

На правах рукописи

НИКОНОВ РОМАН ВЛАДИМИРОВИЧ

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СПОРТСМЕНОВ-ДАЙВЕРОВ
К ТОКСИЧЕСКОМУ ДЕЙСТВИЮ КИСЛОРОДА
ПРИ ПОМОЩИ МЕТОДИКИ АНАЛИЗА
ВАРИАбельНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА**

3.1.33. Восстановительная медицина, спортивная медицина,
лечебная физкультура, курортология и физиотерапия, медико-
социальная реабилитация

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Москва 2024

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна»

Научный руководитель:

Самойлов Александр Сергеевич, член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, профессор, генеральный директор Федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна»

Официальные оппоненты:

Смоленский Андрей Вадимович, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой спортивной медицины Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», г. Москва;

Быков Евгений Витальевич, доктор медицинских наук, профессор, проректор по научно-исследовательской работе, заведующий кафедрой спортивной медицины и физической реабилитации Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет физической культуры», г. Челябинск.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства»

Защита диссертации состоится « 27 » июня 2024 г. в 11.00 часов на заседании диссертационного совета 68.1.003.03 при ФГБУ ГНЦ ФМБЦ имени А.И. Бурназяна ФМБА России, по адресу: 123098, Москва, ул. Живописная, д. 46, строение 8. Тел.: 8 (499) 190-96-98.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» России в г. Москве (123098, Москва, ул. Живописная, д. 46) и на сайте <https://fmbafmbc.ru/scientific-activities/dissertation-council>

Автореферат разослан « 06 » мая 2024 г.

Учёный секретарь диссертационного совета
доктор медицинских наук, профессор

Н.В.Рылова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В последние десятилетия активно развиваются дайвинг, подводная охота и фридайвинг. В мире насчитываются более 20 миллионов человек, имеющих сертификаты дайверов. Широкую популярность в нашей стране приобретают рекреационный, технический и спортивный дайвинг. С 2003 года официально зарегистрирована Федерация подводного спорта России, а с 2008 года проводятся международные соревнования дайверов, некоторые из них прошли в Москве, Санкт-Петербурге, Казани. Дайвинг официально признан дисциплиной подводного спорта. Совершенствуется подготовка спортсменов и организация соревнований, появляются новые состязательные дисциплины.

Одним из факторов подводных погружений, значительно влияющих на состояние дайвера, является гипероксия, то есть повышенное парциальное давление кислорода, вызывающее отравление разных степеней тяжести (Смолин В.В., 2005, Матьё Д., 2020). Устойчивость к гипероксической гипоксии является индивидуальным стойким параметром организма человека (Д. П. Зверев, А. А Мясников, А. Ю Шитов, 2020).

Считаем целесообразным для выбора соревновательной дисциплины спортивного дайвинга определять индивидуальную устойчивость спортсмена к токсическому действию кислорода (Самойлов А.С., 2020). Низкая устойчивость к гипероксической гипоксии способна вызвать снижение функциональных резервов организма и ухудшение тренировочного эффекта или спортивного результата. В то же время определение индивидуальной устойчивости и выбор спортивной дисциплины, предполагающей подходящие для атлета экспозиции гипероксии на соревнованиях и в тренировочном цикле, представляется физиологически обоснованным и более перспективным (Е.В. Быков, 2022). Методика анализа вариабельности сердечного ритма, отражающая состояние вегетативной регуляции может быть применена для диагностики декомпенсации при токсическом действии кислорода и определении степени

индивидуальной устойчивости (Баевский Р.М., 2017, Самойлов А.С., 2020).

По мере развития применения обогащенных кислородом искусственных дыхательных газовых смесей в спортивном, рекреационном и техническом дайвинге все острее становится проблема диагностики, профилактики и лечения отравления кислородом.

Гипотеза исследования. Мы предполагаем, что изменения вегетативной регуляции в период воздействия гипербарической оксигенации могут быть диагностированы при помощи методики анализа вариабельности сердечного ритма (ВСР). Таким образом специфические проявления кислородной интоксикации, определяемые посредством анализа кардиоинтервалограмм и возникающие по прошествии определенного времени стандартизированной экспозиции гипербарического кислорода, могут служить критерием индивидуальной устойчивости к токсическому действию кислорода.

Степень разработанности темы исследования. В настоящее время существует методика Шитова А.Ю. с соавторами, основанная на измерении артериального давления (сфингоманометрии) и пульса у обследуемого в барокамере во время гипербарической оксигенации для вычисления минутного объема кровообращения. Заключение выносится по динамике минутного объема кровообращения. На наш взгляд методика требует большей объективизации.

Методика анализа ВСР с успехом применялась для предсказания и купирования приступов эпилепсии, подобных кислородным судорогам. (Хаспекова Н. Б. 1996, Van de Vel A., 2013, Сосиновская Е.В., 2014, Van der Kruijs S.J., 2016, Velez M., 2016, Yun-Li Yu, 2018).

Нами предпринята попытка определения устойчивости к токсическому действию кислорода на основании регистрации изменений в регуляции деятельности сердечно-сосудистой системы в ходе развития стрессовой реакции в ответ на гипероксическое воздействие при помощи методики анализа вариабельности сердечного ритма.

Цель исследования: определить индивидуальную устойчивость спортсменов-дайверов к токсическому действию кислорода при помощи методики анализа variability сердечного ритма.

Задачи исследования:

1. Определить индивидуальную устойчивость спортсменов-дайверов к токсическому действию кислорода по стандартной методике (А.Ю. Шитов, 2011).
2. Оценить состояние вегетативной нервной системы в период декомпенсации токсического действия кислорода посредством методики анализа variability сердечного ритма.
3. Определить показатели variability сердечного ритма, наиболее чувствительные к изменениям вегетативной регуляции, характерным для физиологического и токсического действия кислорода.
4. Установить значения показателей variability сердечного ритма, свойственные различным группам устойчивости к токсическому действию кислорода в период декомпенсации.

Научная новизна исследования. Впервые предложен альтернативный способ определения индивидуальной устойчивости организма к токсическому действию кислорода: при помощи методики анализа variability сердечного ритма.

Впервые описано состояние вегетативной регуляции в течение гипербарической оксигенации с помощью методики анализа variability сердечного ритма, в том числе в период срыва механизмов адаптации к гипероксической гипоксии. Представленные данные обладают диагностической ценностью в отношении раннего выявления токсического действия кислорода и определения индивидуальной устойчивости к этому фактору.

Результаты исследования позволят применять методику анализа variability сердечного ритма для постоянного мониторинга состояния спортсменов-дайверов в период совершения погружений.

Впервые для исследований в этой области привлечена столь крупная выборка практикующих дайверов, что значительно повысило достоверность полученных результатов.

Теоретическая значимость работы. Полученные данные будут способствовать дальнейшему развитию методики анализа variability сердечного ритма, расширят научные представления об адаптации организма к вредным факторам подводных погружений. Данные исследования расширят теоретическую основу применения методик неинвазивной оценки функционального состояния организма при гипероксии, что поспособствует развитию подводного спорта, рекреационного и технического дайвинга.

Практическая значимость работы. Результаты исследования могут быть применены для точного определения индивидуальной устойчивости организма к токсическому действию кислорода, являющейся определяющим критерием при отборе атлетов для спортивного дайвинга и дальнейшей профессиональной ориентации внутри специальности. Применение методики анализа variability сердечного ритма целесообразно для контроля состояния организма и профилактики отравления кислородом при подводных погружениях и соревнованиях, а также пребывании людей в условиях повышенного давления газовой или водной среды с научными или иными целями. Полученный материал может использоваться в учебном процессе для чтения лекций и проведения практических занятий на кафедрах спортивной медицины, восстановительной медицины медицинских и физкультурных ВУЗов.

Методология и методы исследования. Тип исследования: поперечное сравнительное исследование.

Методологическим базисом настоящего исследования являются работы зарубежных и отечественных авторов, посвященные оценке функционального состояния и вегетативного баланса организма с помощью методики анализа variability сердечного ритма, труды, описывающие применение методики анализа variability сердечного ритма

для предсказания и предотвращения икталных приступов при эпилепсии, а также патологические механизмы развития кислородных судорог, влияние гипероксии на основные витальные функции организма и их регуляцию.

В работе применены следующие методики.

1. Тонометрия.

2. Методика анализа variability сердечного ритма.

3. Определение степени индивидуальной устойчивости к токсическому действию кислорода по способу А.Ю.Шитова с соавторами.

4. Статистическая обработка данных проводилась в программе StatTech v. 3.1.6. с применением однофакторного дисперсионного анализа, критериев Шапиро-Уилка, Колмогорова-Смирнова, парного t-критерия Стьюдента с поправкой Холма, Коновера-Имана с поправкой Холма.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Определены показатели ВСР (RMSSD, SNS, мощность LF и HF диапазонов, отношение LF/HF, Alpha 2, ApEn, SD1, SD2, отношение SD2/SD1), наиболее чувствительные к изменениям вегетативной регуляции, характерным для токсического действия кислорода.

2. Состояние вегетативной нервной системы в токсическую стадию отравления кислородом по данным ВСР характеризуется как выраженная симпатикотония.

3. Определены значения показателей, обладающие предикторными характеристиками в отношении развития декомпенсации при токсическом действии кислорода.

Внедрение результатов работы. Материалы исследования внедрены в работу: кафедры восстановительной медицины, курортологии и физиотерапии, сестринского дела с курсом спортивной медицины Федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна»; кафедры психологии ФГКВБОУ ВО «Военный университет имени князя Александра Невского» Министерства обороны Российской Федерации.

Федерации; Региональной общественной организации «Федерации подводного спорта Республики Крым» Федерации подводного спорта России.

Степень достоверности и апробация результатов работы. Материалы диссертации были доложены и обсуждены на научно-практических конференциях и конгрессах российского и международного уровня: «Ильинские чтения 2024» (Москва, 2024 г.), «Здоровье человека в 21 веке, качество жизни» (Казань, 2024 г.), «Физическая культура, спорта, наука и образование» (Чурапча, 2024 г.).

Соответствие паспорту научной специальности.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности: 3.1.33. Восстановительная медицина, спортивная медицина, лечебная физкультура, курортология и физиотерапия, медико-социальная реабилитация п.4. «Разработка и внедрение здоровьесберегающих технологий превентивной, трансляционной, персонифицированной и цифровой медицины с использованием природных лечебных факторов и других средств немедикаментозной терапии»; п. 5. «Разработка методов рационального использования физических упражнений, прочих средств физической культуры и спорта для укрепления здоровья, профилактики и лечения заболеваний, повышения физической работоспособности. Определение эффективных мероприятий по предупреждению заболеваний и травм у спортсменов, наиболее рациональных гигиенических условий физического воспитания. Разработка средств и методов медицинского контроля за функциональным состоянием лиц, занимающихся спортом, а также программ восстановления нарушенных функций и реабилитации спортсменов»; п. 6. «Разработка новых и усовершенствованных медицинских технологий для медико-биологического обеспечения спортсменов во всех возрастных категориях и в широком диапазоне видов спорта. Изучение влияния внешних и внутренних факторов на структурные особенности, функционирование и патологические проявления организма спортсмена».

Личный вклад автора. Соискатель принимал участие в исследовании на всех этапах планирования и выполнения работы. Диссертант осуществлял изучение и анализ научных публикаций по тематике исследования, постановку цели и задач исследования, отбор методов для их реализации, также отбор обследуемых, сбор информации, в том числе работу непосредственно в барокамере под повышенным давлением газовой среды, систематизацию данных и их статистическую обработку и интерпретацию.

Объем и структура работы. Диссертация имеет традиционную структуру. Она состоит из следующих разделов: введение, обзор литературы, методология и методы исследования, результаты собственных исследований, заключение, выводы, список литературы. Работа изложена на 189 страницах, иллюстрирована 98 рисунками, 15 таблицами, 1 приложение. Список литературы включает 155 источников, 119 из них – иностранные.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Материалы и методы исследования. Объектом исследования выступали лица мужского пола – спортсмены-дайверы (67 человек), здоровые, годные по заключению врачебной комиссии к подводным погружениям. Средний возраст составил $24,22 \pm 1,98$ лет, масса тела – $74,00 \pm 7,25$ кг. Исследование проводилось на кафедре спортивной и восстановительной медицины ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России. Дизайн исследования утвержден решением этического комитета при ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России от 14.11.2019 № 336 и соответствует требованиям Хельсинкской декларации 2013 года.

Исследование проходило в три этапа. На предварительном этапе проводился опрос жалоб на здоровье, осмотр врача для допуска к подводным погружениям, термометрия, измерение артериального давления, запись показателей ВСП.

После этого на втором этапе двух обследуемых в сопровождении врача помещали в барокамеру и проводили определение степени индивидуальной устойчивости по способу А.Ю. Шитова с соавторами, одновременно продолжая регистрацию ВСР.

Третий этап исследования проводился по окончании гипербарической оксигенации. Испытуемых возвращали в помещение для записи ВСР в покое, размещали в положении сидя и после исчезновения проявлений клиностатической реакции производили 5-минутную запись ВСР.

Результаты исследований интерпретировали, анализировали и обрабатывали статистически. Записи ВСР во время гипербарической оксигенации фрагментировались на отрезки длительностью 5 минут и анализировались отдельно. По результатам анализа они были разделены на 3 типа (группы):

1 тип – записи, отражающие парасимпатическую реакцию, в течение которых МОК и ЧСС снижались или оставались неизменными;

2 тип – фрагменты, характеризующиеся временным увеличением тонуса СНС, для которых свойственно увеличение показателей ЧСС, но которые не сопровождались значительным увеличением МОК, за которыми следовали периоды ваготонии, обозначенные как записи 1 типа;

3 тип – отрезки, сопровождавшиеся выраженным повышением ЧСС и увеличением МОК, служившим основанием для прекращения гипербарической оксигенации и расцениваемым как развитие декомпенсации.

Кроме того, анализу подвергались записи ВСР до гипербарической оксигенации и после нее.

Анализ результатов проводили на ПЭВМ с применением программного обеспечения Kubios HRV Standard 3.2.0 (Kubios Oy, Finland), с максимальной степенью коррекции артефактов и применением математической модели быстрого преобразования Фурье для расчета показателей частотного домена ВСР.

В ходе анализа данных кардиоинтервалограмм определяли значение показателей временной области ВСР:

парасимпатический индекс (PNS index); симпатический индекс (SNS index); среднюю длину интервала RR (Mean RR, мс); среднюю ЧСС (Mean HR, удар/минута); корень квадратный из индекса напряжения регуляторных систем по Баевскому Р.М. (Stress index); стандартное отклонение междударных интервалов (STD RR, мс); стандартное отклонение ЧСС (STD HR, удар/минута); минимальную и максимальную ЧСС (HR min; HR max, удар/минута); среднеквадратичное значение различия последовательных интервалов RR (RMSSD, мс); количество последовательных интервалов RR, которые отличаются более, чем на 50 мс (NN50); процент последовательных интервалов RR, которые отличаются более, чем на 50 мс (pNN50, %); треугольный индекс BCP - целое от деления плотности интервальной гистограммы RR на свою высоту (RR triangular index); базовую ширину (ширину основания) гистограммы интервалов RR (TINN, мс).

В частотном домене анализа BCP вычисляли приведенные ниже параметры: пиковую частоту очень низкочастотного диапазона (VLF, Гц); пиковую частоту низкочастотного диапазона (LF, Гц); пиковую частоту высокочастотного диапазона (HF, Гц); абсолютную мощность очень низкочастотного (0-0,04 Гц) диапазона (VLF, мс²); абсолютную мощность низкочастотного диапазона (0,04-0,15 Гц) (LF, мс²); абсолютную мощность высокочастотного (0,15-0,4 Гц) диапазона (HF, мс²); логарифм мощности очень низкочастотного диапазона (VLF, log); логарифм мощности низкочастотного диапазона (LF, log); логарифм мощности высокочастотного диапазона (HF, log); относительную мощность очень низкочастотного диапазона (0-0,04 Гц) (VLF, %); относительную мощность низкочастотного (0,04-0,15 Гц) диапазона (LF, %); относительную мощность высокочастотного (0,15-0,4 Гц) диапазона (HF, %); абсолютную мощность низкочастотного (0,04-0,15 Гц) диапазона в нормальных единицах измерения (LF, п.у.); абсолютную мощность высокочастотного (0,15-0,4 Гц) диапазона в нормальных единицах измерения (HF, п.у.); общую мощность спектра BCP (Total power, мс²); отношение мощности

низкочастотного диапазона к мощности высокочастотного диапазона (LF/HF, ratio).

Из нелинейных показателей определяли следующие: стандартное отклонение перпендикулярной линии идентичности на графике Пуанкаре (SD1, мс); стандартное отклонение вдоль линии идентичности на графике Пуанкаре (SD2, мс); отношение SD2 к SD1 (SD2/SD1, ratio); приближенную энтропию, которая отражает регулярность и сложность временных рядов междарных интервалов (approximate entropy, ApEn); выборочную энтропию, которая измеряет регулярность и сложность временных рядов междарных интервалов выборки (sample entropy, SampEn); бестрендовый анализ колебаний, описывающий краткосрочные колебания ($\alpha 1$); бестрендовый анализ колебаний, описывающий долгосрочные колебания ($\alpha 2$). Статистический анализ проводился с использованием модуля Statistics в Python, программы StatTech v. 3.1.6.

Количественные показатели оценивались на предмет соответствия нормальному распределению с помощью критерия Шапиро-Уилка (при числе исследуемых менее 50) или критерия Колмогорова-Смирнова (при числе исследуемых более 50).

Количественные показатели, имеющие нормальное распределение, описывались с помощью средних арифметических величин (M) и стандартных отклонений (SD), границ 95% доверительного интервала (95% ДИ).

В случае отсутствия нормального распределения количественные данные описывались с помощью медианы (Me) и нижнего и верхнего квартилей (Q1 – Q3).

Сравнение двух групп по количественному показателю, имеющему нормальное распределение, при условии равенства дисперсий выполнялось с помощью t-критерия Стьюдента, при неравных дисперсиях выполнялось с помощью t-критерия Уэлча.

Сравнение двух групп по количественному показателю, распределение которого отличалось от нормального, выполнялось с помощью U-критерия Манна-Уитни.

Для сравнения трех и более связанных групп по нормальному распределенному количественному признаку применялся

однофакторный дисперсионный анализ с повторными измерениями. Статистическая значимость изменений показателя в динамике оценивалась с помощью следа Пиллая (Pillai's Trace). Апостериорный анализ проводился с помощью парного t-критерия Стьюдента с поправкой Холма.

При сравнении трех и более зависимых совокупностей, распределение которых отличалось от нормального, использовался непараметрический критерий Фридмана с апостериорными сравнениями с помощью критерия Коновера-Имана с поправкой Холма.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Распределение спортсменов по группам устойчивости к токсическому действию кислорода. По стандартной методике, принятой в водолазной медицине, испытуемые были распределены на три группы. Группу низкоустойчивых составили 21 человек (31,3 %), среднеустойчивых – 24 человека (35,8 %), высокоустойчивых – 22 человека (32,9 %). Объем выборки достаточен. Полученные в результате анализа записей ВСП до проведения гипербарической оксигенации данные говорят об отсутствии статистически значимых различий между испытуемыми, отнесенными в дальнейшем к разным группам устойчивости к токсическому действию кислорода.

Сравнительный анализ записей ВСП спортсменов-дайверов различных групп устойчивости к токсическому действию кислорода в зависимости от стадии воздействия гипербарического кислорода.

Показатели ВСП RMSSD, PNS, мощность LF и HF диапазонов, отношение LF/HF, Alpha 2, SampEn, SD1, SD2, отношение SD2/SD1 продемонстрировали статистически достоверные различия ($p < 0,05$) у представителей различных групп устойчивости в различные периоды гипероксического воздействия (записи 1, 2, 3 типов).

На рисунках 1, 2 представлены значения показателя PNS на записях 1, 2 типов соответственно. На рисунках 3, 4

представлены значения показателя RMSSD на записях 1, 2 типов соответственно.

На рисунках 5, 6 представлены значения показателя LF/HF на записях 1, 2 типов соответственно. На рисунках 7(А, Б) представлены значения показателя SD1 на записях 1, 2 типов соответственно.

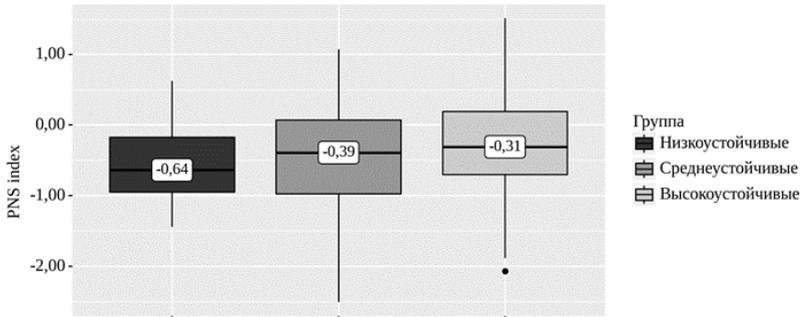


Рисунок 1 – Сопоставимость групп согласно парасимпатическому индексу при анализе записей 1 типа

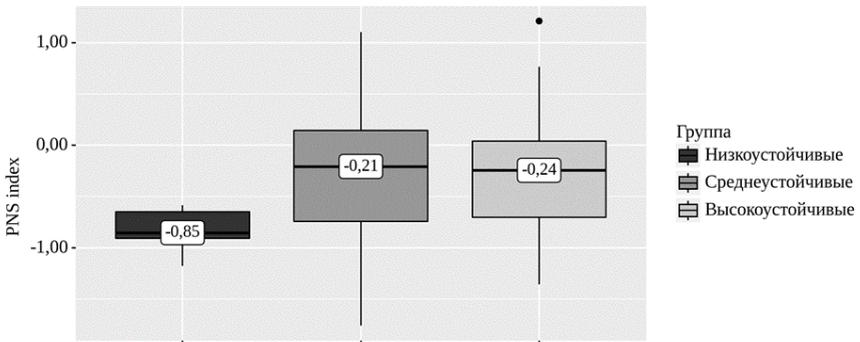


Рисунок 2 – Сравнение групп по парасимпатическому индексу при анализе записей 2 типа

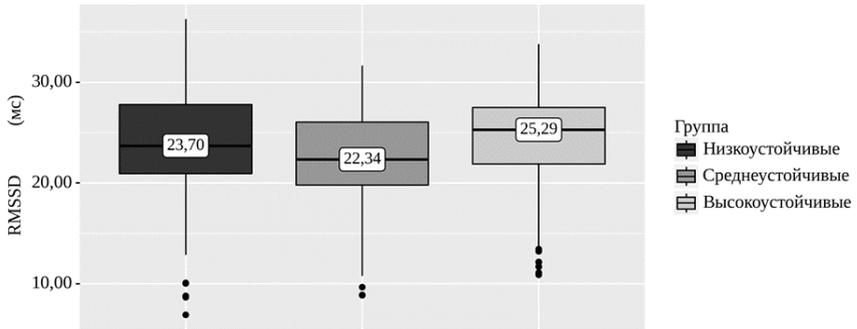


Рисунок 3 – Сравнение групп по RMSSD при анализе записей 1 типа

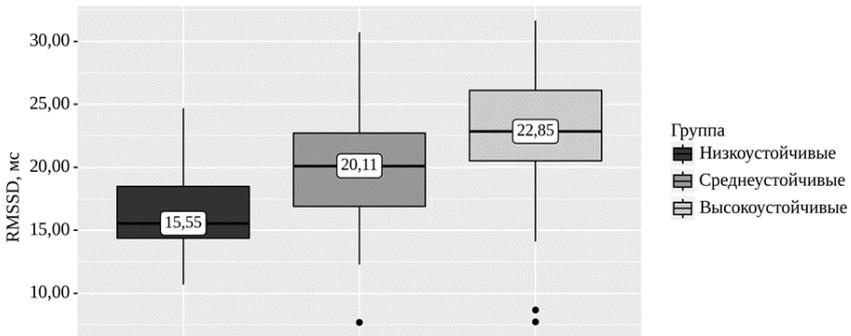


Рисунок 4 – Сопоставимость групп согласно RMSSD при анализе записей 2 типа

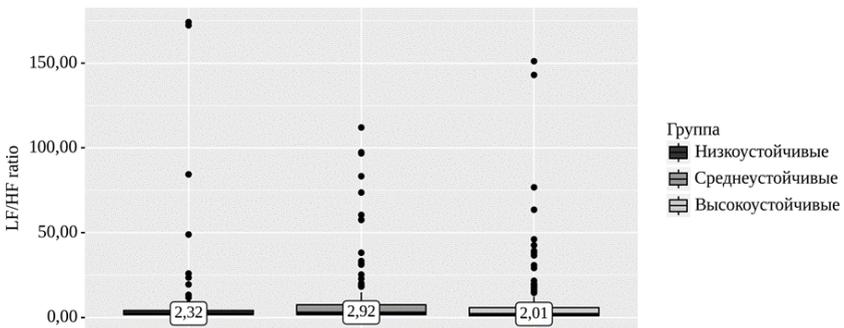


Рисунок 5 – Сопоставимость групп по показателю отношение LF/HF при анализе записей 1 типа

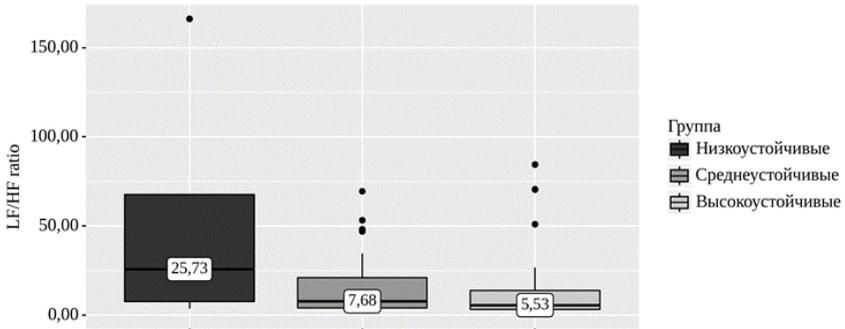
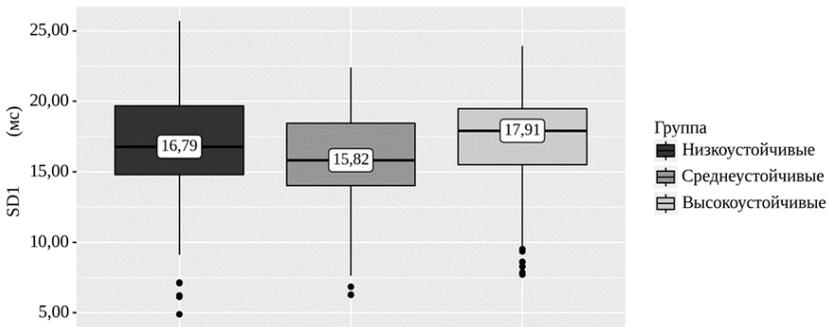
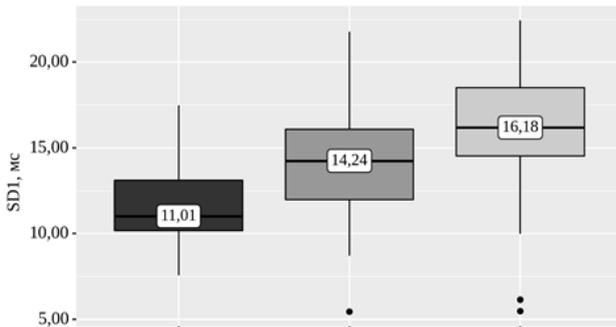


Рисунок 6 – Сопоставимость групп по показателю отношение LF/HF при анализе записей 2 типа



А



Б

Рисунок 7 – Сравнение групп по показателю отношение LF/HF при анализе записей А - 1 типа, Б - 2 типа

В период декомпенсации токсического действия кислорода определенные показатели ВСР продемонстрировали статистически значимые различия у представителей разных групп устойчивости.

Значение показателей ВСР, достоверно различающихся у представителей разных групп устойчивости в период декомпенсации гипероксического воздействия (записи 3 типа), представлены в таблице 1. Статистическая обработка результатов ВСР позволила определить показатели, достоверно отличающиеся между обследуемыми различными групп устойчивости к токсическому действию кислорода на записях всех типов. Средние значения RMSSD, PNS, мощностей LF и HF диапазонов, отношения LF/HF, Alpha 1, ApEn, SD1, SD2, отношения SD2/SD1 могут служить критериями для отнесения обследуемых к различным группам устойчивости к токсическому действию кислорода.

Таблица 1 – Показатели, имеющие статистически достоверную значимость при сравнении групп испытуемых (3 тип записей)

Показатели	Группа		p
	Низкоустойчивые	Среднеустойчивые	
PNS index (Me)	-0,99	-0,27	0,04
SNS index (Me)	0,74	-0,10	0,020
Mean RR, мс (Me)	887,91	1061,91	0,003
STD RR, мс (Me)	34,32	35,22	0,047
Mean HR, уд/мин (Me)	67,57	56,50	0,003
Max HR, уд/мин (M±SD)	89,02 ± 7,57	82,90 ± 11,18	0,040
VLF, Гц (Me)	0,03	0,04	< 0,001
HF, Гц (Me)	0,16	0,17	0,046
SD2, мс (Me)	46,76	47,64	0,029

Динамика значений показателей ВСР в различные периоды гипербарической оксигенации.

Анализируя динамику состояния испытуемых и соответствующие ей показатели ВСР, можно сделать вывод о том, что изменения данных анализа кардиоинтервалограмм соответствуют адаптационным реакциям организма на гипероксическое воздействие и разнятся у обследуемых по значениям в соответствии со степенью компенсации, то есть индивидуальной устойчивостью к токсическому действию кислорода.

Динамика средних значений показателей ВСР при сравнении различных типов записей отражает состоятельность компенсаторных резервов организма по отношению к гипероксическому воздействию и состояние вегетативного баланса, соответствующие определенным стадиям отравления.

Так записи 1 типа, произведенные на стадии компенсации демонстрирую выраженную парасимпатическую реакцию. Для нее характерно увеличение значений PNS index ($p < 0,001$), мощности HF диапазона, Mean RR ($p < 0,001$), Max RR ($p < 0,001$), RMSSD, SD2 ($p < 0,001$), Alpha 2 ($p < 0,05$). И, напротив, показатели, отражающие усиление симпатических влияний, имели тенденцию к снижению: SNS index ($p < 0,001$), Stress index ($p < 0,001$), Mean HR ($p < 0,001$), мощность HF диапазона ($p < 0,001$), SD2/SD1 ratio, SampEn ($p < 0,001$). Такое состояние вегетативного баланса отражает экономизацию работы сердечно-сосудистой и дыхательной систем, направленную на предотвращение излишнего поступления кислорода в организм.

Записи 2 и 3 типа проводились в период частичного или полного срыва механизмов адаптации к гипероксической гипоксии и были направлены на компенсацию прогрессирующих ацидоза, гипоксии и гипоэргоза. Эти записи характеризовались снижением значений PNS index, мощности HF диапазона, Mean

RR ($p < 0,001$), Max RR ($p < 0,001$), RMSSD ($p < 0,001$), SampEn ($p < 0,001$), SD1 ($p < 0,001$), а также увеличением мощности LF диапазона, отношения LF/HF ($p < 0,001$), VLF, % ($p < 0,001$), SD2 ($p < 0,001$), отношения SD2/SD1, Alpha 2 ($p < 0,001$). При этом для записей 3 типа были характерны максимальные значения Alpha 2 ($p < 0,001$), VLF, % ($p < 0,001$), SD2/SD1 ratio и минимальные Alpha 1 ($p < 0,001$), SD1 ($p < 0,05$), SampEn ($p < 0,05$), NNxx, по сравнению с другими типами записей.

Таким образом состояние ВНС в период декомпенсации характеризуется симпатическим доминированием, отражающим напряжение и срыв адаптационных механизмов, что проявляется в соответствующей динамике показателей ВСР.

ВЫВОДЫ

1. Определена устойчивость спортсменов-дайверов к токсическому действию кислорода с применением стандартной методики. Распределение признака в выборке обследуемых характеризовалось следующей структурой: низкоустойчивых 31,3 %, среднеустойчивых – 35,8 %, а высокоустойчивых – 32,9 % испытуемых.
2. По данным ВСР вегетативный баланс в стадию декомпенсации токсического действия кислорода отличается выраженной симпатикотонией, что является достоверным критерием декомпенсации.
3. С достоверностью ($p < 0,05$) определены показатели ВСР (RMSSD, PNS, мощность LF и HF диапазонов, отношение LF/HF, Alpha 2, SampEn, SD1, SD2, отношение SD2/SD1), наиболее чувствительные к изменениям вегетативной регуляции, характерным для физиологического и токсического действия кислорода. Указанные показатели продемонстрировали статистически значимые изменения в период развития

парасимпатической реакции, а также во время напряжения и последующего срыва компенсаторных механизмов, для которого свойственно повышение тонуса симпатического отдела вегетативной нервной системы во всех группах устойчивости к токсическому действию кислорода у спортсменов-дайверов.

4. Установлены медианные и средние значения показателей, свойственные для различных групп устойчивости к токсическому действию кислорода (для низкоустойчивых PNS index = -0,99, SNS index = 0,74, Mean RR = 887,91 мс, STD RR = 34,32 мс, Mean HR= 67,57 уд/мин, Max HR= 89,02 ± 7,57 уд/мин, VLF = 0,03 Гц, HF = 0,16 Гц, SD2 = 46,76 мс; для среднеустойчивых PNS index = -0,27, SNS index = -0,10, Mean RR = 1061,91 мс, STD RR = 35,22 мс, Mean HR= 56,50 уд/мин, Max HR= 82,90 ± 11,18 уд/мин, VLF = 0,04 Гц, HF = 0,17 Гц, SD2 = 47,64 мс) и характеризующие развитие декомпенсации при гипероксической гипоксии ($p < 0,05$).

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Определение индивидуальной устойчивости к токсическому действию кислорода рекомендуется проводить при отборе спортсменов-дайверов и выборе соревновательной дисциплины. Низкая устойчивость к токсическому действию кислорода может послужить причиной возникновения аварийных ситуаций под водой, кроме того, выраженная гипероксическая гипоксия не позволит спортсмену продемонстрировать хороший результат на соревнованиях.

Таким образом, нельзя рекомендовать лицам с низкой устойчивостью к токсическому действию кислорода занятия спортивным дайвингом, а также рекреационным и техническим дайвингом с применением дыхательных аппаратов с замкнутой и полузамкнутой системами дыхания, с использованием кислородно-азотных и кислородно-азотно-гелиевых смесей,

предполагающих высокие парциальные давления кислорода во время погружения и риск значительного его повышения в аварийных случаях.

При профессиональной ориентации внутри спортивного дайвинга для участия в дисциплинах, предполагающих воздействие более высоких парциальных давлений кислорода, следует отдавать предпочтение атлетам с высокой толерантностью к токсическому действию кислорода.

2. Представляется перспективным постоянный мониторинг состояния спортсменов-дайверов, рекреационных и технических дайверов в период пребывания под водой при помощи методики анализа вариабельности сердечного ритма.

Кроме того, данные ВСП могут быть использованы для контроля функционального состояния атлета, процесса восстановления между тренировками и после заболеваний.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Представляет интерес применение результатов исследования для создания системы постоянного контроля состояния дайверов во время спусков под воду с применением гипероксических смесей. Мониторинг состояния регуляторных систем дайверов в различных условиях подводных погружений позволит получить больше информации о факторах, действующих на организм человека в период пребывания под водой и провоцируемых ими реакциях.

Также возможно использование мониторинга ВСП в период экспериментальных спусков с целью апробации новых режимов декомпрессии для поиска оптимального парциального давления кислорода смеси опытным путем.

Научные данные, полученные в ходе исследования, могут быть использованы для разработки аппаратно-программного

комплекса, предназначенного для мониторинга состояния организма в период воздействия гипербарического и нормобарического кислорода, а также индивидуального подбора его параметров.

СПИСОК ПЕЧАТНЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в журналах, входящих в перечень ВАК:

1. Пустовойт В.И., Самойлов А.С., Никонов Р.В. Особенности инфекционной патологии у спортсменов-дайверов в сложных климатических условиях // Спортивная медицина: наука и практика. – 2020. – Т.10, №1. С.67-75. DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2020.1.67, (К-2, Scopus).
2. Самойлов А.С., Никонов Р.В., Пустовойт В.И., Ключников М.С. Применение методики анализа variability сердечного ритма для определения индивидуальной устойчивости к токсическому действию кислорода. Спортивная медицина: наука и практика. – 2020. – Т.10, №3. –С.73–80. <https://doi.org/10.47529/22232524.2020.3.73> , (К-2, Scopus).
3. Пустовойт В. И., Ключников М. С., Никонов Р. В., Виноградов А. Н., Петрова М. С. Характеристика основных показателей variability сердечного ритма у спортсменов циклических и экстремальных видов спорта, Кремлевская медицина (клинический вестник). – 2021. – Т 1. – С. 26-30, (К-2).
4. Пустовойт В.И., Никонов Р.В., Самойлов А.С., Ключников М.С., Назарян С.Е., Петрова М.С. Основные цитологические и биохимические показатели крови при развитии неспецифической адаптационной реакции у спортсменов, участвующих в экстремальных видах спорта. Курортная медицина. – 2021. – № 2. – С. 85-91. (К-2).
5. Пустовойт В.И. Гипербарическая оксигенация в клинической и спортивной медицине. Обзор литературы. / Пустовойт В.И.,

Никонов Р.В. // Кремлевская медицина. Клинический вестник. – 2022. – №1. – С. 78-86. (К-2).

Монография:

Самойлов А.С. Стресс в экстремальной профессиональной деятельности: монография. / Самойлов А.С., Никонов Р.В., Пустовойт В.И. – М: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России: 2022, – 84 с.

Статьи, опубликованные в сборниках трудов конференций:

Никонов Р.В., Рылова Н.В., Самойлов А.С. оценка индивидуальной устойчивости спортсменов-дайверов к токсическому действию кислорода при помощи методики вариабельности сердечного ритма // Сборник материалов международного научно-практического форума молодых учёных и специалистов «Ильинские чтения 2024». – М.: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2024. – С. 323-327.

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

BCP – вариабельность сердечного ритма;

ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина;

Alpha 1 – бестрендовый анализ колебаний, описывающий краткосрочные колебания;

Alpha 2 – бестрендовый анализ колебаний, описывающий долгосрочные колебания;

ApEn – приближенная энтропия, которая отражает регулярность и сложность временных рядов междуарных интервалов;

HF – высокочастотный диапазон;

LF – низкочастотный диапазон;

PNS index – парасимпатический индекс;

RMSSD – среднее квадратичное значение различия; последовательных интервалов RR;

SD1 – стандартное отклонение перпендикулярной линии идентичности на графике Пуанкаре;

SD2 – стандартное отклонение вдоль линии идентичности на графике Пуанкаре;

SNS index – симпатический индекс.