

УДК 612.172.2:612.176:796.015.52/.54-053.81

**ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ ВЛИЯНИЕ АЭРОБНЫХ ЦИКЛИЧЕСКИХ И
СТАТИЧЕСКИХ СИЛОВЫХ НАГРУЗОК НА ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ СЕРДЕЧНОГО
РИТМА, ЦЕНТРАЛЬНУЮ ГЕМОДИНАМИКУ И ТИП РЕАКЦИИ НА
СТАНДАРТНУЮ ПРОБУ У ЛИЦ МОЛОДОГО ВОЗРАСТА**

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

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

**DIFFERENTIAL EFFECT OF AEROBIC CYCLIC AND STATIC STRENGTH LOADS ON
HEART RATE VARIABILITY, CENTRAL HEMODYNAMICS, AND TYPE OF
RESPONSE TO A STANDARD TEST IN YOUNG PEOPLE**

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

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

Аннотация. Введение и цель исследования. Гиподинамия у лиц молодого возраста устойчиво ассоциируется с вегетативным дисбалансом, однако массовое увлечение фитнес-тренировками не всегда сопровождается дифференцированным подходом к выбору режима мышечной работы. Динамические циклические и статические силовые нагрузки по-разному модулируют барорефлекторную и метаболическую активность, но их прямое рандомизированное сопоставление на сопоставимых выборках до настоящего времени не проводилось. Цель исследования - сравнить влияние десятидневных программ аэробных циклических и статических силовых нагрузок с ограничением частоты сердечных сокращений на вариабельность сердечного ритма, центральную гемодинамику и типы реакции на стандартную пробу у молодых здоровых лиц.

Материал и методы исследования. Проведено проспективное рандомизированное контролируемое исследование в параллельных группах. Обследовано 58 человек (20-30 лет, первая группа здоровья, отсутствие регулярных тренировок в течение года). Рандомизация простая стратифицированная по полу; группы «Динамика» (n=29) и «Статика» (n=29) сопоставимы по всем исходным параметрам ($p>0,05$). Протокол вмешательства - 10 недель, 3 занятия в неделю по 40 минут. В группе «Динамика» - бег или велоэргометрия на уровне 65-75% резерва ЧСС по Карвонену. В группе «Статика» - изометрические и статодинамические упражнения с удержанием поз (планка, «стульчик», резиновая тяга) при ограничении пиковой ЧСС до 120-130 уд/мин. Оценка проводилась до и после вмешательства: временные и спектральные показатели ВСР (SDNN, RMSSD, pNN50, TP, HF, LF, LF/HF), индекс напряжения Баевского, индекс Кердо, сердечный индекс, общее периферическое сопротивление, а также типы реакции на пробу Мартине-Кушелевского. Статистика: парный t-критерий, Вилкоксон, ANCOVA с поправкой на исходный уровень.

Результаты исследования. В группе «Динамика» зафиксирован значимый рост парасимпатических маркеров: RMSSD увеличился на 28,4% (с $42,6\pm 12,5$ до $54,7\pm 13,1$ мс, $p<0,001$), HF - на 52% (с 890 ± 340 до 1350 ± 460 мс², $p<0,001$), pNN50 - на 9,5 процентных пункта ($p<0,01$); индекс напряжения снизился на 33% (со $118,5\pm 43,2$ до $79,3\pm 28,5$ усл. ед., $p<0,001$), LF/HF - с $1,87\pm 0,82$ до $1,21\pm 0,51$ ($p<0,001$). Индекс Кердо сместился в отрицательную область до $-12,4\pm 5,1$ ($p<0,001$), общее периферическое сопротивление уменьшилось с 1210 ± 180 до 1050 ± 165 дин·с·см⁻⁵ ($p<0,01$), сердечный индекс остался без изменений. Доля нормотонических реакций на пробу Мартине-Кушелевского возросла с 44,8% до 75,9% ($\chi^2=5,8$, $p<0,05$), гипертонические реакции сократились с 31,0% до 13,8%. В группе «Статика» парасимпатические индексы значимо не изменились (RMSSD: с $43,1\pm 11,7$ до $44,0\pm 12,3$ мс, $p>0,05$; HF: с 870 ± 310 до 830 ± 290 мс², $p>0,05$), тогда как LF/HF вырос с $1,83\pm 0,78$ до $2,23\pm 0,95$ ($p<0,05$), а диастолическое давление покоя - на 3,2 мм рт. ст. ($p<0,05$). Общее периферическое сопротивление увеличилось с 1190 ± 175 до 1310 ± 190 дин·с·см⁻⁵ ($p<0,05$), сердечный индекс обнаружил тенденцию к снижению (с $3,01\pm 0,29$ до $2,87\pm 0,33$ л/мин/м², $p>0,05$). Доля гипертонических реакций в статической группе возросла до 44,8%, нормотонических - снизилась до 41,4%; у трех участников сформирован дистонический тип ответа.

Выводы. Десятидневная программа аэробных циклических нагрузок вызывает выраженную и статистически надежную парасимпатическую перестройку вегетативной регуляции, сопровождающуюся вазодилатацией и увеличением доли нормотонических гемодинамических реакций на стандартную пробу. Статические силовые нагрузки с ограничением пульсового ответа, напротив, не дают аналогичного эффекта, а у части испытуемых способствуют сдвигу симпато-парасимпатического баланса в сторону симпатикотонии, повышению сосудистого тонуса и росту числа гипертонических реакций. Полученные данные указывают на необходимость осторожного и контролируемого применения изометрических упражнений в оздоровительных программах для лиц с исходно низкой физической активностью.

Ключевые слова: вариабельность сердечного ритма, аэробные циклические нагрузки, статические силовые нагрузки, центральная гемодинамика, вегетативная регуляция.

Annotation. Introduction and objective. Physical inactivity in young people is consistently associated with vegetative imbalance, however, the widespread interest in fitness training is not always accompanied by a differentiated approach to choosing a regime of muscle work. Dynamic cyclic and static power loads modulate baroreflexive and metaboreflexive activity in different ways,

but their direct randomized comparison on comparable samples has not yet been conducted. The aim of the study was to compare the effect of ten-week programs of aerobic cyclic and static strength training with a limited heart rate on heart rate variability, central hemodynamics, and response types to a standard test in young healthy individuals.

Materials and research methods. A prospective randomized controlled trial was conducted in parallel groups. 58 people were examined (20-30 years old, the first health group, lack of regular training during the year). The randomization is simple and stratified by gender; the groups "Dynamics" (n=29) and "Statics" (n=29) are comparable in all initial parameters ($p>0.05$). The intervention protocol is 10 weeks, 3 sessions per week for 40 minutes. In the Dynamics group, running or cycling was performed at the level of 65-75% of the Karvonen heart rate reserve. In the "Static" group, isometric and statodynamic exercises with postures (plank, high chair, rubber deadlift) were performed while limiting the peak heart rate to 120-130 beats/min. The assessment was performed before and after the intervention: temporal and spectral HRV indices (SDNN, RMSSD, pNN50, TP, HF, LF, LF/HF), Baevskiy stress index, Kerdo index, cardiac index, total peripheral resistance, as well as the types of reaction to the Martine-Kushelevsky test. Statistics: paired t-test, Wilcoxon, ANCOVA adjusted for baseline.

Results of the study. A significant increase in parasympathetic markers was recorded in the Dynamics group: RMSSD increased by 28.4% (from 42.6 ± 12.5 to 54.7 ± 13.1 ms, $p<0.001$), HF - by 52% (from 890 ± 340 to 1350 ± 460 ms², $p<0.001$), pNN50 - by 9.5 percentage points ($p<0.01$); the voltage index decreased by 33% (from 118.5 ± 43.2 to 79.3 ± 28.5 con. units, $p<0.001$), LF/HF - from 1.87 ± 0.82 to 1.21 ± 0.51 ($p<0.001$). The Kerdo index shifted to the negative region to -12.4 ± 5.1 ($p<0.001$), the total peripheral resistance decreased from 1210 ± 180 to 1050 ± 165 $\text{din}\cdot\text{s}\cdot\text{cm}^{-5}$ ($p<0.01$), the cardiac index remained unchanged. The proportion of normotonic reactions to the Martine-Kushelevsky test increased from 44.8% to 75.9% ($\chi^2=5.8$, $p<0.05$), hypertensive reactions decreased from 31.0% to 13.8%. In the Static group, parasympathetic indices did not change significantly (RMSSD: from 43.1 ± 11.7 to 44.0 ± 12.3 ms, $p>0.05$; HF: from 870 ± 310 to 830 ± 290 ms², $p>0.05$), while LF/HF increased from 1.83 ± 0.78 to 2.23 ± 0.95 ($p<0.05$), and resting diastolic pressure - 3.2 mmHg ($p<0.05$). The total peripheral resistance increased from 1190 ± 175 to 1310 ± 190 $\text{din}\cdot\text{s}\cdot\text{cm}^{-5}$ ($p<0.05$), the cardiac index showed a downward trend (from 3.01 ± 0.29 to 2.87 ± 0.33 l/min/m², $p>0.05$). The proportion of hypertensive reactions in the static group increased to 44.8%, and normotonic reactions decreased to 41.4%; three participants had a dystonic type of response.

Conclusions. A ten-week program of aerobic cyclic exercise causes a pronounced and statistically reliable parasympathetic restructuring of autonomic regulation, accompanied by vasodilation and an increase in the proportion of normotonic hemodynamic reactions to a standard sample. Static power loads with a limited pulse response, on the contrary, do not give a similar effect, and in some subjects they contribute to a shift in the sympatho-parasympathetic balance towards sympathicotonia, increased vascular tone and an increase in the number of hypertensive reactions. The data obtained indicate the need for careful and controlled use of isometric exercises in wellness programs for people with initially low physical activity.

Keywords: heart rate variability, aerobic cyclic loads, static power loads, central hemodynamics, autonomic regulation.

Введение. Гиподинамия давно перестала быть метафорой и превратилась в количественно измеримый фактор сердечно-сосудистого риска даже у людей моложе тридцати лет (Спицин и др., 2020). Параллельно массовая культура фитнеса породила обратный тренд - агрессивное расширение двигательной активности, часто без какого-либо

разбора физиологической специфики нагрузок. Бег, кроссфит, силовые тренировки с околопредельными весами, изометрические планки на выносливость - все это нередко смешивается в единый «оздоровительный» блок без оглядки на то, что сердце и сосуды отвечают на принципиально разные режимы сокращения мышц принципиально разными адаптационными программами. Правомерен вопрос: одинаково ли полезны для сердечно-сосудистой системы динамический бег и статическое удержание позы, если пульс на пике нагрузки различается на 40-50 ударов, а сосудистое сопротивление меняется в противоположных направлениях? Ответ на него не сводится к сравнению калорий или минут тренировки.

К настоящему моменту накоплен обширный корпус данных, описывающих благотворное влияние циклических аэробных нагрузок на аппарат вегетативной регуляции кровообращения (Ortiz Guzmán et al., 2012). Регулярный бег, плавание, велоэргометрия умеренной интенсивности устойчиво повышают тонус блуждающего нерва, что выражается в росте временных и спектральных маркеров парасимпатической активности - RMSSD, pNN50, мощности HF-компонента вариабельности сердечного ритма (De Paula et al., 2019). Одновременно снижается активность симпатического звена: падает низкочастотная составляющая LF в нормализованных единицах, уменьшается индекс напряжения регуляторных систем по Р. М. Баевскому, укорачивается время восстановления частоты сердечных сокращений после стандартной нагрузочной пробы. Гемодинамически это проявляется экономизацией работы сердца в покое - брадикардией, снижением систолического и диастолического артериального давления у гипертензивных лиц, уменьшением общего периферического сосудистого сопротивления. Физиологическая основа таких сдвигов достаточно ясна: активация артериального барорефлекса, усиление эндотелий-зависимой вазодилатации за счет оксида азота, повышение чувствительности холинорецепторов миокарда. Эти механизмы многократно верифицированы и сомнений не вызывают.

Значительно более скудная и противоречивая картина вырисовывается при анализе эффектов статических и статодинамических нагрузок, особенно выполняемых без выраженного кардиореспираторного компонента - то есть без существенного прироста частоты сердечных сокращений и потребления кислорода (Kotwal et al., 2022). Метабоорефлекс, запускаемый накоплением метаболитов в ишемизированной мышце при длительном изометрическом сокращении, способен мощно стимулировать симпатические центры продолговатого мозга, повышать артериальное давление и ригидность сосудистой стенки (Rodríguez et al., 2019). У тренированных тяжелоатлетов такая адренергическая стимуляция может быть адаптивной, обеспечивая необходимый уровень прессорного ответа. Для нетренированного человека, чья вегетативная регуляция исходно смещена к симпатикотонии, регулярное воспроизведение изометрического паттерна без аэробного противовеса способно, напротив, закрепить неблагоприятный профиль - с высоким LF/HF, увеличенным индексом напряжения и гипертоническим типом реакции на функциональную пробу.

Работы, предметно сопоставляющие динамические и чисто статические программы с жестким контролем пульса на сопоставимых выборках, единичны, а их результаты не всегда воспроизводятся. Сохраняется пробел в понимании того, какой именно паттерн вегетативной и гемодинамической перестройки формируется у молодых здоровых лиц при систематическом выполнении изометрических упражнений без аэробного компонента.

Цель исследования - провести прямое рандомизированное сравнение влияния десятидневных программ динамических циклических и статических силовых нагрузок на

временные и спектральные показатели вариабельности сердечного ритма, показатели центральной гемодинамики и тип реакции сердечно-сосудистой системы на стандартную пробу Мартине-Кушелевского у лиц молодого возраста.

Проверялась гипотеза, согласно которой аэробные циклические нагрузки приведут к статистически значимому усилению парасимпатических влияний на ритм сердца - с ростом RMSSD, HF, pNN50 и снижением индекса напряжения, - а также к увеличению доли нормотонических реакций на нагрузочную пробу. Статические же нагрузки, выполняемые с ограничением частоты сердечных сокращений, предположительно вызовут противоположный сдвиг симпато-парасимпатического баланса - с повышением LF/HF, отсутствием положительной динамики временных параметров вариабельности и ростом доли гипертонических и дистонических типов гемодинамического ответа.

Материалы и методы исследования. Исследование спланировано как проспективное рандомизированное контролируемое в параллельных группах. Рандомизация простая, выполнена методом запечатанных непрозрачных конвертов; список конвертов готовился сторонним лицом, не вовлеченным в набор испытуемых. Для обеспечения сопоставимости групп по полу применялась стратификация: отдельно для мужчин и женщин готовили блоки конвертов, так чтобы в каждой группе оказалось равное соотношение полов. От всех участников получено письменное информированное согласие. Авторы заявляют, что при проведении исследования соблюдены этические принципы, предусмотренные для исследований с участием людей.

Критерии включения: возраст от 20 до 30 лет, первая группа здоровья по данным диспансеризации, отсутствие регулярных занятий физической культурой и спортом на протяжении не менее 12 месяцев перед включением. Кандидаты, имевшие в анамнезе спортивные разряды или опыт систематических тренировок более года, из выборки исключались, так как адаптационный фон вегетативной регуляции у них заведомо изменен. Исключали также лиц с индексом массы тела выше 30 кг/м², курящих, с артериальным давлением покоя выше 140/90 мм рт. ст., с любыми хроническими соматическими или психическими заболеваниями, принимающих лекарственные препараты на постоянной основе, беременных. Всего обследовано и рандомизировано 58 человек. Случайным образом сформированы две группы - «Динамика» (n=29) и «Статика» (n=29).

Протокол вмешательства длился 10 недель, частота занятий - трижды в неделю с равными интервалами отдыха, продолжительность одной тренировки - 40 минут. В группе «Динамика» применялись аэробные циклические нагрузки: бег на тредмиле либо велоэргометрия (допускался выбор испытуемого, однако внутри исследования режим не менялся). Интенсивность задавалась индивидуально на уровне 65-75 % резерва частоты сердечных сокращений, вычисленного по формуле Карвонена (Karvonen et al., 1957) с учетом ЧСС покоя, измеренной утром после пятиминутного лежания. В ходе занятия обязателен непрерывный мониторинг пульса нагрудным датчиком; выход за верхнюю границу коридора служил основанием для немедленного снижения темпа. Структура занятия: 5 минут суставной разминки, 30 минут основного аэробного блока, 5 минут заминки с постепенным снижением скорости до ходьбы.

Группа «Статика» выполняла комплекс упражнений с акцентом на изометрическое и статодинамическое удержание напряжения без выраженной аэробной составляющей. Использовались упражнения с весом собственного тела и резиновыми амортизаторами: планка на предплечьях, «стульчик» у стены, станочная тяга с резиной с удержанием конечной фазы 15-20 с, статические выпады, удержание моста. Интенсивность регулировалась

субъективно по шкале Борга (Borg, 1973) (ориентир - 17 баллов, «очень тяжело»), при этом частота сердечных сокращений искусственно ограничивалась: на пике усилия она не должна была превышать 120-130 уд/мин. Контроль пульса велся тем же способом; участника инструктировали немедленно ослаблять напряжение, если ЧСС приближалась к верхней границе. Тем самым нивелировалась кардиореспираторная тренирующая составляющая и вычленялся преимущественно статический компонент. Занятие включало 5 минут суставной разминки, последовательное выполнение семи-восьми упражнений с минутными паузами, 5 минут заминки без кардиоблока.

Измерения проводили дважды - до начала вмешательства (фон, T0) и спустя 10 недель (T1), в утренние часы, в помещении с постоянной температурой 21-23 °С. Накануне исключались интенсивная физическая нагрузка, алкоголь, кофеин. В положении сидя после 10-минутного отдыха трехкратно измеряли артериальное давление аускультативным методом Короткова, в анализ брали среднее трех показаний. Частоту сердечных сокращений покоя определяли пальпаторно и по записи электрокардиограммы в течение минуты.

Состояние вегетативной регуляции оценивали методом анализа вариабельности сердечного ритма на коротких пятиминутных участках кардиоинтервалограммы, записанных в положении лежа (фоновая запись) и при активном ортостазе. Регистрацию осуществляли с помощью комплекса «Варикард 2.51» (Россия) с частотой дискретизации 1000 Гц; артефакты и экстрасистолы удалялись автоматически с последующей ручной верификацией. Рассчитывали стандартные временные параметры: SDNN (мс), RMSSD (мс), pNN50 (%) (Task Force, 1996). Спектральный анализ выполняли методом быстрого преобразования Фурье; выделяли общую мощность спектра (TP, мс²), мощности высокочастотного (HF, 0,15-0,40 Гц), низкочастотного (LF, 0,04-0,15 Гц) и очень низкочастотного (VLF, <0,04 Гц) компонентов. Коэффициент LF/HF служил маркером симпато-парасимпатического баланса. Дополнительно вычисляли индекс напряжения регуляторных систем (ИН, усл. ед.) по Р.М. Баевскому (Баевский и др., 2002): $ИН = AMo / (2 \cdot Mo \cdot \Delta X)$, где AMo - амплитуда моды распределения кардиоинтервалов, Mo - значение моды, ΔX - вариационный размах.

Функциональную реакцию сердечно-сосудистой системы на стандартную нагрузку изучали с помощью пробы Мартине-Кушелевского (Карпман и др., 1988): 20 глубоких приседаний за 30 секунд. До пробы, сразу после и на 1, 2, 3-й минутах восстановления фиксировали ЧСС и АД. По соотношению сдвигов этих параметров определяли тип реакции: нормотонический, гипертонический, дистонический, астенический или ступенчатый. Время восстановления ЧСС к исходному уровню регистрировали с точностью до 15 с.

В покое дополнительно рассчитывали вегетативный индекс Кердо (Вагин и др., 2021): индекс Кердо = $(1 - ДАД / ЧСС) \cdot 100$, где ДАД - диастолическое артериальное давление. Сердечный индекс (СИ) оценивали непрямым способом по формуле, учитывающей ударный объем, вычисленный по модифицированной формуле Старра, и площадь поверхности тела; общее периферическое сосудистое сопротивление (ОПСС) - как $(САД - ДАД) \cdot 80 / СИ$.

Статистическую обработку проводили в среде Jamovi и пакете Statistica 10.0. Нормальность распределений проверяли критерием Шапиро-Уилка для каждой подгруппы (Shapiro & Wilk, 1965). Для описательной статистики при нормальном распределении использовали среднее и стандартное отклонение ($M \pm SD$), в иных случаях - медиану и межквартильный размах ($Me [Q25; Q75]$). Исходную сопоставимость групп оценивали с помощью t-критерия Стьюдента для независимых выборок или критерия Манна-Уитни в зависимости от формы распределения. Внутригрупповую динамику (T0 vs T1) в каждой группе анализировали отдельно парным t-критерием или критерием Вилкоксона.

Межгрупповое сравнение эффекта вмешательства выполняли методом ковариационного анализа (ANCOVA) (Zhang et al., 2014), где зависимой переменной выступало значение показателя на T1, фиксированным фактором - группа, а в качестве ковариаты вводили исходный уровень того же показателя на T0. Такой подход позволяет исключить систематическую ошибку, связанную с возможными случайными исходными различиями. Различия признавались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследования. Исходные параметры не различались - группы оказались практически идентичны по полу, возрасту, антропометрическим и гемодинамическим показателям, а также по всему спектру временных и частотных характеристик вариабельности сердечного ритма. Межгрупповые p -значения варьировали от 0,59 до 0,88, что исключает систематическое смещение на старте. Детальная сводка фоновых данных приведена в таблице 1; отдельного внимания заслуживает тот факт, что средние значения RMSSD и pNN50 в обеих группах соответствовали нижней границе возрастной нормы, характерной для лиц без регулярной физической активности.

Таблица 1

Исходные характеристики групп (M±SD)

Показатель	Группа «Динамика» (n=29)	Группа «Статика» (n=29)	p
Возраст, лет	23,8±2,9	24,1±3,0	>0,05
Пол (муж/жен)	14/15	14/15	>0,05
ИМТ, кг/м ²	22,4±2,3	22,7±2,5	>0,05
ЧСС покоя, уд/мин	71,6±8,1	72,3±8,4	>0,05
САД, мм рт. ст.	118,5±7,2	119,1±7,5	>0,05
ДАД, мм рт. ст.	73,2±5,8	74,0±6,1	>0,05
Индекс Кердо, усл. ед.	-2,1±4,3	-1,8±4,0	>0,05
Сердечный индекс, л/мин/м ²	2,98±0,31	3,01±0,29	>0,05
ОПСС, дин·с·см ⁻⁵	1210±180	1190±175	>0,05
SDNN, мс	51,8±14,2	52,3±13,8	>0,05
RMSSD, мс	42,6±12,5	43,1±11,7	>0,05
pNN50, %	18,4±8,9	19,1±9,2	>0,05
TP, мс ²	3120±980	3050±940	>0,05
HF, мс ²	890±340	870±310	>0,05
LF, мс ²	1140±390	1120±380	>0,05
LF/HF	1,87±0,82	1,83±0,78	>0,05
ИН, усл. ед.	118,5±43,2	115,7±41,8	>0,05

Рандомизация сработала безупречно - ни по одному показателю не получено даже намека на различие. Стандартные отклонения довольно широки, что отражает реальную неоднородность молодых людей, ведущих гиподинамичный образ жизни. На этот факт стоит обратить внимание: исходный вегетативный тонус у многих находился ближе к симпатикотоническому полюсу, о чем свидетельствуют величины ИН, превышающие 100 усл. ед., и коэффициент LF/HF, приближающийся к 1,9. Именно такой фон делает выборку чувствительной к вмешательствам, направленным на усиление парасимпатического контроля.

Исходные значения индекса Кердо держались около нуля с небольшим отрицательным знаком - в среднем -2,1 в динамической группе и -1,8 в статической, что характерно для состояния вегетативного равновесия у лиц без регулярных тренировок. Сердечный индекс оказался в границах 2,98-3,01 л/мин/м², а общее периферическое сопротивление - 1190-1210 дин·с·см⁻⁵; эти цифры полностью укладываются в общепринятые нормативы для здоровых нетренированных молодых людей и дополнительно подтверждают сопоставимость групп. Межгрупповые различия по всем трем показателям отсутствовали ($p>0,05$), что исключает влияние случайных флуктуаций гемодинамики на старте.

Спустя десять недель зафиксирована отчетливая дивергенция векторов вегетативной перестройки. В группе динамических циклических нагрузок временные и спектральные маркеры парасимпатической активности резко пошли вверх; в группе статических усилий с ограничением пульса ничего похожего не произошло - более того, по ряду параметров обозначился слабый, но измеримый сдвиг в симпатическую сторону. Полная картина изменений представлена в таблице 2.

Таблица 2

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

Показатель	Группа	T0	T1	R _{внутр}	R _{меж}
SDNN, мс	Динамика	51,8±14,2	63,4±15,0	<0,01	<0,01
	Статика	52,3±13,8	53,0±14,1	>0,05	
RMSSD, мс	Динамика	42,6±12,5	54,7±13,1	<0,001	<0,001
	Статика	43,1±11,7	44,0±12,3	>0,05	
pNN50, %	Динамика	18,4±8,9	27,9±10,1	<0,01	<0,01
	Статика	19,1±9,2	19,8±9,6	>0,05	
TP, мс ²	Динамика	3120±980	3980±1120	<0,01	<0,01
	Статика	3050±940	2980±1010	>0,05	
HF, мс ²	Динамика	890±340	1350±460	<0,001	<0,001
	Статика	870±310	830±290	>0,05	
LF, мс ²	Динамика	1140±390	1180±410	>0,05	<0,05
	Статика	1120±380	1280±420	<0,05	
LF/HF	Динамика	1,87±0,82	1,21±0,51	<0,001	<0,001
	Статика	1,83±0,78	2,23±0,95	<0,05	
ИН, усл. ед.	Динамика	118,5±43,2	79,3±28,5	<0,001	<0,001
	Статика	115,7±41,8	124,6±48,1	>0,05	
Индекс Кердо, усл. ед.	Динамика	-2,1±4,3	-12,4±5,1	<0,001	<0,001
	Статика	-1,8±4,0	-5,2±4,7	>0,05	
Сердечный индекс, л/мин/м ²	Динамика	2,98±0,31	3,09±0,28	>0,05	>0,05
	Статика	3,01±0,29	2,87±0,33	>0,05	
ОПСС, дин·с·см ⁻⁵	Динамика	1210±180	1050±165	<0,01	<0,01
	Статика	1190±175	1310±190	<0,05	

Бросается в глаза асимметрия ответа. Динамическая программа увеличила RMSSD почти на треть, а мощность HF-компонента - более чем наполовину; это не просто статистические флуктуации, а физиологически осязаемый сдвиг в сторону ваготонии. Статический протокол же оставил парасимпатические индексы без движения. Параллельно в

статической группе подросток LF-компонент - $p < 0,05$, что, строго говоря, погранично, но в сочетании с ростом LF/HF до 2,23 и $p < 0,05$ свидетельствует о неблагоприятном перекосе симпато-парасимпатического баланса. Межгрупповые ANCOVA по ключевым индексам (RMSSD, LF/HF, ИИ) дают $p < 0,001$ с величинами эффекта η^2 от 0,21 до 0,26, то есть эффект вмешательства не просто значим, а велик по абсолютной мере. Вегетативная перестройка в группе аэробной работы закономерно отразилась и на гемодинамических индексах. Индекс Кердо сдвинулся в отрицательную зону до -12,4 (против -2,1 исходно, $p < 0,001$), что указывает на доминирование парасимпатического компонента в регуляции сосудистого тонуса. Сердечный индекс практически не изменился - 3,09 против 2,98 л/мин/м² ($p > 0,05$), следовательно, брадикардия не сопровождалась падением производительности сердца. Одновременно зафиксировано снижение общего периферического сопротивления почти на 160 единиц (с 1210 до 1050, $p < 0,01$) - прямое свидетельство вазодилатации, обусловленной усилением эндотелий-зависимых механизмов.

В статической группе картина диаметрально противоположная. Индекс Кердо изменился незначительно (-5,2 против -1,8, $p > 0,05$), тогда как сердечный индекс обнаружил слабую тенденцию к понижению (до 2,87 л/мин/м²), хотя статистической значимости этот сдвиг не достиг. Периферическое сопротивление, напротив, возросло до 1310 дин·с·см⁻⁵ ($p < 0,05$), что коррелирует с ростом диастолического давления и увеличением LF/HF. Подобная разнонаправленность подтверждает, что изометрические нагрузки при отсутствии аэробного противовеса способствуют поддержанию или даже усилению вазоконстрикции, а не экономизации кровообращения.

Функциональная проба подтвердила, что вегетативные сдвиги транслируются в реальную гемодинамическую реакцию. Таблица 3 фиксирует перераспределение типов ответа на стандартную нагрузку.

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. Выполненное исследование представляло собой прямое рандомизированное сравнение двух принципиально различающихся по физиологической реализации режимов мышечной работы - динамического циклического и статического силового - при жестком контроле пульсовой зоны в последнем случае. Полученные данные не оставляют пространства для двусмысленности: десятидневная программа аэробных циклических нагрузок привела к выраженной парасимпатической перестройке вегетативной регуляции сердечного ритма, тогда как эквивалентный по времени и частоте занятий статический протокол с ограничением частоты сердечных сокращений подобного эффекта не дал.

Конкретные цифры выглядят убедительно. В группе динамической работы RMSSD увеличился на 28,4% ($p < 0,001$), pNN50 - на 9,5 процентных пункта ($p < 0,01$), мощность HF-компонента спектра поднялась на 52% ($p < 0,001$). Индекс напряжения регуляторных систем по Баевскому упал на 33% ($p < 0,001$), коэффициент LF/HF снизился с 1,87 до 1,21 ($p < 0,001$). Гемодинамически это сопровождалось брадикардией покоя (снижение ЧСС на 8,3 уд/мин, $p < 0,001$), смещением индекса Кердо в парасимпатическую зону и - что, возможно, наиболее показательно с функциональной точки зрения - ростом доли нормотонических реакций на пробу Мартине-Кушелевского с 44,8% до 75,9% ($p < 0,05$). Время восстановления ЧСС после стандартной нагрузки сократилось примерно на четверть.

Группа статических усилий продемонстрировала принципиально иную картину. Ни один из временных или спектральных маркеров парасимпатической активности значимо не изменился. Зато зафиксирован рост LF-компонента ($p < 0,05$) и повышение LF/HF до 2,23 ($p < 0,05$) - слабый, но статистически уловимый сдвиг симпато-парасимпатического баланса в сторону симпатикотонии. Диастолическое давление покоя приросло на 3,2 мм рт. ст. ($p < 0,05$). Доля гипертонических реакций на нагрузочную пробу увеличилась до 44,8%, а нормотонический тип ответа регистрировался реже, чем на старте. У трех испытуемых сформировался дистонический тип реакции с затяжным восстановлением диастолического давления.

Физиологическая интерпретация этих результатов не требует сложных спекуляций. Динамическая циклическая работа умеренной интенсивности закономерно активирует барорефлекторные механизмы, усиливает эндотелий-зависимую вазодилатацию и повышает чувствительность холинорецепторов миокарда - отсюда рост HF, RMSSD и брадикардия. Статические же нагрузки с длительным удержанием напряжения запускают метабоорефлекс из ишемизированных мышечных волокон; мощная афферентная импульсация перекрывает парасимпатический эффект и стимулирует симпатические центры. Если при аэробной работе этот прессорный ответ нивелируется одновременной вазодилатацией в работающих мышцах, то при чистой изометрии с ограничением пульса такого противовеса нет. Результат - хроническое повышение сосудистого тонуса, рост диастолического давления и неблагоприятная перестройка типа гемодинамической реакции на нагрузку.

Расчет дополнительных гемодинамических индексов подтвердил, что вегетативные сдвиги имеют прямое сосудистое выражение. В группе динамической работы индекс Кердо ушел в отрицательную область до -12,4 ($p < 0,001$), тогда как в статике он остался в пределах статистического шума. Сердечный индекс не претерпел значимых изменений ни в одной из

групп, что исключает гиподинамический вариант адаптации и говорит о сохранной насосной функции.

Периферическое сопротивление повело себя диаметрально противоположно. Аэробный протокол снизил ОПСС с 1210 до 1050 $\text{дин} \cdot \text{с} \cdot \text{см}^{-5}$ ($p < 0,01$) - прямое доказательство вазодилатации, сопутствующей парасимпатической активации. Статические нагрузки, напротив, увеличили ОПСС до 1310 ($p < 0,05$), причем этот рост коррелировал с повышением диастолического давления и коэффициента LF/HF. Именно повышение сосудистого тонуса, а не изменение сердечного выброса, становится главным гемодинамическим последствием изометрических упражнений без аэробного сопровождения.

Ограничения работы необходимо обозначить прямо. Выборка состояла исключительно из молодых здоровых лиц, и экстраполировать полученные выводы на пожилых или пациентов с сердечно-сосудистой патологией преждевременно. Дизайн был открытым - участники осознавали, в какой группе тренируются, что могло внести элемент психологической предвзятости, хотя объективные показатели ВСР слабо подвержены сознательному контролю. Период вмешательства ограничен десятью неделями, что достаточно для оценки вегетативных сдвигов, но не позволяет судить об отдаленных структурных последствиях - например, о ремоделировании миокарда. Наконец, исследование не включало прямых измерений жесткости сосудистой стенки (скорость пульсовой волны), которые могли бы подкрепить интерпретацию гемодинамических сдвигов в статической группе.

Практический вывод формулируется однозначно. Лицам, приступающим к фитнес-тренировкам с приоритетной целью оздоровления сердечно-сосудистой системы, следует начинать с аэробных циклических программ умеренной интенсивности - именно они обеспечивают быструю и измеримую парасимпатическую перестройку вегетативной регуляции. Изометрические и статодинамические упражнения целесообразно вводить как вспомогательный компонент, с обязательным контролем не только частоты сердечных сокращений, но и артериального давления - особенно диастолического, поскольку именно оно оказалось чувствительным к статической нагрузке даже у здоровых молодых людей. Без такого контроля благие намерения «укрепить сердце» через планку и «стульчик» рискуют обернуться прямо противоположным эффектом.

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 [Kérdő 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.