DOI: 10.33266/2782-6430-2026-4-22-29

Андреев Д.А., Разинкин С.М., Киш А.А.

СРАВНЕНИЕ СТАНДАРТНОГО И РАСШИРЕННОГО ПРОТОКОЛОВ ЭХОКАРДИОГРАФИИ В СОЧЕТАНИИ С ДОЗИРОВАННОЙ АЭРОБНОЙ НАГРУЗКОЙ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В СЕРДЦЕ

Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва

Контактное лицо: Киш Анна Андреевна: e-mail: akish@fmbcfmba.ru

Реферат

Введение. Стандартная эхокардиография в покое не всегда позволяет в полной мере характеризовать функциональное состояние сердца у лиц, подвергающихся высоким физическим и психоэмоциональным нагрузкам. Дополнительную информацию можно получить посредством анализа глобальной продольной деформации левого желудочка и изучением физиологического ответа сердца на дозированную аэробную нагрузку.

Цель. Провести сравнительную оценку диагностической ценности стандартного протокола эхокардиографии в покое и расширенного протокола с дозированной аэробной нагрузкой при выявлении функционально неблагоприятного профиля сердца у лиц, испытывающих избыточную физическую и психоэмоциональную нагрузку.

Материал и метод. В анализ включены данные эхокардиографического обследования 153 мужчин: 52 здоровых высококвалифицированных спортсмена, 51 спортсмен с синдромом перетренированности и 50 руководителей высшего звена с хроническим профессиональным психоэмоциональным стрессом. Эхокардиографию выполняли в покое и повторно в течение первой минуты после стандартизированной аэробной нагрузки. Оценивали глобальную продольную деформацию левого желудочка (GLS), объёмные и гемодинамические показатели левого желудочка, функцию правого желудочка и предсердий, а также показатели диастолической функции. Диагностическую информативность стандартной и расширенной моделей оценивали с использованием анализа «чувствительность – специфичность».

Результаты. При сохранной фракции выброса левого желудочка значения GLS в покое были менее отрицательными в группах синдрома перетренированности и хронического стресса по сравнению со здоровыми спортсменами: −17,8±1,1 и −17,6±1,7 против −21,6±0,4% соответственно. У здоровых спортсменов нагрузка сопровождалась увеличением конечно-диастолического и ударного объёмов левого желудочка, усилением продольной деформации, увеличением RV FAC, TAPSE, LAEF, RAEF и e′m. В группах с синдромом перетренированности и хронического стресса ударный объём статистически значимо не увеличивался, тогда как GLS, показатели функции правого желудочка, предсердий и диастолической функции изменялись в противоположном направлении. Площадь под кривой составила 0,88 для стандартной многопараметрической модели и 1,00 для расширенной модели. Для GLS в покое площадь под кривой в исследованной выборке также составила 1,00.

Выводы. Расширенный эхокардиографический протокол дополняет стандартную оценку сердца и позволяет охарактеризовать его функциональное состояние. Проведение нагрузочного тестирования в отношении рассмотренных выборок необходимо для определения характера ответа сердца в дополнение к анализу GLS в покое.

Ключевые слова: *эхокардиография; физическая нагрузка; глобальная продольная деформация; миокардиальный резерв; синдром перетренированности; психоэмоциональный стресс; правый желудочек; функциональная диагностика.*

Для цитирования: Андреев Д.А., Разинкин С.М., Киш А.А. Сравнение стандартного и расширенного протоколов эхокардиографии в сочетании с дозированной аэробной нагрузкой при диагностике функциональных изменений в сердце // Клинический вестник ФМБЦ им. А.И. Бурназяна 2026. № 4. С. 22–29. DOI: 10.33266/2782-6430-2026-4-22-29

DOI: 10.33266/2782-6430-2026-4-22-29

Comparison of Standard and Extended Echocardiography Protocols Combined with Measured Aerobic Exercise in the Diagnosis of Functional Changes in the Heart

D.A. Andreev, S.M. Razinkin, A.A. Kish

A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russia

Contact person: Anna A. Kish, : e-mail: akish@fmbcfmba.ru

Abstract

Background. Standard resting echocardiography does not always provide a complete characterization of the functional state of the heart in individuals subjected to high physical and psycho-emotional stress. Additional information can be obtained by analyzing the global longitudinal strain of the left ventricle and studying the physiological response of the heart to a dosed aerobic load.

Objective. To conduct a comparative assessment of the diagnostic value of the standard resting echocardiography protocol and the extended protocol with a dosed aerobic load in identifying a functionally unfavorable heart profile in individuals experiencing excessive physical and psycho-emotional stress.

Material and methods. The analysis included 153 men: 52 healthy highly trained athletes, 51 athletes with overtraining syndrome, and 50 senior executives with chronic professional psychoemotional stress. Echocardiography was performed at rest and again within the first minute after standardized aerobic exercise. Global longitudinal strain of the left ventricle (GLS), volumetric and hemodynamic parameters of the left ventricle, right ventricular and atrial function, as well as diastolic function parameters were assessed. The diagnostic informativeness of the standard and extended models was assessed using a sensitivity–specificity analysis.

Results. With a preserved left ventricular ejection fraction, the GLS values at rest were less negative in the overtraining syndrome and chronic stress groups compared to healthy athletes: −17.8±1.1 and −17.6±1.7 versus −21.6±0.4%, respectively. In healthy athletes, the load was accompanied by an increase in the end-diastolic and stroke volumes of the left ventricle, an increase in longitudinal deformation, and an increase in RV FAC, TAPSE, LAEF, RAEF, and e′m. In groups with overtraining syndrome and chronic stress, stroke volume did not increase statistically significantly, whereas GLS, indicators of right ventricular function, atrial function, and diastolic function changed in the opposite direction. The area under the curve was 0.88 for the standard multiparameter model and 1.00 for the extended model. For GLS at rest, the area under the curve in the studied sample also amounted to 1.00.

Conclusion. The extended echocardiographic protocol complements the standard assessment of the heart and allows for characterization of its functional state. Conducting stress testing on the samples under consideration is necessary to determine the nature of the heart's response in addition to the resting GLS analysis.

Keywords: *echocardiography; exercise; global longitudinal strain; myocardial reserve; overtraining syndrome; psychological stress; right ventricle; functional diagnostics.*

For citation: Andreev DA, Razinkin SM, Kish AA. Comparison of standard and extended echocardiography protocols combined with measured aerobic exercise in the diagnosis of functional changes in the heart. A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center Clinical Bulletin. 2026.4:22-29. (In Russian) DOI: 10.33266/2782-6430-2026-4-22-29

Введение

Высокий уровень физической нагрузки сопровождается структурной и функциональной перестройкой сердечно-сосудистой системы, направленной на обеспечение возрастающей потребности работающих мышц в кровотоке. У высококвалифицированных спортсменов формируется комплекс изменений, традиционно объединяемый понятием «сердце спортсмена». Адаптация не ограничивается левым желудочком и может затрагивать правый желудочек, оба предсердия, отражается на показателях диастолического наполнения и системной гемодинамике [1]. Поэтому разграничение физиологической адаптации и функционально неблагоприятных изменений только по данным эхокардиографии в покое в ряде случаев представляет затруднение [1–3].

Интегральные показатели систолической функции в покое не всегда отражают функциональные возможности миокарда при нагрузке. Оценка фракции выброса левого желудочка (LVEF) широко применяется для оценки общей систолической функции, однако её постоянство не исключает изменений отдельных компонентов сократимости. Дополнительную информацию предоставляет глобальная продольная деформация левого желудочка (GLS), количественно характеризующая продольное укорочение миокарда [5]. Использование деформационного анализа особенно актуально в ситуациях, когда объёмные показатели и LVEF остаются неизменными.

Вместе с тем GLS в покое также не следует рассматривать изолированно. У спортсменов его значение зависит от вида спорта, стажа тренировок, выраженности ремоделирования камер сердца и условий регистрации. Для интерпретации функционального состояния тренированного сердца существенное значение имеет не только абсолютное значение показателя, но и его изменение при нагрузке [1–3]. Современные подходы к нагрузочной эхокардиографии предусматривают оценку сердечного резерва как способности камер сердца изменять объёмные, систолические и диастолические характеристики в ответ на контролируемое физическое воздействие [2, 3].

Нагрузочное тестирование позволяет анализировать не только увеличение частоты сердечных сокращений, но и механизмы увеличения сердечного выброса. Увеличение сердечного выброса на одну и ту же величину может обеспечиваться различным соотношением частотного и объёмного компонентов. Для адаптированного сердца существенное значение имеет способность увеличивать ударный объём и поддерживать адекватное наполнение желудочков. Преимущественно частотный ответ при отсутствии ожидаемого увеличения ударного объёма может отражать снижение функционального резерва, хотя сам по себе не является доказательством органического заболевания.

Важным компонентом нагрузочного ответа является функция правого желудочка. При физической нагрузке правые отделы сердца подвергаются значительному увеличению объёмной и гемодинамической нагрузки, поэтому оценка фракции изменения площади правого желудочка (RV FAC), систолической экскурсии трикуспидального кольца (TAPSE) и других правожелудочковых показателей способна дополнять оценку левого желудочка [3, 10]. При этом после продолжительных нагрузок на выносливость транзиторное снижение отдельных параметров функции правого желудочка может наблюдаться и у здоровых спортсменов, что требует интерпретации результатов с учётом типа и интенсивности нагрузки [11].

Функциональная адаптация затрагивает также предсердия и диастолическое наполнение. Изменение фракции опорожнения левого и правого предсердий, отношения E/A и тканевых скоростей движения митрального кольца позволяет оценить согласованность реакции различных камер сердца. Многокамерный анализ создаёт возможность рассматривать реакцию на физическую нагрузку как единый функциональный профиль, а не как набор независимых эхокардиографических показателей.

Отдельный интерес представляют состояния хронической перегрузки. Синдром перетренированности формируется при длительном несоответствии между суммарной тренировочной и внетренировочной нагрузкой и возможностями восстановления. Он характеризуется стойким снижением работоспособности и комплексом неспецифических проявлений и не имеет единственного универсального диагностического маркера [9]. Сходная с точки зрения длительности воздействия ситуация может

формироваться при хроническом профессиональном психоэмоциональном стрессе. Последний сопровождается изменениями автономной регуляции, гемодинамическими, сосудистыми и иммунными реакциями, способными оказывать влияние на сердечно-сосудистую систему [4]. При различной природе стрессора возможным общим проявлением становится ограничение адаптационного ответа.

Отдельные результаты данного исследования были опубликованы ранее. Описаны изменения функции правого желудочка у спортсменов с синдромом перетренированности [12], предложена общая методическая концепция нагрузочной оценки [13], а также исследованы изменения GLS при хронических нарушениях сна и стрессовых воздействиях [14]. Вместе с тем отдельного количественного сопоставления диагностической информативности стандартной эхокардиографической модели и расширенной модели, объединяющей GLS и показатели нагрузочного ответа, ранее не проводилось. Такое сравнение позволяет определить, какую информацию даёт переход от статической оценки в покое к исследованию функционального резерва сердца.

Цель: провести сравнительную оценку диагностической ценности стандартного протокола эхокардиографии в покое и расширенного протокола с дозированной аэробной нагрузкой при выявлении функционально неблагоприятного профиля сердца у лиц, испытывающих избыточную физическую и психоэмоциональную нагрузку.

Материал и метод

Выполнен сравнительный анализ диагностического обследования функционального состояния сердца у лиц с различными вариантами хронической физической и психоэмоциональной нагрузки. Для настоящей работы использованы данные участников, которым выполняли эхокардиографическое исследование в покое и повторно после стандартизированной дозированной аэробной нагрузки.

В анализ включены данные эхокардиографического обследования 153 мужчин в возрасте 18–50 лет: 52 здоровых высококвалифицированных спортсмена – группа «Спорт», 51 высококвалифицированный спортсмен с синдромом перетренированности – группа OTS и 50 лиц высшего звена руководящего состава, подвергавшихся хроническому профессиональному психоэмоциональному стрессу, – группа «Стресс». Средний возраст составил соответственно 34,2±3,3; 33,8±3,4 и 35,8±4,4 года.

Группу «Спорт» использовали как референсную, физиологически адаптированную. Для анализа диагностической информативности участников групп OTS и «Стресс» объединяли в категорию функционально неблагоприятного профиля. Для анализа «чувствительность–специфичность» использовали бинарный признак: «0» – физиологически адаптированный профиль; «1» – функционально неблагоприятный профиль.

Исследование проводили на базе ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России. Перед включением выполняли комплексное медицинское обследование, направленное в том числе на исключение органической сердечно-сосудистой патологии. Использовали стандартную электрокардиографию, холтеровское мониторирование, эхокардиографию, магнитно-резонансную томографию сердца, мультиспиральную компьютерную томографию коронарных артерий и лабораторное обследование.

Отсутствие выявленной органической сердечно-сосудистой патологии являлось принципиальным условием формирования анализируемой выборки. Поэтому используемый в настоящей работе термин «функционально неблагоприятный профиль» обозначает особенности функционального ответа, а не установленный клинический диагноз структурного заболевания сердца.

Общими критериями включения являлись мужской пол, возраст 18–50 лет, письменное информированное согласие, отсутствие клинически значимых нарушений электрической активности сердца, воспалительных заболеваний сердца и кардиомиопатий по данным инструментального обследования, отсутствие гемодинамически значимого поражения коронарных артерий, клинически значимых лабораторных отклонений и повышения кардиоспецифических биомаркеров.

В группу «Спорт» включали членов национальных сборных Российской Федерации по академической гребле, лыжным гонкам и биатлону со спортивной квалификацией не ниже мастера спорта международного класса. На момент обследования спортсмены находились в условиях предсезонного отдыха продолжительностью 4 недели, не подвергались выраженному психоэмоциональному стрессу и не предъявляли жалоб, специфических по отношению к сердечно-сосудистой системе. Синдром перетренированности устанавливали по принятому комплексу клинико-функциональных критериев, предложенному Meeusen и соавт. [9]. Критерии включали стойкое необъяснимое снижение работоспособности и ощущение усталости продолжительностью более 4 недель, нарушения сна, снижение максимальной работоспособности на 10% и более, уменьшение тренировочного объёма и замедленное восстановление.

В группу «Стресс» включали руководителей высшего звена при наличии ежедневного профессионального психоэмоционального стресса продолжительностью более 4 недель и неспецифических жалоб, возникавших или усиливавшихся в связи с психоэмоциональным напряжением.

Критериями исключения являлись отказ от участия, невыполнение протокола исследования и возникновение обстоятельств, препятствующих безопасному завершению предусмотренного обследования.

В рамках диагностического этапа в рамках одного обследования проводили эхокардиографию в покое, нагрузочную пробу и повторную эхокардиографию в течение первой минуты после прекращения нагрузки.

Эхокардиографию выполняли на ультразвуковой системе GE LOGIQ E10 в соответствии с национальными и международными рекомендациями

по проведению трансторакального ультразвукового исследования сердца [6, 7]. Исследование проводили в покое и повторяли в течение первой минуты после прекращения стандартизированной аэробной физической нагрузки.

Систолическую функцию левого желудочка оценивали по показателям фракции выброса (LVEF) и глобальной продольной деформации (GLS). Конечно-диастолический и конечно-систолический объёмы левого желудочка определяли методом суммации дисков из апикального доступа в двух- и четырёхкамерной сечениях; на основании вышеуказанных объёмных показателей определяли ударный объём левого желудочка (LVSV).

Расширенный протокол эхокардиографии включал оценку правого желудочка, предсердий и диастолической функции. Систолическую функцию правого желудочка характеризовали с использованием RV FAC, TAPSE и пиковой систолической скорости движения кольца трикуспидального клапана S′. TAPSE измеряли в M-режиме, S′ – методом тканевой допплерографии, RV FAC определяли по изменению площади правого желудочка между диастолой и систолой.

Функцию предсердий оценивали по их максимальным и минимальным объёмам и фракциям опорожнения левого и правого предсердий (LAEF и RAEF). Диастолическую функцию левого желудочка характеризовали отношением скоростей раннего и позднего трансмитрального наполнения E/A и ранними диастолическими скоростями движения медиальной и латеральной частей митрального кольца e′m и e′l [8].

Нагрузочную пробу проводили на велоэргометре Schiller ERG 911S по ступенчато возрастающему протоколу. Начальная мощность составляла 25 Вт. После первой трёхминутной ступени мощность увеличивали на 25 Вт каждую минуту при частоте педалирования 60–70 об/мин. Общая продолжительность нагрузки в среднем составляла 7–8 мин.

Интенсивность физической нагрузки контролировали по частоте сердечных сокращений посредством непрерывной регистрации электрокардиограмы и концентрации уровня лактата капиллярной крови. Нагрузку прекращали при достижении аэробной зоны, соответствовавшей концентрации лактата около 2 ммоль/л и частоте сердечных сокращений приблизительно 120–140 уд/мин. Повторную эхокардиографию выполняли в течение первой минуты восстановления.

Основным исходом являлась сравнительная разделяющая способность стандартного и расширенного эхокардиографических подходов в отношении заранее сформированных физиологически адаптированного и функционально неблагоприятного профилей. Дополнительно оценивали направление и выраженность изменений эхокардиографических показателей при переходе от покоя к стандартизированной аэробной физической нагрузке. Для отдельных эхокардиографических показателей определяли площадь под кривой. Стандартная многопараметрическая модель включала LVEF, LVEDV и E/A, зарегистрированные в покое.

В соответствии с описанием итоговой модели в исходном статистическом разделе расширенная модель включала GLS в покое и нагрузочные изменения GLS, LVEDV, RV FAC, LAEF и e′m. Изменение показателя (Δ) определяли, как значение после нагрузки минус значение в покое. Для многопараметрических моделей тест-переменной служила рассчитанная вероятность принадлежности участника к категории функционально неблагоприятного профиля.

Статистическую обработку выполняли с использованием программ Statistica 7.0 и SPSS. При нормальном распределении количественные данные представляли как среднее арифметическое и стандартное отклонение (M±SD). Для сравнения показателей до и после нагрузки применяли парный t-критерий Стьюдента; для сравнения независимых групп – t-критерий Стьюдента. Статистически значимыми считали различия при $p<0,05$.

Диагностическую информативность оценивали посредством анализа «чувствительность–специфичность» с построением характеристических кривых и определением площади под характеристической кривой. В исходных материалах не представлены доверительные интервалы для площади под кривой, численные значения чувствительности и специфичности или пороговые значения, поэтому указанные параметры в настоящей работе не реконструировали.

Результаты

В анализ включены 153 мужчины: 52 участника группы «Спорт», 51 участник группы OTS и 50 участников группы «Стресс». Средний возраст составил соответственно 34,2±3,3; 33,8±3,4 и 35,8±4,4 года (табл. 1).

Таблица 1.

Общая характеристика исследуемых групп
General characteristics of the study groups

Группа	n	Возраст, лет	Характеристика
Спорт	52	34,2±3,3	Здоровые высококвалифицированные спортсмены в периоде предсезонного отдыха
OTS	51	33,8±3,4	Высококвалифицированные спортсмены с синдромом перетренированности
Стресс	50	35,8±4,4	Руководители высшего звена с хроническим профессиональным психоэмоциональным стрессом
Всего	153	—	Все участники — мужчины

Исходные эхокардиографические и гемодинамические показатели представлены в табл. 2. В группе OTS по сравнению с группой «Спорт» были ниже LVEDV – 146,5±33,5 против 174,6±28,1 мл ($p<0,01$) и LVSV – 90,9±20,7 против 101,8±16,7 мл ($p<0,05$). В группе «Стресс» соответствующие показатели составили 112,3±31,4 и 71,5±20,7 мл и также были ниже, чем у здоровых спортсменов ($p<0,01$).

LVEF оставалась сохранной во всех группах и составляла 58,4±4,1% в группе «Спорт», 62,3±4,9% в группе OTS и 63,6±6,5% в группе «Стресс». Наиболее

выраженные различия в покое выявлены для GLS: −21,6±0,4% в группе «Спорт», −17,8±1,1% в группе OTS и −17,6±1,7% в группе «Стресс» (p<0,01 для обеих групп по сравнению с группой «Спорт»).

Исходная RV FAC составляла 46,1±8,3% в группе «Спорт», 51,7±10,1% в группе OTS и 53,1±11,4% в группе «Стресс». Статистически значимых межгрупповых различий TAPSE не выявлено. В группе OTS значения LAEF, RAEF и E/A были выше, чем в группе «Спорт»; в группе «Стресс» статистически значимое отличие выявлено для e′m (табл. 2).

Таблица 2.

Основные показатели эхокардиографии и системной гемодинамики в покое
Main resting echocardiographic and systemic hemodynamic parameters

Показатель	Спорт, n=52	OTS, n=51	Стресс, n=50
ЧСС, уд/мин	56,9±5,1	59,5±4,8*	66,0±5,5**
Сердечный выброс, л/мин	5,7±0,8	5,4±1,1	4,7±1,2**
LVEDV, мл	174,6±28,1	146,5±33,5**	112,3±31,4**
LVSV, мл	101,8±16,7	90,9±20,7*	71,5±20,7**
LVEF, %	58,4±4,1	62,3±4,9**	63,6±6,5**
GLS, %	−21,6±0,4	−17,8±1,1**	−17,6±1,7**
RV FAC, %	46,1±8,3	51,7±10,1*	53,1±11,4**
TAPSE, мм	20,4±1,2	20,9±2,5	19,8±3,6
LAEF, %	72,9±1,5	75,0±3,4**	71,0±9,1
RAEF, %	61,2±1,9	64,2±4,8**	62,1±7,9
E/A	1,1±0,3	1,3±0,3**	1,0±0,3
e′m, см/с	9,6±1,1	9,8±1,6	8,6±2,3*

Примечание. ** p<0,05; ** p<0,01 по сравнению с группой «Спорт». Данные представлены как M±SD.*

После стандартизированной аэробной нагрузки в группе «Спорт» частота сердечных сокращений увеличилась с 56,9±5,1 до 126,1±5,4 уд/мин, а сердечный выброс – с 5,7±0,8 до 17,8±2,2 л/мин (в обоих случаях p<0,0001). LVEDV увеличился со 174,6±28,1 до 193,7±31,8 мл (p=0,0018), LVSV – со 101,8±16,7 до 141,4±21,3 мл (p<0,0001), LVEF – с 58,4±4,1 до 73,3±4,7% (p<0,0001). GLS изменился с −21,6±0,4 до −22,9±0,5% (p<0,0001). Одновременно увеличились RV FAC, TAPSE, LAEF, RAEF и e′m.

В группе OTS частота сердечных сокращений увеличилась с 59,5±4,8 до 123,1±2,7 уд/мин, сердечный выброс – с 5,4±1,1 до 10,9±2,5 л/мин (p<0,0001). При этом LVEDV уменьшился с 146,5±33,5 до 127,8±26,7 мл (p=0,0022), а LVSV статистически значимо не изменился: 90,9±20,7 против 88,4±19,5 мл (p=0,5316). GLS стал менее отрицательным: −17,8±1,1 против −16,1±1,7% (p<0,0001). После нагрузки также снизились RV FAC, TAPSE, LAEF, RAEF и e′m, тогда как E/A не изменилось.

В группе «Стресс» частота сердечных сокращений увеличилась с 66,0±5,5 до 131,1±4,2 уд/мин, сердечный выброс – с 4,7±1,2 до 10,0±2,8 л/мин (p<0,0001). LVEDV уменьшился со 112,3±31,4 до 99,7±28,3 мл (p=0,0376); изменение LVSV с 71,5±20,7 до 76,8±22,0 мл статистической значимости не достигло (p=0,2177). GLS изменился с −17,6±1,7 до −16,2±2,0% (p=0,0003). RV FAC, TAPSE, LAEF, RAEF и e′m после нагрузки снизились, тогда как изменение E/A статистически значимым не было (табл. 3).

Во всех трёх группах нагрузка сопровождалась увеличением частоты сердечных сокращений и сердечного выброса. Однако статистически значимое увеличение ударного объёма выявлено только в группе «Спорт». Направление изменений GLS, RV FAC, TAPSE, LAEF, RAEF и e′m у здоровых спортсменов

Таблица 3.

Основные показатели после стандартизированной аэробной нагрузки
Main parameters after standardized aerobic exercise

Показатель	Спорт после нагрузки	p	OTS после нагрузки	p	Стресс после нагрузки	p
ЧСС, уд/мин	126,1±5,4	<0,0001	123,1±2,7	<0,0001	131,1±4,2	<0,0001
Сердечный выброс, л/мин	17,8±2,2	<0,0001	10,9±2,5	<0,0001	10,0±2,8	<0,0001
LVEDV, мл	193,7±31,8	0,0018	127,8±26,7	0,0022	99,7±28,3	0,0376
LVSV, мл	141,4±21,3	<0,0001	88,4±19,5	0,5316	76,8±22,0	0,2177
LVEF, %	73,3±4,7	<0,0001	69,9±4,5	<0,0001	77,5±7,3	<0,0001
GLS, %	−22,9±0,5	<0,0001	−16,1±1,7	<0,0001	−16,2±2,0	0,0003
RV FAC, %	63,5±10,2	<0,0001	31,0±1,9	<0,0001	31,1±6,2	<0,0001
TAPSE, мм	25,1±1,8	<0,0001	14,6±1,5	<0,0001	16,0±3,9	<0,0001
LAEF, %	82,1±2,9	<0,0001	60,3±6,7	<0,0001	54,5±11,3	<0,0001
RAEF, %	73,5±3,5	<0,0001	46,1±8,3	<0,0001	46,6±8,7	<0,0001
E/A	1,5±0,2	<0,0001	1,3±0,8	1,0000	0,9±0,3	0,9540
e′m, см/с	12,2±1,2	<0,0001	5,5±0,6	0,0001	6,4±2,4	<0,0001

Примечание. *p — статистическая значимость изменения относительно исходного значения внутри соответствующей группы; данные представлены как M±SD.*

было противоположным направлению изменений этих показателей в группах OTS и «Стресс».

При анализе отдельных показателей в покое площадь под кривой составила 0,28 для LVEF, 0,83 для LVEDV, 0,64 для E/A и 1,00 для GLS. Для стандартной многопараметрической модели, включавшей LVEF, LVEDV и E/A, площадь под кривой составила 0,88. Для расширенной модели, включавшей GLS и нагрузочные показатели, она составила 1,00.

Таблица 4.

Разделяющая способность отдельных показателей и многопараметрических моделей
Discriminative ability of individual indices and multivariable models

Показатель / модель	Площадь под характеристической кривой
LVEF	0,28
LVEDV	0,83
E/A	0,64
GLS	1,00
Стандартная модель	0,88
Расширенная модель	1,00

Обсуждение

Основным результатом настоящего исследования стало выявление существенных различий между стандартной эхокардиографической оценкой в покое и расширенным подходом, включавшим GLS и оценку многокамерного ответа на дозированную аэробную нагрузку. Значение расширенного протокола определялось не столько регистрацией одного дополнительного показателя, сколько возможностью охарактеризовать функциональный резерв сердца. У здоровых высококвалифицированных спортсменов увеличение сердечного выброса сопровождалось приростом ударного и конечно-диастолического объёмов левого желудочка, усилением продольной деформации, функции правого желудочка, предсердий и диастолической релаксации. В группах OTS и «Стресс» увеличение сердечного выброса происходило преимущественно на фоне выраженного учащения частоты сердечных сокращений при отсутствии значимого прироста ударного объёма и противоположной динамике ряда эхокардиографических показателей.

Полученные данные соответствуют современным представлениям о необходимости оценивать сердце спортсмена не только по показателям, зарегистрированным в покое, но и с учётом его функционального резерва [1–3]. У хорошо тренированных спортсменов показатели сократительной функции в покое могут отражать особенности физиологического ремоделирования и экономизации кровообращения. Диагностическое значение в таких условиях приобретает способность миокарда увеличивать сократительную функцию и обеспечивать адекватное увеличение сердечного выброса при нагрузке.

Это положение особенно важно при интерпретации динамики LVEF. В группе «Спорт» средняя LVEF в покое была не выше, а ниже, чем в группах OTS и «Стресс», однако именно здоровые спортсмены демонстрировали наиболее выраженный прирост ударного объёма и других показателей функции при нагрузке. Следовательно, более высокая LVEF в покое в исследованном контингенте не свидетельствовала о большем функциональном резерве. Площадь под характеристической кривой для LVEF составила 0,28. Значение ниже 0,5 отражало обратную связь данного показателя с заданным положительным классом: в группах OTS и «Стресс» LVEF была не ниже, а несколько выше, чем у здоровых спортсменов.

Более выраженные различия уже в состоянии покоя были получены для GLS. Несмотря на сохранную LVEF, в группах OTS и «Стресс» абсолютная величина GLS была меньше, чем у здоровых спортсменов. Это согласуется с общей концепцией деформационной эхокардиографии, согласно которой продольная деформация может отражать изменения сократительной функции, недостаточно выраженные для изменения интегрального показателя фракции выброса [5].

Вместе с тем интерпретация GLS у спортсменов требует осторожности. Значение этого показателя зависит от характера спортивной специализации, степени ремоделирования сердца, возраста и особенностей используемого оборудования. У тренированных лиц относительно менее отрицательные значения GLS в покое не обязательно свидетельствуют об органическом патологическом процессе. Поэтому диагностически более обоснованной представляется оценка GLS в совокупности с объёмными показателями и характером реакции на физическую нагрузку [1–3].

Важным результатом настоящей работы стало разделение механизмов увеличения сердечного выброса. В контрольной группе его рост сопровождался значительным увеличением ударного объёма и конечно-диастолического объёма левого желудочка. В группах OTS и «Стресс» ударный объём статистически значимо не увеличивался, а конечно-диастолический объём уменьшался. Увеличение сердечного выброса в этих группах происходило преимущественно за счёт учащения сердечных сокращений. Такой вариант ответа в рамках использованного протокола характеризовал ограничение объёмного компонента сердечного резерва. Он не является самостоятельным диагностическим критерием заболевания, однако позволяет отличать механизм гемодинамического ответа от наблюдаемого у физиологически адаптированных спортсменов.

Преимущество функционального подхода наглядно проявилось при оценке правого желудочка. У здоровых спортсменов нагрузка сопровождалась увеличением RV FAC и TAPSE, тогда как в обеих группах с функционально неблагоприятным профилем эти показатели снижались. Современные исследования подтверждают, что правый желудочек чувствителен к изменению гемодинамической нагрузки и что его реакция при физической нагрузке может содержать дополнительную информацию, отсутствующую при обследовании в покое [10].

При этом само по себе снижение отдельных показателей функции правого желудочка после интенсивной физической нагрузки не является специфическим признаком патологии. Метаанализ исследований спортсменов, занимающихся видами спорта на выносливость, показывает возможность транзиторного ухудшения некоторых показателей функции правого желудочка после продолжительной физической работы даже у здоровых лиц [11]. В настоящей работе использовалась короткая стандартизированная аэробная нагрузка с прекращением теста в аэробной зоне, поэтому полученный противоположный ответ групп следует интерпретировать именно применительно к использованному протоколу, а не переносить непосредственно на реакцию после марафонских или иных предельных нагрузок.

Аналогичная разнонаправленность была выявлена для функции предсердий и тканевых показателей диастолической функции. У здоровых спортсменов возрастали LAEF, RAEF и e′m, тогда как в группах OTS и «Стресс» они снижались. Это показывает, что различия между группами не ограничивались одним желудочком, а охватывали несколько камер сердца и показатели диастолической функции. В этом состоит одно из практических преимуществ многокамерного подхода: он позволяет оценивать согласованность функционального ответа различных отделов сердца.

Отдельного внимания заслуживает сходство нагрузочного ответа в группах OTS и «Стресс». В одном случае ведущим фактором являлся хронический дисбаланс между физической нагрузкой и восстановлением, в другом – длительное профессиональное психоэмоциональное напряжение. Несмотря на различную природу стрессора, обе группы характеризовались сходным направлением изменений GLS, объёмного резерва левого желудочка, показателей правого желудочка, предсердий и диастолической функции. Это позволяет говорить о сходстве функционального фенотипа, но не о доказанном единстве его патогенеза.

Такое разграничение принципиально важно. Современные данные связывают хронический психологический стресс с изменениями автономной регуляции, гемодинамическими, сосудистыми и иммунными реакциями [4]. Синдром перетренированности, в свою очередь, является комплексным состоянием, при котором стойкое снижение работоспособности формируется на фоне нарушения баланса нагрузки и восстановления и требует исключения других причин [9]. Следовательно, сходный эхокардиографический ответ при OTS и хроническом психоэмоциональном стрессе следует рассматривать как общий конечный функциональный паттерн, который потенциально может формироваться посредством различных механизмов.

Отдельные аспекты данной исследовательской программы публиковались ранее. Описана реакция правого желудочка при синдроме перетренированности [12], как методический подход представлена многокамерная нагрузочная оценка [13]. В отдельной работе использовались данные об GLS при анализе нарушений сна [14]. Настоящая работа отличается постановкой задачи: предметом анализа является не отдельная камера сердца и не описание диагностических критериев как таковых, а сравнительная количественная информативность стандартного и расширенного эхокардиографических подходов.

Стандартная модель, основанная на LVEF, LVEDV и E/A, продемонстрировала площадь под кривой 0,88, тогда как для расширенной модели в исследованной выборке этот показатель составил 1,00. При этом GLS в покое самостоятельно также обеспечивал площадь под характеристической кривой 1,00. Данный результат имеет принципиальное методическое следствие: в настоящей выборке именно GLS являлся наиболее сильным одиночным признаком разделения групп, поэтому полученные данные не позволяют утверждать, что добавление нагрузочных показателей повышало площадь под характеристической кривой сверх GLS.

Значение нагрузочной части расширенного протокола состоит в другом: она позволяет определить характер миокардиального резерва, установить механизм увеличения сердечного выброса и оценить согласованность реакции левого и правого желудочков, предсердий и диастолической функции. Таким образом, диагностическая ценность нагрузочного этапа в настоящем исследовании является преимущественно функционально-фенотипической, а не выражается в дополнительном приросте площади под характеристической кривой по сравнению с одним GLS.

Площадь под кривой 1,00 не следует трактовать как доказательство абсолютной диагностической точности разработанного подхода в других популяциях. В рамках настоящего исследования она отражает полное разделение заранее сформированных групп в анализируемой выборке. Отсутствие внешней проверки и независимого диагностического стандарта требует рассматривать результат как характеристику разделяющей способности модели в данной выборке, а не как окончательно валидированный диагностический тест.

В совокупности полученные результаты показывают, что у лиц без выявленной органической сердечно-сосудистой патологии стандартная эхокардиография в покое может не полностью характеризовать функциональное состояние сердца. GLS обеспечивает дополнительную информацию уже в состоянии покоя, а дозированная аэробная нагрузка позволяет определить направленность и согласованность изменений гемодинамики, функции желудочков, предсердий и диастолического наполнения. Такой подход представляется перспективным для функциональной оценки лиц, подвергающихся высоким спортивным или профессиональным нагрузкам, однако его применение должно основываться на комплексной интерпретации результатов, а не на одном изолированном показателе.

Выводы

Стандартная эхокардиографическая оценка в покое не в полной мере характеризует функциональное состояние сердца у лиц, подвергающихся высоким

физическим и психоэмоциональным нагрузкам. При сохранной LVEF у спортсменов с синдромом перетренированности и лиц с хроническим профессиональным психоэмоциональным стрессом выявлялись менее отрицательные значения GLS, а дозированная аэробная нагрузка позволяла установить дополнительные различия в характере сердечного ответа.

У здоровых высококвалифицированных спортсменов увеличение сердечного выброса сопровождалось приростом LVEDV и LVSV, усилением продольной деформации, увеличением показателей функции правого желудочка и предсердий и улучшением показателей диастолической релаксации. В группах OTS и «Стресс» рост сердечного выброса происходил преимущественно за счёт увеличения частоты сердечных сокращений при отсутствии статистически значимого прироста LVSV и сопровождался противоположно направленными изменениями GLS, RV FAC, TAPSE, LAEF, RAEF и e′m.

Площадь под кривой составила 0,88 для стандартной многопараметрической модели и 1,00 для расширенной модели. При этом GLS в покое самостоятельно также обеспечивал полное разделение исследуемых групп в данной выборке. Поэтому дополнительное значение нагрузочного этапа заключается прежде всего в характеристике миокардиального и многокамерного функционального резерва, а не в дальнейшем увеличении площади под характеристической кривой по сравнению с GLS.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Flanagan H., Cooper R., George K.P., Augustine D.X., Malhotra A., Paton M.F., Robinson S., Oxborough D. The Athlete's Heart: Insights from Echocardiography. Echo Res Pract. 2023;10;1:15. Doi:10.1186/s44156-023-00027-8.
2. Palermi S., Sperlongano S., Mandoli G.E., et al. Exercise Stress Echocardiography in Athletes: Applications, Methodology, and Challenges. J Clin Med. 2023;12;24:7678. Doi:10.3390/jcm12247678.
3. D'Ascenzi F., Sanz-de la Garza M., et al. Indications, Protocols, and Interpretation of Cardiovascular Imaging for the Evaluation and Management of Athletes: a Clinical Consensus Statement of the EAPC and EACVI of the ESC. Part 1 - Exercise Imaging. Eur Heart J Cardiovasc Imaging. 2026;27;8:1449–1468. Doi:10.1093/ehjci/jeag130.
4. Vaccarino V., Bremner J.D. Stress and Cardiovascular Disease: an Update. Nat Rev Cardiol. 2024;21;9:603–616. Doi:10.1038/s41569-024-01024-y.
5. Kato T., Harada T., Kagami K., Obokata M. The Roles of Global Longitudinal Strain Imaging in Contemporary Clinical Cardiology. J Med Ultrason. 2022;49;2:175–185. Doi:10.1007/s10396-021-01184-1.
6. Мацкеплишвили С.Т., Саидова М.А., Мироненко М.Ю., Сафарова А.Ф., Павлюкова Е.Н., Бощенко А.А., Ярославская Е.И., Ахунова С.Ю., Скидан В.И., Иртюга О.Б., Козленок А.В., Федорова Д.Н. Выполнение стандартной трансторакальной эхокардиографии. Методические рекомендации 2024 // Российский кардиологический журнал. 2025. Т.30. №2. С. 6271 [Matskeplishvili S.T., Saidova M.A., Mironenko M.YU., Safarova A.F., Pavlyukova Ye.N., Boshchenko A.A., Yaroslavskaya Ye.I., Akhunova S.YU., Skidan V.I., Irtyuga O.B., Kozlenok A.V., Fedorova D.N. Performance of standard transthoracic echocardiography. Methodological recommendations 2024 Performance of Standard Transthoracic Echocardiography. Methodological Recommendations 2024. Rossiyskiy Kardiologicheskiy Zhurnal = Russian Journal of Cardiology. 2025;30;2:6271 (In Russ.)]. Doi:10.15829/1560-4071-2025-6271.
7. Lang R.M., Badano L.P., Mor-Avi V., et al. Recommendations for Cardiac Chamber Quantification by Echocardiography in Adults: An Update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. Eur Heart J Cardiovasc Imaging. 2015;16;3:233–270. Doi:10.1093/ehjci/jev014.
8. Nagueh S.F., Smiseth O.A., Appleton CP, et al. Recommendations for the Evaluation of Left Ventricular Diastolic Function by Echocardiography. Eur Heart J Cardiovasc Imaging. 2016;17;12:1321–1360. Doi:10.1093/ehjci/jew082.
9. Meeusen R., Duclos M., Foster C., et al. Prevention, Diagnosis and Treatment of the Overtraining Syndrome: Joint Consensus Statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. Eur J Sport Sci. 2013;13;1:1–24. Doi:10.1080/17461391.2012.730061.
10. Gargani L., Pugliese N.R., De Biase N., et al.; RIGHT-NET Investigators. Exercise Stress Echocardiography of the Right Ventricle and Pulmonary Circulation. J Am Coll Cardiol. 2023;82;21:1973–1985. Doi:10.1016/j.jacc.2023.09.807.
11. Guo C., Zhang H., Yang C., et al. Right Ventricular Function in Athletes Engaged in Endurance Exercise Using Speckle Tracking Echocardiography: a Meta-Analysis. BMC Cardiovasc Disord. 2025;25;1:6. Doi:10.1186/s12872-024-04455-0.
12. Андреев Д.А., Киш А.А., Голобородько Е.В. Технология ранней диагностики скрытой дисфункции правого желудочка у высококвалифицированных спортсменов при синдроме перетренированности: контрольное исследование // Вестник восстановительной медицины. 2026. Т.25. №3. С. 77–82 [Andreyev D.A., Kish A.A., Goloborod'ko Ye.V. Technology for Early Diagnosis of Latent Right Ventricular Dysfunction in Highly Qualified Athletes with Overtraining Syndrome: a Control Study. Vestnik Vosstanovitel'noy Meditsiny = Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2026;25;3:77–82 (In Russ.)]. Doi: 10.38025/2078-1962-2026-25-3-77-82.
13. Андреев Д.А., Киш А.А., Разинкин С.М. Методологические подходы к ранней диагностике скрытой дисфункции сердца // Клинический вестник ФМБЦ им. А.И. Бурназяна. 2026. №2. С. 51–58 [Andreyev D.A., Kish A.A., Razinkin S.M. Methodological Approaches to Early Diagnosis of Hidden Cardiac Dysfunction. Klinicheskiy Vestnik FMBTS im. A.I. Burnazyana = A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center Clinical Bulletin. 2026;2:51–58 (In Russ.)]. Doi: 10.33266/2782-6430-2026-2-51-58.
14. Андреев Д.А., Киш А.А., Орлова Н.З. Влияние выраженных нарушений сна, обусловленных высоким психоэмоциональным напряжением, на состояние миокарда // Лечебная физкультура и спортивная медицина. 2025. Т.2. №176. С. 27–37 [Andreyev D.A., Kish A.A., Orlova N.Z. The Influence of Severe Sleep Disturbances Caused by High Psycho-Emotional Stress on the State of the Myocardium. Lechebnaya Fizkul'tura i Sportivnaya Meditsina = Physical Therapy and Sports Medicine. 2025;2;176:27–37 (In Russ.)].

Соблюдение этических стандартов: Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» ФМБА России (Москва, Россия), протокол №125 от 17.07.2025. Исследовательские процедуры соответствовали этическим стандартам учреждения и положениям Хельсинкской декларации. Одним из критериев включения являлось письменное информированное согласие на проведение комплексного медицинского обследования. В рукописи отсутствуют сведения, позволяющие идентифицировать участников; письменное согласие на публикацию соответствующей медицинской информации было получено.

Compliance with ethical standards: The study was approved by the local ethics committee of the A.I. Burnazyan State Research Center of the Federal Medical Biological Agency (FMBA) of Russia (Moscow, Russia), protocol No. 125 dated July 17, 2025. Research procedures were in accordance with the institution's ethical standards and the provisions of the Declaration of Helsinki. One of the inclusion criteria was written informed consent for a comprehensive medical examination. The manuscript contains no information that could identify the participants; written consent for the publication of the relevant medical information was obtained.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.
Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.
Поступила: 08.10.2026. Принята к публикации: 26.10.2026.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.
Financing. The study had no sponsorship.
Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors.
Article received: 08.10.2026. Accepted for publication: 26.10.2026