К. Кабиева, Л.М. Бакаева // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2008. – Т. 7, № 2. – С. 256.
172. Никишена И.С. Динамика спектров мощности и когерентности ЭЭГ в ходе курса бета1-тренинга у детей с нарушениями внимания / И.С. Никишена // Бюллетень СО РАМН. – 2004. – Т. 113, № 3. – С. 74-80.
173. Нифонтова О.Л. Адаптивные возможности школьников Тюменского Севера / О.Л. Нифонтова, А.А. Говорухина // Современные наукоёмкие технологии. – 2007. – № 5. – С. 85-86.
174. Ноздрачёв А.Д. Современные способы оценки функционального состояния автономной (вегетативной) нервной системы / А.Д. Ноздрачёв, Ю.В. Щербатых // Физиология человека. – 2001. – Т. 27, № 6. – С. 95-101.
175. Овчинников К.В. Взаимосвязь variability сердечного ритма и психофизиологических показателей у лиц с разным типом вегетативной нервной системы: автореф. дис. ... канд. биол. наук / К.В. Овчинников. – Ростов-на-Дону, 2006. – 24 с.
176. Ольбинская Л.И. Коронарная и миокардиальная недостаточность / Л.И. Ольбинская, П.Ф. Литвицкий. – М.: Медицина, 1986. – 270 с.

177. Орбели Л.А. Вопросы высшей нервной деятельности / Л.А. Орбели. – М.: Изд. АН СССР, 1949. – 801 с.
178. Павлов И.П. Лекции о работе больших полушарий головного мозга. Полное собрание сочинений: Т. 4 / И.П. Павлов. – Л.: Изд. АН СССР, 1951. – С. 16-30.
179. Панкова Н.Б. Функциональные показатели сердечно-сосудистой системы у подростков с предгипертензией / Н.Б. Панкова, И.Б. Алчинова, Е.В. Афанасьева, М.Ю. Карганов // Физиология человека. – 2010. – Т. 36, № 3. – С. 82-89.
180. Педиатрия / Под ред. Н.П. Шабалова. – СПб.: СпецЛит, 2010. – 935 с.
181. Полякова А.Г. Эффективность сочетания методов физио- и рефлексотерапии с технологией биоуправления в коррекции психовегетативных расстройств / А.Г. Полякова, В.В. Матвеева // Бюллетень сибирской медицины. – 2010. – № 2. – С. 63-67.
182. Полякова А.Г. Использование аппаратного биоуправления в комплексном восстановительном лечении пациентов с психовегетативными расстройствами для профилактики развития артериальной гипертензии / А.Г. Полякова, В.В. Матвеева // Медицинский альманах. – 2011. – Т. 16, № 3. – С. 64-66.
183. Поскотинова Л.В. Вегетативная регуляция ритма сердца и эндокринный статус молодёжи в условиях Европейского Севера России / Л.В. Поскотинова. – Екатеринбург: УрО РАН, 2010. – 235 с.
184. Поскотинова Л.В. Содержание интерлейкина-6 и интерлейкина-10 при различных типах организации биоэлектрической активности головного мозга у подростков 15-17 лет / Л.В. Поскотинова, О.Е. Шевченко, Д.Б. Дёмин, Е.В. Кривоногова // Экология человека. – 2010. – № 5. – С. 46-50.
185. Поскотинова Л.В. Показатели реоэнцефалограммы покоя у здоровых подростков 15-17 лет на Европейском Севере / Л.В. Поскотинова, Е.А. Каменченко // Экология человека. – 2011. – № 9. – С. 36-44.

186. Поскотинова Л.В. Роль нейромедиаторов и цитокинов при управляемом повышении вагусных влияний на ритм сердца у лиц с различным уровнем артериального давления / Л.В. Поскотинова, М.Н. Диева, Н.М. Хасанова, О.А. Ставинская, С.Н. Якушкина, Е.В. Кривоногова, Д.Б. Дёмин // Здоровье и образование в XXI веке. – М.: РУДН, 2012. – Т. 14, № 2. – С. 86-88.
187. Поскотинова Л.В. Роль серотонина в изменении нейровегетативных показателей при биоуправлении параметрами variability сердечного ритма у лиц с различным уровнем артериального давления / Л.В. Поскотинова, Н.М. Хасанова, М.Н. Диева, Е.В. Кривоногова, Д.Б. Дёмин, О.А. Ставинская, С.Н. Якушкина // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 9 (4). – С. 827-830.
188. Поскотинова Л.В. Успешность биоуправления параметрами variability сердечного ритма у лиц с различным уровнем артериального давления / Л.В. Поскотинова, Е.В. Кривоногова, М.Н. Диева, Н.М. Хасанова // Вестник Российской академии медицинских наук. – 2013. – № 7. – С. 20-23.
189. Поскотинова Л.В. Реактивность вегетативной регуляции ритма сердца в процессе курса биоуправления параметрами variability сердечного ритма у педагогов / Л.В. Поскотинова, М.А. Овсянкина, Е.В. Кривоногова, А.В. Мельникова // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1; URL: <http://www.science-education.ru/121-19144> (дата обращения: 19.08.2015).
190. Прохоров Б.Б. Медико-экологическое районирование и региональный прогноз здоровья населения России / Б.Б. Прохоров. – М.: изд. МНЭПУ, 1996. – 72 с.
191. Равич-Щербо И.В. Психогенетика / И.В. Равич-Щербо, Т.М. Марютина, Е.Л. Григоренко. – М.: Аспект Пресс, 2000. – 447 с.
192. Раппопорт Ж.Ж. Адаптация ребёнка на Севере / Ж.Ж. Раппопорт. – Л.: Медицина, 1979. – 192 с.

193. Рачев Р.Р. Тиреоидные гормоны и субклеточные структуры / Р.Р. Рачев, Н.Д. Ещенко. – М.: Медицина, 1975. – 294 с.
194. Редько Н.Г. Зависимость динамики психовегетативных показателей от темперамента пациентов и особенности организации сеансов биоуправления / Н.Г. Редько // Бюллетень сибирской медицины. – 2010. – № 2. – С. 125-128.
195. Редько Н.Г. Динамика психовегетативных параметров в зависимости от свойств темперамента при обучении саморегуляции у пациентов с артериальной гипотонией / Н.Г. Редько // Бюллетень СО РАМН. – 2010. – Т. 30, № 6. – С. 52-56.
196. Рожков В.П. Возрастная динамика вызванных потенциалов мозга при произвольном и непроизвольном внимании к девиантным стимулам у школьников-северян / В.П. Рожков, Е.Г. Сергеева, С.И. Сороко // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. – 2008. – Т. 94, № 11. – С. 1240-1258.
197. Рожков В.П. Возрастные и половые различия акустических стволовых вызванных потенциалов у школьников, проживающих на Европейском Севере России / В.П. Рожков, С.И. Сороко // Физиология человека. – 2009. – Т. 35, № 6. – С. 56-67.
198. Розанов В.Б. Результаты десятилетнего проспективного исследования для оценки трекинга и дэтрекинга артериального давления у мальчиков-подростков / В.Б. Розанов, А.А. Александров, Е.Н. Шугаева, Г.Я. Масленникова, С.Г. Смирнова // Лечебное дело. – 2006. – № 3. – С. 47-54.
199. Рощевский М.П. Методические подходы к районированию Севера России. Научно-аналитические материалы по районированию Севера России / М.П. Рощевский, В.Н. Лаженцев, В.С. Селин, Ю.Г. Солонин. – Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2004. – С. 3-23.
200. Рудакова Е.В. Возможности БОС-тренинга в коррекции синдрома с гиперактивностью / Е.В. Рудакова, А.В. Грибанов, М.Н. Панков // Вестник Поморского университета. – 2007. – № 4. – С. 86-93.

201. Сабирьянов А.Р. Современные особенности морфофункционального состояния сельских и городских детей младшего школьного возраста / А.Р. Сабирьянов, Е.С. Сабирьянова, О.Э. Возницкая // Педиатрия. – 2006. – № 5. – С. 105-107.
202. Сапронов Н.С. Гормоны гипоталамо-гипофизарно-тиреоидной системы и мозг / Н.С. Сапронов, Ю.О. Федотова. – СПб.: Лань, 2002.
203. Сапронов Н.С. Нейрофизиологические эффекты тиреоидных гормонов / Н.С. Сапронов, О.О. Масалова // Психофармакология и биологическая наркологию. – 2007. – Т. 7, № 2. – С. 1533-1541.
204. Сарычев А.С. Характеристика адаптивных реакций организма вахтовых рабочих в условиях Заполярья: дис. ... докт. мед. наук / А.С. Сарычев. – Архангельск, 2012. – 301 с.
205. Сафонов В.А. Нервная регуляция дыхания / В.А. Сафонов, Н.Н. Тарасова // Физиология человека. – 2006. – Т. 32, № 4. – С. 64-76.
206. Святогор И.А. Оценка эффективности и успешности использования метода биологической обратной связи в управлении потенциалами мозга / И.А. Святогор, И.А. Моховикова // Биологическая обратная связь. – 2000. – № 1. – С. 8-11.
207. Семененя И.Н. Функциональное значение щитовидной железы / И.Н. Семененя // Успехи физиологических наук. – 2004. – Т. 35, № 2. – С. 41-56.
208. Семенова Л.К. Структурные преобразования коры большого мозга человека в постнатальном онтогенезе / Л.К. Семенова, В.В. Васильева, Т.А. Цехмитренко // Структурно-функциональная организация развивающегося мозга. – Л.: Наука, 1990. – С. 8-45.
209. Сергеева Е.Г. Возрастные особенности функционального развития мозга у школьников, проживающих в условиях Европейского Севера: дис. ... канд. биол. наук / Е.Г. Сергеева. – СПб., 2009. – 168 с.
210. Сибилева Е.Н. Особенности зубной эндемии у детей в Архангельской области по данным ультразвукового исследования щитовидной железы / Е.Н. Сибилева // Экология человека. – 2004. – № 5. – С. 44-46.

211. Сибилева Е.Н. Медико-экологические особенности зубной эндемии у детей и подростков Архангельской области: автореф. дис. ... докт. мед. наук / Е.Н. Сибилева. – Архангельск, 2006. – 35 с.
212. Сибилева Е.Н. Особенности зубной эндемии у детей и подростков в Ненецком автономном округе / Е.Н. Сибилева, Л.А. Зубов // Экология человека. – 2011. – № 7. – С. 10-14.
213. Симонов П.В. Мозг: эмоции, потребности, поведение. Избранные труды в 2 томах. Т. 1 / П.В. Симонов. – М.: Наука, 2004. – 440 с.
214. Синюхин Б.Д. Методологические аспекты использования КГР в психофизиологических наблюдениях / Б.Д. Синюхин, А.А. Пирогов, А.И. Ерофеев // Научные исследования и разработки в спорте. – СПб., 1996. – С. 71-87.
215. Сметанкин А.А. Метод биологической обратной связи по дыхательной аритмии сердца – путь к нормализации центральной регуляции дыхательной и сердечно-сосудистой систем / А.А. Сметанкин // Биологическая обратная связь. – 1999. – № 2. – С. 3-14.
216. Совершаева С.Л. Эколого-физиологическое обоснование механизмов формирования донозологических состояний у жителей Европейского севера России: автореф. дис. ... докт. мед. наук / С.Л. Совершаева. – Архангельск, 1996. – 37 с.
217. Соколов А.Я. Энергообмен и параметры кардиореспираторной системы у коренных и пришлых жителей Северо-Востока России / А.Я. Соколов, Л.И. Гречкина // Экология человека. – 2003. – № 3. – С. 10-12.
218. Соколова Л.В. Электроэнцефалографические и нейропсихологические исследования функциональной зрелости коры головного мозга первоклассников с разным уровнем развития памяти / Л.В. Соколова, Д.А. Малышев // Физиология человека. – 2006. – № 1. – С. 75-79.
219. Соловейчик Л.Л. Популяционно-генетическое исследование функциональной межполушарной асимметрии в коренных и

- иммигрантских популяциях Северо-Востока СССР / Л.Л. Соловейчик, В.В. Аршавский // Генетика. – 1988. – Т. 24. – С. 928-936.
220. Соловьева А.Д. Вегетативные нарушения при органических заболеваниях нервной системы / А.Д. Соловьева. – М.: Медицина. 1991. – 256 с.
221. Солонин Ю.Г. Влияние широты проживания в условиях Севера на организм подростков / Ю.Г. Солонин, Е.Р. Бойко, Н.Г. Варламова, Т.В. Есева // Физиология человека. – 2012. – Т. 38, № 2. – С. 107-112.
222. Сороко С.И. Особенности формирования системной деятельности головного мозга и вегетативных функций у детей в условиях Европейского Севера (проблемная статья) / С.И. Сороко, Э.А. Бурых, С.С. Бекшаев // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. – 2006. – Т. 92, № 8. – С. 905-929.
223. Сороко С.И. Оценка состояния основных функций организма у детей, проживающих в условиях Европейского Севера / С.И. Сороко, Э.А. Бурых, С.С. Бекшаев. – Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2007. – С. 68-110.
224. Сороко С.И. Показатели мозгового кровообращения у детей 7-11 лет, проживающих на Европейском Севере / С.И. Сороко, В.П. Рожков, Э.А. Бурых // Физиология человека. – 2008. – Т. 34, № 6. – С. 37-50.
225. Сороко С.И. Перестройки параметров электроэнцефалограммы у детей – жителей о. Новая Земля / С.И. Сороко, С.С. Андреева, С.С. Бекшаев // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. – 2009. – № 2. – С. 49-59.
226. Сороко С.И. Нейрофизиологические и психофизиологические основы адаптивного биоуправления / С.И. Сороко, В.В. Трубачев. – СПб.: Политехника-сервис, 2010. – 607 с.
227. Сороко С.И. ЭЭГ корреляты генофенотипических особенностей возрастного развития мозга у детей аборигенного и пришлого населения Северо-Востока России / С.И. Сороко, С.С. Бекшаев, В.П. Рожков // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. – 2012. – Т. 98, № 1. – С. 3-26.

228. Сороко С.И. Особенности сезонных перестроек центральных механизмов регуляции у детей-северян с разным уровнем социального риска / С.И. Сороко, В.П. Рожков, С.С. Бекшаев // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. – 2013. – Т. 99, № 12. – С. 1435-1449.
229. Союстова Е.Л. Энергетический метаболизм мозга у старших возрастных групп при патологии щитовидной железы / Е.Л. Союстова, Л.Л. Клименко, А.И. Деев, В.Ф. Фокин // Клиническая геронтология. – 2008. – № 7. – С. 51-56.
230. Способ коррекции вегетативных дисбалансов с помощью комплекса для обработки кардиоинтервалограмм и анализа variability 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.
231. Старикова Н.Л. Качество жизни при первичных цефалгиях и эффективность компьютерного биоуправления / Н.Л. Старикова // Бюллетень сибирской медицины. – 2010. – № 2. – С. 34-37.
232. Степанов Ю.М. Роль функциональной асимметрии мозга и психофункционального состояния человека при адаптации к условиям Крайнего Севера: автореф. дис. ... канд. мед. наук / Ю.М. Степанов. – Новосибирск, 1988. – 23 с.
233. Степанова Г.К. Variability сердечного ритма в различные сезоны года у юношей-якутов / Г.К. Степанова, С.М. Дмитриева, М.В. Устинова // Дальневосточный медицинский журнал. – 2010. – № 2. – С. 105-108.
234. Степочкина С.П. Биоэлектрическая активность головного мозга у спортсменов после курса нейробиоуправления / С.П. Степочкина, Л.П. Черапкина, В.Г. Тристан // Бюллетень сибирской медицины. – 2010. – № 2. – С. 83-87.

235. Столлер И.А. Альфа-активность электроэнцефалограммы при нейротерапии синдрома дефицита внимания средствами игрового нейробиоуправления / И.А. Столлер, М.В. Сухоленцева, Н.Н. Ткаченко // Бюллетень сибирской медицины. – 2010. – № 2. – С. 24-33.
236. Суворов Н.Б. Знакопеременный кардиотренинг. Практика применения / Н.Б. Суворов, Д.Н. Меницкий, Н.Л. Фролова // Биоуправление-3. Теория и практика. – Новосибирск, 1998. – С. 69-79.
237. Суворов Н.Б. Функциональное биоуправление ритмом сердца человека: адаптивный модуль / Н.Б. Суворов // Медицинская техника. – 2005. – № 2. – С. 24-27.
238. Судаков К.В. Вегетативно-висцеральные нарушения при эмоциональном стрессе / К.В. Судаков, Е.А. Юматов // Эмоциональный стресс: теоретические и клинические аспекты. – Волгоград, 1997. – С. 74-76.
239. Теддер Ю.Р. Современное состояние проблемы йодного дефицита в Архангельской области / Ю.Р. Теддер, П.П. Гордиенко // Экология человека. – 2002. – № 2. – С. 6-8.
240. Типисова Е.В. Реактивность и компенсаторные реакции эндокринной системы у мужского населения Европейского Севера / Е.В. Типисова. – Екатеринбург: УрО РАН, 2009.
241. Ткачев А.В. Эндокринная система и обмен веществ у человека на Севере / А.В. Ткачев, Е.Р. Бойко, З.Д. Губкина. – Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 1992. – 156 с.
242. Ткачев А.В. Современные представления о влиянии климата Севера на эндокринную систему человека. Физиологические закономерности гормональных, метаболических иммунологических изменений человека на Европейском Севере: Тр. Коми НЦ УрО РАН № 152 / А.В. Ткачев, И.М. Кляркина. – Сыктывкар, 1997. – С. 6-17.
243. Ткачев А.В. Физиологический подход к районированию северных территорий России. Научно-аналитические материалы по районированию

- Севера России / А.В. Ткачев. – Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2004. – С. 30-37.
244. Токарев С.А. Эпидемиологическая оценка факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний у детей на Крайнем Севере / С.А. Токарев, А.А. Буганов, Е.Л. Уманская // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2005. – Т. 4, № 1. – С. 10-13.
245. Трешников А.В. Атлас Арктики / А.В. Трешников. – М.: ГУ Геодезии и картографии при Совете Министров СССР, 1985. – С. 18.
246. Трубачев В.В. Медленные модуляции сердечного ритма при обучении кролика методом биоуправления / В.В. Трубачев // Журнал высшей нервной деятельности. – 1982. – Т. 32, № 1. – С. 170-172.
247. Тупицын И.О. Динамика вегетативной регуляции ритма сердца у подростков 11-16 лет / И.О. Тупицын, И.Г. Андреева, М.В. Никулина // Вестник Поморского университета. – 2004. – № 2 (6). – С. 39-44.
248. Умрюхин Е.А. Успешность выполнения тестовых заданий студентами с различными спектральными характеристиками α -ритма фоновой электроэнцефалограммы / Е.А. Умрюхин, И.И. Коробейникова, Н.А. Каратыгин // Физиология человека. – 2009. – № 5. – С. 33-39.
249. Унгурияну Т.Н. Краткие рекомендации по описанию, статистическому анализу и представлению данных в научных публикациях / Т.Н. Унгурияну, А.М. Гржибовский // Экология человека. – 2011. – № 5. – С. 55-60.
250. Уолтер Г. Живой мозг / Г. Уолтер. – М.: Мир, 1966. – 300 с.
251. Фарбер Д.А. Энцефалографические корреляты умственной работоспособности / Д.А. Фарбер, В.И. Кирпичев // Журнал высшей нервной деятельности. – 1985. – Т. 35, № 4. – С. 649-657.
252. Фарбер Д.А. Структурно-функциональная организация развивающегося мозга / Д.А. Фарбер, Л.К. Семенова, В.В. Алферова. – Л.: Наука, 1990. – 198 с.
253. Федоров А.И. Особенности гормонального психовегетативного статуса у подростков, проживающих в разных социально-экологических условиях /

- А.И. Федоров, Э.М. Казин, В.Г. Селяницкая, О.В. Овчинникова // Физиология человека. – 2002. – Т. 28, № 6. – С. 64-68.
254. Федотова Ю.О. Эффекты тиреоидных гормонов в центральной нервной системе / Ю.О. Федотова, Н.С. Сапронов // Основы нейроэндокринологии. Под ред. В.Г. Шаляпина и П.Д. Шабанова. – СПб.: Элби-СПб, 2005. – С. 204-249.
255. Фокин В.Ф. Энергетическая физиология мозга / В.Ф. Фокин, Н.В. Пономарева. – М.: Антидор, 2003. – 288 с.
256. Фокина Ю.О. Возможные механизмы действия биологической обратной связи по электроэнцефалограмме / Ю.О. Фокина, В.Б. Павленко, А.М. Куличенко // Учёные записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. – 2008. – Т. 21 (60), № 1. – С. 107-116.
257. Френкель Г.М. Электрическая активность головного мозга при эндокринных нарушениях и её возрастные особенности / Г.М. Френкель. – М., 1994. – 360 с.
258. Хаснулин В.И. Северный стресс, формирование артериальной гипертензии на Севере, подходы к профилактике и лечению / В.И. Хаснулин, А.В. Хаснулина, И.И. Чечеткина // Экология человека. – 2009. – № 6. – С. 26-30.
259. Хаснулин В.И. Современные представления о механизмах формирования северного стресса у человека в высоких широтах / В.И. Хаснулин, П.В. Хаснулин // Экология человека. – 2012. – № 7. – С. 3-11.
260. Цехмистренко Т.А. Структурные преобразования цито- и фиброархитектоники фронтальной коры мозга человека от рождения до 20 лет / Т.А. Цехмистренко, Н.А. Черных, И.К. Шеховцев // Физиология человека. – 2010. – № 1. – С. 32-40.
261. Циркин Г.М. Пример применения мультипараметрического биоуправления у пациентов с последствиями тяжелой черепно-мозговой травмы / Г.М. Циркин, Е.В. Нечаев, Е.Н. Нечаева // Бюллетень сибирской медицины. – 2010. – № 2. – С. 155-156.

262. Чашин В.П. Характеристика основных факторов риска нарушений здоровья населения, проживающего на территориях активного природопользования в Арктике / В.П. Чашин, А.Б. Гудков, О.Н. Попова, Ю.О. Одланд, А.А. Ковшов // Экология человека. – 2014. – № 1. – С. 3-12.
263. Черапкина Л.П. Кортикальные и внекортикальные биоэлектрические процессы, определяющие успешность и эффективность нейробиоуправления у спортсменов / Л.П. Черапкина // Бюллетень сибирской медицины. – 2010. – № 2. – С. 78-82.
264. Черникова Л.А. Электромиографическое биоуправление и функциональная магнитно-резонансная томография в постинсультной реабилитации (на примере обучения точностному схвату) / Л.А. Черникова // Бюллетень сибирской медицины. – 2010. – № 2. – С. 12-16.
265. Чеснокова В.Н. (Пушкина В.Н.) Биоритмологические аспекты адаптации человека в приарктическом регионе / В.Н. Чеснокова. – Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет, 2011. – 247 с.
266. Чуркина Т.С. Участие антител к тиреоидной пероксидазе в регуляции синтеза гормонов щитовидной железы / Т.С. Чуркина, Г.Т. Лютфалиева // Вестник Уральской медицинской академической науки. – 2012. – Т. 41, № 4. – С. 70-71.
267. Шварков С.Б. Особенности вегетативной дистонии у детей / С.Б. Шварков. – М.: Медицина. 1991. – 258 с.
268. Шеповальников А.Н. Формирование биопотенциального поля мозга человека / А.Н. Шеповальников, М.Н. Цицерошин, В.С. Апанасионок. – Л.: Наука, 1979. – 163 с.
269. Штарк М.Б. Приглашение в мир биоуправления (Вместо предисловия) / М.Б. Штарк // Биоуправление-2: Теория и практика. – Новосибирск: ИМБК СО РАМН, 1993. – С. 1-11.
270. Штарк М.Б. Применение электроэнцефалографического биоуправления в клинической практике / М.Б. Штарк, А.Б. Скок // Биоуправление-4: Теория и практика. – Новосибирск: ЦЭРИС, 2002. – С. 9-17.

271. Шубина О.С. Идентичность при наркотической зависимости и её динамика в курсе альфа-стимулирующего биоуправления / О.С. Шубина // Бюллетень сибирской медицины. – 2010. – № 2. – С. 47-52.
272. Щёбланов В.Ю. Связь индивидуальных механизмов саморегуляции со свойством стрессоустойчивости / В.Ю. Щёбланов // Бюллетень сибирской медицины. – 2010. – № 2. – С. 134-139.
273. Щёголева Л.С. Резервные возможности иммунного гомеостаза у человека на Севере: автореф. дис. ... докт. биол. наук / Л.С. Щёголева. – Архангельск, 2005. – 37 с.
274. Щеплягина Л.А. Йод и интеллектуальное развитие ребёнка / Л.А. Щеплягина, Н.Д. Макулова, О.Н. Маслова // Русский медицинский журнал. – 2002. – № 7. – С. 358-363.
275. Щеплягина Л.А. Профилактика йодного дефицита у школьников / Л.А. Щеплягина, Д.С. Надеждин, П.И. Храмцов // Педиатрия. – 2005. – Т. 7, № 1. – С. 35-38.
276. Щитовидная железа. Фундаментальные аспекты / Под ред. проф. А.И. Кубарко и проф. S. Yamashita. – Минск-Нагасаки, 1998. – 368 с.
277. Эльгаров А.А. Артериальная гипертензия и факторы риска сердечно-сосудистых заболеваний в студенческой популяции / А.А. Эльгаров, Л.В. Эльгарова // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2006. – Т. 5, № 8. – С. 29-33.
278. Agnihotri H. Heart rate changes associated with biofeedback training / H. Agnihotri, M. Paul, S.J. Sandhu // Calicut. Medical J. – 2008. – Vol. 6, N. 3. – P. 3.
279. Akselrod S. Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: a quantitative probe of beat- to-beat Cardiovascular control / S. Akselrod, D. Gordon, F.A. Ubel, D.S. Shannon, A.C. Barger, R.J. Cohen // Science. – 1981. – Vol. 213. – P. 220-222.

280. Akselrod S. Hemodynamic regulation: investigation by spectral analysis / S. Akselrod, D. Gordon, J.B. Madwed // *Amer. J. Physiol.* – 1985. – Vol. 249. – P. 867-875.
281. Alexander D.M. EEG markers for cognitive decline in elderly subjects with subjective memory complaints / D.M. Alexander, M.W. Arns, R.H. Paul // *J. Integr. Neurosci.* – 2006. – Vol. 5, N. 1. – P. 49-74.
282. Aloe L. Effect of biofeedback assisted relaxation on migraine headaches and changes in cerebral, blood flow / L. Aloe, A. McGrady, B. Collins, A. Wauquier, G. Gerard // *Proceedings of 25-th annual BFB meeting.* – Atlanta, USA, 1994. – P. 1-3.
283. Ambrogini P. Thyroid hormones affect neurogenesis in the dentate gyrus of adult rat / P. Ambrogini, R. Cuppini, P. Ferri // *Neuroendocrinology.* – 2005. – Vol. 81, N. 4. – P. 244-253.
284. Andrasic F. Biofeedback in headache: An overview of approaches and evidence / F. Andrasic // *Cleveland Clinic Journal of Medicine.* – 2010. – Vol. 77. – Suppl. 3. – S. 72-76.
285. Aoki R. Recording and spectrum analysis of the planarian electroencephalogram / R. Aoki, H. Wake, H. Sasaki, K. Agata // *Neuro Science.* – 2009. – Vol. 159. – P. 908-914.
286. Aoki R. Photo-stimulation effect on the human EEG alpha-wave spectrum / R. Aoki, Y. Sonezaki, T. Kitamura, K. Satoh // *World Journal of Neuroscience.* – 2013. – N. 3. – P. 131-135.
287. Appelhans B.M. Heart rate variability as an index of regulated emotional responding / B.M. Appelhans, L.J. Luecken // *Rev. Gen. Psychol.* – 2006. – N. 10. – P. 229-240.
288. Bates J.M. Expression profiles of the three iodothyronine deiodinase, D1, D2, and D3, in the developing rat / J.M. Bates, D.L. Germain, V.A. Galton // *Endocrinology.* – 1999. – Vol. 140. – P. 844-851.
289. Bauer M. Thyroid hormone, neural tissue and mood modulation / M. Bauer, P.C. Whybrow // *World J. Biol. Psychiatry.* – 2001. – Vol. 2, N. 2. – P. 59-69.

290. Bauer M. Psychiatric and behavioral manifestation of hyperthyroidism and hypothyroidism. Psychoneuroendocrinology: the scientific basis of clinical practice / M. Bauer, M.P. Szuba, P.C. Whybrow. – Washington: American Psychiatric Publishing, Inc., 2003. – P. 419-444.
291. Bazanova O.M. Individual EEG Alpha Activity Analysis for Enhancement Neurofeedback Efficiency: Two Case Studies / O.M. Bazanova, L.I. Aftanas // Journal of Neurotherapy. – 2010. – Vol. 14 (03). – P. 244-253.
292. Bernal J. Thyroid hormones and brain development / J. Bernal, J. Nunez // Eur. J. Endocrinology. – 1995. – Vol. 133, N. 4. – P. 390-398.
293. Bernardi L. Low frequency spontaneous fluctuations of R-R interval and blood pressure in conscious humans: A baroreceptor of central phenomenon? / L. Bernardi, S. Leuzzi, A. Radaelli, C. Passino, J.A. Johnston, P. Sleight // Clinical Science. – 1994. – Vol. 87. – P. 647-654.
294. Bianco A. Cardiovascular risk factors in children: the importance of the quality of life / A. Bianco, A. Paoli, M.A. Montalto // Exp. Clin. Cardiol. – 2014. – Vol. 20, N. 1. – P. 1953-1969.
295. Bierbaumer N. Multiple functional effects of biofeedback with slow cortical potentials / N. Bierbaumer // Biofeedback. – 1997. – Vol. 25, N. 1. – P. 18-22.
296. Bouayed J. Oxidative stress and anxiety. Relationship and cellular pathways / J. Bouayed, H. Rammal, R. Soulimani // Oxidative Medicine and Cellular Longevity. – 2009. – Vol. 2, N. 2. – P. 63-67.
297. Brody S. Slow cortical potential biofeedback and startle reflex / S. Brody // Biofeedback and Self-regulation. – 1994. – Vol. 19, N. 1. – P. 1-13.
298. Broedel O. Effects of hyper- and hypothyroidism on thyroid hormone concentrations in regions of the rat brain / O. Broedel, M. Eravci, S. Fuxius // Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab. – 2003. – Vol. 285, N. 3. – P. E470-E480.
299. Brotman D.J. The cardiovascular toll of stress / D.J. Brotman, S.H. Golden, I.S. Wittstein // Lancet. – 2007. – Vol. 370. – P. 1089-1100.

300. Buchanan S. Hippocampal lesions and Pavlovian cardiovascular conditioning / S. Buchanan, D. Powell // *Pavlovian J. Biol. Sci.* – 1982. – Vol. 17. – P. 381-414.
301. Buchanan T.W. Medial prefrontal cortex damage affects physiological and psychological stress responses differently in men and women / T.W. Buchanan, D. Driscoll, S.M. Mowrer, J.J. Sollers // *Psychoneuroendocrinology*. – 2010. – Vol. 35. – P. 56-66.
302. Burggraaf J. Sympathovagal imbalance in hyperthyroidism / J. Burggraaf, J. Tulen, S. Lalezari // *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* – 2001. – Vol. 281 (6). – P. 190-195.
303. Buzsáki G. Inhibition and brain work / G. Buzsáki, K. Kaila, M. Raichle // *Neuron*. – 2007. – Vol. 56, N. 5. – P. 771-783.
304. Casciaro F. Alpha-rhythm stimulation using brain entrainment enhances heart rate variability in subjects with reduced HRV / F. Casciaro, V. Laterza, S. Conte // *World Journal of Neuroscience*. – 2013. – Vol. 3, N. 4. – P. 213-220.
305. Chambers A.S. Cardiac vagal control, emotion, psychopathology, and health / A.S. Chambers, J.J. Allen // *Biol. Psychol.* – 2007. – Vol. 74 (2). – P. 113-115.
306. Chapman S.L. A review and clinical perspective on the use of EMG and thermal biofeedback for chronic headaches / S.L. Chapman // *Pain*. – 1986. – Vol. 27, N. 1. – P. 1-43.
307. Cheng Z. Attenuation of baroreflex sensitivity following domoic acid lesion of the nucleus ambiguus of rats / Z. Cheng, H. Zhang, J. Yu // *J. Appl. Physiol.* – 2004. – Vol. 96. – P. 1137-1145.
308. Chermnykh N.A. Functional capacity of the cardiovascular system of elderly people as estimated by heart rate variability / N.A. Chermnykh, N.A. Igoshina, M.P. Roshchevskii // *Human Physiology*. – 2008. – Vol. 34, N. 1. – P. 61-65.
309. Cohen D. Classical conditioning of cardiovascular responses / D. Cohen, D. Randall // *Ann. Rev. Physiol.* – 1984. – Vol. 37. – P. 187-197.
310. Conte E. A new method based on fractal variance function for analysis and quantification of sympathetic and vagal activity in variability of R-R time series

- in ECG signals / E. Conte, A. Federici, J.P. Zbilut // *Chaos, Solitons and Fractals*. – 2009. – Vol. 41. – P. 1416-1426.
311. Conte E. Traditional and a new methodology for analysis of heart rate variability: A review by physiological and clinical experimental results / E. Conte, M. Pieralice, V. Laterza, A. Losurdo // *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*. – 2012. – Vol. 13. – P. 206-293.
312. Cooper N.R. Investigating evoked and induced electroencephalogram activity in task-related alpha power increases during an internally directed attention task / N.R. Cooper, A.P. Burgess, R.J. Croft, J.H. Gruzelier // *NeuroReport*. – 2006. – Vol. 17. – P. 205-208.
313. Courchesner E. Normal brain development and aging: quantitative analysis at in vivo MR imaging in healthy volunteers / E. Courchesner, H.J. Chisum, J. Townsend // *Radiology*. – 2000. – Vol. 216. – P. 672-682.
314. Critchley H.D. Brain activity during biofeedback relaxation / H.D. Critchley, R.N. Melmed, E. Featherstone // *Brain*. – 2001. – Vol. 124, N. 5. – P. 1003-1012.
315. Davrath L.R. Early autonomic malfunction in normotensive individuals with a genetic predisposition to essential hypertension / L.R. Davrath, Y. Goren, I. Pinhas // *Am. J. Physiol. Heart and Circulatory Physiology*. – 2003. – Vol. 285. – P. 1697.
316. Dawson M.E. The electrodermal system / M.E. Dawson, A.M. Schell, D.L. Filton // In: J.T. Cacioppo, L.G. Tassinary, G.G. Bernston (Eds.). *Handbook of Psychophysiology*. – Cambridge University Press, 2000. – P. 200-223.
317. Del Pozo J.M. Biofeedback treatment increases heart rate variability in patients with known coronary artery disease / J.M. Del Pozo, R.N. Gevirtz, B. Scher, E. Guarneri // *American Heart Journal*. – 2004. – Vol. 147, N. 3. – P. 545.
318. Edelberg R. The dual character of electrodermal activity / R. Edelberg. – Address presented to the American Psychological Association, 1973.

319. Eder D.N. Sympathetic nerve and cardiovascular responses to auditory startle and prepulse inhibition / D.N. Eder, M. Elam, B.G. Wallin // *Int. J. Psychophysiol.* – 2009. – Vol. 71. – P. 149-155.
320. Eischen S.E. Spectral analysis of EEG families / S.E. Eischen, J.Y. Luckritz, J. Polish // *Biol. Psychol.* – 1995. – Vol. 41. – P. 61-68.
321. Fernandez T. Changes in EEG current sources induced by neurofeedback in learning disabled children. An exploratory study / T. Fernandez, T. Harmony, A. Fernandez-Bouzas // *Appl. Psychophysiol. Biofeedback.* – 2007. – Vol. 32, N. 3-4. – P. 169-183.
322. Fox M.D. Spontaneous fluctuations in brain activity observed with functional magnetic resonance imaging / M.D. Fox, M.E. Raichle // *Nat. Rev. Neurosci.* – 2007. – Vol. 8. – P. 700-711.
323. Frysinger R. Cardiovascular and respiratory relationship with neuronal discharge in the central nucleus of amygdala during sleep – waking states / R. Frysinger, J. Zang, R. Harper // *Sleep.* – 1988. – Vol. 11, N. 4. – P. 317-332.
324. Garbutt J.C. Lithium potentiation of tricyclic antidepressants following lack of T3 potentiation / J.C. Garbutt, J.P. Mayo, G.M. Gillette // *Am. J. Psychiatry.* – 1986. – Vol. 143, N. 8. – P. 1038-1039.
325. Gasser T. Development of the EEG of school-age children and adolescents. I. Analysis of band power / T. Gasser, C. Jennen-Steinmetz, L. Sroka, R. Verleger, J. Muks // *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* – 1988. – Vol. 69. – P. 91-99.
326. Gianaros P.J. Heightened functional neural activation to psychological stress covaries with exaggerated blood pressure reactivity / P.J. Gianaros, J.R. Jennings, L.K. Sheu, S.W. Derbyshire, K.A. Matthews // *Hypertension.* – 2007. – Vol. 49. – P. 134-140.
327. Gilbey M.P. Sympathetic rhythms and nervous integration / M.P. Gilbey // *Clin. Exp. Pharmacol. Physiol.* – 2007. – Vol. 34. – P. 356-361.

328. Gillman M.V. Identifying children at high risk for the development of essential hypertension / M.V. Gillman, N.R. Cook, B.A. Rosner // *J. Pediatrics*. – 1993. – Vol. 122. – P. 837-846.
329. Glinier D. A randomized trial for the treatment of mild iodine deficiency during pregnancy: maternal and neonatal effects / D. Glinier, P. De Nayer, F. Delange // *J. Clin. Endocrinol. Metab.* – 1995. – Vol. 80 (1). – P. 258-269.
330. Gold J.M. PET validation of a novel prefrontal task: Delayed response alteration / J.M. Gold // *Neuropsychology*. – 1996. – Vol. 10. – P. 3-10.
331. Gold M. The discharge characteristics of vagal cardiac neurons during classically conditioned heart rate change / M. Gold, D. Cohen // *The Journal of Neuroscience*. – 1984. – Vol. 4 (12). – P. 2963-2971.
332. Gray M.A. Cardiac Rhythms Gate Central Initiation of Sympathetic Reflexes / M.A. Gray, K. Rylander, N.A. Harrison // *J. Neurosci.* – 2009. – Vol. 29, N. 6. – P. 1817-1825.
333. Green I.D. Hippocampal electrical activity in arousal / I.D. Green, A.A. Arduini // *J. Neurophysiol.* – 1954. – Vol. 17, N. 6. – P. 533-540.
334. Griffiths L.A. The influence of inspiratory and expiratory muscle training upon rowing performance / L.A. Griffiths, A.K. McConnell // *Eur. J. Appl. Phys.* – 2007. – Vol. 99, N. 5. – P. 457-466.
335. Guijt A.M. Test-retest reliability of heart rate variability and respiration rate at rest and during light physical activity in normal subjects / A.M. Guijt, J.K. Sluiter, M.H. Frings-Dresen // *Arch. Med. Res.* – 2007. – Vol. 38 (1). – P. 113-120.
336. Haas M.J. Microarray analysis of thyroid hormone-induced changes in mRNA expression in the adult rat brain / M.J. Haas, A. Mreyoud, M. Fishman, A.D. Mooradian // *Neurosci. Lett.* – 2004. – Vol. 365, N. 1. – P. 14-18.
337. Hallman D.M. Effects of heart rate variability biofeedback in subjects with stress-related chronic neck pain: a pilot study / D.M. Hallman, E.M. Olsson, B. von Scheele // *Appl. Psychophysiol. Biofeedback*. – 2011. – Vol. 36 (2). – P. 71-80.

338. Harmony T. EEG maturation in children with different economic and psychosocial characteristics / T. Harmony, A. Alvarez, R. Pascual, A. Ramos, E. Marosi, A.E. Diaz de Leon, P. Valdes, J. Becker // *Int. J. Neurosci.* – 1988. – Vol. 41. – P. 103-113.
339. Harmony T. Correlation between EEG spectral parameters and an educational evaluation / T. Harmony, G. Hinojosa, E. Marosi, J. Becker, M. Rodriguez, A. Reyes, C. Rosha // *Int. J. Neurosci.* – 1990. – Vol. 54. – P. 147-155.
340. Hartley C.A. Changing fear. The neurocircuitry of emotion regulation / C.A. Hartley, E.A. Phelps // *Neuropsychopharmacology.* – 2010. – Vol. 35. – P. 136-146.
341. Hassett A.L. A pilot study of the efficacy of heart rate variability (HRV) biofeedback in patients with fibromyalgia / A.L. Hassett, D.C. Radvanski, E.G. Vaschillo, B. Vaschillo, L.H. Sigal // *Appl. Psychophysiol. Biofeedback.* – 2007. – Vol. 32 (1). – P. 1-10.
342. Hatch J.P. The role of biofeedback in the operant modification of human heart rate / J.P. Hatch, R.J. Gatchel // *Biofeedback and Self-regulation.* – 1981. – Vol. 6, N. 2. – P. 139-167.
343. Henriques G. Exploring the effectiveness of a computer – based heart rate variability biofeedback program in reducing anxiety in college students / G. Henriques, S. Keffer, C. Abrahamson, S.J. Horst // *Appl. Psychophysiol. Biofeedback.* – 2011. – Vol. 36 (2). – P. 101-112.
344. Holczberger M. Electroencephalographic coherence during emotional identification task / M. Holczberger // *World Journal of Neuroscience.* – 2012. – N. 2. – P. 24-37.
345. Holm P. Endurance training of respiratory muscles improves cycling performance in fit young cyclists / P. Holm, A. Sattler, R. Fregosi // *BioMed. Central. Phys.* – 2004. – N. 4. – P. 6-9.
346. Hovatta I. Oxidative stress in anxiety and comorbid disorders / I. Hovatta, J. Juhila, J. Donner // *Neuroscience Research.* – 2010. – Vol. 68, N. 4. – P. 261-275.

347. Huang T.L. A comprehensive review of the psychological effects of brainwave entrainment / T.L. Huang, C. Charyton // *Alternative Therapies*. – 2008. – Vol. 14. – P. 38-49.
348. Hudspeth W.G. Psychophysiological indices of cerebral maturation / W.G. Hudspeth, K.H. Pribram // *Int. J. of Psychophysiology*. – 1992. – Vol. 12. – P. 19-29.
349. Hughes S.W. Thalamic mechanisms of EEG alpha rhythms and their pathological implications / S.W. Hughes, V. Crunelli // *Neuroscientist*. – 2005. – Vol. 11. – P. 357-372.
350. Janssen S.A. The effects of failing to control pain: an experimental investigation / S.A. Janssen, P. Spinhoven, A. Arntz // *Pain*. – 2004. – Vol. 107, N. 3. – P. 227-233.
351. Kahaly G.J. Thyroid hormone action in the heart / G.J. Kahaly, W.H. Dillmann // *Endocrine Reviews*. – 2005. – Vol. 26 (5). – P. 704-728.
352. Kaiser D.A. Basic Principles of Quantitative EEG / D.A. Kaiser // *J. Adult. Develop.* – 2005. – Vol. 12, N. 2-3. – P. 99-104.
353. Karavidas M.K. Preliminary results of an open label study of heart rate variability biofeedback for the treatment of major depression / M.K. Karavidas, P.M. Lehrer, E. Vaschillo, B. Vaschillo // *Appl. Psychophysiol. Biofeedback*. – 2007. – Vol. 32. – P. 19-30.
354. Kemp A.H. Impact of depression and antidepressant treatment on heart rate variability: a review and meta-analysis / A.H. Kemp, D.S. Quintana, M.A. Gray // *Biol. Psychiatry*. – 2010. – Vol. 67, N. 11. – P. 1067.
355. King C.A. Prevalence of elevated body mass index and blood pressure in a rural school-aged population: implications for school nurses / C.A. King, B.B. Meadows, M.K. Engelke, M. Swanson // *J. Sch. Health*. – 2006. – Vol. 76, N. 4. – P. 145.
356. Kleen M. Appliance of Heart Rate Variability biofeedback in acceptance and commitment therapy: A pilot study / M. Kleen, B. Reitsma // *Journal of Neurotherapy*. – 2011. – Vol. 15. – P. 170-181.

357. Klimesch W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis / W. Klimesch // *Brain Res. Rev.* – 1999. – Vol. 29 (2-3). – P. 169-195.
358. Kober H. Functional grouping and cortical-subcortical interactions in emotion: a meta-analysis of neuroimaging studies / H. Kober, L.F. Barrett, J. Joseph // *Neuroimage.* – 2008. – Vol. 42. – P. 998-1031.
359. Kotani K. Respiratory – phase domain analysis of heart rate variability can accurately estimate cardiac vagal activity during a mental arithmetic task / K. Kotani, K. Takamasu, M. Tachibana // *Methods. Inf. Med.* – 2007. – Vol. 46 (3). – P. 376-385.
360. Lane R.D. Neural correlates of heart rate variability during emotion / R.D. Lane, K. McRae, E.M. Reiman, K. Chen // *Neuroimage.* – 2009. – Vol. 44. – P. 213-222.
361. Lehrer P.M. Heart Rate Variability Biofeedback Increases Baroreflex Gain and Peak Expiratory Flow / P.M. Lehrer, E. Vaschillo, B. Vaschillo // *Psychosomatic Medicine.* – 2003. – Vol. 65. – P. 796-805.
362. Lehrer P.M. Biofeedback Treatment for Asthma / P.M. Lehrer, E. Vaschillo, B. Vaschillo // *Chest.* – 2004. – Vol. 126. – P. 352-361.
363. Lehrer P.M. Heart rate variability biofeedback: effects of age on heart rate variability, baroreflex gain, and asthma / P.M. Lehrer, E. Vaschillo, S.E. Lu // *Chest.* – 2006. – Vol. 129. – P. 278-284.
364. Lehrer P.M. Biofeedback training to increase heart rate variability. Principles and Practice of Stress Management / P.M. Lehrer. – New York: Guilford Press, 2007. – P. 227-248.
365. Lenroot R.K. Sex differences in the adolescent brain / R.K. Lenroot, J.N. Giedd // *Brain Cogn.* – 2010. – Vol. 72 (1). – P. 46-55.
366. Linden W. The efficacy of behavioral treatments for hypertension / W. Linden, J.V. Moseley // *Appl. Psychophysiol. Biofeedback.* – 2006. – Vol. 31, N. 1. – P. 51-63.

367. Lubar J.F. Neurofeedback assessment and treatment for attention deficit – hyperactivity disorders / J.F. Lubar, J.O. Lubar // Introduction to quantitative EEG and Neurofeedback. Eds.: J.R. Evans & A. Abarbanel, 1999. – P. 103-143.
368. Lucini D. Impact of chronic psychosocial stress on autonomic cardiovascular regulation in otherwise health subjects / D. Lucini, G. Di Fede, G. Parati, M. Pagani // Hypertension. – 2005. – Vol. 46. – P. 1201.
369. Maier S.F. Role of the medial prefrontal cortex in coping and resilience / S.F. Maier, L.R. Watkins // Brain Research. – 2010. – Vol. 1355. – P. 52-60.
370. Marangell L.B. Inverse relationship of peripheral thyrotropin-stimulating hormone levels to brain activity in mood disorders / L.B. Marangell, T.A. Ketter, M.S. George // Am. J. Psychiatry. – 1997. – Vol. 154 (2). – P. 224-230.
371. Marosi E. Electroencephalographic coherences discriminante between children with different pedagogical evaluation / E. Marosi, T. Harmony, J. Becker, A. Reyes, J. Bernal, T. Fernandez, M. Rodriguez, J. Silva, V. Guerrero // Int. J. Psychophysiol. – 1995. – Vol. 19. – P. 23-32.
372. Matsuura M. Age development and sex differences of various EEG elements in healthy children and adults quantification by a computerized wave form recognition method / M. Matsuura, K. Yamamoto, H. Fukuzawa, Y. Okubo // Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol. – 1985. – Vol. 60. – P. 394-406.
373. McAllister K.A. Cellular and Molecular Mechanisms of Dendrite Growth / K.A. McAllister // Cerebral Cortex. – 2000. – Vol. 10, N. 10. – P. 963-973.
374. McFarland D.J. Brain-computer interface (BCI) operation: signal and noise during early training sessions / D.J. McFarland, W.A. Sarnacki, T.M. Vaughan, J.R. Wolpaw // Clin. Neurophysiol. – 2005. – Vol. 116, N. 1. – P. 56.
375. McGrady A. The effects of biofeedback in diabetes and essential hypertension / A. McGrady // Cleveland Clinic Journal of Medicine. – 2010. – Vol. 77. – Suppl. 3. – S. 68-71.
376. McIntyre D. Effects of arterial and cardiopulmonary baroreceptor activation on the upper limb nociceptive flexion reflex and electrocutaneous pain in humans / D. McIntyre, M. Kavussanu, C. Ring // Pain. – 2008. – Vol. 137. – P. 550-555.

377. McKee M.G. Biofeedback: An overview in the context of heart-brain medicine / M.G. McKee // *Cleveland Clinic Journal Of Medicine*. – 2008. – Vol. 75. – Suppl. 2. – S. 31-34.
378. McNiece K.L. Prevalence of Hypertension and Pre-Hypertension among Adolescents / K.L. McNiece, T.S. Poffenbarger, J.L. Turner // *J. Pediatr.* – 2007. – Vol. 150, N. 6. – P. 640.
379. Mikosch P. Effectiveness of respiratory-sinus-arrhythmia biofeedback on state-anxiety in patients undergoing coronary angiography / P. Mikosch, T. Hadrawa, K. Laubreiter, J. Brandl // *Journal of Advanced Nursing*. – 2010. – Vol. 66. – P. 1101-1110.
380. Mirit E. Changes in cardiac mechanics with heat acclimation: adrenergic signaling and SR-Ca regulatory proteins / E. Mirit, C. Gross, Y. Hasin, A. Palmon // *Am. J. of Physiol. Regulatory Integrative Comparative Physiology*. – 2000. – Vol. 279 (4). – P. 77-85.
381. Mittag J. Thyroid hormone is required for hypothalamic neurons regulating cardiovascular functions / J. Mittag, D.J. Lyons, J. Sällström // *J. Clin. Invest.* – 2012. – N. 12. – P. 26-32.
382. Montano N. Power spectrum analysis of heart rate variability to assess the changes in sympathovagal balance during graded orthostatic tilt / N. Montano, T. Ruscone, A. Porta // *Circulation*. – 1994. – Vol. 90. – P. 1826-1831.
383. Moore A. Meditation, mindfulness and cognitive flexibility / A. Moore, P. Malinowski // *Consciousness and Cognition*. – 2009. – Vol. 18. – P. 176-186.
384. Moravec C.S. Biofeedback therapy in cardiovascular disease: Rationale and research overview / C.S. Moravec // *Cleveland Clinic Journal of Medicine*. – 2008. – Vol. 75. – Suppl. 2. – S. 35-38.
385. Moreau X. Chronic effects of triiodothyronine in combination with imipramine on 5-HT transporter, 5-HT (1A) and 5-HT (2A) receptors in adult rat brain / X. Moreau, R. Jeanningros, P. Mazzola-Pomietto // *Neuropsychopharmacology*. – 2001. – Vol. 24, N. 6. – P. 652-662.

386. Morison R.S. Mechanisms of thalamocortical augmentation and repetition / R.S. Morison, E.W. Dempsey // *Amer. J. Physiol.* – 1943. – Vol. 138. – P. 297-302.
387. Munoz-Cruzado Poce M.J. Prevalence of thyroid disorders in patients diagnosed with depression / M.J. Munoz-Cruzado Poce, A.J. Garcia Navas, M.L. Moreno Gomez // *Aten. Primaria.* – 2000. – Vol. 26, N. 3. – P. 176-179.
388. Nada P.J. Heart rate variability in the assessment and biofeedback training of common mental health problems in children / P.J. Nada // *Med. Arh.* – 2009. – Vol. 63 (5). – P. 244-248.
389. Napadow V. Brain correlates of autonomic modulation: combining heart rate variability with fMRI / V. Napadow, R. Dhond, G. Conti, N. Makris // *Neuroimage.* – 2008. – Vol. 42. – P. 169-177.
390. Nestoriuc Y. Biofeedback treatment for headache disorders: A comprehensive efficacy review / Y. Nestoriuc, A. Martin, W. Rief, F. Andrasik // *Appl. Psychophysiol. Biofeedback.* – 2008. – Vol. 33, N. 3. – P. 125-140.
391. Nink M. Studies on the influence of releasing hormones TRH and CRH on respiratory regulation / M. Nink, U. Krause, H. Lehnert, V. Schulz // *Pneumologie.* – 1991. – Vol. 45 (1). – P. 246-248.
392. Nolan R.P. Behavioral Neurocardiac Training in Hypertension: A Randomized, Controlled Trial / R.P. Nolan, J.S. Floras // *Hypertension.* – 2010. – Vol. 55. – P. 1033-1039.
393. Nombela G. Bases morfológicas de la evaluación del EEG desde los seis meses postnatales a los nueve años / G. Nombela // *Arch. Neurobiol.* – 1976. – Vol. 39. – P. 195-212.
394. Oppenheimer S. Cortical control of the heart / S. Oppenheimer // *Cleveland Clin. J. Med.* – 2007. – Vol. 74. – Suppl. 1. – S. 27-29.
395. Otero G.A. EEG spectral analysis in children with sociocultural handicaps / G.A. Otero // *Int. J. Neurosci.* – 1994. – Vol. 79. – P. 213-220.
396. Palva S. New vistas for alpha-frequency band oscillations / S. Palva, J.M. Palva // *Trends Neurosci.* – 2007. – Vol. 30, N. 4. – P. 150-158.

397. Peper E. Biofeedback an evidence based approach in clinical practice / E. Peper, R. Harvey, N. Takabayashi // Japanese Journal of Biofeedback Research. – 2009. – Vol. 36, N. 1. – P. 3-10.
398. Pharoah P. Iodine and brain development / P. Pharoah, K. Connolly // Developmental Medicine and Child Neurology. – 1995. – Vol. 38, N. 1. – P. 464-469.
399. Porges S.W. Vagal tone: a physiologic marker of stress vulnerability / S.W. Porges // Pediatrics. – 1992. – Vol. 90, N. 3. – P. 498-504.
400. Porges S.W. The polyvagal perspective / S.W. Porges // Biological Psychology. – 2007. – Vol. 74. – P. 116-143.
401. Powell D. Amigdala – prefrontal interactions and conditioned bradycardia in the rabbit / D. Powell, M. Chachich, V. Murphy // Behav. Neurosci. – 1997. – Vol. 111. – P. 1056-1074.
402. Prinsloo G.E. The effect of short duration heart rate variability (HRV) biofeedback on cognitive performance during laboratory induced cognitive stress / G.E. Prinsloo, H.G. Laurie Rauch, M.I. Lambert // Applied Cognitive Psychology. – 2011. – Vol. 25, N. 5. – P. 792-801.
403. Prinsloo G.E. The effect of a single session of short duration heart rate variability biofeedback on EEG: A pilot study / G.E. Prinsloo, H.G. Rauch, D. Karpul, W.E. Derman // Appl. Psychophysiol. Biofeedback. – 2013. – Vol. 38. – P. 45-56.
404. Raichle M.E. Practice-related changes in human brain functional anatomy during nonmotor learning / M.E. Raichle // Cereb. Cortex. – 1994. – Vol. 4, N. 1. – P. 8-26.
405. Rainforth M.V. Stress reduction programs in patients with elevated blood pressure: a systematic review and meta-analysis / M.V. Rainforth, R.H. Schneider, S.I. Nidich, C. Gaylord-King // Curr. Hypertens. Rep. – 2007. – N. 9. – P. 520-528.

406. Rajagovindan R. From prestimulus alpha oscillation to visual evoked response: an inverted U function and its attentional modulation / R. Rajagovindan, M. Ding // *J. Cogn. Neurosci.* – 2011. – Vol. 23, N. 6. – P. 1379-1394.
407. Reynard A. Heart rate variability as a marker of self-regulation / A. Reynard, R. Gevirtz, R. Berlow // *Appl. Psychophysiol. Biofeedback.* – 2011. – Vol. 36, N. 3. – P. 209.
408. Rice K.M. Biofeedback treatments of Generalized Anxiety Disorder: Preliminary results / K.M. Rice, E.B. Blanchard, M. Purcell // *Biofeedback and Self Regulation.* – 1993. – Vol. 18, N. 2. – P. 93.
409. Romer L.M. Inspiratory muscle fatigue in highly trained cyclists effects of inspiratory muscle training / L.M. Romer, A.K. McConnell, D.A. Jones // *J. of Sports Sci.* – 2002. – N. 20. – P. 547-562.
410. Rosso I.M. Cognitive and emotional components of frontal lobe functioning in childhood and adolescence / I.M. Rosso // *Ann. NY. Acad. Sci.* – 2004. – Vol. 1021. – P. 355-362.
411. Rubia K. Effects of age and sex on developmental neural networks of visual-spatial attention allocation / K. Rubia // *Neuroimage.* – 2010. – Vol. 51 (2). – P. 817-827.
412. Salvatore D. Type-2 iodothyronine deiodinase is highly expressed in human thyroid / D. Salvatore, H. Tu, J.W. Harney, P.R. Larsen // *J. Clin. Invest.* – 1996. – Vol. 98. – P. 962-968.
413. Santamaria J. The EEG of drowsiness / J. Santamaria, K.H. Chiappa. – New York: Demos Publications, 1987. – 202 p.
414. Schoenbaum G. A new perspective on the role of the orbitofrontal cortex in adaptive behavior / G. Schoenbaum, M.R. Roesch, T.A. Stalnaker, Y.K. Takahashi // *Nat. Rev. Neurosci.* – 2009. – N. 10. – P. 885-892.
415. Schwartz J.M. The differential diagnosis of depression: relevance of positron emission tomography studies of cerebral glucose metabolism to the bipolar-unipolar dichotomy / J.M. Schwartz, L.R. Baxter, J.C. Mazziotta, R.H. Gerner, M.E. Phelps // *JAMA.* – 1987. – Vol. 258. – P. 1368-1374.

416. Servant D. Heart rate variability. Applications in psychiatry / D. Servant, R. Logier, Y. Mouster // *Encephale*. – 2009. – Vol. 35 (5). – P. 423-428.
417. Shadmehr R. Neural correlates of motor memory consolidation / R. Shadmehr, H.H. Holcomb // *Science*. – 1997. – Vol. 277, N. 5327. – P. 821-825.
418. Sherlin L. Effects of Respiratory Sinus Arrhythmia Biofeedback versus Passive Biofeedback Control / L. Sherlin, R. Gevirtz, S. Wyckoff, F. Muench // *International Journal of Stress Management*. – 2009. – Vol. 16. – P. 233-248.
419. Sherman S.M. Exploring the thalamus and its role in cortical function / S.M. Sherman, R.W. Guillery. – Cambridge, MA: MIT Press, 2006.
420. Siepmann M. A pilot study on the effects of heart rate variability biofeedback in patients with depression and in healthy subjects / M. Siepmann, V. Aykac, J. Unterdorfer // *Appl. Psychophysiol. Biofeedback*. – 2008. – Vol. 33 (4). – P. 195-201.
421. Sigafus P. Heart Rate Variability Biofeedback and Mindfulness: A Functional Neuroimaging Study / P. Sigafus. // *Cleveland Clinic Journal of Medicine*. – 2011. – Vol. 78. – Suppl. 1. – S. 102.
422. Sintzel F. Potentializing of tricyclics and serotoninergics by thyroid hormones in resistant depressive disorders / F. Sintzel, M. Mallaret, T. Bougerol // *Encephale*. – 2004. – Vol. 30, N. 3. – P. 267-275.
423. Smit C.M. Genetic variation of individual alpha frequency (IAF) and alpha power in a large adolescent twin sample / C.M. Smit, M.J. Wright, N.K. Hansell // *Int. J. Psychophysiol*. – 2006. – Vol. 61, N. 2. – P. 235-243.
424. Spagnolo A. Focus on prevention, diagnosis and treatment of hypertension in children and adolescents / A. Spagnolo, M. Giussani, A.M. Ambruzzi, M. Bianchetti // *Ital. J. Pediatr*. – 2013. – Vol. 39. – P. 20.
425. Spence S.H. Effect of EMG biofeedback compared to applied relaxation training with chronic, upper extremity cumulative trauma disorders / S.H. Spence, L. Sharpe, T. Newtonjohn, D. Champion // *J. Pain*. – 1995. – Vol. 63, N. 2. – P. 199-206.

426. Swanson K.S. The effect of biofeedback on function in patients with heart failure / K.S. Swanson, R.N. Gevirtz, M. Brown, J. Spira // *Appl. Psychophysiol. Biofeedback*. – 2009. – Vol. 34. – P. 71-91.
427. Tan G. Heart rate variability (HRV) and posttraumatic stress disorder (PTSD): a pilot study / G. Tan, T.K. Dao, L. Farmer // *Appl. Psychophysiol. Biofeedback*. – 2011. – Vol. 36 (1). – P. 27-35.
428. Tanha T. Lack of physical activity in young children is related to higher composite risk factor score for cardiovascular disease / T. Tanha, P. Wollmer, O. Thorsson, M.K. Karlsson // *Acta. Pediatrica*. – 2011. – Vol. 100. – P. 717-721.
429. Tanner J.M. Clinical longitudinal standard for height, weight, height and weight velocity and stages of puberty / J.M. Tanner, R.H. Whitehouse // *Arch. Dis. Child*. – 1976. – Vol. 51. – P. 170-179.
430. Tennyson V.M. The fine structure of the developing nervous system. *Developmental neurobiology* / V.M. Tennyson. – Springfield, 1970. – P. 47-116.
431. Thatcher R.W. Intelligence and EEG phase reset: a two compartmental model of phase shift and lock / R.W. Thatcher, D.M. North, C.J. Biver // *Neuroimage*. – 2008. – Vol. 42, N. 4. – P. 1639-1653.
432. Thayer J.F. Inflammation and cardiorespiratory control: The role of the vagus nerve / J.F. Thayer, A. Loerbroks, E.M. Sternberg // *Respir. Physiol. Neurobiol*. – 2011. – Vol. 178. – P. 387-394.
433. Thayer J.F. A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: Implications for heart rate variability as a marker of stress and health / J.F. Thayer, F. Ahs, M. Fredrikson, J.J. Sollers, T.D. Wager // *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. – 2012. – Vol. 36. – P. 747-756.
434. Vaschillo E.G. Characteristics of resonance in heart rate variability stimulated by biofeedback / E.G. Vaschillo, B. Vaschillo, P.M. Lehrer // *Appl. Psychophysiol. Biofeedback*. – 2006. – Vol. 31. – P. 129-142.
435. Vassy R. Nongenomic effect of triiodothyronine on cell surface beta-adrenoreceptors on cultured embryonic cardiac myocytes / R. Vassy, P. Nicolas,

- Y-L. Yin, G-Y. Perret // *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*. – 1997. – Vol. 214 (2). – P. 352-358.
436. Vogel F. The genetic basis of normal human electroencephalogram / F. Vogel // *Humangenetic*. – 1970. – Vol. 10, N. 2. – P. 78-95.
437. Wang S.Z. Effect of slow abdominal breathing combined with biofeedback on blood pressure and heart rate variability in prehypertension / S.Z. Wang, S. Li, X.Y. Xu // *Journal of Alternative and Complementary Medicine*. – 2010. – Vol. 16 (10). – P. 1039-1045.
438. Wang T. Analysis of the heart rate variability of normal young men in the process of EMG biofeedback / T. Wang, X. Wu, Z. Huang // *Chinese Mental Health Journal*. – 2007. – Vol. 21. – P. 212-215.
439. Warner A. Thyroid hormone and the central control of homeostasis / A. Warner, J. Mittag // *J. Mol. Endocrinol*. – 2012. – Vol. 49, N. 1. – P. 29-35.
440. Weber C.S. Low vagal tone is associated with impaired post stress recovery of cardiovascular, endocrine, and immune markers / C.S. Weber, J.F. Thayer, M. Rudat, P.H. Wirtz // *Eur. J. Appl. Physiol*. – 2010. – Vol. 109. – P. 201-211.
441. Wells R. Matter over mind: a randomised – controlled trial of single – session biofeedback training on performance anxiety and heart rate variability in musicians / R. Wells, T. Outhred, J.A. Heathers // *PLoS One*. – 2012. – Vol. 7 (10). – P. 465-497.
442. Wheat A.L. Biofeedback of heart rate variability and related physiology: a critical review / A.L. Wheat, K.T. Larkin // *Appl. Psychophysiol. Biofeedback*. – 2010. – Vol. 35 (3). – P. 229-242.
443. Wiens S.C. Thyroid hormone and gamma-aminobutyric acid (GABA) interactions in neuroendocrine systems / S.C. Wiens, V.L. Trudeau // *Comp. Biochem. Physiol. A Mol. Integr. Physiol*. – 2006. – Vol. 144, N. 3. – P. 332-344.
444. Windle W.F. *Physiology of the fetus* / W.F. Windle. – Philadelphia: Saunders, 1940. – 249 p.

445. Xu X. Biofeedback treatment of prehypertension: Analyses of efficacy, heart rate variability and EEG approximate entropy / X. Xu, J. Gao, D. Ling, T. Wang // *Journal of Human Hypertension*. – 2007. – Vol. 21. – P. 973-975.
446. Yana K. Effect of common driving sources to the feedback analysis of heart rate variability / K. Yana, S. Nishiyama, K. Mitsui // *Methods Inf. Med*. – 2007. – Vol. 46 (2). – P. 202-205.
447. Yu X. Relationship between scalp potential and autonomic nervous activity during a mental arithmetic task / X. Yu, J. Zhang, D. Xie // *Auton. Neurosci.* – 2009. – Vol. 146, N. 1-2. – P. 81.
448. Zeidan F. Mindfulness meditation improves cognition: Evidence of brief mental training / F. Zeidan, S.K. Johnson, B.J. Diamond, Z. David // *Consciousness and Cognition*. – 2010. – Vol. 19. – P. 597-605.
449. Zoncu S. Cardiac function in borderline hypothyroidism: a study by pulsed wave tissue Doppler imaging / S. Zoncu, F. Pigliaru, C. Putzu, L. Pisano // *European Journal of Endocrinology*. – 2005. – Vol. 152 (4). – P. 527-533.
450. Zucker T. The effects of respiratory sinus arrhythmia biofeedback on heart rate variability and posttraumatic stress disorder symptoms: A pilot study / T. Zucker, K. Samuelson, F. Muench, M. Greenberg, R. Gevirtz // *Appl. Psychophysiol. Biofeedback*. – 2009. – Vol. 34. – P. 135-143.