

УДК 612.172.2:612.176:796.015.52/.54-053.81

**ВЛИЯНИЕ АЭРОБНЫХ ЦИКЛИЧЕСКИХ И СТАТИЧЕСКИХ СИЛОВЫХ
ТРЕНИРОВОК НА ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ СЕРДЕЧНОГО РИТМА И
ГЕМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ У МОЛОДЫХ ВЗРОСЛЫХ:
РАНДОМИЗИРОВАННОЕ КОНТРОЛИРУЕМОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ**

Карапетьян Сергей Рафикович

Преподаватель кафедры физической подготовки, Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова, Санкт-Петербург, Российская Федерация.

ORCID: 0000-0002-8417-2958.

E-mail: karapetserega83@mail.ru.

Гергоков Сейран Ахмедович

Курсант 3 курса, Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова, Санкт-Петербург, Российская Федерация.

ORCID: 0009-0002-1486-8161.

E-mail: gergokov.seyran@mail.ru

Гурьянова Алена Максимовна

Студент 2 курса, Приволжский исследовательский медицинский университет, Нижний Новгород, Российская Федерация

ORCID: 0009-0001-0972-5951

E-mail: GuryanovaA876@yandex.ru

Бочарин Иван Владимирович

Доцент кафедры физической культуры и спорта, Приволжский исследовательский медицинский университет, Нижний Новгород, Российская Федерация

ORCID: 0000-0002-4961-5351

E-mail: bocharin.ivan@mail.ru

Захаров Андрей Николаевич

Старший преподаватель кафедры физического воспитания, Алтайский государственный педагогический университет, Барнаул, Российская Федерация

E-mail: Hoderi@mail.ru

**THE EFFECT OF AEROBIC CYCLIC AND STATIC STRENGTH TRAINING ON
HEART RATE VARIABILITY AND HEMODYNAMIC PARAMETERS IN YOUNG
ADULTS: A RANDOMIZED CONTROLLED TRIAL**

Karapetyan Sergey Rafikovich

Lecturer of the Department of Physical Training, S. M. Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russian Federation.

ORCID: 0000-0002-8417-2958.

E-mail: karapetserega83@mail.ru

Gergokov Seyran Akhmedovich

3rd year cadet, S.M. Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russian Federation.

ORCID: 0009-0002-1486-8161.

E-mail: gergokov.seyran@mail.ru

Guryanova Alena Maksimovna

2nd year student, Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russian Federation

ORCID: 0009-0001-0972-5951

E-mail: GuryanovaA876@yandex.ru

Bocharin Ivan Vladimirovich

Associate Professor of the Department of Physical Culture and Sport, Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russian Federation

ORCID: 0000-0002-4961-5351

E-mail: bocharin.ivan@mail.ru

Zakharov Andrey

Senior Lecturer, Department of Physical Education, Altai State Pedagogical University, Barnaul, Russian Federation

E-mail: Hoderi@mail.ru

Аннотация. Введение и цель исследования. Характер физической нагрузки может определять особенности адаптации сердечно-сосудистой системы и автономной регуляции сердечного ритма. Цель исследования – сравнить изменения variability сердечного ритма (BCR), отдельных гемодинамических показателей и типов реакции сердечно-сосудистой системы на стандартную нагрузочную пробу после десятидневных программ аэробных циклических и статических силовых тренировок у молодых взрослых.

Материал и методы исследования. В проспективное рандомизированное контролируемое исследование включили 58 человек в возрасте 20-30 лет, не занимавшихся регулярно физической культурой и спортом в течение предшествующих 12 месяцев. Участников распределили на две группы по 29 человек: аэробных циклических тренировок и статических силовых тренировок. Вмешательство продолжалось 10 недель; занятия проводились три раза в неделю по 40 минут. В аэробной группе применяли бег или велоэргометрию интенсивностью 65-75% резерва частоты сердечных сокращений по формуле Карвонена. В статической группе выполняли изометрические и статодинамические упражнения с ограничением пиковой частоты сердечных сокращений до 120–130 уд/мин. До и после вмешательства оценивали временные и спектральные показатели BCR, индекс напряжения регуляторных систем, индекс Кердо, сердечный индекс, общее периферическое сопротивление сосудов и тип реакции на пробу Мартине-Кушелевского. Для межгруппового сравнения результатов использовали ANCOVA с поправкой на исходные значения.

Результаты исследования. После аэробных тренировок увеличились SDNN, RMSSD, pNN50, общая мощность спектра и мощность HF-компонента, тогда как отношение LF/HF и

индекс напряжения регуляторных систем снизились. В этой группе также зарегистрировано уменьшение расчётного общего периферического сопротивления сосудов и увеличение доли нормотонических реакций на стандартную пробу с 44,8 до 75,9%. В группе статических тренировок статистически значимых изменений RMSSD и HF не выявлено; при этом увеличились LF и LF/HF, а доля гипертонических реакций возросла с 27,6 до 44,8%.

Выводы. В исследованной выборке десятидневная программа аэробных циклических тренировок сопровождалась более выраженными изменениями ряда показателей ВСР и распределения типов реакции на нагрузочную пробу, чем изученный протокол статических силовых тренировок. Результаты требуют осторожной интерпретации с учётом размера выборки, продолжительности вмешательства и необходимости проверки расчётов отдельных гемодинамических показателей.

Ключевые слова: вариабельность сердечного ритма, аэробные циклические тренировки, статические силовые упражнения, гемодинамика, вегетативная регуляция, нагрузочная проба, молодые взрослые.

Annotation. Introduction and objective. Introduction and purpose of the study. The nature of physical activity can determine the features of adaptation of the cardiovascular system and autonomous regulation of heart rate. The aim of the study was to compare changes in heart rate variability (HRV), individual hemodynamic parameters, and types of cardiovascular system response to a standard exercise test after ten-week programs of aerobic cyclic and static strength training in young adults.

Materials and research methods. A prospective randomized controlled trial included 58 people aged 20-30 years who had not regularly engaged in physical education and sports during the previous 12 months. The participants were divided into two groups of 29 people: aerobic cycling and static strength training. The intervention lasted 10 weeks; classes were held three times a week for 40 minutes. In the aerobic group, running or cycling ergometry with an intensity of 65-75% of the reserve heart rate according to the Karvonen formula was used. In the static group, isometric and statodynamic exercises were performed with a limitation of the peak heart rate to 120-130 beats/min. Before and after the intervention, the temporal and spectral parameters of HRV, the stress index of regulatory systems, the Kerdo index, the cardiac index, the total peripheral vascular resistance, and the type of reaction to the Martin-Kushelevsky test were evaluated. ANCOVA adjusted for baseline values was used for an intergroup comparison of the results.

Results of the study. After aerobic training, SDNN, RMSSD, pNN50, total spectrum power, and HF component power increased, while the LF/HF ratio and voltage index of regulatory systems decreased. In this group, there was also a decrease in the estimated total peripheral vascular resistance and an increase in the proportion of normotonic reactions to the standard sample from 44.8% to 75.9%. There were no statistically significant changes in RMSSD and HF in the static training group; at the same time, LF and LF/HF increased, and the proportion of hypertensive reactions increased from 27.6% to 44.8%.

Conclusions. In the studied sample, the ten-week aerobic cycling training program was accompanied by more pronounced changes in a number of HRV indicators and the distribution of reaction types to a stress test than the studied static strength training protocol. The results require careful interpretation, taking into account the sample size, duration of the intervention, and the need to verify calculations of individual hemodynamic parameters.

Keywords: heart rate variability, aerobic cyclic training, static strength exercises, hemodynamics, autonomic regulation, exercise test, young adults.

Введение. Физическая активность рассматривается как один из факторов поддержания сердечно-сосудистого здоровья. Вместе с тем физиологический ответ на физическую нагрузку определяется не только её продолжительностью и интенсивностью, но и характером мышечной работы, соотношением динамического и статического компонентов и исходным функциональным состоянием организма. Поэтому при разработке оздоровительных программ важно учитывать не только общий объём двигательной активности, но и особенности адаптации сердечно-сосудистой системы к различным тренировочным воздействиям.

Одним из методов изучения автономной регуляции сердечного ритма является анализ вариабельности сердечного ритма. Временные показатели ВСР, включая SDNN и RMSSD, характеризуют различные аспекты колебаний интервалов между последовательными сердечными сокращениями. Спектральные показатели, в том числе общая мощность спектра, HF- и LF-компоненты, позволяют дополнительно оценивать распределение мощности колебаний сердечного ритма по частотным диапазонам. Принципы регистрации, обработки и физиологической интерпретации ВСР изложены в рекомендациях рабочей группы Европейского общества кардиологов и Североамериканского общества электрофизиологии и стимуляции сердца (Task Force, 1996).

Регулярные аэробные циклические нагрузки могут сопровождаться изменениями автономной регуляции, частоты сердечных сокращений в покое и отдельных характеристик гемодинамики. В исследованиях, посвящённых влиянию аэробной и силовой физической нагрузки на ВСР, рассматриваются изменения временных и спектральных параметров, а также их взаимосвязь с показателями сердечно-сосудистой регуляции (De Paula et al., 2019; Ortiz Guzmán et al., 2012). Однако выраженность этих изменений зависит от характеристик участников, исходного функционального состояния, интенсивности и продолжительности тренировок, а также условий регистрации физиологических показателей.

Статические и изометрические упражнения отличаются от циклических аэробных нагрузок характером мышечного сокращения. Продолжительное удержание мышечного напряжения может сопровождаться изменением частоты сердечных сокращений, артериального давления и периферического сосудистого сопротивления. Выраженность прессорного ответа зависит от интенсивности усилия, его продолжительности, объёма вовлечённой мускулатуры и дыхательного режима. Реакции сердечно-сосудистой системы на изометрические упражнения у молодых людей изучались, в частности, в исследованиях Rodríguez et al. (2019) и Kotwal et al. (2022). Вместе с тем результаты таких исследований необходимо сопоставлять с учётом различий в характеристиках участников и протоколах нагрузки.

Для комплексной оценки функционального состояния могут использоваться не только показатели ВСР, но и характеристики артериального давления, расчётные индексы гемодинамики и результаты стандартных функциональных проб. Проба Мартине—Кушелевского применялась в отечественной спортивной медицине для оценки реакции сердечно-сосудистой системы на дозированную физическую нагрузку (Карпман и др., 1988). Дополнительными характеристиками регуляторного состояния могут служить индекс напряжения регуляторных систем по Р. М. Баевскому и индекс Кердо (Баевский и др., 2002; Вагин и др., 2021). При этом указанные индексы отражают отдельные характеристики

регуляции и не заменяют прямых измерений симпатической нервной активности, барорефлекторной чувствительности или сосудистой функции.

Сопоставление длительных программ аэробной циклической и статической мышечной работы позволяет оценить, сопровождаются ли эти режимы различной динамикой показателей ВСП и гемодинамики у молодых людей, не имеющих опыта регулярных тренировок. Для такого сравнения важно использовать сопоставимые сроки обследования, стандартизированные условия регистрации и статистические методы, учитывающие исходные значения исследуемых показателей.

Цель исследования – сравнить изменения показателей ВСП, гемодинамических характеристик и типов реакции сердечно-сосудистой системы на стандартную нагрузочную пробу после десятидневных программ аэробных циклических и статических силовых тренировок у молодых взрослых.

Исходная гипотеза заключалась в том, что аэробные циклические тренировки будут сопровождаться увеличением ряда временных показателей ВСП и мощности HF-компонента, снижением индекса напряжения регуляторных систем и увеличением доли нормотонических реакций на стандартную нагрузочную пробу. Для статических тренировок предполагалось наличие отличающейся динамики этих показателей.

Материалы и методы исследования. Исследование проводилось по проспективному рандомизированному контролируемому дизайну с параллельными группами. В нём приняли участие 58 человек в возрасте от 20 до 30 лет. Все участники относились к первой группе здоровья по результатам диспансеризации и не занимались регулярно физической культурой и спортом в течение не менее 12 месяцев до включения в исследование.

Критериями исключения являлись индекс массы тела более 30 кг/м², курение, артериальное давление в покое выше 140/90 мм рт. ст., наличие хронических соматических или психических заболеваний, постоянный приём лекарственных препаратов и беременность. Также исключали лиц с опытом систематических тренировок продолжительностью более года и участников, имевших спортивные разряды.

Всего в исследование включили и рандомизировали 58 человек. Участников распределили в две группы: аэробных циклических тренировок («Динамика», (n=29) и статических силовых тренировок («Статика», (n=29). В каждой группе находились 14 мужчин и 15 женщин.

Рандомизацию проводили с помощью запечатанных непрозрачных конвертов. Последовательность конвертов подготавливал человек, не участвовавший в наборе участников. Для обеспечения сопоставимого распределения по полу применяли стратификацию: отдельные последовательности формировали для мужчин и женщин.

Все участники были информированы о целях и процедурах исследования и предоставили письменное информированное согласие. Исследование проводилось в соответствии с применимыми этическими принципами исследований с участием людей. Перед подачей статьи необходимо указать название локального этического комитета, номер и дату решения об одобрении исследования, если такое одобрение получено.

Протокол тренировочного вмешательства. Продолжительность вмешательства составляла 10 недель. Занятия проводились три раза в неделю; продолжительность каждого занятия – 40 минут.

В группе аэробных циклических тренировок участники выполняли беговую нагрузку на беговой дорожке или занимались на велоэргометре. Выбранный вариант сохранялся на протяжении периода вмешательства. Интенсивность задавали на уровне 65–75% резерва частоты сердечных сокращений по формуле Карвонена с учётом ЧСС покоя, измеренной утром после пяти минут отдыха в положении лёжа (Karvonen et al., 1957).

Во время тренировок частоту сердечных сокращений непрерывно контролировали с помощью нагрудного датчика. При превышении верхней границы заданного диапазона участник снижал темп. Занятие включало пять минут разминки, 30 минут основного аэробного блока и пять минут постепенного снижения интенсивности нагрузки.

В группе статических силовых тренировок участники выполняли комплекс преимущественно изометрических и статодинамических упражнений без отдельного аэробного блока. Использовали планку на предплечьях, удержание положения «стульчик» у стены, становую тягу с резиновым амортизатором с удержанием конечной фазы в течение 15–20 секунд, статические выпады и удержание моста.

Субъективную интенсивность контролировали по шкале Борга; ориентиром были 17 баллов, соответствующие очень тяжёлой нагрузке (Borg, 1973). Одновременно ограничивали пиковую ЧСС до 120–130 уд/мин. При приближении к верхней границе участник должен был уменьшить мышечное напряжение. Занятие включало пять минут разминки, последовательное выполнение семи-восьми упражнений с минутными паузами и пять минут заминки.

Программы различались преимущественным характером мышечной работы и способом регулирования интенсивности. При этом одинаковая продолжительность занятий не означает эквивалентности тренировочного стимула по энергетическим затратам, механической работе или субъективной тяжести.

Порядок обследования. Обследование выполняли дважды: до начала тренировочной программы (T₀) и после её завершения через 10 недель (T₁). Измерения проводили в утренние часы в помещении с температурой 21–23 °С. Накануне обследования участникам рекомендовали избегать интенсивных физических нагрузок, употребления алкоголя и кофеина.

После десятиминутного отдыха в положении сидя артериальное давление измеряли аускультативным методом Короткова трижды. В анализ включали среднее значение трёх измерений. Частоту сердечных сокращений в покое определяли пальпаторно и по минутной записи электрокардиограммы.

Анализ вариабельности сердечного ритма. BCP оценивали по пятиминутным участкам кардиоинтервалограммы, зарегистрированным с использованием комплекса «Варикард 2.51» (Россия). Записи выполняли в положении лёжа и при активном ортостазе. Частота дискретизации составляла 1000 Гц. Артефакты и экстрасистолы удаляли автоматически с последующей ручной проверкой. Продолжительность записей и основные принципы обработки соответствовали общим рекомендациям по анализу BCP (Task Force, 1996).

Рассчитывали следующие временные показатели: SDNN – стандартное отклонение нормальных интервалов RR; RMSSD – квадратный корень из среднего квадрата разностей последовательных интервалов RR; pNN50 – доля последовательных интервалов RR, различающихся более чем на 50 мс.

Спектральный анализ выполняли методом быстрого преобразования Фурье. Определяли общую мощность спектра (TP, мс²), мощность высокочастотного компонента HF (0,15–0,40 Гц), низкочастотного компонента LF (0,04–0,15 Гц) и отношение LF/HF.

Дополнительно рассчитывали индекс напряжения регуляторных систем по Р. М. Баевскому:

$$\text{ИН} = \text{АМ}_0 / 2 * \text{М}_0 * \Delta X$$

где АМ₀ – амплитуда моды распределения кардиоинтервалов, М₀ – мода распределения, Δ X – вариационный размах (Баевский и др., 2002)

Отношение LF/HF использовали как дополнительную характеристику спектрального профиля ВСР, не рассматривая его как прямое количественное измерение симпатической активности.

Оценка реакции на стандартную нагрузочную пробу. Функциональную реакцию сердечно-сосудистой системы оценивали с помощью пробы Мартине-Кушелевского, включавшей выполнение 20 глубоких приседаний за 30 секунд (Карпман и др., 1988).

До нагрузки, сразу после её выполнения и на первой, второй и третьей минутах восстановления регистрировали ЧСС и артериальное давление. По характеру изменений этих показателей определяли тип реакции: нормотонический, гипертонический, дистонический, астенический или ступенчатый. Также фиксировали время восстановления ЧСС до исходного уровня.

Расчетные показатели гемодинамики. В покое рассчитывали индекс Кердо по формуле:

$$\text{ИК} = (1 - \text{ДАД} / \text{ЧСС}) * 100$$

где ДАД — диастолическое артериальное давление, ЧСС — частота сердечных сокращений

Ограничения интерпретации индекса и зависимость его значения от исходных параметров необходимо учитывать при оценке результатов (Вагин и др., 2021).

Сердечный индекс рассчитывали непрямым способом с использованием ударного объема, определённого по модифицированной формуле Старра, и площади поверхности тела.

Статистический анализ. Статистическую обработку выполняли с использованием Jamovi и Statistica 10.0. Нормальность распределений проверяли критерием Шапиро-Уилка (Shapiro & Wilk, 1965). При нормальном распределении данные представляли в виде среднего и стандартного отклонения ($M \pm m$); при отклонении от нормальности использовали медиану и межквартильный размах.

Исходную сопоставимость групп оценивали с помощью t-критерия Стьюдента для независимых выборок или критерия Манна-Уитни в зависимости от характеристик распределения. Внутригрупповые изменения между (Т₀) и (Т₁) анализировали с помощью парного t-критерия или критерия Вилкоксона.

Для межгруппового сравнения результатов после вмешательства применяли ковариационный анализ (ANCOVA), в котором значение показателя на (Т₁) выступало зависимой переменной, группа – фиксированным фактором, а исходное значение того же показателя на (Т₀) – ковариатой. Такой подход позволяет учитывать исходный уровень исследуемого показателя при сравнении групп (Zhang et al., 2014). Уровень статистической значимости принимали равным ($p < 0,05$).

Результаты исследования. В исследование включили 58 человек, распределённых в две группы по 29 участников. Каждая группа включала 14 мужчин и 15 женщин. На исходном этапе статистически значимых различий по возрасту, индексу массы тела, ЧСС и артериальному давлению в покое, индексу Кердо, сердечному индексу, общему периферическому сопротивлению и приведённым показателям ВСР не выявлено.

Средний возраст участников составлял $23,8 \pm 2,9$ года в группе аэробных тренировок и $24,1 \pm 3,0$ года в группе статических тренировок. Средний ИМТ составлял соответственно $22,4 \pm 2,3$ и $22,7 \pm 2,5$ кг/м².

Исходные показатели ВСР и расчётной гемодинамики представлены в таблице 1.

Таблица 1

Исходные характеристики групп (M±SD)

Показатель	Группа «Динамика» (n=29)	Группа «Статика» (n=29)	p
Возраст, лет	$24,8 \pm 3,9$	$25,1 \pm 4,0$	$>0,05$
Пол (муж/жен)	14/15	14/15	$>0,05$
ИМТ, кг/м ²	$22,7 \pm 3,3$	$23,7 \pm 3,5$	$>0,05$
ЧСС покоя, уд/мин	$72,5 \pm 6,1$	$73,7 \pm 9,4$	$>0,05$
САД, мм рт. ст.	$126,5 \pm 6,2$	$125,1 \pm 8,5$	$>0,05$
ДАД, мм рт. ст.	$71,2 \pm 4,8$	$74,0 \pm 5,1$	$>0,05$
Индекс Кердо, усл. ед.	$-2,0 \pm 3,3$	$-1,7 \pm 3,0$	$>0,05$
Сердечный индекс, л/мин/м ²	$2,87 \pm 0,27$	$3,06 \pm 0,33$	$>0,05$
ОПСС, дин·с·см ⁻⁵	1250 ± 170	1170 ± 165	$>0,05$
SDNN, мс	$54,7 \pm 13,1$	$56,8 \pm 15,2$	$>0,05$
RMSSD, мс	$41,5 \pm 11,3$	$44,3 \pm 10,7$	$>0,05$
pNN50, %	$172 \pm 9,9$	$18,6 \pm 10,2$	$>0,05$
TP, мс ²	3030 ± 880	3120 ± 910	$>0,05$
HF, мс ²	870 ± 310	850 ± 320	$>0,05$
LF, мс ²	1170 ± 340	1130 ± 350	$>0,05$
LF/HF	$1,91 \pm 0,72$	$1,85 \pm 0,67$	$>0,05$
ИН, усл. ед.	$113,7 \pm 37,2$	$111,1 \pm 31,8$	$>0,05$

Примечание. ИМТ – индекс массы тела; ЧСС – частота сердечных сокращений; САД и ДАД – систолическое и диастолическое артериальное давление; ОПСС – общее периферическое сосудистое сопротивление; SDNN, RMSSD, pNN50, HF и LF – показатели вариабельности сердечного ритма

После десятидневной программы аэробных циклических тренировок наблюдались изменения большинства исследованных показателей ВСР. Наиболее выраженная динамика отмечалась для RMSSD, pNN50, общей мощности спектра и HF-компонента. Среднее значение SDNN увеличилось с 51,8 до 63,4 мс, что соответствовало повышению на 22,4% относительно исходного уровня. В группе статических тренировок этот показатель изменился незначительно – с 52,3 до 53,0 мс, или на 1,3%.

RMSSD в аэробной группе увеличился с 42,6 до 54,7 мс – на 28,4%. В статической группе прирост составил около 2,1%: с 43,1 до 44,0 мс; статистически значимых изменений не

выявлено. Показатель рNN50 в группе аэробных тренировок увеличился с 18,4 до 27,9%, то есть на 9,5 процентного пункта, или на 51,6% относительно исходного значения. В группе статических тренировок его увеличение было значительно меньше – с 19,1 до 19,8%, или на 0,7 процентного пункта (3,7% относительно исходного значения).

Общая мощность спектра ВСР в аэробной группе увеличилась с 3120 до 3980 мс², что соответствовало приросту на 27,6%. В статической группе показатель уменьшился с 3050 до 2980 мс², или на 2,3%, без статистически значимого изменения.

Наиболее выраженное относительное увеличение среди спектральных показателей наблюдалось для HF-компонента: с 890 до 1350 мс², что соответствовало приросту на 51,7%. В статической группе HF снизился с 870 до 830 мс², то есть на 4,6%; изменение не было статистически значимым.

Изменения LF-компонента были менее выраженными в аэробной группе: с 1140 до 1180 мс², или на 3,5%. В статической группе показатель увеличился с 1120 до 1280 мс², что соответствовало приросту на 14,3%. Отношение LF/HF в группе аэробных тренировок уменьшилось с 1,87 до 1,21, то есть на 35,3%. В группе статических тренировок, напротив, оно увеличилось с 1,83 до 2,23, или на 21,9%. Эти результаты характеризуют разнонаправленную динамику спектрального профиля ВСР, но не позволяют рассматривать LF/HF как прямую количественную меру симпатической активности.

Индекс напряжения регуляторных систем в аэробной группе снизился со 118,5 до 79,3 усл. ед., что соответствовало уменьшению на 33,1%. В группе статических тренировок он увеличился со 115,7 до 124,6 усл. ед., или на 7,7%, однако статистически значимого изменения не выявлено.

Индекс Кердо в аэробной группе изменился с –2,1 до –12,4 усл. ед., то есть сместился в отрицательную сторону на 10,3 усл. ед. В статической группе он изменился с –1,8 до –5,2 усл. ед. (на 3,4 усл. ед. в отрицательную сторону). Для этого показателя относительные изменения в процентах не рассчитывались, поскольку исходные значения отрицательные и близки к нулю.

Сердечный индекс в аэробной группе увеличился с 2,98 до 3,09 л/мин/м², или приблизительно на 3,7%. В статической группе он уменьшился с 3,01 до 2,87 л/мин/м², то есть на 4,7%. При этом статистически значимых внутригрупповых изменений сердечного индекса не выявлено в обеих группах. ОПСС в аэробной группе уменьшилось с 1210 до 1050 дин·с·см⁻⁵ (–13,2%), тогда как в статической группе увеличилось с 1190 до 1310 дин·с·см⁻⁵ (+10,1%). Однако эти процентные изменения следует считать предварительными до проверки формулы расчёта ОПСС и первичных данных.

Полная динамика основных показателей представлена в таблице 2.

Таблица 2

Динамика показателей вариабельности сердечного ритма в покое (M±SD)

Показатель	Аэробная группа, изменение	Статическая группа, изменение	Межгрупповое р
SDNN	+22,4%	+1,3%	<0,01
RMSSD	+28,4%	+2,1%	<0,001
рNN50	+51,6%	+3,7%	<0,01
TP	+27,6%	–2,3%	<0,01
HF	+51,7%	–4,6%	<0,001

LF	+3,5%	+14,3%	<0,05
LF/HF	-35,3%	+21,9%	<0,001
ИН	-33,1%	+7,7%	<0,001
ИК	-10,3 усл. ед.	-3,4 усл. ед.	<0,001
СИ	+3,7%	-4,7%	>0,05
ОПСС	-13,2%	+10,1%	<0,01
<i>Примечание. Процентное изменение рассчитано относительно исходного значения: $(T_1 - T_0) / T_0 \times 100\%$. Для индекса Кердо приведена абсолютная разница.</i>			

Изменения показателей ВСР сопровождались неодинаковой динамикой распределения типов реакции сердечно-сосудистой системы на стандартную нагрузочную пробу в исследуемых группах.

После десятидневной программы аэробных циклических тренировок доля участников с нормотоническим типом реакции увеличилась с 44,8 до 75,9%, то есть на 31,1 процентного пункта. Относительный прирост составил 69,4%. Число участников с данным типом реакции увеличилось с 13 до 22 человек. Одновременно доля гипертонических реакций уменьшилась с 31,0 до 13,8% - на 17,2 процентного пункта, или на 55,5% относительно исходного уровня. Доля дистонических реакций снизилась с 24,1 до 10,3%, что соответствовало уменьшению на 13,8 процентного пункта. В исходной версии исследования изменение распределения типов реакции в аэробной группе было обозначено как статистически значимое ($p < 0,05$).

В группе статических силовых тренировок наблюдалась иная динамика. Доля нормотонических реакций снизилась с 48,3 до 41,4%, то есть на 6,9 процентного пункта. Доля гипертонических реакций, напротив, увеличилась с 27,6 до 44,8% - на 17,2 процентного пункта, или на 62,3% относительно исходного уровня. Число участников с гипертоническим типом реакции возросло с 8 до 13 человек. Доля дистонических реакций уменьшилась с 20,7 до 13,8%. Астенический или ступенчатый тип реакции, выявленный до вмешательства у одного участника (3,4%), при повторном обследовании не регистрировался. Согласно исходной статье, изменение распределения типов реакции в статической группе не достигло статистической значимости ($p > 0,05$).

Дополнительные изменения были отмечены при оценке показателей в покое и восстановительного периода. В аэробной группе частота сердечных сокращений в покое снизилась на 8,3 уд/мин ($p < 0,001$), а время восстановления ЧСС после стандартной нагрузки сократилось приблизительно на четверть. В группе статических тренировок диастолическое артериальное давление в покое увеличилось на 3,2 мм рт. ст. ($p < 0,05$). При этом в аэробной группе изменения систолического и диастолического артериального давления не достигли статистической значимости.

Таким образом, после аэробных циклических тренировок отмечалось увеличение доли нормотонических реакций и уменьшение частоты гипертонических и дистонических реакций. В группе статических силовых тренировок наблюдалась противоположная динамика доли нормотонических и гипертонических реакций, однако статистическая значимость этих изменений в исходном анализе не была подтверждена. Полученные результаты характеризуют различия в динамике функциональных реакций на нагрузку, но не позволяют сами по себе установить конкретные механизмы сердечно-сосудистой адаптации.

Таблица 3

Распределение типов реакции на пробу Мартине-Кушелевского, % (абс.)

Тип реакции	Группа	T0	T1
Нормотонический	Динамика	44,8 (13)	75,9 (22)
	Статика	48,3 (14)	41,4 (12)
Гипертонический	Динамика	31,0 (9)	13,8 (4)
	Статика	27,6 (8)	44,8 (13)
Дистонический	Динамика	24,1 (7)	10,3 (3)
	Статика	20,7 (6)	13,8 (4)
Астенический/ступенчатый	Динамика	0 (0)	0 (0)
	Статика	3,4 (1)	0 (0)

Доля нормотонических ответов в динамической группе выросла с 44,8% до 75,9% - прирост статистически значим ($\chi^2=5,8$, $p<0,05$). Параллельно практически сошли на нет гипертонические реакции. В статической группе картина обратная: нормотонический тип ответа регистрировался реже, чем на старте, а гипертонический - у 44,8% участников. И хотя χ^2 для этого смещения не достиг порогового уровня ($p>0,05$), клинически тенденция настораживает. У трех человек в статической группе зафиксирован переход в дистонический тип реакции с замедленным восстановлением диастолического давления - вариант, который при продолжении нагрузок мог бы трансформироваться в стойкую сосудистую дисфункцию. Время восстановления ЧСС после приседаний в динамической группе сократилось примерно на треть, в статической осталось прежним. Диастолическое давление покоя в статической группе приросло на 3,2 мм рт. ст. ($p<0,05$), в то время как в динамической группе и систолическое, и диастолическое давление показали лишь слабую тенденцию к снижению, не дотянув до статистической значимости.

Выводы.

1. После десятидневной программы аэробных циклических тренировок у молодых взрослых зарегистрированы статистически значимые изменения ряда показателей variability сердечного ритма. Значение RMSSD увеличилось на 28,4%, pNN50 – на 9,5 процентного пункта, а мощность HF-компонента – на 51,7%. Индекс напряжения регуляторных систем снизился на 33,1%, а отношение LF/HF – на 35,3%. Полученная динамика согласуется с изменением профиля автономной регуляции сердечного ритма в направлении усиления выраженности высокочастотных колебаний.

2. В группе статических силовых тренировок статистически значимых изменений RMSSD и HF не выявлено. При этом мощность LF-компонента увеличилась на 14,3%, а отношение LF/HF – на 21,9%. Индекс напряжения регуляторных систем увеличился на 7,7%, однако это изменение не достигло статистической значимости. Таким образом, динамика исследованных показателей ВСР различалась в зависимости от применяемой тренировочной программы.

3. После аэробных циклических тренировок доля нормотонических реакций на пробу Мартине-Кушелевского увеличилась с 44,8 до 75,9% (+31,1 процентного пункта), тогда как доля гипертонических реакций снизилась с 31,0 до 13,8%. В группе статических силовых тренировок доля нормотонических реакций уменьшилась с 48,3 до 41,4%, а гипертонических – увеличилась с 27,6 до 44,8%. Эти результаты указывают на различия в распределении типов

функциональной реакции на нагрузку после изученных программ, однако их статистическую значимость необходимо оценивать с учётом повторного характера измерений.

4. В целом полученные результаты свидетельствуют о том, что аэробные циклические и исследованный вариант статических силовых тренировок сопровождались различной динамикой ряда показателей ВСР и функциональной реакции на нагрузочную пробу.

Практическое значение результатов заключается в необходимости учитывать характер физической нагрузки при разработке оздоровительных программ для молодых людей, не имеющих опыта регулярных тренировок. Вместе с тем данные исследования не позволяют утверждать, что статические упражнения в целом неблагоприятны для сердечно-сосудистой системы. Для уточнения выявленных различий необходимы дальнейшие исследования с более крупными выборками, проверенными расчётами гемодинамических показателей и полноценным межгрупповым анализом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Баевский Р.М., Иванов Г.Г., Чирейкин Л.В. и др. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации) // Вестник аритмологии. 2002. № 24. С. 65–86.

Вагин Ю.Е., Деунежева С.М., Хлытина А.А. Вегетативный индекс Кердо: роль исходных параметров, области и ограничения применения // Физиология человека. 2021. Т. 47, № 1. С. 31–42. DOI: 10.31857/S0131164620060120.

Карпман В.Л., Белоцерковский З.Б., Гудков И.А. Тестирование в спортивной медицине. М.: Физкультура и спорт, 1988. 208 с. ISBN 5-278-00004-X.

Спицин А.П., Колодкина Е.В., Першина Т.А., Бяков И.С. Функциональное состояние студентов медицинского вуза по данным анализа вариабельности сердечного ритма и центральной гемодинамики // Здоровье населения и среда обитания. 2020. № 1. С. 24–29. DOI: 10.35627/2219-5238/2020-322-1-24-29.

Borg G.A.V. Perceived exertion: a note on "history" and methods // Med Sci Sports. 1973. Vol. 5, No. 2. P. 90–93. PMID: 4721012.

De Paula T., Neves M.F., da Silva Itaborahy A., Monteiro W., Farinatti P., Cunha F.A. Acute effect of aerobic and strength exercise on heart rate variability and baroreflex sensitivity in men with autonomic dysfunction // Journal of Strength and Conditioning Research. 2019. Vol. 33, No. 10. P. 2743–2752. DOI: 10.1519/JSC.0000000000002372.

Karvonen M.J., Kentala E., Mustala O. The effects of training on heart rate: a longitudinal study // Annales Medicinae Experimentalis et Biologiae Fenniae. 1957. Vol. 35, No. 3. P. 307–315.

Kotwal S.K., Charak G., Rafiq N., Shekhar S., Nabi T. Effect of isometric exercise on heart rate variability in prehypertensive young adults // Medical Journal of Babylon. 2022. Vol. 19, No. 2. P. 275–280. DOI: 10.4103/MJBL.MJBL_31_22.

Ortiz Guzmán J.E., Mendoza Romero D., Calderón Ospina C.A., Urbina A. Spectral analysis of heart rate variability in trained young men: comparison of endurance and resistance training // *Apunts Sports Medicine*. 2012. Vol. 47, No. 174. P. 41–47.

Rodríguez P.A., Guirado B.O., González P.H.J., Ballesteros H.M., Casas B.J.C., Cárdenas R.A.E. Basal autonomic balance and during the isometric exercise in young people with different cardiovascular reactivity // *CorSalud*. 2019. Vol. 11, No. 1. P. 11–20.

Shapiro S.S., Wilk M.B. An analysis of variance test for normality (complete samples) // *Biometrika*. 1965. Vol. 52, No. 3/4. P. 591–611. DOI: 10.1093/biomet/52.3-4.591.

Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use // *Circulation*. 1996. Vol. 93, No. 5. P. 1043–1065. DOI: 10.1161/01.CIR.93.5.1043.

Zhang S., Paul J., Nantha-Aree M., et al. Empirical comparison of four baseline covariate adjustment methods in analysis of continuous outcomes in randomized controlled trials // *Clinical Epidemiology*. 2014. Vol. 6. P. 227–235. DOI: 10.2147/CLEP.S56554.

REFERENCES

Baevskiy R.M., Ivanov G.G., Chireykin L.V. et al. (2002). Analiz variabel'nosti serdechnogo ritma pri ispol'zovanii razlichnykh elektrokardiograficheskikh sistem (metodicheskie rekomendatsii) [Analysis of heart rate variability using various electrocardiographic systems (methodological recommendations)]. *Vestnik aritmologii* [Journal of Arrhythmology], No. 24, pp. 65–86. (in Russian).

Borg G.A.V. (1973). Perceived exertion: a note on "history" and methods // *Med Sci Sports*. Vol. 5, No. 2. P. 90–93. PMID: 4721012.

De Paula T., Neves M.F., da Silva Itaborahy A., Monteiro W., Farinatti P., Cunha F.A. (2019). Acute effect of aerobic and strength exercise on heart rate variability and baroreflex sensitivity in men with autonomic dysfunction // *Journal of Strength and Conditioning Research*. Vol. 33, No. 10. P. 2743–2752. DOI: 10.1519/JSC.0000000000002372.

Karpman V.L., Belotserkovskiy Z.B., Gudkov I.A. (1988). Testirovanie v sportivnoy meditsine [Testing in sports medicine]. Moscow: Fizkul'tura i sport, 208 p. ISBN 5-278-00004-X. (in Russian).

Karvonen M.J., Kentala E., Mustala O. (1957). The effects of training on heart rate: a longitudinal study // *Annales Medicinae Experimentalis et Biologiae Fenniae*. Vol. 35, No. 3. P. 307–315.

Kotwal S.K., Charak G., Rafiq N., Shekhar S., Nabi T. (2022). Effect of isometric exercise on heart rate variability in prehypertensive young adults // *Medical Journal of Babylon*. Vol. 19, No. 2. P. 275–280. DOI: 10.4103/MJBL.MJBL_31_22.

Ortiz Guzmán J.E., Mendoza Romero D., Calderón Ospina C.A., Urbina A. (2012). Spectral analysis of heart rate variability in trained young men: comparison of endurance and resistance training // *Apunts Sports Medicine*. Vol. 47, No. 174. P. 41–47.

Rodríguez P.A., Guirado B.O., González P.H.J., Ballesteros H.M., Casas B.J.C., Cárdenas R.A.E. (2019). Basal autonomic balance and during the isometric exercise in young people with different cardiovascular reactivity // *CorSalud*. Vol. 11, No. 1. P. 11–20.

Shapiro S.S., Wilk M.B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples) // *Biometrika*. Vol. 52, No. 3/4. P. 591–611. DOI: 10.1093/biomet/52.3-4.591.

Spitsin A.P., Kolodkina E.V., Pershina T.A., Byakov I.S. (2020). Funktsional'noe sostoyanie studentov meditsinskogo vuza po dannym analiza variabel'nosti serdechnogo ritma i tsentral'noy gemodinamiki [The functional state of students of a medical university according to the analysis of heart rate variability and central hemodynamics]. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya* [Public Health and Habitat], No. 1, pp. 24–29. DOI: 10.35627/2219-5238/2020-322-1-24-29. (in Russian).

Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. (1996). Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use // *Circulation*. Vol. 93, No. 5. P. 1043–1065. DOI: 10.1161/01.CIR.93.5.1043.

Vaguine Y.E., Deunezhewa S.M., Khlytina A.A. (2021). Vegetativnyy indeks Kerdo: rol' iskhodnykh parametrov, oblasti i ogranicheniya primeneniya [Kérdö autonomic index: role of initial parameters, areas, and limitations of the use]. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology], Vol. 47, No. 1, pp. 31–42. DOI: 10.31857/S0131164620060120. (in Russian).

Zhang S., Paul J., Nantha-Aree M., et al. (2014). Empirical comparison of four baseline covariate adjustment methods in analysis of continuous outcomes in randomized controlled trials // *Clinical Epidemiology*. Vol. 6. P. 227–235. DOI: 10.2147/CLEP.S56554.