

Полищук Владимир Владимирович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ
РЕГУЛЯТОРНО-АДАПТИВНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА**

1.5.5. Физиология человека и животных

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кубанский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Научный руководитель: доктор медицинских наук, профессор
Покровский Владимир Михайлович

Официальные оппоненты:

Гафиятуллина Гюзяль Шамилевна, доктор медицинских наук, профессор; ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; кафедра нормальной физиологии; заведующий кафедрой;

Свешников Дмитрий Сергеевич, доктор медицинских наук, доцент; медицинский институт ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»; кафедра нормальной физиологии; доцент кафедры

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Защита состоится « » сентября 2023 года в 10 часов на заседании диссертационного совета 21.2.066.01 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Саратовский государственный медицинский университет имени В.И. Разумовского Минздрава России по адресу: 410012, г. Саратов, ул. Большая Казачья, 112.

С диссертацией можно ознакомиться в читальном зале библиотеки ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России по адресу: г. Саратов, ул. 53-й Стрелковой Дивизии, 6/9, к. 5 – и на сайте <http://www.sgmru.ru/sci/dissov>.

Автореферат разослан « » _____ 2023 г.

Учёный секретарь диссертационного совета
доктор медицинских наук, профессор

А.И. Осколкова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы и степень разработанности темы

Регуляторно-адаптивные возможности (РАВ) организма человека определяются уровнем ресурсов систем регуляции организма для обеспечения гомеостаза при изменениях параметров внутренней и внешней среды (включая нервно-психические воздействия). На кафедре нормальной физиологии ФГБОУ ВО КубГМУ Минздрава России предложен подход к оценке РАВ на качественно новом уровне. В свете концепции интегративного подхода для определения РАВ используется метод сердечно-дыхательного синхронизма (СДС). Метод основан на оценке степени взаимодействия двух важнейших вегетативных функций организма: дыхания и сердцебиения, что приближает его к модели процесса адаптации в естественных условиях и делает более объективным и точным. Механизм синхронизации сердечного и дыхательного ритмов при исследовании методом СДС представлен цепью процессов в центральной нервной системе: адекватное раздражение зрительных и слуховых рецепторов сигналами стимулятора [Глумскова Ю.Д., Сичинава Д.К., 2014], анализ частоты раздражителя, волевое управление частотой дыхания в такт сигналам стимулятора [Заболотских А.И., Заболотских Н.В., 2014; Мирцхулава Н.Г., 2015], оценка точности воспроизведения заданной частоты. Доминирующее возбуждение дыхательного центра оказывает влияние на сердечный центр в продолговатом мозге, происходит синхронизация ритмов сигналов в этих центрах, распространение возбуждения по блуждающим нервам к синусовому узлу [Покровский В.М., Сомов И.М., 2015; Арделян А.Н., 2016] и сокращение сердца в одном ритме с произвольным дыханием.

Исследования показали влияние дыхательных паттернов на вариабельность сердечного ритма (ВСР). Опосредованная блуждающим нервом ВСР рассматривается как индикатор модуляторных влияний префронтальной коры. Дыхательные упражнения используют для увеличения активности блуждающего нерва или уменьшения симпатической нервной активности, снижения беспокойства, тревожности и других негативных эмоций [De Couck M. et al., 2019; Wu Q. et al., 2020; Zeng J. et al., 2023].

Воспроизведение обследуемым ритма дыхания, задаваемого стимулятором, является одним из основных этапов в оценке РАВ организма методом СДС, в то же время значение точности воспроизведения заданного ритма дыхания для последующего развития СДС не изучалось.

Цель работы: повысить эффективность количественной оценки регуляторно-адаптивных возможностей человека, проводимой методом сердечно-дыхательного синхронизма.

Задачи исследования:

- 1) определить влияние точности воспроизведения задаваемой частоты дыхания на продолжительность исследования методом сердечно-дыхательного синхронизма;
- 2) установить связь между точностью воспроизведения задаваемой частоты дыхания и показателями регуляторно-адаптивного статуса;
- 3) сопоставить количество точно воспроизведенных дыхательных циклов в 1-й, 2-й и 3-й пробах сердечно-дыхательного синхронизма, выяснить минимальное количество

точных дыхательных циклов, необходимое для развития сердечно-дыхательной синхронизации;

4) вычислить параметр «точность воспроизведения задаваемого ритма дыхания» в основной и контрольной группах и оценить эффективность приемов для облегчения решения задачи воспроизведения задаваемого ритма дыхания испытуемым;

5) изучить динамику вегетативного тонуса во время исследования методом сердечно-дыхательного синхронизма и возможность сочетанного применения метода сердечно-дыхательного синхронизма с другими методами, учитывающими артериальное давление;

6) выявить и оценить связь между вегетативным индексом и значением минимальной границы диапазона синхронизации, что позволит оптимизировать скорость ее определения.

Новизна результатов исследования

В настоящем исследовании впервые:

1) изучена роль этапа воспроизведения задаваемого ритма дыхания в развитии феномена сердечно-дыхательной синхронизации: степень соответствия воспроизведенного и заданного ритмов дыхания является инициирующим звеном и не связана с регуляторно-адаптивными возможностями организма;

2) установлен факт увеличения парасимпатического тонуса после пробы с развитием СДС более чем у 80% испытуемых (уменьшение вегетативного индекса Кердо в среднем на 9,45 происходило в 83,3% случаев) при сочетанном применении метода СДС и измерении артериального давления;

3) сформирован комплекс приемов для облегчения решения задачи воспроизведения задаваемого ритма дыхания испытуемым;

4) определено количество дыхательных циклов с частотой, точно соответствующей заданной, необходимое для развития сердечно-дыхательной синхронизации в результативной пробе (пробе с наличием СДС);

5) модифицирован алгоритм контроля дыхания при выполнении исследования методом СДС для повышения эффективности исследования.

Теоретическая и практическая значимость работы

Использование подготовки испытуемого для исследования методом СДС показало теоретическую значимость работы, полученные результаты которой расширяют представления о свойстве доминанты дыхательного центра при взаимодействии в продолговатом мозге дыхательного и сердечного центров. Измерение артериального давления и пульса во время точного воспроизведения заданной стимулятором частоты произвольного дыхания показывает динамику вегетативного индекса Кердо (ВИК) и развивает представления о регуляции деятельности сердца.

За счет уменьшения времени проведения исследования методом СДС, повышения комфортности для испытуемого улучшится эффективность количественной оценки РАВ. Усовершенствованный алгоритм контроля дыхания при проведении исследования методом СДС может применяться в медико-биологических исследованиях и учебном процессе, что сделает эффективнее оценку РАВ организма и позволит, основываясь на объективных данных, оптимизировать учебную, физическую нагрузку для улучшения физического здоровья студентов.

Методология и методы исследования

Методология работы основана на использовании возможности произвольного управления одной из вегетативных функций – дыханием, которое взаимодействует с сердечно-сосудистым центром и позволяет количественно оценить функциональное состояние организма. В работе применяется ряд методов в качестве подготовки и контроля точного воспроизведения заданного ритма произвольного дыхания: метод количественной оценки регуляторно-адаптивного статуса – СДС; оценки вегетативного тонуса (статуса) – по динамике вегетативного индекса; выявления латентного периода простой сенсомоторной реакции; определения моторной асимметрии полушарий головного мозга – асимметрия рук; идеомоторной тренировки.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Совершенствование методики исследования методом СДС упрощает её использование, повышает точность воспроизведения задаваемой стимулятором частоты дыхания в первой пробе, уменьшает время тестирования и способствует дальнейшему внедрению метода в практику научных и клинических исследований.
2. Развитие сердечно-дыхательной синхронизации сопряжено с увеличением влияния парасимпатического отдела вегетативной нервной системы, оцениваемого по ВИК.
3. Точное воспроизведение задаваемого ритма дыхания является инициирующим звеном в развитии сердечно-дыхательной синхронизации.

Степень достоверности представленных данных

Достоверность результатов определяется дизайном исследования, необходимым числом наблюдений ($n = 108$), наличием группы сравнения, обработкой соответствующими современными методами статистического анализа, успешным внедрением в практику. Выводы и практические рекомендации основываются на полученных результатах и соответствуют цели и задачам исследования.

Апробация работы

Апробация диссертации состоялась на объединенном заседании кафедры нормальной физиологии и кафедры педиатрии №2 ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет» Минздрава России. Материалы диссертации представлены в форме стендового доклада на VII съезде физиологов СНГ с международным участием (Сочи – Дагомыс, 3–7 октября 2021 г.).

Внедрение результатов исследования

Полученные данные внедрены в практический курс занятий кафедры физиологии ФГБОУ ВО КГУФКСТ. Используются в практикуме по дисциплине «нормальная физиология», в лекционных материалах на кафедре нормальной физиологии Кубанского государственного медицинского университета.

Личный вклад автора

Автором проведены поиск и анализ литературы, сформулированы цель и задачи, определена методология, сформированы группы испытуемых, спланированы и выполнены функциональные тесты с использованием стандартных и оригинальных методов, выполнены математическая обработка, статистический анализ и оценка полученных результатов, подготовлены все публикации и самостоятельно изложены материалы работы в рукописи диссертации.

Публикация результатов диссертационного исследования

По теме диссертационного исследования опубликовано 13 печатных работ, из них 4 статьи в журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования и науки Российской Федерации для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, ученой степени доктора наук, и издания, приравненные к ним, в том числе 1 патент на изобретение, 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ и 7 тезисов в материалах международных конференций.

Структура и объем работы

Работа изложена на 127 страницах печатного текста, содержит 5 таблиц и 15 рисунков. Диссертация состоит из введения, 4 глав («Обзор литературы», «Материалы и методы исследования», «Результаты исследования» и «Обсуждение результатов исследования»), выводов, практических рекомендаций, списка сокращений и списка литературы, включающего 154 источника, из них 54 на русском языке и 100 на английском языке (45,5% источников – за 2019–2023 гг.).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Материалы и методы исследования

Исследование было проведено в соответствии с требованиями Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации. Все испытуемые ($n = 108$) дали письменное информированное согласие на участие. Критериями включения являлись: здоровые юноши и девушки в возрасте 18–22 лет, для девушек – фолликулиновая фаза овариально-менструального цикла. Критериями исключения являлись: наличие у испытуемых острых и / или хронических заболеваний, функциональных изменений в сердечно-сосудистой и дыхательной системах, прием фармакологических препаратов, дефицит или избыток массы тела, у девушек – период менструации.

В исследование были включены практически здоровые (на основе анализа индивидуальных медицинских карт) студенты-добровольцы обоего пола (78 – мужского, 30 – женского). Средний возраст участников исследования составил $19,2 \pm 0,9$ года, у всех исследуемых весо-ростовой индекс тела соответствовал возрастным нормативным значениям, основные гемодинамические показатели – исходные частота сердечных сокращений (ЧСС) и артериальное давление – соответствовали норме, курящих среди участников исследования не было. После рандомизации группы оказались сопоставимыми по основным антропометрическим и гемодинамическим показателям. В первую часть исследования было включено 78 участников, во вторую – 30.

Первая часть исследования посвящена проверке эффективности предлагаемых приемов для подготовки испытуемого к выполнению задачи произвольного управления дыханием во время проб СДС с целью увеличения точности воспроизведения задаваемого ритма дыхания, уменьшения количества проб и времени тестирования, а также оценке роли этапа контролируемого дыхания в развитии явления СДС.

В основной группе ($n = 37$) проводились приемы, включающие: 1) идеомоторную тренировку при просмотре видеоинструкции хода исследования, 2) определение латентного периода простой сенсомоторной реакции на звуковой и световой

раздражители для тренировки концентрации внимания, 3) тест на асимметрию рук для освобождения доминирующей руки от электрокардиографического (ЭКГ) электрода, что повышало комфортность. Далее исследование проводилось с использованием системы для определения сердечно-дыхательного синхронизма у человека с тремя ЭКГ-электродами для записи одного из отведений (II или III). В контрольной группе ($n = 41$) исследование проводилось по традиционной методике определения параметров СДС без подготовки испытуемых.

Затем осуществлялся просмотр записей проб каждого испытуемого в базе данных программы СДС-тестирования и подсчет точных дыхательных циклов в 1-й, 2-й и 3-й пробах, воспроизведенных в такт отметкам сигналов стимулятора. Введен параметр «точность воспроизведения задаваемого ритма дыхания» и определены его значения в 1-й, 2-й и 3-й пробах. Для оценки наличия связи между параметром «точность воспроизведения задаваемого ритма дыхания» в 1-й пробе и параметрами СДС испытуемые были разделены по значению индекса регуляторно-адаптивного статуса (иРАС) на две группы: 1-я – испытуемые с иРАС более 50 (РАВ высокие) и 2-я – с иРАС менее 25 (РАВ низкие).

Выполнялось сравнение результатов основной и контрольной групп: 1) общего времени тестирования; 2) количества дыхательных циклов, воспроизведенных в соответствии с сигналами, подаваемыми стимулятором с определенной частотой, в пробах СДС для оценки эффективности приемов, предлагаемых в целях облегчения выполнения задачи управления дыханием; 3) анализ связи точности воспроизведения задаваемого ритма дыхания с другими параметрами СДС.

Вторая часть исследования посвящена поиску параметров СДС, зависящих от динамики ВИК, для уменьшения времени тестирования. У всех испытуемых ($n = 30$) проводилось измерение артериального давления до начала тестирования, во время и после проб СДС, при этом одновременно использовались сфигмоманометр и система для определения сердечно-дыхательного синхронизма у человека с тремя ЭКГ-электродами, рассчитывался ВИК с оценкой тонуса вегетативной нервной системы (разделение на ваготоников и симпатотоников). По динамике ВИК осуществлялся контроль преобладания парасимпатического влияния во время проб СДС.

Статистическая обработка результатов осуществлялась с помощью программы Statistica 10 (StatSoft Inc., США). Распределение переменных оценивалось по критерию Шапиро – Уилка с построением гистограмм. Данные представлены как среднее арифметическое \pm стандартное отклонение ($M \pm SD$) или как медиана (1-й, 3-й квартили) в зависимости от характера распределения данных. Значимость различий между переменными, распределение которых отличалось от нормального, оценивалась с помощью U-критерия Манна – Уитни для независимых выборок и теста Уилкоксона для зависимых выборок, при нормальном распределении – с помощью t-критерия Стьюдента для независимых выборок или парного t-критерия Стьюдента. Выполнялся корреляционный анализ с оценкой коэффициента Спирмена при распределении, отличном от нормального. При сравнении данных повторных измерений при распределении, отличном от нормального, использовался критерий Фридмана, при нормальном распределении данных – дисперсионный анализ с повторными измерениями (RM-ANOVA). Разность средних представлялась с 95%-м доверительным интервалом

(ДИ). Результаты считали статистически значимыми при $p < 0,05$. Р-значения для множественных сравнений были скорректированы по Бонферрони.

Результаты исследования и их обсуждение

Влияние подготовки к произвольному управлению дыханием в пробах сердечно-дыхательного синхронизма. Для оценки предлагаемого параметра сердечно-дыхательной синхронизации «точность воспроизведения задаваемого ритма дыхания» определялась доля дыхательных циклов, воспроизведенных с частотой, точно соответствующей заданной (частота дыхания задается программным обеспечением в соответствии с принятой методикой). Информативность данного параметра связана с механизмом развития СДС, в котором ведущую роль играет взаимодействие вегетативных центров в продолговатом мозге, обусловленное особенностями нейронной активности в этой области. Параметр рассчитывался как процентное отношение количества полностью совпавших отметок стимулятора и максимальной амплитуды на пневмограмме к общему количеству поданных в течение пробы сигналов. Основным показателем рассматривалось значение, определенное в первой пробе, для объективной оценки качества выполнения впервые поставленной задачи, т.е. в первой пробе отсутствовал элемент адаптации испытуемого к реальным условиям эксперимента, который, хотя и в незначительной степени, возникает при проведении последующих проб.

Гистограммы частотного распределения значений переменной точности воспроизведения задаваемого ритма дыхания в 1–3-й пробах в основной группе представлены на рис. 1, при этом не наблюдалось ни одного случая досрочного прекращения пробы из-за несовпадения воспроизводимой частоты дыхания и частоты, задаваемой стимулятором.

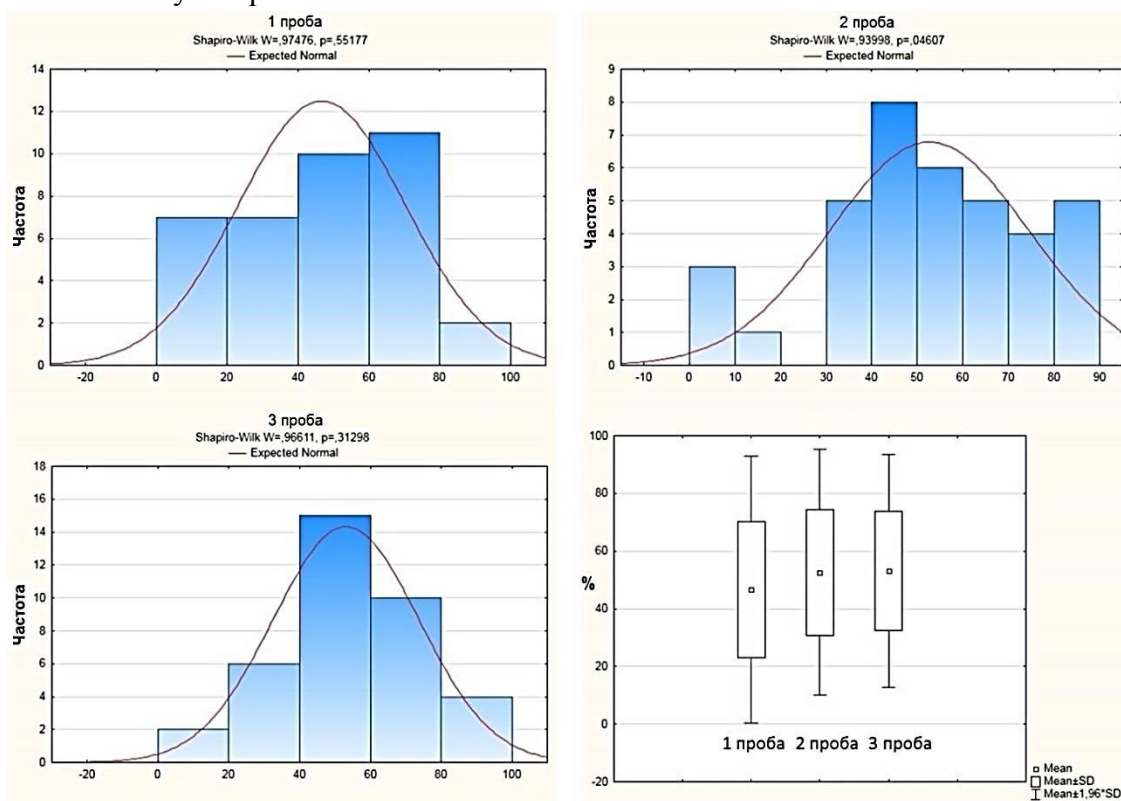


Рис. 1. Частотное распределение данных (по оси Y – частота встречаемости данного значения переменной) и точность воспроизведения ритма в 1-й, 2-й и 3-й пробах в основной группе, %

В основной группе (с применением подготовки к произвольному управлению дыханием) точность воспроизведения задаваемого ритма дыхания в первой пробе превосходила значения контрольной и составила 48,8% (31,6; 63,9) (медиана (1-й, 3-й квартили)), $46,7 \pm 23,6\%$ ($M \pm SD$) (проверка гипотезы отличия распределения данных от нормального распределения: W-критерий Шапиро – Уилка 0,97, $p = 0,55$, что позволяет использовать для представления данных $M \pm SD$) ($p < 0,001$ по сравнению с контрольной группой); во второй пробе (W-критерий Шапиро – Уилка 0,94, $p = 0,05$) точность воспроизведения составила 53,9% (41,2; 70,0) (медиана (1-й, 3-й квартили)), в третьей – 50,0% (40,5; 64,5) (медиана (1-й, 3-й квартили)), $53,1 \pm 20,6\%$ ($M \pm SD$) (W-критерий Шапиро – Уилка 0,97, $p = 0,32$).

Длительность тестирования в контрольной группе статистически значимо превышала таковую в основной группе ($p < 0,001$ по критерию Манна – Уитни). Время тестирования в пробах для основной группы составило 6,2 (5,1; 9,3) мин, для контрольной группы – на 10,2 минуты больше (16,4 (15,4; 18,2) мин). При этом время подготовки к тестированию в основной группе составило $166,08 \pm 5,70$ секунды (в среднем 2 мин 46 секунд). Полученные данные свидетельствуют о возможности использования примененных методик при подготовке испытуемого для оптимизации проведения проб СДС: более точного воспроизведения частоты дыхания, задаваемой стимулятором, уже в 1-й пробе, способствующего уменьшению количества проб с разной частотой управляемого дыхания и, как следствие, времени тестирования.

В первой пробе у лиц контрольной группы, в которой тестирование осуществлялось по традиционной методике, точность воспроизведения ритма дыхания в первой пробе составила $31,0 \pm 12,4\%$ ($M \pm SD$). Различия данного параметра между пробами в контрольной группе были незначимыми ($p = 0,598$ по критерию Фридмана). У 16,7% исследуемых данной группы первая проба обрывалась автоматически с выводением на экран сообщения «Частота дыхания не совпадает с частотой стимулятора».

Количество дыхательных циклов от начала первой пробы до соответствия воспроизводимого ритма заданному в контрольной группе составило $21,9 \pm 6,5$ цикла ($M \pm SD$). Максимальное количество дыхательных циклов, выполненных последовательно в точном соответствии с подаваемыми программой сигналами, в первой пробе в контрольной группе – $10,3 \pm 6,4$ цикла ($M \pm SD$).

Таким образом, введенный параметр «точность воспроизведения задаваемого ритма дыхания» количественно демонстрирует успешность решения испытуемым задачи контроля дыхания в пробе СДС. Полученные результаты показали эффективность предложенных приемов для улучшения данного показателя, что уменьшило время тестирования методом СДС, повысив его комфортность для испытуемого. Введенный показатель служит объективным отражением первого этапа в функциональной системе, реализующей СДС, и его изучение позволяет уточнить роль воспроизведения ритма дыхания в развитии явления СДС.

Динамика точности воспроизведения заданной стимулятором частоты дыхания в 1-й, 2-й и 3-й пробах. Количество дыхательных циклов от начала первой пробы до точного воспроизведения задаваемого ритма в основной группе было значимо меньше (5 (1; 12) циклов) (медиана (1-й, 3-й квартили)) по сравнению с контрольной ($p < 0,001$). Общее количество дыхательных циклов, воспроизведенных с частотой, точно

соответствующей заданной, в основной группе составляло: 17 (12; 25) (медиана (1-й, 3-й квантили)), $17,2 \pm 8,7$ ($M \pm SD$) – в первой пробе (W-критерий Шапиро – Уилка 0,95, $p = 0,07$); 16 (10; 24) (медиана (1-й, 3-й квантили)), $18,0 \pm 11,0$ ($M \pm SD$), цикла – во второй пробе (W-критерий Шапиро – Уилка 0,95, $p = 0,105$) и 15 (9; 27) (медиана (1-й, 3-й квантили)) – в третьей (W-критерий Шапиро – Уилка 0,93, $p = 0,02$) (рис. 2).

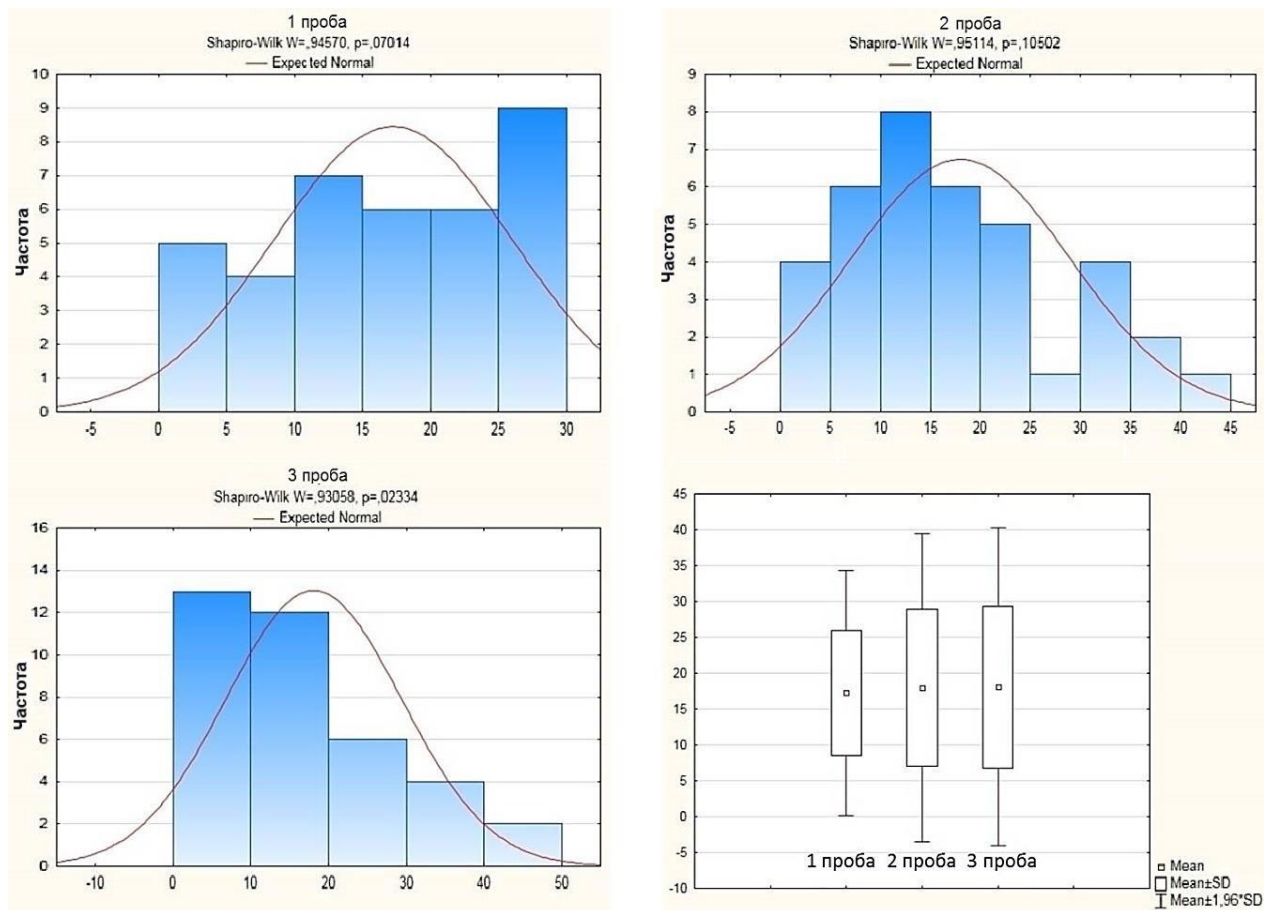


Рис. 2. Частотное распределение данных (по оси Y – частота встречаемости данного значения переменной) и количество точно воспроизведенных дыхательных циклов в 1-й, 2-й и 3-й пробах в основной группе

Максимальное количество дыхательных циклов в первой пробе, выполненных последовательно в точном соответствии с подаваемыми программой сигналами, составило: 6 (4; 10) циклов (медиана (1-й, 3-й квантили)) в контрольной группе и $10,3 \pm 3,4$ цикла – в основной (табл. 1, рис. 3).

Количество точных дыхательных циклов в пробах сердечно-дыхательного синхронизма основной группы, медиана (1-й, 3-й квартили)

Параметр	Количество дыхательных циклов			p (по критерию Фридмана для повторных сравнений)
	1-я проба	2-я проба	3-я проба	
Количество дыхательных циклов до 1-го точного	5 (1; 12)	3 (2; 4)	3 (2; 6)	0,190
Количество точных дыхательных циклов всего во всей пробе	17 (12; 25)	16 (10; 24)	15 (9; 27)	0,993
Точность воспроизведения задаваемого ритма, %	48,8 (31,6; 63,9)	53,85 (41,2; 70,0)	50,0 (40,5; 64,5)	0,598

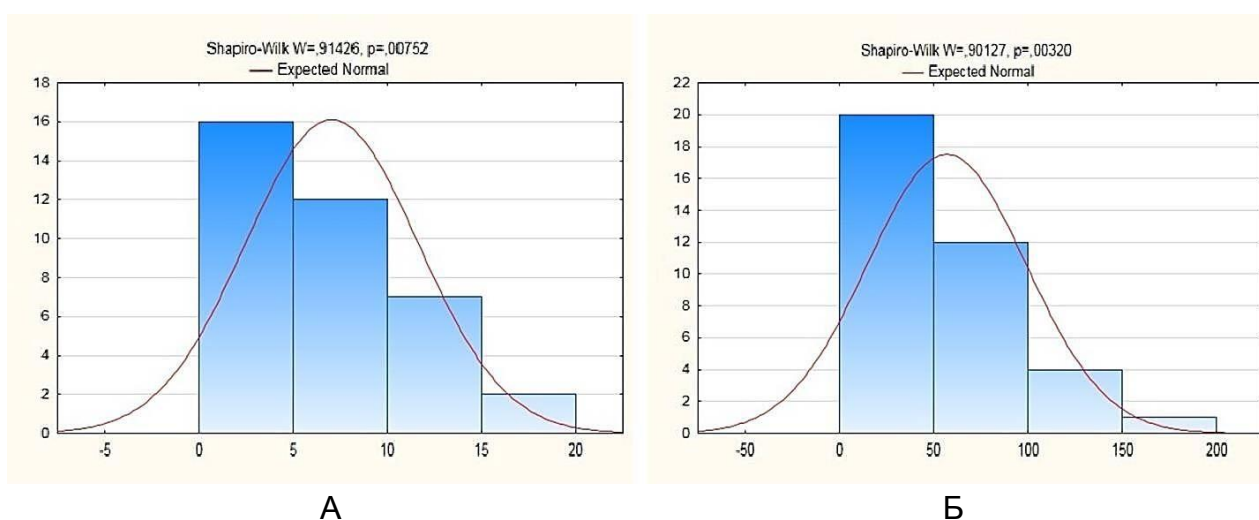


Рис. 3. Частотное распределение данных (по оси Y – частота встречаемости данного значения переменной) точно воспроизведенных подряд дыхательных циклов в 1-й пробе (А) и индекса регуляторно-адаптивного статуса (Б) в основной группе

Минимальное количество точных дыхательных циклов, необходимое для развития СДС, в результативной пробе соответствует 4.

Таким образом, повышение точности воспроизведения задаваемого ритма дыхания с помощью разработанных приемов отмечается с 1-й пробы и сохраняется в процессе исследования методом СДС. В качестве основного показателя точности воспроизведения заданного ритма дыхания следует использовать показатель 1-й пробы как соответствующий выполнению вновь предъявленной задачи. Было определено минимальное количество точных дыхательных циклов, необходимое для развития СДС, в результативной пробе – 4, что демонстрирует особенности паттерна нейронной активности дыхательного центра при развитии явления СДС.

Для оценки связи точности воспроизведения задаваемого ритма дыхания с уровнем регуляторно-адаптивных возможностей был выполнен корреляционный анализ.

Анализ влияния точности воспроизведения задаваемого ритма дыхания на параметры СДС и иРАС. Проведенный корреляционный анализ не выявил связи между

иРАС и точностью воспроизведения ритма дыхания: коэффициент корреляции Спирмена составил: в первой пробе $-0,117$ ($p = 0,490$), во второй пробе $-0,143$ ($p = 0,400$), в третьей пробе $-0,103$ ($p = 0,544$). Также не выявлена корреляционная связь между иРАС и количеством циклов от начала 1-й пробы до точного воспроизведения задаваемого ритма дыхания (коэффициент корреляции Спирмена $0,247$, $p = 0,141$); между иРАС и максимальным количеством дыхательных циклов, выполненных последовательно в точном соответствии с подаваемыми программой сигналами, в 1-й пробе (коэффициент корреляции Спирмена $-0,125$, $p = 0,461$).

Также не обнаружена корреляция между показателем точности воспроизведения частоты дыхания и длительностью развития на минимальной границе диапазона (коэффициент Спирмена $-0,079$, $p = 0,643$ в 1-й пробе; $0,053$, $p = 0,755$ во 2-й пробе; $-0,012$, $p = 0,944$ в 3-й пробе).

Количество сигналов до первого точного выдоха в такт стимулятору в основной группе во 2-й пробе составило 3 (2; 4), в 3-й пробе – 3 (2; 6) ($p = 0,190$ по критерию Фридмана). Корреляционный анализ показал отсутствие связи данного параметра с иРАС; коэффициенты Спирмена: $0,300$, $p = 0,071$ – для 2-й пробы и $0,075$, $p = 0,657$ – для 3-й пробы.

Максимальное количество точно воспроизведенных подряд дыхательных циклов в пробах без развития СДС составило: для 2-й пробы – 7,5 (3,0; 11,0), для 3-й пробы – 7,5 (6,0; 12,0) при отсутствии различий между пробами ($p = 0,075$ по критерию Уилкоксона). Коэффициенты корреляции Спирмена с иРАС для данного показателя: $-0,275$ во 2-й пробе при $p = 0,241$; $-0,497$ в 3-й пробе при $p = 0,144$.

Максимальное количество точно воспроизведенных подряд дыхательных циклов до развития синхронизации составило: для 2-й пробы – 5,5 (4,0; 8,0), для 3-й пробы – 5,0 (2,5; 8,0); различия между пробами были незначимыми ($p = 0,461$ по критерию Уилкоксона). Коэффициенты корреляции Спирмена между иРАС и приведенным показателем ($-0,456$ во 2-й пробе при $p = 0,057$; $0,018$ в 3-й пробе при $p = 0,929$) свидетельствуют об отсутствии связи (табл. 2).

Таблица 2

Корреляционный анализ индекса регуляторно-адаптивного статуса и показателей точности воспроизведения ритма дыхания

Показатели точности воспроизведения ритма дыхания	Коэффициент корреляции Спирмена	p
1-я проба	$-0,117$	0,490
2-я проба	$-0,143$	0,400
3-я проба	$-0,103$	0,544
Количество циклов от начала 1-й пробы до точного воспроизведения задаваемого ритма дыхания	0,247	0,141
Максимальное количество дыхательных циклов, выполненных последовательно в точном соответствии с подаваемыми программой сигналами, в 1-й пробе	$-0,125$	0,461

Используемые в работе приемы для увеличения точности воспроизведения задаваемого стимулятором ритма дыхания уже в 1-й пробе уменьшили время тестирования, повысив комфортность для испытуемого. Полученные результаты позволяют расширить представления об этапах формирования явления СДС. Анализ значения степени соответствия воспроизведенного ритма дыхания и частоты сигналов стимулятора показал, что точность воспроизведения выступает как инициирующее звено для развития синхронизации, не влияя на фиксируемые параметры СДС, отражающие регуляторно-адаптивные возможности организма. Полученные данные показывают объективность методики СДС в оценке регуляторно-адаптивных возможностей.

Степень соответствия воспроизведенного и заданного ритмов дыхания у лиц с различными регуляторно-адаптивными возможностями. В исследовании была проанализирована степень соответствия воспроизведенного и заданного ритмов дыхания у испытуемых с различными РАВ. Расчет иРАС производится по формуле: $\text{иРАС} = \text{ДлР мин. гр.} / \text{ДС} \times 100$. Для сравнения были отобраны лица с высоким (1-я группа) и низким (2-я группа) иРАС (рис. 4).

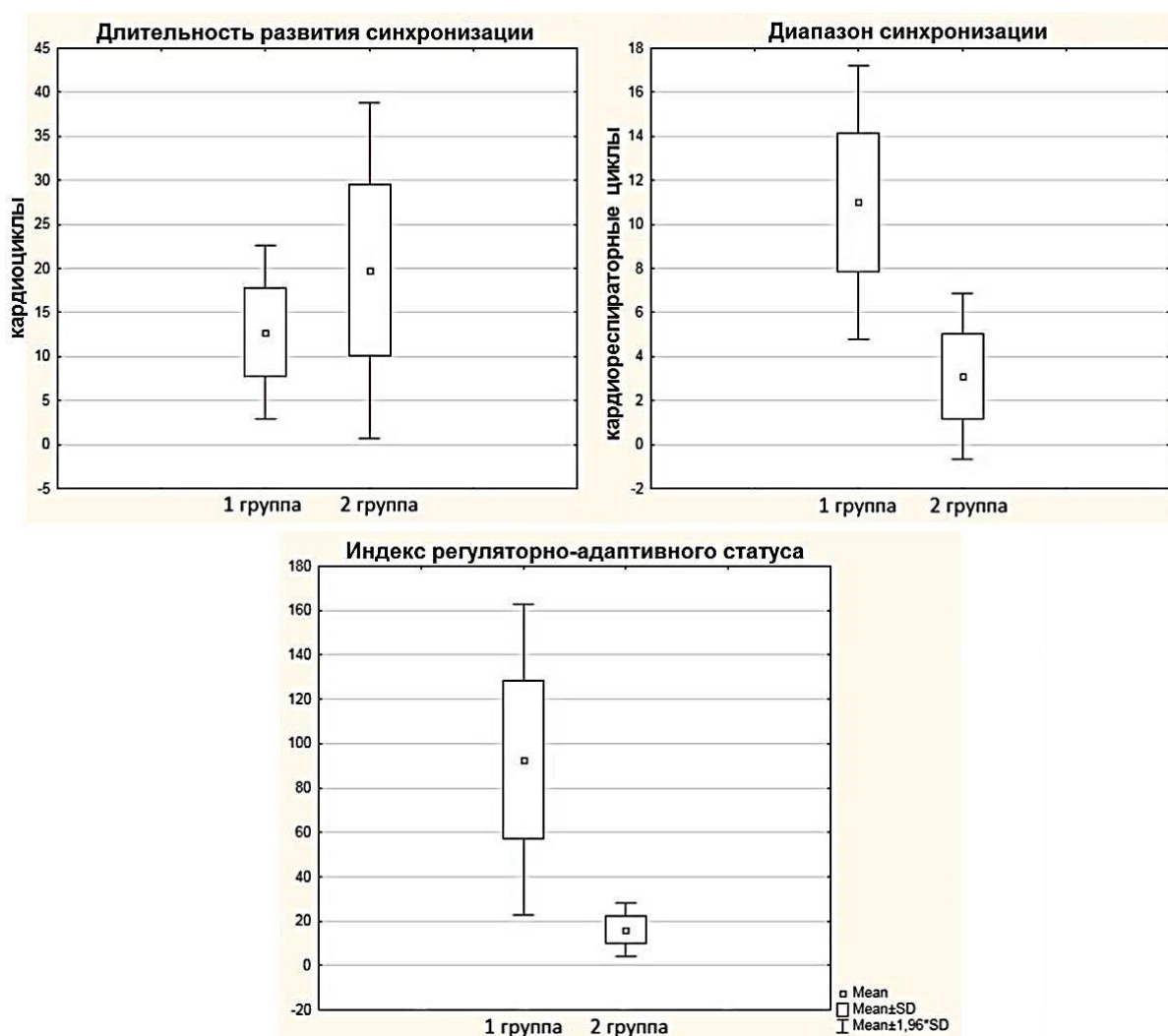


Рис. 4. Параметры СДС: длительность развития синхронизации на минимальной границе диапазона в кардиоциклах; диапазон синхронизации в кардиореспираторных циклах и индексе регуляторно-адаптивного статуса у испытуемых в 1-й и 2-й группах

Результаты сравнительного анализа таких параметров 1-й и 2-й групп, как точность воспроизведения ритма в 1-й пробе (%) и максимальное количество точных дыхательных циклов, выполненных подряд, в 1-й пробе без СДС, представлены на рис. 5.

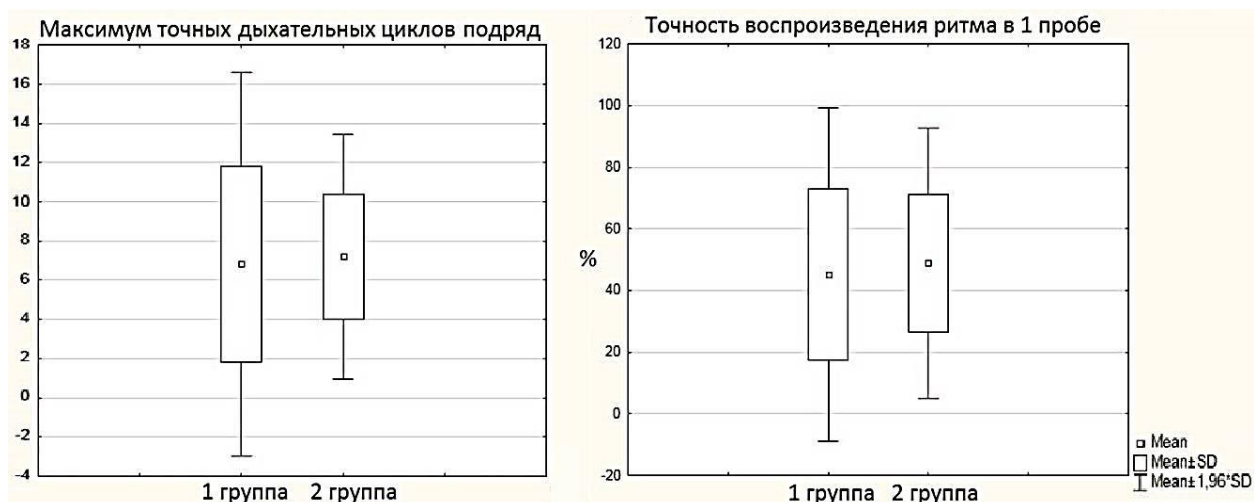


Рис. 5. Максимум точных дыхательных циклов, выполненных подряд, и точность воспроизведения заданного стимулятором ритма дыхания в 1-й пробе

Как показано на рис. 5, точность воспроизведения заданного стимулятором ритма дыхания в 1-й пробе у испытуемых с хорошими регуляторно-адаптивными возможностями ($iPAC > 50$) в среднем такая же, как и у испытуемых, у которых метод СДС выявил низкие регуляторно-адаптивные возможности ($iPAC < 25$). Различия между группами по данному показателю оказались незначимыми ($p = 0,725$ по критерию Манна – Уитни).

По параметру максимального количества дыхательных циклов, воспроизведенных подряд в точном соответствии с заданным ритмом, различия между группами также не были достоверными ($p = 0,668$ по критерию Манна – Уитни).

На рис. 6 представлена запись пробы без развития СДС, демонстрирующая, что развитие сердечно-дыхательной синхронизации не зависит от точности воспроизведения заданной стимулятором частоты дыхания.

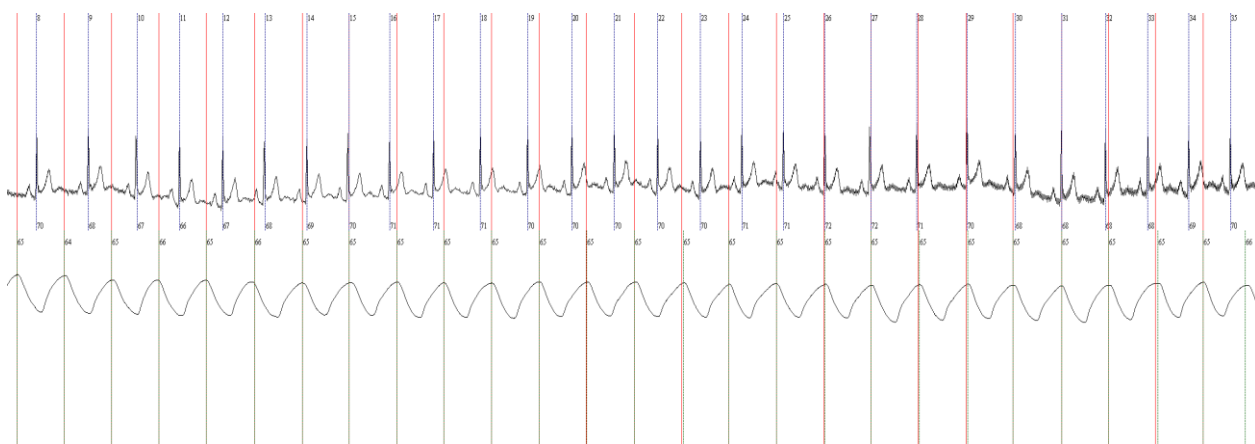


Рис. 6. Запись пробы без развития СДС с точным воспроизведением задаваемого стимулятором ритма дыхания (совпадение красных и зелёных вертикальных линий)

Отсутствие связи уровня регуляторно-адаптивных возможностей с качеством выполнения задачи сознательного контроля дыхания не является прогнозируемым и выявлено впервые. Полученные результаты показывают сложность задачи объективной оценки способностей организма к адаптации и слабость методик, основанных на оценке одной функции. В связи с этим оптимизация метода СДС, дающего возможность учета двух важнейших вегетативных функций в их взаимодействии, актуальна и будет способствовать дальнейшему внедрению метода в практику научных и клинических исследований.

Динамика вегетативного индекса во время тестирования методом сердечно-дыхательного синхронизма. Во время тестирования методом СДС у каждого испытуемого ($n = 30$) трижды измерялись артериальное давление и пульс с помощью сфигмоманометра: непосредственно до начала проб, после пробы с развитием СДС и по завершении тестирования, что составило 90 измерений. По полученным данным рассчитывался ВИК, показатель тонуса вегетативной нервной системы, динамика которого представлена на рис. 7.

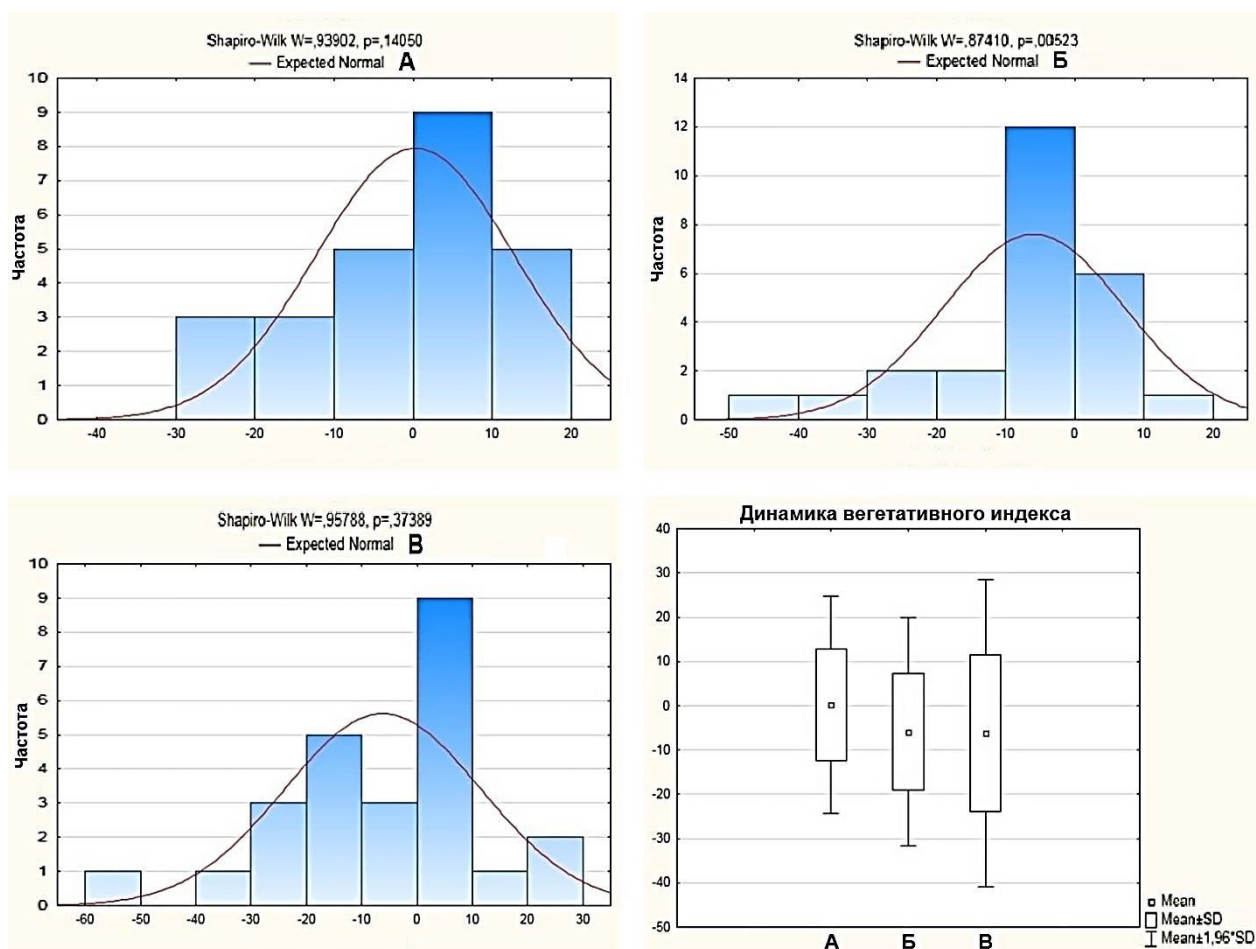


Рис. 7. Частотное распределение данных (по оси Y – частота встречаемости данного значения переменной) и динамика вегетативного индекса во время тестирования методом СДС: А – до начала тестирования, Б – после 3-й результативной пробы с развитием СДС, В – после завершения тестирования

Анализ полученных данных показал, что у 83,33% испытуемых происходило уменьшение ВИК в среднем на 9,45. Следовательно, во время пробы, когда испытуемый сознательно контролирует дыхание (дышит в такт сигналам стимулятора), повышается степень парасимпатического влияния, что свидетельствует об интенсивном поступлении импульсов из продолговатого мозга к сердцу по блуждающим нервам. Если сердце сокращается в ответ на поступление этих импульсов, то развивается синхронизация между частотой дыхания и сердцебиением – СДС.

Результаты анализа динамики сердечно-сосудистых показателей при тестировании методом СДС показаны в табл. 3. Распределение данных, представленных в таблице 3, отражено на рис. 8–10.

Таблица 3

Динамика сердечно-сосудистых показателей при тестировании методом сердечно-дыхательного синхронизма, медиана (1-й, 3-й квартили), $M \pm SD$

Этапы измерения	Артериальное давление, мм рт. ст.		Частота сердечных сокращений, уд./мин
	систолическое	диастолическое	
До тестирования (исходно)	120,5 (116; 125,5) 121,10 \pm 7,05 W = 0,977 (p_0 = 0,233)	76,5 (71,75; 80,5) 76,50 \pm 6,70 W = 0,960 (p_0 = 0,346)	78 (69,25; 85,75) 77,57 \pm 9,99 W = 0,957 (p_0 = 0,288)
После 3-й пробы	117,5 (111; 122) * 116,87 \pm 9,28 W = 0,987 (p_0 = 0,027) p_2 = 0,049	78 (70,25; 84,25) 77,77 \pm 7,295 W = 0,923 (p_0 = 0,036) p_2 = 0,418	74 (69; 81,5) 75,1 \pm 8,19 W = 0,959 (p_0 = 0,328) p = 0,056
После тестирования	117,5 (112; 121,75) 116,83 \pm 8,25* W = 0,954 (p_0 = 0,255) p = 0,010	77 (70; 83) 76,93 \pm 7,215 W = 0,936 (p_0 = 0,090) p_1 = 0,621	74,5 (68,25; 82,25) 74,6 \pm 9,75* W = 0,972 (p_0 = 0,353) p = 0,007 p_1 = 0,015

Примечание: * – статистически значимые различия, W – W-критерий Шапиро – Уилка; p_0 – достигаемый уровень значимости при оценке W-критерия Шапиро – Уилка; p – значимость различий при сопоставлении с исходным значением параметра (критерий Стьюдента для зависимых выборок, данные с нормальным распределением согласно критерию Шапиро – Уилка), p_1 – значимость различий для повторных измерений (по результатам дисперсионного анализа с повторными измерениями – RM-ANOVA); p_2 – значимость различий при сопоставлении с исходным значением параметра для данных с распределением, отличным от нормального (непараметрический критерий Уилкоксона для связанных выборок).

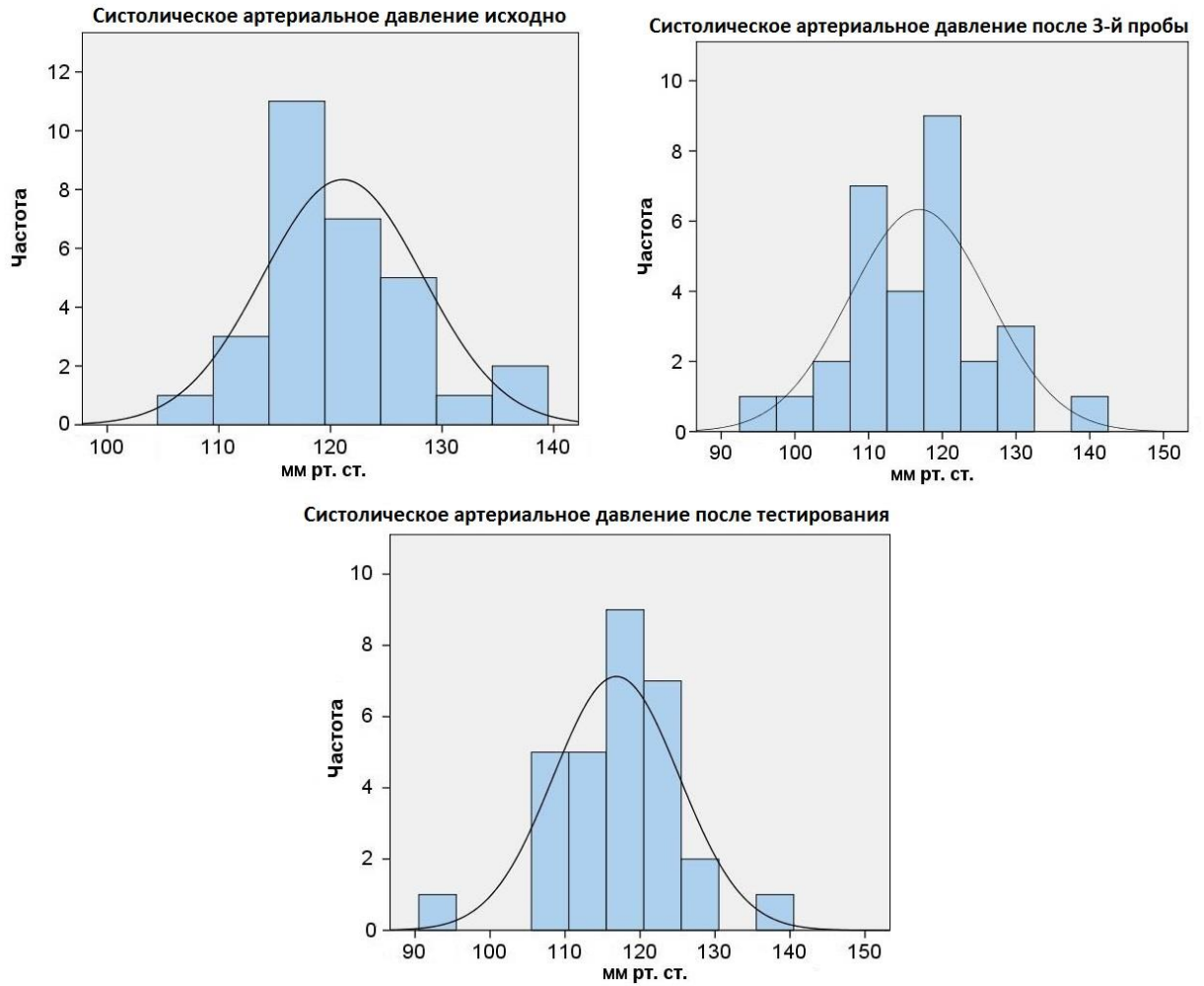


Рис. 8. Частотное распределение данных систолического артериального давления до тестирования (исходно), после 3-й пробы и после тестирования

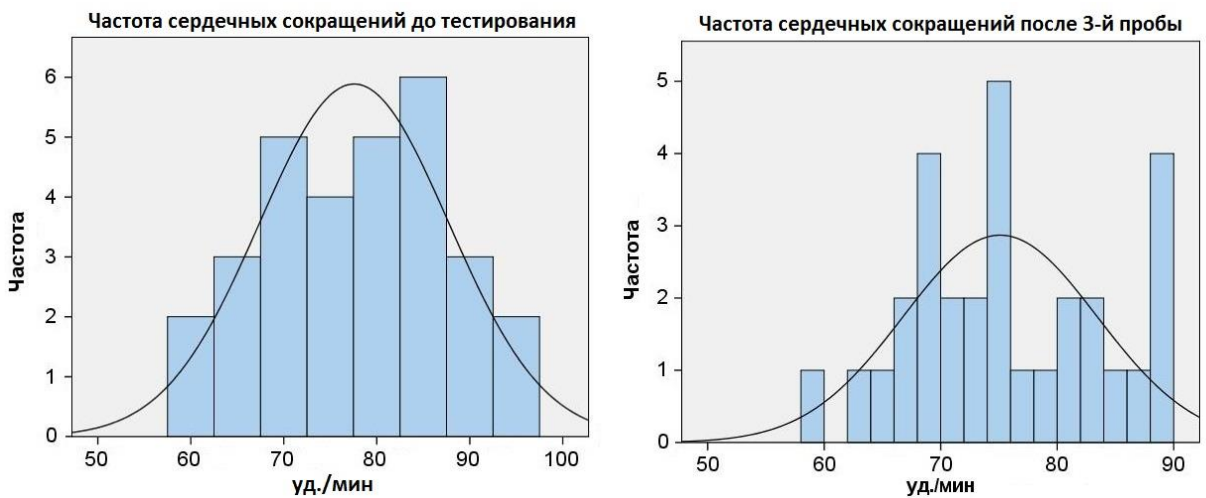


Рис. 9. Частотное распределение данных частоты сердечных сокращений до тестирования (исходно) и после 3-й пробы

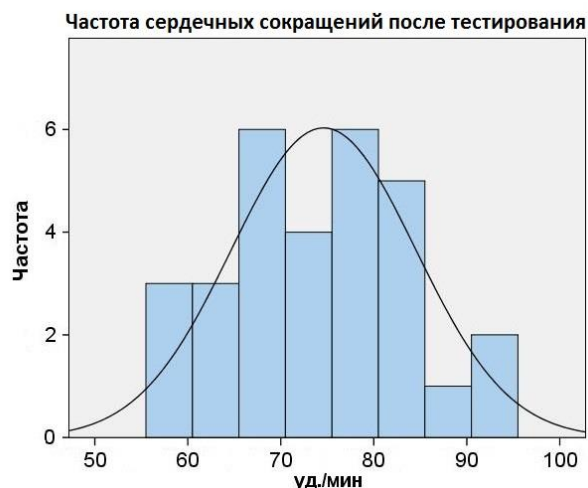


Рис. 10. Частотное распределение данных ЧСС после завершения тестирования

Систолическое артериальное давление и ЧСС покоя снижаются после тестирования методом СДС. При этом после завершения тестирования систолическое артериальное давление снизилось на 3,53% (разность средних 4,27; ДИ 1,12–7,41), ЧСС уменьшилась на 3,83% (разность средних 2,97; ДИ 0,88–5,05), а диастолическое давление статистически значимо не изменилось (рис. 11).

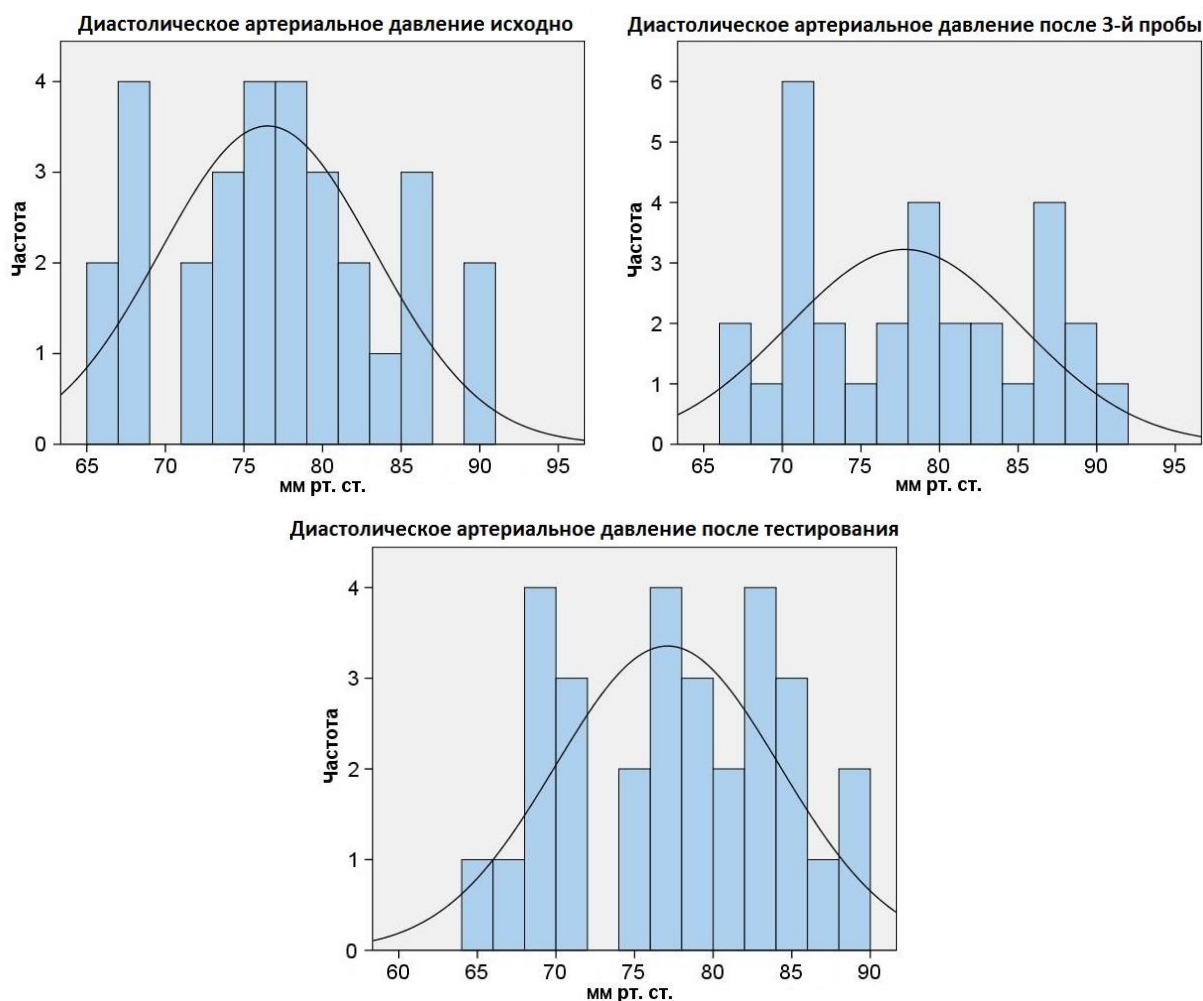


Рис. 11. Частотное распределение данных диастолического артериального давления до тестирования (исходно), после 3-й пробы и после тестирования

Таким образом, преобладание парасимпатического влияния во время проб СДС при высокочастотном управлении дыханием привело к изменению ВИК после завершения тестирования за счет снижения ЧСС.

Параметры сердечно-дыхательного синхронизма в зависимости от вегетативного тонуса. В результате проведенного исследования были получены значения ВИК и параметров СДС. Данные представлены как $M \pm SD$ при нормальном распределении и как медиана (1-й, 3-й квартили) при распределении, отличном от нормального. У испытуемых-симпатотоников с преобладанием тонуса симпатического отдела нервной системы при вегетативном индексе 9 (7; 14) (медиана (1-й, 3-й квартили)) и исходной ЧСС $77,9 \pm 3,6$ уд./мин анализ значимых параметров СДС показал, что минимальная граница диапазона синхронизации составляла $79,8 \pm 5,3$ кардиореспираторных циклов в минуту (крц/мин). У испытуемых-ваготоников с преобладанием тонуса парасимпатического отдела при вегетативном индексе -10 (-4; -22) и исходной ЧСС $65,4 \pm 7,4$ ($p < 0,001$ при сравнении с симпатотониками) минимальная граница диапазона синхронизации оказалась равной $69,7 \pm 8,1$ крц/мин ($p = 0,007$ при сопоставлении с симпатотониками), диапазон синхронизации не отличался при сопоставлении с симпатотониками ($p = 0,470$). При этом феномен СДС развивался у всех испытуемых вне зависимости от доминирующего отдела вегетативной нервной системы.

Сравнительный анализ параметров СДС показал, что разность между исходной ЧСС и минимальной границей диапазона синхронизации в кардиоциклах (кц), имеет отличие ($p = 0,012$ по критерию Манна – Уитни) у симпатотоников (2 (2; 3) ($2,75 \pm 2,4$) кц) и ваготоников (7 (7; 11) ($7,6 \pm 5,8$) кц).

Найденная связь между тонусом вегетативной нервной системы и значением минимальной границы диапазона синхронизации (Мин. гр.) позволит сократить количество проб при определении параметра «Мин. гр.», особенно у ваготоников, у которых разность между исходной ЧСС и минимальной границей диапазона синхронизации в 3,5 раза больше.

Полученные результаты исследования свидетельствуют о возможности применения вегетативного индекса, показывающего преобладание влияния симпатического или парасимпатического отдела вегетативной нервной системы, в качестве фактора-аргумента для статистического прогнозирования такого параметра СДС, как минимальная граница, для оптимизации скорости ее определения.

Объединение методов количественной оценки регуляторно-адаптивных возможностей. Впервые предложенное нами освобождение одной руки испытуемого от четвертого ЭКГ-электрода дало возможность регистрировать артериальное давление и пульс непосредственно во время тестирования методом СДС, накладывая манжету по методу Короткова на свободную от электрода руку, и проследить динамику вегетативного тонуса.

Полученные результаты исследования позволили предложить новый, усовершенствованный подход к изучению регуляторно-адаптивных возможностей. Система для одновременного определения сердечно-дыхательного синхронизма и вегетативного индекса у человека представляет собой предложенную модель, объединяющую в единый программно-аппаратный комплекс сфигмоманометр и

микропроцессор аналого-цифрового преобразователя «ВНС-Микро», содержащий пневмографический датчик и три датчика вместо четырех (как использовалось ранее) для записи ЭКГ. При этом осуществлялся контроль мозгового влияния во время управляемого доминирующего дыхания по повышению парасимпатического тонуса.

Для более точного воспроизведения контролируемого ритма дыхания с заданной частотой предлагается использовать методику определения латентного периода простой сенсомоторной реакции для тренировки внимания, выявление моторной асимметрии рук для наложения ЭКГ-электрода на неведущую руку, а также просмотр видеоинструкции для идеомоторной тренировки воспроизведения задаваемого ритма дыхания.

Предложенные усовершенствования, как показали результаты нашего исследования, сокращают время тестирования и являются предикторами объективной комплексной оценки регуляторно-адаптивных возможностей организма человека.

ВЫВОДЫ:

1. Точное воспроизведение задаваемой частоты дыхания в 1-й пробе уменьшает время тестирования методом сердечно-дыхательного синхронизма более чем в 2 раза (медиана времени тестирования в основной группе – 6,2 минуты, в контрольной – 16,4 минуты, $p < 0,001$).

2. Степень соответствия воспроизведенного и заданного ритмов дыхания является иницирующим звеном в развитии сердечно-дыхательного синхронизма и не связана с регуляторно-адаптивными возможностями организма (коэффициент корреляции Спирмена с индексом регуляторно-адаптивных возможностей $-0,117$, $p = 0,490$).

3. Минимальное количество точных дыхательных циклов, необходимое для развития сердечно-дыхательного синхронизма, в результативной пробе соответствует 4.

4. Совершенствование метода сердечно-дыхательного синхронизма использованием дополнительных приемов, облегчающих задачу точного воспроизведения частоты дыхания, задаваемой стимулятором, способствует уменьшению количества проб и, как следствие, времени тестирования, повышая комфортность для испытуемого.

5. Установлен факт увеличения парасимпатического тонуса после пробы с развитием сердечно-дыхательного синхронизма более чем у 80% испытуемых (уменьшение вегетативного индекса Кердо в среднем на 9,45 происходило в 83,3% случаев) при сочетанном применении метода сердечно-дыхательного синхронизма и измерении артериального давления.

6. Вегетативный индекс Кердо может быть использован для прогнозирования частоты управляемого дыхания в 1-й пробе с целью уменьшения времени тестирования, так как у ваготоников разность между исходной частотой сердечных сокращений и минимальной границей диапазона синхронизации в 3,5 раза больше, чем у симпатикотоников.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Учитывая распространённость применения целостного подхода к оценке влияния различных факторов на организм человека, интегративный метод сердечно-дыхательного синхронизма может быть использован в медицине для оценки эффективности лечения, адаптации, и стрессоустойчивости человека, например, при подготовке спортсменов,

волонтеров, специалистов экстремальных профессий. Результаты исследования, выполненного с целью повысить эффективность оценки регуляторно-адаптивных возможностей методом сердечно-дыхательного синхронизма, позволили предложить ряд рекомендаций.

Рекомендуется подготовка испытуемого для точного воспроизведения задаваемой светозвуковым стимулятором частоты дыхания, требующего повышенного внимания. Подготовка испытуемого к выполнению задачи сознательного управления дыханием направлена на повышение комфортности не только для испытуемого, но и для исследователя, минимизируя время устного инструктирования, проводимого перед тестированием, и уменьшение времени тестирования при применении метода сердечно-дыхательного синхронизма. Оптимизации метода сердечно-дыхательного синхронизма способствует рекомендуемое применение усовершенствованной программы, предложенной автором.

Для подготовки испытуемого рекомендуется: 1) идеомоторная тренировка на основании видеоинструкции для облегчения точного воспроизведения задаваемого стимулятором ритма дыхания перед пробой сердечно-дыхательного синхронизма; 2) тест на определение латентного периода простой сенсомоторной реакции для повышения сосредоточенности внимания перед пробой сердечно-дыхательного синхронизма и облегчения сознательного контроля ритма дыхания; 3) тест на моторную асимметрию рук с целью освободить от электрокардиографического электрода доминирующую руку испытуемого и регистрировать электрокардиограмму во II или III отведении. Рекомендуется размещение манжеты сфигмоманометра на руке, свободной от электрокардиографического электрода. Это позволит контролировать перераспределение вегетативного тонуса при выполнении проб сердечно-дыхательного синхронизма, а также применять метод сердечно-дыхательного синхронизма одновременно с другими методами, включающими определение артериального давления, для комплексной оценки функционального состояния организма испытуемого с учетом его роста, веса, возраста.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Используемые в настоящее время тестовые программы, как правило, не уделяют должного внимания эмоционально-мотивационной компоненте сенсомоторной функции, способной оказывать существенное влияние на конечные результаты и раскрывать новые возможности для научного исследования. Тестирование сенсомоторной деятельности способно привести к получению новых сведений в эмоционально-личностной сфере, которые помогут провести более глубокий анализ эмоциональных зон центральной нервной системы. Время реагирования на раздражитель, особенно при сложносоставных реакциях, отражает состояние дискриминативной способности мозга, которая может эволюционировать в процессе активной интеллектуальной деятельности.

Эффективным направлением для получения наиболее полных и объективных результатов исследования количественной оценки функционального состояния и функциональных резервов организма человека в перспективе является дальнейшее совершенствование алгоритмов комплексного использования различных методов с эмоционально-мотивационной подготовкой к сенсомоторной функции. Комплексный подход к оценке уровня регуляторно-адаптивных возможностей организма является

приоритетным при различных заболеваниях, стрессогенных ситуациях для эффективного лечения и дозирования физических и психических нагрузок.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Анализ феномена произвольного изменения ритма сердца у человека / В.В. Полищук, В.К. Потапенко // Международный журнал экспериментального образования. – 2012. – № 5 (прил. 1). – С. 387–388.
2. Уровень стрессоустойчивости кандидатов в волонтеры Олимпийских игр в Сочи 2014 года / В.В. Полищук, Л.В. Полищук // Международный журнал экспериментального образования. – 2012. – № 5 (прил. 1). – С. 387.
3. Влияние степени тренировочных нагрузок на регуляторно-адаптивные возможности спортсменов / В.В. Полищук, Л.В. Полищук // Международный журнал экспериментального образования. – 2013. – № 5 (прил. 1). – С. 426.
4. Обеспечение динамического контроля функционального состояния спортсменов и волонтеров в процессе подготовки к соревнованиям высокого уровня / Л.В. Полищук, В.В. Полищук // Санкт-Петербургские научные чтения – 2013: тезисы докладов V Междунар. мед. конгресса. – СПб., 2013. – С. 365–366.
5. Инновационный метод диагностики стрессоустойчивости организма / Л.В. Полищук, В.В. Полищук // Научно-техническое творчество молодежи – путь к обществу, основанному на знаниях: сб. докл. VI Междунар. науч.-практ. конф. – М., 2014. – С. 585–588.
6. **Совершенствование метода количественной оценки регуляторно-адаптивных возможностей организма – путь к объективной характеристике процесса адаптации / В.В. Полищук, С.В. Полищук // Кубанский научный медицинский вестник. – 2015. – № 2. – С. 114–116.**
7. **Оценка стрессоустойчивости водолазов по параметрам сердечно-дыхательного синхронизма / И.М. Мунтян, В.В. Полищук, В.М. Покровский // Человек. Спорт. Медицина. – 2020. – Т. 20, № 4. – С. 48–54.**
8. Патент на полезную модель № 201589 U1 Российская Федерация, МПК А61В 5/00. Система для одновременного определения сердечно-дыхательного синхронизма и вегетативного индекса у человека / В.В. Полищук, Т.В. Шкиря, В.М. Покровский. № 2020116897; заявл. 12.05.2020; опубл. 22.12.2020, Бюл. № 36. С. 6; ил. 2.
9. **Влияние точности воспроизведения задаваемого ритма дыхания на параметры сердечно-дыхательного синхронизма / В.М. Покровский, В.В. Полищук // Медицинский вестник Северного Кавказа. – 2021. – Т. 16, № 1. – С. 68–70.**
10. **Оптимизация воспроизведения заданного ритма дыхания при проведении пробы сердечно-дыхательного синхронизма / В.В. Полищук, М.А. Челядинова, Т.Р. Губайдуллин // Журнал медико-биологических исследований. – 2021. – Т. 9, № 1. – С. 45–50.**
11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021611568 Российская Федерация. Программа для определения параметров сердечно-дыхательного синхронизма у человека / В.В. Полищук, Т.В. Шкиря, С.В. Полищук, В.М. Покровский.

Дата гос. регист. в Реестре программ для ЭВМ 01 февраля 2021 г. № 2021610396; заявл. 11.01.2021; опубл. 01.02.2021, Бюл. № 2. – 1 с.

12. Оптимизация проведения пробы сердечно-дыхательного синхронизма при оценке регуляторно-адаптивных возможностей организма человека / В.В. Полищук, В.М. Покровский // VII Съезд физиологов СНГ (Сочи, Дагомыс, 3–8 окт. 2021): научные труды. Т. 1. – М.: Перо, 2021. – С. 110–111.
13. Метод сердечно-дыхательного синхронизма в оценке адаптации студентов и его оптимизация / Ю.В. Кашина, В.В. Полищук, В.М. Покровский // Современные проблемы системной регуляции физиологических функций: тезисы докладов IV междисциплинар. конф. с междунар. участием, посвящ. 90-летию со дня рождения акад. К.В. Судакова, Москва, 06–08 июля 2022 г. – М.: Науч.-исслед. ин-т норм. физиологии им. П.К. Анохина, 2022. – С. 238–241.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ВИК – вегетативный индекс Кердо

ВСР – вариабельность сердечного ритма

ДИ – доверительный интервал

иРАС – индекс регуляторно-адаптивного статуса

кrc/мин – кардиореспираторные циклы в минуту

кц – кардиоциклы

Мин. гр. – минимальная граница диапазона синхронизации

РАВ – регуляторно-адаптивные возможности

СДС – сердечно-дыхательный синхронизм

ЧСС – частота сердечных сокращений

ЭКГ – электрокардиограмма

Научное издание

Полищук Владимир Владимирович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ
РЕГУЛЯТОРНО-АДАПТИВНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Подписано в печать 12.07.2023 г.
Формат 60×84 1/16.
Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ
Отпечатано в типографии