

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

БАРАНОВА ЕЛЕНА АЛЕКСЕЕВНА

**ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИЯ СИСТЕМЫ
ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ И РЕГИОНАРНОГО КРО-
ВОТОКА СПОРТСМЕНОВ К ИНТЕНСИВНЫМ ФИ-
ЗИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ**

03.03.01 – физиология

Диссертация на соискание ученой степени

кандидата медицинских наук

Научный руководитель:
доктор мед.наук, профессор
Капилевич Л.В.

ТОМСК 2014

Список использованных сокращений

АПЧ – амплитудночастотный показатель;

БОС - Биологическая обратная связь

БУ - биоуправление

ВОД – вегетативное обеспечение деятельности;

ДИА – диастолический индекс;

ДИК – дикротический индекс;

МПВ - максимальной произвольной вентиляции

МПК - максимальное потребление кислорода

ПВО – показатель венозного оттока;

ПД – потенциал действия;

РВГ – реовазография;

РИ – реографический индекс;

ЧСС – частота сердечных сокращений;

ЭКГ – электрокардиограмма;

ЭМГ – электромиография;

V_{макс} – максимальная скорость быстрого наполнения;

V_{ср} – средняя скорость медленного наполнения.

Оглавление

Список использованных сокращений.....	1
ВВЕДЕНИЕ	4
Глава I ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	10
1.1. Физиологические основы формирования аэробных возможностей организма спортсменов	10
1.2. Физиологические перестройки сердечно-сосудистой системы при спортивной тренировке.....	17
1.3. Морфофункциональные перестройки скелетной мускулатуры у спортсменов.....	21
1.4. Биомеханические предпосылки тренировки дыхательной системы спортсменов	24
1.5. Опыт и перспективы использования метода биоуправления в спортивной тренировке	26
ГЛАВА II МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ	32
2.1 Объект исследования	32
2.2 Методы исследования	32
2.2.1 Спирометрия	32
2.2.2 Велоэргометрия (субмаксимальный тест Валунда-Шестранда)	35
2.2.3 Реовазография	38
2.2.4 Электроэнцефалография	42
2.2.5 Электромиография.....	47
2.2.6 Метод капнографического тренинга с биологической обратной связью.....	51
2.2.7 Методика количественного определения лактата в крови	57
2.2.8 Статистическая обработка результатов	58
ГЛАВА 3 РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ	59
3.1 Физиологическая реакция организма спортсменов на физическую нагрузку	59
3.1.1 Реакции сердечно-сосудистой системы спортсменов на нагрузку.....	59
3.1.2 Реакции дыхательной системы спортсменов на нагрузку.....	61
3.1.3 Электромиографические показатели работы дыхательных мышц у спортсменов.....	70
3.1.4 Изменение концентрации лактата в капиллярной крови спортсменов после нагрузки	79
3.1.5 Изменение гемодинамики нижних конечностей у спортсменов после нагрузки	80
3.2 Физиологическая реакция организма спортсмена на физическую нагрузку после капнографического тренинга с биологической обратной связью	83
3.2.2 Реакции дыхательной системы спортсменов на нагрузку после капнографического БОС-тренинга.....	84
3.2.2 Изменение гемодинамики нижних конечностей у спортсменов при физической нагрузке после капнографического тренинга с биологической обратной связью.....	88
3.2.3 Оценка функциональной активности коры головного мозга при капнографической тренировке с биологической обратной связью у спортсменов	94
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	98
ВЫВОДЫ	101
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	102

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования

Важнейшим функциональным свойством, определяющим толерантность организма к интенсивным физическим нагрузкам, является способность к адекватному обеспечению потребности тканей в кислороде. Ведущую роль при этом играет функциональное состояние кардиореспираторной системы.

Регулярные физические нагрузки стимулируют соответствующие адаптационные перестройки в организме. Поэтому проблеме адаптации кардиореспираторной системы спортсменов к физическим нагрузкам посвящены многочисленные работы. В то же время больше внимания исследователи уделяют выявлению морфофункциональных особенностей организма спортсменов. Исследования характера краткосрочных реакций кардиореспираторной системы на пиковые нагрузки преимущественно нацелены на изучение системных перестроек со стороны регуляторных систем и центральной гемодинамики [25, 85]. Однако регионарные особенности гемодинамики так же могут играть значительную роль в процессах адаптации у спортсменов.

У спортсменов высокой квалификации сформированы различные адаптационные механизмы, позволяющие увеличивать специальную и общую выносливость, но при этом нарушаются функции некоторых систем, в частности, функция внешнего дыхания, что ведет к снижению спортивных результатов [31, 54].

Регулярные физические тренировки связаны с необходимостью выполнения напряженной мышечной работы, резко повышающей кислородный запрос и приводящей к возникновению тканевой гипоксии, имеющей обратимый характер и сменяющейся значительным усилением аэробного обмена при прекращении работы или при снижении ее интенсивности. К возникновению гипоксии регионарного характера приводят также необходимость поддержания фиксированных поз, затрудняющих кровотоки и дыхание, и зна-

чительные эмоциональные напряжения, сопровождающиеся выбросом катехоламинов в кровь и увеличением метаболической потребности тканей в кислороде [95, 96].

Это послужило основанием для внедрения в практику подготовки квалифицированных спортсменов специальной гипоксической подготовки [Нудельман Л.М., 2006, Ушаков И.Б., Черняков И.Н., Шишов А. А., Оленев Н.И., 2003, Monahan KD, Dinunno FA, Tanaka H, и др., 2000]. В то же время гипоксическая тренировка требует сложного технического оснащения и доступна не всем спортсменам. Имеются данные о негативных последствиях ее применения, и хотя не все авторы с этим согласны, использование некоторых ее видов приравнено к допинговым средствам и запрещено на соревновательном этапе [83, 87]

В последние годы, в физиологии и медицине, все более широкое распространение получают тренировки с биологической обратной связью, основанные на визуализации интегральных параметров функционирования различных систем (кардиоритм, ЭЭГ и др.) и формирования у человека навыков саморегуляции данных параметров (БОС, или биоуправление, в зарубежной литературе известное как biofeedback) [72, 75, 82, 88, 94].

В этой связи, представляет интерес возможность использования в качестве обучающего параметра содержания CO_2 в выдыхаемом воздухе. Формирование у спортсменов навыков управления ритмом и глубиной дыхания с целью оптимизации содержания углекислого газа в выдыхаемом воздухе может явиться адекватной заменой методам интервальной гипоксической тренировки. Однако разработка тренировочных режимов должна осуществляться на физиологически обоснованных принципах, в частности – с учетом функционального состояния центральной нервной системы [40].

Степень разработанности темы исследования

В современной литературе много внимания уделяется проблемам вегетативного обеспечения спортивной деятельности, разработке новых методов повышения работоспособности спортсменов на основе адаптации вегето-

сосудистой системы. В то же время мишенью адаптогенных воздействий авторы выбирают преимущественно сердечно-сосудистую систему. Методы биоуправления так же ориентированы на показатели кровообращения (ЧСС, кардиоритм, артериальное давление и др.). Работ, посвященных адаптации системы внешнего дыхания, гораздо меньше, и связаны они преимущественно с изменением состава дыхательной смеси (гипоксические, гиперкапнические и гипероксические воздействия). Мы не встретили в доступной литературе работ, посвященных применению биоуправления на основе состава выдыхаемого воздуха в спортивной тренировке.

Цель: изучить особенности физиологической адаптации системы внешнего дыхания и регионарного кровотока у спортсменов к интенсивным физическим нагрузкам и оценить влияние на эти процессы капнографического БОС-тренинга.

Задачи:

1. Изучить особенности реакции респираторной системы спортсменов на физическую нагрузку.
2. Изучить особенности реакции регионарной гемодинамики спортсменов на физическую нагрузку.
3. Оценить влияние капнографического тренинга с биологической обратной связью на толерантность к физической нагрузке и характеристики физиологической адаптации.
4. Оценить функциональную активность коры головного мозга при капнографической тренировке с биологической обратной связью у спортсменов.

Научная новизна

Показано, что после физической нагрузки у спортсменов наблюдается снижение скорости воздушного потока на уровне крупных бронхов, что компенсируется увеличением бронхиальной проходимости на уровне средних и мелких бронхов и усилением биоэлектрической активности дыхательных мышц. У нетренированных лиц бронхоспастических реакций при физической

нагрузке не выявлено, скорость воздушного потока возрастает на всех уровнях бронхиального дерева.

Впервые показано, что реакция со стороны регионарного кровотока на физическую нагрузку у спортсменов дифференцирована – она проявляется преимущественно в тех группах мышц, которые вовлечены в выполняемую работу; тогда как у нетренированных лиц, напротив, усиление кровотока происходит во всей конечности в целом.

Впервые показано, что капнографический тренинг с биологической обратной связью у спортсменов способствует приросту физической работоспособности, снижению содержания CO_2 в выдыхаемом воздухе и изменениям в реакции физиологических систем на нагрузку - увеличению скорости воздушного потока на всех уровнях бронхиального дерева и улучшению венозного оттока в нижних конечностях.

Впервые показано, что курс капнографического БОС-тренинга способствует активации коры головного мозга, что проявляется в усилении спектральной мощности всех диапазонов и увеличении межполушарной асимметрии.

Теоретическая и практическая значимость работы

Полученные результаты раскрывают целый ряд важных физиологических закономерностей, лежащих в основе адаптации системы дыхания и периферической гемодинамики спортсменов к интенсивным физическим нагрузкам. В то же время, они могут послужить основой для разработки новых, физиологически обоснованных методов тренировки. Использование капнографического тренинга с биологической обратной связью в системе тренировки спортсменов в циклических видах спорта позволяет добиться повышения спортивных результатов.

Результаты диссертации внедрены в учебно-тренировочный процесс на факультете физической культуры Томского государственного университета, на кафедре спортивных дисциплин Томского политехнического университета, на кафедре физического воспитания и спорта Томского университета

систем управления и радиоэлектроники. Результаты используются при преподавании раздела «Клиническая биофизика и функциональная диагностика» на кафедре биофизики и функциональной диагностики Сибирского государственного медицинского университета.

Методология и методы исследования

Методология настоящего исследования основана на теории функциональных систем П.К.Анохина и на концепции взаимосвязи основных положений теории адаптации и теории и методики спортивной подготовки. В работе использовался комплекс физиологических методов: пневмотахография, реография, электромиография, электроэнцефалография, велоэргометрический тест, определение содержания лактата в крови.

Положения, выносимые на защиту

1. Адаптация кардиореспираторной системы спортсменов проявляется в особенностях реакции на физическую нагрузку. После физической работы отмечается снижение скорости воздушного потока на уровне крупных бронхов, что компенсируется увеличением бронхиальной проходимости на уровне средних и мелких бронхов. У тренированных лиц в большей степени выражена мобилизация симпатического звена регуляции. Реакция со стороны регионарного кровотока у спортсменов дифференцирована – она проявляется преимущественно в тех группах мышц, которые вовлечены в выполняемую работу.

2. После капнографического тренинга с биологической обратной связью у спортсменов наблюдается прирост работоспособности, сопровождающийся снижением содержания CO_2 в выдыхаемом воздухе и перестройкой реакции физиологических систем на нагрузку - увеличение скорости воздушного потока отмечается на всех уровнях бронхиального дерева, улучшается венозный отток. Одновременно курс капнографического БОС-тренинга сопровождается активацией коры головного мозга, что проявляется в усилении спектральной мощности альфа и дельта-1 диапазонов и увеличении межполушарной асимметрии.

Степень достоверности и апробации результатов

Основные результаты диссертации обсуждены на всероссийских и международных конференциях: XII Всероссийская научно-практическая конференция «Инновационные преобразования в сфере физической культуры, спорта и туризма: научные труды XV-я юбилейная международная научно-практической конгресс-конференция.» – Ростов–на–Дону 2012 г.; VII Сибирский съезд физиологов – Красноярск 2012 г.; VI Всероссийская научно-практическая конференция памяти В.С. Пирусского «Физическая культура, здравоохранение и образование» – Томск 2012 г.; межрегиональная научно-практическая конференция «Физическая культура и спорт на современном этапе: проблемы, поиски решений» – Томск 2011, 2012, 2013 гг.; Международный научный симпозиум «Общество и непрерывное благополучие человека» – Томск 2014 г.

По теме диссертации опубликовано 12 печатных работ, из них 8 – в журналах, рекомендованных ВАК РФ.

Достоверность полученных результатов определяется высоким методическим уровнем исследования, использованием современных методов и сертифицированного оборудования, корректным формированием исследуемых групп и использованием методов статистического анализа.

Глава I ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Физиологические основы формирования аэробных возможностей организма спортсменов

Аэробная тренировка прежде всего, направлена на развитие сердечно-сосудистой и дыхательной систем. Высокий уровень аэробных возможностей человека является физиологической основой общей выносливости, т.е. способности выполнять работу за счет энергии окислительных реакций. Поэтому в видах спорта, требующих проявления большой выносливости, спортсмены должны обладать большими аэробными возможностями [73, 76, 84, 22].

Аэробные возможности зависят от аэробной мощности, которая определяется абсолютной и относительной величиной максимального потребления кислорода (МПК) и способностью длительно поддерживать высокую скорость потребления кислорода, т.е. большой аэробной емкостью.

С другой стороны, выносливость тесно связана с уровнем развития механизмов энергетического обеспечения [35, 98]. Основным источником энергии для мышечного сокращения является АТФ (аденозинтрифосфорная кислота). Это соединение в живом организме существует миллисекунды, и запасы его невелики, поэтому существуют механизмы его восполнения. Следует подчеркнуть, что интенсивные тренировки не увеличивают запасов АТФ, а влияют на механизм ее распада и восстановления [76, 78].

Существует три пути ресинтеза АТФ. Алактатная анаэробная производительность или креатиновый путь, это самый быстрый путь выделения АТФ. Этот механизм не требует кислорода и не дает побочных продуктов распада. Однако он не обеспечивает больших запасов АТФ, выработанной АТФ хватает на 30 секунд работы мышц. Алактатный анаэробный механизм отличается наибольшей подвижностью. Максимальной интенсивности он может достичь уже через 2 сек. после начала интенсивной мышечной работы. Для алактатного анаэробного механизма характерна и наивысшая мощность, значительно превосходящая мощность других процессов энергообеспечения.

Гликолитическая анаэробная производительность или лактатный путь протекают в бескислородных условиях. Расходуется запас гликогена в мышцах и печени. Лактатный путь неэкономичный, он ведет к накоплению молочной кислоты в организме и сдвигу рН в кислую сторону. Но этот путь является основным при выполнении силовой и скоростно-силовой нагрузки в течение не продолжительного временного отрезка. Выработанного количества АТФ хватает на две-три минуты работы, а иногда и на большее время. Кроме того с ростом тренированности заметно увеличивается запас гликогена в мышцах [107]. Метаболическая емкость лактатного пути невысока, ее хватает лишь на выполнение работы с максимальной интенсивностью в течение 6 – 7 сек [13, 22, 84, 90, 107].

Лактатный анаэробный механизм значительно уступает алактатному, его максимальная мощность примерно в два раза ниже по сравнению с алактатным процессом. Максимальная интенсивность лактатного механизма достигается через 20 – 30 секунд от начала работы. Однако, этот механизм значительно превосходит алактатный по своей метаболической емкости, у тренированного спортсмена при напряженной мышечной работе он обеспечивает энергией в течение 40 сек. и более [107].

Основным механизмом энергообеспечения организма является аэробная производительность. Этот путь непрерывно функционирует на протяжении всей жизни. Скелетные мышцы при определенных условиях (например, при напряженной мышечной работе) способны обеспечить себя энергией за счет анаэробных процессов, но такие органы, как мозг, сердце и некоторые другие, получают энергию исключительно за счет аэробных процессов. В отличие от анаэробной деятельности аэробный механизм не ведет к накоплению в организме промежуточных продуктов обмена. Максимальная мощность аэробного процесса значительно ниже анаэробного. Но метаболической емкости аэробного процесса значительно выше [13, 22, 32, 76, 90].

Главный недостаток аэробного процесса это низкая подвижность и сравнительно невысокая мощность. Мощность аэробного процесса зависит

от возможности систем, которые обеспечивают поступление в организм кислорода и его транспортировку к работающим мышцам. У хорошо тренированных спортсменов, при условии выполнения разминки, поступление в организм кислорода и, следовательно, мощность аэробного процесса достигают своего максимума через 40 – 60 секунд работы.

Таким образом, три основных механизма энергообеспечения предполагают три компонента выносливости: алактатный анаэробный, лактатный анаэробный, аэробный, каждый из которых определяет уровень развития соответствующего механизма энергообеспечения [36, 61, 66, 73].

Для развития аэробной выносливости необходимо повышение эффективности дыхания, которая обеспечивается разносторонними перестройками в дыхательной системе [36, 57, 63, 73].

Поэтому, в результате тренировки аэробной выносливости, возможности дыхательной системы спортсменов выше. Легочную вентиляцию на уровне 80% от МПВ бегуны-стайеры могут поддерживать в среднем 11 минут, а нетренированные могут 3 минут [54]. Это объясняется, прежде всего, высокой степенью развития дыхательной мускулатуры (силы и выносливости дыхательных мышц).

При равноценной работе легочной вентиляции частота дыхания у спортсменов ниже, чем у нетренированных людей. Следовательно, увеличение легочной вентиляции у спортсменов, в основном, происходит за счет увеличения дыхательного объема (глубины дыхания), а не за счет частоты дыхания [89, 94].

Поэтому в результате тренировки аэробной выносливости происходит увеличение легочного объема, повышается сила и выносливость дыхательной мускулатуры, увеличивается растяжимость грудной клетки и легких и снижается сопротивление току воздуха в воздухоносных путях. Увеличение дыхательного объема способствует уменьшению объема "мертвого" пространства.

Таким образом, главным результатом тренировки выносливости в отношении функций внешнего дыхания является повышение эффективности легочной вентиляции.

Увеличение легочной вентиляции, особенно при нагрузках максимальной мощности, является причиной роста кислородной стоимости дыхания.

Однако, в отличие от нетренированного человека дыхательные мышцы спортсменов затрачивают кислорода меньше, чем работающие скелетные мышцы. Следует отметить, что кислородная стоимость механической работы дыхательных мышц при одинаковом уровне легочной вентиляции у тренированных и нетренированных лиц одинакова.

Особенно важно, для тренирующихся уровень МПК и анаэробного порога. У нетренированного человека анаэробный порог вентиляции соответствует мощности нагрузки 50- 60% МПК, а у высоко тренированного на выносливость спортсмена - 80-85% МПК [54].

Известно, что потребление кислорода возможно только до определенного предела, который зависит от функционального состояния кардиореспираторной системы. Важным показателем развития этой системы является величина максимального потребления кислорода (МПК). МПК (или "кислородный потолок") - наибольшее количество кислорода, которое организм в состоянии потребить во время интенсивной мышечной работы. Эта величина является показателем аэробной производительности. Величина МПК зависит от взаимодействия многих систем организма и в первую очередь от систем дыхания и кровообращения [54, 97]. Поэтому МПК является наиболее интегральным показателем, характеризующим способность организма при максимальном напряжении удовлетворять потребность тканей в кислороде, и выступает в качестве одного из наиболее важных количественных показателей тренированности [57, 83, 84].

МПК отражает способность организма поглощать, транспортировать и утилизировать кислород, необходимый для энергообеспечения работающих

мышц. Соответственно чем выше МПК, тем больше энергии мышцы получают и тем выше их работоспособность.

Анаэробный (или лактатный) порог отражает уровень тренированности организма и взаимоотношение аэробного и анаэробного пути энергообеспечения физической нагрузки, а также между величиной ЧСС и интенсивностью физической нагрузки. Чем выше анаэробный порог, тем выше тренированность спортсмена, он имеет более развитую аэробную систему энергообеспечения, мощность которой может достигать 80 - 90% от МПК. Достижение анаэробного порога наступает на более высоком уровне ЧСС. С биохимических позиций анаэробный порог соответствует повышению уровня лактата в крови до 4 ммоль/л. Эта концентрация лактата рассматривается как граница аэробного и анаэробного пути энергообеспечения физической нагрузки.

В результате тренировки выносливости происходит снижение концентрации лактата в крови при выполнении аэробной нагрузки не максимальной мощности, снижается чувствительность дыхательного центра к действию CO_2 .

Концентрация лактата в крови во время мышечной работы зависит от трех основных факторов: возможности кислородтранспортной системы удовлетворять потребности работающих мышц в кислороде, аэробной и анаэробной возможности энергопродукции мышц и способности организма утилизировать молочную кислоту, поступающую из работающих мышц в кровь.

Об эффективности тренировки говорит снижение уровня лактата на разных этапах тренировочного процесса при выполнении стандартной нагрузки. Так же при высоком уровне тренированности значительное увеличение концентрации лактата происходит в ответ на выполнение максимальной работы.

Снижение содержания лактата у одного и того же спортсмена при выполнении стандартной нагрузки на разных этапах тренировочного процесса свидетельствует об эффективности тренировки, а повышение — об ухудше-

нии ее. Значительная концентрация молочной кислоты в крови после выполнения максимальной работы говорит о более высоком уровне тренированности при хорошем спортивном результате или о высокой метаболической емкости гликолиза, большей устойчивости его ферментов к смещению рН в кислую сторону. Таким образом, изменение концентрации молочной кислоты в крови при выполнении определенной физической нагрузки связано с уровнем тренированности спортсмена.

При увеличении мощности физической нагрузки, содержание лактата в крови может увеличиваться у нетренированных людей до 5-6 ммоль/л, у тренированных - до 20 ммоль/л и более. В аэробной зоне физических нагрузок лактат составляет 2-4 ммоль/л, в смешанной – 4-10 ммоль/л, в анаэробной — более 10 ммоль/л. Условной границей анаэробного обмена считается уровень лактата 4 ммоль/л и обозначается как порог анаэробного обмена (ПАНО), или лактатный порог (ЛП) [35, 83,].

Зависимое от лактата образование АТФ очень незначительно, но имеет большую скорость. Это обстоятельство делает идеальным его использование в качестве топлива, когда нагрузка превышает 50% от максимальной. При отдыхе и умеренной нагрузке организм предпочитает расщеплять жиры для получения энергии. При нагрузках в 50 % от максимума (порог интенсивности для большинства тренировочных программ) организм перестраивается преимущественное на потребление углеводов. Чем больше углеводов используется в качестве топлива, тем больше производство молочной кислоты.

Таким образом, при тренировке выносливости, с одной стороны снижается легочная вентиляция при стандартных не максимальных аэробных нагрузках, а с другой - повышается максимальная рабочая гипервентиляция (при выполнении максимальной, аэробной работы). У спортсменов максимальная рабочая гипервентиляция обычно составляет 180 л/мин., у нетренированных людей - около 120 л/мин. "Химический" механизм повышения максимальной рабочей гипервентиляции у спортсменов служат усиленное образование CO_2 (равное или почти равное очень высокой скорости потреб-

ления кислорода), а также высокая концентрация лактата и ионов водорода в артериальной крови при выполнении нагрузки максимальной аэробной мощности. При развитии аэробной выносливости происходят изменения и диффузионной способности легких. У спортсменов в покое и при мышечной работе диффузионная способность легких выше, чем у нетренированных. Например, у бегунов-марафонцев она в покое почти такая же, как у нетренированного мужчины при максимальной работе [54].

У спортсменов, при условии максимальной физической нагрузки, в несколько раз увеличивается диффузионная способность легких, по сравнению с состоянием покоя. Главным образом, это связано с тем, что в покое во многих легочных капиллярах кровотоков ниже или даже практически отсутствует. Максимальная мышечная нагрузка увеличивает легочной кровотоков, а следовательно, усиливается максимальная скорость перфузии всех легочных капилляров, что обеспечивает гораздо большую площадь поверхности для газообмена. Поэтому, спортсмены с высокой минутной потребностью в кислороде имеют более высокую диффузионную способность [54, 107].

Эффективность обмена кислорода в легких отражает парциальное напряжение O_2 в артериальной крови (P_aO_2). В состоянии покоя оно практически одинаково у тренированных и нетренированных и колеблется у здоровых людей до 40 лет в пределах 85-105 мм рт. ст. (чаще всего 95-98 мм рт. ст.) [35,55,59].

При субмаксимальной и более легкой аэробной работе P_aO_2 практически не отличается от условий покоя. Лишь околомаксимальная и максимальная аэробная работа несколько снижает P_aO_2 : у нетренированных людей обычно не более чем на 5-10 мм рт.ст., а у высоко тренированных спортсменов с высоким МПК на 10-15 мм рт. ст. [55,59].

Такое снижение P_aO_2 у спортсменов происходит из-за несоответствия вентиляционной и перфузионной возможности крови в легких, а также из-за высокой скорости движения крови через альвеолярные капилляры. В условиях максимальной аэробной работы у спортсменов происходит прямой сброс

некоторого объема венозной крови прямо в артериальные сосуды и полости сердца, минуя альвеолярные капилляры, т.е. имеет место так называемый «вклад венозного шунта», у спортсменов он выше, чем у нетренированных [35,18].

В целом система внешнего дыхания спортсменов способна поддерживать напряжение кислорода в артериальной крови, на необходимом уровне для эффективного снабжения кислородом работающие мышцы и другие активные органы и ткани [18,54].

Таким образом, главный результат тренировки аэробной выносливости в отношении системы внешнего дыхания достигается [54]:

- увеличением (на 10-20 %) легочных объемов и емкостей (ЖЕЛ достигает 6-8 л и более),
- нарастанием глубины дыхания (до 50-55% ЖЕЛ),
- увеличением диффузионной способности легких, что обусловлено увеличением альвеолярной поверхности и объема крови в легких, протекающей через расширяющуюся сеть капилляров,
- повышением мощности и эффективности (экономичности) внешнего дыхания, увеличением силы и выносливости дыхательных мышц, что приводит к росту объема вдыхаемого воздуха по отношению к функциональной остаточной емкости легких (остаточному объему и резервному объему выдоха). Все эти изменения способствуют также экономизации дыхания: большему поступлению кислорода в кровь при меньших величинах легочной вентиляции. Повышение возможности более выгодной работы за счет аэробных источников энергии позволяет спортсмену дольше не переходить к энергетически менее выгодному использованию анаэробных источников, т. е. повышает вентиляционный порог анаэробного обмена (ПАНО).

1.2. Физиологические перестройки сердечно-сосудистой системы при спортивной тренировке

У нетренированного человека скорость потребления кислорода зависит от кислородтранспортных и циркуляторных возможностей организма. Эти

возможности, прежде всего, определяются способностью сердца прокачивать большее количество крови по сосудам и тем самым обеспечить высокую объемную скорость кровотока через легкие и работающие мышцы [35, 84, 94].

Скорость потребления кислорода спортсменами и нетренированными в состоянии покоя не отличаются. Однако, при одинаковом сердечном выбросе у спортсменов, тренирующихся на выносливость, ЧСС на 10-20 уд/мин ниже. Брадикардия является специфическим эффектом тренировки выносливости. Степень брадикардии покоя положительно коррелирует с МПК и со спортивным результатом. Для спортсменов, тренирующих аэробную выносливость, при более низких показателях ЧСС в покое, характерны высокие показатели МПК и спортивный результат.

Снижение ЧСС повышает экономичность работы сердца, так как его энергетические запросы, кровоснабжение и потребление O_2 увеличиваются тем больше, чем выше ЧСС. Поэтому при одном и том же сердечном выбросе (как в покое, так и при мышечной работе) эффективность работы сердца у тренированных спортсменов выше, чем у нетренированных людей.

Механизмы спортивной брадикардии покоя разнообразны. Главная роль заключается в усилении парасимпатических (вагусных) тормозных влияний на сердце (повышение парасимпатического тонуса). Некоторое значение имеет ослабление возбуждающего симпатического влияния, уменьшение выделения катехоламинов (адреналина и норадреналина) из коры надпочечников и снижение чувствительности сердца к этим симпатическим медиаторам.

У высококвалифицированных спортсменов брадикардия покоя компенсируется высокой производительностью сердца, т.е. увеличением систолического объема. Чем ниже ЧСС покоя; тем больше систолический объем. Если у нетренированных людей в покое он составляет около 70 мл, то у высококвалифицированных спортсменов (с ЧСС в покое 40-45 уд/мин) - 100- 120 мл [36, 89].

В результате продолжительной интенсивной тренировки выносливости происходит увеличение объема (дилатации) полостей сердца и повышения сократительной способности миокарда.

Увеличение диастолического объема желудочка тренированного сердца, способствует повышению функциональной остаточной емкости и резервного объема крови в желудочке.

Именно резервный объем крови служит мерой функционального резерва сердца: чем этот резерв больше, тем больше систолический выброс во время мышечной работы. Максимальный сердечный выброс у спортсменов повышается исключительно за счет увеличения систолического объема. Несмотря на то, что в условиях покоя систолический объем у спортсменов больше, чем у неспортсменов, он составляет у первых менее 50%, а у вторых около 80% полного (конечно-диастолического) объема левого желудочка [47].

Существует прямая зависимость между увеличением систолического объема и максимальным сердечным выбросом, следовательно, и МПК.

У нетренированных молодых мужчин максимальный систолический объем не превышает обычно 120-130 мл, тогда как у лучших представителей видов спорта, требующих проявления выносливости, он достигает 190-210 мл.

Максимальный систолический объем тренированного сердца возможен благодаря большим размерам полостей сердца (желудочков), т. е. увеличенной конечно-диастолической и функциональной остаточной емкости желудочков, увеличенному венозному возврату крови к сердцу, за счет относительно больших общего объема циркулирующей кров, повышенной сократимости миокарда.

Таким образом, главный функциональный результат тренировки аэробной выносливости в отношении сердечно-сосудистой системы это увеличение систолического объема сердца.

С другой стороны, дилатированное сердце имеет ряд энергетических преимуществ. На фоне брадикардии дилатация позволяет повышать сердечный выброс за счет увеличения систолического объема. Это снижает энергозатраты сердца и повышает его механическую эффективность по сравнению с нетренированным сердцем, обеспечивающим такой же систолический выброс за счет более высокого уровня ЧСС.

Кроме того, удлиненные миокардиальные волокна дилатированного сердца развивают большее напряжение при меньшем укорочении, чем волокна сердца обычных размеров (механизм Франка-Старлинга). В результате, спортсмены с большим объемом полостей сердца способны поддерживать большой систолический объем даже при высоких показателях ЧСС.

Энергообеспечение клеток сердца осуществляется за счёт аэробного окисления. Для нормально функционирующего сердца, особенно во время интенсивной мышечной нагрузки, необходимы непрерывный приток кислорода и энергетических веществ (глюкозы, жирных кислот, лактат), а также выведение продуктов распада. Эти потребности удовлетворяются высокой степенью капилляризации, повышенному содержанию митохондрий и митохондриальных окислительных ферментов, повышенной скоростью доставки и утилизации O_2 .

Правильно построенная спортивная тренировка способствует улучшению капиллярного кровообращения в мышцах происходит не столько за счет расширения существующих капилляров, сколько в результате открытия и развития новых [54, 61]. Улучшение капилляризации миокарда являются основным условием обеспечения высокой работоспособности сердца спортсменов. Известно, что для высокого функционального состояния физиологического спортивного сердца его кровоснабжение должно соответствовать уровню метаболизма. Тем более что коронарный резерв сердца увеличивается больше, чем его мышечная масса [64].

Тренированное сердце обладает повышенной способностью к экстракции и утилизации продуктов распада. При одинаковой концентрации лактата

в артериальной крови сердце выносливого спортсмена экстрагирует больше лактата, чем нетренированное сердце.

С ростом тренированности спортсменов совершенствуется перераспределение кровотока, максимальная доля сердечного выброса ориентирована на работающие мышцы и органы.

Большее значение для тренированного спортсмена имеет распределение сердечного выброса в систему кожной циркуляции, что способствует усилению теплоотдачи и защищает от перегрева. Это объясняет умеренную гипотермию тренированного спортсмена, в отличие от нетренированного, при выполнении одинаковой работы.

Таким образом, главный результат тренировки аэробной выносливости в отношении сердечно-сосудистой системы, заключается в повышении производительности сердца, т. е. увеличении максимального сердечного выброса (за счет систолического объема); снижении ЧСС (брадикардии) как в условиях покоя, так и при стандартной работе; повышении эффективности (экономичности) работы сердца; более совершенном перераспределении кровотока между активными и неактивными органами и тканями тела; усилении капилляризации тренируемых мышц и других активных органов и тканей тела (в частности, сердца).

1.3. Морфофункциональные перестройки скелетной мускулатуры у спортсменов

В результате спортивной тренировки происходит рабочая гипертрофия скелетных мышц. Гипертрофия происходит не только за счет увеличения объема и веса мышц, но и за счет увеличения длины и толщины ее клеточных элементов. Однако, увеличение количества мышечных волокон не является обязательным условием гипертрофии мышц. Для спортсменов, тренирующихся на выносливость, адаптация скелетных мышц происходит, прежде всего, за счет саркоплазматической гипертрофии. Она осуществляется за счет увеличения количества саркоплазмы в мышечном волокне [73, 78, 100].

Повышенная мышечная нагрузка и гипертрофия закономерно влекут за собой усиление процессов энергообразования и синтеза белка. Активное энергообразование предполагает значительное повышение потребления кислорода на единицу массы мышечной ткани, рост окислительного фосфорилирования (аэробного ресинтеза АТФ). Возрастает запрос энергии на синтез сократительного белка. Происходит мобилизация и анаэробного пути ресинтеза АТФ за счет распада гликогена и креатин фосфата мышц. Вслед за активизацией синтеза энергообразующих структур (митохондрий) возрастает синтез белка и увеличивается масса функционирующих миофибрилл [78, 99].

Кроме того, наблюдается увеличение кровоснабжения скелетных мышц, следствием чего является рабочая гиперемия. Она создает необходимые условия для интенсивного притока крови к мышцам за счет раскрытия капилляров. А так же в процессе длительной тренировки на выносливость происходит увеличение числа капилляров в тренируемых мышцах [73].

Следует подчеркнуть, что усиленная капилляризация наблюдается только в мышцах, которые очень активны при тренировке выносливости, и отсутствует в мышцах, не принимающих активного участия в выполнении упражнений.

В покое в значительной части мышечных капилляров кровотоков очень низкий или даже отсутствует. Однако во время интенсивных сокращений все капилляры открываются. Открытие резервных, бездействующих капилляров уменьшает расстояние, которое приходится преодолевать кислороду и питательным веществам, диффундирующим из капилляров к волокнам скелетных мышц. Кроме того, в 2-3 раза увеличивается площадь поверхности капилляров, через которую происходит диффузия [22, 78, 108].

Обильная капилляризация тренируемых мышц - один из важнейших механизмов повышения их работоспособности.

У спортсменов, тренирующих выносливость, повышена и общая скорость диффузии различных веществ, в том числе и O_2 , через капиллярные

стенки, соответственно и максимальное количество O_2 , тренированные мышцы получают больше, чем нетренированные мышцы.

Таким образом, одним из основных элементов рабочей гипертрофии и гиперемии скелетных мышц является усиленный метаболизм.

Процесс адаптации затрагивает и биохимические механизмы. Происходит увеличение содержания и активности специфических ферментов аэробного (окислительного) метаболизма; увеличение содержания миоглобина (максимально в 1,5 - 2 раза); повышение содержания мышечного гликогена и липидов (максимально на 50%); усиление способности мышц окислять и углеводы, и особенно жиры [73, 22].

Тренированный человек во время аэробной работы больше энергии получает за счет окисления жиров и соответственно меньше за счет окисления углеводов, по сравнению, с нетренированными. Такой субстратный энергетический сдвиг в сторону преимущественного использования жиров обозначается как "жировой сдвиг". Использование жиров экономит ограниченные запасы углеводов. При субмаксимальных аэробных нагрузках одним из главных механизмов утомления является расход мышечного гликогена. "Жировой сдвиг" у спортсменов тренированных на выносливость позволяет экономичнее расходовать мышечный гликоген, а следовательно, повысить продолжительность выполнения упражнения. Чем выше окислительная способность мышц, тем больше "жировой сдвиг" и тем соответственно меньше расходуется (больше сохраняется) дефицитный мышечный гликоген.

Усиленное использование жирных кислот снижает потребление глюкозы рабочими мышцами и предотвращает развития у спортсменов гипогликемии, ограничивающей работоспособность.

Кроме того, уменьшение использования углеводов способствует снижению лактата в мышцах. Действительно, у хорошо тренированного спортсмена, содержание лактата в мышцах ниже, чем у нетренированного. То же самое наблюдается у одного и того же человека после периода тренировки выносливости [90, 76, 99].

Таким образом, главный результат тренировки аэробной выносливости сводится к повышению экономичности и увеличению максимальных аэробных возможностей организма.

Итак, тренировка выносливости вызывает два основных эффекта: усиление максимальной аэробной возможности организма и повышает эффективность (экономичность) деятельности организма при выполнении аэробной работы.

Эффективность адаптации максимальных аэробных возможностей организма можно оценить по увеличению МПК. Экономичность проявляется в снижении функциональных показателей (ЧСС, легочной вентиляции, температуры тела, концентрации лактата в крови и др.) при стандартной не максимальной аэробной нагрузке.

В основе положительных эффектов тренировки выносливости лежат структурно-функциональные изменения в кислородтранспортной, кислородутилизирующей и других физиологических системах, а также совершенствование центрально-нервной и нейрогуморальной (эндокринной) регуляций деятельности этих систем в процессе выполнения аэробной работы.

1.4. Биомеханические предпосылки тренировки дыхательной системы спортсменов

Во многих видах физической деятельности человека, в частности, во многих видах спорта, установлена довольно тесная взаимосвязь между дыхательными движениями и движениями тела и его звеньев. При этом нарушение данной взаимосвязи в некоторых видах спорта приводит к существенной перестройке биомеханической структуры упражнения. Характер дыхания обуславливает эффективность выполнения этих движений, во-вторых, дыхательные движения (ритм, частота и глубина) организуются в соответствии с биомеханикой самого движения.

Так, например, известно [97, 98], что наибольшее мышечное усилие развивается при задержке дыхания (натуживании), чуть меньшее - при выдо-

хе, а самая меньшая - на вдохе. Данный факт объясняет, почему во многих видах спорта спортсмены стараются сочетать выдох с силовыми фазами соревновательного движения.

Известно также, что рост интенсивности физических упражнений, особенно в циклических видах, сильно затрудняет произвольное управление дыханием. Сочетание фаз дыхания с движениями можно условно охарактеризовать как «анатомический» и «биомеханический» способы дыхания.

Анатомический способ реализуется в движениях, в которых увеличению объема грудной клетки соответствует вдох, а способствующих уменьшению грудной клетки – выдох (упражнения, входящие в комплекс утренней гимнастики, разминочные упражнения и т.д.).

Биомеханический способ реализуется в движениях, в которых выдох происходит в фазах движения, характеризующимися наибольшими силовыми проявлениями, а вдох – с фазами относительного расслабления. Биомеханический способ организации дыхания используется в видах спорта с относительно не высокой частотой движения. Чем выше частота движения, тем труднее реализовать этот способ дыхания.

При дыхании следует акцентировать выдох, а не вдох. В этом случае поступающий в легкие воздух из атмосферы смешивается в легких с меньшим количеством остаточного воздуха, в котором содержание кислорода значительно ниже, а содержание углекислого газа значительно выше, чем во вдыхаемом воздухе.

По мере роста интенсивности выполнения упражнения частота дыхания растет, а глубина дыхания уменьшается. По-видимому, это связано с тем, что главенствующую роль в управлении дыханием начинают играть «сигналы» от задействованных в упражнении мышц, а не произвольное управление. В то же время глубина дыхания практически напрямую связана с активностью дыхательных мышц. Так, при глубине дыхания в 30 - 40% от ЖЕЛ, задействованы диафрагма, внутренние и наружные межреберные мышцы. При глубине дыхания 40 - 65% ЖЕЛ включаются большие грудные, грудино-

ключечно-сосцевидные, лестничные и зубчатые мышцы, а при глубине дыхания свыше 65% ЖЕЛ включаются практически все мышцы пояса верхних конечностей и брюшного пресса. Эти данные могут рассматриваться как руководство к действию при выборе тренировочных средств для тренировки дыхательных мышц дыхательной системы спортсменов и физкультурников.

При этом более эффективно развиваются практически все жизненно важные функциональные системы человека, а дыхательные мышцы совершенствуются без изменения кинематической и динамической структур выполняемого движения. Последнее обстоятельство чрезвычайно важно для спорта.

Известно, что не тренированные дыхательные мышцы могут «воровать» до 70 процентов вдыхаемого кислорода у мышц, задействованных в двигательном акте, снижая эффективность его выполнения и эффективность действия основных функциональных систем организма. Так, появление «отдышки» с повышением частоты сердечных сокращений и значительным увеличением артериального давления при выполнении физических упражнений, связано именно со снижением уровня развития дыхательных мышц [45, 74, 98].

Целенаправленная тренировка дыхательных мышц необходима и спортсменам и физкультурникам и простым обывателям. Эффективность действия дыхательной системы в значительной степени зависит от уровня развития дыхательных мышц. Поэтому совершенствование дыхательных мышц является одной из главных задач построения тренировочного процесса [0, 74, 87Ошибка! Источник ссылки не найден.].

1.5. Опыт и перспективы использования метода биоуправления в спортивной тренировке

Основная задача процедуры биоуправления (БУ) – обучить человека управлять своими физиологическими реакциями двух типов: а) реакциями, которые неподвластны произвольному контролю, и/или б) реакциями, которые регулируются произвольно, но этот процесс нарушен в результате забо-

левания или травмы. Широкое применение методов БОС стало возможным с развитием компьютерной техники, позволяющей регистрировать и анализировать физиологические сигналы в режиме реального времени. Чаще всего, регистрируются такие физиологические показатели как, кровяное давление, частота сердечных сокращений, мышечная активность, температура, частота дыхательного цикла, электрическое сопротивление кожи, суммарная электрическая активность головного мозга (электроэнцефалограмма) [16, 75, 88, 91, 93, 103].

Биологическая обратная связь (БОС) - это метод, при котором человек учится с помощью аппаратуры управлять функциями организма, обычно не поддающимися сознательному контролю [83, 92].

В самом названии метода БОС заложен его основной принцип. Именно обратная связь, которая поступает от нашего организма, обеспечивает возможность научиться чему-то новому – будь то какой-либо навык или способ поведения.

Суть методики БОС состоит в следующем: для того, чтобы научиться управлять каким-либо физиологическим процессом в организме (например, частотой пульса), человеку необходимо в реальном времени наблюдать малейшие изменения управляемой функции (например, пульс становится чуть быстрее и чуть медленнее). Одновременно с этим человек пытается повлиять на процесс, наблюдая на экране монитора результаты этих попыток. Постепенно обучаясь саморегуляции, человек обнаруживает и запоминает те внутренние усилия, которые ведут к изменению нужного параметра в выбранном направлении и постепенно обретает способность управлять своими состояниями и параметрами организма [33, 34, 37, 83, 92].

В настоящее время широко используются методы БОС-тренинга при лечении нервно-мышечных заболеваний, последствия травм и параличей.

Высока эффективность биоуправления при лечении стресса: посттравматические стрессовые расстройства, респираторные, сердечно-сосудистые заболевания, тревога, фобия, гиперактивность и дефицит внимания, абсти-

ненция, алкоголизм. Доказано, что метод БОС эффективен при лечении психосоматических заболеваний и пограничных состояний. Более того, существует мнение, что больные неврозами лучше управляют своими функциями в БОС-тренировках, чем здоровые люди [8, 23, 75].

БОС-тренинг может использоваться не только в терапевтических целях, но и в качестве профилактического средства: для приобретения навыков купирования стресса, повышения адаптационных возможностей организма, для спортивных тренировок [8, 9, 10,]. Таким образом, адаптивное биоуправление находит практическое применение в медицине, в системе образования, спорте, военном деле, авиации, политике, на производстве.

Внедрение метода БОС в тренировочный процесс спортсменов доказало свою эффективность. БОС позволяет спортсмену повысить чувствительность своих ощущений, точность самооценки уровня и динамики физиологических сдвигов, улучшить мышечное восприятие, моторную память и координацию движений. Метод БОС используется при обучении различным приемам саморегулирующей тренировки, приемам релаксации, реабилитации после травм [29, 33, 34, 38].

Имеются специализированные БОС-процедуры с применением моделей стрессогенных воздействий, направленные на умение контролировать собственные эмоции на соматическое напряжение, соответственно они используются в качестве антистрессовой терапии и обучения навыкам стрессоустойчивости [49, 104, 101].

На сегодняшний день, методы БОС-тренинга нашли широкое применение в спорте [33, 38, 91, 103]:

- Формирование психических качеств и навыков, способных обеспечить достижение пика спортивного мастерства при одновременном повышении качества психосоматического здоровья спортсмена. Обучение происходит за счёт усиления важнейших психофизиологических функций спортсмена с помощью различных видов ЭЭГ-БОС-тренинга (ментального тренинга).

- Ускорение и повышение качества технической подготовки (тренировка и разучивание новых элементов движений, исправление ошибок, формирование оптимальных двигательных стереотипов и т.п.).
- Освоение способности вызывать оптимальное функциональное состояние перед стартом, во время тренировок.
- Ускорение и повышение качества процессов восстановления после соревновательных и тренировочных (интенсивных) нагрузок.
- Развитие специальных навыков (скорость реакции, выносливость и т.п.).

С другой стороны, технологии БОС представляют собой эффективный психофизиологический инструмент в процессе максимального раскрытия всех творческих возможностей спортсмена, формирования его «спортивного интеллекта». В этом контексте БОС - это единственная тренировочная технология, позволяющая превратить спортсмена из пассивного объекта для внешних воздействий со стороны тренеров в активного участника образовательно-воспитательного, тестового, тренировочного или лечебно-восстановительного процессов. Такая трансформация спортсмена из «объекта» для воздействий в «субъект» деятельности заметно ускоряет процесс обучения, повышает эффективность тренировок и результативность выступлений на соревнованиях. Важно подчеркнуть, что применение методов БУ ни в коем случае не сводит тренировочный процесс к «сидению» за БОС-тренажерами и не заменяет работу тренеров как источников профессиональных знаний и воспитателей. Методы БОС – это просто еще один эффективный (а не «чудесный») инструмент в системе подготовки спортсменов. И только [7, 11, 23].

Для любого тренировочного процесса крайне важным является мотивация спортсмена на достижение успеха. Однако, для сеансов БОС она не является критически важным исходным условием, поскольку, сама процедура БОС приводит к формированию у спортсмена «веры в себя» и, как следствие, высокой мотивации к достижению нужных результатов [2, 88, 91, 92, 102].

Кроме того, в течение нескольких последних 10-летий активно обсуждается вопрос о перспективности подготовки спортсменов в среднегорье. Многие сборные и клубные команды проводили тренировочные сборы подготовительного периода в среднегорье. Руководствуясь тем, что пребывание в таких условиях (примерная высота 2000 м) создает значительные трудности для нормального функционирования различных систем организма, т.к. парциальное содержание кислорода на этой высоте меньше, чем на уровне моря.

Поэтому при выполнении тренировочных заданий разница между кислородным запросом организма и реальной возможностью становится более значительной. Вегетативные системы обслуживания вынуждены работать с дополнительным напряжением, чтобы компенсировать недостаток кислорода в воздухе. Такая компенсация касается не только тренировки. В свободное от тренировок время кислорода также не хватает. Это постоянное дополнительное напряжение систем аэробного обеспечения расширяет их возможности, и поэтому происходит устойчивое повышение резервного потенциала организма [39,97,87].

Научные доказательства такого повышения потенциала в литературе есть. В середине 80-х годов И. Илиев опубликовал информацию о том, что в январе 1983 г. двадцать ведущих гребцов Болгарии тренировались в Бельмекене (2045 м), а тринадцать - в Созопуле (на уровне моря). Примерно такие же данные были получены с бегунами высокой квалификации и футболистами [39].

Таким образом, в настоящее время, в спортивной медицине разрабатываются различные варианты дыхательных тренировок для повышения физической выносливости и восстановления резервов организма после тренировок [87, 1].

Дыхание является наиболее важной функцией организма, оно обеспечивает поддержание оптимального уровня окислительно-восстановительных процессов в клетках. Капнометрия является одним из важных источников динамической информации о безопасности и эффективности дыхательных

тренировок . Применение капнометрии, в качестве биологической обратной связи, предоставляет возможность наработать навыки по саморегулированию дыхания. Здесь используются те обстоятельства, что, во-первых, дыхание является единственной функцией, доступной произвольному управлению в широких пределах, и, во-вторых, дыхательная система занимает ключевое положение среди основных гомеостатических структур организма.

Углекислый газ, влияет на обмен веществ в клетке, на состояние гладкой мускулатуры внутренних органов и сосудов, нервной системы, на кислотно-щелочное равновесие (баланс) в организме, на процесс отделения кислорода от гемоглобина во время прохождения крови через капилляры. Более того, организм человека активно реагирует на повышения углекислого газа в крови, возбуждаются специальные нервные клетки — гиперкапнические хеморецепторы. При снижении содержания углекислого газа в крови подобной реакции не отмечается, так как у человека нет хеморецепторов, которые реагируют на снижение уровня CO_2 . То есть наш организм не реагирует на снижение углекислого газа.

Во время длительных задержек дыхания происходит накопление углекислого газа в крови и тренируются нейроны дыхательного центра. Они, таким образом, приучаются к определенной концентрации углекислого газа в крови. Поэтому необходимы определенные дыхательные тренировки, которые поддерживают достаточное содержание углекислого газа в крови и в тканях.

ГЛАВА II МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

2.1 Объект исследования

В исследовании принимали участие 120 мужчин в возрасте от 18 до 20 лет. 60 человек, регулярно тренирующихся в циклических видах спорта и имеющих звание кандидата или мастера спорта, составили основную группу (группу спортсменов). Группу контроля (ОФП) составили 60 юношей, не занимающиеся профессиональным спортом и не имеющие спортивных разрядов. Все обследованные относились к основной медицинской группе, не имели хронических заболеваний.

2.2 Методы исследования

Исследования проводились на базе научно-исследовательской лаборатории «Спортивной физиологии и медико-биологического контроля» (СФиМБК) Кафедры спортивных дисциплин ИСГТ ТПУ.

В ходе исследования были использованы методы спирометрии и велоэргометрии (субмаксимальный тест Валунда-Шестранда) на аппаратно-программном комплексе «Валента», реовазографии, электроэнцефалографии, электромиографии, капнографического тренинга с биологической обратной связью, количественного определения лактата в крови.

2.2.1 Спирометрия

Исследование функций внешнего дыхания проводилось на аппаратно-программном комплексе «Валента» ООО «Компания Нео», для проведения исследований функциональной диагностики (Рисунок 2.1).

Конструкция трубки обеспечивает высокую стабильность измерений объемных и скоростных показателей. Это достигается отсутствием в датчике элементов, изменяющих свои характеристики в процессе эксплуатации (сеток, нагревательных элементов, эластичных воздухопроводов).

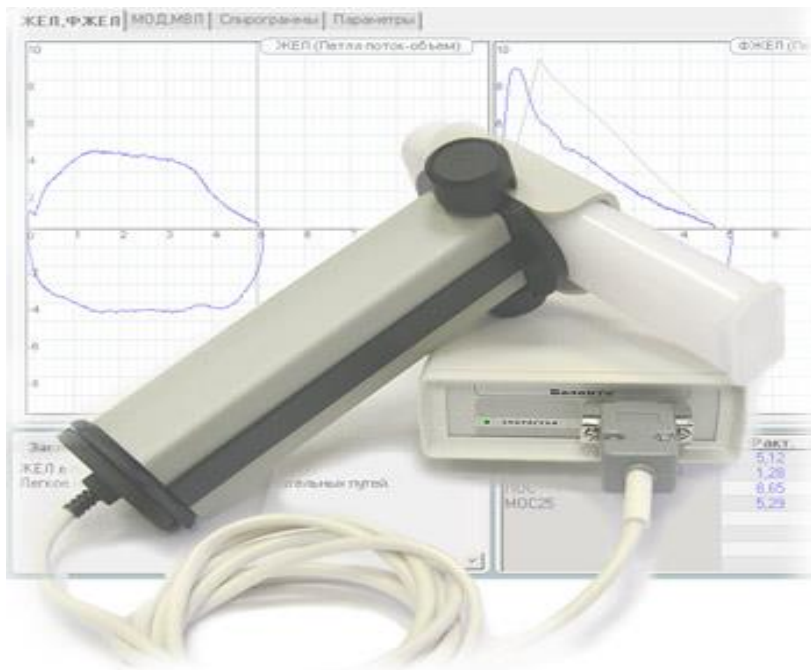


Рисунок 2.1 Компьютерный спирограф аппаратно-программного комплекса «Валента»

При выполнении каждого маневра предоставляется до трех попыток. Выбор лучшей попытки производится автоматически; предусмотрена ручная корректировка (Рисунок 2.2).

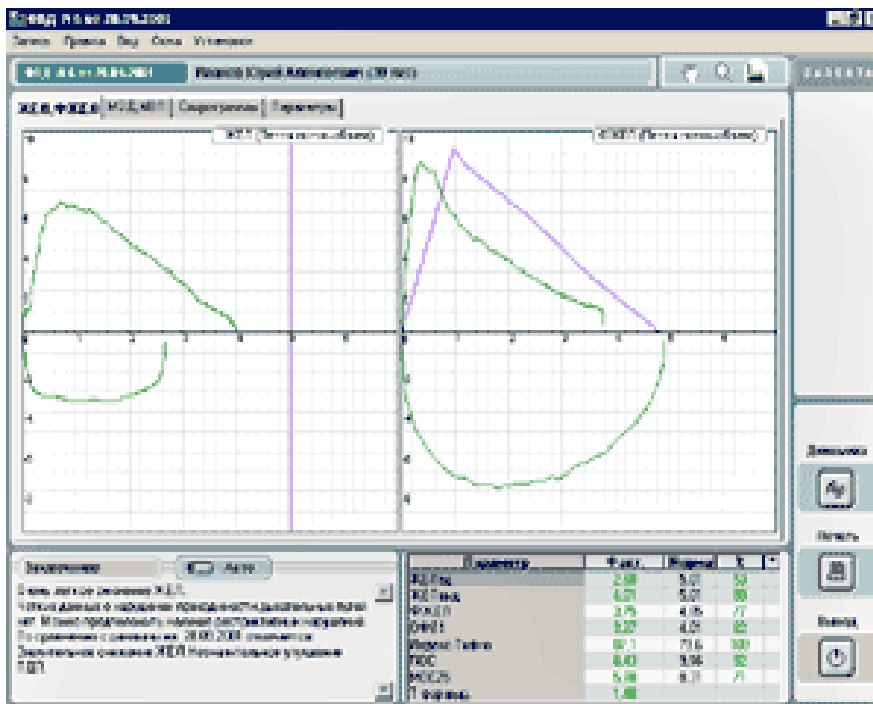


Рисунок 2.2 Проведение дыхательной пробы.

В заключении проводилась автоматическая компьютерная оценка дыхательных проб на основании лучших результатов и формирование заключения. Формируется таблица (Рисунок 2.3), в которой приводятся расчетные параметры, должные величины, их сравнение в процентном выражении и качественные (словесные) оценки параметров.

Параметры				
Норма	%	Оценка	Диаграмма	
5,01	53	Весьма значительное снижение	0,00	0,00
5,01	80	Очень легкое снижение	0,00	0,00
			0,70	4,50
			0,50	4,50
			0,00	3,00
4,95	77	Очень легкое снижение	0,00	0,00
4,01	82	Условная норма	1,00	3,00
79,6	109	Норма	23,0	125,0
9,16	92	Норма	0,00	0,00
8,31	71	Условная норма	0,00	0,00
5,67	66	Условная норма	0,00	0,00
2,55	82	Норма	0,00	0,00
			0,00	4,00
4,68	74	Условная норма	0,00	0,00

Рисунок 2.3 Таблица рассчитываемых параметров

Программа спирометрического исследования обеспечивает проведение основных дыхательных проб: ЖЕЛ - оценка дыхательных резервов и объемных показателей; ФЖЕЛ - оценка бронхиальной проходимости и вентиляционных функций дыхательной системы; МОД - оценка частоты и объема дыхания; МВЛ - оценка максимальной вентиляции легких.

Определялись жизненная емкость легких (ЖЕЛ, л), форсированная жизненная емкость легких (ФЖЕЛ, л), объем форсированного выдоха за 1 секунду (ОФВ1, л), резервный объем вдоха (Ровд, л), резервный объем выдоха (Ровыд, л), дыхательный объем (ДО, л), средняя объемная скорость в интервале между 25% и 75% ФЖЕЛ (СОС 25-75, л/с), средняя объемная скорость в интервале между 75% и 85% ФЖЕЛ (СОС 75-85, л/с), скорость экспираторного воздушного потока - пиковый экспираторный поток (ПОС), максимальная объемная скорость выдоха 25 % от объема форсированного выдоха (МОС 25, л/с), максимальная объемная скорость выдоха 50 % от объема форсированного выдоха (МОС 50, л/с), максимальная объемная скорость выдоха 75 % от объема форсированного выдоха (МОС 75, л/с), максимальная объемная скорость выдоха 85 % от объема форсированного выдоха (МОС 85, л/с), индекс Тиффно.

Показатели, которые характеризуют состояние функции внешнего дыхания, условно можно разделить на четыре группы.

К первой группе относятся показатели, характеризующие легочные объемы и емкости. К легочным объемам относятся: дыхательный объем, ре-

зервный объем вдоха и остаточный объем (количество воздуха, остающееся в легких после максимального глубокого выдоха). К емкостям легких относятся: общая емкость (количество воздуха, находящегося в легких после максимального вдоха), емкость вдоха (количество воздуха, соответствующее дыхательному объему и резервному объему вдоха), жизненная емкость легких (состоящая из дыхательного объема, резервного объема вдоха и выдоха), функциональная остаточная емкость (количество воздуха, остающееся в легких после спокойного выдоха – остаточный воздух и резервный объем выдоха).

Ко второй группе относятся показатели, характеризующие вентиляцию легких: частота дыхания, дыхательный объем, минутный объем дыхания, минутная альвеолярная вентиляция, максимальная вентиляция легких, резерв дыхания или коэффициент дыхательных резервов.

К третьей группе относятся показатели, характеризующие состояние бронхиальной проходимости: форсированная жизненная емкость легких (пробы Тиффно и Вотчала) и максимальная объемная скорость дыхания во время вдоха и выдоха (пневмотахометрия).

В четвертую группу входят показатели, характеризующие эффективность легочного дыхания или газообмен. К этим показателям относятся: состав альвеолярного воздуха, поглощение кислорода и выделение углекислоты, газовый состав артериальной и венозной крови.

2.2.2 Велозргометрия (субмаксимальный тест Валунда-Шестранда)

Субмаксимальный тест Валунда-Шестранда (W170 или PWC170) рекомендован ВОЗ для определения физической работоспособности по достижению ЧСС 170 уд/мин (мощность физической нагрузки выражается в кгм/мин или Вт) [96] при которой частота сердечных сокращений после вработываемости устанавливается на уровне 170 уд/мин, то есть W170 (или PWC170). Данный уровень нагрузки и является показателем W170. Уровень физиче-

ской работоспособности является одним из наиболее объективных критериев оценки состояния организма [3, 6, 46].

Исследование проводилось на аппаратно-программном комплексе «Валента» НПП Нео Россия для проведения исследований функциональной диагностики сердечно-сосудистой, респираторной и нейро-регуляторной систем организма (Рисунок 2.4) с компьютерной обработкой полученных результатов.



Рисунок 2.4 Проведение субмаксимальный тест Валунда-Шестранда (PWC170) на аппаратно-программном комплексе «Валента».

Тест выполняется следующим образом: испытуемый подвергается на велоэргометре двум нагрузкам разной мощности (W_1 и W_2) продолжительностью 5 мин, каждая с 3 мин отдыха. Нагрузка подбирается с таким расчетом, чтобы получить несколько значений пульса в диапазоне от 120 до 170 уд/мин. В конце каждой нагрузки определяют ЧСС.

При проведении велоэргометрии программа в реальном времени распознает элементы ЭКГ, рассчитывает амплитудные и временные параметры. Эффективные алгоритмы выравнивания изолинии и фильтрации ЭКГ обеспечивают достоверные результаты анализа даже при высоком уровне миографических помех в исходном сигнале.

Состояние испытуемого контролируется по следующим параметрам:

- регистрируемые отведения ЭКГ
- представительный кардиокомплекс с выделением сегмента ST и численным значением смещения. Текущий кардиокомплекс наложен на "тень" исходного, что позволяет уловить минимальные изменения морфологии ST-T и обеспечивает надежный контроль за состоянием пациента.
- тренды ЧСС, смещения и угла наклона ST
- диаграмма изменения давления, возможность ручного ввода результатов измерения артериального давления
- тревожная сигнализация при превышении порогов значений смещения ST, падения АД, субмаксимальной ЧСС .

В результате компьютерной обработки вычисляются:

Хронотропный резерв сердца отражает разницу между ЧСС при максимальной физической нагрузке и ЧСС в покое, уд. в мин.. Индекс хронотропного резерва сердца (ИХР) рассчитывается как отношение прироста ЧСС при дозированной физической нагрузке к исходному ($\Delta\text{ЧСС}/\text{ЧСС}_{\text{исх}}$), в норме ИХР составляет 75-90 ударов в минуту.[60, 96]

Илотропный резерв сердца отражает разницу между максимальным и минимальным систолическим АД, мм.рт.ст. Индекс илотропного резерва сердца (ИИР) рассчитывается как отношение прироста систолического АД при дозированной физической нагрузке к исходному, ($\Delta\text{САД}/\text{САД}_{\text{исх}}$), в норме ИИР 70-75 мм.рт.ст. [60, 96].

Индекс "двойное произведение" (ДП) или индекс Робертсона - произведение ЧСС и систолического АД при пороговой нагрузке, уменьшенное в 100 раз, у здоровых мужчин этот индекс равен 290-310 усл. единиц [60, 96]. Коэффициент расходования резервов миокарда рассчитывается (КРРМ), усл.ед. рассчитывается как отношение прироста двойного произведения (разность максимального и минимального ДП) величинного в 100раз к объему выполненной работы, кгм, ($\Delta\text{ДП} * 100/A$) [60, 96].

Индекс энергетических затрат (ИЭЗ) на единицу выполненной работы, усл.ед. Рассчитывается как отношение максимального двойного произведения к объему выполненной работы ($\Delta ДП_{\max}/A$) [60, 96].

На основании всех параметров и данных о пациенте формируется автоматическая интерпретация о характере пробы.

2.2.3 Реовазография

Исследование кровотока нижних конечностей проводилось с помощью реографа «Рео–Спектр», производство НПО Нейрософт, г. Иваново, Россия (Рисунок 2.5). Реограф работает от сети переменного тока напряжением 220 ± 22 В, частотой $50\pm 0,5$ Гц, количество каналов – 6/4, диапазон измерения базового сопротивления 10–500 Ом [80].

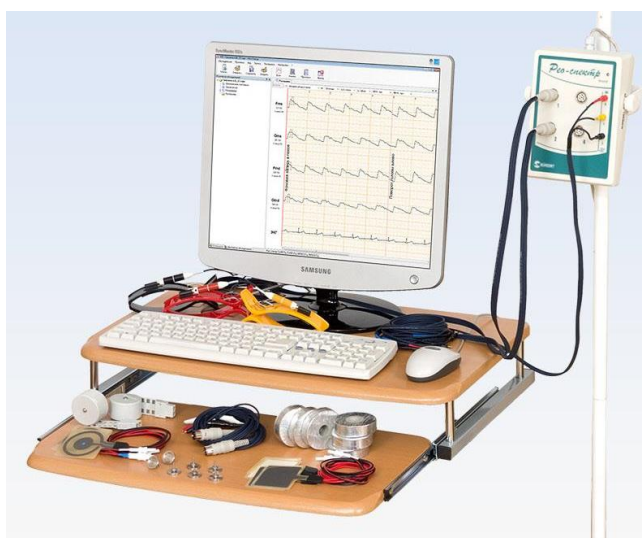


Рисунок 2.5 Реограф «Рео–Спектр»

Для автоматизированной обработки РВГ производилась параллельная синхронная запись ЭКГ [80, 86].

Исследование включает: ввод исходных сведений в карточку пациента, наложение электродов, выбор методики и запись реограммы, создание протокола, сохранение исследования в файле.

Типовой порядок проведения РВГ – исследования.

1. Создание в картотеке новой карточки пациента при первичном исследовании или выбор уже существующей при повторном обследовании. Карточка пациента содержит паспортные и медицинские (диагноз) данные, а также сценарий записи реограммы (Рисунок 2.6).

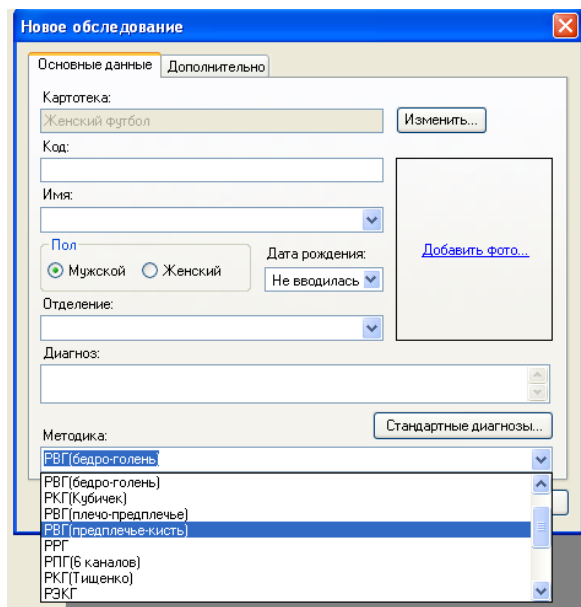


Рисунок 2.6 Создание карточки пациента, выбор сценария записи исследования

2. Установка электродов.

Техника наложения РВГ–электродов – продольная, модифицированная по принципу «общего» электрода. Такое расположение электродов охватывает все участки конечности. Для этого используются ленточные электроды. Их длина должна быть такой, чтобы при наложении на конечность оба конца электрода смыкались в замкнутое кольцо по периметру и скреплялись с помощью разъема типа «крокодил». Кожные покровы предварительно обрабатывались 70–96 % спиртом, а на поверхность электродов наносился электродный гель с целью снижения межэлектродного сопротивления.

Запись реограммы проводится в отведении «Бедро-голень». Первый электрод накладывается в области верхней трети бедра (Рисунок 2.7). К первому электроду подключается провод с красной маркировкой (от первого разъема – для левой, от третьего – для правой стороны). Второй, «общий», электрод накладывается ниже коленной чашечки под бугром большеберцо-

вой кости на уровне минимального диаметра голени, и к нему подключается провод с черной маркировкой (от первого разъема – для левой, от третьего – для правой стороны). Третий электрод накладывается в нижней части голени, на уровне наименьшего диаметра голени на этом участке. К нему подсоединяется провод с белой маркировкой (от первого разъема – для левой, от третьего – для правой стороны).



Рисунок 2.7 Схема расположения реовазографических электродов на нижней конечности

Затем на конечности пациента накладываются электрокардиографические электроды прижимного типа: с маркировкой “R” (красный) – на ладонную поверхность правого предплечья, с маркировкой “L” (желтый) – на левое предплечье, с маркировкой “F” (черный) – на латеральную поверхность правой голени, обеспечивая запись ЭКГ в первом стандартном отведении.

Регистрация реограммы производилась в режиме «Бедро-голень» в состоянии покоя до нагрузочного теста PWC170 и после теста.

4. Регистрация реограммы.

Запись реограммы происходила в спокойном состоянии.

Реограмма – это кривая, отражающая пульсовые колебания электрического сопротивления (Рисунок 2.8). При увеличении кровенаполнения имеет место возрастание амплитуды кривой и наоборот,

другими словами, регистрируется динамика импеданса в обратной полярности. На реограмме различают систолическую и диастолическую части. Первая обусловлена притоком крови, вторая связана с венозным оттоком [80,86]. Далее запускается автоматическая генерация описания исследования.

4. Далее запускается автоматическая генерация описания исследования. Сгенерированное описание выводится на панели «Описание исследования».

5. Сохранение исследования.

После завершения записи реограммы, результат необходимо сохранить в ранее созданное исследование в картотеке исследований. Для этого исследование закрывается, и оно сохраняется автоматически.

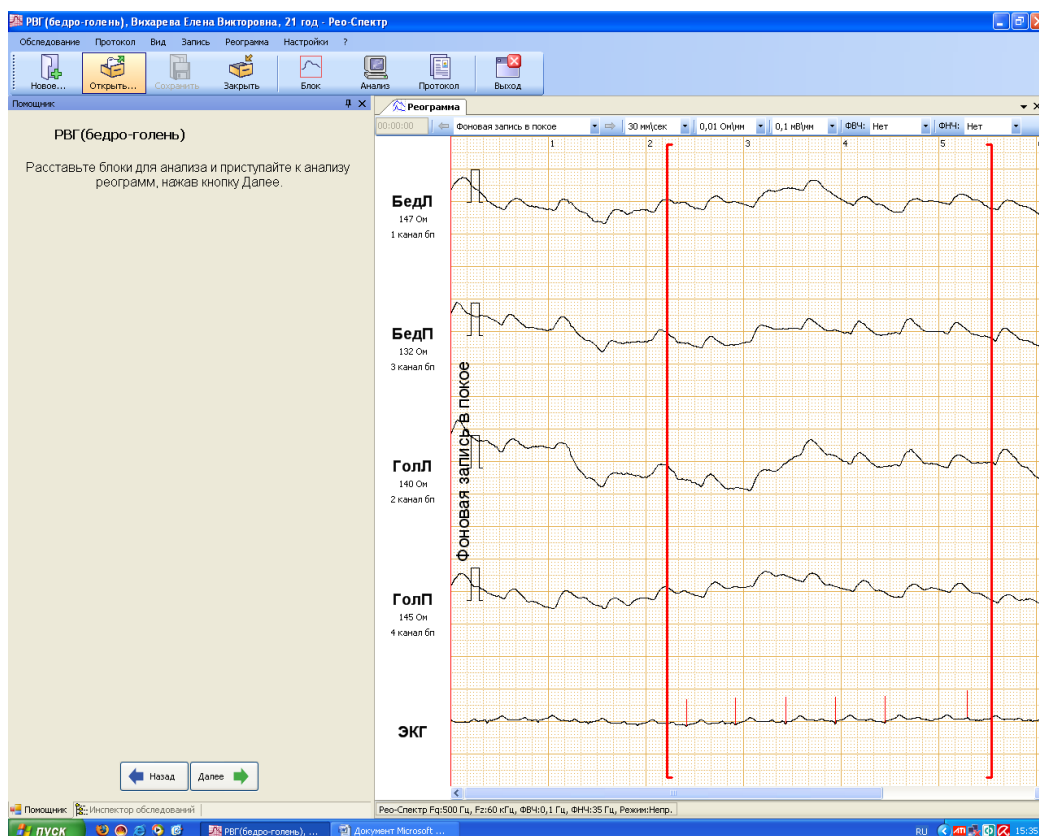


Рисунок 2.8 Регистрация реограммы.

Регистрировались следующие показатели: реографический индекс (РИ, у.е.), который отражает состояние объёмного кровенаполнения магистральных артерий исследуемого органа или его участка; максимальная скорость

быстрого наполнения (V_{\max} , Ом/с), которая характеризует заполненность крупных артерий под влиянием ударного выброса сердца; средняя скорость медленного наполнения ($V_{\text{ср}}$, Ом/с) – отражает тонус средних и мелких артерий и их заполняемость кровью под влиянием ударного выброса сердца.

2.2.4 Электроэнцефалография

Исследование электроэнцефалографии во время БОС-тренингов по дыханию проводились на электроэнцефалографе-анализаторе ЭЭГА-21/26 «Энцефалан-131-03» в системе отведений «10-20%» по 8 каналам.

Полное обследование, проводимое во время первого и последнего сеансов курса БОС-тренингов (Рисунок 2.9), включает в себя следующие этапы:

1. Фоновая запись ЭЭГ при спокойном дыхании.
2. Запись ЭЭГ при выполнении двух заданий БОС-тренингов по дыханию.



Рисунок 2.9 Процесс проведения БОС-тренинга с регистрацией ЭЭГ

ЭЭГ – исследование включает: ввод исходных сведений в карточку пациента, выбор сценария записи, наложение электродов, запись ЭЭГ с

необходимым набором функциональных проб (ФП), сохранение исследования в файле.

Создание карточки пациента

Карточка пациента

Разделы

Персональный

Медицинский

Адрес

Фамилия Лаврентьева

Имя Лилия

Отчество Дмитриевна

Код пациента

Пол Женский

Дата рождения 30.12.1967

Возраст 35

ОК Отмена Справка

Рисунок 2.10 Панель «Карточка пациента»

1. Создание в картотеке новой карточки пациента при первичном исследовании или выбор уже существующей при повторном обследовании. Карточка пациента содержит паспортные и медицинские (диагноз) данные (Рисунок 2.10).

2. Из справочника конфигураций съёма необходимо выбрать вариант условия проведения исследования, который определяет количество и расположение используемых электродов (Рисунок 2.11). Выбрав конфигурацию съёма, можно просмотреть зеркальное изображение наложения электродов (Рисунок 2.12).

Электроды ЭЭГ взаимозаменяемы и могут выступать в роли активных электродов (до 21) - на блоке гнезда «Fp1...O2», референтных электродов - гнезда «A1» и «A2», и нейтрального электрода - гнездо «N».

Активный электрод — любой электрод, установленный на скальпе, предназначенный для отведения ЭЭГ.

Референтный электрод—любой электрод, относительно которого измеряются колебания потенциала на активных электродах и который установлен

таким образом (вне скальпа — на мочке уха, подбородке, щеке, мастоидальном отростке), чтобы потенциал на нем был близок к нулю.

Нейтральный электрод — любой электрод, установленный на скальпе (на лбу или в районе вертекса) для выравнивания потенциалов усилителя и пациента.

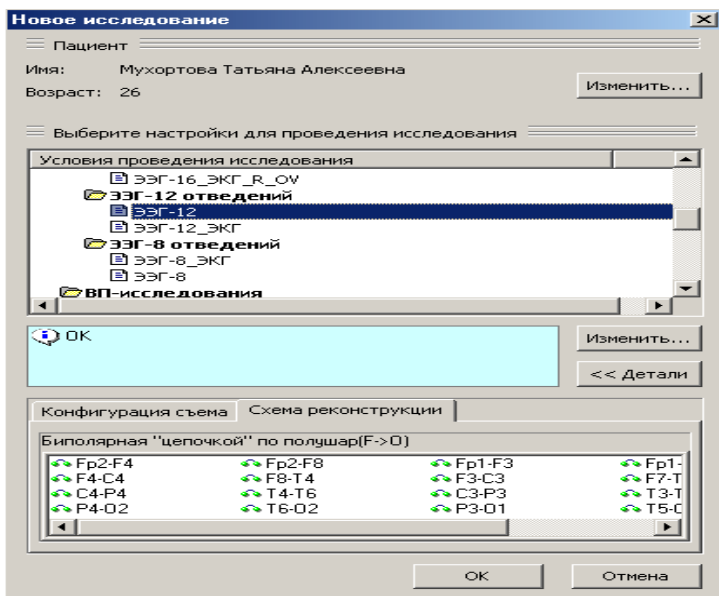


Рисунок 2.11 Панель «Выбор схемы коммутации»

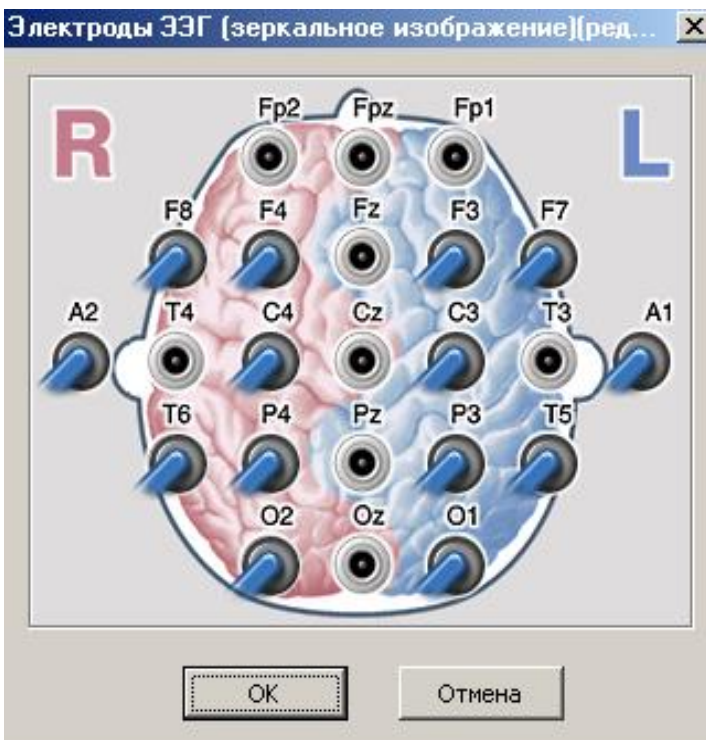


Рисунок 2.12 Зеркальное изображение схемы наложения электродов

3. Установка электродов.

Электроды накладывались по системе «10-20»: С-центральная область, Р - париетальная, О – затылочная, А – ушные электроды; четные отведения – слева, нечетные – справа с соблюдением симметричности и равенства межэлектродных расстояний. Контактные площадки электродов покрывают электродной пастой с целью снижения межэлектродного сопротивления.

Схема наложения электродов (Рисунок 2.13) строится следующим образом: проводят две условные линии: одну от переносицы до верхнего края затылочного отверстия (сагиттальная линия), вторую между наружными слуховыми проходами через макушку (фронтальная линия).

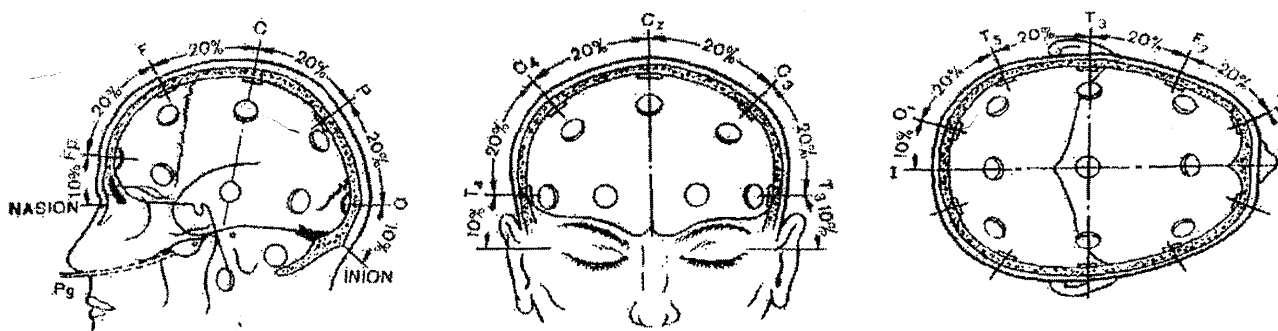


Рисунок 2.13 Схема наложения электродов по международной системе «10 – 20»

Сначала измеряют длину сагиттальной линии и принимают её за 100%. Нижние лобные электроды (Fp) размещаются на 10% расстояния выше переносицы, а затылочные (О) – на 10% выше края затылочного отверстия. Остальные электроды (F и Р) размещаются между этими электродами на равных расстояниях. Затем измеряется длина фронтальной линии и принимается за 100%. Нижние височные электроды (Т3 слева и Т4 справа) располагаются на 10% слухового прохода, а С3 слева и С4 справа – на 20% выше слухового прохода. Затем через точки Т3, Т4 и С3, С4 проводят парасагиттальные линии от кончика носа до края затылочного отверстия и по ним располагают остальные электроды (Р3, Р4, Т5, Т6, F3, F4, F7, F8, Fp1, Fp2). Обозначения электродов – F – frontalis, лобный, О – occipitalis, затылочный, Р – parietalis, теменной, С – centralis, центральный, А – auricu-

laris, ушной. Нечетные цифровые индексы соответствуют электродам над левым, а четные – над правым полушарием мозга.

После наложения электродов необходимо проверить подэлектродные сопротивления, которое определяется как противодействие потоку переменного тока через границу между электродом и скальпом. Измеряется между отдельным электродом и всеми остальными электродами и выражается в килоомах (кОм). Значения подэлектродного сопротивления напрямую влияют на качество записи ЭЭГ и не должны превышать допустимого значения – обычно до 15 кОМ (Рисунок 2.14).

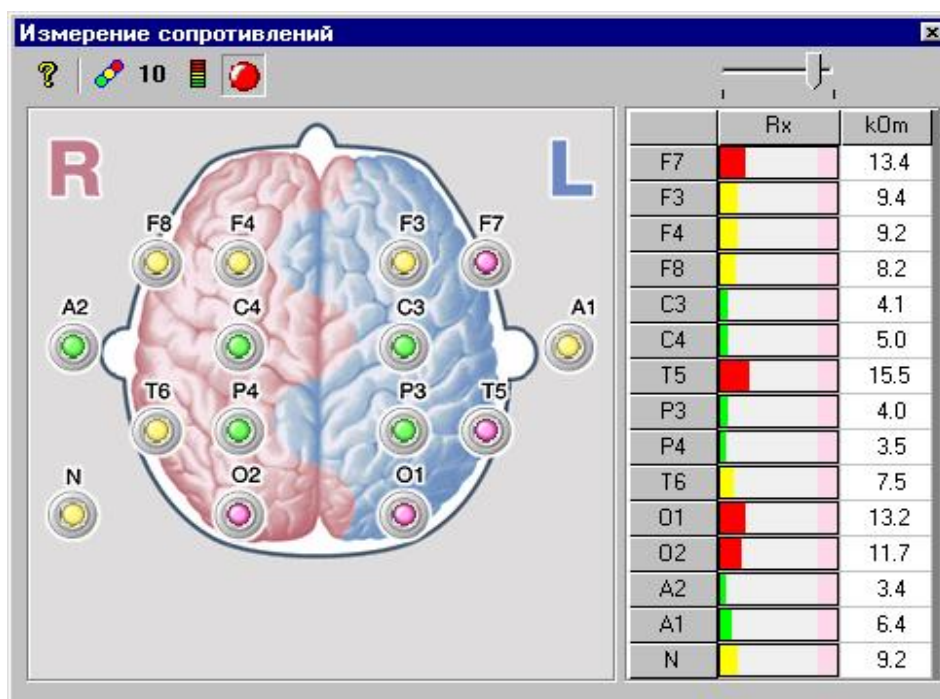


Рисунок 2.14 Панель «Измерение сопротивлений»

При анализе ЭЭГ рассматривался и сравнивался такой показатель, как абсолютные значения спектральных мощностей (АЗМ), мкВ^2 – площадь под соответствующим участком спектрограммы по выбранным частотным диапазонам. Отрезок времени, выбранный для анализа функционирования ЦНС, равнялся 20 секундам.

Основные технические характеристики электроэнцефалографа: Электроэнцефалограф работает от сети переменного тока напряжением

(220±22) В, частотой (50±0,5) Гц. Потребляемая мощность блока пациента при номинальном напряжении питания не более 15 Вт. Время установления рабочего режима не более 5 мин. Погрешность измерения переменного напряжения находится в пределах $\pm(0,05U+1)$ мкВ, где U — номинальное значение измеряемой величины, мкВ.

2.2.5 Электромиография

Для регистрации биоэлектрических характеристик сокращения грудных мышц был использован прибор — многофункциональный компьютерный комплекс «Нейро–МВП–4» (производство НПО Нейрософт, г. Иваново, Россия), в состав которого входят блок пациента с зависящими от модификации прибора набором каналов и программно–методическое обеспечение (Рисунок 2.15) [42,70].

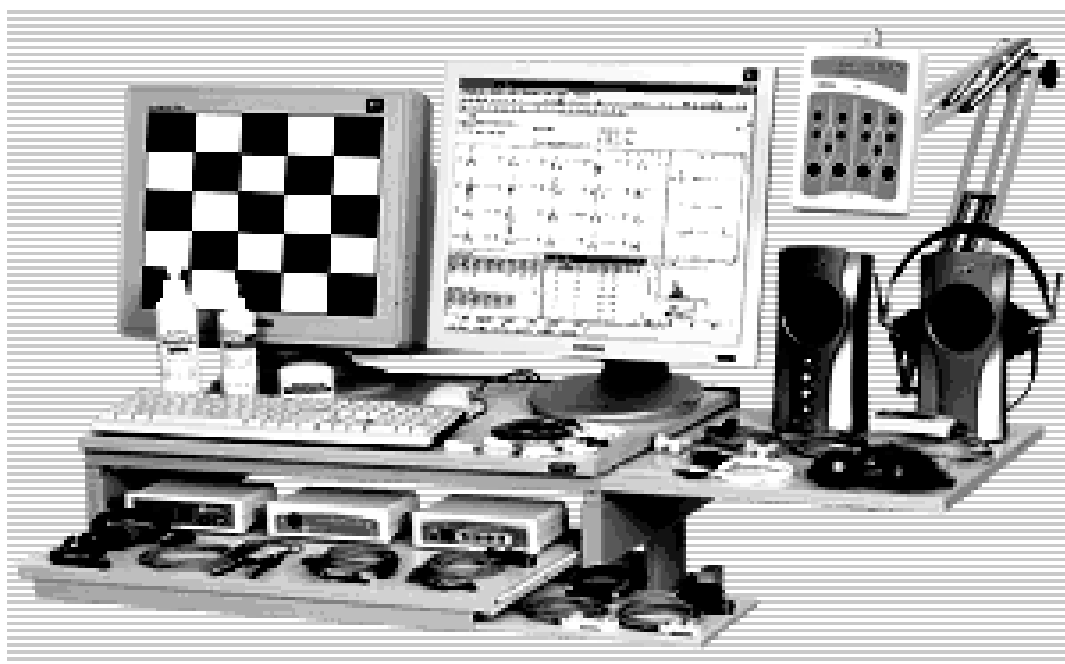


Рисунок 2.15 Многофункциональный компьютерный комплекс «Нейро–МВП–4»

Программное обеспечение позволяет записывать и обрабатывать электромиограммы при произвольном тоне и электрической стимуляции, биоэлектрические ответы на зрительные и соматосенсорные раздражители, сопровождать их текстом и выводить на печать, хранить сигналы и данные о

пациентах в электронной картотеке на винчестере или другом устройстве для хранения информации. Окно визуализации сигналов позволяет просмотреть сигналы при различных значениях скорости развертки и чувствительности [50,70,77].

Электромиограф работает от сети переменного тока напряжением 220 ± 22 В, частотой $50\pm 0,5$ Гц. Потребляемая мощность блока пациента при номинальном напряжении питания не более 15 Вт. Время установления рабочего режима не более 5 мин.

Прибор имеет продолжительный режим работы. Габаритные размеры блока пациента не более 190x140x50 мм. Масса блока пациента не более 2 кг.

Исследование ЭМГ включает: ввод исходных сведений в карточку пациента, выбор сценария записи, наложение электродов, запись ЭМГ, создание протокола, сохранение исследования в файле [42].

Типовой порядок проведения ЭМГ – исследования.

1. Создание в картотеке новой карточки пациента при первичном исследовании или выбор уже существующей при повторном обследовании. Карточка пациента содержит паспортные и медицинские (диагноз) данные (Рисунок 2.16)

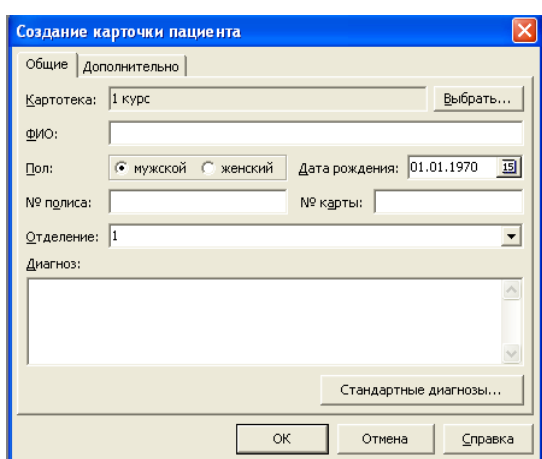


Рисунок 2.16 Панель «Карточка пациента»

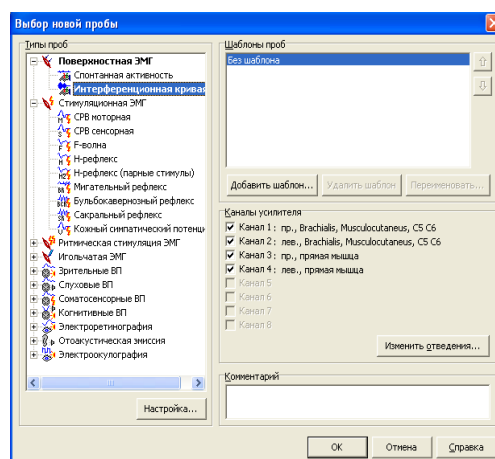


Рисунок 2.17 Панель «Выбор тип пробы»

2. Из справочника конфигураций съёма необходимо выбрать тип пробы, количество и расположение используемых электродов (Рисунок 2.17).

Выполнялась интерференционная поверхностная электромиография. Выбрав конфигурацию съёма, можно просмотреть изображение наложения электродов (Рисунок 2.18).

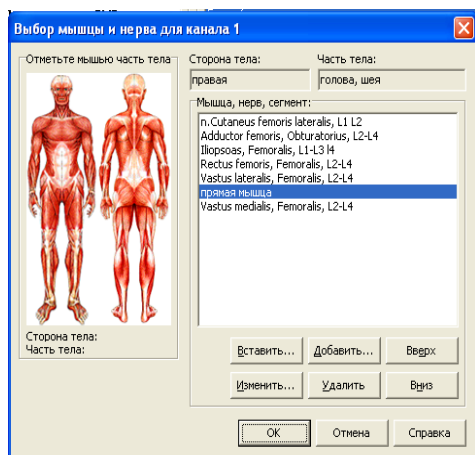


Рисунок 2.18 Панель «Выбор мышцы и нерва»

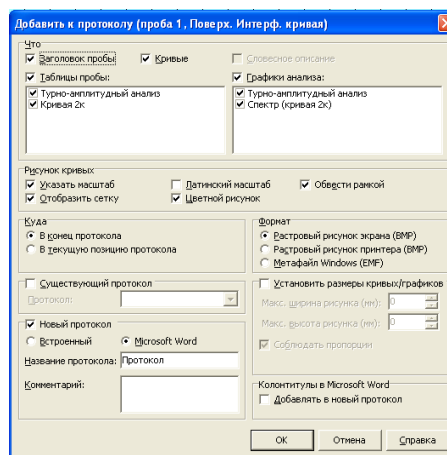


Рисунок 2.19 Создание протокола исследования

3. Установка электродов.

В работе исследовалась биоэлектрическая активность передних зубчатых и грудино-ключично-сосцевидных мышц справа и слева. Электроды накладывались согласно анатомическому расположению мышц в 8-9 межреберье по передней подмышечной линии [65, 110]. Использовались поверхностные электроды, представляющие собой металлические диски площадью 1 см^2 (Рисунок 2.20) обычно вмонтированные в фиксирующую колодку для обеспечения постоянного расстояния между ними – 20 мм. Места наложения электродов предварительно обрабатываются спиртом, а на поверхность электродов, которая находится в контакте с кожей, наносится электродный гель с целью снижения межэлектродного сопротивления. Заземляющий электрод смачивается в физиологическом растворе и располагается на противоположной конечности. После наложения электродов необходимо проверить подэлектродные сопротивления, которое определяется как противодействие потоку переменного тока через границу между электродом и кожей. Измеряется между отдельным электродом и всеми остальными электродами и выра-

жается в килоомах (кОм). Значения подэлектродного сопротивления напрямую влияют на качество записи ЭМГ и не должны превышать допустимого значения – обычно до 10 кОМ [42, 50, 70].

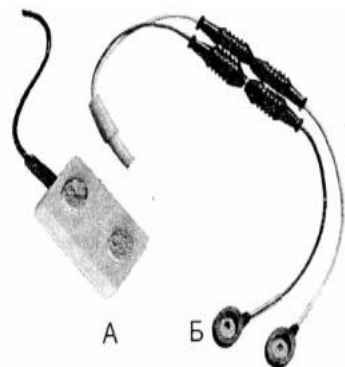


Рисунок 2.20 Виды поверхностных электродов

А – электродная колодка с фиксированным расстоянием,
Б – Электроды с нефиксированным межэлектродным расстоянием

3. Методика регистрации ЭМГ.

Регистрация ЭМГ может происходить в покое, при напряжении мышц, со стимуляцией или без неё. В данном случае, регистрация осуществлялась при выполнении задержки дыхания на максимальном вдохе и выдохе.

4. Создание протокола исследования.

Для создания протокола исследования в меню необходимо выбрать «создать протокол» (Рисунок 2.19). Протокол будет содержать информацию об амплитуде, частоте ЭМГ (Рисунок 2.21).

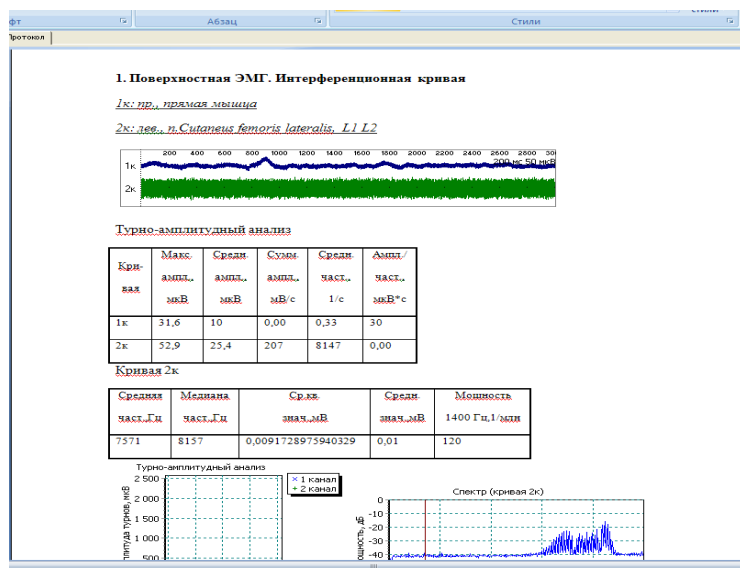


Рисунок 2.21 Протокол исследования.

Преимущество метода заключается в атравматичности, отсутствие риска инфекции, простота обращения с электродами. Безболезненность исследо-

вания не налагает ограничений на количество исследуемых за один раз мышц, делает этот метод предпочтительнее при обследовании детей, а также при физиологическом контроле в спортивной медицине или при исследовании с применением массивных и сильных движений [42,77,24].

Анализ ЭМГ включает оценку формы, амплитуды и длительности потенциалов действия отдельных мышечных волокон и двигательной единицы, характеристику интерференционной активности, возникающей при произвольном мышечном сокращении [42,50,70,77].

2.2.6 Метод капнографического тренинга с биологической обратной связью

Тренинги адаптивного биоуправления параметрами внешнего дыхания проводились с помощью:

1. Капнометра - устройства измерения содержания CO_2 в выдыхаемом воздухе в реальном масштабе времени КП-01 «ЕЛАМЕД» (Рисунок 2.22), разработанное ОАО «Елатомский приборный завод» г. Елатьма.

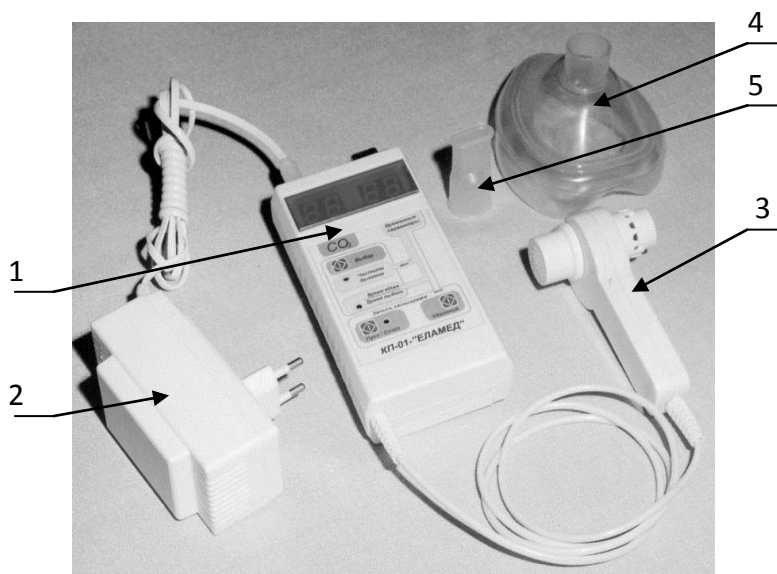


Рисунок 2.22 Внешний вид составных частей капнометра

2. Компьютерной программы для вычисления параметров внешнего дыхания: концентрации CO_2 в выдыхаемом воздухе и частоты дыхания (ЧД).

3. Компьютерной программы для считывания параметров внешнего дыхания: концентрации CO_2 и ЧД с COM-порта.

Капнометр состоит из устройства измерения 1, устройства питания 2, дыхательной камеры 3, маски 4, загубника 5.

Маска 4 и загубник 5 предназначены для сопряжения дыхательных путей пациента с дыхательной камерой.

Программное обеспечение для программно-аппаратного комплекса биоуправления параметрами внешнего дыхания было разработано на кафедре Медицинской и биологической кибернетики Сибирского медицинского университета.

Тренинги проводились в помещении с комнатной температурой, защищенном от действия яркого света и обеспечивающем достаточную шумоизоляцию. Инструктор, объяснял цель тренинга, создает мотивацию к активной работе в БОС - системе. После этого испытуемый работает самостоятельно в течение всего сеанса, инструктор лишь контролирует ход сеанса (Рисунок 2.23).



Рисунок 2.23 Процесс выполнения задания БОС-тренинга

Во время проведения сеанса пациент должен находиться в спокойном расслабленном состоянии, инструктор по возможности не должен вмешиваться в ход тренинга.

Данные, полученные в ходе сеанса, в дальнейшем используются для вычисления критериев эффективности, оценки силы влияния фактора биоуправления на параметры дыхания.

Параметры внешнего дыхания, используемые для регистрации, анализа и формирования сигналов обратной связи – максимальная концентрация CO_2 в выдыхаемом воздухе (F_{etCO_2}) и ЧД – обрабатываются и интерпретируются программно в понятный и удобный для испытуемого визуальный образ.

Устройство регистрации CO_2 представляет собой малогабаритный прибор, подключаемый к компьютеру через устройство сопряжения, которое обеспечивает электробезопасность пациента и передачу сигнала в компьютер.

Данные о концентрации CO_2 , измеренные капнометром, поступают в компьютер, по ним строится капнограмма – график зависимости концентрации CO_2 от времени, формируется массив позволяющий проводить преобразования в текущий момент времени (Рисунок 2.24) [20, 72, 85]

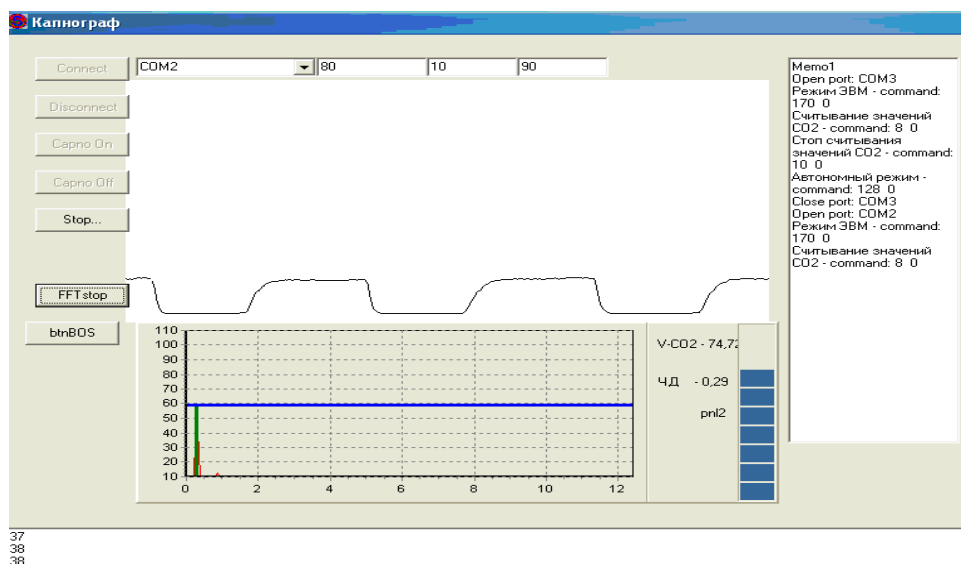


Рисунок 2.24 Программа непрерывной передачи и записи данных из капнометра в компьютер, построение капнограммы по поступающим данным.

Биоуправление параметрами внешнего дыхания основано на выделении концентрации CO_2 в конечной порции воздуха, соответствующей максимальной концентрации CO_2 за дыхательный цикл, и измерении ЧД.

В качестве параметров, по которым осуществляется БОС-тренинг, как выше уже было сказано, выбраны максимальная концентрация CO_2 в выдыхаемом воздухе и ЧД. Эти показатели являются классическими критериями оценки показателей паттерна дыхания. В отличие от других БОС-тренингов по капнограмме, использующихся для восстановления нормального паттерна дыхания, мы выбрали именно два параметра, а не один (ЧД или FetCO_2), так как такое малое количество информации – один параметр – имеет минимальную нагрузку и вероятность запустить цепочку адаптационных реакций невелика.

Перед началом БОС-тренинга проводится 1,5-минутная запись капнограммы спокойного дыхания испытуемого и вычисляется максимальное значение FetCO_2 и ЧД. Также этот режим предназначен для выявления расстройств вентиляционной функции, в основе которых лежит нарушение регуляции внешнего дыхания. Информация, полученная в этом режиме, позволяет оценить выраженность отклонений по классическим критериям – FetCO_2 и ЧД. Помимо этого этот режим позволяет контролировать эффективность лечебных сессий БОС- CO_2 .

В данном случае проводится запись параметров спокойного дыхания для индивидуализации сеансов и оптимизации процесса биоуправления. На основе этого измерения устанавливаются параметры сеанса - регулируемые параметры, с помощью которого будет осуществляться обратная связь. Так как целью биоуправления является не коррекция функционального состояния испытуемого, а выявление фундаментальных механизмов действия БОС по концентрации CO_2 , то задачи биоуправления заключаются в научении испытуемых управлять своим дыханием: уменьшать и увеличивать параметры до заданных значений и поддерживать эти параметры в течение определенного времени.

Визуальное отображение параметров обратной связи, предъявляемое человеку, состоит из двух геометрических фигур – квадрата и окружности. Квадрат представляет собой интерпретацию заданных параметров дыхания.

Заданную ЧД характеризует высота, на которой расположен квадрат (с увеличением частоты высота увеличивается), а концентрацию CO_2 – его интенсивность окраски в градации от черного к белому (белый цвет соответствует максимальному значению CO_2). Окружность характеризует текущие параметры дыхания испытуемого, изменяющиеся в процессе БОС-тренинга. Перед испытуемым стоит задача поместить окружность в область квадрата путем изменения высоты окружности, что соответствует изменению ЧД, и сделать его такого же цвета, как квадрат, добившись, таким образом, заданного значения CO_2 в выдыхаемом воздухе. На рисунке 2.25 показано выполнение задания на стадии подбора параметров.

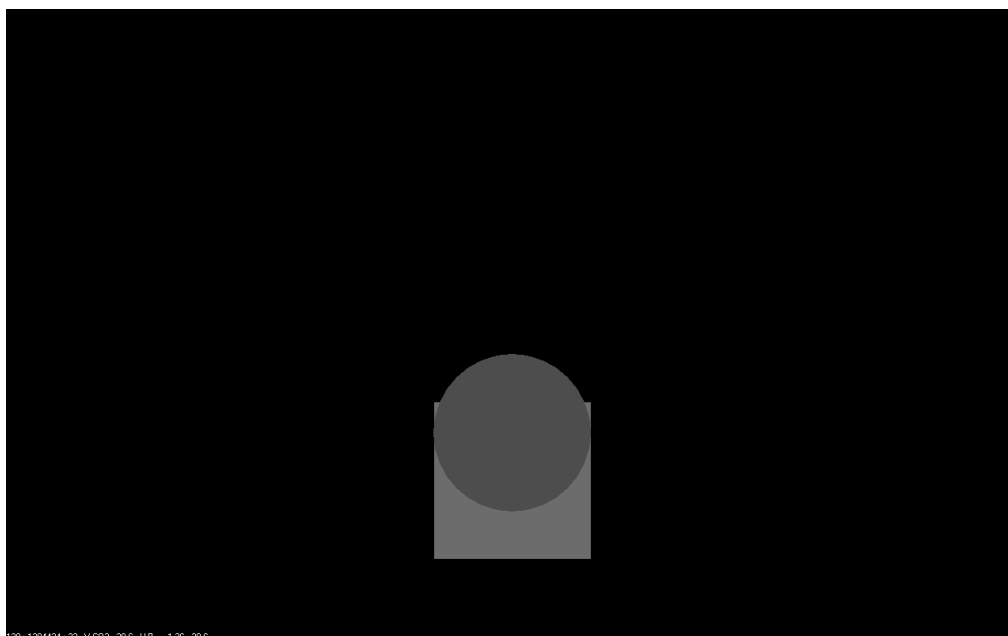


Рисунок 2.25 Визуальная интерпретация параметров внешнего дыхания на стадии подбора заданных параметров

На рисунке 2.26 показано успешное выполнение задания БОС-тренинга, когда достигнуты заданные значения FetCO_2 и ЧД.

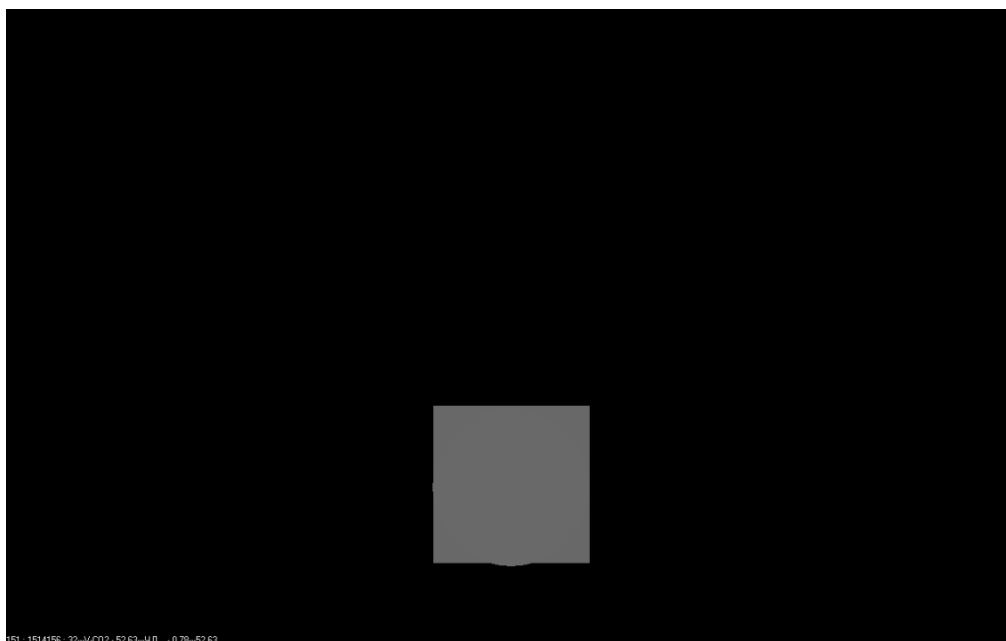


Рисунок 2.26 Визуальная интерпретация параметров внешнего дыхания на стадии успешного выполнения задания БОС-тренинга

Выбор цвета в градациях от черного к белому выбран не случайно. В качестве испытуемых выбрана группа людей, активно занимающихся спортом. Есть данные о том, что значительная доля спортсменов могут оказаться дальтониками, поэтому другая цветовая гамма в качестве интерпретации параметра обратной связи не подойдет при проведении данных исследований.

В БОС-тренинге реализованы следующие задания:

1. Увеличение ЧД в 2 раза и уменьшение $F_{et}CO_2$ на 20%.
2. Уменьшение ЧД в 2 раза и уменьшение $F_{et}CO_2$ на 20%.

Необходимо достичь заданных параметров и удерживать их. На выполнение каждого задания выделено по 10 минут [37, 49, 72].

В данном случае, целью биоуправления является не коррекция функционального состояния испытуемого, а выявление фундаментальных механизмов действия БОС по концентрации CO_2 , которые будут регистрироваться на ЭЭГ. Задача биоуправления заключается в научении испытуемых управлять своим дыханием: уменьшать и увеличивать

параметры до заданных значений и поддерживать эти параметры в течение определенного времени.

Выбор отображения параметров обратной связи в виде визуального образа не случаен. Этому способствуют цели исследования - выявление зависимости функционирования ЦНС от эффективности выполнения БОС-тренинга. Поэтому график капнограммы со значениями параметров дыхания или другой образ в виде графика с числовыми значениями может повлиять на ЭЭГ в результате чрезмерной информационной перегрузки и внести ненужные изменения в ЭЭГ.

2.2.7 Методика количественного определения лактата в крови

Для определения лактата использовали биохимический анализатор Аккутренд Плюс (Рисунок 2.27). Получение результатов происходит путем фотометрического анализа света, который отражается от тест-полосок.

Прибор обладает широким диапазоном измерения, для молочной кислоты – от 0,8 до 21,7 ммоль/л, время измерения до 60 секунд.



Рисунок 2.27 Внешний вид биохимического анализатора Аккутренд Плюс

Прибор очень прост в эксплуатации. Для анализа требуется капля капиллярной крови. Есть возможность нанесения крови на тест – полоску вне прибора. Короткое время анализа (от 12 до 180 секунд). Результаты,

полученные с помощью прибора Аккутренд Плюс, хорошо сопоставимы с результатами, полученными в стационарном лабораторном отделении.

2.2.8 Статистическая обработка результатов

Статистическую обработку полученного материала проводили при помощи программы Statistica 6.0 for Windows фирмы Statsoft [79]. Фактические данные представлены в виде «среднее \pm ошибка среднего» ($X \pm m$).

Для определения характера распределения полученных данных использовали критерий Колмогорова–Смирнова.

Сформированные выборки не подчинялись нормальному распределению и, поэтому, применение параметрических статистических критериев, построенных на основании параметров совокупностей, распределяемых по нормальному закону, являлось недопустимым [52].

Непараметрические статистические критерии, представляющие собой функции, зависящие непосредственно от варианта данной совокупности с их частотами используют для проверки гипотезы независимо от формы распределения совокупности, из которой взяты сравниваемые выборки. Если функция распределения не является нормальной, непараметрические критерии оказываются более мощными, чем параметрические.

Гипотезу о принадлежности сравниваемых независимых выборок к одной и той же генеральной совокупности или к совокупностям с одинаковыми параметрами проверяли с помощью рангового U–критерия Манна–Уитни.

ГЛАВА 3 РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

3.1 Физиологическая реакция организма спортсменов на физическую нагрузку

В первой части работы оценивалась физическая работоспособность спортсменов, исследовалось влияние физической нагрузки на сердечно-сосудистую и дыхательную системы. Главным образом оценивалась реакция этих систем на физическую нагрузку. В качестве нагрузки был проведен субмаксимальный тест PWC₁₇₀.

3.1.1 Реакции сердечно-сосудистой системы спортсменов на нагрузку

В данном разделе проводится анализ реакции сердечно-сосудистой системы спортсменов после субмаксимального теста PWC₁₇₀. Было выявлено увеличение инотропного резерва ССС в группе спортсменов после нагрузки по сравнению с группой ОФП (Рисунок 3.1). Прирост индекса инотропного резерва в группе спортсменов составил 57,3% ($p < 0,001$). Показатели в группе ОФП после нагрузки приняты за 100%. Наблюдается меньший прирост хронотропного резерва ССС в группе спортсменов после нагрузки. Прирост индекс хронотропного резерва в группе спортсменов ниже, чем в группе ОФП на 49,5% ($p < 0,01$).

Индекс двойного произведения и индекс энергетических затрат достоверного различия между группами не имели. У спортсменов выявлен достоверно меньший прирост суммарной работы (на 28,7%, $p < 0,05$) и коэффициента расходования резервов миокарда (на 16,4%, $p < 0,05$).

Прироста ЧСС у спортсменов при увеличении нагрузки ниже, чем в группе ОФП. Повышение индекса инотропного резерва происходит в результате активации симпатического отдела ВНС и увеличении сократительной функции миокарда. Более выгодно достичь нужного минутного объема при низкой частоте сердечных сокращений и большом ударном объеме, чем при высокой частоте сердечных сокращений и небольшом ударном объеме, так

как большее количество энергии затрачивается в фазу изометрического напряжения.

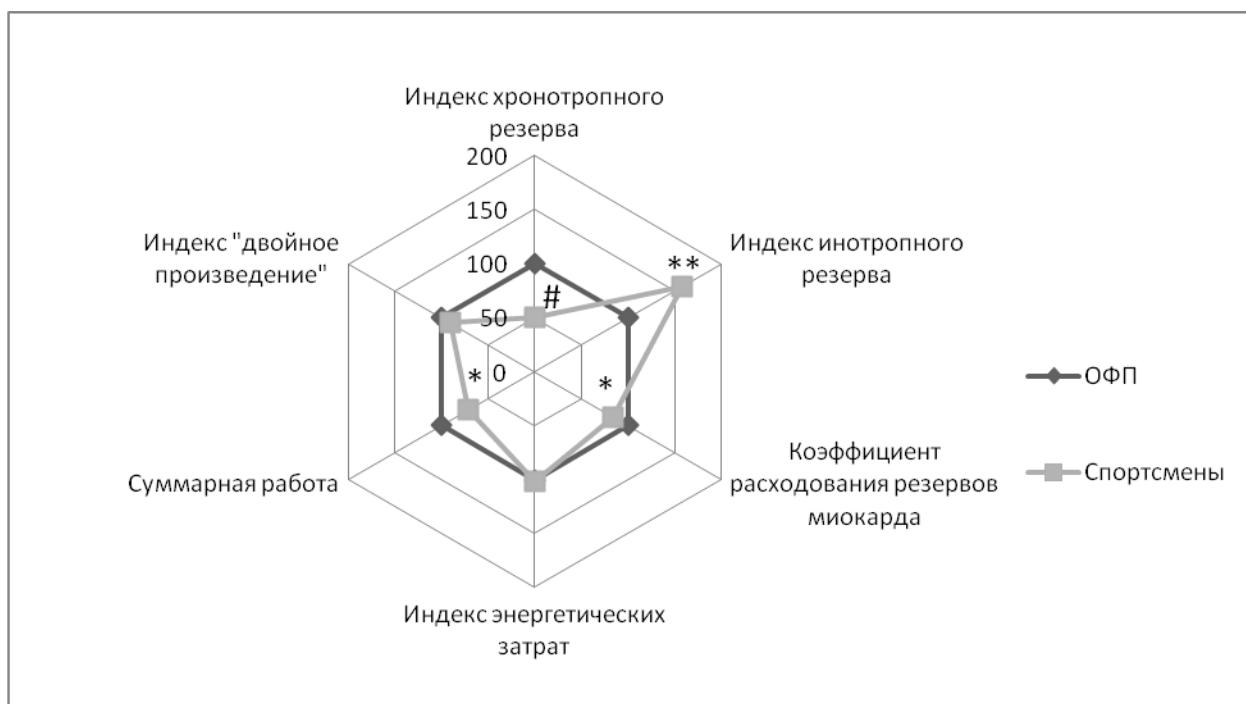


Рисунок 3.1 Характеристики реакции сердечно-сосудистой системы на физическую нагрузку у спортсменов (показатели в группе ОФП приняты за 100%).

* - достоверность различий между группами ($p < 0,05$)

** - достоверность различий между группами ($p < 0,001$)

- достоверность различий между группами ($p < 0,01$)

Изменение сократительной способности миокарда может существенно повлиять на потребление кислорода, на уровень основного обмена. Сердечная мышца использует больше энергии при быстром достижении заданного напряжения и заданного укорочения, чем, если это происходит в более медленном темпе. Также при усилении сокращений большее количество энергии используется для активного транспорта Ca^{2+} . Конечный результат данных воздействий часто называется энергоемким эффектом увеличения сократительной способности [54, 76].

Эквивалентом поглощения кислорода миокардом принято считать индекс двойного произведения. Доказано, что величина двойного произведения коррелирует с величиной максимального потребления кислорода (МПК): чем больше двойное произведение, тем выше МПК в мл/мин/кг веса и следова-

тельно, выше физическая работоспособность. Одновременно индекс двойного произведения отражает состояние коронарного кровотока [54].

Таким образом, по данным велоэргометрии, у спортсменов в ответ на физическую нагрузку наблюдается повышение индекса инотропного резерва, а индекс хронотропного резерва, напротив, снижается. Так же отмечено снижение суммарной работы и коэффициента расходования резервов миокарда. В то же время изменение индекса двойного произведения и индекса энергетических затрат не различалось у спортсменов и нетренированных лиц.

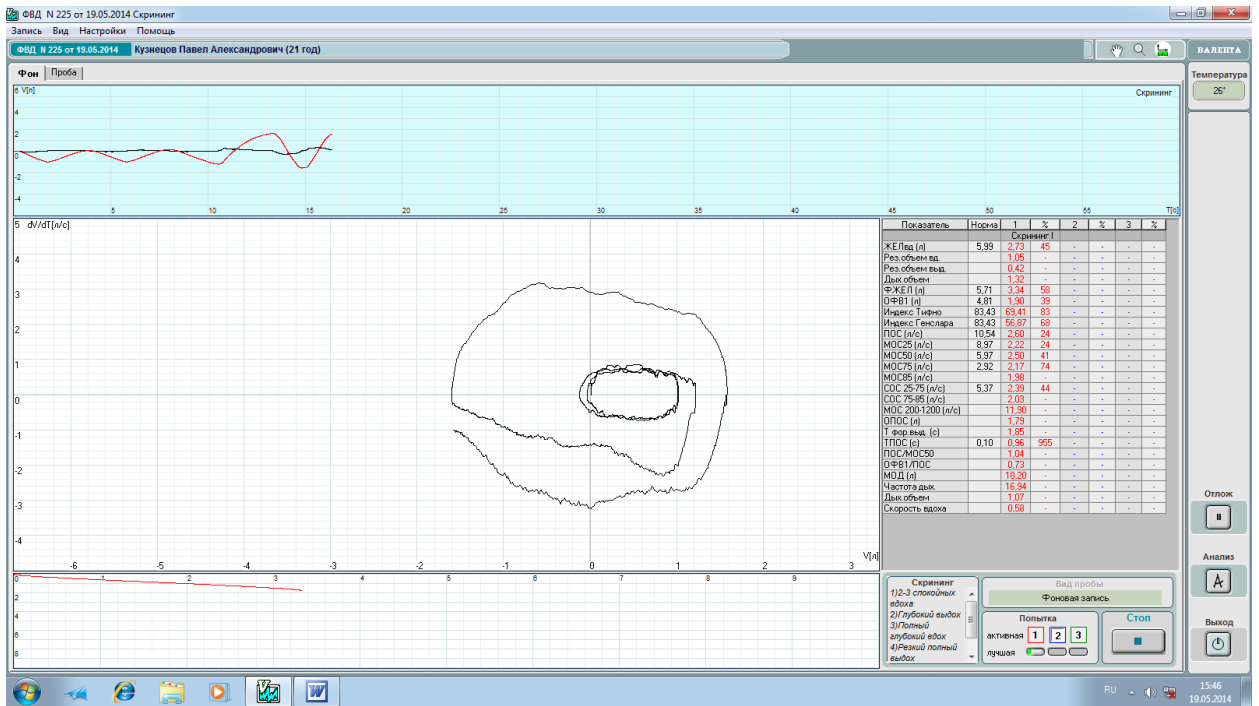
Работа сердца у тренированных лиц построена экономичнее - об этом свидетельствуют величины хронотропного резерва, суммарной работы и коэффициента расходования резервов миокарда. В то же время у спортсменов в большей степени выражена мобилизация симпатического звена – об этом свидетельствует возрастание инотропного резерва.

3.1.2 Реакции дыхательной системы спортсменов на нагрузку

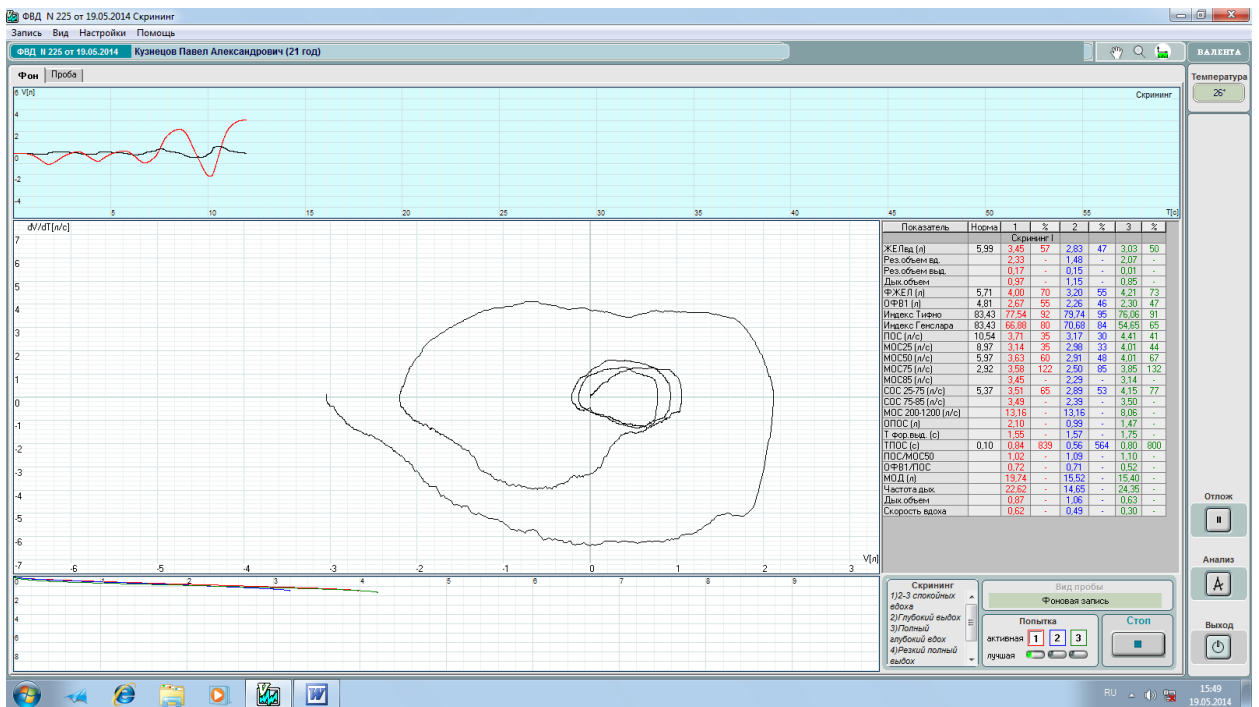
В данном разделе представлены результаты исследования функции внешнего дыхания в группе спортсменов и группе ОФП до и после нагрузочного теста PWC170. На рисунках 3.2 и 3.3 представлены записи петли «объем-поток» при выполнении пробы форсированного вдоха и выдоха.

При анализе спирометрических показателей исследовалась реакция легочной вентиляции на нагрузку после субмаксимального теста PWC170. Сначала анализировалось влияние физической нагрузки на легочные объемы и емкости.

В группе спортсменов после нагрузочного теста PWC170 было выявлено значительное увеличение ФЖЕЛ в 1,3 раза (Рисунок 3.4). В группе ОФП значительного увеличения ФЖЕЛ не наблюдается. Объем форсированного выдоха за 1 секунду достоверно увеличился только в группе ОФП после нагрузочного теста PWC170.

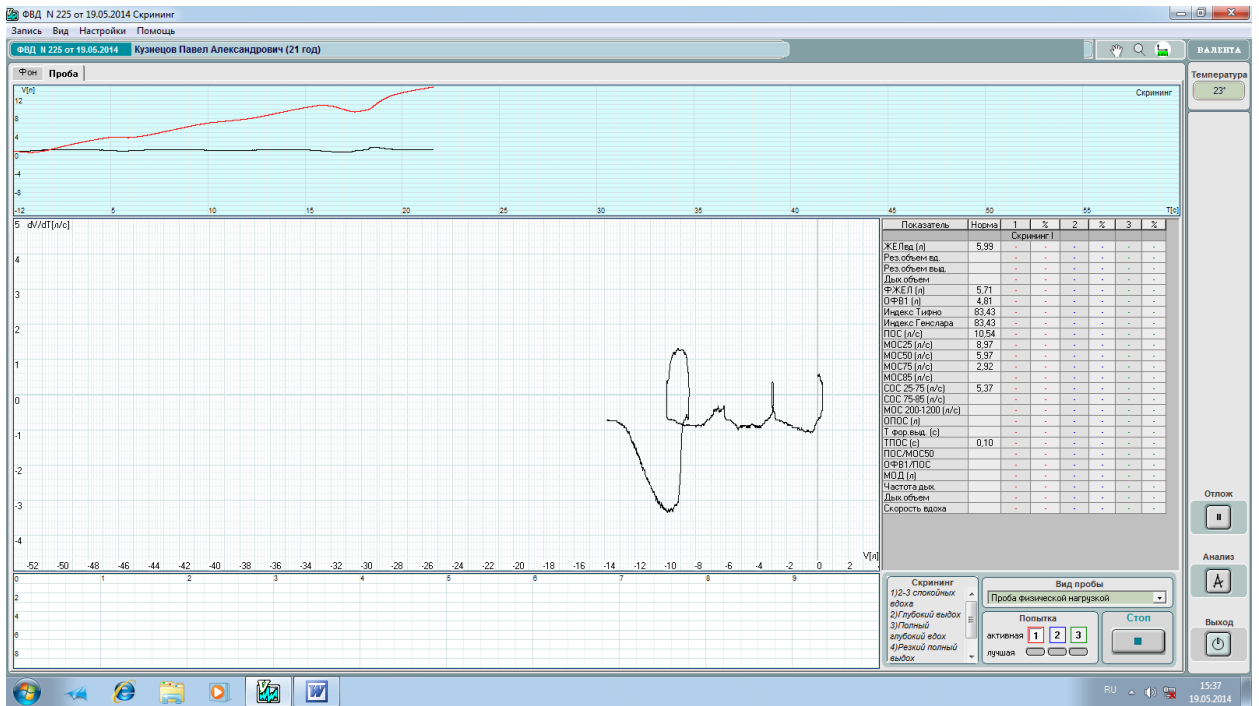


А

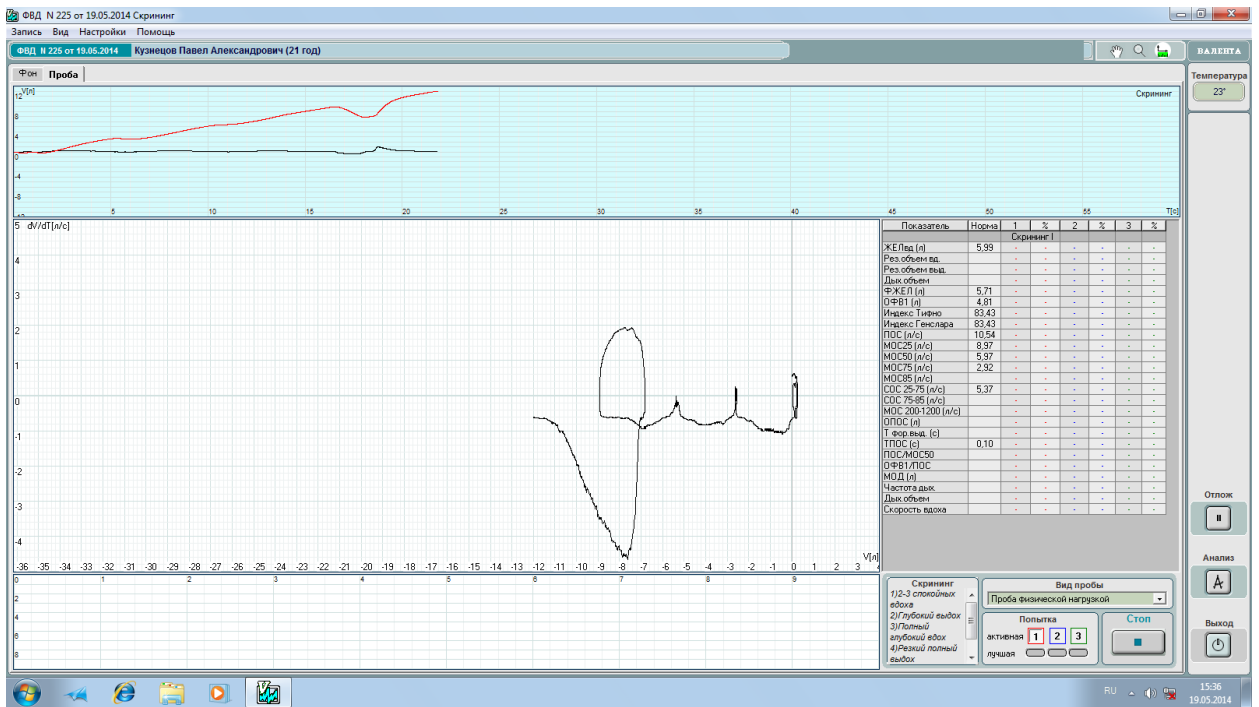


Б

Рисунок 3.2 Петля поток-объем при выполнении пробы форсированного вдоха и выдоха в группе спортсменов до нагрузочного теста PWC170 (А) и после (Б)



А



Б

Рисунок 3.3 Петля поток-объем при выполнении пробы форсированного вдоха и выдоха в группе ОФП до нагрузочного теста PWC170 (А) и после (Б)

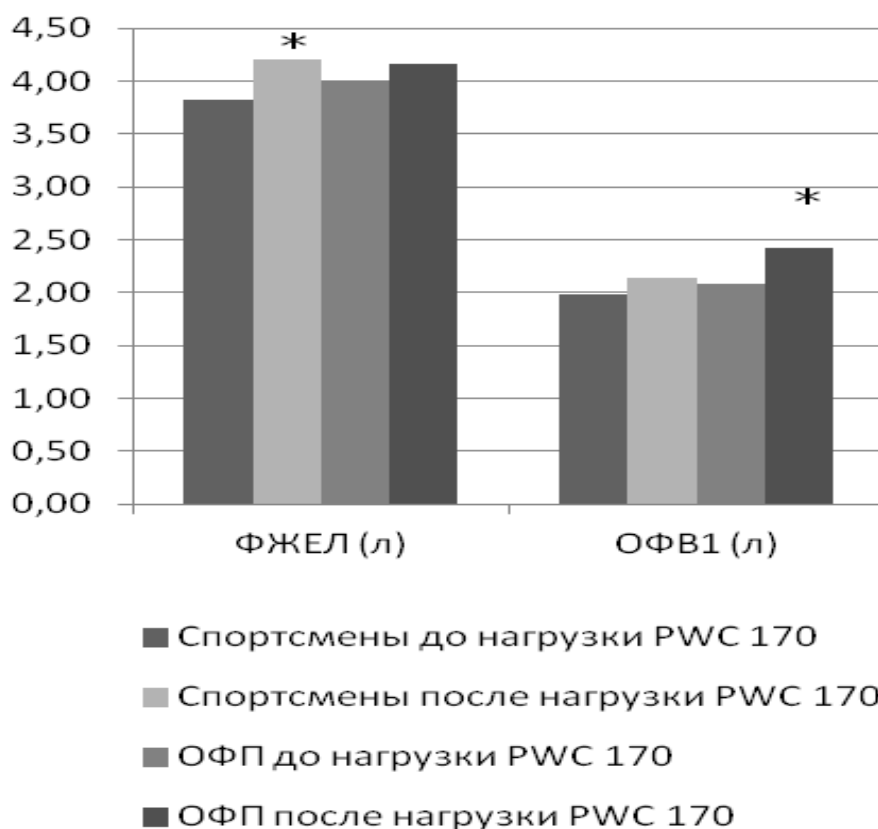


Рисунок 3.4 Изменение показателей спирометрии в группе спортсменов и группе ОФП после нагрузочного теста PWC₁₇₀

* - достоверность различий в группах до и после нагрузочного теста PWC₁₇₀ (p<0,05)

Форсированная жизненная емкость легких (ФЖЕЛ) — объем воздуха, который можно выдохнуть при форсированном выдохе после максимального вдоха. У нетренированных ФЖЕЛ составляет 70—80 % ЖЕЛ. У спортсменов этот показатель может достигать больших значений и увеличение ФЖЕЛ должно происходить при одновременном увеличении ЖЕЛ [22, 26, 42, 43, 55, 59].

При оценке вентиляционных способностей легких у спортсменов после нагрузочного теста PWC₁₇₀ (Рисунки 3.5, 3.6) было выявлено достоверное снижение минутного объема дыхания (МОД) и частоты дыхания (ЧД), увеличение дыхательного объема (ДО) и резервного объема вдоха (PO_{вд}). В группе ОФП, напротив, происходит достоверное увеличение МОД и ЧД, при снижении ДО и PO_{вд} после нагрузочного теста PWC₁₇₀. Резервный объем

выдоха ($PO_{\text{выд}}$) в группе ОФП после нагрузки увеличивается в 6 раз, а в группе спортсменов достоверных изменений $PO_{\text{выд}}$ не выявлено.

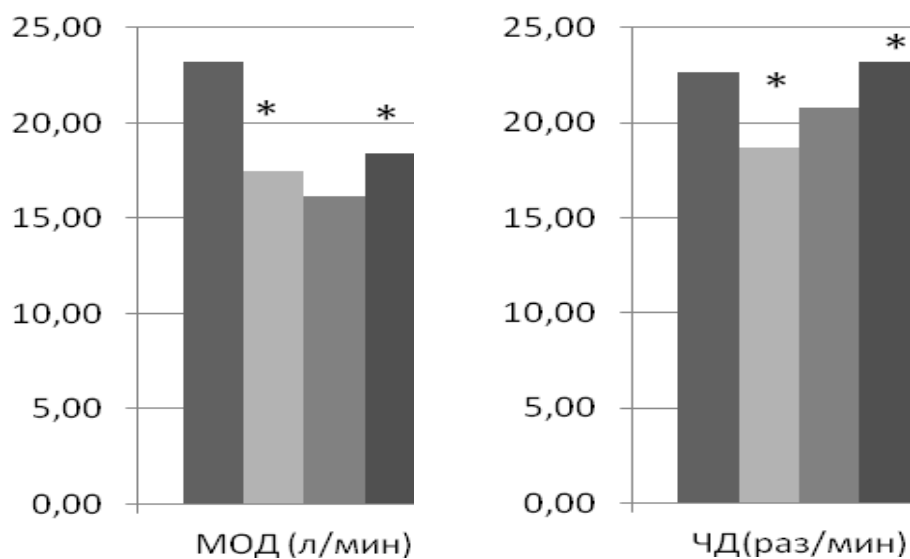


Рисунок 3.5 Изменение показателей спирометрии группы спортсменов и группе ОФП после нагрузочного теста PWC_{170}

* - достоверность различий в группах до и после нагрузочного теста PWC_{170} ($p < 0,05$)

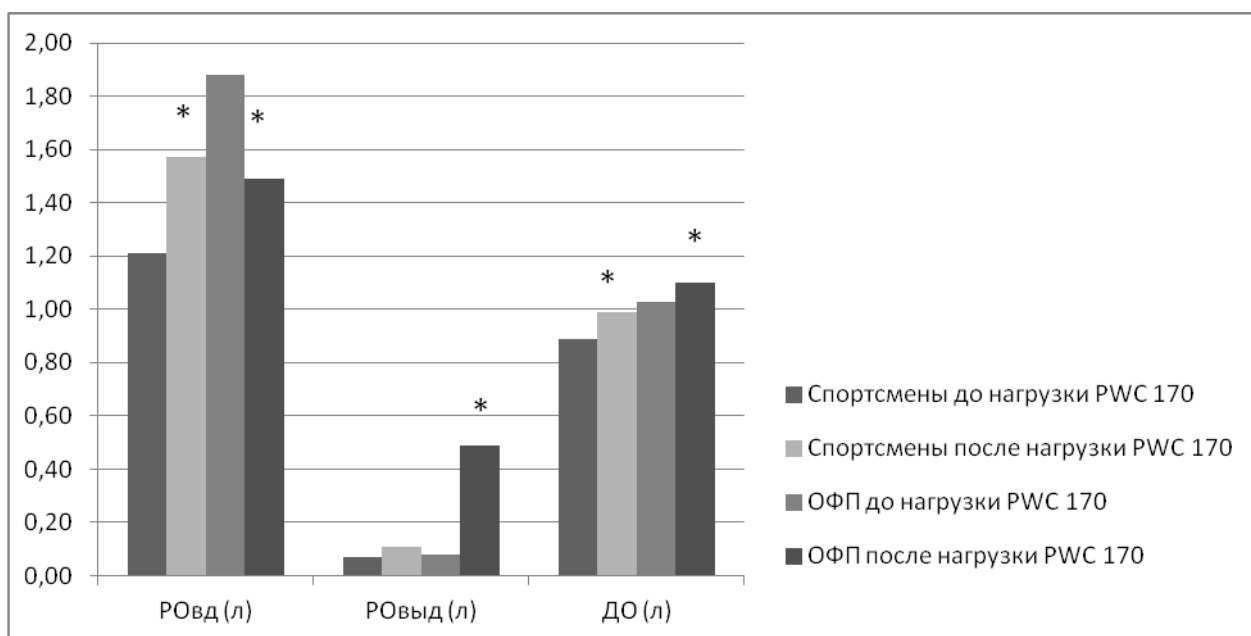


Рисунок 3.6 Изменение показателей спирометрии группы спортсменов и группе ОФП после нагрузочного теста PWC_{170}

* - достоверность различий в группах до и после нагрузочного теста PWC_{170} ($p < 0,05$)

Резервный объем вдоха ($PO_{вд}$) - это объем воздуха, который исследуемый может вдохнуть при максимальном усилии вслед за обычным вдохом. В покое этот объем примерно равен 55-63% ЖЕЛ. Резервный объем выдоха ($PO_{выд}$) - это объем воздуха, который исследуемый может выдохнуть при максимальном усилии вслед за обычным выдохом.

Увеличение $PO_{вд}$ и ДО в группе спортсменов после нагрузки свидетельствует об увеличении глубины дыхания за счет способности легких к дополнительному расширению и вентиляции [1, 40].

В группе ОФП после нагрузочного теста PWC170 снижение ДО и $PO_{вд}$, увеличение ЧД и $PO_{выд}$ говорит о частом и поверхностном дыхании, что крайне не эффективно при физических нагрузках.

Таким образом, в группе ОФП перестройка структуры дыхательного цикла после физической нагрузки связана со смещением его «вверх», что приводит к увеличению невентилируемого пространства и свидетельствует о низкой эффективности дыхания.

Полученные результаты свидетельствуют, что у спортсменов и нетренированных лиц наблюдается разнонаправленная реакция системы дыхания на физическую нагрузку. У спортсменов после физической работы отмечается существенный прирост резервного объема вдоха, тогда как у нетренированных лиц прирост резервного объема выдоха сопровождается адекватным снижением резервного объема вдоха. По видимому, у спортсменов высокая эластичность легочной ткани и грудной клетки обеспечивают высокие резервные возможности легочной вентиляции. У нетренированных лиц таких возможностей нет, и реакция дыхательной системы ограничена.

Далее для изучения влияния физической нагрузки на изменение состояния воздухоносных путей исследовались пневмотахографические показатели.

На рисунке 3.7 представлены средняя объёмная скорость в интервале между 25% - 75% ФЖЕЛ и 75% - 85% ФЖЕЛ и пиковая объёмная скорость выдоха.

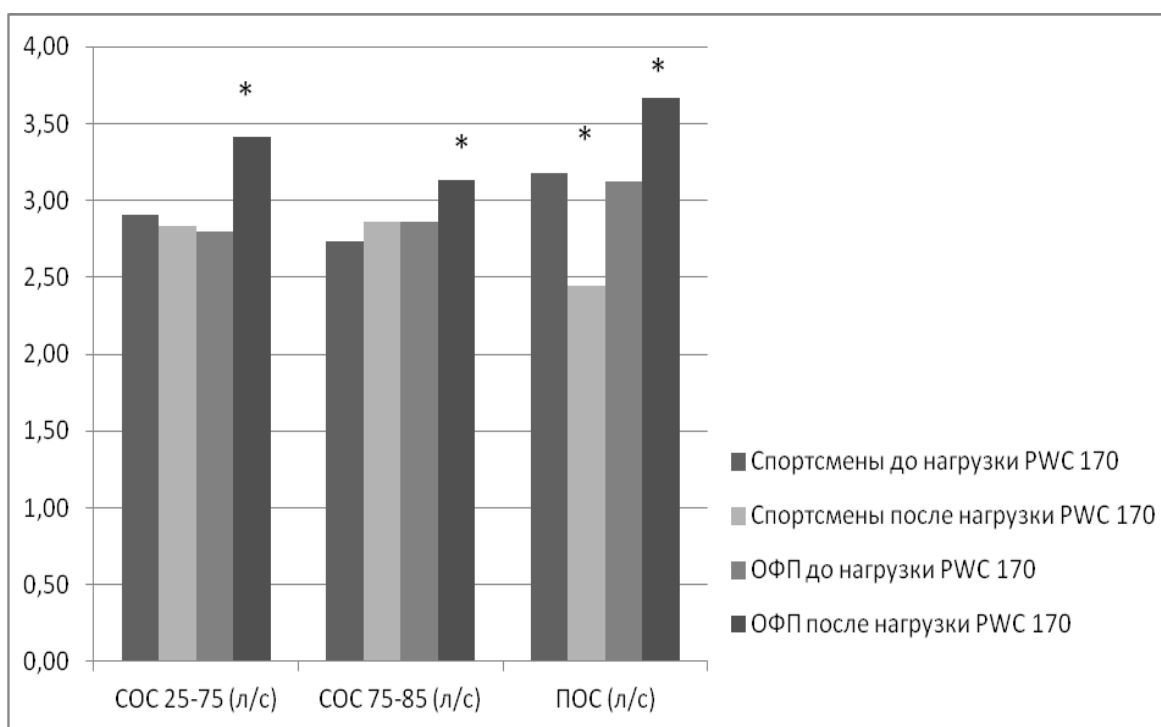


Рисунок 3.7 Изменение пневмотахографических показателей группы спортсменов и группе ОФП после нагрузочного теста PWC₁₇₀
 * - достоверность различий в группах до и после нагрузочного теста PWC170 (p<0,05)

В группе спортсменов после нагрузочного теста PWC170 достоверных изменений средней объёмной скорости (СОС) в интервале между 25% - 75% и 75%-85% ФЖЕЛ не выявлено, а в группе ОФП наблюдается достоверное увеличение этих показателей. Так же, в группе ОФП после нагрузки наблюдается увеличение пиковой объёмной скорости выдоха (ПОС_{выд}), у спортсменов после нагрузки выявлено снижение пиковой объёмной скорости выдоха (ПОС_{выд}).

Анализ максимальной объёмной скорости показал (Рисунок 3.8), что в группе ОФП, после нагрузочного теста PWC170, наблюдается достоверное увеличение максимальной объёмной скорости на уровне мелких, средних и крупных бронхов (МОС25, МОС50, МОС75, МОС85). В группе спортсменов наблюдается достоверное снижение МОС25 и увеличение МОС75 и МОС85 после нагрузки.

ПОС_{выд} и МОС25 характеризуют в основном сопротивление крупных дыхательных путей и не зависят от усилия дыхательных мышц. МОС75 и

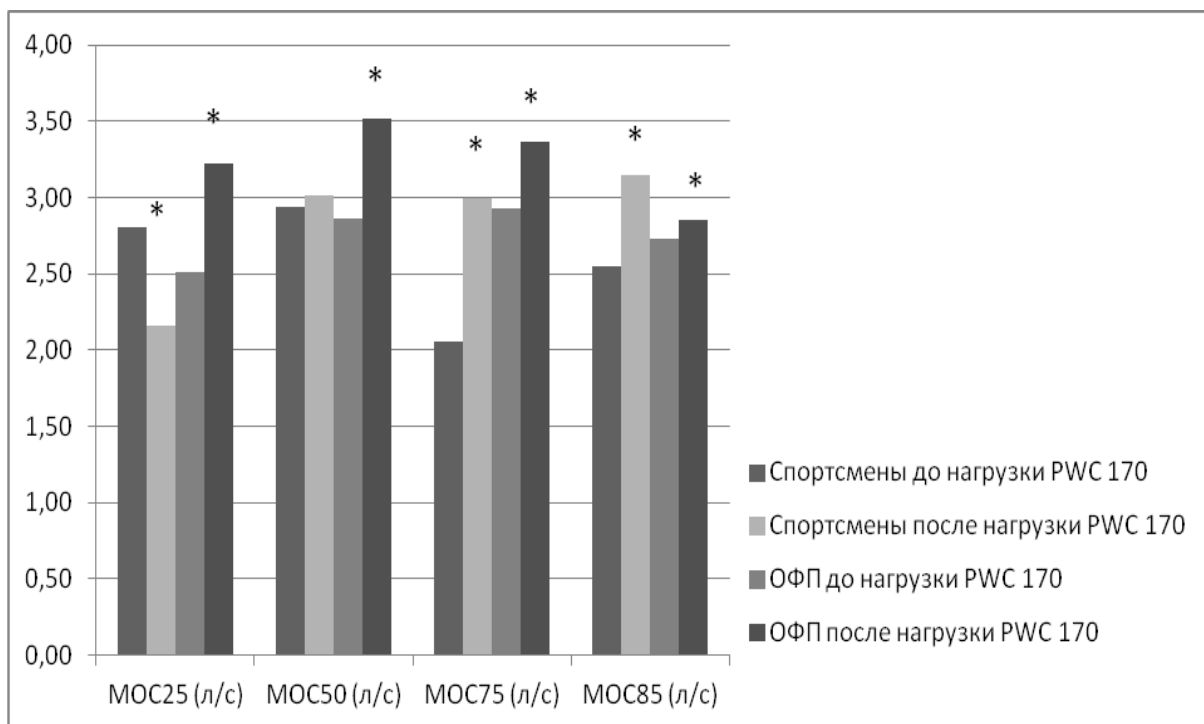


Рисунок 3.8 Изменение пневмотахографических показателей группы спортсменов и группе ОФП после нагрузочного теста PWC₁₇₀
 * - достоверность различий в группах до и после нагрузочного теста PWC₁₇₀ (p<0,05)

МОС75—85 отражают сопротивление мелких бронхов и в значительной степени зависят от работы дыхательных мышц.

В группе спортсменов после физической нагрузки отмечено снижение бронхиальной проходимости на уровне крупных бронхов, о чем свидетельствует снижение ПОС_{выд} и МОС 25. Механизмы этого явления до конца не выяснены. Повышенную склонность к бронхоспазму у спортсменов, тренирующихся на выносливость, описывают многие авторы, обозначая ее как «астму физической нагрузки». Возможно, что у спортсменов физическая нагрузка уже не играет роли мощного стрессора, выброс адреналина при нагрузке у них не столь значителен, что и приводит к повышению тонуса бронхиальных гладких мышц. С точки зрения механики дыхания снижение бронхиальной проходимости может быть связано с эффектом эжекции – то есть со снижением давления на стенку бронхов при увеличении скорости воздушного потока за счет увеличения активности дыхательных мышц [59, 60].

В то же время, более эффективная работа дыхательных мышц отражается в увеличении МОС75 и МОС85 у спортсменов. Эти показатели, отражающие состояние мелких бронхов, в значительной степени зависят от мышечного усилия. Вероятно, этот механизм у спортсменов компенсирует фактор сужения крупных бронхов.

Достоверные различия отмечаются и в расчетных показателях респираторной системы (индекс Тиффно). В группе спортсменов он достоверно снижается после нагрузочного теста PWC170, а в группе ОФП – напротив, возрастает (Рисунок 3.9). Снижение индекса Тиффно подтверждает описанное ранее замедлением экспираторного потока воздуха в конце выдоха (снижение МОС 25% и ПОС_{выд}).

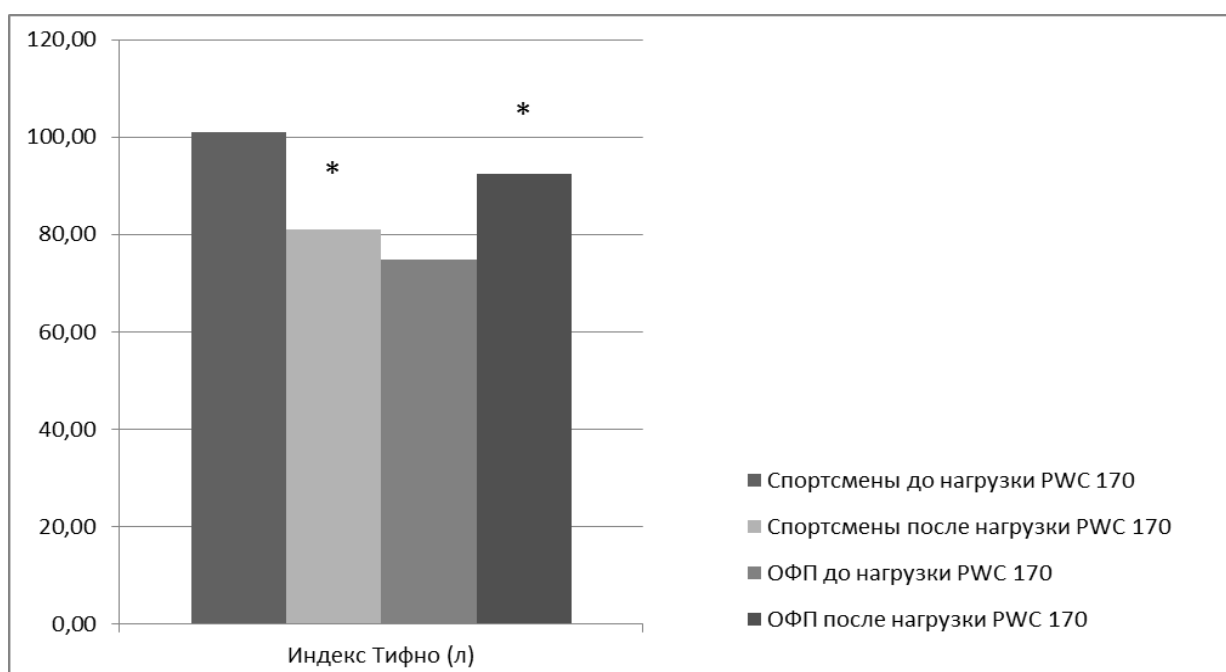


Рисунок 3.9 Изменение пневмотахографических показателей группы спортсменов и группе ОФП после нагрузочного теста PWC₁₇₀

* - достоверность различий в группах до и после нагрузочного теста PWC170 ($p < 0,05$)

Использование пробы с форсированным выдохом позволяет оценить трахеобронхиальную проходимость. Результат форсированного выдоха определяется комплексом анатомо- физиологических свойств легких. Значительную роль играет сопротивление потоку выдыхаемого воздуха в крупных бронхах и трахее. Определяющим фактором служит эластическое и трансму-

ральное давление, вызывающее компрессию бронхов. В норме не менее 70% форсированного выдохнутого воздуха приходится на первую секунду выдоха [143].

После физической нагрузки у спортсменов наблюдается снижение скорости воздушного потока на уровне крупных бронхов, что компенсируется увеличением бронхиальной проходимости на уровне средних и мелких бронхов. Последнее, по-видимому, обеспечивается усилением дыхательных мышц. У нетренированных лиц бронхоспастических реакций при физической нагрузке не выявлено, скорость воздушного потока возрастает на всех уровнях бронхиального дерева.

Таким образом, спортивная тренировка в циклических видах спорта формирует ряд факторов, некоторые из которых негативно влияют на легочную вентиляцию, ограничивая возможности кардиореспираторной системы. Одновременно формируются механизмы, компенсирующие эти негативные влияния и позволяющие обеспечивать потребности организма в кислороде на пике физической нагрузке. Учет этих факторов и разработка специальных тренировочных программ, направленных на их оптимизацию, будут способствовать увеличению функциональных способностей системы дыхания и, как следствие, росту спортивных результатов.

3.1.3 Электромиографические показатели работы дыхательных мышц у спортсменов

В данном параграфе представлены результаты исследования биоэлектрической активности передних зубчатых мышц. Запись биоэлектрической активности мышц проводилась при выполнении пробы форсированного вдоха и выдоха с задержкой дыхания. При этом достигалось максимальное напряжение мышц на максимальном вдохе и выдохе. Записи биоэлектрической активности мышц при выполнении пробы форсированного вдоха и выдоха в группе спортсменов и группе ОФП представлены на рисунке 3.10.

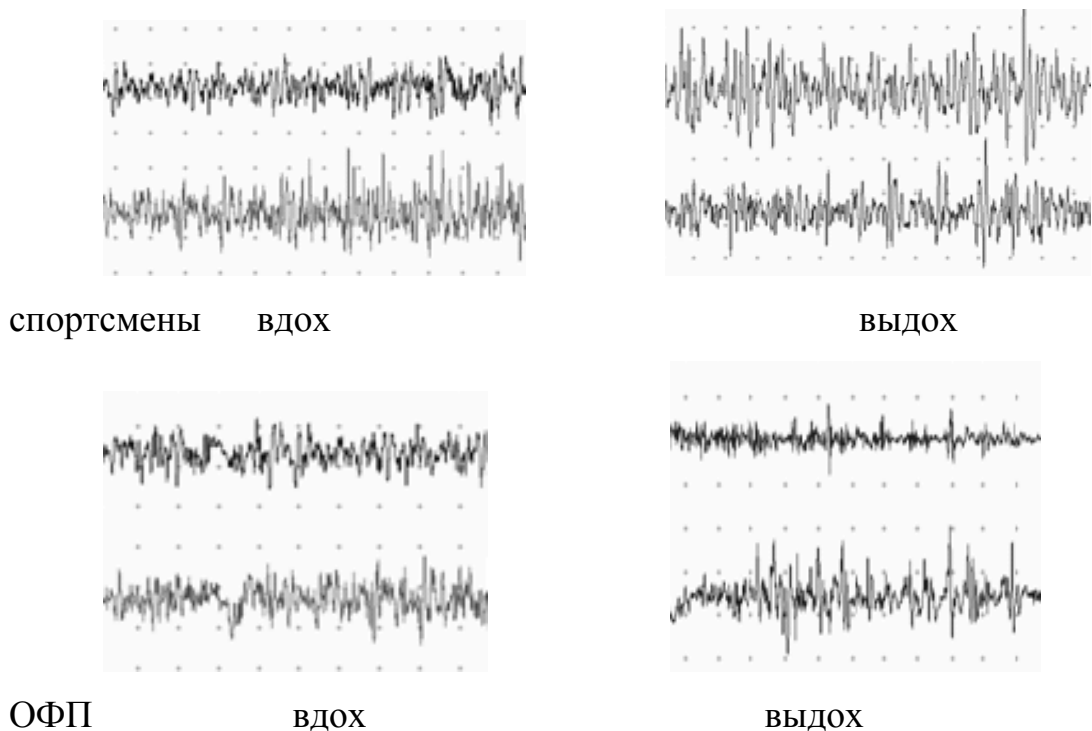


Рисунок 3.10 Электромиограмма передней зубчатой мышца (m. serratus anterior) справа при выполнении пробы форсированного вдоха и выдоха в группе спортсменов и группе ОФП

При выполнении форсированного вдоха с задержкой дыхания на максимальном вдохе максимальная амплитуда осцилляций биоэлектрической активности (Рисунок 3.11) зубчатых мышц у спортсменов составила 1087 ± 105 ($p < 0,05$) мкВ справа и 927 ± 89 ($p < 0,05$) мкВ слева. В группе ОФП максимальная амплитуда сокращения зубчатых мышц составила 823 ± 81 ($p < 0,05$) мкВ справа и 797 ± 75 ($p < 0,05$) мкВ слева.

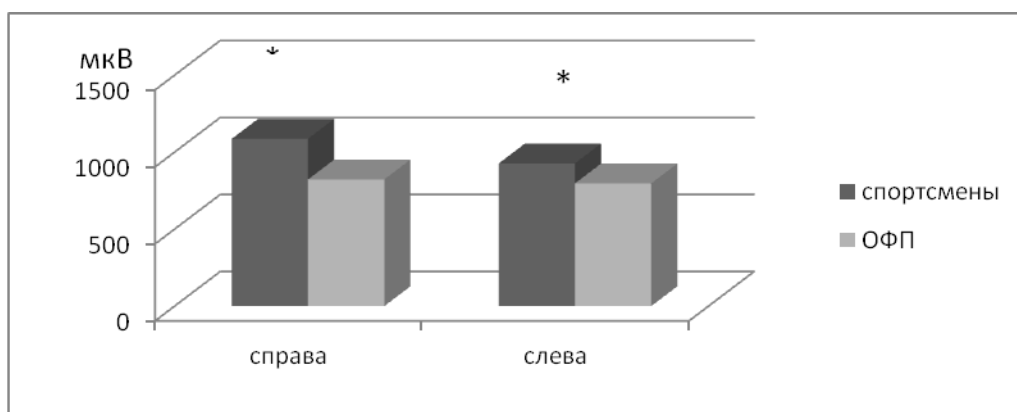


Рисунок 3.11 Максимальная амплитуда биоэлектрической активности зубчатых мышц при проведении пробы форсированного вдоха с задержкой дыхания на максимальном вдохе

* – достоверность различий между группами, $p < 0,05$

Так же, у спортсменов значимо выше и средняя амплитуда осцилляций. Справа эта величина составила 408 ± 37 ($p < 0,05$) мкВ и 351 ± 32 ($p < 0,05$) мкВ слева. В группе ОФП средняя амплитуда осцилляций равна 363 ± 34 ($p < 0,05$) мкВ и 313 ± 26 ($p < 0,05$) мкВ справа и слева соответственно (Рисунок 3.12).

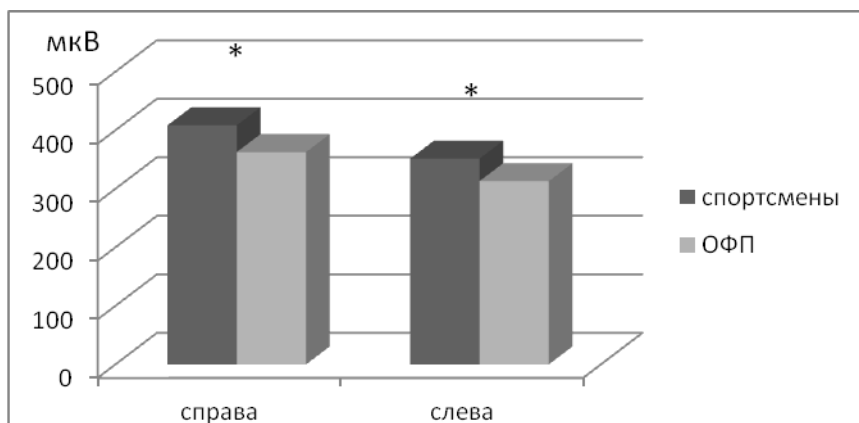


Рисунок 3.12 Средняя амплитуда биоэлектрической активности зубчатых мышц при проведении пробы форсированного вдоха с задержкой дыхания на максимальном вдохе
* – достоверность различий между группами, $p < 0,05$

При сравнении значений суммарной амплитуды и средней частоты биоэлектрической активности зубчатых мышц при выполнении форсированного вдоха между группами спортсменов и ОФП также наблюдались различия. У спортсменов значение суммарной амплитуды справа составило $83,3 \pm 6$ мкВ ($p < 0,05$) и слева $67,6 \pm 4$ мкВ ($p < 0,05$). В группе ОФП - 61 ± 3 мкВ ($p < 0,05$) и 35 ± 1 мкВ ($p < 0,05$) соответственно (Рисунок 3.13). Средняя частота биоэлектрической активности в группе спортсменов справа составила 175 ± 5 Гц ($p < 0,05$) и слева 137 ± 2 Гц ($p < 0,05$), в группе ОФП 112 ± 10 Гц ($p < 0,05$) справа и 97 ± 8 Гц ($p < 0,05$) слева (Рисунок 3.14).

При выполнении пробы форсированного выдоха с задержкой дыхания на максимальном выдохе тоже выявлено, что в группе спортсменов максимальная, средняя и суммарная амплитуды осцилляций биоэлектрической активности зубчатых мышц достоверно выше, чем в группе ОФП. Но при форсированном выдохе, в отличие от вдоха, средняя частота биоэлектрической активности в группе спортсменов достоверно ниже по сравнению с группой ОФП.

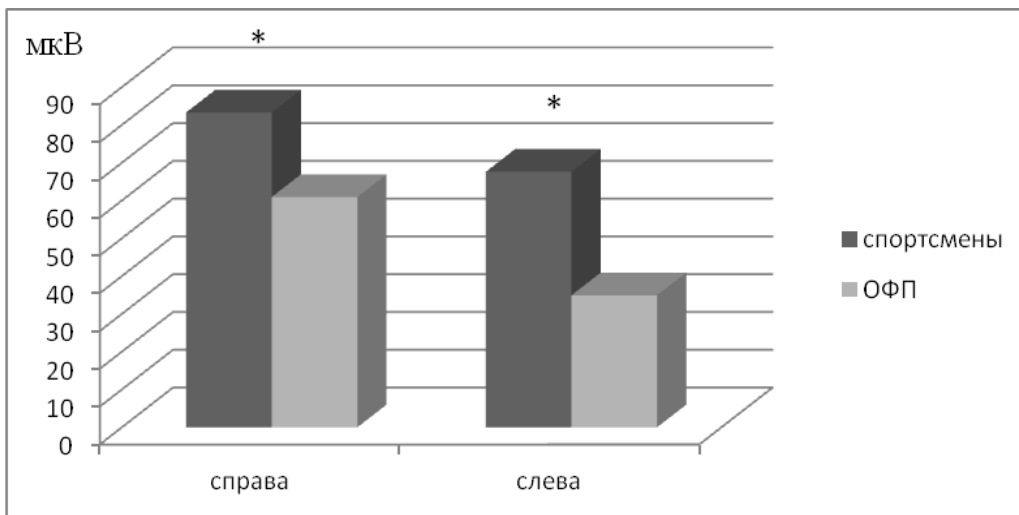


Рисунок 3.13 Суммарная амплитуда биоэлектрической активности зубчатых мышц при проведении пробы форсированного вдоха с задержкой дыхания на максимальном вдохе

* – достоверность различий между группами, $p < 0,05$

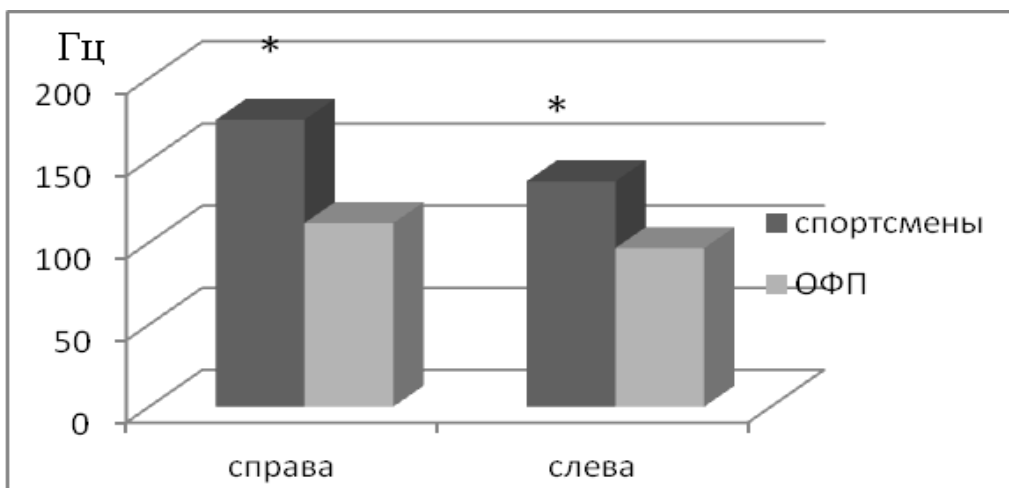


Рисунок 3.14 Средняя частота биоэлектрической активности зубчатых мышц при проведении пробы форсированного вдоха с задержкой дыхания на максимальном вдохе

* – достоверность различий между группами, $p < 0,05$

Так, при выполнении форсированного выдоха максимальная амплитуда осцилляций биоэлектрической активности (Рисунок 3.15) зубчатых мышц у спортсменов составила 1648 ± 154 ($p < 0,05$) мкВ сперва и 1211 ± 118 ($p < 0,05$) мкВ слева. В группе ОФП максимальная амплитуда осцилляций биоэлектрической активности зубчатых мышц составила 535 ± 48 ($p < 0,05$) мкВ справа и 471 ± 41 ($p < 0,05$) мкВ слева.

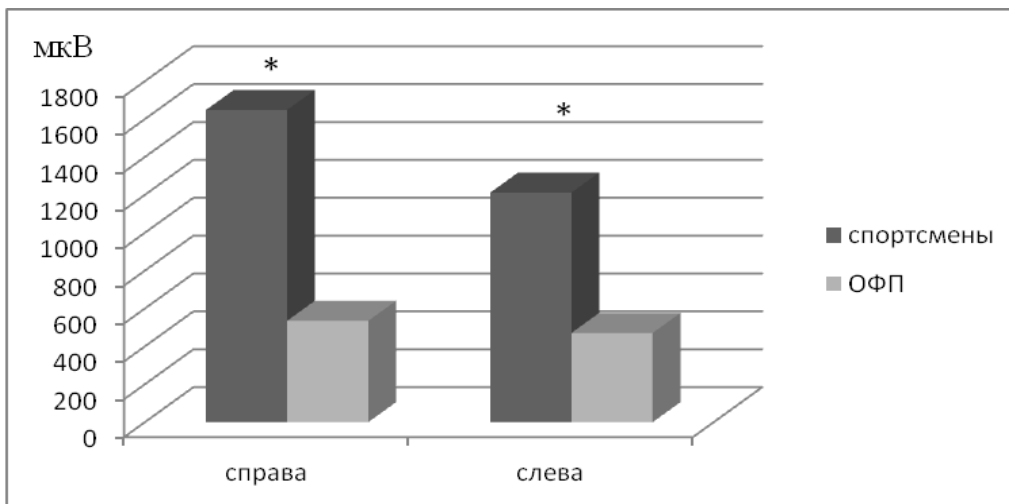


Рисунок 3.15 Максимальная амплитуда биоэлектрической активности зубчатых мышц при проведении пробы форсированного выдоха с задержкой дыхания на максимальном выдохе

* – достоверность различий между группами, $p < 0,05$

Так же у спортсменов значимо выше суммарная и средняя амплитуда осцилляций биоэлектрической активности зубчатых мышц. У спортсменов справа, эта величина средней амплитуды составила 407 ± 35 ($p < 0,05$) мкВ и 289 ± 26 ($p < 0,05$) мкВ слева. В группе ОФП средняя амплитуда осцилляций равна 201 ± 16 ($p < 0,05$) мкВ и 165 ± 14 ($p < 0,05$) мкВ справа и слева соответственно (Рисунок 3.16).

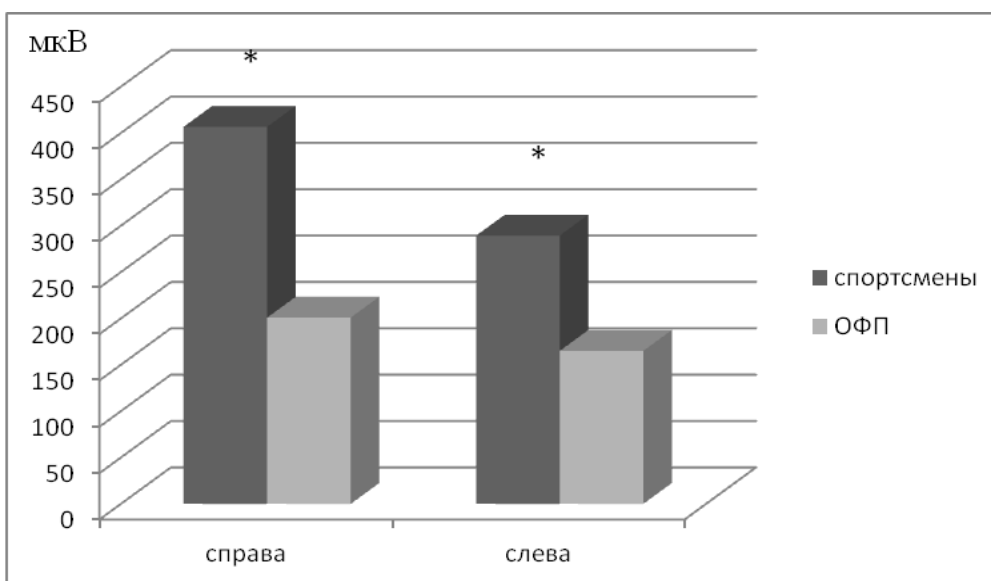


Рисунок 3.16 Средняя амплитуда биоэлектрической активности зубчатых мышц при проведении пробы форсированного выдоха с задержкой дыхания на максимальном выдохе

* – достоверность различий между группами, $p < 0,05$

Значение суммарной амплитуды осцилляций биоэлектрической активности в группе спортсменов справа составила 53 ± 4 мкВ ($p < 0,05$) и слева 43 ± 2 мкВ ($p < 0,05$), в группе - ОФП 34 ± 2 мкВ ($p < 0,05$) и 28 ± 1 мкВ ($p < 0,05$) соответственно (Рисунок 3.17).

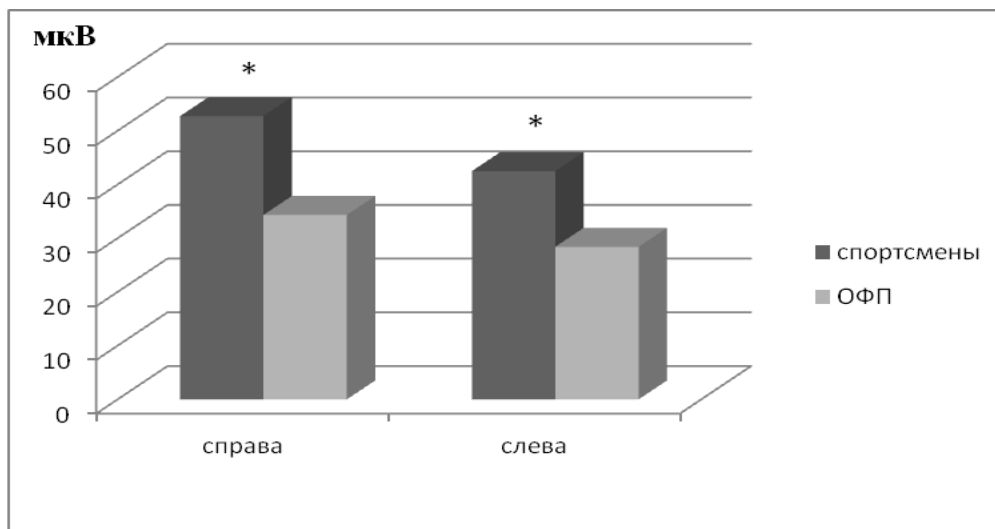


Рисунок 3.17 Суммарная амплитуда биоэлектрической активности зубчатых мышц при проведении пробы форсированного выдоха с задержкой дыхания на максимальном выдохе

* – достоверность различий между группами, $p < 0,05$

При сравнении значений средней частоты (Рисунок 3.18) биоэлектрической активности зубчатых мышц в группе спортсменов справа этот показатель составил 84 ± 7 Гц ($p < 0,05$) и слева 56 ± 5 Гц ($p < 0,05$), в группе ОФП - 123 ± 11 Гц ($p < 0,05$) справа и слева 97 ± 8 Гц ($p < 0,05$).

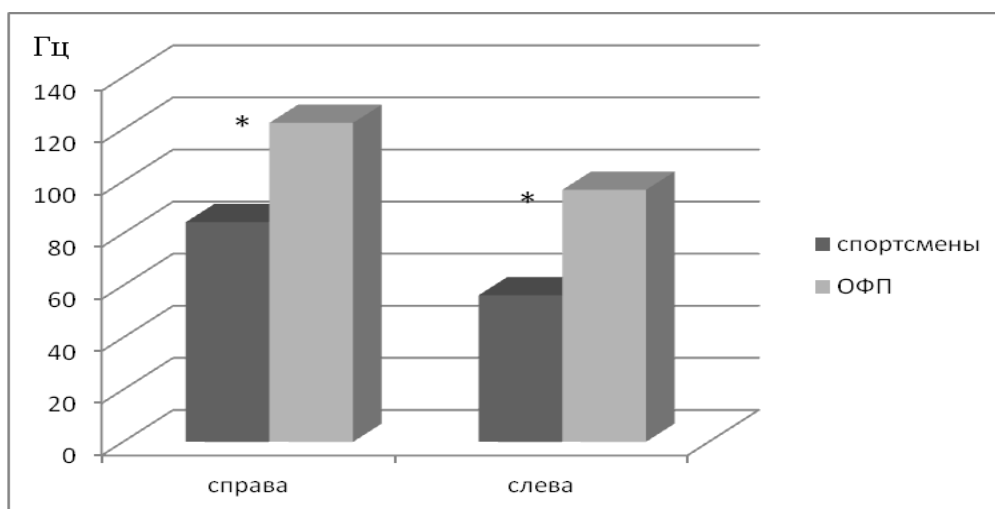


Рисунок 3.18 Средняя частота биоэлектрической активности зубчатых мышц при проведении пробы форсированного выдоха с задержкой дыхания на максимальном выдохе

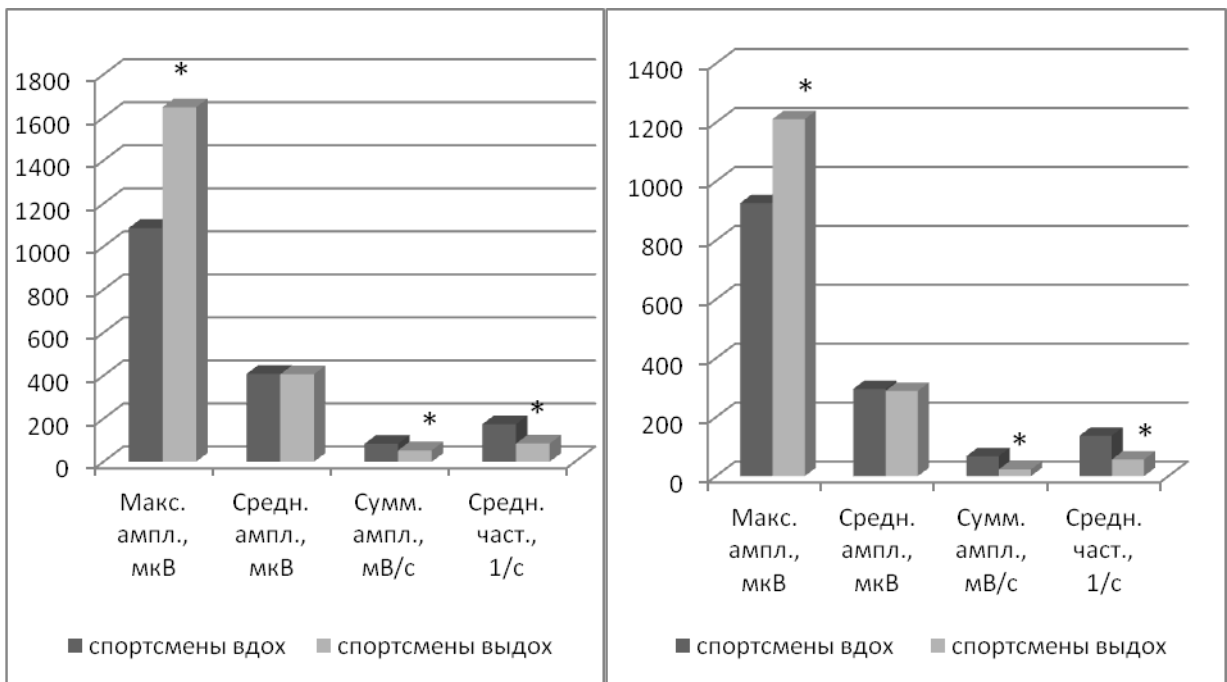
* – достоверность различий между группами, $p < 0,05$

По мере роста интенсивности нагрузки частота дыхания растет, а глубина дыхания уменьшается. В то же время глубина дыхания практически напрямую связана с активностью дыхательных мышц. Так, при глубине дыхания в 30 - 40% от ЖЕЛ задействованы диафрагма, внутренние и наружные межреберные мышцы. При глубине дыхания 40 - 65% ЖЕЛ включаются большие грудные, грудино-ключечно-сосцевидные, лестничные и зубчатые мышцы, а при глубине дыхания свыше 65% ЖЕЛ включаются практически все мышцы пояса верхних конечностей и брюшного пресса. С ростом тренированности спортсмена при физических нагрузках увеличивается, прежде всего, глубина дыхания. Очевидно, выявленные различия связаны со спецификой тренировки дыхательной системы в циклических видах спорта. У спортсменов увеличение глубины дыхания связано с большей активностью дополнительных дыхательных мышц в пробах форсированного вдоха и выдоха.

Далее был проведен анализ биоэлектрической активности зубчатых мышц при максимальном напряжении на вдохе и выдохе в каждой группе (Рисунок 3.19, 3.20).

При анализе проб форсированного вдоха и выдоха с задержкой дыхания в группе спортсменов (Рисунок 3.19) было выявлено, что максимальная амплитуда осцилляций электромиограммы зубчатых мышц достоверно выше при выдохе по сравнению с актом форсированного вдоха. Суммарная амплитуда осцилляции и средняя частота биоэлектрической активности на выдохе, напротив, достоверно ниже, по сравнению с фазой вдоха справа и слева.

Так, максимальная амплитуда ЭМГ зубчатых мышц в фазу форсированного вдоха у спортсменов составила 1087 ± 105 мкВ ($p < 0,05$) справа и 927 ± 89 ($p < 0,05$) мкВ слева. В фазу выдоха 1648 ± 154 ($p < 0,05$) мкВ справа и 1211 ± 118 ($p < 0,05$) мкВ слева.



А

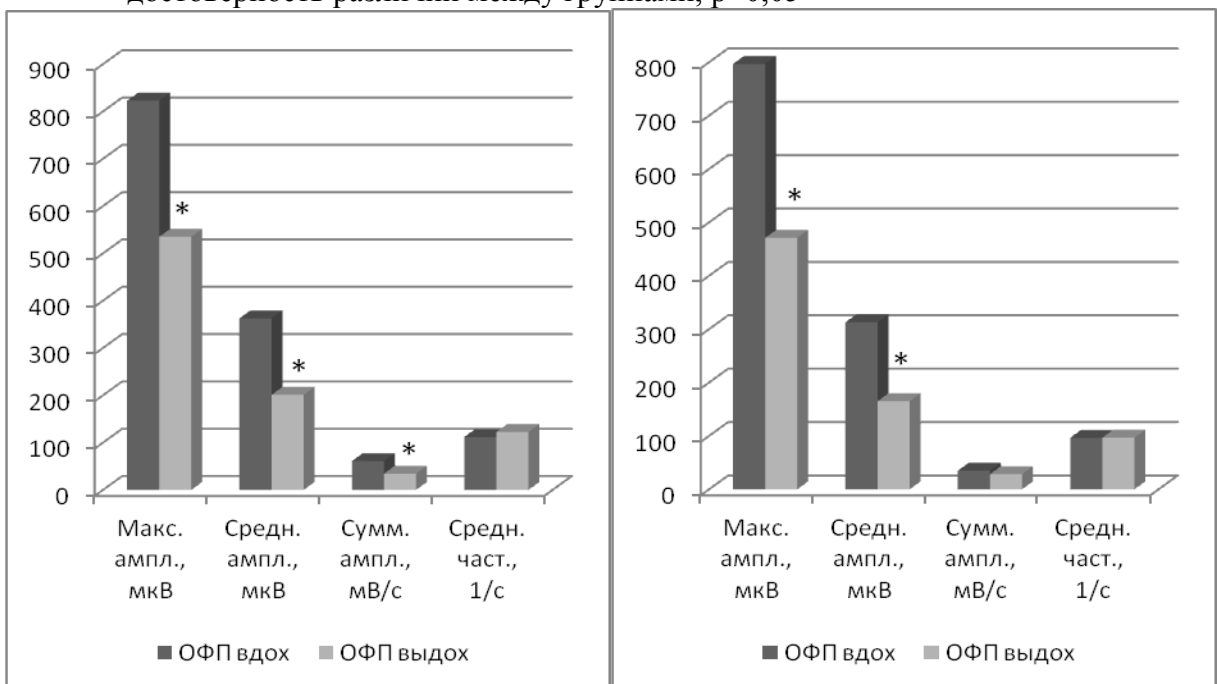
Б

Рисунок 3.19 Параметры биоэлектрической активности зубчатых мышц при проведении пробы форсированного вдоха и выдоха с задержкой дыхания в группе спортсменов.

А –передняя зубчатая мышца (m. serratus anterior) справа

В –передняя зубчатая мышца (m. serratus anterior) слева

* – достоверность различий между группами, $p < 0,05$



А

Б

Рисунок 3.20 Параметры биоэлектрической активности зубчатых мышц при проведении пробы форсированного вдоха и выдоха с задержкой дыхания в группе ОФП.

А –передняя зубчатая мышца (m. serratus anterior) справа

В –передняя зубчатая мышца (m. serratus anterior) слева

* – достоверность различий между группами, $p < 0,05$

При анализе проб форсированного вдоха и выдоха с задержкой дыхания в группе ОФП было выявлено (Рисунок 3.20), что максимальная и средняя амплитуды осцилляции ЭМГ зубчатых мышц слева и справа достоверно выше при вдохе по сравнению с актом форсированного выдоха.

Так, максимальная амплитуда осцилляций биоэлектрической активности зубчатых мышц в фазу форсированного вдоха в группе ОФП составила 823 ± 81 мкВ ($p < 0,05$) справа и 797 ± 75 ($p < 0,05$) мкВ слева, в фазу выдоха - 535 ± 48 ($p < 0,05$) мкВ справа и 471 ± 41 ($p < 0,05$) мкВ слева. Средняя амплитуда осцилляций биоэлектрической активности зубчатых мышц в фазу форсированного вдоха составила 363 ± 34 мкВ ($p < 0,05$) справа и 313 ± 26 ($p < 0,05$) мкВ слева, в фазу выдоха - 201 ± 16 ($p < 0,05$) мкВ справа и 165 ± 14 ($p < 0,05$) мкВ слева. Анализ средней частоты биоэлектрической активности зубчатых мышц справа и слева в фазы форсированного вдоха и выдоха достоверных различий между группами не выявил.

Для тренировки выносливости дыхательной системы в циклических видах спорта целесообразнее акцентировать выдох, а не вдох. В этом случае поступающий в легкие воздух из атмосферы смешивается в легких с меньшим количеством остаточного воздуха, в котором содержание кислорода значительно ниже, а содержание углекислого газа значительно выше, чем во вдыхаемом воздухе.

Целенаправленная тренировка дыхательных мышц является важным звеном построения тренировочного процесса. Эффективность действия дыхательной системы в значительной степени зависит от уровня развития дыхательных мышц. Поэтому совершенствование работы дыхательных мышц является одним из важных компонентов тренировки выносливости. Полученные данные могут использоваться при выборе средств для тренировки дыхательных мышц у спортсменов.

3.1.4 Изменение концентрации лактата в капиллярной крови спортсменов после нагрузки

Исследование концентрации лактата в капиллярной крови после нагрузочного теста PWC₁₇₀ показало его достоверное увеличение в обеих группах (Рисунок 3.21).

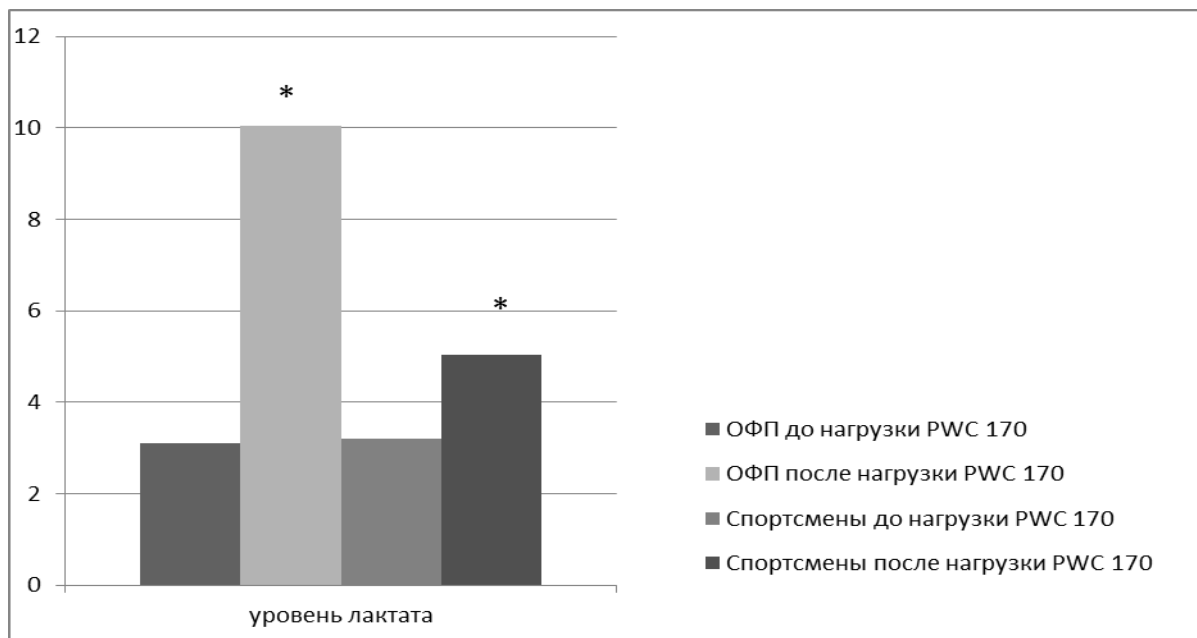


Рисунок 3.21 Изменение концентрации лактата в капиллярной крови после теста PWC170, ммоль/л

* - достоверность различий в группах до и после нагрузочного теста PWC170 ($p < 0,05$)

В группе ОФП она увеличивается в 3,4 раза, а у спортсменов лишь в 1,5 раза. Достоверных различий уровня лактата в крови между группами до нагрузки не выявлено.

Концентрация лактата в капиллярной крови является важным показателем уровня тренированности спортсмена. Аэробный потенциал скелетных мышц спортсменов выше, чем у нетренированных. Поэтому мышцы у них продуцируют меньше молочной кислоты, чем у нетренированных людей, так как в большей степени используется аэробный путь энергообразования.

Кроме того, концентрация лактата в крови во время мышечной работы зависит от возможности кислородтранспортной системы удовлетворять потребности работающих мышц в кислороде. У спортсменов происходит более быстрое вращивание кислородтранспортной системы. Как известно, при

длительных аэробных упражнениях наибольшая концентрация лактата в крови обнаруживается в первые минуты работы, что связано с кислородным дефицитом [21]. По сравнению с нетренированными у спортсменов повышение концентрации лактата в крови вначале работы значительно меньше.

Так же немаловажное значение имеет способность организма утилизировать молочную кислоту. Усиленной утилизации образующейся в мышцах спортсменов молочной кислоты способствует повышенный аэробный потенциал всех мышечных волокон и особенно высокий процент медленных мышечных волокон, а также увеличенная масса сердца. Медленные мышечные волокна, как и миокард, способны активно использовать молочную кислоту, в качестве энергетического субстрата. Кроме того, при одинаковых аэробных нагрузках кровотока через печень у спортсменов выше, чем у нетренированных, что также может способствовать более интенсивной экстракции печенью молочной кислоты из крови и ее дальнейшему превращению в глюкозу и гликоген (цикл Кори) [21, 95].

Таким образом, у спортсменов, тренирующихся в циклических видах спорта, сердечно-сосудистая система гораздо эффективнее справляется с задачей обеспечения кислородного запроса – об этом свидетельствует меньшая концентрация молочной кислоты, а, следовательно, величина накопленного кислородного долга у них будет ниже.

3.1.5 Изменение гемодинамики нижних конечностей у спортсменов после нагрузки

Реография нижних конечностей проводилась до и после нагрузочного теста PWC170 на велоэргометре в режиме нагрузок 35-40 Вт и 170 - 350 Вт.

Анализ реакции гемодинамических показателей нижних конечностей показал, что после нагрузки у спортсменов в мышцах бедра наблюдается усиление интенсивности артериального кровотока. Наблюдается прирост таких показателей как реографический индекс (РИ), амплитудно-частотный

показатель (АЧП) и индексы быстрого ($V_{\text{макс}}$) кровенаполнения (Рисунок 3.22).

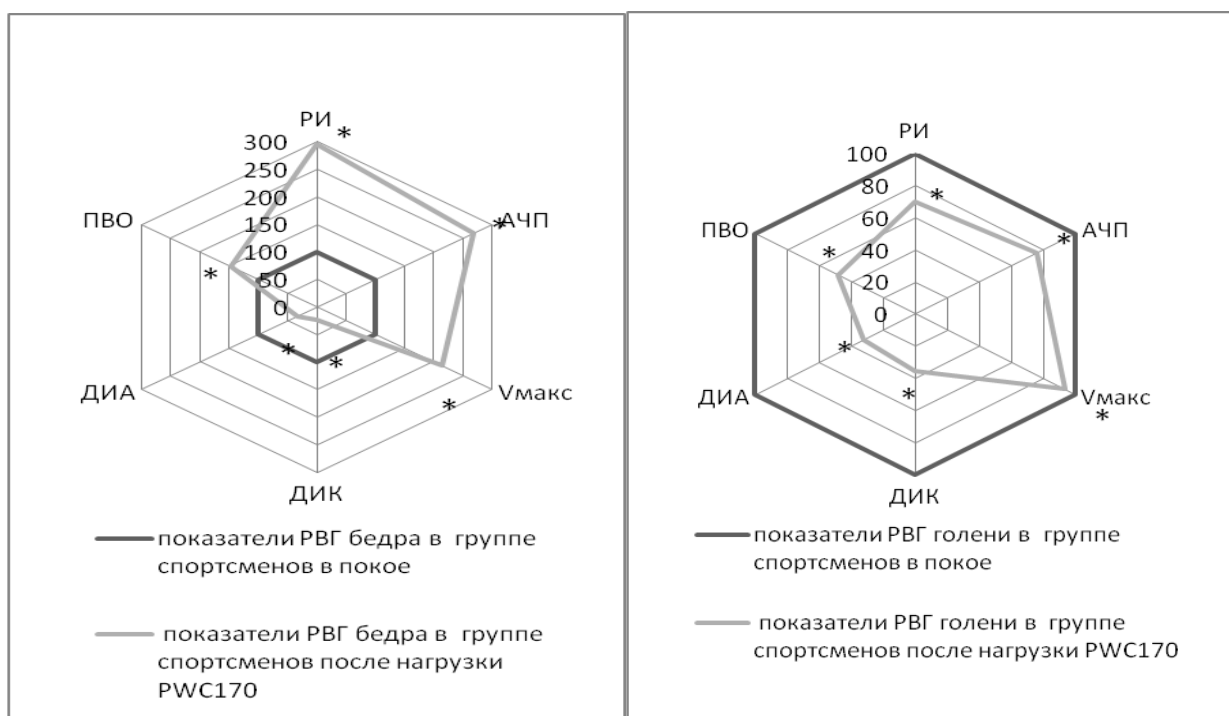


Рисунок 3.22 Изменение показателей регионарной гемодинамики нижних конечностей в группе спортсменов до и после нагрузочного теста PWC170 (показатели представлены в %, показатели до нагрузки приняты за 100%).

* - достоверность различий в группах до и после нагрузочного теста PWC170 ($p < 0,05$)

В то же время, после нагрузки происходит снижение венозной составляющей (Рисунок 3.22). Выявлено снижение дикротического (ДКИ) и диастолического (ДИА) индексов на фоне увеличения индекса венозного оттока (ПВО).

В мышцах голени у спортсменов после нагрузочного теста PWC170 не наблюдается усиления артериального кровотока, прироста показателей венозного кровотока так же не происходит (Рисунок 3.22).

В группе ОФП (Рисунок 3.23) в мышцах бедра после нагрузочного теста PWC170 наблюдается не столь значительное увеличение реографического индекса (РИ), амплитудно-частотного показателя (АЧП) и дикротического индекса (ДКИ). В мышцах голени (Рисунок 3.23) после нагрузки, наоборот,

наблюдается повышение показателей интенсивности артериального кровотока и усиление венозного оттока (повышение ПВО).

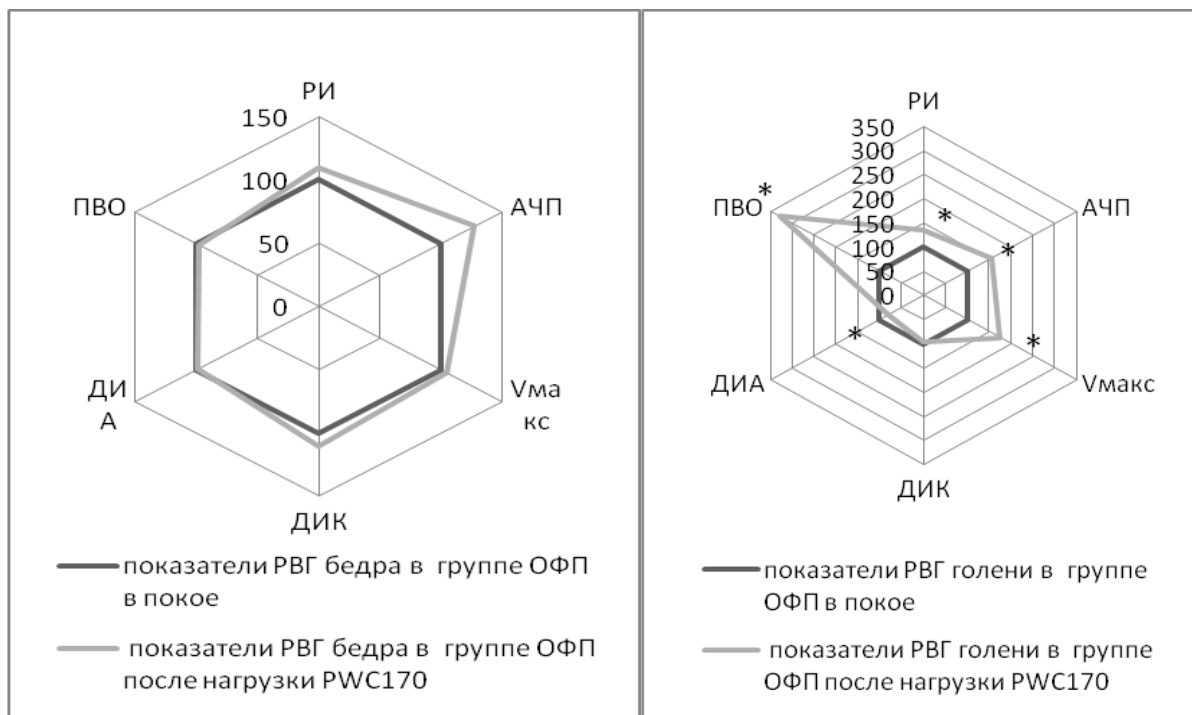


Рисунок 3.23 Изменение показателей регионарной гемодинамики нижних конечностей в группе ОФП до и после нагрузочного теста PWC₁₇₀ (показатели представлены в %, показатели до нагрузки приняты за 100%).

* - достоверность различий в группах до и после нагрузочного теста PWC₁₇₀ ($p < 0,05$)

По всей видимости, при выполнении физической нагрузки на велоэргометре преимущественно задействованы мышцы бедер, и именно в этом регионе увеличивается интенсивность артериального кровотока. Снижение венозного кровотока отражает застойные явления в области таза – результат вынужденной позы в велосипедном седле.

У спортсменов реакция системы кровообращения оптимальна – кровоток усиливается именно в области бедер – то есть в том регионе, мышцы которого вовлечены в выполняемую работу. В области голени мы наблюдаем некоторое снижение кровотока.

У нетренированных лиц усиление кровотока происходит во всех отделах нижней конечности – и в области бедра и в области голени – и не соответствует распределению мышечной активности, что делает реакцию системы кровообращения на нагрузку менее эффективной.

Подводя итог сказанному, можно отметить, что физическая нагрузка вызывает перестройки в функционировании систем дыхания и кровообращения, однако характер реакции данных систем на нагрузку у тренированных и нетренированных лиц принципиально различается. У спортсменов реакция системы дыхания носит интенсивный характер – усиливается прежде всего скорость перемещения воздуха по воздухоносным путям, тогда как у нетренированных лиц реакция системы дыхания носит экстенсивный характер – увеличиваются преимущественно объемы.

Реакция со стороны регионарного кровотока у спортсменов дифференцирована – она проявляется преимущественно в регионе тех мышц, которые вовлечены в выполняемую работу. У нетренированных лиц, напротив, усиление кровотока происходит во всей конечности в целом.

Полученные результаты свидетельствуют, что важным компонентом физиологических механизмов формирования выносливости является дифференцировка регуляторных механизмов систем дыхания и кровообращения.

3.2 Физиологическая реакция организма спортсмена на физическую нагрузку после капнографического тренинга с биологической обратной связью

Принимая во внимание вышеизложенное, мы предполагаем, что тренировка дыхания на основе адаптивного биоуправления параметрами внешнего дыхания может оказать очень эффективное влияние на процесс адаптации к физическим нагрузкам.

Кроме того, основное преимущество метода БОС заключается в том, что он направлен на мобилизацию внутренних резервов организма, при этом спортсмен принимает активное участие в процессе тренинга. Эффективность БОС тренинга в значительной степени определяется мотивацией на улучшение спортивного результата.

В рамках данной работы были реализованы задачи как однонаправленного, так и знакопеременного тренинга. Выполнение двух заданий на изменение частоты дыхания и концентрации CO_2 в выдыхаемом воздухе в течении 10 минут можно рассматривать, как однонаправленный тренинг. Однонаправленный тренинг служит для обучения сознательному управлению какой-либо функции организма [23, 31, 28]. Чередование двух заданий на увеличение и уменьшение заданных параметров является отличительной чертой знакопеременного тренинга. Результатом этого вида тренинга является обеспечение плавной равномерной нагрузки на все звенья регуляторной системы, что позволяет сбалансировать их взаимодействие и тем самым повысить адаптационные способности организма [23, 28].

3.2.2 Реакции дыхательной системы спортсменов на нагрузку после капнографического БОС-тренинга

Для оценки результатов проведения капнографического БОС-тренинга по методике, описанной во второй главе данной работы, были исследованы изменение концентрации CO_2 в выдыхаемом воздухе, спирометрические и пневмотахографические показатели, уровень физической работоспособности и показатели кровотока нижних конечностей. Так же была изучена реакция центральной нервной системе на проведение респираторного БОС-тренинга по капнограмме выдыхаемого воздуха методом электроэнцефалографии.

Перед первым сеансом и после последнего сеанса БОС-тренинга у спортсменов проводилась 1,5-минутная запись капнограммы спокойного дыхания для вычисления максимального значения концентрации CO_2 в выдыхаемом воздухе при спокойном дыхании.

Анализ полученных результатов показал (Рисунок 3.24), что после проведения курса БОС-тренинга у спортсменов снижалось содержание CO_2 в выдыхаемом воздухе от 5,20 (4,83–5,30)% до 4,80 (4,30–5,00)% ($p < 0,05$). При

попарном сравнении концентрации CO_2 в выдыхаемом воздухе снижение после БОС-тренинга составило 0,35 (0,30–0,53)% ($p < 0,05$).

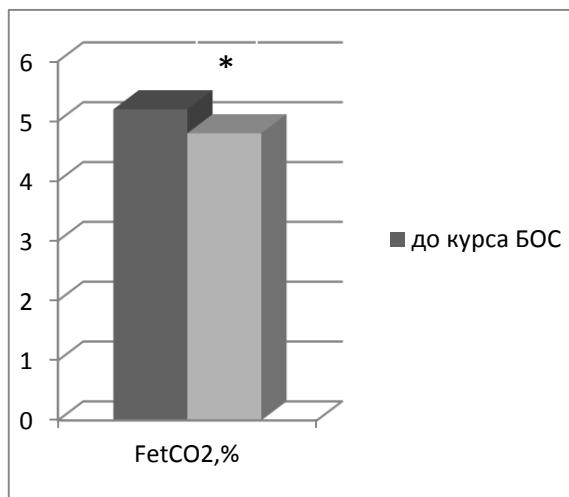
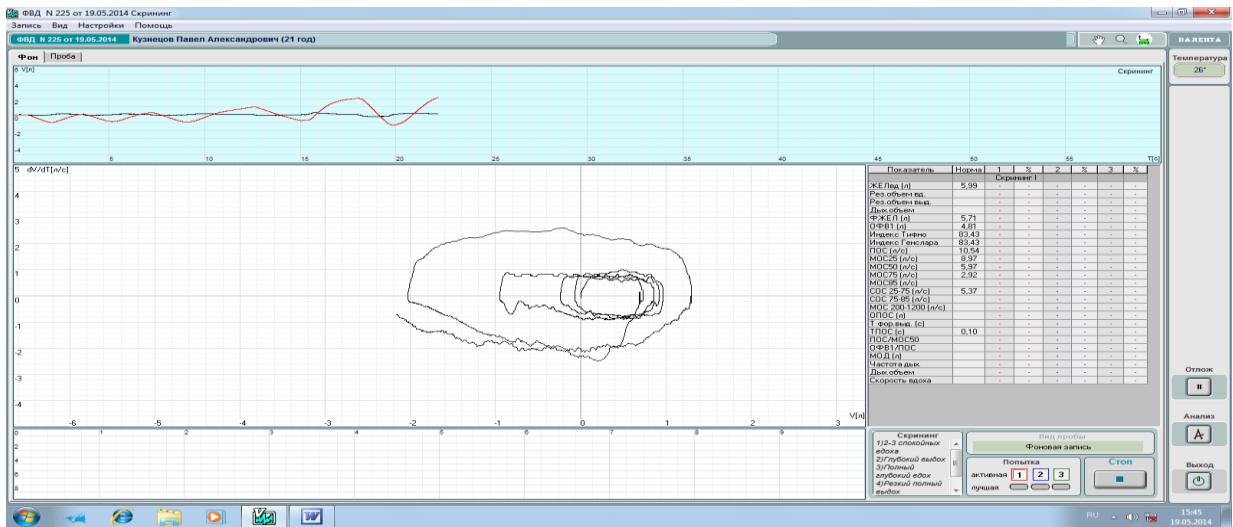


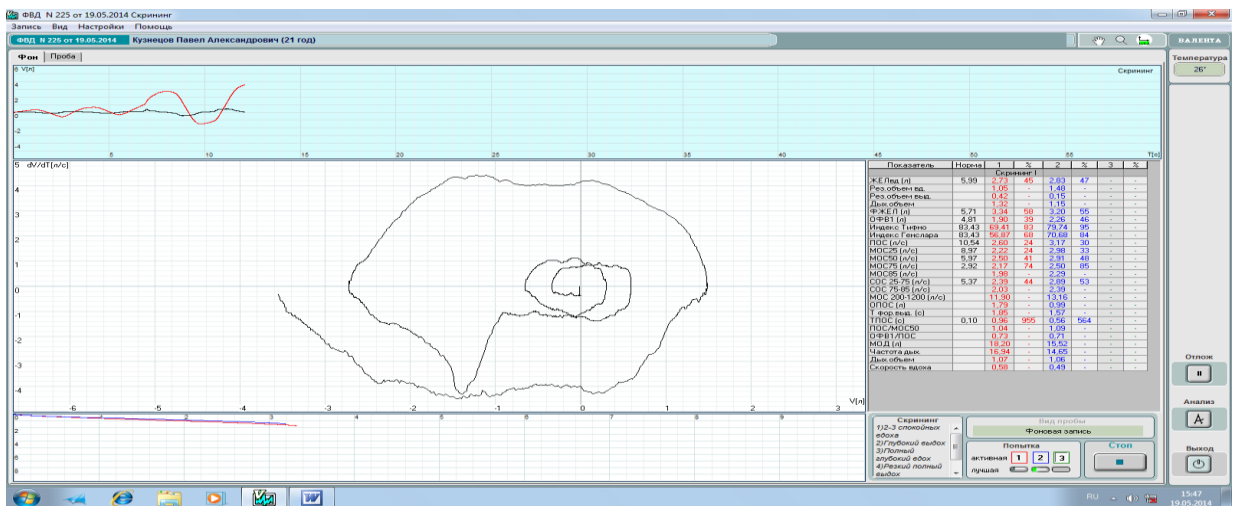
Рисунок 3.24 Максимальная концентрация CO_2 в выдыхаемом воздухе при спокойном дыхании у спортсменов до и после курса БОС-тренинга
* - достоверность различий в группах до и после нагрузочного теста PWC170 ($p < 0,05$)

Далее проведем оценку влияния капнографического БОС-тренинга на показатели функции внешнего дыхания в группе спортсменов до и после нагрузочного теста PWC170. Петля «объем-поток» при выполнении пробы форсированного вдоха и выдоха представлена на рисунке 3.25

Анализ спирометрических показателей у спортсменов прошедших курс БОС-тренинга (Рисунок 3.26А) под влиянием мышечной работы показал увеличение форсированной жизненной емкости легких за 1 секунду (ОФВ1 (л)), максимального потока экспирации (ПОС_{выд} (л/с)) и форсированного экспираторного потока между 25% и 75% форсированной жизненной ёмкости лёгких (СОС25-75 (л/с)). Время форсированного выдоха (ТФЖЕЛ_{выд}) и форсированная жизненная емкость легких (ФЖЕЛ (л)) достоверно не изменяются.

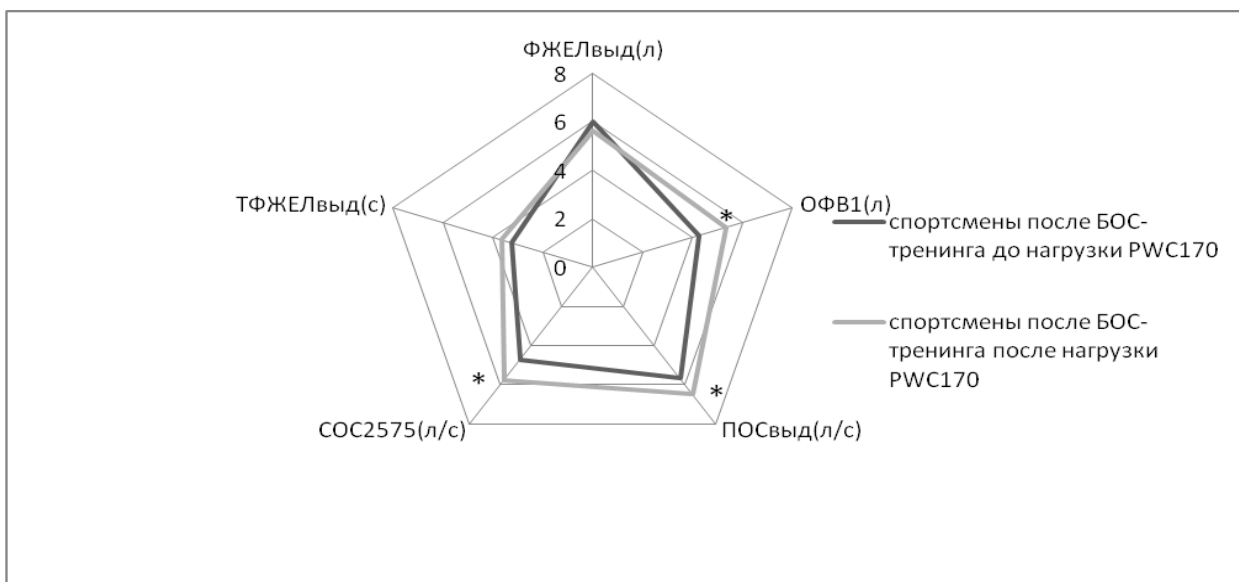


А

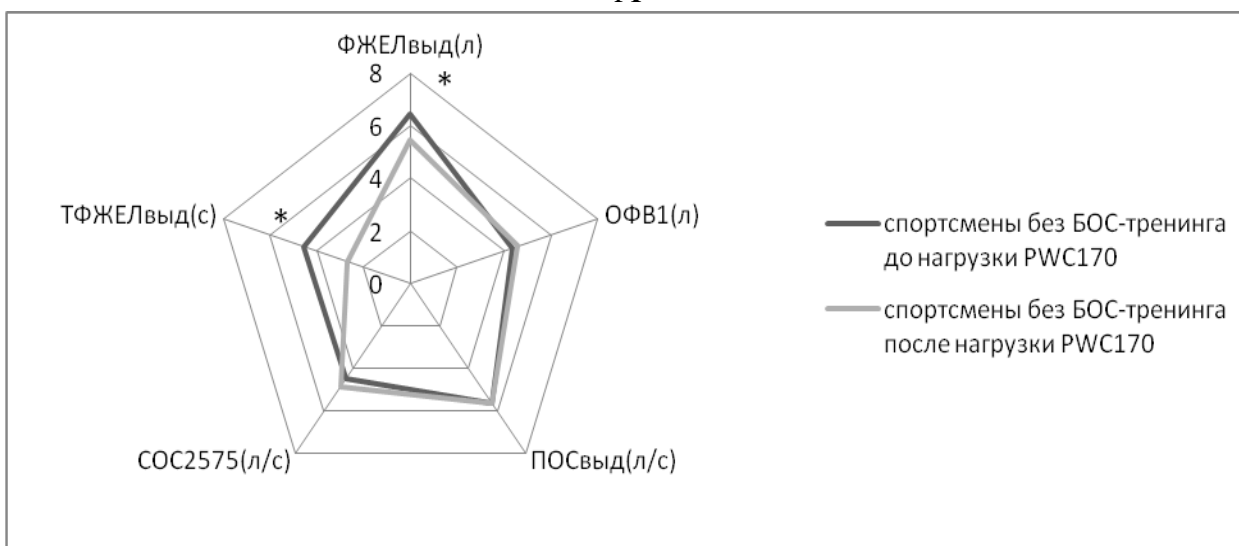


Б

Рисунок 3.25 Петля поток-объем при выполнении пробы форсированного вдоха и выдоха в группе спортсменов прошедших курс капнографического БОС-тренинга до нагрузочного теста PWC170 (А) и после (Б)



А



Б

Рисунок 3.26 Изменение показателей спирометрии у спортсменов до и после нагрузочного теста PWC170.

А – группа спортсменов, прошедшие курс БОС-тренинга

Б – спортсмены, тренировавшиеся в обычном режиме без БОС-тренинга

В группе спортсменов, которые тренировались в обычном режиме без БОС-тренинга (Рисунок 3.26 Б), напротив, после нагрузки PWC170 наблюдается прирост таких показателей, как форсированная жизненная емкость легких (ФЖЕЛ (л)) и время форсированного выдоха (ТФЖЕЛ_{выд}). Числовые значения показателей спирометрии представлены в таблице 1.

Таблица 1

Изменение показателей спирометрии у спортсменов до и после нагрузочного теста PWC170 при проведении БОС-тренинга и без него.

Показатели	Группа спортсменов после курса БОС-тренинга		Группа спортсменов без курса БОС-тренинга	
	до нагрузки PWC170	после нагрузки PWC170	до нагрузки PWC170	после нагрузки PWC170
Форсированная жизненная емкость легких (ФЖЕЛ), л	5,98±0,51	5,65±0,53	6,42±0,68	5,44±0,61
Объем форсированного выдоха за 1 секунду (ОФВ1), л	4,24±0,38	5,35±0,49	4,38±0,52	4,57±0,43
Пиковая объемная скорость выдоха (ПОСвыд), л/с	5,66±0,48	6,47±0,63	5,65±0,63	5,61±0,63
Средняя объемная скорость в интервале между 25% - 75% (СОС2575), л/с	4,73±0,43	5,78±0,58	4,46±0,49	4,86±0,51
Общее время выдоха ФЖЕЛ (ТФЖЕЛвыд), с	3,27±0,29	3,68±0,39	4,55±0,54	2,68±0,33

Таким образом, после капнографического БОС-тренинга усиление дыхания на фоне физической нагрузки происходит по интенсивному пути, за счет увеличения скорости перемещения воздуха. Такая реакция системы дыхания на физическую нагрузку более рациональна.

Анализ теста PWC-170 показал прирост работоспособности после БОС-тренинга до 1070±98,99 кгм/мин*кг., до тренинга уровень работоспособности составил 796±15,56 кгм/мин*кг (p<0,05).

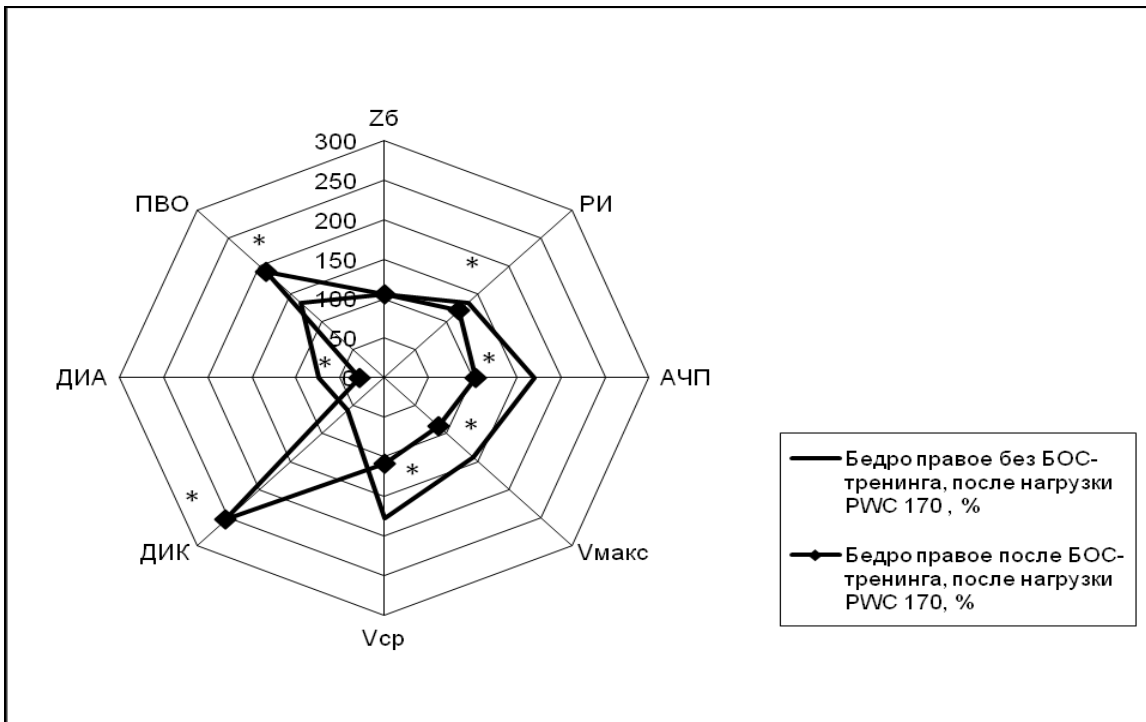
3.2.2 Изменение гемодинамики нижних конечностей у спортсменов при физической нагрузке после капнографического тренинга с биологической обратной связью

В этой части работы анализируется влияние капнографического БОС-тренинга на гемодинамику нижних конечностей после мышечной нагрузки. Реографические показатели (Рисунок 3.27) в обеих группах представлены в %, показатели до курса БОС-тренинга до нагрузки приняты за 100%

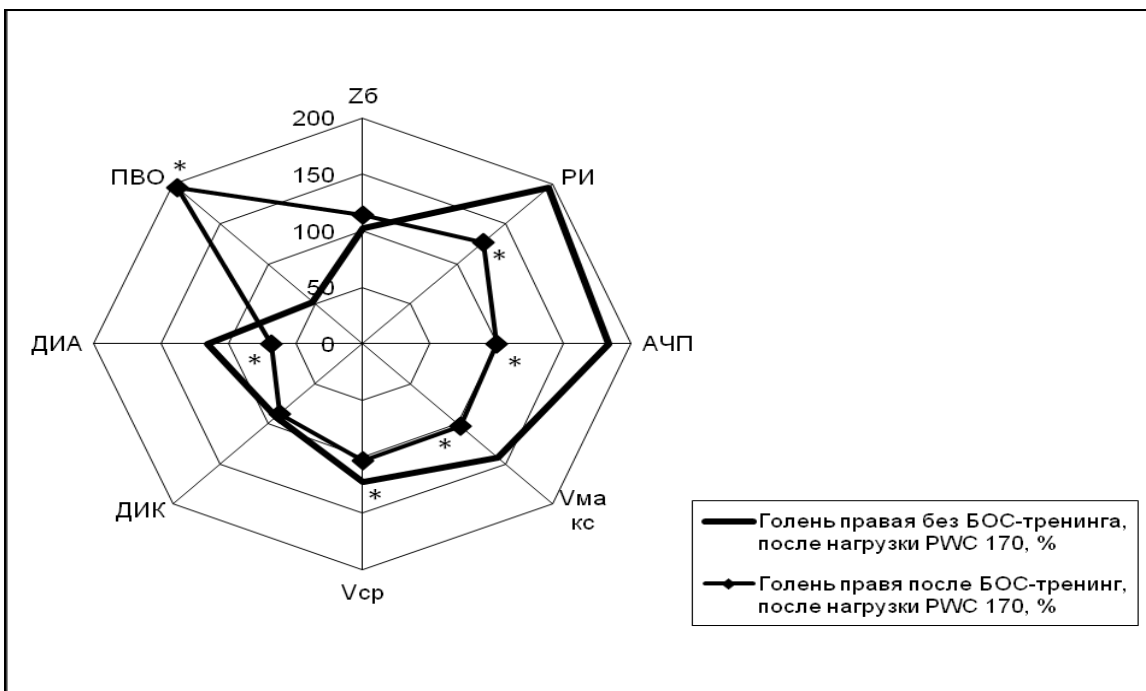
Как видно из рисунка 3.27, в группе спортсменов, прошедших курс капнографического БОС-тренинга, после нагрузки наблюдается меньший прирост интенсивности артериального кровотока. Увеличение таких показателей, как реографический индекс (РИ) ($p < 0,05$) и амплитудно-частотный показатель (АЧП) ($p < 0,05$) достоверно больше в группе спортсменов, не прошедших курс капнографического БОС-тренинга. Так же меньший прирост имеют индексы быстрого (V_{\max}) и среднего кровенаполнения ($V_{\text{ср}}$) ($p < 0,05$), которые отражают кровенаполнение, тонус и эластичность артерий различного калибра. С другой стороны, в ответ на нагрузку у спортсменов, прошедших курс капнографического БОС-тренинга, наблюдается больший прирост дикротического индекса (ДИК) ($p < 0,05$) и показателя венозного оттока (ПВО) ($p < 0,05$).

В то же время (Рисунок 3.28), нагрузка PWC-170 в группе спортсменов, прошедших курс капнографического БОС-тренинга, вызывает меньший прирост показателей интенсивности артериального кровотока, т.е. увеличение РИ, АЧП, V_{\max} , $V_{\text{ср}}$ ($p < 0,05$) ниже, чем у спортсменов в покое после курса капнографического БОС-тренинга. Одновременно мышечная нагрузка вызывает улучшение венозного оттока, на что указывает больший прирост индексов ПВО и ДКИ ($p < 0,05$), чем в группе спортсменов, прошедших курс капнографического БОС-тренинга, в покое.

По литературным данным, у спортсменов высокой квалификации в покое отмечается некоторое снижение притока крови к конечностям. Снижение интенсивности кровотока установлено у лыжников, футболистов, бегунов, гребцов [73, 81].



А



Б

Рисунок 3.27 Показатели гемодинамики (А) бедра и (Б) голени в группе спортсменов прошедших курс БОС-тренинга по сравнению с группой спортсменов тренировавшихся в обычном режиме без курса БОС-тренинга (показатели представлены в %, показатели до курса БОС-тренинга до нагрузки приняты за 100%)

* - достоверность различий в группах до и после нагрузочного теста PWC170 ($p < 0,05$)

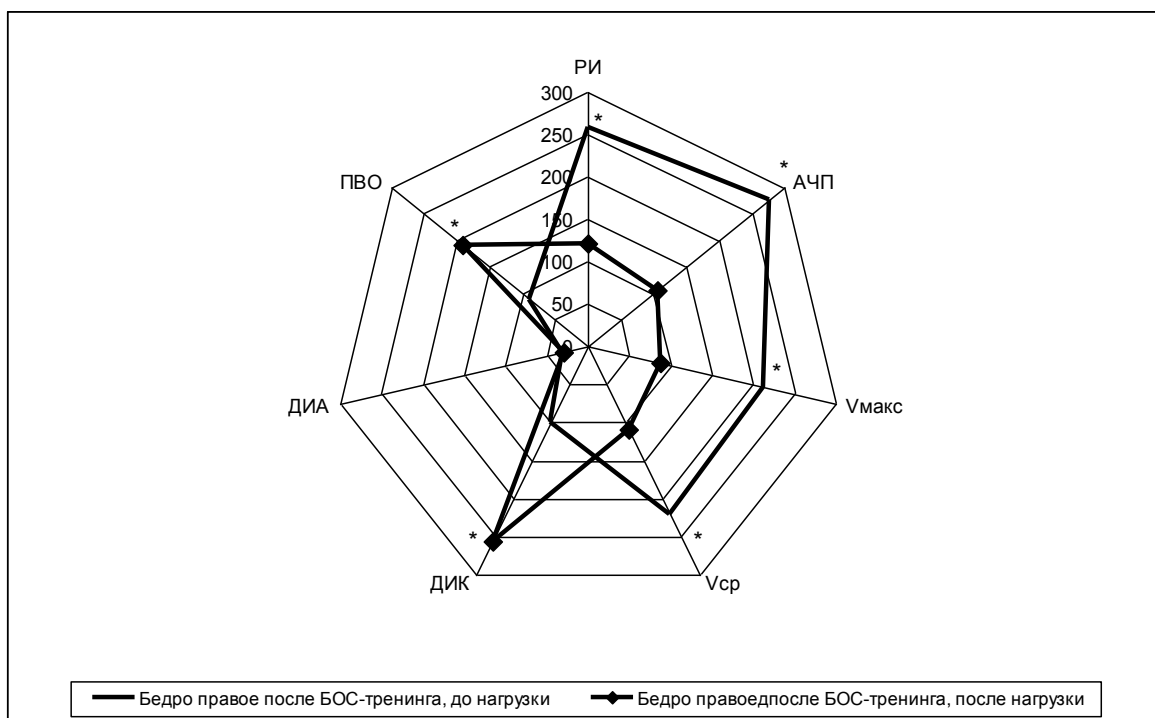


Рисунок 3.28 Показатели регионарной гемодинамики у спортсменов, прошедших курс капнографического БОС-тренинга, в покое и после нагрузки (показатели представлены в %, показатели до курса БОС-тренинга до нагрузки приняты за 100%)

* - достоверность различий в группах до и после нагрузочного теста PWC170 (p < 0,05)

Проведенный ранее анализ (п. 3.1.5) гемодинамики нижних конечностей у спортсменов после нагрузки показал, что в мышцах бедра происходит увеличение показателей интенсивности артериального кровотока, таких как реографический индекс (РИ), амплитудно-частотный показатель (АЧП) и индексы быстрого (V_{макс}) кровенаполнения (Рисунок 3.22, см. п. 3.1.5). В то же время происходит снижение венозной составляющей, дикротического (ДИК) и диастолического (ДИА) индексов на фоне повышения показателя венозного оттока (ПВО). В мышцах голени (Рисунок 3.22) у спортсменов после нагрузочного теста PWC170 наблюдается снижение показателей интенсивности как артериального, так и венозного кровотока.

Физические тренировки, возможно, увеличивают растяжимость вен нижних конечностей. Растяжимость вен лучше у спортсменов, тренирующихся на выносливость [131]. По видимому, большая венозная

растяжимость является физическим ответом на гиперволемию, возникающую вследствие систематических аэробных тренировок.

Далее был проведен анализ изменения реографических показателей нижних конечностей в покое в группе спортсменов до и после курса БОС-тренинга (Рисунок 3.29).

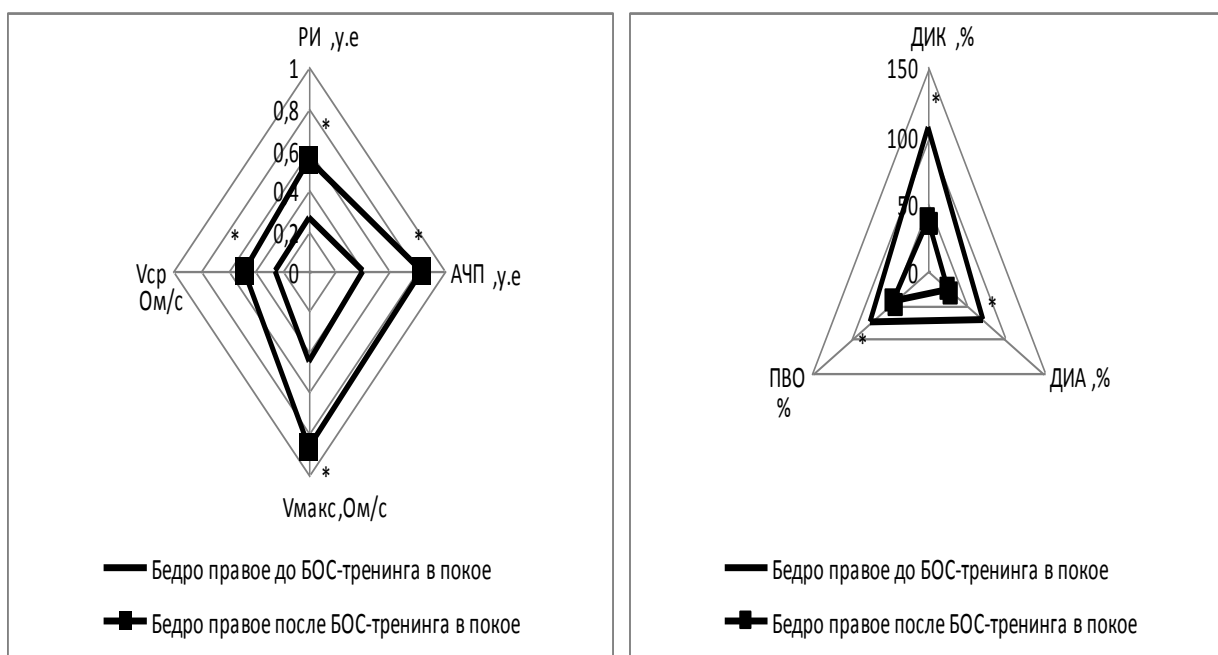


Рисунок 3.29 Показатели регионарной гемодинамики у спортсменов в покое до и после капнографического БОС-тренинга.

* - достоверность различий в группах до и после нагрузочного теста PWC170 ($p < 0,05$)

У спортсменов, прошедших курс капнографического БОС-тренинга, в покое, наблюдается усиление интенсивности артериального кровотока. Наблюдается достоверно больший прирост таких показателей, как реографический индекс (РИ) ($p < 0,05$) и амплитудно-частотный показатель (АЧП) ($p < 0,05$) по сравнению с группой спортсменов не проходивших курс капнографического БОС-тренинга. В группе спортсменов, прошедших курс капнографического БОС-тренинга, увеличиваются и индексы быстрого (V_{\max}) и среднего кровенаполнения ($V_{\text{ср}}$) ($p < 0,05$), которые отражают кровенаполнение, тонус и эластичность артерий различного калибра. С другой стороны, после БОС-тренинга наблюдается снижение дикротического (ДКИ)

($p < 0,05$) и диастолического индексов (ДИА) и ПВО (показатель венозного оттока) ($p < 0,05$).

Известно, что во время интенсивной мышечной деятельности кровотоков в работающих мышцах может увеличиваться в 10-20 раз и составляет до 80% от минутного объема крови [73, 81]. Мышечная нагрузка приводит к увеличенному артериальному выходу и сопровождается усилением капиллярного кровотока. В этих условиях возвратное кровообращение должно адаптироваться для того, чтобы выполнять роль дренажа. Прежде всего, изменяется венозная стенка: в венах происходит снижение гладкомышечного тонуса, в то время как в собирательных венах происходит увеличение эластичности венозной стенки. Вероятно, капнографическая тренировка вызывает сходные с физической нагрузкой гемодинамическими изменениями кровотока нижних конечностей у обследованных спортсменов, что способствует оптимизации функционирования системы кровообращения.

Таким образом, функциональные перестройки в регуляции легочной вентиляции у обследованных спортсменов сопровождались гемодинамическими изменениями артериального и венозного кровотока нижних конечностей и повышением физической работоспособности.

Можно предполагать, что капнографический БОС-тренинг повышает эффективность использования кислорода мышцами оптимизируя уровень тканевого дыхания. Капнографический БОС-тренинг так же способствует более быстрой адаптации кровотока к метаболическим потребностям скелетной мускулатуры нижних конечностей и в конечном результате обеспечивает повышение физической работоспособности спортсменов. Полученные результаты позволяют рассматривать капнографическую тренировку с биологической обратной связью как перспективный компонент тренировочного процесса в циклических видах спорта.

3.2.3 Оценка функциональной активности коры головного мозга при капнографической тренировке с биологической обратной связью у спортсменов

Для выявления механизмов действия БОС-тренинга по дыханию на функционирование ЦНС было проведено исследование ЭЭГ.

Обследование проводилось во время первого и последнего сеансов курса БОС-тренинга, регистрировалась фоновая запись ЭЭГ при спокойном дыхании и ЭЭГ при выполнении двух заданий БОС-тренингов по дыханию. Первое задание заключалось в увеличение частоты дыхания в 2 раза и уменьшение F_{etCO_2} на 20%, второе – уменьшение частоты дыхания в 2 раза и уменьшение F_{etCO_2} на 20%. Необходимо было достичь заданные параметры и удерживать их. На выполнение каждого задания выделено по 10 минут.

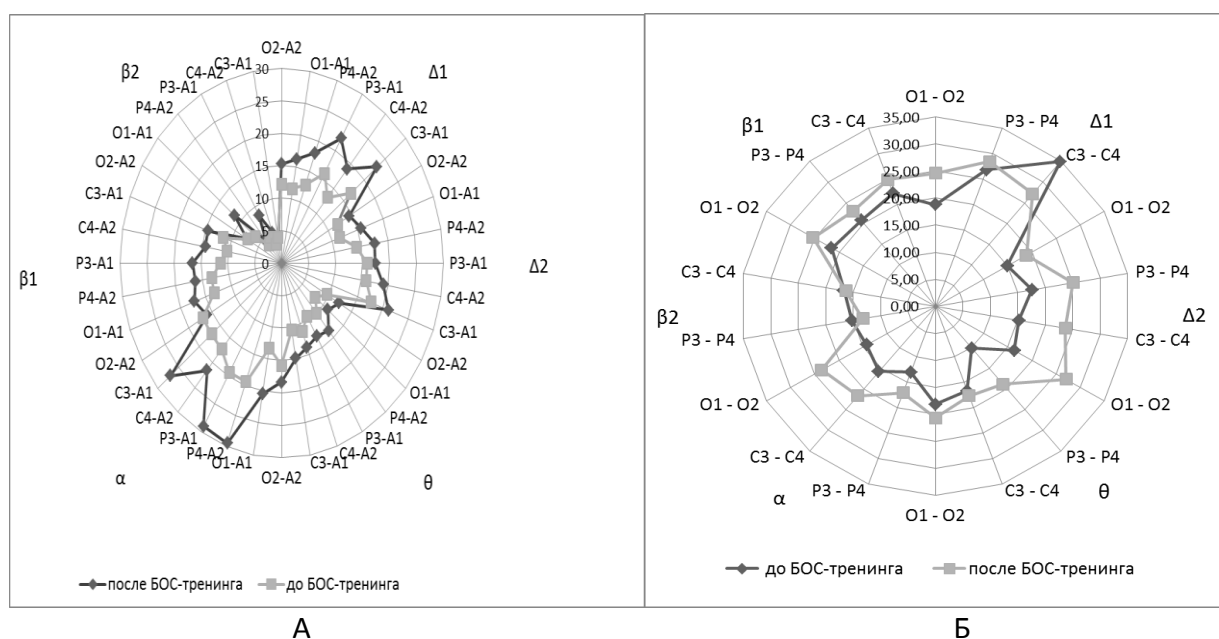


Рисунок 3. 30 Величины спектральных мощностей (А) ($mkV^2/Гц$) и коэффициентов асимметрии (Б) (%) основных ритмов ЭЭГ у спортсменов до и после курса простого БОС-тренинга при спокойном дыхании.

Выявленные функциональные перестройки в регуляции легочной вентиляции сопровождались изменениями в биоэлектрической активности коры головного мозга у обследованных спортсменов. Даже при спокойном дыхании после курса капнографического БОС-тренинга мы наблюдали прирост спектральной мощности всех ритмов кроме β_2 - ритма (Рисунок

3.30). В наибольшей степени увеличивалась спектральная мощность α (в два раза) и Δ_1 (на 30%) ритмов. Одновременно существенно увеличивался коэффициент асимметрии биоэлектрической активности коры в α , Δ_2 и θ - диапазонах.

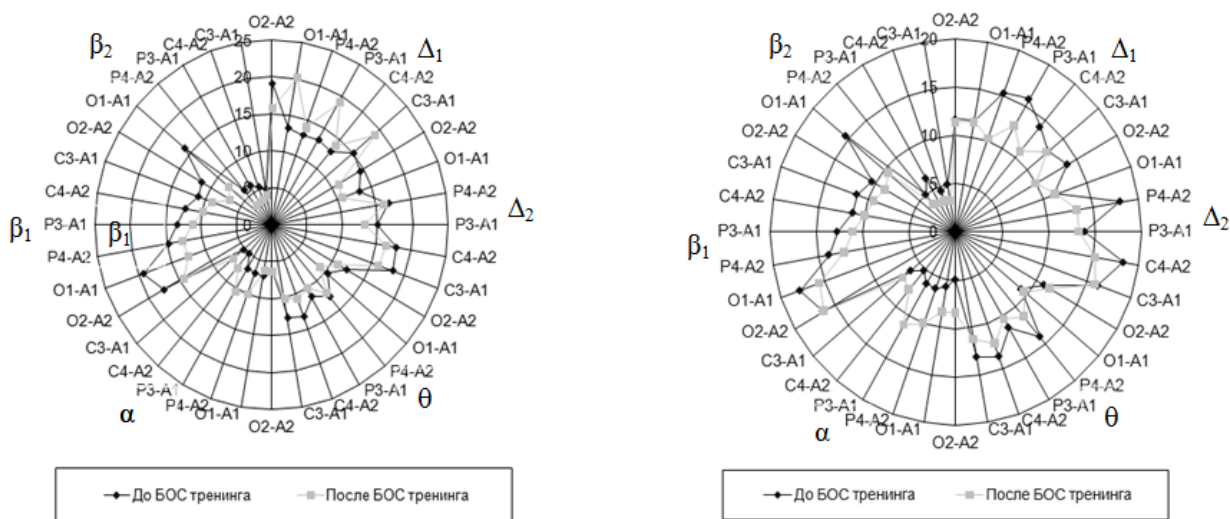


Рисунок 3.31 Величины спектральных мощностей ($\mu\text{В}^2/\text{Гц}$) основных ритмов ЭЭГ у спортсменов до и после курса модифицированного БОС-тренинга

А – модификация 2 – уменьшение FetCO_2 на 20% при снижении ЧД в 2 раза

Б – модификация 1 – уменьшение FetCO_2 на 20% при увеличении ЧД в 2 раза

Примечание – здесь и на Рисунок 30 мощности альфа и дельта ритмов показаны в масштабе 1:3.

После первого модифицированного теста, в котором уменьшение FetCO_2 на 20% достигалось за счет увеличения вдвое частоты и, соответственно, уменьшения глубины дыхания, отмечалось увеличение спектральной мощности только α - ритма, мощность всех остальных ритмов достоверно снижалась (для β и θ – ритмов – на 20%, для Δ_1 - ритма – вдвое) (Рисунок 3.31). Увеличивался коэффициент асимметрии биоэлектрической активности коры в α и θ - диапазонах, для β – ритма он, напротив, снижался.

После второго модифицированного теста, в котором уменьшение FetCO_2 на 20% достигалось за счет снижения вдвое ЧД и увеличении глубины дыхания, отмечалось увеличение спектральной мощности α и Δ_1 ритмов, в то же время активность в β и θ - диапазонах снижалась (Рисунок 3.31). Одновременно, как и в случае спокойного дыхания, увеличивался

коэффициент асимметрии биоэлектрической активности коры в α , $\Delta 2$ и θ - диапазонах.

Увеличение спектральных мощностей бета- и тета-ритмов может говорить об усилении влияний мезэнцефалической ретикулярной и септо-гиппокампальной систем, параллельно с которым происходит усиление активности таламо-кортикально системы (увеличение мощности альфа-ритма), что указывает на одновременное повышение синхронизирующих и десинхронизирующих влияний, которое может интерпретироваться как первичная активация коры головного мозга [30]. Однонаправленные изменения спектральных характеристик ЭЭГ свидетельствуют об активации неспецифических структур полушарий мозга и указывают на участие этих структур в процессах формирования компенсаторно-приспособительных реакций организма в условиях капнографического БОС-тренинга. Усиление тета-ритма может так же служить отражением формирования поведенческих навыков, в данном случае – навыков управления дыханием [30].

С другой стороны, увеличение мощности α – ритма можно трактовать как следствие усиления ритмической активности сердечно-сосудистых афферентов, способствующего возникновению резонансных колебаний, проявляющихся в виде кардиоцикл-фазозависимого α –ритма. Сосудодвигательный и дыхательный центры ствола головного мозга имеют тесную связь с ретикулярной формацией ствола, взаимосвязь этих регулирующих структур может лежать в основе выявленных изменений. Так, в литературе высказывались предположения как об участии барорецепторов в опосредовании влияния сердечных сокращений на центральную нервную систему, так и предположения о возможности прямого влияния пульсаций на мозговую ткань [111,112]. С. Wolk и M. Velden считают, что ритмическая активность сердечно-сосудистых афферентов способствует возникновению резонансных колебаний, в том числе проявляющихся в виде кардиоцикл-фазозависимого α –ритма. Обнаружена корреляционная связь между

регулярностью α -ритма и показателями АД, что подтверждает участие неспецифических регуляторных систем ствола мозга в формировании α – ритма [112].

Функциональная асимметрия больших полушарий – продукт длительного развития. Основы функциональной специализации полушарий являются врожденными, однако по мере приобретения новых навыков происходит усовершенствование и усложнение механизмов межполушарной асимметрии и межполушарного взаимодействия. Этот факт отмечается и по показателям биоэлектрической активности мозга, и по экспериментально-психологическим показателям [58]. Асимметрии психических функций соответствует асимметрия ЭЭГ-показателей. Раньше других проявляется асимметрия биоэлектрических показателей в моторных и сенсорных областях коры, позже — в ассоциативных (префронтальных и задне-теменно-височных) зонах коры головного мозга [30]. По всей вероятности, усиление межполушарной асимметрии после курса БОС-тренинга может являться отражением формирования новых навыков, связанных с управлением легочной вентиляцией.

Полученные результаты свидетельствуют, что курс капнографического БОС-тренинга способствует оптимизации легочной вентиляции и активации коры головного мозга, что проявляется в усилении спектральной мощности отдельных частотных диапазонов и увеличении межполушарной асимметрии. Такой эффект в равной мере характерен для простого БОС-тренинга и для модифицированного варианта со сниженной частотой дыхания. Видимо, в варианте простого БОС-тренинга спортсмены произвольно выбирают этот способ снижения концентрации CO_2 в выдыхаемом воздухе. Бос тренинг с усилением частоты дыхания в меньшей степени сопровождается активацией центральной нервной системы, а в некоторых диапазонах (β , θ и Δ_1) наблюдается угнетение активности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

У спортсменов и нетренированных лиц наблюдается разнонаправленная реакция системы дыхания на физическую нагрузку. У спортсменов после физической работы отмечается существенный прирост жизненный резервного объема вдоха, тогда как у нетренированных лиц прирост резервного объема выдоха сопровождается адекватным снижением резервного объема вдоха.

Процессы адаптации могут быть связана с повышенной эластичностью легких у спортсменов. Регулярные физические нагрузки, сопровождающиеся усилением легочной вентиляции и циркуляции, приводят к повышению эластичности легочной ткани. Тренировка дыхательных мышц способствует увеличению эластичности внелегочных элементов грудной клетки. Рост эластичности легочной ткани сочетается с увеличением диффузной способности легких. Высокая эластичность легочной ткани и грудной клетки обеспечивают высокие резервные возможности легочной вентиляции спортсменов. У нетренированных лиц таких возможностей нет, и реакция дыхательной системы ограничена.

После физической нагрузки у спортсменов наблюдается снижение скорости воздушного потока на уровне крупных бронхов, что компенсируется увеличением бронхиальной проходимости на уровне средних и мелких бронхов и усилением биоэлектрической активности дыхательных мышц. У нетренированных лиц бронхоспастических реакций при физической нагрузке не выявлено, скорость воздушного потока возрастает на всех уровнях бронхиального дерева.

Таким образом, спортивная тренировка в циклических видах спорта формирует ряд факторов, некоторые из которых негативно влияют на легочную вентиляцию, ограничивая возможности кардиореспираторной системы. Одновременно формируются механизмы, компенсирующие эти негативные влияния и позволяющие обеспечивать потребности организма в кислороде на пике физической нагрузке.

Высокий уровень тренировки спортсменов в циклических видах спорта предполагает проявление большой выносливости, спортсмены должны обладать большими аэробными возможностями. У спортсменов сердечно-сосудистая система гораздо эффективнее справляется с задачей обеспечения кислородного запроса при физических нагрузках – об этом свидетельствует меньшая концентрация молочной кислоты, а, следовательно, меньшая величина кислородного долга. При этом работа сердца у тренированных лиц построена экономичнее. В то же время у спортсменов в большей степени выражена мобилизация симпатического звена регуляции.

Реакция со стороны регионарного кровотока у нетренированных лиц проявляется в усилении кровотока во всех отделах нижней конечности – и в области бедра и в области голени – и не соответствует распределению мышечной активности, что делает реакцию системы кровообращения на нагрузку менее эффективной. У спортсменов гемодинамика регионарного кровотока имеет дифференцированный характер и проявляется преимущественно в регионе тех мышц, которые вовлечены в выполняемую работу.

Очевидно, что важным компонентом физиологических механизмов формирования выносливости является дифференцировка регуляторных механизмов систем дыхания и кровообращения.

После капнографического тренинга с биологической обратной связью у спортсменов наблюдался прирост работоспособности в тесте PWC-170 на 25%, при этом содержание CO_2 в выдыхаемом воздухе снижалось на 7,6%

Функциональные перестройки в регуляции легочной вентиляции после капнографического Бос-тренинга проявляются в усилении дыхания при физической нагрузке по интенсивному пути, за счет увеличения скорости движения воздуха. Такая реакция системы дыхания на физическую нагрузку более рациональна. У спортсменов, которые тренировались без БОС-тренинга, напротив, дыхание усиливается экстенсивно, за счет увеличения объемов, скорость перемещения воздуха при этом снижается.

Функциональные перестройки в регуляции легочной вентиляции у спортсменов после курса капнографического БОС-тренинга сопровождались гемодинамическими изменениями артериального и венозного кровотока нижних конечностей и повышением физической работоспособности. Можно предполагать, что капнографический БОС-тренинг способствует интенсификации тканевого дыхания, увеличению эффективности использования кислорода.

Курс капнографического БОС-тренинга способствует активации коры головного мозга, что проявляется в усилении спектральной мощности всех диапазонов и увеличении межполушарной асимметрии. Такой эффект в равной мере характерен для простого БОС-тренинга и для модифицированного варианта со сниженной частотой дыхания. БОС тренинг с усилением частоты дыхания в меньшей степени сопровождается активацией центральной нервной системы, а в некоторых диапазонах (β , θ и $\Delta 1$) наблюдается угнетение активности.

Полученные результаты позволяют рассматривать капнографическую тренировку с биологической обратной связью как перспективный компонент тренировочного процесса в циклических видах спорта.

ВЫВОДЫ

1. После физической нагрузки у спортсменов снижается скорость воздушного потока на уровне крупных бронхов, что компенсируется увеличением бронхиальной проходимости на уровне средних и мелких бронхов и возрастанием биоэлектрической активности дыхательных мышц. У нетренированных лиц бронхоспастических реакций при физической нагрузке не выявлено, скорость воздушного потока возрастает на всех уровнях бронхиального дерева.

2. У спортсменов, тренирующихся в циклических видах спорта, при физических нагрузках реакция со стороны регионарного кровотока дифференцирована – она проявляется преимущественно в регионе тех мышц, которые вовлечены в выполняемую работу и заключается в усилении артериального притока и снижении венозного оттока. У нетренированных лиц усиление кровотока происходит во всей конечности в целом.

3. После капнографического тренинга с биологической обратной связью у спортсменов наблюдается прирост работоспособности в тесте PWC-170, снижается содержание CO_2 в выдыхаемом воздухе, изменяется характер реакции физиологических систем на нагрузку: увеличивается скорость воздушного потока на всех уровнях бронхиального дерева, улучшается венозный отток в нижних конечностях.

4. Курс капнографического БОС-тренинга способствует активации коры головного мозга, что проявляется в усилении спектральной мощности всех диапазонов (кроме β_2 - ритма) и увеличении межполушарной асимметрии. Такой эффект в равной мере характерен для простого БОС-тренинга и для модифицированного варианта со сниженной частотой дыхания. БОС тренинг с усилением частоты дыхания в меньшей степени сопровождается активацией центральной нервной системы, а в некоторых диапазонах (β , θ и Δ_1) наблюдается угнетение активности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агаджанян Н.А. Адаптация к гипоксии и биоэкономика внешнего дыхания / Н.А. Агаджанян. - М.: УДН, 1987. - 186 с.
2. Анохин П.К. Биология и нейрофизиология условного рефлекса / П.К. Анохин. - М.: Наука, 1968. – 546с.
3. Аулик И. В. Определение физической работоспособности в клинике и спорте : монография / И. В. Аулик - М. : Медицина, 1990. - 192 с.
4. Ашмарина Б.А. Теория и методика физического воспитания: учеб. пособие для студентов факультетов физ. воспитания пед. ин-тов / Под ред. Б.А. Ашмарина. - М.: Физкультура и спорт, 2002. - 360 с.
5. Баёва Н.А. Успешность и эффективность применения локального альфа-стимулирующего тренинга у спортсменов ситуационных видов спорта : автореф.... канд. биол. наук : 03.00.13 / Баёва Наталья Александровна. - Тюмень, 2003. – 24с.
6. Белоцерковский З.Б. Эргометрические критерии физической работоспособности у спортсменов / З.Б. Белоцерковский. – М.: Советский спорт, 2005. – 312 с.
7. Биоуправление – 4: Теория и практика. – Новосибирск: ЦЭРИС, 2002. – 350 с.
8. Биоуправление в медицине и спорте: Материалы IV Всероссийской конференции. – Омск: ИМББ СО РАМН, СибГАФК, 2002. – 114 с.
9. Биоуправление в медицине и спорте: Материалы V Всероссийской конференции. – Омск: ИМББ СО РАМН, СибГУФК, 2003. – 86 с.
10. Биоуправление в медицине и спорте: Материалы VI Всероссийской конференции. – Москва: ИМББ СО РАМН, РГУФК, 2004. – 103 с.
11. Биоуправление в медицине и спорте: Материалы VII Всероссийской конференции. – Москва: ИМББ СО РАМН, РГУФК, 2005. – 100 с.

12. Биохимия. Учебник для институтов физической культуры / под ред. В.В.Меньшикова, Н.И.Волкова. -М.: Физкультура и спорт, 2006 – 384 с.
13. Биохимия. Учебник для институтов физической культуры / под ред. Н.Н. Яковлева. - М.: Физкультура и спорт, 2005 - 320 с.
14. 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. 13-17.
15. Булгаков А.А. Туризм для всех: учеб. пособие / А.А. Булгаков - М.: Физкультура и спорт, 2004. - 127с.
16. Быков П.В. ЭЭГ корреляты психофизиологического состояния человека в процессе циклического дыхания : автореферат ... к.м.н.: 03.00.13 / Быков Павел Викторович. – М: Изд. МГУ им. Ломоносова, 2002. – 25 с.
17. Петренко В.Ф. Измененные состояния сознания: психосемантический аспект / В.Ф. Петренко, В.В. Кучеренко // Психологический журнал. - 2006. - № 5. - С. 16-27.
18. Вилмордж Х. Физиология спорта / Вилмордж.Х., Костил Д.Л. — К.: Олимпийская литература, 2003. — 656 с.
19. Винер Н. Кибернетика / Н. Винер.— 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Советское радио, 1968.- 59 с.
20. Воронов А.А. Проточный капнограф / А.А. Воронов //Электроника: Наука, Технология, Бизнес. - М.: 2001. - №16. - 35 с.
21. Волков, Н.И. Биоэнергетические процессы при мышечной деятельности: Физиология человека: учебник для вузов физ. культуры и фак. физ. воспитания пед. вузов / Н.И. Волков. - М., 2001. - С. 259-308.
22. Газенко О.Г. Физиология адаптационных процессов / Под ред. О.Г. Газенко, Ф.З. Меерсона. - М.: Наука, 2006. - 635 с.
23. Герасимова А.Н. Механизмы биологической обратной связи (БОС) [Электронный ресурс] / А.Н. Герасимова // Сайт «Mind modulations: исследования, концепции, технологии, разработки». - Режим доступа:

<http://mindmodulations.blogspot.com/2010/02/blog-post.html>. 2010. - (Дата обращения: 05.02.2014)

24. Гехт Б.М. Меркулова Д.Н., Касаткина Л.Ф. и др. Клиника, диагностика и лечение демиелизирующих полиневрапатий / Б.М. Гехт, Д.Н. Меркулова, Л.Ф. Касаткина // Неврологический журнал. – М.: Медицина. - 1996. - № 1. - С.146–151.

25. Горбанёва Е.П. Оптимизация функции дыхания посредством тренировки с дополнительным резистивным сопротивлением / Е.П. Горбанёва, А.Г. Камчатников, А.И. Солопов // Российский физиологический журнал им. И.М.Сеченова, 2011. – Т. 97. - №1. - С. 83-90.

26. Горбанёва Е.П. Физиологические основы функциональной подготовки спортсменов / Е.П. Горбанёва, В.В. Чёмов, А.А. Шамардин – Волгоград, 2010. - 346 с.

27. Городничев Р.М. Физиология нервно-мышечного аппарата: Учебное пособие / Р.М. Городничев, В.И. Тхоревский. – Великие Луки: ВЛГАФК, 1993. – 41 с.

28. Городничев, Р.М. Спортивная электронейромиография / Р.М. Городничев. - Великие Луки: ВЛГАФК, 2005. – 216 с.

29. Горский В.Б. Использование ПСР в спорте. Эффект использования некоторых форм психической саморегуляции в спортивной практике (на примере плавания) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://egoland.ru/material> Сайт Центра «Egoland» (г. Самара). - (Дата обращения: 14.04.2014).

30. Григорьева Н.Н. Психофизиология профессиональной деятельности [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.e-college.ru/xbooks/xbook116/book/index/index.html?go=part-019*page.htm). - (Дата обращения: 16.02.2014).

31. Губа В.П. Основы спортивной подготовки: методы оценки и прогнозирования (морфобиомеханический подход) / В.П. Губа. – М.: Советский спорт, 2012. – 384 с.

32. Гужаловского А.А. Основы теории и методики физической культуры: учебник для техникумов физ. культуры. / Под ред. А.А. Гужаловского. - М.: Физкультура и спорт, 2006. - 352с.
33. Джафарова О.А. Игровое биоуправление как технология профилактики стресс-зависимых состояний / О.А. Джафарова, О.Г. Донская, А.А. Зубков, М.Б. Штарк // Биоуправление в медицине и спорте: Материалы IV Всероссийской конференции, 2002 г. - С. 9-10.
34. Джафарова О.А. Биоуправление: итоги и очередные задачи / О.А. Джафарова, В.Г. Тристан, М.Б. Штарк // Биоуправление в медицине и спорте: Материалы IV Всероссийской конференции, 2002 г. - С. 3-5.
35. Дудина Е.А. Аэробные возможности и состояние здоровья: клинико-морфофункциональные параллели / Е.А. Дудина // Теория и практика физической культуры. – 2006. – № 1. – С. 25–26.
36. Зимкин Н.В. Физиологические основы физической культуры и спорта / Н.В. Зимкин, А.П. Коробков. - М.: ФиС, 2003. - 279с.
37. Иващенко О.И. Обратная связь / О.И. Иващенко // В мире науки, 2003. - № 12. - С. 58-59.
38. Иващенко О.И. Перспективы использования метода биологической обратной в нейротерапии хронических заболеваний / О.И. Иващенко // Материалы Научно-практической конференции. «Опыт лечения и диагностики. К 20-летию клинической больницы МСЧ №1 АМО ЗИЛ», 2001. - С. 66-69.
39. Илиев И.О. Лонготудинальные наблюдения отдаленного эффекта тренировки в условиях среднегорья у гребцов / Особенности тренировки спортсменов в условиях среднегорья. – Фрунзе, Киргизский ГУ, 1987. – 63 с.
40. Капилевич Л.В. Влияние капнографической тренировки с биологической обратной связью на физическую работоспособность и гемодинамику у спортсменов / Л.В. Капилевич, Я.С. Пеккер, Е.А. Баранова // Бюллетень сибирской медицины, 2012. - Т. 11. - № 4. - С. 39-43.
41. Капилевич Л.В. Мониторинг функционального состояния студентов при использовании спортивно ориентированных форм физического вос-

питания / Л.В. Капилевич, А.В. Кабачкова, В.С. Смирнов // Теория и практика физической культуры, 2008. - № 10. - С. 29-31.

42. Капилевич Л.В. Физиологические методы контроля в спорте: Учебное пособие / Л.В.Капилевич, К.В. Давлетьярова, Е.В. Кошельская. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 160 с.

43. Капилевич Л.В. Физиологический контроль технической подготовленности спортсменов / Л.В. Капилевич // Теория и практика физической культуры, 2010. - № 11. - С. 12-15.

44. Капилевич Л.В. Характеристика регионарного кровотока и физической работоспособности спортсменов при капнографической тренировке с биологической обратной связью / Л.В. Капилевич, Я.С. Пеккер, Е.А. Баранова // Теория и практика физической, 2012 - №.8 - С. 31-35.

45. Карпман В.Л. Белоцерковский З.Б., Гудков И.А. Исследование физической работоспособности у спортсменов.

46. Карпман В.Л. Тестирование в спортивной медицине / В.Л. Карпман, В.Л. Белоцерковский, И.А. Гудков. – М.: Физкультура и спорт, 1988. – 208 с.

47. Карпмана В. Л. Спортивная медицина / В. Л. Карпмана - М.: Физкультура и спорт, 1980. —349 с

48. Каунсилмен Д.М Наука о плавании / Д.М. Каунсилмен - М.: ФиС,2005.-335с.

49. Князева И.А., Перминов В.А. Биологическая обратная связь в системе медицинского контроля [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.grandex.ru/medicine/text/8261.html>. 2008. - Медицинский портал “GRANDEX.RU”. – (Дата обращения: 14.01.2014).

50. Команцев В.Н. Методические основы клинической электронейромиографии: Руководство для врачей / В.Н. Команцев, В.А. Заболотных. – СПб.: Лань, 2001. – 349 с.

51. Коробков А.В. Физиологические основы применения различных форм физических упражнений в спортивной тренировке / А.В. Коробков - М.: ФиС, 2005. - 508с.
52. Корюкин В.И. Основы теории обработки эксперимента / В.И. Корюкин, Е.В. Корюкина. – Томск, 2000. – 60 с.
53. Корягина Ю.В. Совершенствование механизмов восприятия времени и пространства у спортсменов с использованием обратной связи / Ю.В. Корягина // Биоуправление в медицине и спорте: Материалы IV Всероссийской конференции. - 2002. - С. 58-61.
54. Коц Я.М. Спортивная физиология / Я.М. Коц. – Л.: Медицина, 1986. – 240 с.
55. Коцан И.Я., Крамаревич Т.В. Особенности функции внешнего дыхания у молодежи постпубертатного периода онтогенеза / И.Я. Коцан, Т.В. Крамаревич // Физика живого. - 2008. - Т. 16, № 1. - С. 161-165.
56. Крупкин Г.А. Плавание / Г.А. Крупкин - М.: ФиС, 2007.-476с.
57. Купер К.Е. Аэробика для хорошего самочувствия / К.Е. Купер. - М.,2004-119с.
58. Кураев Г.А. Особенности суммарной электрической активности мозга здоровых юношей, регулярно занимающихся физической культурой / Г.А. Кураев, Л.Н. Иваницкая, В.И. Бондин, С.Ю. Покуль // Физическая культура. – 2006. – №1. – С.18–22.
59. Лисовский Б.Л. Особенности внешнего дыхания у студентов с разным уровнем соматического здоровья / Б.Л. Лисовский // Вестник Львовского университета. — 2009. — № 51. — С. 212—217.
60. Лопатин Ю.М. Пробы с физической нагрузкой (велоэргометрия, тредмил-тест): научнопрактические рекомендации / Ю.М. Лопатин, А.К. Пром. – 2-е изд., дополн. – Волгоград, 2003 – 68с.
61. Матвеев Л.П. Общая теория спорта / Л.П. Матвеев. - М.: тип. Военизд., 2003. - 614с.

62. Матвеев Л.П. Теория и методика физического воспитания / Л.П. Матвеев, А.Д. Новиков. - Т.1. - М.: Физическая культура и спорт, 2001. - 303с.
63. Матвеев Л.П. Теория и методика физической культуры / Л.П. Матвеев - М.: Физкультура и спорт, 2002. – 402с.
64. Меерсон Ф.З. Современные представления о механизмах сокращения и расслабления сердечной мышцы / Ф.З. Меерсон, В.И. Капелько // Успехи физиологических наук. - 1978. – Т. 9. - №2. – С. 21 – 41.
65. Миловзорова М.С. Анатомия и физиология человека для хореографических училищ / М.С. Миловзорова. – «Медицина», 1992. – 216 с.
66. Мильнер Е.Г. Азбука оздоровительного бега / Е.Г. Мильнер. - М.:Фис,2004. – с. 22-23.
67. Мильнер Е.Г. Мозг: теоретические и клинические аспекты /под ред. В.И. Покровского. – М.: Медицина, 2003. – 536 с.
68. Михайлов В.М. Вариабельность ритма сердца: опыт практического применения метода / В.М. Михайлов. – Иваново: Иван. гос. мед. академия, 2002. – 290 с.
69. Мукоянов П.И. Зимние спортивные походы: учеб пособие / П.И. Мукоянов. - М.: "Физическая культура и Спорт", 2006. - 155с.
70. Николаев С. Г. Практикум по клинической электромиографии / С. Г. Николаев. - 3-е изд., перераб. и доп.— Иваново: Ивановская государственная медицинская академия, 2003. – 264 с.
71. Олейника С.А. Фармакология спорта / Под общ. редакцией С.А. Олейника, Л.М. Гуниной, Р.Д. Сейфуллы. - К.: Олимп. лит-ра, 2010. – 640с.
72. Пеккер Я.С. Компьютерные технологии в медико – биологических исследованиях. Сигналы биологического происхождения и медицинские изображения: учебное пособие / Я. С. Пеккер, К. С. Бразовский. – Томск: Изд. ТПУ, 2002. – 240 с.
73. Платонов В.Н. Адаптация в спорте / В.Н. Платонов. - Киев: Здоровье, 2008. - 215с.

74. Платонов В.Н. Общая теория подготовки спортсменов в олимпийском спорте / В.Н. Платонов. - Киев: Олимпийская литература, 1997 – 459с.
75. Погадаева О.В. Предикторы эффективности ЭЭГ БОС-тренинга у спортсменов-единоборцев / О.В. Погадаева, В.Г. Тристан, Л.Л. Кайгородцева // Научные труды: Ежегодник. Омск: СибГАФК. - 2000. - С.108-112.
76. Проскурина И.К. Биохимия: учебное пособие для студ. высших учеб. заведений / И.К. Проскурина - М.: Владос-Пресс, 2003. - 240 с.
77. Прянишникова О.А. Спортивная электронейромиография / О.А. Прянишникова, Р.М. Городничев // Теория и практика физической культуры. - 2005. - № 9 - С. 6.-12.
78. Ратов. И.П. Двигательные возможности человека / И.П. Ратов. - Минск, 2004.-225с.
79. Реброва О.Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA / О.Ю. Реброва. – М.: Медиасфера, 2006. – 312 с.
80. Реограф «Рео–Спектр»: руководство пользователя. – Таганрог: ЗАО «ОКБ» РИТМ, 2001. – 200 с.
81. Самсонова А.В. Гипертрофия скелетных мышц человека: монография /А.В. Самсонова. - Национальный гос. ун-т физ. культуры, спорта и здоровья им. П.Ф. Лесгафта. 2-е изд. испр.– 2012. – 203 с.
82. Святогор И.А. Оценка эффективности и успешности метода биологической обратной связи в управлении потенциалами мозга / И.А. Святогор, И.А. Моховикова, С.С. Бекшаев, Т. А. Фролова // Биологическая обратная связь. - 2000. - № 1. - С. 8 - 11.
83. Сейфулла Р.Д., Гудивок Я. С, Горчакова Н. А., Гунина Л. М. Сметанкин А.А. История биологической обратной связи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.biosvyaz.com/Htm_Rus/024.htm. - Сайт ЗАО «Биосвязь». – (Дата обращения: 18.03.2014).

84. Солодков, А.С. Физиология человека. Общая. Спортивная. Возрастная: Учебник для высших учебных заведений физической культуры / А.С. Солодков, Е.Б Сологуб. - М.: Терра-Спорт, Олимпия Пресс, 2001. – 520 с.
85. Соломаха В.Н. Капнометр ультразвуковой проточный КП-01-«ЕЛАМЕД»: инструкция по настройке / В.Н. Соломаха. – Рязань, 2007. – 32 с.
86. Старшов А. М. Реография для профессионалов. Методы исследования сосудистой системы: пособие для врачей / А. М. Старшов. – М.: Познавательная книга, 2003. – 80 с.
87. Суслов Ф. П. Подготовка спортсменов в горных условиях / Ф. П. Суслов, Е. Б. Гиппенрейтер. - Терра-Спорт, Олимпия Пресс, 2000г.
88. Таламова, И.Г. Возможности нейробиоуправления при адаптации к образовательной деятельности / И.Г. Таламова, Л.П. Черапкина, С.П. Степочкина // Вестник Томского государственного университета. Приложение: Материалы международных, всероссийских, региональных научных конференций, семинаров, симпозиумов, школ, проводимых в ТГУ. - 2006. - №21. – С. 143 – 144.
89. Титов А.М. Количественная оценка здоровья спортсменов / А.М. Титов // 8-й съезд Белорус. физиол. общества им. И.П. Павлова. – Минск. – 1991. - с. 124.
90. Ткаченко Б.И. Основы физиологии человека: учебник для высших учебных заведений: в 2 т. / Под ред. Б.И. Ткаченко. – СПб: Международный фонд истории науки, 1994. – т.1 – 567с., т.2 – 412с.
91. Тристан В.Г. Нейробиоуправление в спорте / В.Г. Тристан, О.В. Погадаева. – Омск: СибГАФК, 2001. – 136 с.
92. Тристан В.Г. Нейробиоуправление в спорте: возможности и перспективы / В.Г. Тристан // Биоуправление в медицине и спорте: материалы I Всерос. конф. (Омск 26-27 апреля 1999 г.). - Омск: ИМББ СО РАМН, СибГАФК. - 1999. - С. 62–64.

93. Тристан В.Г. Опыт использования альфа-стимулирующего тренинга для подготовки спортсменов / В.Г. Тристан, О.В. Погадаева, Л.П. Черепкина // Биоуправление-4: Теория и практика. Новосибирск: ЦЭРИСУНОК - 2002. - С. 242 - 245.
94. Тристан В.Г. Подготовка спортсменов к Паралимпийским играм с использованием нейробиоуправления / В.Г. Тристан, О.В. Погадаева, Б.Г. Ржищев // Биоуправление в медицине и спорте: Материалы II Всероссийской конференции. - Омск, СибГАФК. - 2000. - С.43 - 45.
95. Уилмор Дж. Х. Физиология спорта и двигательной активности / Дж.Х. Уилмор, Д.Л. Костил. Киев: Олимпийская литература, 2000. — 366 с.
96. Ушакова И.Б. Методы исследования и фармакологической коррекции физической работоспособности человека / Под ред. академика РАН И.Б. Ушакова. - Изд.: Медицина, 2007 г.
97. Фарфель В.С. Тренировка в условиях дыхания через дополнительное «мертвое» пространство / В.С. Фарфель, М.А. Артыков, Б.О. Яхонтов // Теория и практика физ. культуры. - 1968. - №9. - С.22.
98. Фарфель В.С. Управление движениями в спорте / В.С. Фарфель. - М.: Изд. ФиС. – 1975с.
99. Фомин Н.А. Физиологические основы двигательной активности / Н.А. Фомин, Ю.Н. Вавилов. - М.: ФиС, 2005. - 224 с.
100. Фомин Н.А. Физиология человека: Учебное пособие для студентов фак. физ. культуры пед. ин-тов. -2-е изд. /Н.А. Фомин. - М.: Просвещение. -2006. - 352 с.
101. Фурдуй Ф.И. Стресс и здоровье / Ф.И. Фурдуй. - Кишинев: «Штиинца», 1990. – 278с.
102. Хессет Дж. Введение в психофизиологию / Дж Хессет. - М.: Наука, 1981. – 124с.
103. Черепкина Л.П. Вегетативные эффекты сеансов нейробиоуправления у спортсменов и физкультурников / Л.П. Черепкина // Вестник Томского государственного университета. Приложение: Материалы международ-

ных, всероссийских, региональных научных концернций, семинаров, симпозиумов, школ, проводимых в ТГУ. - 2006. - №21. – С. 165 – 167.

104. Черниговская Н.В. Адаптивное биоуправление в неврологии / Н.В. Черниговская. - Л.: Наука. - 1978. - 134с.

105. Черникова Л А Клинические, физиологические и нейропсихологические аспекты баланс-биотренинга у больных с последствиями инсульта / Л А Черникова, Е М Кашина // Биоуправление – 3. Теория и практика, Новосибирск. - 1998 – С. 81-87.

106. Чуприн А.К. Тренировка резервов дыхательной системы дошкольников на принципах биоуправления / А.К. Чуприн, О.В. Виноградская // Спортивная медицина. Научно-теоретический журнал Национального университета физического воспитания и спорта Украины. - 2006. - №2. – С.39 – 42.

107. Шмидт Р. Физиология человека: в 4-х томах / Под ред. Р. Шмидта, Г. Тевса, перевод с английского. – М.: Мир, 1996.

108. Яковлев Н.Н. Химия движения / Н.Н. Яковлев. - М.: Наука, 2003. - 189 с.

109. Ярыгин В.Н. Здоровье как биологическая категория: введение в проблему / В.Н. Ярыгин // Морфология - физической культуре, спорту и авиакосмической медицине: Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию проф. В.Г. Петрухина. – 2001. - с.19-24.

110. Stone, R., Stone J. Atlas of Skeletal Muscles. 2nd Ed. USA; The McGraw Hill Companies, Inc, 1997. 456 p.

111. Walker B.B., Walker J.M. Phase relations between carotid pressure and ongoing electrocortical activity // Intern. Journ. Psychophysiol. – 1983. – V.1. – P. 65–73.

112. Wolk C., Velden M. Detection variability within the cardiac cycle: Toward a revision of the "baroreceptor hypothesis" // Journ. Psychophysiol. – 1987. – V.1. – P.61–65.

113. Wolk C., Velden M. Revision of the baroreceptor hypothesis on the basis of a new cardiac cycle effect. – In: *Psychobiology: Issues and Applications*. – North-Holland: Elsevier. – 1989. – P.371–379.
114. AAPB (The Association for Applied Psychophysiology and Biofeedback) // Official website: http://www.aapb.org/about_aapb.html.
115. Acevedo E.A., Ekkekakis P.. *Psychobiology of physical activity*. Human Kinetics, 2006. 279 P. (глава по БОС в спорте).
116. Budzynski T.H., Stoyva J.M., Adler C.S., Mullaney D.J. EMG biofeedback and tension headache: A controlled-outcome study // *Psychosomatic Medicine*. 1973. Vol. 35. P. 484-496.
117. Budzynski T.H. From EEG to neurofeedback // In: *Introduction to quantitative EEG and Neurofeedback* (Eds.: Evans J.R. & Abarbanel A.). Academic Press. 1999. P. 65-79.
118. Budzynski T.H., Budzynski H.K., Evan J.R., Abarbanel A. *Introduction to quantitative EEG and neurofeedback: advanced theory and Applications*. Academic Press. Elsevier Inc. 2009.
119. Crowell H.P, Milner C.E, Hamill J., Davis I.S. Reducing impact loading during running with the use of real-time visual feedback // *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 2010. Vol. 40. No. 4. P. 206-13.
120. Demos J.N. *Getting Started with Neurofeedback*. 2005.
121. Evans J.R. (ed.) *Handbook of Neurofeedback. Dynamics and Clinical Applications*. Haworth Medical Press (USA). 2007.
122. Fritz G., Fehmi L. *The Open Focus Handbook: The Self Regulation of Attention in Biofeedback Training and Everyday Activities*. Princeton, N. J.: Biofeedback Computers.1982.
123. Kay P. *The Mental Athlete*. Human Kinetics. 2003.
124. Kong D.S., Lim L.J., Oon C.H. Biofeedback and stress management strategies // *Ann Acad. Med. Singapore*. 1989. Vol. 18. No. 3. P. 261- 265.

125. Laibow R. Medical applications of neurobiofeedback // In: Introduction to quantitative EEG and Neurofeedback. (Eds.: Evans J.R. & Abarbanel A.). Academic Press. 1999. P. 83-102.
126. Mellalieu S.D., Hanton S. (Eds.). Advances in Applied Sport Psychology: A Review. Taylor & Francis. 2009.
127. Miller N. E. Learning of visceral and glandular responses // Science. 1969. Vol. 163. P. 434-445.
128. Miller N. E. Biofeedback: Evaluation of a new technique // New England Journal of Medicine. 1974. Vol. 290. P. 684-685.
129. Miller N. E., Banuazizi A. Instrumental learning by curarized rats of a specific visceral response, intestinal or cardiac // Journal of Comparative and Physiological Psychology. 1968. Vol. 65. P. 1-7.
130. Miller N. E., DiCara L. V. Instrumental learning of urine formation by rats: Changes in renal blood flow // American Journal of Physiology. 1968. Vol. 215. P. 677-683.
131. Monahan KD, Dinunno FA, Tanaka H, et al. Regular aerobic exercise modulates age-associated declines in cardiovagal baroreflex sensitivity in healthy men. J Physiol. 2000;529(pt 1):263–271.
132. Morris T., Spittle M., Watt A.P. Imagery in Sport. Human Kinetics, 2005. 387 P.
133. Naatanen R., Syssoeva O., Takegata R. Automatic time perception in the human brain for intervals ranging from milliseconds to seconds. Psychophysiology. 2004. Vol. 41. No. 4. P. 660-663.
134. Peniston E.G., Kulkosky P.J. Neurofeedback in the treatment of addictive disorders. Introduction to quantitative EEG and neurofeedback. San Diego etc. Academic Press. 1999. P. 157 - 179.
135. Robbins J. Symphony in the Brain. The Evolution of the New Brain Wave Biofeedback. Grove Press. 2001.

136. Sterman M.B. EEG biofeedback in the treatment of epilepsy: An overview circa 1980 // In: *Clinical Biofeedback: Efficacy and Mechanism* (Eds.: L.White, B.Tursky). Guilford, NY. 1982. P. 330-331.
137. Sterman M.B., MacDonald L.R., Stone R.K. Biofeedback training of the sensorimotor electroencephalogram rhythm in man: Effects on epilepsy // *Epilepsy*. 1974. Vol. 15. P. 395- 416.
138. Schwartz G. E. Voluntary control of human cardiovascular integration and differentiation through feedback and reward // *Science*. 1972. Vol. 175. P. 90-93.
139. Schwartz M.S., Andrasik F. *Biofeedback: A practitioner's guide*. 3d ed., Guilford Press, NY. 2003.
140. Swingle P.G. *Biofeedback for the Brain. How Neurotherapy Effectively Treats Depression, ADHD, Autism, and More*. Rutgers University Press. 2008.
141. Valdes M.R. Effects of Biofeedback-Assisted Attention Training in a College Population // *Biofeedback and Self-Regulation*. 1985. Vol. 10. No 4. P. 315-324.
142. Woolfolk R. L. Psychophysiological correlates of meditation // *Archives of General Psychiatry*. 1975. Vol. 32. P. 1326-1333.
143. Benson MK. Bronchial hyperreactivity. *Br J Dis Chest*. 1975 Oct;69(0):227–239.