


DOI 10.22363/2313-0245-2022-26-4-451-460

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ  
REVIEW

## Аспекты гетерогенности миокарда в оценке его ремоделирования

Е.Н. Минина<sup>1</sup> , Е.Е. Степура<sup>2</sup>  <sup>1</sup>Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь, Российская Федерация<sup>2</sup>Московский городской педагогический университет, Институт естествознания и спортивных технологий,  
г. Москва, Российская Федерация  
 [chimik89@mail.ru](mailto:chimik89@mail.ru)

**Аннотация.** Влияние спортивной деятельности на сердечно-сосудистую систему сопровождается физиологической адаптацией организма. Интенсивные физические нагрузки, намного превышающие возможности организма, могут приводить к структурным изменениям или ремоделированию миокарда спортсмена. Обзор посвящен изучению гетерогенности миокарда и нацелен на привлечение внимания врачей, физиологов, биологов, исследователей и разработчиков программ компьютерного анализа ЭКГ к прогностически значимым показателям. Основываясь на механизмах электрической гетерогенности миокарда желудочков, в обзоре рассмотрены результаты клинических исследований российских и зарубежных специалистов. Обсуждаются высокие прогностические возможности показателей по выявлению фатальных и не фатальных сердечно-сосудистых событий и внезапной сердечной смерти. Обнаружено, что скоростные показатели электрической активности сердца являются наиболее ранним маркером нарушений сердечного ритма и проводимости. Факторы риска – артериальная гипертензия, курение, гиперхолестеринемия и избыточная масса тела – ассоциируются со снижением скоростных показателей электрической активности сердца и увеличением гетерогенности миокарда. Приведенные данные позволяют сделать вывод, что электрическая гетерогенность миокарда является прогностически значимым показателем по выявлению фатальных и не фатальных сердечно-сосудистых событий, широко обсуждается в зарубежной литературе, но не используются отечественными специалистами.

**Ключевые слова:** сердце, гетерогенность миокарда, левый желудочек, ремоделирование сердца

**Информация о финансировании.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования.

**Вклад авторов.** Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

**Информация о конфликте интересов.** Авторы заявляет об отсутствии конфликта интересов.

© Минина Е.Н., Степура Е.Е., 2022



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

**Этическое утверждение** — неприменимо.

**Информированное согласие на публикацию** — неприменимо.

**Благодарности** — неприменимо.

**Информированное согласие на публикацию** — неприменимо.

Поступила 04.10.2022. Принята 14.11.2022.


**Для цитирования:** Минина Е.Н., Степура Е.Е. Аспекты гетерогенности миокарда в оценке его ремоделирования // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина. 2022. Т. 26. № 4. С. 451—460. doi: 10.22363/2313-0245-2022-26-4-451-460

## Aspects of myocardial heterogeneity in assessment its remodeling

Elena N. Minina<sup>1</sup> , Evgeny E. Stepura<sup>2</sup>  

<sup>1</sup>Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky, *Simferopol Russian Federation*

<sup>2</sup>Moscow City Pedagogical University, Institute of Natural Science and Sports Technologies, *Moscow, Russian Federation*

 chimik89@mail.ru

**Abstract.** The influence of sports activity on the cardiovascular system is accompanied by physiological adaptation of the organism. Intense physical activity, far exceeding the body's capabilities, can lead to structural changes or remodeling of the athlete's myocardium. The review is devoted to the study of myocardial heterogeneity and is aimed at attracting attention of physicians, physiologists, biologists, researchers and developers of ECG computer analysis programs to prognostically significant indicators. Based on the mechanisms of electrical heterogeneity of the ventricular myocardium, the review considers the results of clinical studies by Russian and foreign specialists. The high predictive capabilities of indicators for the detection of fatal and non-fatal cardiovascular events and sudden cardiac death are discussed. It was found that the speed indicators of the electrical activity of the heart are the earliest marker of cardiac arrhythmias and conduction disorders. Risk factors - arterial hypertension, smoking, hypercholesterolemia and overweight — are associated with a decrease in the rate of electrical activity of the heart and an increase in myocardial heterogeneity. The data presented allow us to conclude that myocardial electrical heterogeneity is a prognostically significant indicator for the detection of fatal and non-fatal cardiovascular events; it is widely discussed in foreign literature, but is not used by domestic specialists.

**Key words:** heart, myocardial heterogeneity, left ventricle, cardiac remodeling

**Funding.** The authors received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

**Author contributions:** All authors have made significant contributions to the development concepts, research and manuscript preparation, read and approved final version before publication.

**Conflicts of interest statement.** Authors declare no conflict of interest.

**Ethics approval** — not applicable.

**Acknowledgements** — not applicable.

**Consent for publication** — not applicable.

Received 04.10.2022. Accepted 14.11.2022.

**For citation:** Minina EN, Stepura EE. Aspects of myocardial heterogeneity in assessment its remodelling. *RUDN Journal of Medicine*. 2022;26(4):451—460. doi: 10.22363/2313-0245-2022-26-4-451-460

## Введение

Функционирование миокарда, как одна из закономерностей организации сердечной деятельности, включает в себя различные структурные элементы, как по своей природе, так и происхождению.

Воздействие нагрузочных факторов внешней и внутренней среды различной природы сопровождаются компенсаторным кардиогемодинамическим реагированием. Например, интенсивный тренировочный процесс приводит в процессе адаптации к физической и психоэмоциональной нагрузке к структурным изменениям или ремоделированию миокарда спортсмена.

Для обозначения структурных изменений сердца N. Sharp в конце 70-х гг. [1] ввел термин «ремоделирование сердца», что проявляется в увеличении его массы, изменении геометрических показателей, а в результате изменении трансмембранного потенциала. В клинической практике встречается ситуация, когда ремоделирование миокарда обусловлено сложной комбинацией различных факторов, например, ишемией, нарушениями гемодинамики, а также увеличением уровней гормонов и вазоактивных пептидов в плазме крови.

Основной структурной единицей сердечной поперечно-полосатой мышечной ткани является миоцит, который в процессе влияния различных факторов может «ремоделировать». В изменении структурных особенностей сердца можно выделить следующие компоненты, которые подвержены ремоделированию — фибробласты, коронарные сосуды, интерстиций и коллаген. В основе патофизиологических изменений ремоделирования сердца могут быть различные этиологические факторы, также может происходить изменение структуры

кардиомиоцитов; может наблюдаться воспаление и резорбция некротической ткани; гипертрофия клеток сердечной мышечной ткани; апоптоз кардиомиоцитов [2, 3].

Ремоделирование миокарда при физических нагрузках.

При интенсивных физических нагрузках может также наблюдаться ремоделирование сердечного состояния, которые в настоящее время активно изучаются. У спортсменов на фоне физических нагрузок наблюдается рост адаптационных резервов организма, что приводит к стресс-индуцированными повреждениями миокарда. Для «спортивного сердца» необходимо учитывать специфику нагрузок у представителей различных спортивных групп [4—8].

Во время интенсивных физических нагрузок происходит адаптация к психофизическим нагрузкам, наблюдаются изменения функций сердца и особенностей его ремоделирования, что лежит в основе образования функциональной адаптационной системы организма и приводит к формированию взаимоотношения нервных центров, гормональных, вегетативных и исполнительных органов для решения адаптивных задач во время тренировок и соревнований [9—11]. Полученный результат во время тренировок может дихотомически ветвиться, с одной стороны может развиваться функционально-приспособительные изменения, а с другой стороны могут наблюдаться сдвиги в сторону патологических изменений. При оптимальном выборе тренировочных нагрузок можно привести к балансу между структурными изменениями клеток кардиомиоцитов и их энергообеспечением.

Патологические изменения «спортивного сердца» могут наблюдаться в изменение структуры скоростного трансмембранного потенциала клеток кардиомиоцитов. В результате может наблюдаться электрофизиологическое ремоделирование, которое включает в себя несколько этапов [12]. На первом этапе наблюдается изменение скоростных особенностей электрической активности сердца (ЭАС), а также соотношение деполяризации и реполяризации. На втором этапе наблюдается при интенсивных физических нагрузках структурные изменения миокарда. На третьем этапе развивается электрическая нестабильность миокарда и наблюдается снижение трансмембранного потенциала покоя кардиомиоцита [13—16].

В практике в зависимости от тренировочных процессов и нагрузок наблюдаются различные формы гипертрофии миокарда, такие как D и L. В каждой форме гипертрофии миокарда наблюдаются свои физиологические особенности. При D-гипертрофии за счет утолщения структуры мышечных волокон наблюдается рост физиологического поперечника сердца. Данный вид гипертрофии можно встретить у спортсменов, которые тренируются на выносливость [17, 18]. А L-гипертрофия наблюдается у спортсменов, которые занимаются ациклическими видами спорта, у них отмечается увеличение объемов полостей сердца и удлиненные мышечные волокна [4, 19, 20]. Таким образом, когда происходит перенапряжение мышечной работы, не соответствующее функциональным резервам и подготовленности спортсменов, то развиваются процессы перетренированности и перенапряжения, в результате могут наблюдаться как предпатологические, так и патологические состояния миокарда. В результате ремоделирование левого желудочка (ЛЖ) происходит по неадаптивному типу, что приводит к нарушению его функций и изменению геометрических параметров [21—26].

Таким образом, влияние спортивной деятельности на сердечно-сосудистую систему не всегда сопровождается физиологической адаптацией организма и повышением работоспособности [4, 24, 27]. При длительных физических нагрузках наблюдается морфофункциональное ремоделирование сердца

с гипертрофией миокарда и гиперфункцией левого желудочка [6, 9—11, 28—30].

При этом ремоделирование миокарда левого желудочка признается как необходимое условие адаптации сердца спортсмена. Однако хотя она и представляет собой физиологическую приспособительную реакцию на гиперфункцию, она является переходным этапом к развитию патологической гипертрофии. В тренировочный период, при увеличении доли высокоинтенсивных нагрузок перед соревнованиями и длительной гиперфункции сердца, численность спортсменов с наличием нарушений ЭКГ-признаков увеличиваются. В настоящее время выделяют следующие основные факторы изменения ЭКГ лиц при систематических занятиях спортом, [31—35]:

1. Превазирование в регуляции парасимпатического отдела и лабильный тонус вегетативной нервной системы;

2. Электрофизиологическое ремоделирование;

3. Морфофункциональное ремоделирование.

Вышеописанные процессы относят к физиологическим изменениям спортивного сердца. Такое ремоделирование не имеет отношения к патологическим модификациям в миокарде, свойственным некоторым заболеваниям [36—38]. Европейское общество кардиологов сформировало критерии показателей ЭКГ, классифицирующие адекватную электрическую и структурно-функциональную перестройку сердца в процессе регулярных физических упражнений и патологические изменения, не связанные с физической активностью и физиологической адаптацией к различным видам спортивных нагрузок.

### Маркеры гетерогенности миокарда

В процессе патологических изменений при развитии заболеваний так же происходят электрофизиологические и морфологические деформации. Авторы Г.Ш. Малкиман, Э.Г. Волкова и С.Ю. Левашов рассматривают ремоделирование миокарда у мужчин, страдающих острым коронарным синдромом, и отмечают, что ранними маркерами

нарушения и проводимости сердечного ритма, являются показатели электрической активности сердца [39]. Исследуемая группа мужского пола (с острым коронарным синдромом) сравнивалась с контрольной группой, результаты показали неоднородность скорости активации левого желудочка, что характеризует гетерогенность миокарда. Также отмечается, что на увеличение активности гетерогенности миокарда могут влиять такие факторы, как курение, повышенный индекс массы тела и артериальная гипертензия.

Другая группа авторов В.В. Бекезин, А.А. Муравьев, П.В. Белогубов, В.И. Рузов, А.В. Фролов, Т.Г. Вайханская [40—42] отмечают связь морфофункциональных изменений ремоделирования левого желудочка с маркерами гетерогенности миокарда. Они отмечают, что фибрилляция предсердий выражена на фоне структурно-функциональных изменений миокарда, наблюдается гипертрофия левого желудочка, а также элементы дилатации как предсердий, так и желудочков, что показывает выраженность гетерогенности.

Авторы работ П.В. Белогубов, В.И. Рузов, А.Э. Гомбожапова, Ю.В. Роговская, Г.А. Муровцева, В.В. Константинов [44—46] проводили анализ желудочкового комплекса QT на электрокардиограмме у женщин с артериальной гипертензией и у здоровых девушек. У группы «гипертоническая болезнь с тяжелой желудочковой аритмией (ТЖА)» наблюдалось наиболее часто на ЭКГ удлиненное QTc, по сравнению с группой «гипертоническая болезнь с желудочковой экстрасистолой (ЖЭ) низких градаций», у здоровых девушек удлиненный QTc отсутствовал. Таким образом, анализ желудочкового комплекса QT в разных исследуемых группах доказывает прогностическую ценность ЭКГ-маркеров желудочковой аритмии при артериальной гипертензии — повышение значений dQT и QTc у женщин с гипертензией связано с развитием тяжелых желудочковых аритмий (ЖА), свидетельствующих о гетерогенности миокарда, что может привести к различным патологическим отклонениям, таким как изменения ритма желудочка или возбуждение вокруг слабых участков.

Авторы Е.Ю. Есина, А.А. Зуйкова, Г.Г. Иванов, Е.Ю. Берсенева, В.Е. Дворников, В.В. Крандычева, М.В. Стрелкова, К.В. Шумихин, С.Н. Харин [47—49] показывают, что интервал QT и его дисперсия (QTd), составляющие электрическую систолу, изменяются соответственно функциональному состоянию миокарда. В результате проведенных исследований, при анализе ЭКГ отмечаются сдвиги QT и QTd, которые ухудшают электрогенез миокарда в связи с аварийной гиперфункцией правого желудочка, ишемической гетерогенностью миокарда при ишемической болезни сердца (ИБС). Таким образом, разработанный систоло-диастолический индекс дополняет прогностическое значение длительности электрической систолы и ее дисперсии. В сочетании с другими волновыми характеристиками ЭКГ систоло-диастолический индекс позволяет динамически оценить функциональное состояние миокарда.

Авторы Ю.А. Барменкова, Е.В. Душина, М.В. Лукьянова, В.А. Галимская [50] оценивали влияние терапии статинами на динамику параметров гетерогенности у больных инфарктом миокарда и отмеченным на ЭКГ подъемом S-T. В результате проведенных исследований выявлена благоприятная динамика показателей поздних потенциалов желудочков QRSf, зафиксировано укорочение QTc в период сна и QTc в дневные часы, а также наблюдалось уменьшение QTa и sdATa ночью. Таким образом, достижение целевых значений липопротеинов низкой плотности благоприятно сказывается на стабилизации электрофизиологических процессов, протекающих в миокарде, о чем свидетельствует снижение частоты регистрации поздних потенциалов желудочков, укорочение периода реполяризации в пораженном миокарде.

Были проведены клинические исследования авторами Ю.А. Барменковой, Е.В. Душиной, А.А. Орешкиной, В.Э. Олейниковым, Е.В. Душиной, Ю.А. Гуськовой, Л.И. Саямовой [51, 52] на пациентах, с подтвержденным острым инфарктом миокарда и отмеченным на ЭКГ подъемом S-T. Исследуемые были рандомным методом генерации разделены на две группы: 1-ая группа получала аторвастатин в дозе 20 мг в сутки, а вторая группа получала

аторвастатин в дозе 80 мг/сутки. Общая продолжительность лечения составила 24 недели. Таким образом, на фоне высокодозовой статинотерапии у пациентов со ST в течение 24 недель отмечается положительная динамика некоторых параметров электрической нестабильности миокарда.

В экспериментальных условиях В.С. Кузьмин и Л.В. Розенштраух [53] исследовали роль миокарда в формировании фибрилляции предсердий у различных лабораторных животных, в результате наблюдались анатомические, гистологические и электрофизиологические различия этой структуры. В своих исследованиях авторы использовали метод оптического картирования и исследовали хронотопографию возбуждения в миокарде легочных вен крыс. Авторы отмечают, что предсердный миокард и миокард легочных вен крысы незначительно различается по таким параметрам, как время активации, скорость проведения возбуждения. Авторы предполагают, что причиной блоков проведения возбуждения является гистологическая гетерогенность, а также отмечается высокое межклеточной сопротивление в миокарде легочных вен.

Авторы С.В. Савченко, И.В. Твердохлеб, Л.В. Шпак, J. He, G. Tse, V.I. Popadyuk, D.A. Shvec и S.V. Povetkin [54—59] изучали изменения эндотелиоцитов кровеносных сосудов миокарда. Использовали аутопсийный материал острой коронарной недостаточности при ишемическом повреждении сердца в случаях скоропостижной смерти. Обнаружено, что некоторые клетки мышечной ткани находились в состоянии фрагментации, а также наблюдались поврежденные кардиомиоциты за счет усиленной анизотропии. В некоторых участках наблюдался миоцитоллиз. При гистологическом анализе сердечной мышечной ткани, выявлены очаги гетерогенности, характерной для коронарной недостаточности.

## Выводы

Таким образом, электрическая нестабильность на фоне гипертрофии миокарда, возникающая из-за неупорядоченного распределения миоцитов, фиброз-

ных изменений и негомогенности процесса реполяризации, проявляется клиническими нарушениями ритма и прогностически характеризуется различной степенью риска заболеваний. Основываясь на механизмах электрической гетерогенности миокарда желудочков, рассмотрены наиболее вероятные показатели ЭКГ, отражающие этот процесс. В клинических исследованиях показаны высокие прогностические возможности этих показателей по выявлению фатальных и нефатальных сердечно-сосудистых событий и внезапной сердечной смерти. Обнаружено, что скоростные показатели электрической активности сердца являются наиболее ранним маркером нарушений сердечного ритма и проводимости.

## Библиографический список

1. White H.D., Norris R.M., Brown M.A., Brandt P.W., Whitlock R.M., Wild C.J. Left ventricular end-systolic volume as the major determinant of survival after recovery from myocardial infarction. *Circulation* // 1987. V. 76. № 1. P. 44-51. doi: 10.1161/01.cir.76.1.44
2. Глезер М.Г. Особенности гетерогенности миокарда // Клиническая геронтология. 2000. Т. 6. № 1—2. С. 33—43.
3. Cohn J.N., Ferrari R., Sharpe N. // *Cardiol.* [Amer.]. 2000. Vol. 35. P. 569—582.
4. Василенко В.С. Левин М.Я., Антонова И.Н. Факторы риска и заболевания сердечно-сосудистой системы у спортсменов. СПб: СпецЛит. 2016. 206 с.
5. Михайлова А.В. Перенапряжение спортивного сердца // Лечебная физкультура и спортивная медицина. 2009. Т. 72. № 12. С. 26—32.
6. Смоленский А.В., Андриянова Е.Ю., Михайлова А.В. Состояния повышенного риска сердечно-сосудистой патологии в практике спортивной медицины. М.: Фи С. 2005. 150 с.
7. Mitchell J.H. Task Force 8: classification of sports // *J Am Coll Cardiol.* 2005. V. 45. № 8. P. 1364—7.
8. Volek J.S. Performance and muscle fiber adaptations to creatine supplementation and heavy resistance training // *Med. Sci. Sports Exerc.* 1999. V.31. P. 1147—1156.
9. Карпман В.Л., Любина Б.Г. Динамика кровообращения у спортсменов М.: Физкультура и спорт. 1982. 135 с.
10. Платонов В.Н. Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте. Общая теория и её практические приложения: учебник [для тренеров] // Киев: Олимпийская литература. 2015. Т. 1. 680 с.
11. Rowland T. Is the 'athlete's heart' arrhythmogenic? Implications for sudden cardiac death // *Sports Med.* 2011. V. 41. № 5. P. 401—11. doi: 10.2165/11583940-000000000-00000.
12. Волкова Э.Г. Изучение скорости деполяризации желудочков сердца у больных сочетанными и изолированными формами

ишемической болезни сердца и гипертонической болезнью: дис. канд. мед. наук. Челябинск. 1976. 142 с.

13. Мельник О.В., Михеев А.А. Интегральный подход к оценке параметров ST-сегмента электрокардиосигнала // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2003. № 5. С. 8—11.

14. Мельник О.В., Михеев А.А. Выбор базисных функций для выявления информативных параметров ST-сегмента электрокардиосигнала // Вестник РГРТА. Рязань. 2003. № 12. С. 56—59.

15. Окишева, Е.А., Царегородцев Д.А., Сулимов В.А. Показатели турбулентности ритма сердца и микровольтной альтернации зубца Т у больных, перенесших инфаркт миокарда // Вестник аритмологии. 2010. № 62. С. 26—31.

16. Gibbons R.J. American College of Cardiology. American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee to Update the 1997 Exercise Testing Guidelines). ACC/AHA 2002 guideline update for exercise testing: summary article: a report of the American College of Cardiology. American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee to Update the 1997 Exercise Testing Guidelines) // *Circulation*. 2002. V. 106. № 14. P.1883—1892.

17. Карпман В.Л., Любина Б.Г. Динамика кровообращения у спортсменов М.: Физкультура и спорт. 1982. 135 с.

18. Марков Л.Н. Спортивные болезни [перетренированность] // Теория и практика физической культуры. 1988. № 7. P. 43—45.

19. Талибов А.Х. Функциональная кардиология здорового человека при адаптации к систематическим физическим нагрузкам: дис. д-ра биол. наук. СПб. 2017. 322 с.

20. Rozsival V. Is the negative T-wave on the ECG always a sign of ischemia? (human stress cardiomyopathy?) // *Vnitr Lek*. 2002. № 48. Suppl. 1. P. 210—212.

21. Иванов Г.Г. Структурное и электрофизиологическое ремоделирование миокарда: определение понятия и применение в клинической практике // Функциональная диагностика. 2003. № 1. С. 101—109.

22. Никитин Н.П., Аляви А.Л. Особенности диастолической дисфункции в процессе ремоделирования левого желудочка сердца при хронической сердечной недостаточности // Кардиология. 1998. № 3. С. 56—61.

23. Виноградов А.В., Климов А.Н., Клиорин А.И. Превентивная кардиология: руководство. Москва: Медицина. 1987. 512 с.

24. Талибов А.Х. Особенности реакции кровообращения на различные физические нагрузки в зависимости от уровня тренированности спортсменов // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2009. № 11. С. 96—100.

25. Blumental J.A. Mental stress-induced ischemia in the laboratory and ambulatory ischemia during daily life // *Circulation*. 1995. 92. P. 2102—2108.

26. Sasaki A. Detection of silent myocardial ischemia patients by the spatial velocity electrocardiogram // *Amer. J. Cardiology*. 1999. V. 84. P. 1081—1083.

27. Maron B.J. Sudden death in young competitive athletes. Analysis of 1866 Deaths in the United States, 1980—2006 // *Circulation*. 2009. V. 119. P. 1085—1092.

28. Смоленский А.В. Кардиальные тропонины и нарушение реполяризации у спортсменов // Научно-практический журнал Лечебная физкультура и спортивная медицина. 2010. № 9(81). С. 29—34.

29. Shu J. ST-segment elevation in the early repolarization syndrome, idiopathic ventricular fibrillation, and the Brugada syndrome: cellular and clinical linkage // *J. Electrocardiol*. 2005. Vol. 38. № 4. P. 26—32.

30. Sleriade S. Basic mechanisms of cerebral rhythmic activities // *EEG Clin. Neurophysiology*. 1990. Vol. 76. № 4. P. 481—508.

31. Левашиова О.А., Левашиов С.Ю. Неинвазивная диагностика функционального состояния миокарда у детей-спортсменов на основе анализа скоростных характеристик электрической активности сердца // Научно-спортивный вестник Урала и Сибири. 2016. Т. 12. № 4. С. 26—34.

32. Левашиова О.А., Волкова Э.Г., Левашиов С.Ю. Скоростные характеристики электрической активности сердца у мальчиков в различные возрастные периоды // Материалы научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения проф. М.В. Бургсдорфа. Челябинск. 1997. С. 22.

33. Di Napoli P. Long-term cardioprotective action of trimetazidine and potential effect on the inflammatory process in patients with ischemic dilated cardiomyopathy // *Heart*. 2005. V. 91. P. 161—165.

34. Jung T.P. Component analysis of single-lead event-related potentials // *Hum*. 2001. 3. P. 168—185.

35. Mayer J.M. Worksite back and core exercise in firefighters: Effect on development of lumbar multifidus muscle size // *Work*. 2015. V. 50. № 4. P. 621—627.

36. Fainzilberg L.S. Nowa metoda interpretacji zapisu EKG w balaniach skriningowych oraz w opiece domowej // *Zdrowie publiczne (Public Health)*. 2005. V. 115. № 4. P. 458—464.

37. Monasterio V. Multilead analysis of t-wave alternans in the ecg using principal component analysis // *IEEE Trans-act. On Biomed. Eng*. 2009. V. 56. № 7. P. 1880—1890.

38. Siebenmann C. «Live high—train low» using normobaric hypoxia: a doubleblinded, placebo-controlled study // *Journal of Applied Physiology*. 2012. Т. 112. № 1. P. 106—117.

39. Малкиман Г.Ш., Волкова Э.Г., Левашиов С.Ю. Взаимосвязь электрического ремоделирования миокарда с факторами риска и прогнозом у мужчин с острым коронарным синдромом // Проблемы здравоохранения. Вестник ЮУрГУ. 2007. № 2. С. 58—60.

40. Бекезин В.В., Муравьев А.А., Козлова Л.В., Пересецкая О.В. Дисперсионное картирование электрокардиограммы в выявлении группы высокого риска по развитию артериальной гипертензии у подростков с ожирением // Российский кардиологический журнал. 2021. №55. С. 16.

41. Белогубов П.В., Рузов В.И., Белогубова К.Н., Бурмистрова В.Г. Гендерная оценка электрической гетерогенности миокарда в фазу острой интоксикации у пациентов с алкогольной зависимостью // Российский кардиологический журнал. 2021. №55. С. 16—17.

42. Фролов А.В., Вайханская Т.Г., Мельникова О.П., Воробьев А.П., Мрочек А.Г. Индекс электрической нестабильности миокарда: клиническое и прогностическое значение // Российский кардиологический журнал. 2019. Т. 24. № 12. С. 55—61.

43. Мрочек А.Г., Вайханская Т.Г., Фролова А.В., Воробьева А.П. Идентификация электрокардиографических предикторов электрической нестабильности миокарда // Евразийский кардиологический журнал. 2011. № 1. С. 21—27.

44. Белогубов П.В., Рузов В.И., Бутов А.А., Бурмистрова В.Г. Гендерные особенности алкогольиндуцированной электри-

ческой гетерогенности миокарда у пациентов молодого возраста // Клиническая медицина. Оригинальные исследования Вестник СурГУ. 2020. Т. 45. № 3. С. 31—37.

45. Гомбожапова А.Э., Роговская Ю.В., Ребенкова М.С., Кжышковская Ю.Г., Рябов В.В. Фенотипическая гетерогенность сердечных макрофагов в постинфарктной регенерации миокарда: перспективы клинических исследований // Сибирский медицинский журнал. 2018. Т. 2. № 33. С. 70—76.

46. Муровцева Г.А., Константинов В.В. Прогностические показатели электрокардиограммы и электрическая гетерогенность миокарда желудочков // Кардиологический вестник. 2020. № 3. С. 54—59.

47. Есуна Е.Ю., Зуйкова А.А. Применение нового прибора «Кардиовизор-6С» для доклинической диагностики воздействия модифицируемых факторов риска на здоровье студентов // Научно-медицинский вестник Центрального Черноземья. 2010. № 51. С. 179—185.

48. Иванов Г.Г., Берсенева Е.Ю., Дворников В.Е., Азараки А.Х., Чуйко Н.А., Эйхенвальд Л.А., Печерских А.А., Халаби Г. Суточный профиль микроальтернатив ЭКГ по данным дисперсионного картирования // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина. 2014. № 1. С. 29—38.

49. Крандычева В.В., Стрелкова М.В., Шумихин К.В., Харин С.Н. Электрофизиологическое ремоделирование миокарда желудочков при экспериментальной хронической почечной недостаточности // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2017. № 6. С. 680—685.

50. Барменкова Ю.А., Душина Е.В., Лукьянова М.В., Галимская В.А. Динамика показателей электрофизиологической негетерогенности миокарда на фоне интенсивной статинотерапии у пациентов в постинфарктном периоде // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. 2018. Т. 45. № 1. С. 41—49.

51. Барменкова Ю.А., Душина Е.В., Орешкина А.А., Олейников В.Э. Преимущества многосуточного мониторинга ЭКГ в диагностике жизнеугрожающих аритмий и параметров электрической нестабильности миокарда у больных в постинфарктном периоде // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. 2014. № 3. С. 30—39.

52. Душина Е.В., Гуськова Ю.А., Саламова Л.И. Влияние интенсивной статинотерапии на параметры электрической нестабильности у больных инфарктом миокарда с подъемом сегмента ST // Медицина и здравоохранение. Вестник Пензенского государственного университета 2017. Т. 17. № 2. С. 71—77.

53. Кузьмин В.С., Розенштраух Л.В. Изучение распространения возбуждения в миокарде легочных вен крысы с использованием метода оптического картирования // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2012. № 9. С. 1119—1130.

54. Савченко С.В., Новоселов В.П., Гребенщикова А.С., Ивлева В.А. Гетерогенность острых очаговых повреждений миокарда при внезапной сердечной смерти. г. Новосибирск // Судебная медицина: вопросы, проблемы, экспертная практика. 2019. Т. 26. № 5. С. 143—149.

55. Иванченко М.В., Твердохлеб И.В. Влияние внутриутробной гипоксии на гетерогенитет митохондрий и пути его реализации при альтерации желудочкового миокарда крыс // Вестник ВолГМУ. 2014. Т. 53. № 4. С. 101—106.

56. Шнак Л.В., Колбасникова М.С. Динамика ремоделирования миокарда и дисперсии показателей ЭКГ при разных формах фибрилляции предсердий // Кардиология. 2015. № 4. С. 101—106.

57. He J., Tse G., Korantzopoulos P. Letsas K. Ali-Hasan-Al-Saegh S., Kamel H., Li G., Liu T.P. Wave Indices and Risk of Ischemic Stroke: A Systematic Review and Meta-Analysis // Stroke. 2017. V. 48. № 8. P. 2066—2072.

58. Попадюк В.И., Ильинская М.В., Швелев О.А. Тонзилэктомия и вариабельность сердечного ритма: оценка стресса // Эколого-физиологические проблемы адаптации. Материалы XVII Всероссийского симпозиума. 2017. P. 178—180.

59. Швец Д.А., Поветкин С.В. Диагностическое значение и механизмы постсистолического укорочения при постинфарктных очаговых изменениях левого желудочка // Человек и его здоровье. 2015. № 1. P. 59—64.

## References

1. White HD, Norris RM, Brown MA, Brandt PW, Whitlock RM, Wild CJ. Left ventricular end-systolic volume as the major determinant of survival after recovery from myocardial infarction. *Circulation*. 1987;76(1):44—51. doi: 10.1161/01.cir.76.1.44.

2. Glezer MG. Features of myocardial heterogeneity. *Clinical Gerontology*. 2000;1—2:33—43.

3. Cohn JN, Ferrari R, Sharpe N. *Cardiol. [Amer.]*. 2000;35:569—582.

4. Vasilenko VS, Levin MYa, Antonova IN. *Risk factors and diseases of the cardiovascular system in athletes. SP: SpecLit*. 2016. 206 p. (In Russian).

5. Mikhailova AV. Sports heart overstrain. *Therapeutic physical culture and sports medicine*. 2009;12(72):26—32. (In Russian).

6. Smolensky AV, Andriyanova EYu, Mikhailova AV. *States of increased risk of cardiovascular pathology in the practice of sports medicine. M.: Fi S*. 2005. 150 p. (In Russian).

7. Mitchell JH. Task Force 8: classification of sports. *J Am Coll Cardiol*. 2005;45(8):1364—7.

8. Volek JS. Performance and muscle fiber adaptations to creatine supplementation and heavy resistance training. *Med. sci. Sports Exerc*. 1999;31:1147—1156.

9. Karpman VL, Lyubina BG. *Dynamics of blood circulation in athletes M.: Fizkultura i sport*. 1982;135.

10. Platonov VN. The system of training athletes in Olympic sports. General theory and its practical applications: a textbook [for coaches]. *Kyiv: Olympic Literature*. 2015;1:680. (In Russian).

11. Rowland T. Is the 'athlete's heart' arrhythmogenic? Implications for sudden cardiac death. *Sports Med*. 2011;41(5):401—11. doi: 10.2165/11583940-000000000-00000.

12. Volkova EG. *The study of the rate of depolarization of the ventricles of the heart in patients with combined and isolated forms of coronary heart disease and hypertension: dis. cand. honey. Sciences. Chelyabinsk*. 1976;142. (In Russian).

13. Melnik OV, Mikheev AA. Integral approach to assessing the parameters of the ST-segment of the electrocardiosignal. *Biomedical Technologies and Radioelectronics*. 2003;5:8—11. (In Russian).

14. Melnik OV, Mikheev AA. The choice of basic functions to identify informative parameters of the ST-segment of the



- electrocardiosignal. *Vestnik RGRTA. Issue. 12. Ryazan*. 2003;56—59. (In Russian).
15. Okisheva EA, Tsaregorodtsev DA, Sulimov VA. Indicators of turbulence of the heart rhythm and microvolt alternation of the T wave in patients with myocardial infarction. *Bulletin of Arrhythmology*. 2010;62:26—31. (In Russian).
16. Gibbons RJ. American College of Cardiology. American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee to Update the 1997 Exercise Testing Guidelines). ACC/AHA 2002 guideline update for exercise testing: summary article: a report of the American College of Cardiology. American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee to Update the 1997 Exercise Testing Guidelines). *Circulation*. 2002;106(14):1883—1892.
17. Karpman VL, Lubin BG. *Dynamics of blood circulation in athletes M.: Fizkultura i sport*. 1982. 135 p. (In Russian).
18. Markov LN. Sports disease: [overtraining]. *Teoriya i praktika fiz. culture*. 1988;7:43—45. (In Russian).
19. Talibov AKh. *Functional cardiology of a healthy person during adaptation to systematic physical activity: PhD Thesis. SPb*. 2017. 322 p. (In Russian).
20. Rozsival V. Is the negative T-wave on the ECG always a sign of ischemia? (human stress cardiomyopathy?). *Vnitř Lek*. 2002;1:210—212.
21. Ivanov GG. Structural and electrophysiological myocardial remodeling: definition of the concept and application in clinical practice. *Functional Diagnostics*. 2003;1:101—109. (In Russian).
22. Nikitin NP, Alyavi AL. Features of diastolic dysfunction in the process of left ventricular remodeling in chronic heart failure. *Kardiologiya*. 1998;3:56—61. (In Russian).
23. Vinogradov AV, Klimov AN, Klitorin AI. *Preventive cardiology: a guide Moscow: Medicine*. 1987;512. (In Russian).
24. Talibov A. Kh. Features of the reaction of blood circulation to various physical loads depending on the level of fitness of athletes. *Uchenye zapiski universiteta im. P.F. Lesgaft*. 2009;11:96—100. (In Russian).
25. Blumental JA. Mental stress-induced ischemia in the laboratory and ambulatory ischemia during daily life. *Circulation*. 1995;92:2102—2108.
26. Sasaki A. Detection of silent myocardial ischemia patients by the spatial velocity electrocardiogram. *Amer. J. Cardiology*. 1999;84:1081—1083.
27. Maron BJ. Sudden death in young competitive athletes. Analysis of 1866 Deaths in the United States, 1980—2006. *Circulation*. 2009;119:1085—1092.
28. Smolensky AV. Cardiac troponins and impaired repolarization in athletes. *Scientific and Practical Journal of Physiotherapy and Sports Medicine*. 2010;9(81):29—34. (In Russian).
29. Shu J. ST-segment elevation in the early repolarization syndrome, idiopathic ventricular fibrillation, and the Brugada syndrome: cellular and clinical linkage. *J. Electrocardiol*. 2005;38(4):26—32.
30. Sleriade S. Basic mechanisms of cerebral rhythmic activities. *EEG Clin. Neurophysiology*. 1990;4(76):481—508.
31. Levashova OA, Levashov SYu. Non-invasive diagnostics of the functional state of the myocardium in children-athletes based on the analysis of the speed characteristics of the electrical activity of the heart. *Scientific and sports bulletin of the Urals and Siberia*. 2016;4(12):26—34. (In Russian).
32. Levashova OA, Volkova EG, Levashov SYu. Velocity characteristics of the electrical activity of the heart in boys in different age periods. *Proceedings of the scientific-practical conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of prof. M.V. Burgsdorf*. Chelyabinsk. 1997. 22 p. (In Russian).
33. Di Napoli P. Long-term cardioprotective action of trimetazidine and potential effect on the inflammatory process in patients with ischemic dilated cardiomyopathy. *Heart*. 2005;91:161—165.
34. Jung TP. Component analysis of single-real event-related potentials. *Hum*. 2001;3:168—185.
35. Mayer JM. Worksite back and core exercise in firefighters: Effect on development of lumbar multifidus muscle size. *Work*. 2015;4(50):621—627.
36. Fainzilberg LS. Nowa metoda interpretacji zapisu EKG w balaniach skринingowych oraz w opiece domowej. *Zdrowie publiczne (Public Health)*. 2005;4(115):458—464.
37. Monasterio V. Multilead analysis of t-wave alternans in the ecg using principal component analysis. *IEEE Trans-act. On Biomed. Eng*. 2009;56(7):1880—1890.
38. Siebenmann C. «Live high—train low» using normobaric hypoxia: a doubleblinded, placebo-controlled study. *Journal of Applied Physiology*. 2012;112.1:106—117.
39. Malkiman GSh, Volkova EG, Levashov SYu. The relationship of electrical myocardial remodeling with risk factors and prognosis in men with acute coronary syndrome. *Bulletin of SUSU*. 2007;2:58—60. (In Russian).
40. Bekezin VV, Muravyov AA, Kozlova LV, Peresetskaya OV. Dispersion mapping of the electrocardiogram in identifying a high-risk group for the development of arterial hypertension in adolescents with obesity. *Russian journal of cardiology*. 2021;№S5:16. (In Russian).
41. Belogubov PV, Ruzov VI, Belogubova KN, Burmistrova VG. Gender assessment of myocardial electrical heterogeneity in the phase of acute intoxication in patients with alcohol dependence. *Russian journal of cardiology*. 2021;№S5:16—17. (In Russian).
42. Frolov AV, Vaykhanskaya TG, Melnikova OP, Vorobyov AP, Mrochek AG. Myocardial electrical instability index: clinical and prognostic significance. *Russian Journal of Cardiology*. 2019;24(12):55—61. (In Russian).
43. Mrochek A.G, Vaykhanskaya TG, Frodova AV, and Vorob'eva AP, Fiz. Identification of electrocardiographic predictors of myocardial electrical instability. *Eurasian Journal of Cardiology*. 2011;1:21—27. (In Russian).
44. Belogubov P.V., Ruzov V.I., Butov A.A., Burmistrova V.G. Gender features of alcohol-induced electrical myocardial heterogeneity in young patients // *Clinical Medicine. Original research Bulletin of SurSU*. 2020;3(45):31—37. (In Russian).
45. Gombozhapova AE, Rogovskaya YuV, Rebenkova MS, Kzhyshevskaya YuG, Ryabov VV. Phenotypic heterogeneity of cardiac macrophages in postinfarction myocardial regeneration: prospects for clinical research. *Siberian Medical Journal*. 2018;33(2):70—76. (In Russian).
46. Murovtseva GA, Konstantinov VV. Prognostic indicators of the electrocardiogram and electrical heterogeneity of the ventricular myocardium. *Cardiological Bulletin*. 2020;3:54—59. (In Russian).
47. Esina EYu, Zuikova AA. The use of a new device «Cardiovisor-:6S» for preclinical diagnosis of the impact of modifiable risk factors

on students' health. *Scientific and Medical Bulletin of the Central Chernozemye* 2010;79—185. (In Russian).

48. Ivanov GG, Bersenev EYu, Dvornikov VE, Azaraksh AKh., Eikhensvald L.A., Pecherskich A.A., Chuiko NA, Chalabi G. Daily profile of ECG microalternations according to dispersion mapping data. *RUDN Journal of Medicine*. 2014;1:29—38. (In Russian).

49. Krandycheva VV, Strelkova MV, Shumikhin KV, Kharin SN. Electrophysiological remodeling of the ventricular myocardium in experimental chronic renal failure. *THEM. Sechenov*. 2017;6:680—685. (In Russian).

50. Barmenkova YuA, Dushina EV, Lukyanova M, Galimskaya V.A. Dynamics of indicators of electrophysiological inhomogeneity of the myocardium against the background of intensive statin therapy in patients in the post-infarction period. *Izvestiya of higher educational institutions. Volga region*. 2018;1(45):41—49. (In Russian).

51. Barmenkova YuA, Dushina EV, Oreshkina AA, Oleinikov VE. Advantages of multi-day ECG monitoring in the diagnosis of life-threatening arrhythmias and parameters of myocardial electrical instability in patients in the post-infarction period. *Izvestia of higher educational institutions. Volga region*. pp. 30—39. (In Russian).

52. Dushina EV, Guskova YuA, Salyamova LI. Influence of intensive statin therapy on the parameters of electrical instability in patients with ST-segment elevation myocardial infarction. *Medicine and Healthcare. Bulletin of the Penza State University*. 2017;(17):71—77. (In Russian).

53. Kuz'min VS, Rozenshtraukh LV. The study of the spread of excitation in the myocardium of the pulmonary veins of the rat using

the method of optical mapping. *THEM. Sechenov*. 2012;9:1119—1130. (In Russian).

54. Savchenko SV, Novoselov VP, Grebenshchikova AS, Ivleva VA. Heterogeneity of acute focal myocardial injuries in sudden cardiac death. Novosibirsk. *Forensic medicine: questions, problems, expert practice*. 2019;5(26):143—149. (In Russian).

55. Ivanchenko MV, Tverdokhle IV. Influence of intrauterine hypoxia on mitochondrial heterogeneity and ways of its implementation in rat ventricular myocardial alteration. *Vestnik VolGMU*. 2014;4(52):101—106. (In Russian).

56. Shpak LV, Kolbasnikova MS. Dynamics of myocardial remodeling and dispersion of ECG parameters in different forms of atrial fibrillation. *Cardiologiya*. 2015;4:101—106. (In Russian).

57. He J, Tse G, Korantzopoulos P, Letsas K, Ali-Hasan-Al-Saegh S, Kamel H, Li G, Liu TP. Wave Indices and Risk of Ischemic Stroke: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Stroke*. 2017;8(48):2066—2072.

58. Popadyuk VI, Il'inskaya MV, Shevelev OA. Tonzilektomiya i variabel'nost' serdechnogo ritma: ocenka stressa [Tonsillectomy and heart rate variability: stress assessment]. *Ehkologo-fiziologicheskie problemy adaptacii. Materialy XVII Vserossijskogo simpoziuma*. 2017;178—180. (In Russian).

59. Shvec DA, Povetkin SV. Diagnostic value and mechanisms of post-systolic shortening in postinfarction focal changes of the left ventricle. *Chelovek i ego zdorov'e [Man and his health]*. 2015;1:59—64. (In Russian).

*Ответственный за переписку:* Степура Евгений Евгеньевич — кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии и физиологии человека, Московский городской педагогический университет, Институт естествознания и спортивных технологий, Российская Федерация, 105568, г. Москва, ул. Чечулина, 1. E-mail: chimik89@mail.ru

Минина Е.Н. SPIN-код 2562-6388; ORCID 0000-0003-1978-5330

Степура Е.Е. SPIN-код 2786-1539; ORCID: 0000-0002-0554-6331

*Corresponding author:* Stepura Evgeny Evgenievich — PhD, Associate Professor, Department of Biology and Human Physiology, Moscow City Pedagogical University, Institute of Natural Science and Sports Technologies, 105568, st. Chechulin, 1, Moscow, Russian Federation. E-mail: chimik89@mail.ru

Minina E.N. ORCID 0000-0003-1978-5330

Stepura E.E. ORCID 0000-0002-0554-6331