

ВЛИЯНИЕ ФЕНОТИПОВ АРХИТЕКТУРЫ ЛОЖНЫХ ХОРД В ЛЕВОМ ЖЕЛУДОЧКЕ НА ФИЗИЧЕСКУЮ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СПОРТСМЕНОВ

К.Р. Винокурова¹, kamilia_m@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2967-2655>
А.П. Епифанов¹, namastespace@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0001-3431-4353>
Ю.А. Зиновьева², ciklon@olympus.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5866-3400>
Ф.А. Бляхман^{1,3}, feliks.blyakhman@urfu.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4434-2873>
А.И. Ненашев⁴, x715xevilpartizan@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-6881-8963>

¹ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

² Свердловская областная больница № 2, Екатеринбург, Россия

³ Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия

⁴ Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

Аннотация. Цель: изучить влияние фенотипов ложных хорд в левом желудочке (ЛХЛЖ) сердца у спортсменов на их физическую работоспособность. **Материалы и методы.** В исследовании приняли участие 69 спортсменов циклических и игровых видов спорта в возрасте 16–26 лет. Всем участникам исследования была проведена трансторакальная эхокардиография, на основании чего была определена топология ЛХЛЖ и параметры глобальной и региональной структуры и функции миокарда. Нагрузочное тестирование атлетов было выполнено по максимальному протоколу с регистрацией ЭКГ и газоанализа. **Результаты.** Установлено: наличие двух поперечных ЛХЛЖ или сетевая архитектура хорд (более трех различных по ориентации элементов) являются наиболее неблагоприятными топологическими вариантами с точки зрения расходования функционального резерва и физической работоспособности. Это обусловлено значимым увеличением механической неоднородности миокарда, а также снижением экономизации расходования функционального резерва при адаптации сердца к физическим нагрузкам (увеличением прироста систолического напряжения стенки ЛЖ и снижением максимального потребления кислорода). Наиболее благоприятным с точки зрения занятий спортом является фенотип архитектуры ЛХЛЖ, для которого характерны единичные тонкие поперечные или малоугловые ЛХЛЖ. **Заключение.** Фенотипы архитектуры ЛХЛЖ детерминируют способность сердца адаптироваться к нагрузкам за счет соответствующего влияния аномалий на структурно-функциональную неоднородность стенки левого ЛЖ.

Ключевые слова: сердечно-сосудистая система, левый желудочек, ложные хорды, структурно-функциональная неоднородность миокарда, физическая работоспособность, спортсмены

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (тема № FEUZ-2026-0036).

Для цитирования: Влияние фенотипов архитектуры ложных хорд в левом желудочке на физическую работоспособность спортсменов / К.Р. Винокурова, А.П. Епифанов, Ю.А. Зиновьева и др. // Человек. Спорт. Медицина. 2026. Т. 26, № 3. С. 32–38. DOI: 10.14529/hsm260304

THE EFFECT OF LEFT VENTRICULAR FALSE TENDON PHENOTYPES ON EXERCISE PERFORMANCE IN ATHLETES

K.R. Vinokurova¹, kamilia_m@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2967-2655>

A.P. Epifanov¹, namastespace@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0001-3431-4353>

Yu.A. Zinovieva², ciklon@olympus.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5866-3400>

F.B. Blyakhman^{1,3}, feliks.blyakhman@urfu.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4434-2873>

A.I. Nenashev⁴, x715xevilpartizan@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-6881-8963>

¹ Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

² Sverdlovsk Regional State Hospital No. 2, Yekaterinburg, Russia

³ Ural State Medical University, Yekaterinburg, Russia

⁴ South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. Aim: this paper aims to investigate the effect of left ventricular false tendon (LVFT) phenotypes on physical performance in athletes. **Materials and methods.** This study involved 69 athletes from cyclic and team sports, aged 16–26 years. All participants underwent transthoracic echocardiography (ECG) to determine LVFT topology and parameters of global and regional myocardial structure and function. Exercise testing was performed according to a maximal protocol with ECG and gas exchange analysis. **Results.** The most unfavorable topologies with respect to functional reserve utilization and physical performance are two transverse LVFTs or a network-like chordal architecture (more than three elements differing in orientation). This phenomenon is due to a significant increase in myocardial mechanical inhomogeneity and reduced efficiency of functional reserve utilization during cardiac adaptation to physical load (increased systolic wall stress of the left ventricle and decreased maximal oxygen consumption). The most favorable LVFT phenotype for sports participation is characterized by single, thin, transverse, or small-angle LVFTs. **Conclusions.** LVFT phenotypes determine the heart's ability to adapt to physical load through the corresponding effect of abnormalities on structural and functional inhomogeneity of the LV wall.

Keywords: cardiovascular system, left ventricle, false tendons, structural and functional inhomogeneity, exercise performance, athletes

Acknowledgements. The research was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme № FEUZ-2026-0036).

For citation: Vinokurova K.R., Epifanov A.P., Zinovieva Yu.A., Blyakhman F.B., Nenashev A.I. The effect of left ventricular false tendon phenotypes on exercise performance in athletes. *Human. Sport. Medicine*. 2026;26(3):32–38. (In Russ.) DOI: 10.14529/hsm260304

Введение. Ложные хорды в левом желудочке сердца (ЛХЛЖ) представляют собой дополнительные мышечно-соединительно-тканые тяжи в полости левого желудочка с частотой встречаемости от 0,5 до 100 % случаев по данным отечественных и зарубежных исследований [4]. Значимость этих структурных образований является предметом многочисленных дискуссий и научных работ. По некоторым данным ЛХЛЖ связывают с нарушениями в работе сердечно-сосудистой системы, включая нарушения ритма, проводимости потенциала, снижения систолической и диастолической функций ЛЖ [3]. Наряду с этим ряд авторов придерживается более сдержанной позиции относительно ЛХЛЖ и выражает

мнение о безобидности хорд, в частности, у спортсменов [2].

Примечательно, что подходы к классификации ЛХЛЖ также отличаются в структуре исследований данного феномена. Так, большинство топографических классификаций учитывает регионы, в которых имеют место точки крепления хорд и их направление (поперечное, диагональное). Вместе с тем влияние сочетанных топологических вариантов ЛХЛЖ на функционирование сердца остается не изученным и не ясным. Такой подход имеет высокую ценность и важность, прежде всего, для спорта, где атлеты испытывают большие физические нагрузки.

Цель – изучить влияние фенотипов лож-

ных хорд в левом желудочке сердца у спортсменов на физическую работоспособность.

Материалы и методы. Исследование было проведено на базе лаборатории функциональных тестирований и комплексного контроля в спорте Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. В группу исследования вошли 69 спортсменов циклических и игровых видов спорта в возрасте от 16 до 26 лет (средний возраст составил $18,47 \pm 3,3$ года, длина тела – $173,04 \pm 12,4$ см, масса тела – $63,4 \pm 12,5$ кг, ИМТ – $21,8 \pm 1,9$ кг/м²). Исследование проведено в соответствии с принципами Хельсинкской декларации Всемирной организации здравоохранения. Перед проведением исследования все спортсмены дали свое письменное согласие на участие в исследовании и дальнейшую обработку и публикацию полученных данных в научных источниках.

Оценка глобальной и региональной структуры и функции ЛЖ была проведена методом трансторакальной ЭхоКГ с использованием ультразвукового диагностического аппарата Samsung NM70 EVO (Samsung Medison, Южная Корея). Исследование проводилось в М- и В-режимах, фазированным датчиком с частотой 3,5 МГц и линейным датчиком с частотой 7 МГц с последующей обработкой методом Speckle-tracking (Strain+).

Все ЭхоКГ параметры сопоставлялись с нормативными для спортсменов показателями в соответствии с международными рекомендациями [5]. Дополнительно к стандартным показателям глобального продольного стрейна (деформации) [6] были рассчитаны коэффициенты вариации деформаций по 18 регионам для каждого исследуемого.

Топология ЛХЛЖ с учетом точек крепления к стенкам ЛЖ, направлению и ориента-

ции в полости ЛЖ оценивалась на основании анализа ультразвуковых изображений в позициях из апикального доступа, а также по короткой оси на уровнях фиброзного кольца митрального клапана, папиллярных мышц и верхушки ЛЖ с последующей компьютерной обработкой видеоизображений сердца с помощью технологии Dicor [7].

На основании анализа результатов предварительных исследований были выделены четыре механистические фенотипа хордальной архитектуры ЛЖ:

Фенотип 1 – единичные срединные поперечные или «малоугловые» ЛХЛЖ, соединяющие соседние регионы в пределах срединного уровня камеры ЛЖ.

Фенотип 2 – одиночные протяженные диагональные хорды, формирующие межрегиональную связь между более удаленными зонами ЛЖ.

Фенотип 3 – две поперечные хорды при отсутствии протяженной диагональной хорды.

Фенотип 4 – сложная сеть ЛХЛЖ с распределенной системой внутренних связей.

В качестве примера на рис. 1 приведены результаты визуализации сердца с некоторыми фенотипами топологии ЛХЛЖ.

В соответствии с фенотипами топологии хорд контингент атлетов был разделен на группы следующим образом: группа 1–7 человек, 2–8, 3–11 и 4–43 атлета.

Нагрузочное тестирование проводилось методом велоэргоспирометрии под контролем ЭКГ по максимальному протоколу с непрерывно-возрастающей нагрузкой. Увеличение нагрузки в тесте осуществлялось пропорционально массе тела исследуемого и составляло в среднем $\frac{1}{2}$ от массы тела (в общей выборке – от 30 до 40 Вт/мин). На протяжении всего теста регистрировали ЭКГ в 12-отведениях,



Рис. 1. Примеры визуализации фенотипов архитектуры ложных хорд
Fig. 1. Examples of LVFT phenotype visualization

ЧСС и динамику сегмента ST. Методом мета-болографии оценивались потребление кислорода (VO_2), легочная вентиляция, частота дыхания, вентиляционные пороги (аэробный и анаэробный).

Для детальной оценки миокардиальной реакции на нагрузку был дополнительно рассчитан показатель прироста систолического напряжения стенки ЛЖ как разность систолического напряжения на пике нагрузки и в покое. Для расчета систолического напряжения стенки ЛЖ (CHC) применяли формулу

$$CHC \text{ (Г/см}^2\text{)} = 0,334Pd / (h(1 + (h/d))),$$

где P – систолическое давление, d – КСР, h – толщина задней стенки левого желудочка в систолу (ЗСЛЖс) [1].

Статистическая обработка данных проводилась с использованием пакетов программ Excel (Microsoft Office 2019), SPSS Statistics 27.0 (IBM), Python с использованием библиотек pandas, scipy.stats и statsmodels.

Для всех физиологических параметров были рассчитаны среднее значение (M), стандартное отклонение (SD), минимальные и максимальные наблюдаемые значения. Перед выполнением сравнительного анализа данные прошли многоэтапную процедуру предобработки, включавшую приведение типов переменных, обработку пропусков и контроль качества измерений. Для каждого показателя были рассчитаны три варианта межгруппового сравнения: классический однофакторный ANOVA, Welch ANOVA и критерий Kruskal – Wallis. Использование нескольких тестов было обусловлено неравномерными размерами групп и распределением показателей. Дополнительно оценивались критерий Левена для проверки однородности дисперсий и минимальное значение (p) по тесту Шапиро – Уилка внутри групп. Уровень достоверности считали при $p < 0,05$.

Результаты. Глобальная структура и функция ЛЖ во всей выборке соответствовала нормальным значениям для спортсменов, что подтверждает отсутствие негативного влияния непосредственно ложных хорд на функционирование сердца у здоровых лиц. Однако при рассмотрении некоторых параметров механической функции ЛЖ и его способности адаптироваться к физическим нагрузкам с учетом фенотипов топологии ЛХЛЖ был установлен ряд закономерностей.

Так, наименьшая медиана индекса массы миокарда ЛЖ наблюдалась при первом фенотипе и составляла 60,0 г/м². Для второго фе-

нотипа медиана была наиболее высокой и составляла 97,0 г/м². Для третьего и четвертого фенотипов медиана составляла 83,0 г/м² и 75,0 г/м² соответственно. Другими словами, минимальные значения индекса массы миокарда отмечались при локальной поперечной ЛХЛЖ, более высокие – при сетевой архитектуре, еще более высокие – при двух поперечных ЛХЛЖ без протяженной диагональной хорды, максимальные – при одиночной протяженной диагональной хорде.

Распределение прироста систолического напряжения стенки ЛЖ (ΔCHC) по фенотипам архитектуры хорд также имело различия. Медиана ΔCHC в группе единичной поперечной хорды составляла 25,39 г/см². В группе одиночной протяженной косой хорды медиана была выше и составляла 35,37 г/см². В группе двух поперечных хорд без протяженной косой хорды медиана соответствовала наиболее низким значениям и составляла 12,22 Г/см². В группе сети хорд медиана составляла 24,30 Г/см².

Таким образом, наиболее высокое медианное значение ΔCHC наблюдалось у исследуемых с одиночной протяженной косой ЛХЛЖ, а наиболее низкое – у лиц с двумя поперечными хордами без протяженной косой хорды. Отдельного внимания заслуживает группа лиц с сетью хорд. Несмотря на умеренную медиану 24,30 Г/см², именно в этой группе присутствовало максимально высокое значение ΔCHC – 135 Г/см². Это указывает на то, что сетевая архитектура хорд может включать как умеренные варианты нагрузочного ответа, так и отдельные случаи крайне выраженного прироста механического напряжения стенки ЛЖ.

Региональная функция также имела различия между группами. На рис. 2 представлено распределение CV деформации ЛЖ по фенотипам архитектуры ЛХЛЖ. Медиана CV деформации ЛЖ в первом фенотипе составляла 21,09 %. В группе одиночной протяженной диагональной хорды медиана была близкой и составляла 20,00 %. В группе двух поперечных хорд без протяженной диагональной хорды медиана составляла 21,93 %. Наиболее высокая медиана наблюдалась в группе сети хорд и составляла 28,39 %.

Таким образом, CV деформации ЛЖ показал более заметное различие между группами. Три первые группы имели близкие медианные значения около 20–22 %, тогда как группа сети хорд имела более высокую ме-

диану, приближающуюся к 28–29 %. Данный факт может указывать на то, что именно распределенная сетевая архитектура в большей степени связана с повышенной неоднородностью деформации ЛЖ. Следовательно, *CV* деформации ЛЖ можно рассматривать как один из ключевых показателей, который лучше отражает различия между фенотипами хордальной архитектуры.

После описательного анализа, межгрупповых сравнений и *post-hoc* проверки был выполнен скорректированный анализ взаимосвязи фенотипов архитектуры хорд с инте-

гральным показателем аэробной работоспособности – максимальным потреблением кислорода.

На рис. 3 представлены скорректированные средние значения МПК с учетом пола, возраста и площади поверхности тела. Наибольшее расчетное значение отмечалось в первом фенотипе – 60,87 мл/мин/кг. Для второго фенотипа скорректированное значение составляло 54,98 мл/кг/мин. Наименьшее значение наблюдалось в третьем и четвертом фенотипах – 43,42 и 50,59 мл/кг/мин соответственно. Другими словами, две поперечные хорды

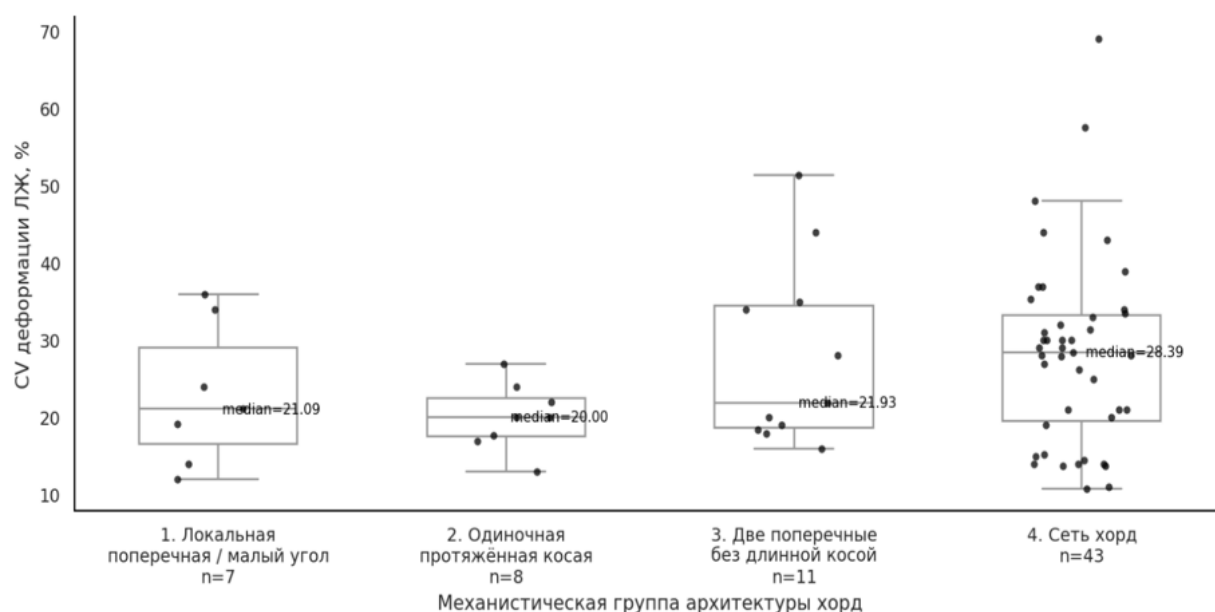


Рис. 2. Распределение коэффициента вариации интегрального показателя глобальной деформации ЛЖ по фенотипам архитектуры хорд

Fig. 2. Coefficient of variation of the global LV strain index by FT phenotype

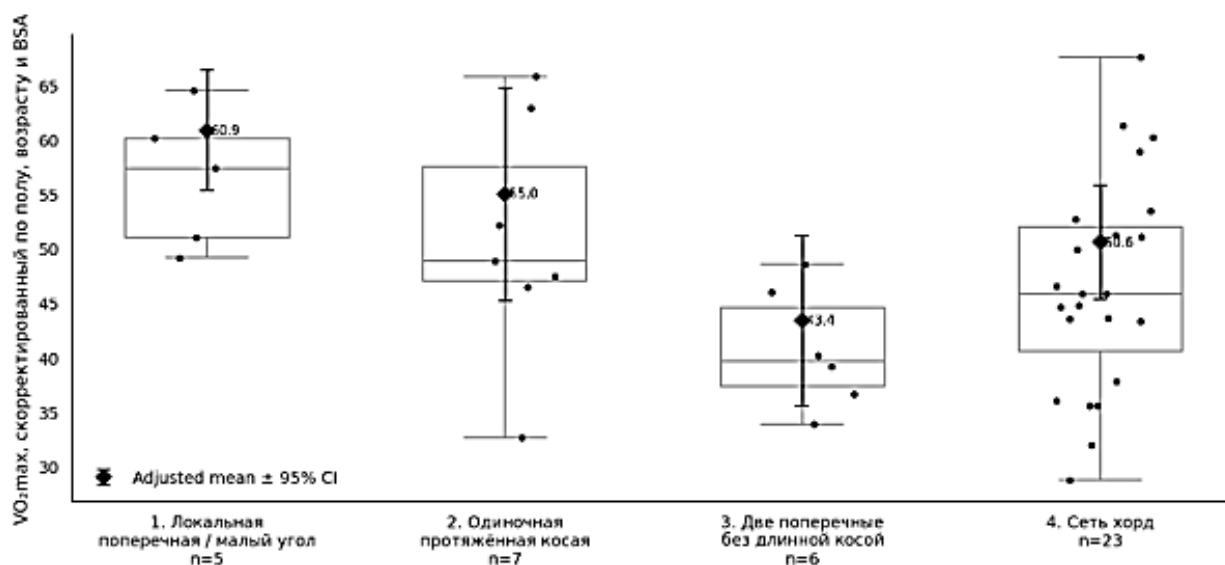


Рис. 3. Скорректированные средние значения МПК по фенотипам архитектуры хорд

Fig. 3. Adjusted mean VO₂max values by LVFT phenotype

без протяженной диагональной ассоциировались с наиболее выраженным снижением МПК относительно группы с единичной поперечной ЛХЛЖ. Сеть хорд также характеризовалась снижением МПК, но одновременно отличалась высокой внутригрупповой вариабельностью. Это поддерживает основную идею классификации: значение имеет не только наличие хорд, а их пространственная организация и предполагаемая механическая роль.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о влиянии соответствующего фенотипа топологии хорд на механическую функцию миокарда и степень ее неоднородности. Это дает основание говорить о том, что степень адаптации к физическим нагрузкам спортсменов с ЛХДЖ зависит от того, в какой степени ложные хорды детерминируют региональную структуру и функцию миокарда.

Заключение. В работе оценена работоспособность спортсменов с ложными хордами в левом желудочке. Атлеты были разделены на подгруппы в зависимости от топологии ЛХЛЖ. В отличие от известных подходов, отдельно описывающих ориентацию хорд, их

количество или степень сложности, предложенная классификация была сделана с учетом возможной механической роли хорд внутри полости ЛЖ.

Поперечные или малоугловые хорды рассматривались как локальные жесткие связи, способные ограничивать движение участков ЛЖ в пределах одной зоны по длинной оси ЛЖ. Протяженные диагональные хорды рассматривались как структуры, связывающие более удаленные механические участки стенки ЛЖ. Наконец, множественные сочетания ЛХЛЖ интерпретировались как упругая сеть, способная создавать распределенную систему внутренних механических связей. По результатам детального анализа ультразвуковых изображений сердца в разных сечениях ЛЖ хорды были классифицированы в рамках четырех механистических фенотипов.

Выяснилось, что фенотипы архитектуры ЛХЛЖ детерминируют способность сердца атлетов адаптироваться к нагрузкам за счет соответствующего влияния аномалий на структурно-функциональную неоднородность стенки левого ЛЖ.

Список литературы

1. Различия в геометрии левого желудочка у здоровых лиц, оптимизация формы или начало ремоделирования / Е.Н. Бурдина, А.Н. Шопин, А.В. Соболев и др. // *Фундамент. исследования*. – 2010. – № 3. – С. 30–36.
2. Шарыкин, А.С. Ложные хорды левого желудочка как источник аритмий: миф или реальность? / А.С. Шарыкин, В.А. Бадтиева // *Педиатрия. Журнал им. Г.Н. Сперанского*. – 2018. – № 97 (3). – С. 125–132. DOI: 10.24110/0031-403X-2018-97-3-125-132
3. Ahmad, Z.S. Echocardiographic study of left ventricular false tendons / Z.S. Ahmad, C. Koshy, G.A. Koshy // *Journal of the Indian Academy of Echocardiography and Cardiovascular Imaging*. – 2019. – Vol. 3 (3). – P. 150–155.
4. Cardiac ventricular false tendons: A meta-analysis / M. Carrasco, T.M.S. Cabrito, M.J. Montabano et al. // *Clinical Anatomy*. – 2024. – Vol. 37 (1). – P. 114–129. DOI: 10.1002/ca.24116
5. European Association of Preventive Cardiology (EAPC) and European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI) joint position statement: recommendations for the indication and interpretation of cardiovascular imaging in the evaluation of the athlete's heart / A. Pelliccia, S. Caselli, S. Sharma et al. // *European Heart Journal*. – 2017. – Vol. 0. – P. 1–27. DOI: 10.1093/eurheartj/ehx532
6. Patterns of left ventricular longitudinal strain and strain rate in Olympic athletes / S. Caselli, D. Montesanti, C. Autore et al. // *J Am Soc Echocardiogr*. – 2015. – Vol. 28. – P. 245–253.
7. Sokolov S.Yu., Kolchanova S.G., Ustuzganin S.S., Blyakhman F.A. A program DICOR for the determination of the regional myocardial contractility. Program for PC, database, IC topology. Patent RU No. 2002610607. – 2002. – Vol. 3. – P. 79.

References

1. Burdina E.N., Shopin A.N., Sobolev Ya.B. et al. [Differences in Left Ventricular Geometry in Healthy Individuals. Shape Optimization or the Onset of Remodeling]. *Fundamental'niye issledovaniya* [Fundamental Research], 2010, no. 3, pp. 30–36. (in Russ.)
2. Sharykin A.S., Badtyeva V.A. [False Chords of the Left Ventricle as a Source of Arrhythmias: Myth or Reality?]. *Pediatrics. Zhurnal im. G. N. Speranskogo* [Pediatrics. Journal named after G.N. Speransky], 2018, vol. 97 (3), pp. 125–132. (in Russ.) DOI: 10.24110/0031-403X-2018-97-3-125-132

3. Ahmad Z.S., Koshy C., Koshy G.A. Echocardiographic Study of Left Ventricular False Tendons. *Journal of the Indian Academy of Echocardiography and Cardiovascular Imaging*, 2019, vol. 3 (3), pp. 150–155. DOI: 10.4103/jiae.jiae_40_19
4. Carrasco M., Cabrito T.M.S., Montablano M.J. et al. Cardiac Ventricular False Tendons: A Meta-analysis. *Clinical Anatomy*, 2024, vol. 37 (1), pp. 114–129. DOI: 10.1002/ca.24116
5. Pelliccia A., Caselli S., Sharma S. et al. European Association of Preventive Cardiology (EAPC) and European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI) Joint Position Statement: Recommendations for the Indication and Interpretation of Cardiovascular Imaging in the Evaluation of the Athlete's Heart. *European Heart Journal*, 2017, vol. 0, pp. 1–27. DOI: 10.1093/eurheartj/ehx532
6. Caselli S., Montesanti D., Autore C. et al. Patterns of Left Ventricular Longitudinal Strain and Strain Rate in Olympic Athletes. *Journal American Society Echocardiogram*, 2015, vol. 28, pp. 245–253. DOI: 10.1016/j.echo.2014.10.010
7. Sokolov S.Yu., Kolchanova S.G., Ustuzganin S.S., Blyakhman F.A. A Program DICOR for the Determination of the Regional Myocardial Contractility. Program for PC, Database, IC Topology. Patent RU no. 2002610607, 2002, vol. 3, 79 p.

Информация об авторах

Винокурова Камелия Рамазановна, кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры сервиса и оздоровительных технологий, заведующий лабораторией функциональных тестирований и комплексного контроля в спорте, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия.

Епифанов Арсений Павлович, студент магистратуры Института физической культуры, спорта и молодежной политики по направлению подготовки «Физическая культура», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия.

Зиновьева Юлия Александровна, кандидат медицинских наук, заведующий отделением функциональной диагностики, Свердловская областная больница № 2, Екатеринбург, Россия.

Бляхман Феликс Абрамович, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры физики конденсированного состояния и наноразмерных систем Института естественных наук и математики, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия; профессор кафедры медицинской физики и цифровых технологий, Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия.

Ненашев Александр Игоревич, студент магистратуры кафедры теории и методики физической культуры и спорта, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия.

Information about the authors

Kamiliya R. Vinokurova, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Service and Health Technologies, Head of the Laboratory of Functional Testing and Integrated Control in Sports, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia.

Arseniy P. Epifanov, Master's Student, Institute of Physical Education, Sports, and Youth Policy, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia.

Yulia A. Zinovieva, Candidate of Medical Sciences, Head of the Functional Diagnostics Department, Sverdlovsk Regional Hospital No. 2, Yekaterinburg, Russia.

Felix A. Blyakhman, Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor, Department of Condensed Matter Physics and Nanoscale Systems, Institute of Natural Sciences and Mathematics, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia; Professor of the Department of Medical Physics and Digital Technologies, Ural State Medical University, Yekaterinburg, Russia.

Aleksandr I. Nenashev, Master's Student, Department of Theory and Methods of Physical Education and Sports, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 16.02.2026

The article was submitted 16.02.2026