

DOI: <https://doi.org/10.17816/PED13323-35>

Научная статья

ВЛИЯНИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ НА СООТНОШЕНИЕ КАРДИОИНТЕРВАЛОВ В СТРУКТУРЕ КАРДИОЦИКЛА

© А.Е. Ким¹, Е.Б. Шустов², В.П. Ганапольский¹, И.П. Зайцева³¹ Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия;² Научно-клинический центр токсикологии им. акад. С.Н. Голикова Федерального медико-биологического агентства, Санкт-Петербург, Россия;³ Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, Ярославль, Россия

Для цитирования: Ким А.Е., Шустов Е.Б., Ганапольский В.П., Зайцева И.П. Влияние экстремальных факторов на соотношение кардиоинтервалов в структуре кардиоцикла // Педиатр. – 2022. – Т. 13. – № 3. – С. 23–35. DOI: <https://doi.org/10.17816/PED13323-35>

Актуальность. Пропорция золотого сечения, открытая Пифагором, имеет большое значение в организации живой природы. Поскольку золотая пропорция – один из критериев самоорганизации в живой природе, естественно предположить, что и в работе сердца возможно проявление этого критерия. Организация сердечного цикла является результатом длительной эволюции живого организма в направлении оптимизации структуры и функций, обеспечения жизнедеятельности при минимальных затратах энергии. Однако в клинической медицине и физиологических исследованиях до последнего времени этот подход почти не использовался, в литературе имеются лишь отдельные сообщения об эффективности применения данного метода.

Цель исследования – изучение чувствительности показателей симметричного анализа кардиоцикла в соответствии с методологией золотого сечения к физическим нагрузкам, гипоксическому и температурному воздействию для интегральной оценки функционального состояния работы сердца. Для геометрического анализа электрокардиограммы использованы соотношения основных параметров, позволяющие оценить их соответствие критериям золотого сечения.

Материалы и методы. Геометрический анализ интервалов электрокардиограммы в соответствии с принципами золотого сечения у здоровых лиц, подвергающихся воздействию истощающей физической нагрузки, гипоксии, комбинированной гипертермии или низких температур. В ходе работы были проанализированы результаты исследования 252 добровольцев-мужчин в возрасте 20–35 лет, из которых 46 человек проходили тест истощающей физической нагрузки, 113 – гипоксическую пробу, 34 – пробу на переносимость комбинированной гипертермии, 69 – пробу на переносимость умеренного охлаждения.

Результаты. Использование геометрического анализа кардиоциклов в состоянии покоя, при физической нагрузке, а также умеренном по интенсивности воздействии типовых неблагоприятных факторов внешней среды (гипоксия, высокие или низкие температуры) показало принципиальную возможность оценки динамики функционального состояния у молодых практически здоровых лиц. Более динамичными были показатели, характеризующие активность процессов регуляции работы миокарда на экстракардиальном и интракардиальном уровне. Показатель симметричного анализа, характеризующий уровень миокардиального гомеостаза, энергетические процессы и сократимость, в большей степени отражает прогностически неблагоприятные характеристики с точки зрения срыва адаптации миокарда. Установлено, что для практических здоровых лиц (в обычном состоянии деятельности, без внешних воздействий), 1-й класс функционального состояния встречается в 83 % случаев, напряжение гемодинамики отмечается у 16 % обследуемых, неадекватность гемодинамики – у 1 %.

Заключение. Выявленные в результате неблагоприятных внешних воздействий отклонения от идеальной пропорции золотого сечения оставались в пределах допустимых колебаний, что свидетельствовало о достаточно совершенном функционировании сердца и сердечно-сосудистой системы в целом у обследованного контингента молодых практически здоровых лиц. Предложенная Н.В. Дмитриевой в 1989 г. классификация функциональных состояний, основанная на оценке степени отклонения расчетных коэффициентов от оптимального значения, соответствующего золотому сечению, не является оптимальной для здоровых молодых мужчин, к которым относятся и спортсмены без признаков «спортивного сердца» и иной патологии миокарда. Она не учитывает знак отклонения, в результате чего для состояния покоя, при преобладании брадикардии, типичной для спортсменов, возникает гипердиагностика напряженной гемодинамики. В то же время работа сердца при кратковременных интенсивных физических нагрузках, закономерно вызывающих выраженную симпатикотонию, может необоснованно быть охарактеризована как преморбидное или патологическое состояние.

Ключевые слова: гипертермия; гипоксия; гипотермия; золотое сечение; кардиоцикл; физические нагрузки; функциональная диагностика; электрокардиография.

Поступила: 19.04.2022

Одобрена: 23.05.2022

Принята к печати: 30.06.2022

DOI: <https://doi.org/10.17816/PED13323-35>

Research Article

INFLUENCE OF EXTREME FACTORS ON THE RATIO OF CARDIOINTERVALS IN THE STRUCTURE OF THE CARDIOCYCLE

© Aleksey E. Kim¹, Evgeny B. Shustov², Vyacheslav P. Ganapolsky¹, Irina P. Zaitseva³

¹ Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia;

² Golikov Research Center of Toxicology, Saint Petersburg, Russia;

³ P.G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia

For citation: Kim AE, Shustov EB, Ganapolsky VP, Zaitseva IP. Influence of extreme factors on the ratio of cardiointervals in the structure of the cardiocycle. *Pediatrician (St. Petersburg)*. 2022;13(3):23-35. DOI: <https://doi.org/10.17816/PED13323-35>

BACKGROUND: The proportion of the golden section, discovered by Pythagoras, is of great importance in the organization of wildlife. Since the golden proportion is one of the criteria for self-organization in living nature, it is natural to assume that this criterion can also be manifested in the work of the heart. The organization of the cardiac cycle is the result of a long evolution of a living organism in the direction of optimizing the structure and functions, ensuring life with minimal energy consumption. However, in clinical medicine and physiological research, until recently, this approach has hardly been used, and there are only a few reports in the literature on the effectiveness of this method.

AIM: To study the sensitivity of indicators of the symmetry analysis of the cardiocycle in accordance with the methodology of the golden section to physical exertion, hypoxic and temperature effects for an integral assessment of the functional state of the heart. For the geometric analysis of the ECG, the ratios of the main parameters were used to assess their compliance with the criteria of the golden section.

MATERIALS AND METHODS: Geometric analysis of ECG interval intervals according to the principles of the golden section in healthy individuals exposed to debilitating physical activity, hypoxia, combined hyperthermia or low temperatures. In the course of the work, the results of a study of 252 male volunteers aged 20–35 years were analyzed, of which 46 people underwent an exhaustive exercise test, 113 a hypoxic test, 34 a combined hyperthermia tolerance test, and 69 a moderate cooling tolerance test.

RESULTS: the use of a geometric analysis of cardiocycles at rest, during exercise, as well as moderate exposure to typical adverse environmental factors (hypoxia, high or low temperatures) showed the fundamental possibility of assessing the dynamics of the functional state in young practically healthy individuals. The indicators characterizing the activity of the processes of regulation of myocardial work at the extracardiac and intracardiac levels were more dynamic. The indicator of symmetry analysis, which characterizes the level of myocardial homeostasis, energy processes and contractility, to a greater extent reflects unfavorable prognostic characteristics in terms of failure of myocardial adaptation. It has been established that for practically healthy individuals (in the normal state of activity, without external influences), the 1st class of the functional state occurs in 83% of cases, hemodynamic stress is noted in 16% of the subjects, hemodynamic inadequacy – in 1%.

CONCLUSIONS: The deviations from the ideal proportion of the golden section identified as a result of adverse external influences remained within acceptable fluctuations, which indicated a fairly perfect functioning of the heart and the cardiovascular system as a whole in the surveyed contingent of young, practically healthy individuals. Proposed by N.V. Dmitrieva (1989) the classification of functional states, based on the assessment of the degree of deviation of the calculated coefficients from the optimal value corresponding to the golden section, is not optimal for healthy young men, which include athletes without signs of “sports heart” and other myocardial pathology. It does not take into account the sign of the deviation, as a result, for the state of rest, with the predominance of bradycardia, typical for athletes, there is an overdiagnosis of tense hemodynamics. At the same time, the work of the heart during short-term intense physical exertion, which naturally causes pronounced sympathicotonia, can be unreasonably characterized as a premonitory or pathological condition.

Keywords: hyperthermia; hypoxia; hypothermia; golden ratio; cardiocycle; physical activity; functional diagnostics; electrocardiography.

Received: 19.04.2022

Revised: 23.05.2022

Accepted: 30.06.2022

АКТУАЛЬНОСТЬ

Успехи современной физиологии и кардиологии дают возможность охарактеризовать деятельность сердечно-сосудистой системы с помощью многочисленных показателей, однако существует настоятельная необходимость разработки способов интегральной оценки ее деятельности. Использование принципа золотого сечения представляется перспективным решением проблемы, однако до настоящего времени оценка значимости методологии «гармонического» анализа в физиологии сердечно-сосудистой системы и клинической кардиологии остается малоисследованной [7, 11, 13, 14, 23]. Один из перспективных направлений поиска интегральных критериев оценки изменений электрокардиографических показателей — системно-симметричный подход.

Пропорция золотого сечения, открытая Пифагором, имеет большое значение в организации живой природы. Суть золотого сечения заключается в следующем. Некоторый отрезок АВ можно разделить на две части точкой С так, что отношение большей части (АС) к меньшей (СВ) равнялось бы отношению всего отрезка (АВ) к большей его части (АС). Пифагор назвал такое деление золотой пропорцией. В XVI в. Леонардо да Винчи ввел общепринятое название этой пропорции — золотое сечение, которое в цифровом значении выражается формулой: $0,382 + 0,618 = 1$.

Поскольку золотая пропорция — один из критериев самоорганизации в живой природе, естественно предположить, что и в работе сердца возможно проявление этого критерия. Организация сердечно-го цикла является результатом длительной эволюции живого организма в направлении оптимизации структуры и функций, обеспечения жизнедеятельности при минимальных затратах энергии. Однако в клинической медицине и физиологических исследованиях до последнего времени этот подход почти не использовался, в литературе существуют лишь отдельные сообщения об эффективности применения данного метода [3, 4, 6, 15, 19].

Установлено, что работа сердца в отношении временных циклов, изменения давления крови и объемов желудочков оптимизирована по одному и тому же принципу — по правилу золотой пропорции. Длительность систолы, диастолы и всего сердечного цикла соотносятся между собой в пропорции $0,382 : 0,618 : 1$, то есть в полном соответствии с золотой пропорцией [8, 12, 16, 21].

Цель исследования — изучение чувствительности показателей симметричного анализа кардиоцикла в соответствии с методологией золотого сечения к физическим нагрузкам, гипоксическому

и температурному воздействию для интегральной оценки функционального состояния работы сердца.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

В работе использованы материалы, полученные в ходе проведения модельных исследований с участием здоровых добровольцев-мужчин в возрасте 20–35 лет, проходивших отбор для поступления на работу, связанную с воздействием на организм человека неблагоприятных физических факторов (истощающие физические нагрузки, умеренная гипоксия, гипертермия, гипотермия). Всего в ходе работы были проанализированы результаты исследования 252 человек, из которых 46 проходили тест истощающей физической нагрузки, 113 — гипоксическую пробу, 34 — пробу на переносимость комбинированной гипертермии, и 69 — пробу на переносимость умеренного охлаждения.

Для истощающих физических нагрузок использовали бег на тредбане на дистанцию 20 км с максимально возможной скоростью; для гипоксии, гипертермии или гипотермии — климатический комплекс «ТАВАУ». Условия гипоксической гипоксии создавали подъемом обследуемых лиц на «высоту» 4500 м, продолжительность гипоксического воздействия составляла 4 ч, скорость подъема и спуска — 10 м/с. Комбинированную гипертермию получили при работе обследуемых лиц в изолирующих прорезиненных влагонепроницаемых защитных костюмах при следующих параметрах микроклимата: температура воздуха 45 °С, влажность 95 %, скорость движения воздуха 0,5 м/с. Критериями завершения нагрузочного тестирования были: достижение ректальной температуры 39,5 °С или ухудшение самочувствия и отказ от дальнейшего пребывания в условиях теплового воздействия. Реакцию организма на холодное воздействие оценивали при следующих условиях: температура воздуха –15 °С, влажность 65–80 %, скорость движения воздуха 0,5 м/с, теплозащита одежды 1 Кло. Время пребывания обследуемых в этих условиях колебалось от 125 до 160 мин и определялось индивидуальной переносимостью воздействия.

После регистрации фоновых показателей испытуемые размещались в климатическом комплексе «ТАВАУ», в котором они находились в положении сидя, воздерживаясь от физической активности вне периода выполнения тестовых заданий. Каждые 15 мин проводился опрос о самочувствии и признаках гипоксического или температурного (теплового, холодного) дискомфорта.

Состояние сердечно-сосудистой системы оценивали методом электрокардиографии (ЭКГ) как в условиях относительного покоя. Регистрировалось артериальное давление крови по Короткову. При анализе ЭКГ учитывали следующие параметры: частоту сердечных сокращений, правильность ритма, наличие экстрасистол, смещение сегмента *ST* относительно изолинии, амплитуду зубцов *R*, *Q*, *S*, *T*, продолжительность интервалов *PQ*, *QT*, зубца *P*, комплекса *QRS* [1, 2, 9]. Регистрация ЭКГ производилась в 12 общепринятых отведениях.

Для геометрического анализа ЭКГ с позиций золотого сечения использованы следующие соотношения параметров ЭКГ:

$$F_1 = \frac{QT - QRS}{QT - PQ} \times \frac{RR - PQ}{RR - QRS} = 1,309;$$

$$F_2 = \frac{R - P}{R - T} = 1,309.$$

Представленные соотношения характеризуют уровень миокардиального гомеостаза (F_1) и отражают оптимальный уровень координированной деятельности миокарда предсердий и желудочков (F_2) [5]. Для здоровых лиц это соотношение составляет $1,285 \pm 0,065$, то есть отклонение от идеальной пропорции в обе стороны менее 5 %.

Выделяют четыре класса функциональных характеристик системы кровообращения [4]. Для I класса — отсутствие функциональных изменений системы кровообращения — отклонение от идеальной пропорции менее 5 %. Для II класса — напряженное состояние системы кровообращения — отклонения от указанной пропорции до 10 %. Для III класса — состояние перенапряжения, неудовлетворительная адаптация к внешней среде — отклонения варьируют от 10 до 15 %. Для IV класса — преморбидные состояния и патологические изменения ЭКГ — отклонения превышают 15 %.

Вычисляли также коэффициенты пропорциональности отношения общей систолы и длительности кардиоцикла (K_1) и длительности систолы желудочков и общей систолы (K_2):

$$K_1 = \frac{PQ + QT}{RR} = 0,618;$$

$$K_2 = \frac{QT - 1/2QRS}{PQ + QT} = 0,618.$$

Коэффициент K_1 — показатель состояния экстракардиальной регуляции сердечной деятельности. Изменения K_1 свидетельствуют о напряжении регуляторных механизмов вегетативного характера. Коэффициент K_2 — показатель работы внутренне-

го контура регуляции сердца и состояния сократимости миокарда. Для лиц с удовлетворительным состоянием сердечно-сосудистой системы K_1 и K_2 находятся в пределах 0,580–0,655; градации отклонений от идеального значения те же, что для коэффициентов F_1 , F_2 . Представленные соотношения позволяют характеризовать уровень миокардиального гомеостаза, определяемого как оптимальный уровень координированной деятельности миокарда предсердий и желудочков и асинхронности фаз их сокращения и расслабления, приводящих к более полному использованию ударного объема.

Критерии соответствия

Критерии включения: мужчины, 20–35 лет, годные по состоянию здоровья к работе в составе спасательных подразделений при воздействии экстремальных факторов внешней среды.

Критерии невключения: несоответствие критериям включения; наличие хронических заболеваний, признаков острых инфекционных заболеваний, астенических состояний и переутомления.

Критерии исключения: невыполнение программы исследования по показателям здоровья, отказ испытуемого-добровольца от дальнейшего участия в исследовании.

Условия проведения

Исследования выполнены в период 2019–2021 гг.:

- воздействие температурных факторов и гипоксии — в Научно-исследовательском отделе обитаемости Научно-исследовательского центра ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» МО РФ;
- исследования с физической нагрузкой — на базе кафедры физического воспитания ФГБВОУ ВО «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова».

Продолжительность исследования

Продолжительность исследования составляла 5 дней, из них в первый день проводилась оценка фонового состояния, на вторые сутки — непосредственное воздействие неблагоприятного фактора, на третьи и пятые сутки — заключительная оценка функционального состояния испытуемых-добровольцев.

Рандомизация

После проведения фонового обследования участники эксперимента были рандомизированы случайным образом по персональным номерам информированного согласия с помощью генератора

случайных чисел, реализованного в среде программы Excel, на четыре группы, в соответствии с профилем планируемых особенностей будущей работы.

Медицинские вмешательства

В ходе выполнения исследований проводилась регистрация: ЭКГ в стандартных отведениях; артериального давления крови; легочной вентиляции; в сериях с воздействием неблагоприятных температур — показатели теплового состояния и теплоощущения.

Методы статистического анализа данных

Полученные в результате исследования данные были обработаны с помощью процессора электронных таблиц Microsoft Excel, достоверность различий для показателей, имеющих статистическое распределение, близкое к нормальному, оценивалось методом однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA), в остальных случаях — по непараметрическому критерию точного метода Фишера.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Обследованный контингент участников — мужчины в возрасте 20–35 лет, годные по состоянию здоровья к работе в составе спасательных подразделений при воздействии экстремальных факторов внешней среды.

Результаты электрокардиографического обследования здоровых молодых мужчин в состоянии покоя, а также сразу после выполнения нагрузочных проб представлены в табл. 1.

Под влиянием гипоксии возникали нарушения ритма и проводимости: синусовая аритмия (20 %), миграция водителя ритма по предсердиям (2 %), редкая предсердная и желудочковая экстрасистолия (0,9 и 1,7 % соответственно). Имело место появление атриовентрикулярной блокады I степени (1,7 %), неполной блокады правой ножки пучка Гиса (8 %) и увеличение степени последней (12 %). Наибольшим изменениям подвергся процесс реполяризации желудочков. Отмечены подъем (10 %) или снижение (1 %) сегмента ST на 1–2 мм выше или ниже изолинии, увеличение амплитуды зубца T (32 %), чаще наблюдавшееся в правых грудных отведениях, или, наоборот, снижение его высоты (11,4 %), уплощение (17 %), деформация (6 %), чаще имевшие место в левых грудных отведениях. В 9 % случаях отмечена инверсия зубца T. Достаточно частым (27 %) и характерным ЭКГ-признаком гипоксического воздействия было косовосходящее «уплощение» сегмента ST, исчезновение его провисания, направленного выпуклостью книзу. Возникновение синдрома ранней реполяризации желудочков наблюдалось у 5,3 % обследуемых, у 6,1 % имело место появление зубца U.

Таблица 1 / Table 1

Результаты электрокардиографического обследования здоровых лиц
The results of an electrocardiographic examination of healthy individuals

Показатель / Indicator	Условия измерения / Measurement conditions				
	покой, до нагрузки / rest, before exertion	физическая нагрузка / exercise stress	гипоксия, 4500 м / hypoxia, 4500 m	гипертермия / hyperthermia	гипотермия / hypothermia
Число обследованных / Number of examined	252	46	113	34	69
RR, с	0,89 ± 0,047	0,57 ± 0,043***	0,82 ± 0,02**	0,77 ± 0,018***	0,97 ± 0,018***
P, с	0,091 ± 0,013	0,090 ± 0,003	0,096 ± 0,001***	0,094 ± 0,002	0,093 ± 0,001
PQ, с	0,148 ± 0,021	0,148 ± 0,007	0,153 ± 0,003	0,144 ± 0,003	0,158 ± 0,003*
QRS, с	0,091 ± 0,013	0,090 ± 0,004	0,104 ± 0,013	0,095 ± 0,002	0,088 ± 0,001*
QT, с	0,368 ± 0,024	0,308 ± 0,003***	0,359 ± 0,003*	0,351 ± 0,005*	0,381 ± 0,003**
P _{II} , мм	1,18 ± 0,09	0,97 ± 0,33	1,56 ± 0,08***	1,26 ± 0,12	1,07 ± 0,08
R _{II} , мм	15,27 ± 0,25	15,34 ± 2,46	14,80 ± 0,42	12,4 ± 0,79**	15,01 ± 0,61
T _{II} , мм	3,84 ± 0,14	4,14 ± 0,58	3,63 ± 0,17	3,58 ± 0,27	5,34 ± 0,21***
ST _{V6} , мм	0,57 ± 0,122	0,71 ± 0,21	1,01 ± 0,09**	0,75 ± 0,200	0,180 ± 0,068**
T _{V6} , мм	7,11 ± 0,36	5,95 ± 6,22	6,6 ± 0,3	10,8 ± 0,5***	9,6 ± 0,2***
∠α, град.	66,8 ± 0,6	91,8 ± 0,4***	72,0 ± 1,4	59,7 ± 4,5	67,5 ± 2,8

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$. Отличия от уровня покоя до воздействия достоверны.

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$. Differences from the level of rest before exposure are significant.

В условиях умеренной гипобарической гипоксии пребывание на высоте 4500 м в состоянии покоя практически не сказалось на значениях коэффициентов симметричного анализа, основанных на золотом сечении (табл. 2). Коэффициент K_1 , характеризующий уровень экстракардиальной регуляции работы сердца, по сравнению с состоянием покоя без воздействия практически совпал с идеальным для золотого сечения значением (0,618), что, с учетом исходной ваготонии, свидетельствует об умеренной активации симпатического звена вегетативной нервной системы, выведшей экстракардиальную регуляцию в состояние баланса симпатических и парасимпатических влияний. Внутрикardiальные механизмы регуляции работы сердца (коэффициент K_2) находятся в оптимальном (сбалансированном) рабочем режиме.

В условиях гипертермии закономерна избыточность симпатических регуляторных влияний, проявляющаяся в умеренной тахикардии (табл. 1), в соче-

тании с тепловой эндотелий-зависимой релаксацией гладких мышц сосудов. Однако, как показал анализ соотношений кардиоцикла, в условиях умеренной гипертермии это не приводит к существенной перестройке работы экстракардиального и интракардиального контуров управления миокарда (значения коэффициента K_1 повышаются относительно покоя, но остаются близкими к значениям золотого сечения, а значения коэффициента K_2 строго соответствуют оптимальному уровню) [17].

В результате воздействия **низких температур** в ЭКГ отмечались существенные изменения: в соответствии с развивающейся брадикардией увеличивалась продолжительность интервалов RR ($p < 0,001$), PQ ($p < 0,05$), QT ($p < 0,01$). Время атриовентрикулярного проведения синусового импульса (PQ) и продолжительность электрической систолы сердца (QT) увеличивались с той же закономерностью, что и продолжительность сердечного цикла, и не выходили за пределы физиологических колебаний нормы. Отмечено статистически значи-

Таблица 2 / Table 2

Показатели симметричного анализа кардиоциклов у здоровых лиц при неблагоприятных воздействиях
Indicators of symmetric analysis of cardiocycles in healthy individuals under unfavorable influences

Показатель / Indicator	Условия измерения / Measurement conditions				
	покой, до нагрузок / rest, before exertion	физическая нагрузка / exercise stress	гипоксия, 4500 м / hypoxia, 4500 m	гипертермия / hyperthermia	гипотермия / hypothermia
Число обследованных / Number of examined	252	46	113	34	69
K_1 , экстракардиальная регуляция / K_1 , extracardiac regulation	0,580 ± 0,005	0,760 ± 0,043***	0,62 ± 0,01	0,640 ± 0,013***	0,56 ± 0,01*
K_2 , интракардиальная регуляция / K_2 , intracardiac regulation	0,620 ± 0,002	0,570 ± 0,007***	0,620 ± 0,002	0,610 ± 0,002	0,630 ± 0,004
F_1 , уровень миокардиального гомеостаза / F_1 , level of myocardial homeostasis	1,170 ± 0,035	1,210 ± 0,043	1,320 ± 0,013*	1,15 ± 0,01*	1,230 ± 0,012*
F_2 , уровень желудочково-предсердной координированности / F_2 , level of ventricularatrial coordination	0,880 ± 0,035	0,880 ± 0,042	0,840 ± 0,015	0,78 ± 0,02*	0,66 ± 0,02**

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$. Отличия от уровня покоя до воздействия достоверны.

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$. Differences from rest to exposure are significant.

мое ($p < 0,05$) уменьшение времени внутрижелудочковой проводимости (комплекс *QRS*). Изменения процессов реполяризации выражались в депрессии сегмента *ST* в левых грудных отведениях ($p < 0,01$) и существенном повышении амплитуды зубца *T* (на 34,8 %; $p < 0,001$) [17, 25].

Воздействия неблагоприятных факторов внешней среды, как и истощающих физических нагрузок, зачастую сопровождаются разновекторными изменениями отдельных параметров ЭКГ, не сводимыми в единую комплексную картину. Однако для практических целей столь подробный анализ отдельных показателей ЭКГ и не требуется, особенно для оценки динамики функционального состояния специалистов, подвергающихся неблагоприятным воздействиям. Как правило, необходимой и достаточной является донозологическая оценка статуса регуляторных влияний на сердце, описываемых в терминах внешнего и внутреннего контуров управления миокардом. Именно такое описание, опирающееся на отнесение показателей к определенным функциональным классам, и обеспечивает процедура геометрического анализа кардиоцикла.

Исследование выявило, что некоторые показатели геометрического (симметричного) анализа кардиоцикла чувствительны к неблагоприятным воздействиям (табл. 2).

В интересах оценки динамики функционального состояния важно, к какому функциональному классу управления работой сердца относится обследуемое лицо при воздействии неблагоприятных факторов внешней среды, включая истощающие физические нагрузки. В табл. 3 представлена структура распределения обследованных лиц по классам функционального состояния, определяемым по отклонению коэффициентов симметричного анализа от значений, типичных для золотого сечения.

ОБСУЖДЕНИЕ

В покое у большинства обследованных наблюдалась брадикардия с частотой сердечных сокращений от 48 до 57 в минуту. После физической нагрузки длительность кардиоцикла существенно уменьшилась, соответственно уменьшилась и длительность электрической систолы желудочков (*QT*). Другие временные показатели ЭКГ: продолжительность возбуждения предсердий (*P*), время атриовентрикулярного проведения импульса (*PQ*), внутрижелудочковая проводимость (*QRS*) не претерпели существенных изменений. Увеличилась амплитуда зубцов *P* и *T*, произошло смещение интервала *ST* выше изолинии, однако эти изменения не были статистически значимыми.

Умеренное гипоксическое воздействие не вызвало существенных изменений энергетического метаболизма и сократимости миокарда (F_1), что свидетельствует о хорошей переносимости миокардом данного режима воздействия. Коэффициент F_2 , отражающий координированность работы предсердий и желудочков, находится в диапазоне, характеризующем преобладание внутрижелудочковых регуляторных влияний, и не отличается статистически достоверно от значений, полученных в контрольной группе для состояния покоя.

Состояние гипертермии — единственное из нами изученных, где отмечается достоверное снижение уровня миокардиального гомеостаза (коэффициент F_1 снизился в среднем до $1,15 \pm 0,01$ ед., при оптимальном значении 1,309), что может отражать прогностически неблагоприятные нарушения механизмов энергопродукции и сократимости миокарда. При этом закономерным является и дополнительное снижение коэффициента F_2 , свидетельствующее об ослаблении координирующих влияний предсердий на структуру кардиоцикла.

В условиях гипотермии, сопровождавшихся проявлением брадикардии, закономерно снизилась (по отношению к уровню золотого стандарта) величина K_1 , отражающего напряженность экстракардиальных (в том числе и вегетативных) контуров управления работой сердца, однако эти изменения практически не отличались от результатов исследования в состоянии покоя. Кратковременная умеренная гипотермия не выявила значимой перестройки механизмов внутрисердечной регуляции работы сердца (K_2), миокардиального гомеостаза (F_1), но, даже в большей степени, чем гипертермия, ослабляло влияние предсердий на координированность и силу сердечных сокращений.

Для утомленного состояния организма характерно выраженное повышение зубца *P*, укорочение интервала *PQ* при стабильности или незначительном укорочении комплекса *QRS*. Описанная картина изменений ЭКГ под влиянием физической нагрузки, свидетельствующая о резких сдвигах в функциональном состоянии сердца, указывает на неудовлетворительную приспособляемость организма к выполняемой деятельности. Таким образом, значительная физическая нагрузка у здоровых молодых людей не вызывала существенных нарушений деятельности сердца. Она привела лишь к учащению ритма сердца соответственно запросам усиленно работающих скелетных мышц и смене ваготонии симпатикотонией.

В условиях истощающих физических нагрузок (бег на дистанцию 20 км в максимально возможном темпе) отмечается закономерная перестройка

Таблица 3 / Table 3

Распределение обследованных по классам функционального состояния при различных воздействиях (доля в группе, %) / Distribution of the examined by functional state classes under various influences (proportion in the group, %)

Состояние / State	Класс функционального состояния по Н.В. Дмитриевой (1989) / Functional state class according to N.V. Dmitrieva (1989)			
	1 (оптимальный, отсутствие функциональных изменений), отклонения до 5 % / (optimal, no functional changes), deviations up to 5%	2 (напряжение гемодинамики), отклонения до 10 % / (hemodynamic tension), deviations up to 10 %	3 (перенапряжение, неадекватность адаптации), отклонения до 15 % / (overvoltage, inadequacy of adaptation), deviations up to 15%	4 (преморбидные состояния и патологические изменения), отклонения более 15 % / (premorbid conditions and pathological changes), deviations of more than 15%
Коэффициент K_1 (экстракардиальная регуляция) / K_1 coefficient (extracardiac regulation)				
Покой (без воздействий) / Rest (no effects)	83	16	1	0
Физические нагрузки / Physical exercise	0	0	10	90
Гипоксия, 4500 м / Hypoxia, 4500 m	90	10	0	0
Гипертермия / Hyperthermia	75	25	0	0
Гипотермия / Hypothermia	28	62	10	0
Коэффициент K_2 (интракардиальная регуляция) / K_2 coefficient (intracardiac regulation)				
Покой (без воздействий) / Rest (no effects)	100	0	0	0
Физические нагрузки / Physical exercise	0	90	10	0
Гипоксия, 4500 м / Hypoxia, 4500 m	100	0	0	0
Гипертермия / Hyperthermia	94	6	0	0
Гипотермия / Hypothermia	97	3	0	0
Коэффициент F_1 (миокардиальный гомеостаз) / F_1 coefficient (myocardial homeostasis)				
Покой (без воздействий) / Rest (no effects)	25	65	10	0
Физические нагрузки / Physical exercise	54	26	20	0
Гипоксия, 4500 м / Hypoxia, 4500 m	100	0	0	0
Гипертермия / Hyperthermia	14	40	46	0
Гипотермия / Hypothermia	86	14	0	0
Коэффициент F_2 (желудочково-предсердная координированность) / F_2 coefficient (ventricular-atrial coordination)				
Покой (без воздействий) / Rest (no effects)	0	0	0	100
Физические нагрузки / Physical exercise	0	0	0	100
Гипоксия, 4500 м / Hypoxia, 4500 m	0	0	0	100
Гипертермия / Hyperthermia	0	0	0	100
Гипотермия / Hypothermia	0	0	0	100

механизмов регуляции работы сердца. Преобладание ваготонии (K_1) сменилось на выраженную симпатикотонию, произошло умеренное дополнительное повышение уровня метаболизма миокарда (F_1), однако оно остается в диапазоне функциональных изменений, так как не превышает уровень золотого сечения, а показатель F_2 не отличается от значений в состоянии покоя. Однако при этом отмечается статистически достоверное снижение коэффициента K_2 , что может отражать проявляющийся дефицит интракардиальной регуляции на фоне избыточно активированной экстракардиальной. Как правило, дефицит интракардиальных влияний становится прогностическим маркером возможного замедления процессов энергетического и метаболического восстановления миокарда в постнагрузочный период.

Таким образом, воздействие гипоксии приводило к существенным изменениям электрофизиологических свойств сердечной мышцы, которые, по-видимому, были связаны, с одной стороны, с гипервентиляцией, с другой — с влиянием гипоксии на сердечную мышцу. Наблюдалось увеличение частоты сердечных сокращений и работы правого желудочка, снижение ударного объема и мощности левого желудочка. Электрокардиографическое исследование также свидетельствовало о перегрузке правых отделов сердца (появление более чем у половины участников эксперимента предсердных зубцов P , напоминающих «P-pulmonale», смещение электрической оси сердца вправо). Под влиянием гипоксии возникали нарушения ритма и проводимости: миграция водителя ритма, предсердная и желудочковая экстрасистолия, атриовентрикулярная блокада I степени, нарушения внутрижелудочковой проводимости. Наибольшим изменениям подвергся процесс реполяризации желудочков — выявлены подъем и депрессия сегмента ST , увеличение или снижение амплитуды зубца T , его инверсия, изменение формы сегмента ST и зубца T .

Изучение электрофизиологических свойств сердечной мышцы при перегревании организма выявило активацию функций автоматизма, некоторое ускорение атриовентрикулярной проводимости, замедление внутрипредсердной и внутрижелудочковой проводимости, нарушение процессов реполяризации миокарда. Так, при анализе средних величин ЭКГ-параметров найдено достоверное уменьшение интервала RR ($p < 0,001$), тенденция к увеличению продолжительности волны P и комплекса QRS , укорочение интервала PQ . Нарушение процессов реполяризации выражалось небольшим смещением сегмента ST выше изоэлектрической линии (на 0,17 мм), существенным увеличением амплитуды зубца T .

Увеличение амплитуды зубца T , по мнению ряда авторов, связано с увеличением ударного объема крови. Наши экспериментальные исследования выявили уменьшение ударного объема при перегревании организма, поэтому повышение амплитуды зубца T следует, по-видимому, объяснить метаболическими изменениями в сердечной мышце, что подтверждается многочисленными данными литературы [10, 18, 20, 22]. При индивидуальном анализе ЭКГ участников эксперимента получены следующие клинически значимые изменения: исчезновение синусовой аритмии, миграция водителя ритма в предсердия, увеличение электрической активности правого и левого предсердий. Признаков повышения возбудимости миокарда в виде экстрасистолии не выявлено.

По данным литературы, неблагоприятное влияние тепла и физической нагрузки на сердце проявлялось в снижении вольтажа зубцов R и T , резком сокращении продолжительности интервала RR , появлении функциональных нарушений: изменение положения сегмента ST , формы зубца T , возникновение частичной блокады правой ножки пучка Гиса, появление предсердных экстрасистол [9, 24]. Векторметрический анализ свидетельствовал о значительной нагрузке на правые отделы сердца и дефиците кислорода в миокарде. Эти неспецифические изменения ЭКГ связывают чаще всего с метаболическими нарушениями, кислородным голоданием сердечной мышцы, изменениями величины ударного объема крови [25].

Анализ данных табл. 2 показывает, что у молодых здоровых мужчин в состоянии покоя коэффициенты симметричного анализа отличаются от эталонных для золотого сечения. Так, коэффициент K_1 , характеризующий уровень экстракардиальной регуляции, находится в диапазоне несколько ниже теоретического оптимума, равного 0,618, что отражает естественную склонность тренированного здорового организма к умеренной брадикардии и ваготонии. Однако механизмы интракардиальной регуляции (K_2) при этом практически полностью соответствуют оптимуму золотого сечения, что подтверждает исключительно функциональный ваготонический характер экстракардиальной регуляции работы сердца в состоянии покоя. Уровень метаболизма миокарда (F_1) при этом снижен (оптимальный уровень, соответствующий золотому сечению, равен 1,309), что свидетельствует о наличии отчетливого функционального резерва для метаболических процессов сердца. Коэффициент F_2 , отражающий координированность работы предсердий и желудочков, находится в диапазоне, характеризующемся преобладанием внутрижелудочковых

регуляторных влияний, что также отражает типичную картину, характерную для здоровых молодых людей.

Предложенная Н.В. Дмитриевой классификация функциональных состояний, основанная на оценке степени отклонения расчетных коэффициентов от оптимального значения, соответствующего золотому сечению, не является оптимальной для здоровых молодых мужчин, к которым относятся и спортсмены без признаков «спортивного сердца» и иной патологии миокарда. Она не учитывает знак отклонения, в результате чего для состояния покоя, при преобладании брадикардии, типичной для спортсменов, возникает гипердиагностика напряженной гемодинамики. В то же время работа сердца при кратковременных интенсивных физических нагрузках, закономерно вызывающих выраженную симпатикотонию, может не обоснованно быть охарактеризована как премоурбидное или патологическое состояние. С учетом этих особенностей, показатели K_1 и F_1 могут считаться более чувствительными к динамике функционального состояния, чем K_2 и F_2 .

Показатель K_2 , вероятно, может быть использован для комплексной оценки безопасности воздействующих на людей неблагоприятных факторов, а показатель F_2 не позволяет дифференцировать динамику функционального состояния у молодых практически здоровых лиц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявленные в результате неблагоприятных внешних воздействий отклонения от идеальной пропорции золотого сечения оставались в пределах допустимых колебаний, что свидетельствовало о достаточно совершенном функционировании сердца и сердечно-сосудистой системы в целом у обследованного контингента молодых практически здоровых лиц.

Использование геометрического (симметричного) анализа кардиоциклов в состоянии покоя, при физической нагрузке, а также умеренном по интенсивности воздействии типовых неблагоприятных факторов внешней среды (гипоксия, высокие или низкие температуры) показало принципиальную возможность оценки динамики функционального состояния у молодых практически здоровых лиц. Более динамичными были показатели, характеризующие активность процессов регуляции работы миокарда на экстракардиальном и интракардиальном уровнях, которые закономерно отражали изменения тонуса симпатических и парасимпатических структур вегетативной нервной системы в ответ на внешнее воздействие. Показатели симметричного

анализа, характеризующие уровень миокардиального гомеостаза, энергетические процессы и сократимость, в большей степени отражают прогностически неблагоприятные (с точки зрения срыва адаптации миокарда и развития премоурбидных или патологических изменений) характеристики, в том числе связанные с переутомлением и перетренированностью. Показатель, характеризующий в клинической практике координированность работы желудочков и предсердий, оказался нечувствительным к кратковременным изменениям функционального состояния миокарда молодых практически здоровых людей.

Применительно к практике спортивной медицины требуется более подробная детализация состояния работы сердца по функциональным классам, учитывающая не только степень отклонения значений от эталонных, характерных для золотого сечения, но и направленность этих изменений, связанных с перестройкой контуров управления работой сердца.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

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

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contribution. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бочаров М.И., Шилов А.С. Организация биоэлектрических процессов сердца при разной степени острой нормобарической гипоксии у здоровых людей // Экология человека. 2020. Т. 27, № 12. С. 28–36. DOI: 10.33396/1728-0869-2020-12-28-36
2. Глазачев О.С., Кофлер В., Дудник Е.Н., и др. Влияние адаптации к пассивной гипертермии на аэробную работоспособность и кардиореспиратор-

- ную выносливость у спортсменов-любителей // Физиология человека. 2020. Т. 46, № 1. С. 78–86. DOI: 10.31857/S0131164619060031
3. Гурвич Е.В. Клиническое значение структурной точки кардиоцикла и структурной точки артериального давления с позиции пропорции «золотого сечения». Нижний Новгород: Нижегородская государственная медицинская академия, 2005. 215 с.
 4. Дмитриева Н.В., Бадиков В.И., Макарычев В.А., и др. Доклинические изменения ЭКГ и их критериальная оценка на основе симметричного подхода // Кардиология. 1991. Т. 31, № 1. С. 79–81.
 5. Дмитриева Н.В. Симметричный подход к оценке функционального состояния организма человека // Известия АН СССР. Серия Биология. 1990. № 1. С. 52–66.
 6. Добрых В.А. Аритмии сердца: симметрия, золотое сечение. Хабаровск: Антар, 2011. 150 с.
 7. Малов Ю.С., Куликов А.Н. Симметричный подход к изучению сердца и его патологии // Вестник Российской военно-медицинской академии. 2014. № 2. С. 51–57.
 8. Новиков Е.М., Стеблецов С.В., Ардашев В.Н., и др. Исследования сердечного ритма по данным ЭКГ: вариабельность сердечного ритма и дисперсионное картирование // Кремлевская медицина. Клинический вестник. 2019. № 4. С. 81–89. DOI: 10.26269/4t6g-mx35
 9. Орлов В.Н. Руководство по электрокардиографии. 10-е изд. Москва: ООО «Медицинское информационное агентство», 2020. 560 с.
 10. Панина Н.Г. Влияние на организм человека физической нагрузки возрастающей интенсивности при различных сочетаниях микроклимата. Вопросы. Гипотезы. Ответы: наука XXI века: Коллективная монография. Краснодар: ИП Акелян Нарине Самадовна, 2014. С. 202–219.
 11. Цветков В.Д. Золотая гармония и сердце. Пушино: Фотон-век, 2008. 204 с.
 12. Цветков В.Д. Об оптимальных отношениях активных и функциональных интервалов во временной структуре систолы человека и диагностическом значении // Кардиология. 1985. Т. 25, № 12. С. 110–111.
 13. Цветков В.Д. Сердце, золотое сечение и симметрия. Пушино: ПНЦ РАН, 1997. 170 с.
 14. Buckberg G.D. Basic science review: The helix and the heart // J Thorac Cardiovasc Surg. 2002. Vol. 124, No. 5. P. 863–883. DOI: 10.1067/mtc.2002.122439
 15. Chan J.Y., Chang G.H. The Golden Ratio optimizes cardiomechanical form and function // Iran J Med Hypotheses Ideas. 2009. Vol. 3, No. 1. P. 1–5.
 16. Ciucurel C., Georgescu L., Iconaru E.I. ECG response to submaximal exercise from the perspective of Golden Ratio harmonic rhythm // Biomed Signal Process Control. 2018. Vol. 40. P. 156–162. DOI: 10.1016/j.bspc.2017.09.018
 17. Doshi H.H., Giudici M.C. The EKG in hypothermia and hyperthermia // J Electrocardiol. 2015. Vol. 48, No. 2. P. 203–209. DOI: 10.1016/j.jelectrocard.2014.12.001
 18. Foster J., Hodder S.G., Lloyd A.B., Havenith G. Individual Responses to Heat Stress: Implications for Hyperthermia and Physical Work Capacity // Front Physiol. 2020. Vol. 11. ID541483. DOI: 10.3389/fphys.2020.541483
 19. Henein M.Y., Zhao Y., Nicoll R., et al. The human heart: Application of the golden ratio and angle // Int J Cardiol. 2011. Vol. 150, No. 3. P. 239–242. DOI: 10.1016/j.ijcard.2011.05.094
 20. Kenny G.P., Poirier M.P., Metsios G.S., et al. Hyperthermia and cardiovascular strain during an extreme heat exposure in young versus older adults // Temperature. 2017. Vol. 4, No. 1. P. 79–88. DOI: 10.1080/23328940.2016.1230171
 21. Малов Ю.С., Малова А.М. Диагностика хронической сердечной недостаточности по длительности систолы желудочков // Вестник Санкт-Петербургского университета. Медицина. 2017. Т. 12, № 4. С. 307–313. DOI: 10.21638/11701/spbu11.2017.401
 22. Nybo L., Rasmussen P., Sawka M.N. Performance in the heat-physiological factors of importance for hyperthermia-induced fatigue // Compr Physiol. 2014. Vol. 4, No. 2. P. 657–689. DOI: 10.1002/cphy.c130012
 23. Ozturk S., Yalta K., Yetkin E. Golden ratio: A subtle regulator in our body and cardiovascular system? // Int J Cardiol. 2016. Vol. 223. P. 143–145. DOI: 10.1016/j.ijcard.2016.08.147
 24. Rizzo L., Thompson M.W. Cardiovascular adjustments to heat stress during Prolonged exercise // J Sports Med Phys Fitness. 2018. Vol. 58, No. 5. P. 727–743. DOI: 10.23736/S0022-4707.17.06831-1
 25. Seltnerich N. Between extremes: Health effects of heat and cold // Environ Health Perspect. 2015. Vol. 123, No. 11. P. 276–280. DOI: 10.1289/ehp.123-A275

REFERENCES

1. Bocharov MI, Shilov AS. Bioelectric heart processes in healthy men at different levels of acute normobaric hypoxia. *Human Ecology*. 2020;27(12):28–36. (In Russ.) DOI: 10.33396/1728-0869-2020-12-28-36
2. Glazachev OS, Kofler W, Dudnik EN, et al. Effect of adaptation to passive hyperthermia on aerobic performance and cardio-respiratory endurance in amateur athletes. *Human Physiology*. 2020;46(1):78–86. (In Russ.) DOI: 10.31857/S0131164619060031
3. Gurvich EV. *Klinicheskoe znachenie strukturnoi tochki kardio-tsikla i strukturnoi tochki arterial'nogo davleniya s pozitsii proporsii "zlotogo secheniya"*. Nizhny Novgorod: Privolzhsky Research Medical University, 2005. 215 p. (In Russ.)
4. Dmitrieva NV, Badikov VI, Makarychev VA, et al. Doklinicheskie izmeneniya EHKG i ikh kriterial'naya otsenka na osnove simmetriinogo podkhoda. *Kardiologiya*. 1991;31(1):79–81. (In Russ.)
5. Dmitrieva NV. Simmetriinyi podkhod k otsenke funktsionalnogo sostoyaniya organizma cheloveka.

- Biology Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR.* 1990;(1):52–66. (In Russ.)
6. Dobrykh VA. *Aritmii serdtsa: simmetriya, zolotoe sechenie.* Khabarovsk: Antar, 2011. 150 p. (In Russ.)
 7. Malov YuS, Kulikov AN. Symmetry approach to research of heart and its pathology. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy.* 2014;(2):51–57. (In Russ.)
 8. Novikov EM, Stebletsov SV, Ardashov VN, et al. Research of heart rate by ECG: heart rate variability and dispersion mapping. *Kremlin Medicine Journal.* 2019;(4):81–89. (In Russ.) DOI: 10.26269/4t6g-mx35
 9. Orlov VN. *Rukovodstvo po ehlektrokardiografii. 10-e izd.* Moscow: Meditsinskoe informatsionnoe agentstvo, 2020. 560 p. (In Russ.)
 10. Panina NG. Vliyanie na organizm cheloveka fizicheskoi nagruzki vozrastayushchei intensivnosti pri razlichnykh sochetaniyakh mikroklimata. *Voprosy. Gipotezy. Otvety: nauka XXI veka: Kollektivnaya monografiya.* Krasnodar: IP Akelyan Narine Samadovna, 2014. P. 202–219. (In Russ.)
 11. Tsvetkov VD. *Zolotaya garmoniya i serdtse.* Pushchino: Foton-vek, 2008. 204 p. (In Russ.)
 12. Tsvetkov VD. Ob optimal'nykh otnosheniyakh aktivnostnykh i funktsional'nykh intervalov vo vremennoi strukture sistoly cheloveka i diagnosticheskom znachenii. *Kardiologiya.* 1985;25(12):110–111. (In Russ.)
 13. Tsvetkov VD. *Serdtshe, zolotoe sechenie i simmetriya.* Pushchino: PNTS RAN, 1997. 170 p. (In Russ.)
 14. Buckberg GD. Basic science review: The helix and the heart. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2002;124(5):863–883. DOI: 10.1067/mtc.2002.122439
 15. Chan JY, Chang GH. The Golden Ratio optimizes cardiomechanical form and function. *Iran J Med Hypotheses Ideas.* 2009;3(1):1–5.
 16. Ciucurel C, Georgescu L, Iconaru EI. ECG response to submaximal exercise from the perspective of Golden Ratio harmonic rhythm. *Biomed Signal Process Control.* 2018;40:156–162. DOI: 10.1016/j.bspc.2017.09.018
 17. Doshi HH, Giudici MC. The EKG in hypothermia and hyperthermia. *J Electrocardiol.* 2015;48(2):203–209. DOI: 10.1016/j.jelectrocard.2014.12.001
 18. Foster J, Hodder SG, Lloyd AB, Havenith G. Individual Responses to Heat Stress: Implications for Hyperthermia and Physical Work Capacity. *Front Physiol.* 2020;11:541483. DOI: 10.3389/fphys.2020.541483
 19. Henein MY, Zhao Y, Nicoll R, et al. The human heart: Application of the golden ratio and angle. *Int J Cardiol.* 2011;150(3):239–242. DOI: 10.1016/j.ijcard.2011.05.094
 20. Kenny GP, Poirier MP, Metsios GS, et al. Hyperthermia and cardiovascular strain during an extreme heat exposure in young versus older adults. *Temperature.* 2017; 4(1): 79–88. DOI: 10.1080/23328940.2016.1230171
 21. Malov YuS, Malova AM. Diagnostics of chronic heart failure by the duration of ventricular systole. *Vestnik of Saint Petersburg University. Medicine.* 2017;12(4):307–313. (In Russ.) DOI: 10.21638/11701/spbu11.2017.401
 22. Nybo L, Rasmussen P, Sawka MN. Performance in the heat-physiological factors of importance for hyperthermia-induced fatigue. *Compr Physiol.* 2014;4(2): 657–689. DOI: 10.1002/cphy.c130012
 23. Ozturk S, Yalta K, Yetkin E. Golden ratio: A subtle regulator in our body and cardiovascular system? *Int J Cardiol.* 2016;223:143–145. DOI: 10.1016/j.ijcard.2016.08.147
 24. Rizzo L, Thompson MW. Cardiovascular adjustments to heat stress during Prolonged exercise. *J Sports Med Phys Fitness.* 2018;58(5):727–743. DOI: 10.23736/S0022-4707.17.06831-1
 25. Seltenrich N. Between extremes: Health effects of heat and cold. *Environ Health Perspect.* 2015;123(11): 276–280. DOI: 10.1289/ehp.123-A275

◆ Информация об авторах

*Алексей Евгеньевич Ким – канд. мед. наук, старший научный сотрудник НИО (обитаемости) НИЦ. ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» Минобороны России, Санкт-Петербург, Россия. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4591-2997>. E-mail: alexpann@mail.ru

Евгений Борисович Шустов – д-р мед. наук, профессор, гл. научн. сотр. ФГБУ «Научно-клинический центр токсикологии им. акад. С.Н. Голикова Федерального медико-биологического агентства», Санкт-Петербург, Россия. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5895-688X>. E-mail: shustov-msk@mail.ru

◆ Information about the authors

Aleksey E. Kim – MD, PhD, Senior Researcher, Research Institute (Habitability) Research Center. Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4591-2997>. E-mail: alexpann@mail.ru

Evgeny B. Shustov – MD, PhD, Dr. Med. Sci., Professor, Chief Researcher. Golikov Research Center of Toxicology, Saint Petersburg, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5895-688X>. E-mail: shustov-msk@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

◆ Информация об авторах

Вячеслав Павлович Ганопольский – полковник медицинской службы, д-р мед. наук, начальник НИО (обитаемости) НИЦ. ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» Минобороны России, Санкт-Петербург, Россия.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7685-5126>.
E-mail: ganvp@mail.ru

Ирина Петровна Зайцева – д-р биол. наук, профессор кафедры физического воспитания. ФГБОУ ВО «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова», Ярославль, Россия. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8361-7409>.
E-mail: irisha-zip@yandex.ru

◆ Information about the authors

Vyacheslav P. Ganapolsky – MD, PhD, Dr. Med. Sci., Colonel of the Medical Service, Head of the Research and Development Center (Habitability) of the Research Center. Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7685-5126>.
E-mail: ganvp@mail.ru

Irina Petrovna Zaitseva – Dr. Biol. Sci., Professor of the Department of Physical Education. P.G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8361-7409>.
E-mail: irisha-zip@yandex.ru