

На правах рукописи

БАРАНОВА ЕЛЕНА АЛЕКСЕЕВНА

**ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИЯ СИСТЕМЫ
ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ И РЕГИОНАРНОГО
КРОВОТОКА СПОРТСМЕНОВ К ИНТЕНСИВНЫМ
ФИЗИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ**

03.03.01 – физиология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

ТОМСК 2014

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Научный руководитель:

доктор медицинских наук,
профессор

Капилевич Леонид Владимирович

Официальные оппоненты:

доктор медицинских наук, профессор,
профессор кафедры медико-биологических
дисциплин Томского государственного
педагогического университета

Яхонтов Сергей Владиславович

доктор медицинских наук, профессор,
заведующий кафедрой физиологии имени
профессора А.Т. Пшоника Красноярского
государственного медицинского университета
имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого
Министерства здравоохранения Российской
Федерации

Савченко Андрей Анатольевич

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение НИИ Физиологии и фундаментальной медицины Сибирского отделения Российской академии медицинских наук (г. Новосибирск)

Защита состоится " ____ " _____ 20__ г. в ____ часов на заседании диссертационного совета Д 208.096.01 при Сибирском государственном медицинском университете (634050 г. Томск, Московский тракт, 2).

С диссертацией можно ознакомиться в научно-медицинской библиотеке Сибирского государственного медицинского университета и на сайте <http://www.ssmu.ru/office/general/scienceupr/>

Автореферат разослан " ____ " _____ 20__ г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Петрова Ирина Викторовна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 [Ванюшин М.Ю., 2003, Соломка Т.Н., 2008, Хайруллин Р.Р., 2009, Горбанёва Е. П., 2012]. 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 [Коц Я.М., 1998, Губа В.П., 2012].

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 кровоток и дыхание, и значительные эмоциональные напряжения, сопровождающиеся выбросом катехоламинов в кровь и увеличением метаболической потребности тканей в кислороде [Колчинская А.З., Цыганова Т.Н., Остапенко Л.А., 2003].

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 [Дик Паунд, Д. Ревинский, 2006]

В последние годы, в физиологии и медицине, все более широкое распространение получают тренировки с биологической обратной связью, основанные на визуализации интегральных параметров функционирования различных си-

стем (кардиоритм, ЭЭГ и др.) и формирования у человека навыков саморегуляции данных параметров (БОС, или биоуправление, в зарубежной литературе известно как biofeedback) [Пеккер Я.С., Бразовский К.С., 2002, Сметанкин А. А., Вартанова Т. С., Быков А. Т., Поддубная Р. Ю., Питерская Я. А., 2008, Бадьян И. Ю., 2012].

В связи с этим, 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 [Капилевич Л.В., 2010].

Степень разработанности темы исследования

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

Структура и объем диссертации

Диссертация изложена на 115 страницах машинописного текста и состоит из введения, глав: «Обзор литературы», «Материалы и методы исследования», «Результаты и обсуждение», заключения и выводов. Библиография включает 143 ссылки, в том числе 109 работ отечественных авторов и 34 – зарубежных. Работа иллюстрирована 59 рисунками и 1 таблицей.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ 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 (груп-

пу спортсменов). Группу контроля (ОФП) составили 60 юношей, не занимающиеся профессиональным спортом и не имеющие ранее спортивных разрядов. Все обследованные относились к основной медицинской группе, не имели хронических заболеваний.

Методы исследования

Пневмотахография. Исследование функций внешнего дыхания проводилось на аппаратно-программном комплексе «Валента» (производитель ООО «Компания Нео», г. Санкт-Петербург, Россия) для проведения исследований функциональной диагностики.

Велоэргометрия (субмаксимальный тест Валунда-Шестранда). Оценка физической работоспособности проводилось на аппаратно-программном комплексе «Валента» (производитель ООО «Компания Нео», г. Санкт-Петербург, Россия) для проведения исследований функциональной диагностики.

Электроэнцефалография Исследование электроэнцефалографии во время БОС-тренингов по дыханию проводились на электроэнцефалографоанализаторе ЭЭГА-21/26 «Энцефалан-131-03» (производитель НПКФ «Медиком МТД», г. Таганрог, Россия) в системе отведений «10-20%» по 8 каналам.

Электромиография. Исследование выполнялось на приборе электронейромиографе – многофункциональном компьютерном комплексе «Нейро-МВП-4» (производство НПО Нейрософт, г. Иваново, Россия). Исследование проводилось с помощью поверхностных электродов, регистрировалась электрическая активность прямых мышц бедра.

Реовазография. Регистрация кровообращения нижних конечностей выполнялось с помощью реографа «Рео-Спектр» (производство НПО Нейрософт, г. Иваново, Россия) в области голени. Регистрировались показатели, отражающие состояние артериального кровенаполнение и венозного оттока.

Капнографический тренинг с биологической обратной связью. Тренинги адаптивного биоуправления параметрами внешнего дыхания проводились с помощью ультразвукового капнометра КП-01 «ЕЛАМЕД» (производство ОАО «Елатомский приборный завод», г. Елатьма, Россия). Программное обеспечение для программно-аппаратного комплекса биоуправления параметрами внешнего дыхания было разработано на кафедре Медицинской и биологической кибернетики (заведующий кафедрой профессор Я.С.Пеккер) Сибирского государственного медицинского университета, г. Томск, Россия.

Количественное определение лактата в крови. Для определения лактата в крови использовали портативный биохимический анализатор Аккутренд Плюс (производитель компания Roche Diagnostics, Германия).

Анализ данных проводился при помощи программы Statistica 6.0 for Windows фирмы Statsoft. Полученные данные были представлены в виде «среднее \pm ошибка среднего» ($X \pm m$). Для определения характера распределения полученных данных использовали критерий Колмогорова–Смирнова. 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.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Физиологическая реакция организма спортсмена на физическую нагрузку

Было выявлено увеличение инотропного резерва ССС в группе спортсменов после нагрузки по сравнению с группой ОФП (Рисунок 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 индекса хронотропного резерва в группе спортсменов ниже, чем в группе ОФП на 49,5% ($p < 0,01$).

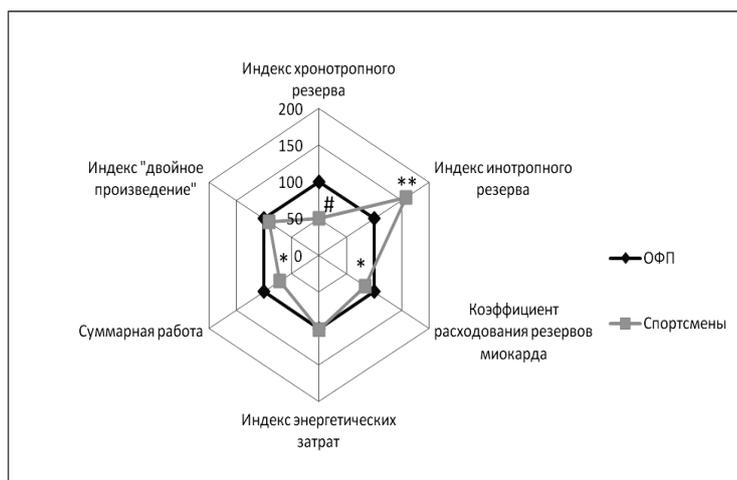


Рисунок 1 Характеристики реакции сердечно-сосудистой системы на физическую нагрузку у спортсменов (показатели в группе ОФП приняты за 100%).

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

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

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

Прирост индекса двойного произведения и индекса энергетических затрат не различались между группами. У спортсменов прирост суммарной работы был на 28,7% ниже ($p < 0,05$), коэффициента расходования резервов миокарда - на 16,4% ниже ($p < 0,05$). Работа сердца у тренированных лиц построена экономичнее - об этом свидетельствует реакция со стороны 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 больший прирост инотропного резерва.

Реакция дыхательной системы спортсменов на нагрузку проявляется в увеличении в увеличении ФЖЕЛ в 1,3 раза (Рисунок 2). Объем форсированного выдоха за 1 секунду достоверно увеличился после нагрузочного теста PWC170 только в группе ОФП.

В группе спортсменов после нагрузочного теста PWC170 (Рисунок 2) 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 ($PO_{выд}$) в группе ОФП после нагрузки увеличивается в 6 раз, а в группе спортсменов достоверных изменений $PO_{выд}$ не выявлено (Рисунок 3).

В группе ОФП после нагрузочного теста PWC170 снижение ДО и $PO_{вд}$, увеличение ЧД и $PO_{выд}$ говорит о частом и поверхностном дыхании, что снижает эффективность обеспечения организма кислородом и свидетельствует о низ-

ком уровне физиологической адаптации. Таким образом, в группе ОФП перестройка структуры дыхательного цикла после физической нагрузки связана со смещением его «вверх», что приводит к увеличению невентилируемого пространства снижению эффективности легочной вентиляции.

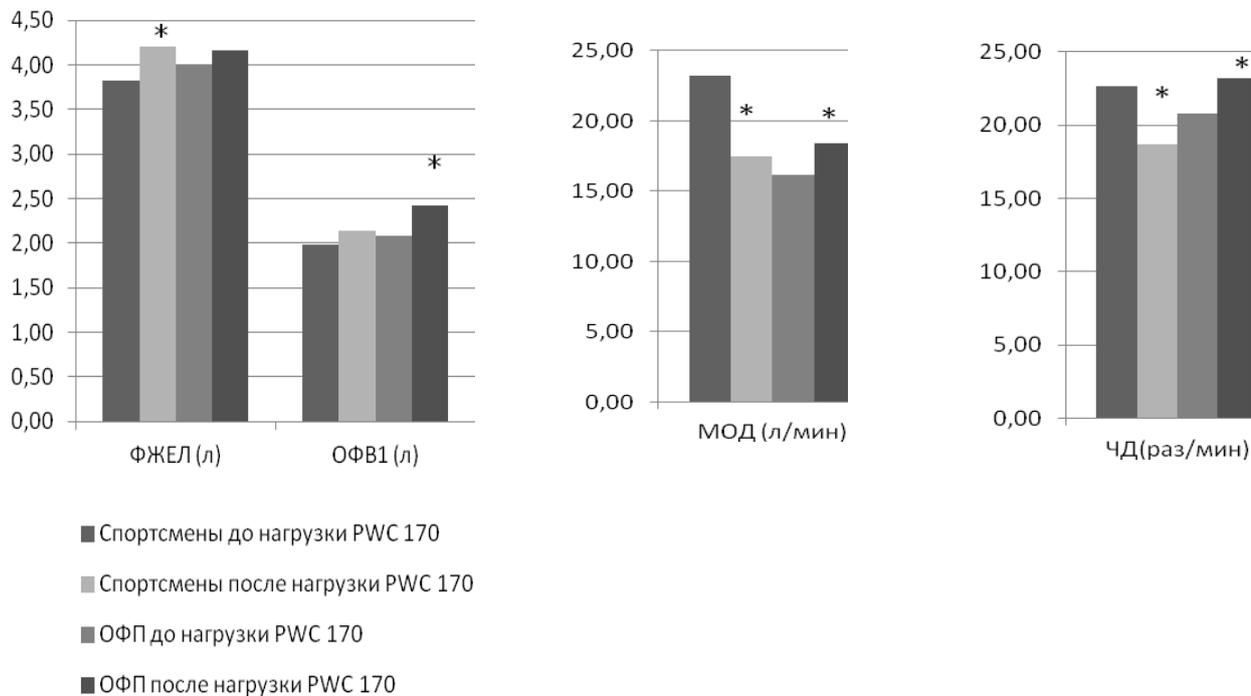


Рисунок 2 Изменение показателей спирометрии после нагрузочного теста PWC₁₇₀
* - достоверность различий в группах до и после нагрузочного теста PWC₁₇₀ (p<0,05)

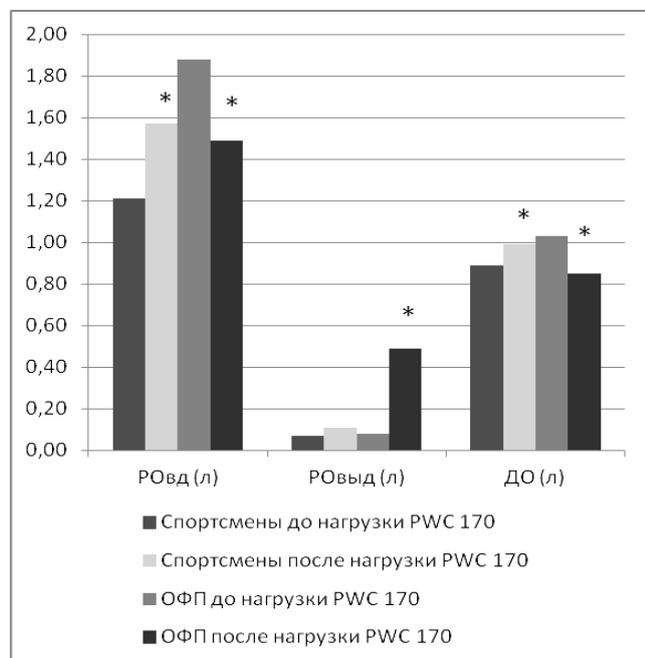


Рисунок 3 Изменение показателей спирометрии после нагрузочного теста PWC₁₇₀
* - достоверность различий в группах до и после нагрузочного теста PWC₁₇₀ (p<0,05)

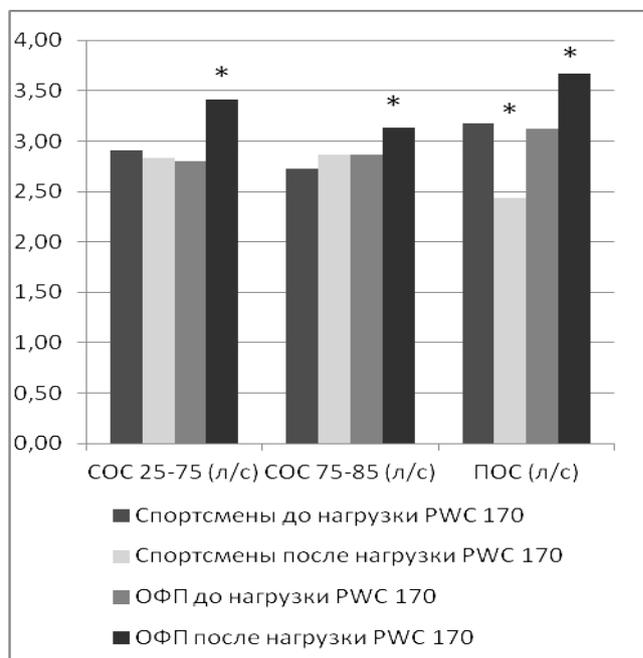


Рисунок 4 Изменение пневмотахографических показателей после нагрузочного теста PWC₁₇₀
* - достоверность различий в группах до и после нагрузочного теста PWC₁₇₀ (p<0,05)

В группе спортсменов после нагрузочного теста PWC170 достоверных изменений средней объёмной скорости (СОС) в интервале между 25% - 75% и 75%-85% ФЖЕЛ не выявлено (Рисунок 4), 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}).

ПОС_{выд} и МОС25 характеризуют в основном сопротивление крупных дыхательных путей. МОС75 и МОС75—85 отражают сопротивление мелких бронхов. В группе спортсменов после физической нагрузки отмечено снижение бронхиальной проходимости на уровне крупных бронхов, о чем свидетельствует снижение ПОС_{выд} и МОС 25 (Рисунок 5).

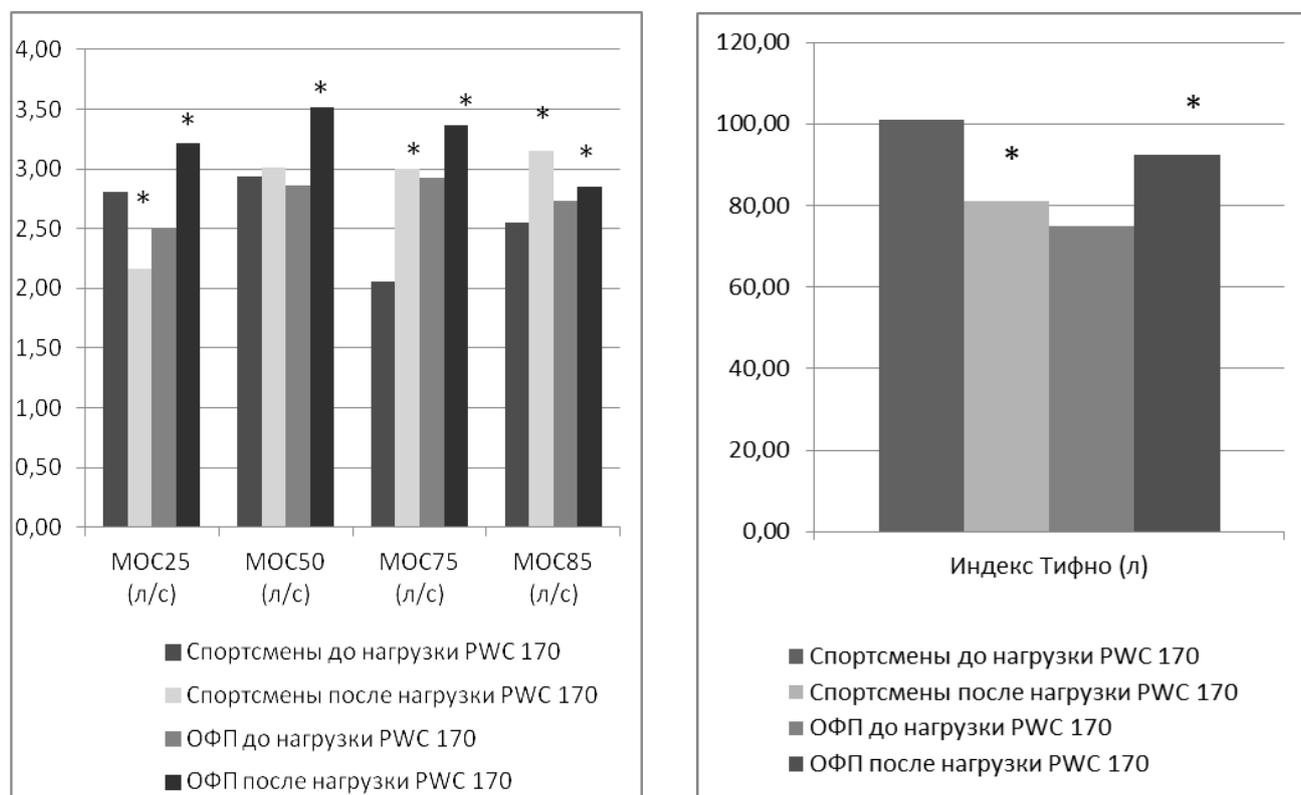


Рисунок 5 Изменение пневмотахографических показателей после нагрузочного теста PWC₁₇₀

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

Достоверные различия значений 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 5). Снижение индекса Тиффно подтверждает описанное ранее замедлением экспираторного потока воздуха в конце выдоха (снижение МОС 25% и ПОС_{выд}).

Увеличение МОС75 и МОС85 у спортсменов может свидетельствовать о более эффективной работе дыхательных мышц. Эти показатели, отражающие

состояние мелких бронхов, в значительной степени зависят от мышечного усилия. Вероятно, этот механизм у спортсменов компенсирует фактор сужения крупных бронхов.

Для проверки данного предположения была выполнена оценка биоэлектрической активности передних зубчатых мышц. Электромиографическое исследование проводилось при выполнении форсированного вдоха и пробы с задержкой дыхания на выдохе. Было показано, что показатели биоэлектрической активности зубчатых мышц при выполнении форсированного вдоха в группе спортсменов достоверно выше, чем в группе ОФП (Таблица 1).

Таблица 1

Показатели биоэлектрической активности зубчатых мышц при проведении пробы форсированного вдоха с задержкой дыхания на максимальном вдохе

Показатели биоэлектрической активности	Группа спортсменов		Группа ОФП	
	Зубчатая мышца слева	Зубчатая мышца справа	Зубчатая мышца слева	Зубчатая мышца справа
Максимальная амплитуда сокращения, мкВ	1087±105*	927±89*	823±81	797±75
Средняя амплитуда осцилляций, мкВ	408±37*	351±32*	363±34	313±26
Суммарная амплитуда сокращения, мкВ	83,3±6*	67,6±4*	61±3	35±1
Средняя частота, Гц	175±5*	137±2*	112±10	97±8

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

При выполнении пробы форсированного выдоха с задержкой дыхания на максимальном выдохе так же показано, что в группе спортсменов максимальная, средняя и суммарная амплитуды осцилляции зубчатых мышц достоверно выше, чем в группе ОФП (Таблица 2). Но при форсированном выдохе, в отличие от вдоха, средняя частота биоэлектрической активности в группе спортсменов достоверно ниже по сравнению с группой ОФП.

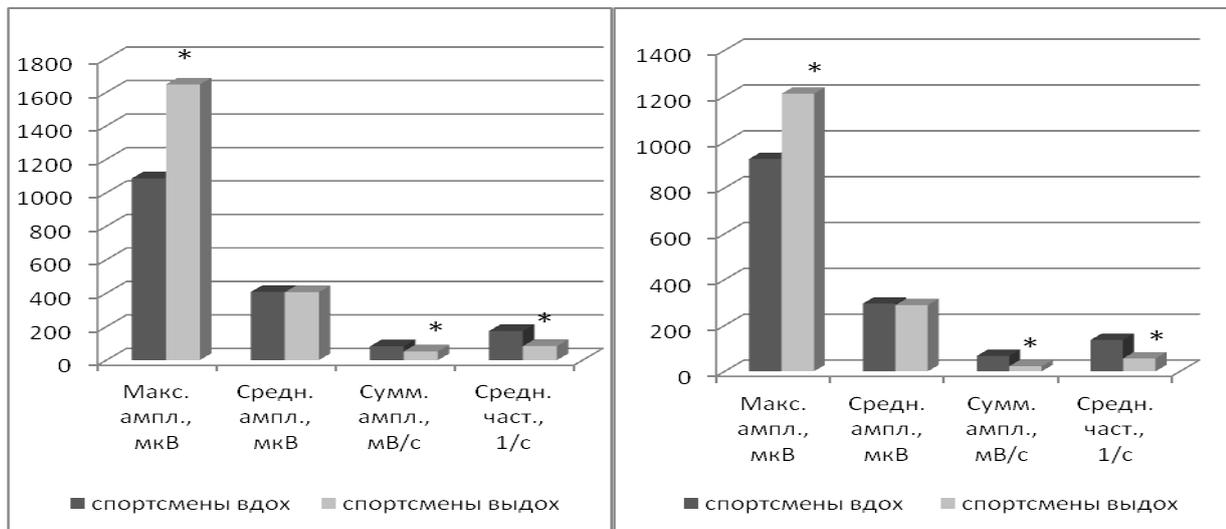
Таблица 2

Показатели биоэлектрической активности зубчатых мышц при проведении пробы форсированного выдоха с задержкой дыхания на максимальном выдохе

Показатели биоэлектрической активности	Группа спортсменов		Группа ОФП	
	Зубчатая мышца слева	Зубчатая мышца справа	Зубчатая мышца слева	Зубчатая мышца справа
Максимальная амплитуда сокращения, мкВ	1648±154*	1211±118*	535±48	471±41
Средняя амплитуда сокращения, мкВ	407±35*	289±26*	201±16	165±14
Суммарная амплитуда сокращения, мкВ	53±4*	43±2*	34±2	28±1
Средняя частота, Гц	84±7*	56±5*	123±11	97±8

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

Так же был проведен анализ биоэлектрической активности зубчатых мышц при максимальном напряжении на вдохе и выдохе в каждой группе (Рисунок 6, 7).



А

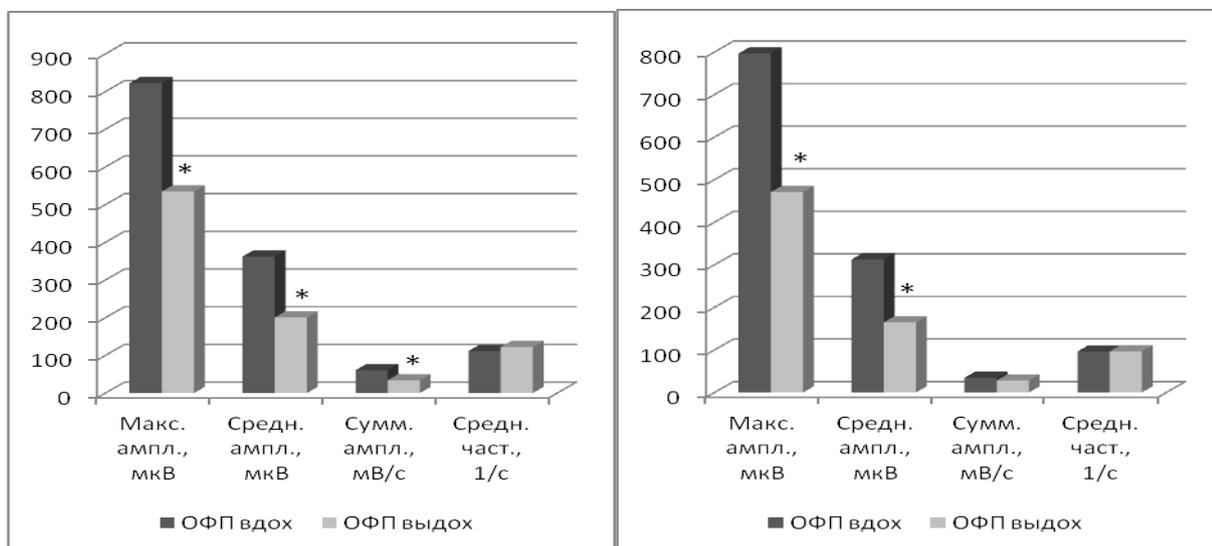
Б

Рисунок 6. Показатели биоэлектрической активности передних зубчатых мышц при проведении пробы форсированного вдоха и выдоха с задержкой дыхания в группе спортсменов.

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

Б – передняя зубчатая мышца (*m. serratus anterior*) слева

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



А

Б

Рисунок 7 Показатели биоэлектрической активности передних зубчатых мышц при проведении пробы форсированного вдоха и выдоха с задержкой дыхания в группе ОФП.

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

Б – 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 спортсменов (Рисунок 7) было выявлено, что максимальная амплитуда осцилляции 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.

При анализе проб форсированного вдоха и выдоха с задержкой дыхания в группе ОФП (Рисунок 7) было обнаружено, что максимальная и средняя амплитуды осцилляций слева и справа достоверно выше при вдохе по сравнению с актом форсированного выдоха. Анализ средней частоты биоэлектрической активности зубчатых мышц справа и слева в фазы форсированного вдоха и выдоха достоверных различий не обнаружил.

Полученные результаты свидетельствуют, что спортсмены, тренирующиеся в циклических видах спорта, при дыхании акцентируют 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.

Исследование концентрации лактата в крови спортсменов после нагрузочного теста PWC170 показало, что его содержание достоверно увеличивается в обеих группах. В группе ОФП он увеличивается в 3,4 раза, а у спортсменов лишь в 1,5 раза. Достоверных различий уровня лактата в крови обеих групп до нагрузки не выявлено.

Концентрация лактата в 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. Не маловажное значение имеет способность организма утилизировать молочную кислоту.

Далее мы исследовали изменение гемодинамики нижних конечностей у спортсменов после нагрузки. В области бедра у спортсменов отмечено увеличение реографического индекса и максимальной скорости кровотока, сопровождающееся снижением величины венозного оттока. В области голени у спортсменов после нагрузочного теста PWC170 не наблюдается усиления артериального кровотока, прироста показателей венозного кровотока так же не происходит (Рисунок 8). В группе ОФП (Рисунок 9) в мышцах голени после нагрузки наблюдается прирост реографического индекса (РИ), амплитудно-частотного показателя (АЧП) и индекса быстрого (V_{max}) кровенаполнения. В мышцах бедра отмечен прирост величины реографического индекса и амплитудно-частотного показателя.

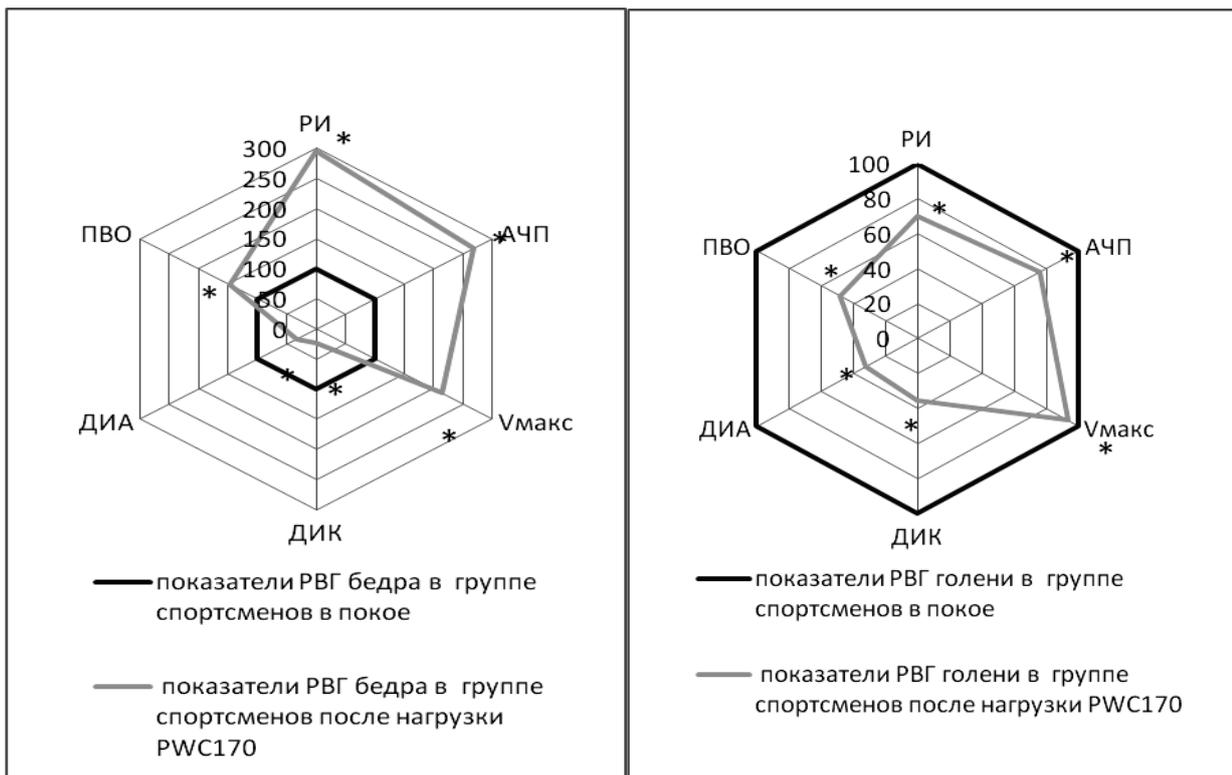


Рисунок 8 Изменение показателей регионарной гемодинамики нижних конечностей в группе спортсменов до и после нагрузочного теста PWC170 (показатели представлены в %, показатели до нагрузки приняты за 100%).

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

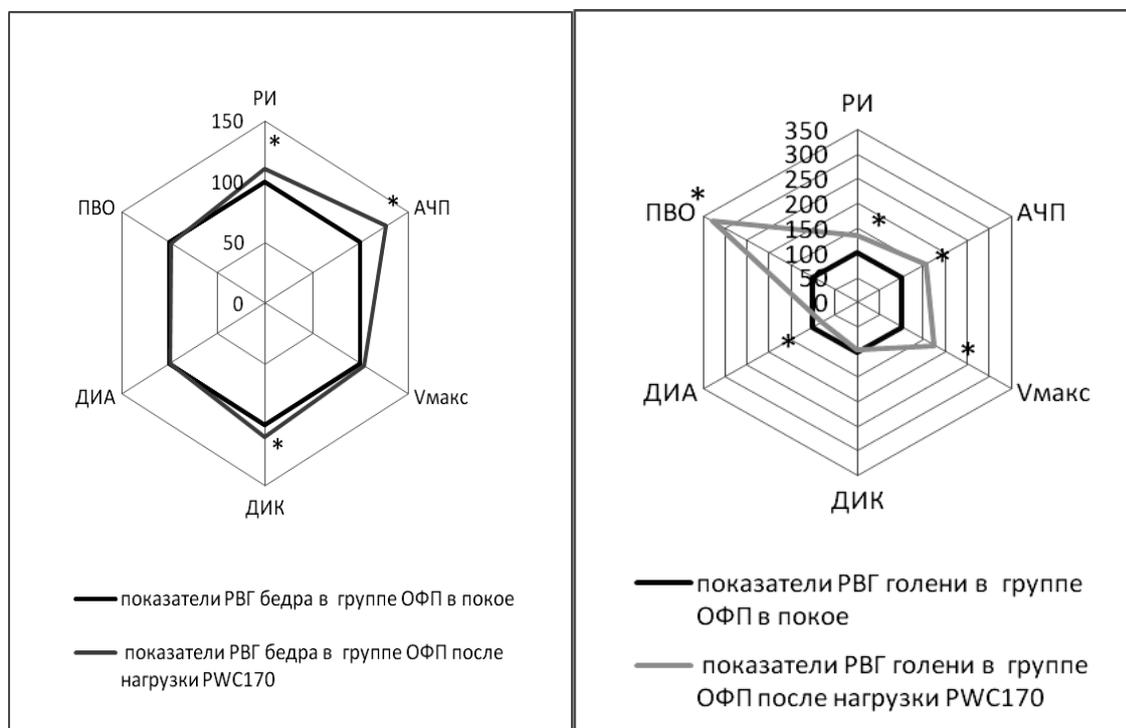


Рисунок 9 Изменение показателей регионарной гемодинамики нижних конечностей в группе ОФП до и после нагрузочного теста PWC₁₇₀ (здесь и на рисунке 10 показатели представлены в %, показатели до нагрузки приняты за 100%).

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

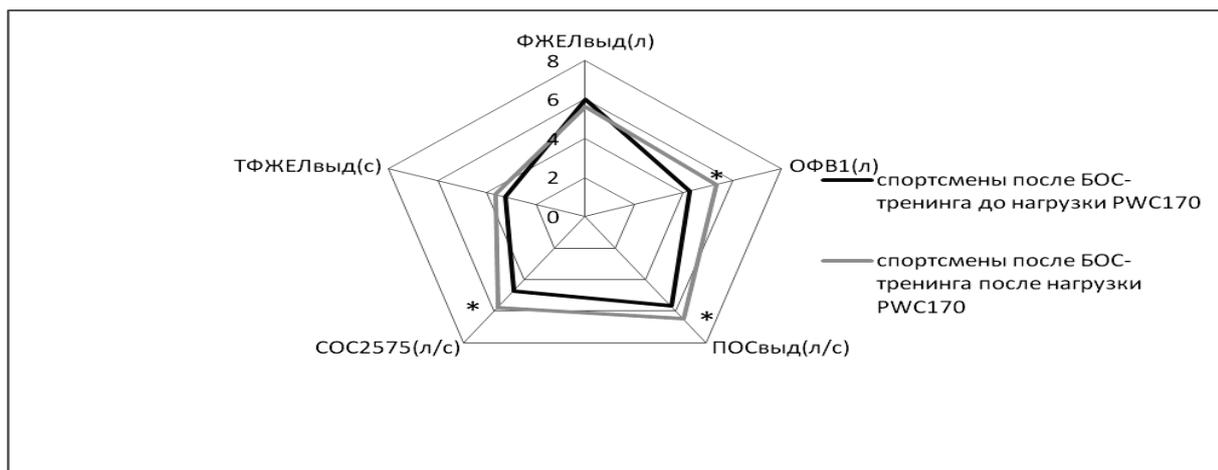
По-видимому, при выполнении физической нагрузки на велоэргометре преимущественно задействованы мышцы бедер, и именно в этом регионе увеличивается интенсивность артериального кровотока.

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.

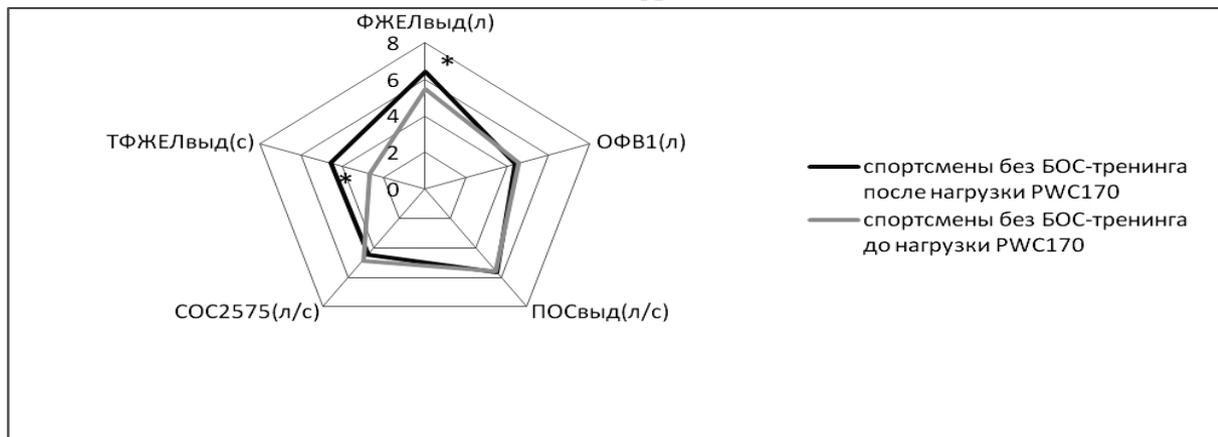
У нетренированных лиц усиление кровотока происходит во всех отделах нижней конечности – и в области бедра и в области голени – и не соответствует распределению мышечной активности, что делает реакцию системы кровообращения на нагрузку менее эффективной.

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

Принимая во внимание вышеизложенное, мы предположили, что тренировка дыхания на основе адаптивного биоуправления параметрами внешнего дыхания может оказать позитивный эффект на процесс адаптации к физическим нагрузкам.



А



Б

Рисунок 10 Показатели спирометрии у спортсменов до и после нагрузочного теста PWC170.

А – спортсмены, прошедшие курс БОС-тренинга

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

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

Для оценки результатов проведения капнографического БОС-тренинга изучались концентрация CO_2 в выдыхаемом воздухе, спирографические и пневмотахометрические показатели, уровень физической работоспособности и характеристики кровотока нижних конечностей. Так же методом электроэнцефалографии оценивалась реакция центральной нервной системе на проведение респираторного БОС-тренинга по капнограмме выдыхаемого воздуха.

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, что после проведения курса у спортсменов снижается 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)% ($p < 0,05$).

Оценка влияния капнографического БОС-тренинга на показатели функции внешнего дыхания в группе спортсменов (Рисунок 10А) показала, что под влиянием мышечной работы происходило увеличение форсированной жизненной емкости легких за 1 секунду (ОФВ1 (л)), максимального потока экспирации ($\text{ПОС}_{\text{выд}}$ (л/с)) и форсированного экспираторного потока между 25% и 75% форсированной жизненной ёмкости лёгких (СОС_{25-75} (л/с)). Время форсированного выдоха ($\text{ТФЖЕЛ}_{\text{выд}}$ (с)) и форсированная жизненная емкость легких (ФЖЕЛ (л)) достоверно не изменялись.

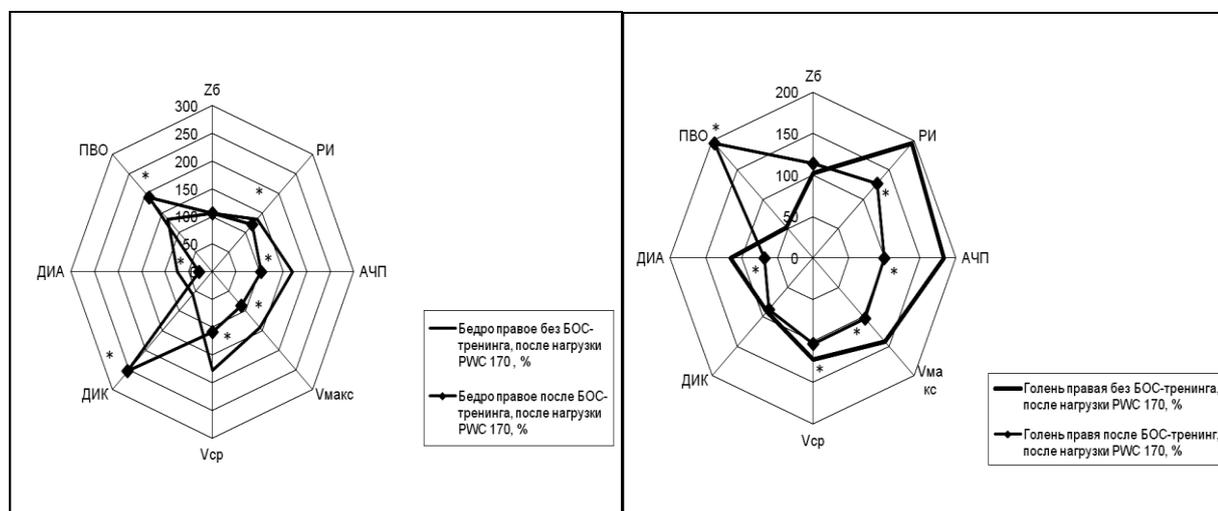
В группе спортсменов, которые тренировались в обычном режиме без БОС-тренинга (Рисунок 10 Б), напротив, после нагрузки PWC170 наблюдается прирост таких показателей, как форсированная жизненная емкость легких (ФЖЕЛ (л)) и время форсированного выдоха ($\text{ТФЖЕЛ}_{\text{выд}}$ (с)).

Таким образом, после капнографического БОС-тренинга усиление дыхания на фоне физической нагрузки происходит 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.

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

Показатели гемодинамики нижних конечностей после мышечной нагрузки в группе спортсменов, прошедших курс капнографического БОС-тренинга (Рисунок 11), свидетельствуют, что у них прирост интенсивности артериального кровотока происходит в меньшей степени, чем у тех, кто не проходил курс БОС-тренинга. Прирост реографического индекса (РИ) ($p < 0,05$) и амплитудно-частотного показателя (АЧП) ($p < 0,05$) после нагрузки был достоверно выше в группе спортсменов, не проходивших курс капнографического БОС-тренинга. Индексы быстрого ($V_{\text{макс}}$) и среднего кровенаполнения ($V_{\text{ср}}$) ($p < 0,05$) отражающие кровенаполнение, тонус и эластичность артерий различного калибра, в

группе спортсменов, прошедших курс капнографического БОС-тренинга, увеличивались в меньшей степени. 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) ($p < 0,05$).



А

Б

Рисунок 11 Показатели гемодинамики бедра (А) и голени (Б) у спортсменов, прошедших курс БОС-тренинга и у спортсменов, тренировавшихся в обычном режиме без 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 ($p < 0,05$)

Таким образом, нагрузка PWC-170 в группе спортсменов, прошедших курс капнографического БОС-тренинга, вызывает меньший прирост показателей интенсивности артериального кровотока, чем в покое. Со стороны венозного кровотока мышечная нагрузка вызывает улучшение венозного оттока, на что указывают большие величины индекса ПВО и ДКИ после нагрузки, чем в покое ($p < 0,05$) (Рисунок 12).

В покое в группе спортсменов, прошедших курс капнографического БОС-тренинга, наблюдается усиление интенсивности артериального кровотока (Рисунок 13). Наблюдается 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 индексы быстрого ($V_{\text{макс}}$) 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) ($p < 0,05$).

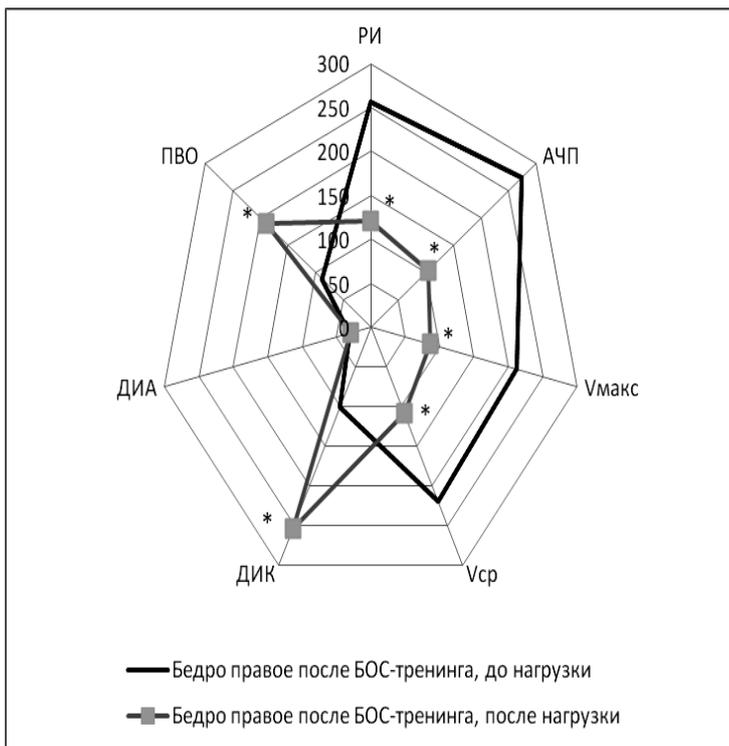


Рисунок 12 Показатели регионарной гемодинамики у спортсменов, прошедших курс капнографического БОС-тренинга, в покое и после нагрузки (показатели представлены в %, показатели до курса БОС-тренинга до нагрузки приняты за 100%)

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

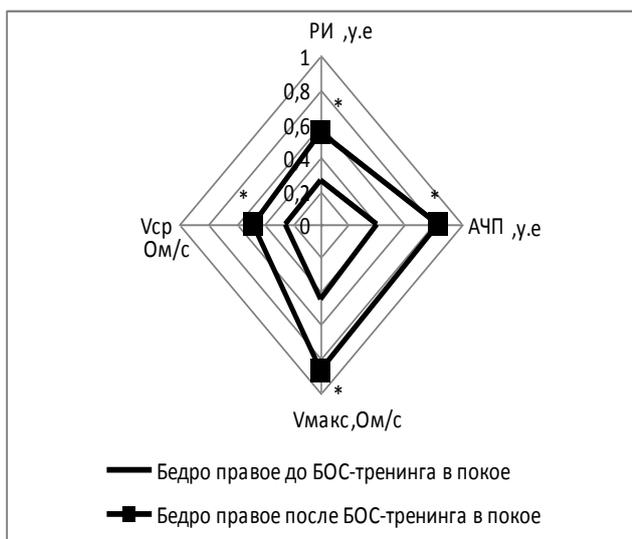


Рисунок 13 Показатели регионарной гемодинамики у спортсменов в покое до и после капнографического БОС-тренинга.

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

Оценка функциональной активности коры головного мозга при капнографической тренировке с биологической обратной связью у спортсменов показала, что выявленные функциональные перестройки в регуляции легочной вентиляции сопровождались изменениями в биоэлектрической активности коры головного мозга (Рисунок 14).

Даже при спокойном дыхании после курса капнографического БОС-тренинга мы наблюдали прирост спектральной мощности всех ритмов кроме β_2 -ритма. 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.

После первого модифицированного теста, в котором уменьшение F_{etCO_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 15). Увеличивался коэффициент асимметрии биоэлектрической активности коры в α и θ - диапазонах, для β – ритма он, напротив, снижался.

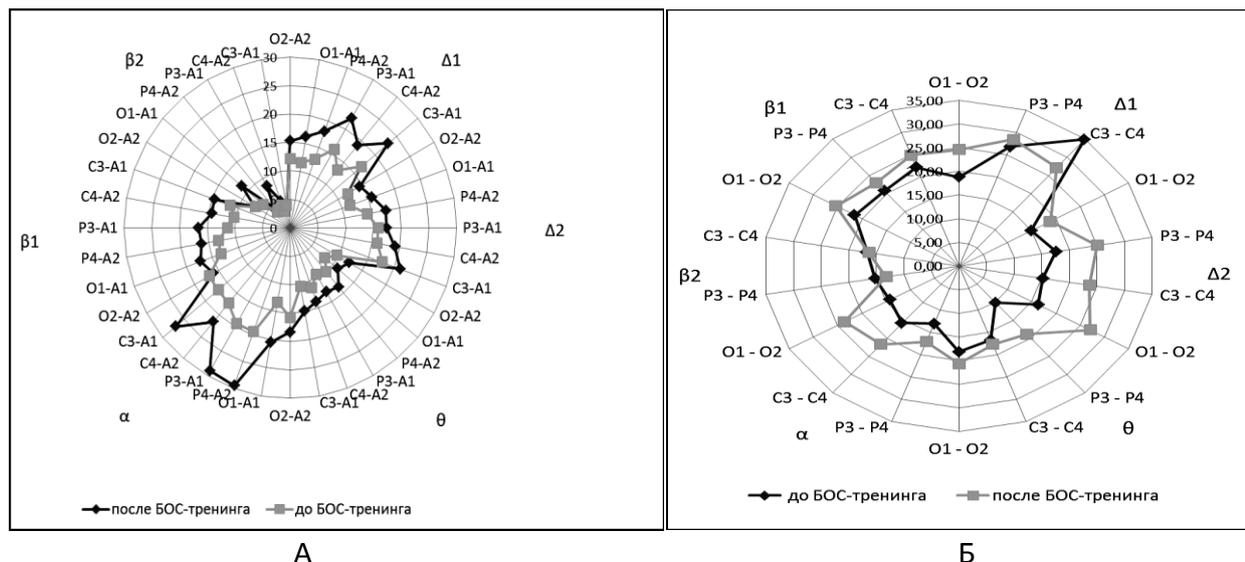


Рисунок 14. Величины спектральных мощностей (А) ($\text{мкВ}^2/\text{Гц}$) и коэффициентов асимметрии (Б) (%) основных ритмов ЭЭГ у спортсменов до и после курса простого БОС-тренинга при спокойном дыхании.

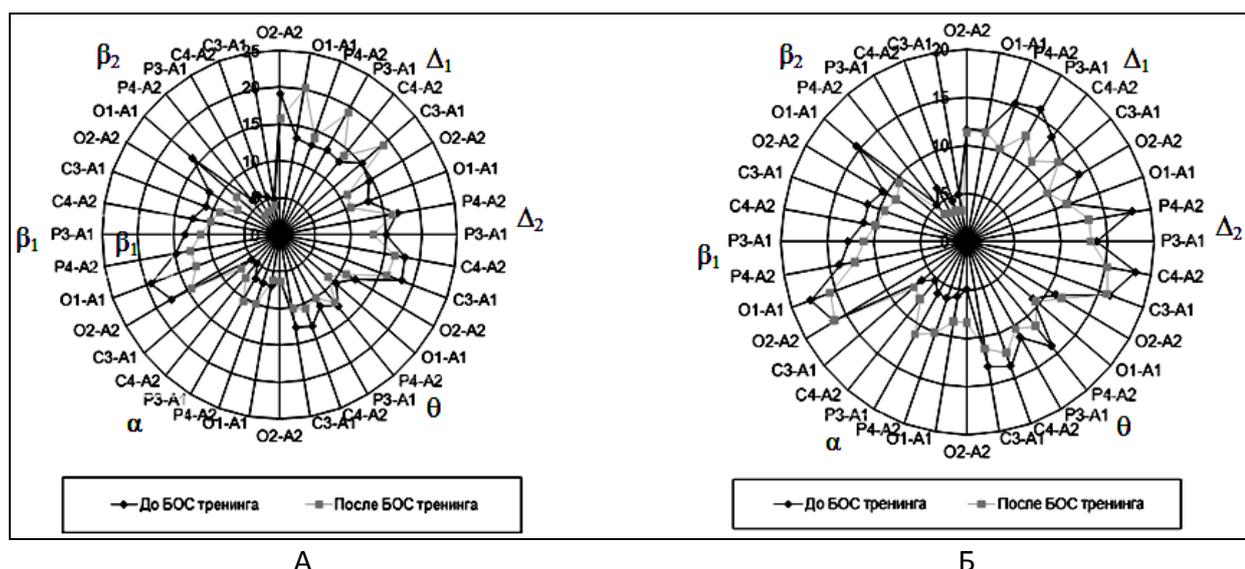


Рисунок 15. Величины спектральных мощностей ($\text{мкВ}^2/\text{Гц}$) основных ритмов ЭЭГ у спортсменов до и после курса модифицированного БОС-тренинга

А – модификация 2 – уменьшение F_{etCO_2} на 20% при снижении ЧД в 2 раза

Б – модификация 1 – уменьшение F_{etCO_2} на 20% при увеличении ЧД в 2 раза

Примечание: на рисунках 14 и 15 мощности альфа и дельта ритмов показаны в масштабе 1:3.

После второго модифицированного теста, в котором уменьшение $F_{et}CO_2$ 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 15А). Одновременно, как и в случае спокойного дыхания, увеличивался коэффициент асимметрии биоэлектрической активности коры в α , Δ_2 и θ - диапазонах.

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.

Можно предположить, что курс капнографического БОС-тренинга способствует повышению эффективности утилизации 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 итоге обеспечивает повышение физической работоспособности спортсменов.

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 РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Баранова Е.А. Лечебная физкультура как метод развития адаптационных возможностей организма студентов / Е.А. Баранова, К.В. Давлетьярова, В.Л. Солтанова, Л.В. Капилевич, В.К. Пашков, В.Н. Васильев // **Теория и практика физической культуры**. - 2010. - № 11. - С. 53-56.
2. Баранова Е.А. Адаптационные возможности организма студентов, занимающихся лечебной физической культурой / Е.А. Баранова, К.В. Давлетьярова, В.Л. Солтанова, Л.В. Капилевич // **Бюллетень Сибирской медицины**. – Томск: СибГМУ. – 2011. – № 3. – С. 116-119.
3. Баранова Е.А. Функциональная активность коры головного мозга при капнографической тренировке с биологической обратной связью у спортсменов / Е.А. Баранова, Л.В. Капилевич, Я.С. Пеккер, О.И. Андрющенко, М.В. Светлик // **Теория и практика физической культуры**. – 2011. - №10. - С. 16-20.
4. Баранова Е.А. ЭЭГ особенности при проведении капнографического БОС – тренинга у спортсменов / Е.А. Баранова, Л.В. Капилевич, Я.С. Пеккер, О.И. Андрющенко, М.В. Светлик // **Физическая культура и спорт на современном этапе: проблемы, поиски, решения: Материалы межрегиональной научно-практической конференции**. – 2011. – С. 138–140.
5. Баранова Е.А. Влияние капнографической тренировки с биологической обратной связью на физическую работоспособность / Е.А. Баранова, Л.В. Капилевич, Я.С. Пеккер // VII Сибирский съезд физиологов. Материалы съезда. - 2012. – С. 38-39.
6. Баранова Е.А. Характеристика регионарного кровотока и физической работоспособности спортсменов при капнографической тренировке с биологической обратной связью / Е.А. Баранова, Л.В. Капилевич, Я.С. Пеккер // **Теория и практика физической культуры**. – 2012. - №.8. - С. 31-35.
7. Баранова Е.А. Тренировка физической работоспособности футболистов с применением капнографического БОС / Е.А. Баранова, Л.В. Капилевич // **Инновационные преобразования в сфере физической культуры, спорта и туризма: научные труды XV-я юбилейная международная научно-практической конгресс-конференция**. - 2012. - Том 2. – С.46-51.

8. Баранова Е.А. Влияние мышечной работы на параметры внешнего дыхания и гемодинамику нижних конечностей у спортсменов и нетренированных лиц. / Е.А. Баранова, Л.В. Капилевич // **Вестник Томского Государственного Университета.** – 2012. - №364. - С. 140-142.
9. Баранова Е.А. Влияние капнографической тренировки с биологической обратной связью на физическую работоспособность и гемодинамику у спортсменов / Е.А. Баранова, Л.В. Капилевич, Я.С. Пеккер // **Бюллетень Сибирской медицины.** - 2012.- Том 11. - № 3. — С. 39-43.
10. Баранова Е.А. Адаптивные изменения активности коры головного мозга при проведении дыхательных тренировок с биологической обратной связью / Е.А. Баранова // Сборник научных трудов Международного научного симпозиума «Общество и непрерывное благополучие человека». - 2014. - С. 87-94.
11. Баранова Е.А. Влияние физической нагрузки на показатели легочной вентиляции у спортсменов / Е.А. Баранова, Л.В. Капилевич // **Вестник Томского государственного университета.** - 2013. -№ 374. - С. 152–155.
12. Баранова Е.А. Функциональная адаптация сердечно-сосудистой системы у спортсменов, тренирующихся в циклических видах спорта / Е.А. Баранова, Л.В. Капилевич // **Вестник Томского государственного университета.** - 2014. - № 383. - С. 176–179.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- АЧП - амплитудно-частотного показателя
БОС- биологическая обратная связь
ДО - дыхательного объема
МОД - минутного объема дыхания
МОС25 - - мгновенная объёмная скорость после выдоха 25% ФЖЕЛ
ОФП –общая физическая подготовка
ПВО - пиковая объёмная скорость выдоха
ПОС_{выд} - пиковой объёмной скорости выдоха
РИ - реографического индекса
РО_{вд} - резервного объема вдоха
СОС25% - 75% - средняя объёмная скорость в интервале между 25% и 75% ФЖЕЛ
ЧД - частоты дыхания
V_{макс} - индекса быстрого кровенаполнения

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках выполнения научно-исследовательских работ по направлению «Оценка и улучшение социального, экономического и эмоционального благополучия пожилых людей», договор № 14.Z50.31.0029.

Автор благодарит кафедру медицинской и биологической кибернетики Сибирского государственного медицинского университета и заведующего кафедрой профессора Я.С. Пекера за консультации по применению методики капнографического БОС-тренинга и предоставление компьютерной программы для его проведения.

Подписано в печать _____ . _____ 20__ г.

Усл.печ.листов 1,0. Печать на ризографе.

Отпечатано в _____

634050, г. Томск,

тел.

Заказ № _____

Тираж 100 экземпляров