

## ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА БИОЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ СЕРДЦА ЖИТЕЛЕЙ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ

© 2021 г. <sup>1</sup>Л. И. Иржак, <sup>1</sup>Е. А. Дудникова, <sup>1</sup>А. Н. Паршукова, <sup>2</sup>О. Н. Попова, <sup>2</sup>А. Б. Гудков

<sup>1</sup>Научно-образовательная лаборатория «Проблемы гипоксии» ФГБОУ ВО «Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина», г. Сыктывкар; <sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Архангельск

**Введение:** При изучении процессов адаптации ведущая роль отводится анализу деятельности сердечно-сосудистой системы, функции миокарда и его электрической активности как в состоянии покоя, так и при физической нагрузке (ФН). При этом важное значение имеет установление новых индикаторных показателей, характеризующих динамику адаптационного процесса.

**Цель работы:** выявить особенности влияния ФН на интервально-амплитудные биоэлектрические характеристики миокарда у человека.

**Методы:** У 19 практически здоровых студенток, не занимающихся спортом, записано 570 кардиоциклов в покое и после 5-минутной ФН на велоэргометре (1 Вт на 1 кг массы тела). По ЭКГ проанализированы интервально-амплитудные электрические свойства миокарда. В зависимости от величины частоты сердечных сокращений в покое выделены три группы обследованных: с низкой (НЧ – 70 уд./мин и менее), средней (СЧ – 71–89 уд./мин) и высокой (ВЧ – 90 уд./мин и более) частотой.

**Результаты:** Интервал РР составляет  $(0,95 \pm 0,07)$  с при НЧ и  $(0,63 \pm 0,04)$  с при ВЧ до ФН и уменьшается после ФН до  $(0,40 \pm 0,03)$  и  $(0,38 \pm 0,02)$  с ( $p < 0,001$ ). Деполаризация (интервал РТ) до ФН длится  $(0,52 \pm 0,02)$  с при НЧ и  $(0,46 \pm 0,01)$  с при ВЧ, после ФН уменьшается до  $(0,38 \pm 0,03)$  и  $(0,36 \pm 0,02)$  с ( $p < 0,001$ ). Амплитуды RD до ФН  $(1,47 \pm 0,10)$  mV и  $(1,50 \pm 0,12)$  mV, после ФН  $(1,16 \pm 0,16)$  и  $(1,1 \pm 0,17)$  mV при НЧ и ВЧ. Вариабельность амплитуд RD до и после ФН  $\pm 0,50$  mV. Реполаризация (сегмент ТР) до ФН составляет  $(0,43 \pm 0,07)$  с при НЧ и  $(0,17 \pm 0,04)$  с при ВЧ. После ФН сокращается до  $(0,02 \pm 0,01)$  с при НЧ и ВЧ ( $p < 0,001$ ).

**Выводы:** Уменьшение длительности интервалов РР, РТ и сегмента ТР после нагрузки зависит от исходной величины их до нагрузки. После ФН наибольшие изменения претерпевает сегмент ТР, отражающей фазу относительной рефрактерности. При анализе адаптивных реакций миокарда следует обращать особое внимание на динамику этого сегмента.

*Ключевые слова:* миокард, электрические свойства, рефрактерность, велоэргометрия, интервалы ЭКГ, амплитуды потенциалов

## ASSOCIATIONS BETWEEN PHYSICAL LOAD AND CARDIAC BIOELECTRIC ACTIVITY IN RESIDENTS OF THE EUROPEAN NORTH OF RUSSIA

<sup>1</sup>L. I. Irzhak, <sup>1</sup>E. A. Dudnikova, <sup>1</sup>A. N. Parshukova, <sup>2</sup>O. N. Popova, <sup>2</sup>A. B. Gudkov

<sup>1</sup>Scientific and educational laboratory «Problems of hypoxia» Pitirim Sorokin Syktyvkar State University, Syktyvkar;

<sup>2</sup>Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia

**Introduction:** The leading role in studying adaptation processes is assigned to the analysis of the cardiovascular system activity, myocardial function and its electrical activity, both at rest and during physical load. At the same time, it is important to search for new indicators that characterize the dynamics of the adaptation process.

**Aim:** To study associations between physical activity and the interval-amplitude bioelectric characteristics of the myocardium in residents of the European North of Russia.

**Methods:** Electrocardiograms (ECG) were recorded in 19 healthy female students from Syktyvkar, who were not involved in sports activities. The ECG was recorded at rest and 5 minutes after physical load on a cycle ergometer (1 watt per 1 kg of body weight). Interval-amplitude electrical properties of the myocardium were analyzed on ECG. All the examined were divided into 3 groups depending on resting heart rate. Altogether, 570 cardiac cycles were used for the analysis.

**Results:** The RR interval was  $0.95 \pm 0.07$  s (at low frequency) and  $0.63 \pm 0.04$  s (at high frequency) before physical load and decreased to  $0.40 \pm 0.03$  s and  $0.38 \pm 0.02$  s ( $p < 0.001$ ) after physical load. Depolarization (RT interval) lasted  $0.52 \pm 0.02$  s (at low frequency) and  $0.46 \pm 0.01$  s (at high frequency) before physical load. After physical load there was a decrease to  $0.38 \pm 0.03$  s at low frequencies and up to  $0.36 \pm 0.02$  s at high frequency ( $p < 0.001$ ). RD amplitudes before physical load were  $1.47 \pm 0.10$  mV and  $1.50 \pm 0.12$  mV, after physical load  $1.16 \pm 0.16$  mV and  $1.1 \pm 0.17$  mV (at low frequency and high frequency): average decrease by 20% ( $p < 0.001$ ). Variability of RD amplitudes before and after physical load was  $\pm 0.50$  mV. Repolarization (TR segment) before physical load was  $0.43 \pm 0.07$  s (at low frequency) and  $0.17 \pm 0.04$  s (at high frequency F). After physical load it decreased to  $0.02 \pm 0.01$  s (at low frequency and high frequency) ( $p < 0.001$ ).

**Conclusions:** The decrease in the duration of the PP, RT and TR segments after the load depends on their initial value before the load.

*Key words:* myocardium, electrical properties, refractivity, veloergometry, ECG intervals, potential amplitudes

### Библиографическая ссылка:

Иржак Л. И., Дудникова Е. А., Паршукова А. Н., Попова О. Н., Гудков А. Б. Влияние физической нагрузки на биоэлектрическую активность сердца жителей Европейского Севера России // Экология человека. 2021. № 7. С. 35–42.

### For citing:

Irzhak L. I., Dudnikova E. A., Parshukova A. N., Popova O. N., Gudkov A. B. Associations between Physical Load and Cardiac Bioelectric Activity in Residents of the European North of Russia. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2021, 7, pp. 35-42.

В настоящее время в рамках экологической физиологии исследование фундаментальных проблем адаптации продолжает занимать ведущее место в связи с широким использованием во многих отраслях промышленности вахтовых форм труда, а также необходимостью решения вопросов национальной политики страны, особенно на северных и арктических территориях [8, 13, 28]. Привлечение людских ресурсов из других климатических регионов на эти территории — объективная необходимость.

При изучении характера компенсаторно-приспособительных реакций у приехавшего в высокие широты человека всегда особое внимание уделяется сердечно-сосудистой системе [3, 15]. Являясь интегрирующей системой и стрессопозитивной, она первой вовлекается в ответные реакции организма человека, которые направлены на уравнивание с внешней средой. Кровообращение обеспечивает все процессы метаболизма в организме человека и поэтому является компонентом различных функциональных систем, определяющих гомеостаз.

Основой кровообращения является деятельность сердца, выполняющего резервуарную и насосную функции. Работу сердца как целого органа в состоянии покоя и при ФН отражает ЭКГ [3, 5]. При этом электрическая активность сердца изменяется раньше, чем его насосная функция, и развиваются гемодинамические и метаболические сдвиги. Поэтому установление особенностей электрической активности сердца, как одного из главных методов объективной оценки состояния миокарда, имеет важное теоретическое и практическое значение, особенно при исследовании динамики адаптационных процессов у человека.

Цель работы — выявить особенности влияния ФН на интервально-амплитудные биоэлектрические характеристики миокарда у человека.

### Методы

Работа проводилась в научно-образовательном центре «Проблемы гипоксии» Сыктывкарского государственного университета им. Питирима Сорокина в весеннее время года. Обследованы студентки 1–2 курсов университета. Все девушки — жители Европейского Севера, практически здоровые, не занимающиеся спортом и обучающиеся по общей программе физического воспитания два раза в неделю, без вредных привычек, давшие добровольное согласие на участие в обследовании ( $n = 19$ ). Их возраст ( $18,0 \pm 0,7$ ) года, длина тела ( $163,0 \pm 5,3$ ) см, масса тела ( $56,0 \pm 4,0$ ) кг. По результатам предварительного анкетирования составлен план проведения исследований с учетом личных календарей овариально-менструального цикла (ОМЦ) обследуемых. Согласно полученным данным, длительность ОМЦ у них не превышала 28 дней. Исследования проводились на четвертый день ОМЦ.

Обследования проводилось с 13 до 15 часов в лабораторных условиях при температуре воздуха в

помещении 22–24 °С, относительной влажности 60 % и в присутствии врача. Записывалась ЭКГ во II стандартном отведении с помощью аппаратно-программного комплекса «Поли-спектр» (фирма «Нейро-софт», г. Иваново) по 300 кардиоциклов в положении испытуемых сидя в спокойном состоянии (контроль) и под влиянием однократной ФН, в качестве которой использовали работу на велоэргометре (ВЭМ). Дозированная мощность ФН составляла 1 Вт/кг массы тела в течение 5 мин. Величина ЧСС (уд./мин) определялась по ЭКГ. Обследованных распределили на три группы по показателю ЧСС: с низкой частотой (НЧ — менее 70 уд./мин), средней (СЧ — от 71 до 89 уд./мин) и высокой (ВЧ — 90 уд./мин и выше). Амплитуды потенциалов комплекса QRS измеряли по высоте RD прямоугольного треугольника QRD из расчета 20 мм соответствуют 1 mV. Длительности интервалов ЭКГ — PP, PT, сегмента TP измерялись в мм и оценивались исходя из соотношения 50 мм соответствуют 1 с.

Вариабельность показателей выражалась в виде кардиоинтервалограмм (КИГ) и кардиоамплитудограмм (КАГ) [7, 10].

Статистическая обработка производилась с помощью пакета прикладных программ Excel 2010. В работе учтены показатели средней арифметической величины ( $M$ ), стандартного отклонения ( $SD$ ) для обеспечения сравнимости с результатами подобных исследований. Применен метод парных сравнений по Уилкоксоу. Различия считали статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

### Результаты

При анализе полученных результатов у обследованных установлено, что средняя длительность интервала PP в состоянии покоя соответствует сведениям, приведенным в источниках литературы [2, 4]. Индивидуальные значения показателя в состоянии покоя до ФН различаются в 1,5–2 раза (таблица). В результате действия ФН длительность интервала PP снижается вдвое, изменчивость ( $\pm SD$ ) — в 4 раза. Вариабельность показателя снижается после ФН в большей степени при ВЧ.

Неодинаковая реакция на ФН и других показателей электрических свойств миокарда (ЭСМ). Так, до ФН интервал PT длительностью около половины кардиоцикла отражает время, в течение которого происходит охват миокарда деполяризацией и формируется фаза абсолютной рефрактерности [25]. В условиях ФН интервал PT сокращается ( $p < 0,05$ ) по длительности до величины PP (см. таблицу). Существенно, что вариабельность показателя PT, отражающего процесс деполяризации, наименьшая по сравнению с PP и TP (рис. 1). Интервал PT тесно связан с индивидуальными вариантами ЧСС в покое.

Сегмент TP — наименьший по длительности из исследованных в данной работе и наиболее изменчивый элемент ЭКГ [22]. Показатель отражает фазу относительной рефрактерности, сокращающуюся под действием ФН до отметок, близких к нулевым, с разницей до ФН в среднем до 90 % (см. таблицу).

Величина частоты сердечных сокращений (уд./мин), вольтаж амплитуд RD (mV) и интервалы ЭКГ (с) в состоянии покоя и после действия физической нагрузки, M ± SD

До ФН					После ФН				
ЧСС	PP	RD	PT	TP	ЧСС	PP	RD	PT	TP
Среднегрупповые данные (n = 570)									
78	<b>0,77±0,06</b>	<b>1,3±0,10</b>	<b>0,49±0,02</b>	<b>0,28±0,06</b>	154**	<b>0,39±0,03**</b>	<b>1,08±0,17**</b>	<b>0,37±0,03**</b>	<b>0,02±0,01**</b>
Группа 1 (НЧ) (n = 180)									
67	0,9 ± 0,07	1,04 ± 0,05	0,53±0,02	0,37±0,07	133	0,45 ± 0,04	0,74±0,11	0,43±0,04	0,02±0,01
61	0,99±0,07	2,14±0,14	0,52±0,02	0,47±0,06	146	0,41±0,02	1,84±0,22	0,4±0,03	0,02±0,01
69	0,87±0,06	1,94±0,23	0,47±0,01	0,4±0,06	162	0,37±0,02	1,66±0,20	0,35±0,02	0,02±0,01
54	1,12±0,04	0,69±0,03	0,56±0,01	0,56±0,04	133	0,45±0,02	0,63±0,05	0,41±0,01	0,03±0,01
65	0,92±0,10	0,9±0,3	0,51±0,01	0,41±0,10	171	0,35±0,07	0,57±0,22	0,33±0,07	0,02±0,01
68	0,88±0,09	2,08±0,14	0,52±0,02	0,36±0,09	158	0,38±0,02	1,52±0,15	0,36±0,02	0,02±0,01
64	<b>0,95±0,07</b>	<b>1,47±0,10</b>	<b>0,52±0,02</b>	<b>0,43±0,07</b>	151**	<b>0,4±0,03**</b>	<b>1,16±0,16**</b>	<b>0,38±0,03**</b>	<b>0,02±0,01**</b>
Группа 2 (СЧ) (n = 190)									
85	0,71±0,16	0,35±0,15	0,47±0,09	0,24±0,13	146	0,41±0,04	0,38±0,15	0,39±0,03	0,02±0,01
85	0,71±0,04	0,82±0,06	0,51±0,01	0,19±0,04	150	0,40±0,03	1,00±0,19	0,37±0,03	0,03±0,01
81	0,74±0,04	0,41±0,05	0,46±0,01	0,29±0,04	143	0,42±0,08	1,3±0,41	0,34±0,07	0,08±0,03
74	0,81±0,02	1,68±0,09	0,5±0,01	0,32±0,02	158	0,38±0,01	1,12±0,13	0,37±0,01	0,02±0,01
82	0,73±0,04	0,1±0,03	0,47±0,02	0,26±0,05	158	0,38±0,03	0,17±0,10	0,37±0,03	0,02±0,01
85	0,71±0,08	1,79±0,06	0,49±0,02	0,21±0,07	167	0,36±0,03	1,35±0,14	0,33±0,04	0,03±0,01
82	0,73±0,06	1,72±0,09	0,52±0,02	0,22±0,06	143	0,42±0,01	1,47±0,20	0,41±0,01	0,02±0,01
82*	<b>0,73±0,06*</b>	<b>0,98±0,07*</b>	<b>0,49±0,02</b>	<b>0,25±0,06*</b>	152**	<b>0,40±0,03**</b>	<b>0,97±0,18</b>	<b>0,37±0,03**</b>	<b>0,03±0,01**</b>
Группа 3 (ВЧ) (n = 200)									
91	0,66±0,04	0,87±0,06	0,45±0,01	0,21±0,04	162	0,37±0,02	0,67±0,14	0,35±0,04	0,02±0,01
92	0,65±0,04	1,87±0,2	0,46±0,01	0,18±0,04	167	0,36±0,02	0,55±0,13	0,35±0,02	0,02±0,01
92	0,65±0,02	0,63±0,03	0,45±0,01	0,2±0,03	158	0,38±0,03	0,52±0,11	0,36±0,02	0,02±0,01
97	0,62±0,04	2,16±0,04	0,49±0,01	0,13±0,03	167	0,36±0,01	1,88±0,12	0,34±0,02	0,02±0,01
98	0,61±0,05	1,42±0,12	0,46±0,02	0,15±0,05	150	0,4±0,03	1,22±0,20	0,37±0,04	0,03±0,01
98	0,61±0,03	2,04±0,21	0,44±0,01	0,17±0,03	146	0,41±0,02	1,83±0,28	0,39±0,01	0,02±0,01
95*	<b>0,63±0,04*</b>	<b>1,50±0,12*</b>	<b>0,46±0,01</b>	<b>0,17±0,04*</b>	158**	<b>0,38±0,02**</b>	<b>1,1±0,17**</b>	<b>0,36±0,02**</b>	<b>0,02±0,01**</b>

Примечания: \* – межгрупповая разница, \*\* – разница между показателями до ФН и после ФН со значимостью  $p \leq 0,05$ ; n – количество кардиоциклов. Жирным выделены средние результаты в каждой из трех подгрупп.

Разница между группами НЧ и ВЧ по длительности сегмента TP, составляющая до ФН около 40 %, снижается до нулевых значений под действием ФН. В целом очевидна связь между изменениями, вызванными ФН, и их уровнем до ФН.

В наибольшей степени изменяется уровень амплитуды RD (рис. 2). Амплитуда RD варьирует на уровне 20 %. Разница между изменениями RD до ФН и после ФН в группе 1 (НЧ ЧСС) составила в среднем 21,1 %, в группе 2 (СЧ) разница практически отсутствует – 4 %, в группе 3 (ВЧ) эта разница – 26,9 %. Из рис. 2 видно, что вариабельность амплитуды RD достигает величины  $\pm 0,50$  mV (рис. 2).

Амплитуда потенциалов действия, определяющая абсолютную рефрактерность, при регистрации до и после ФН с промежутком в 5 мин характеризуется значительным размахом колебаний (рис. 3), что наблюдается у всех испытуемых. Эта особенность обусловлена, по-видимому, эффектом электрического сопротивления тканей и жидкостей тела [11, 12].

Абсолютные и относительные показатели ЭСМ, рассмотренные в данной работе, имеют структурно-функциональные корни, влияние которых прослеживается на уровне ЧСС и организма в целом. Судя по ЭСМ, при брадикардии увеличены обе фазы рефрактерности, в то время как при тахикардии обе фазы уменьшены, особенно фаза относительной реф-

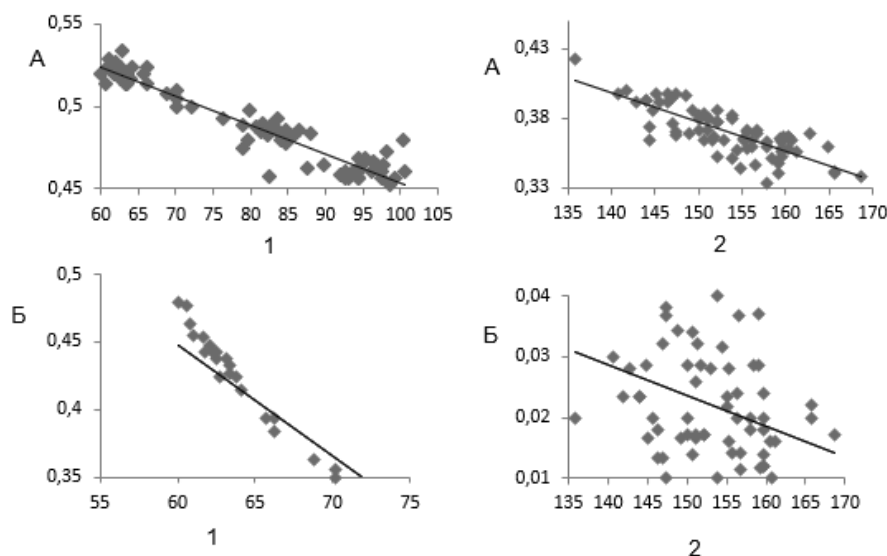


Рис. 1. Соотношения между интервалами и частотой сердечных сокращений

Примечания: А – РТ, Б – ТР; 1 – до ФН, 2 – после ФН; по оси абсцисс – ЧСС, уд./мин; по оси ординат – интервалы, с.

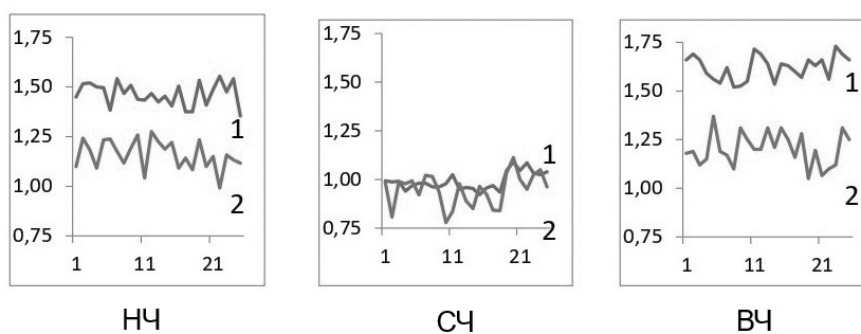


Рис. 2. Объединенные кардиоамплитуды RD у испытуемых при разных частотах сердечных сокращений

Примечания: по оси абсцисс – номера кардиоциклов, по оси ординат – амплитуды, mV; 1 – до ФН; 2 – после ФН. НЧ – 1 группа, СЧ – 2 группа, ВЧ – 3 группа.

рактерности. На рис. 4 показаны два предстартовых состояния ЭСМ, одно при НЧ (64 уд./мин), другое при ВЧ (95 уд./мин). Под действием ФН оба состояния «разрешаются» на финише практически одинаковым увеличением ЧСС в среднем до 150 уд./мин.

### Обсуждение результатов

Электрические свойства миокарда исследуются на протяжении десятилетий методами ЭКГ с применением стандартных ФН, позволяющих разрабатывать современные представления об их роли в ЭСМ в нормальных и экстремальных условиях работы организма [1, 9, 14, 16, 17, 19–21].

Известно, что согласно медицинским нормативам у взрослого здорового человека в нормальных условиях ЧСС варьирует в широких пределах [2, 18]. Речь идет, в частности, об интервалах и амплитудах ЭКГ во время ВЭМ – распространенного метода исследований, в задачу которых входит проверка функционального состояния сердечно-сосудистой системы в

сочетании с ЭКГ в эксперименте и клинике [6]. При этом часто интервальные и амплитудные показатели рассматриваются вне связи их друг с другом.

Функциональная роль электрической энергии миокарда, образующейся путём ионообмена между внутри- и межклеточной средой миоцитов, привлекает внимание клиницистов и физиологов для решения задач прикладного и фундаментального характера [27]. Однако при всей значимости данных об ЭСМ, накопленных к настоящему времени в науках о физиологии сердца, следует отметить, что сведений о функциональных связях между компонентами ЭСМ недостаточно, а также в современных работах практически отсутствуют данные о связях ЭСМ с уровнями ЧСС. Оптимальное проявление важнейших свойств работающего сердца зависит, в частности, от электрической стимуляции клеток возбудимой ткани. В ряде работ за последние годы опубликованы материалы об амплитудно-интервальных показателях ЭСМ при действии факторов природного и искусственного ти-

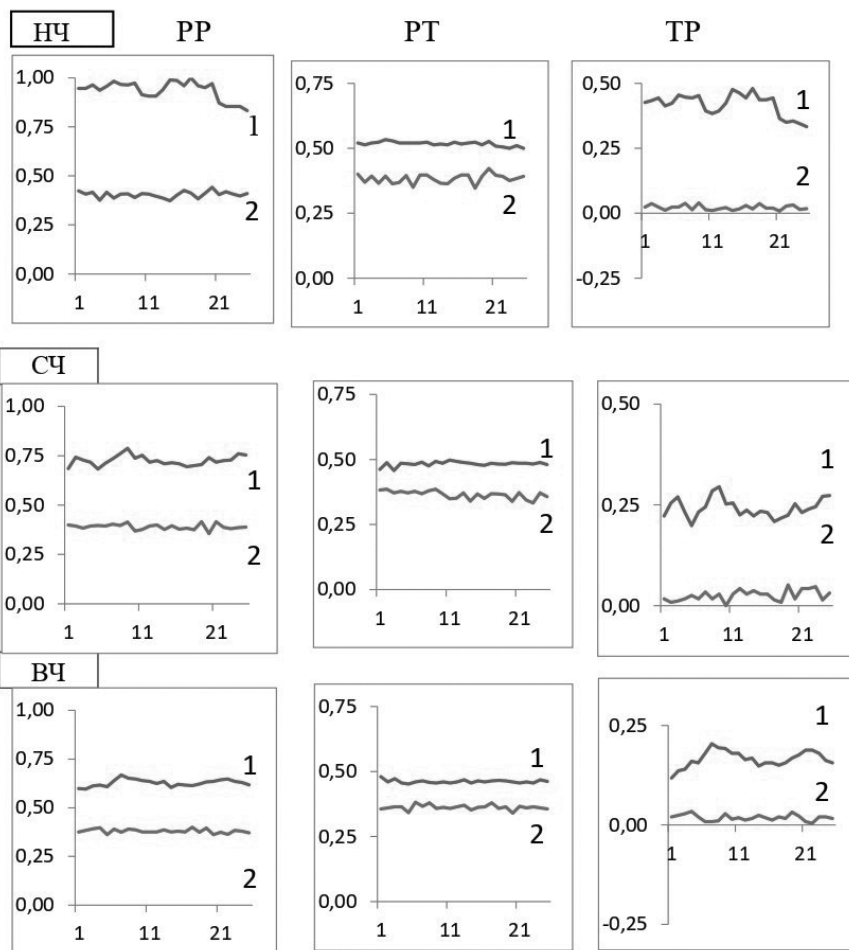


Рис. 3. Среднегрупповые кардиоинтервалы ЭКГ испытуемых до (1) и после физической нагрузки (2)

Примечания: НЧ – 1 группа, СЧ – 2 группа, ВЧ – 3 группа; по оси абсцисс – номера кардиоциклов; по оси ординат – интервалы, с.

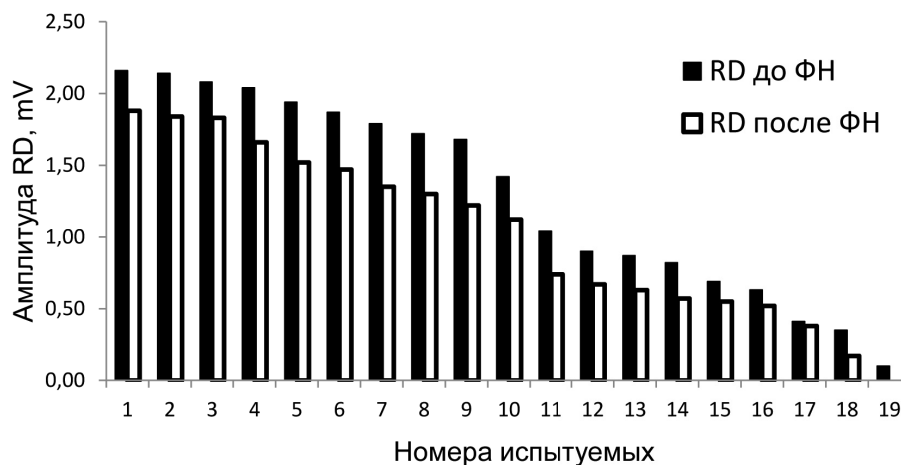


Рис. 4. Индивидуальные показатели амплитуды до и после физической нагрузки (ФН)

пов [1, 4, 5, 9]. Эти работы, несомненно, расширяют представления об ЭСМ.

В рамках выполненного исследования, обсуждая результаты, связанные с потенциалом действия (ПД), обращаем внимание прежде всего на особенности вариабельности этого показателя, которая в не-

сколько раз превышает вариабельность временных элементов ЭКГ.

Причины таких колебаний до и после ФН кроются, очевидно, в суммарном потенциале действия кардиомиоцитов, в их электрическом взаимодействии. Массив одиночных кардиомиоцитов включается в об-

щий ответ на стимул, пришедший от синоатриального узла (САУ), чем и обеспечивается величина ПД, достаточная для записи на поверхности тела методами ЭКГ. Неравномерная ритмика сигналов, поступающих от САУ, определяет неоднозначность в количестве (следовательно, и в качестве) вовлеченных в ответной реакции кардиомиоцитов. Можно сомневаться в том, что вариабельность суммарного ПД определяется в более значительной степени количеством взаимодействующих одиночных миоцитов.

Результаты проведенных нами исследований показывают, что в соответствии с известной биологической закономерностью («Лестница Бюджича») в условиях действия ФН уровень изменений показателей ЭСМ зависит от их величины в состоянии покоя. Можно предположить, что при брадикардии и тахикардии факторы, определяющие и обеспечивающие формирование де- и реполяризацию, выступают в разных сочетаниях.

Речь идет о двух базовых типах формирования ЭСМ, обуславливающих брадикардию (В-тип) и тахикардию (Т-тип). Организм в том и другом состоянии располагает неодинаковыми энергетическими возможностями увеличения ЧСС при ФН в обстановке стресса [24, 26] и очевидно испытывает разную степень зависимости от ишемии миокарда при перегрузках [23].

Показатели ЭСМ, измеряемые на поверхности тела методами ЭКГ, представляют собой отражение микроэлектрических процессов, которые формируются на одиночных миоцитах в глубине миокарда. В большей степени это относится к амплитудам потенциалов, вольтаж которых из-за электрического сопротивления тканей снижается в 50–100 раз по сравнению с величиной потенциала действия одиночных клеток. В меньшей степени тормозятся длительности интервалов ЭКГ.

Функциональная связь всех показателей ЭСМ несомненна, чем определяется задача проведения комплексных исследований ЭСМ. В представленной работе показана связь между амплитудами потенциалов, длительностями интервалов ЭКГ в покое и после ФН. Полученные материалы и данные литературы позволяют обсудить динамику возбудимости миокарда при действии ФН. Фаза абсолютной рефрактерности (интервал РТ) более консервативна по сравнению с фазой относительной рефрактерности (сегмент ТР).

Длительность ТР уменьшается под действием ФН до отметок, близких к нулевым, что существенно меняет условия последующих ответных реакций (рис. 5).

Таким образом, проведенное исследование позволило выявить особенности влияния ФН на интервально-амплитудные биоэлектрические характеристики миокарда.

#### Выводы:

1. Уменьшение длительности интервалов РР, РТ и сегмента ТР после нагрузки зависит от исходной величины их до нагрузки. При большей исходной величине уменьшение более значительное, что необходимо учитывать при оценке изменений показателей ЭКГ в процессе адаптивных реакций у людей с бради-, нормо- и тахикардией.

2. После ФН наибольшие изменения претерпевает сегмент ТР, отражающий фазу относительной рефрактерности. При анализе адаптивных реакций миокарда следует обращать особое внимание на динамику этого сегмента.

*Тема работы одобрена комитетом по этике Института физиологии КНЦ УРО РАН от 16.02.2020.*

#### Авторство

Иржак Л. И. принял участие в написании всех разделов статьи, утвердил окончательный ее вариант; Дудникова Е. А. осуществила анализ полученных данных, приняла участие в формулировании выводов; Паршукова А. Н. разработала концепцию и дизайн исследования, приняла участие в сборе первичных данных и анализе полученных результатов; Попова О. Н. участвовала в редактировании текста статьи и написании первого ее варианта; Гудков А. Б. принял участие в написании первого варианта статьи, формулировании выводов.

Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов.

Иржак Лев Исакович – SPIN 1156-8956; ORCID 0000-0003-3459-7848

Дудникова Екатерина Александровна – SPIN 7121-2278; ORCID 0000-0003-2347-309X

Паршукова Александра Николаевна – SPIN 6533-4347; ORCID 0000-0001-7297-3395

Попова Ольга Николаевна – SPIN 5792-0273; ORCID 0000-0002-0135-4594

Гудков Андрей Борисович – SPIN 4369-3372; ORCID 0000-0001-5923-0914

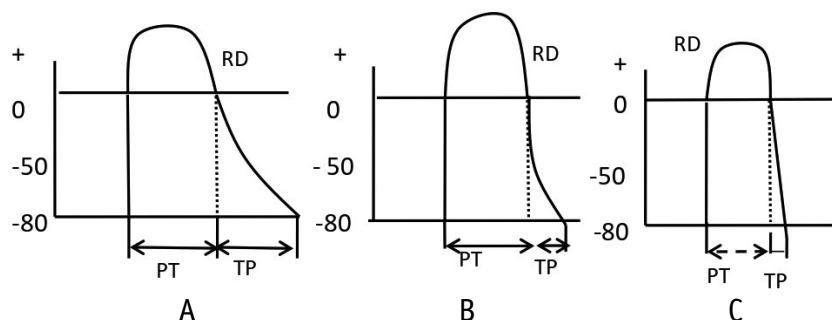


Рис. 5. Соотношения между показателями электрических свойств миокарда и частоты сердечных сокращений. По [2, 4, 17] с изменениями

*Примечания:* А – до ФН, ЧСС 64 уд./мин; В – до ФН, ЧСС 95 уд./мин; С – после ФН, ЧСС 153 уд./мин; масштаб 10 мм = 0,26 с, 10 мм = 1 mV.

Список литературы / References

1. Абумуслимов С. С., Магомедова З. А., Шахгириева З. И. Особенности амплитуды зубцов ЭКГ у жителей низкогогорья // Известия Чеченского государственного университета. 2018. № 1 (9). С. 52–54.

Abumuslimov S. S., Magomedova Z. A., Shakhgirieva Z. I. Features of the amplitude of the ECG teeth in the inhabitants of the low mountains. *Izvestiya Chechenskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Chechen State University]. 2018, 1 (9). pp. 52-54. [In Russian]

2. Баевский Р. М., Иванов Г. Г. Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения // Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2001. № 3. С. 108–127.

Baevsky R. M., Ivanov G. G. Heart rate variability: theoretical aspects and possibilities of clinical application. *Ul'trazvukovaya i funktsionalnaya diagnostika* [Ultrasound and functional diagnostics]. 2001, 3, pp. 108-127. [In Russian]

3. Гудков А. Б., Мосягин И. Г., Попова О. Н., Невбученных А. А., Щербина Ф. А. Особенности структуры сердечного цикла у новобранцев учебного центра ВМФ в Арктической зоне // Морская медицина 2019. Т. 5, № 3. С. 49–54, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2019-5-3-49-54>

Gudkov A. B., Mosyagin I. G., Popova O. N., Nebuchennykh A. A., Shcherbina F. A. Features of the structure of the cardiac cycle in recruits training center of the Navy in the Arctic zone. *Morskaya meditsina* [Marine Medicine]. 2019, 5 (3), pp. 49-54. DOI: 10.22328/2413-5747-2019-5-3-49-54. [In Russian]

4. Иржак Л. И., Дудникова Е. А. Частота сердечных сокращений и длительность элементов ЭКГ у взрослого человека при физической нагрузке // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. 2017. № 103 (2). С. 209.

Irzhak L. I., Dudnikova E. A. Heart rate and duration of ECG elements in an adult during physical activity. *I. M. Sechenov Physiological Journal*. 2017, 103 (2), p. 209. [In Russian]

5. Иржак Л. И., Русских Н. Г. Интервально-амплитудные показатели электрических свойств миокарда у человека при физической нагрузке // Физиология человека. 2021. Т. 47, № 2. С. 56–62. DOI: 10.31857/S0131164621020028

Irzhak L. I., Russkikh N. G. Interval-amplitude indicators of electrical properties of myocardium in human under physical load. *Fiziologiya cheloveka*. 2021, 47 (2), pp. 56-62. DOI: 10.31857/S0131164621020028 [In Russian]

6. Логинова Т. П., Потолитсына Н. Н., Гарнов И. О., Нутрихин А. В., Ветров А. И., Бойко Е. Р. Динамика функциональных показателей, характеризующих порог анаэробного обмена, в велоэргометрическом тесте до отказа у юношей-лыжников // Физиолого-биохимические механизмы обеспечения спортивной деятельности зимних циклических видов спорта / под ред. Е. Р. Бойко. Сыктывкар, 2019. С. 13–26.

Loginova T. P., Potolitsyna N. N., Garnov I. O., Nutrikhin A. V., Vetrov A. I., Boyko E. R. Dynamics of functional indicators, characterizing the threshold of anaerobic exchange, in the cycling ergometer test to failure in young skiers In: *Physiological-biochemical mechanisms of ensuring sports activity in winter cyclic sports*. Ed. E. R. Boyko. Syktyvkar, 2019, pp. 13-26. [In Russian]

7. Михайлов В. М. Вариабельность ритма сердца: опыт практического применения. Иваново, 2002, 200 с.

Mikhailov V. M. *Heart rate variability: practical experience*. Ivanovo, 2002, 200 p. [In Russian]

8. Мосягин И. Г. Стратегия развития морской медицины на Арктическом главном региональном направлении национальной морской политики России // Морская медицина. 2017. Т. 3, № 3. С. 7–22. DOI: 10.22328/2413-5747-2017-3-3-7-22

Mosyagin I. G. The strategy of the development of marine medicine according to the principal Arctic regional direction of the national naval policy of Russia. *Morskaya meditsina* [Marine Medicine]. 2017, 3 (3), pp. 7-22. DOI: 10.22328/2413-5747-2017-3-3-7-22 [In Russian]

9. Перхуров А. М. Амплитудные характеристики электрокардиограммы в динамике изменения функционального состояния спортсменов // Спортивная медицина: наука и практика. 2012. № 2. С. 7–11.

Perkhurov A. M. Amplitude characteristics of the electrocardiogram in the dynamics of changes in the functional state of athletes. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika* [Sports medicine: science and practice]. 2012, 2, pp. 7-11. [In Russian]

10. Платонов В. Н. Двигательные качества и физическая подготовка спортсменов. М.: Спорт, 2019. 656 с.

Platonov V. N. *Motor qualities and physical training of athletes*. Moscow, Sport Publ., 2019, 656 p. [In Russian]

11. Салтыкова М. М. Изменение комплекса QRS на электрокардиограмме у здоровых людей при нагрузочных тестах // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2014. № 48 (6). С. 39–46.

Saltykova M. M. Changes in the QRS complex on the electrocardiogram in healthy people during stress tests. *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina* [Aviation and Space and Environmental Medicine]. 2014, 48 (6), pp. 39-46. [In Russian]

12. Салтыкова М. М. Основные механизмы, обуславливающие изменения амплитуды зубцов комплекса QRS на электрокардиограмме при нагрузочном тестировании практически здоровых лиц // Физиология человека. 2015. Т. 41, № 1. С. 74–82.

Saltykova M. M. Basic mechanisms causing changes in the amplitude of the QRS complex teeth on the electrocardiogram during stress testing of practically healthy persons. *Fiziologiya cheloveka*. 2015, 41 (1), pp. 74-82. [In Russian]

13. Сарычев А. С., Алексеенко В. Д., Симонова Н. Н., Гудков А. Б., Дегтева Г. Н. Проблемы вахтового труда в Заполярье // Медицинский академический журнал. 2007. Т. 7, № 4. С. 113–119.

Sarychev A. S., Alekseenko V. D., Simonova N. N., Gudkov A. B., Degteva G. N. Problems of shift work in the Arctic. *Meditsinskiy akademicheskiy zhurnal* [Medical academic journal]. 2007, 7 (4), pp. 113-119. [In Russian]

14. Смирнов В. М. Новое представление о механизме проведения возбуждения по рабочему миокарду // Российский кардиологический журнал. 2007. № 1 (63). С. 74–76.

Smirnov V. M. A new idea of the mechanism of excitation in the working myocardium. *Rossiyskiy kardiologicheskiy zhurnal* [Russian journal of cardiology]. 2007, 1 (63), pp. 74-76. [In Russian]

15. Ушаков И. Б., Воронков Ю. Н., Ардашев В. Н., Шаройко М. В. Современные методы исследования сердечно-сосудистой системы в авиационной и космической медицине // Клиническая больница. 2013. № 1 (4). С. 156–157.

Ushakov I. B., Voronkov Yu. N., Ardashev V. N., Sharoiko M. V. Modern methods of studying the cardiovascular system in aviation and space medicine. *Klinicheskaya bol'nitsa* [Clinical Hospital]. 2013, 1 (4), pp. 156-157. [In Russian]

16. Хаспекова Н. Б. Мониторинг variability сердечного ритма сердца: диагностическая информативность // Интернет-журнал по функциональной диагностике. 2013. № 23. С. 54–67.

Haspekova N. B. Monitoring of heart rate variability: diagnostic informational content. *Internet-zhurnal po funktsional'noy diagnostike* [Internet journal on functional diagnostics]. 2013, 23, pp. 54-67. [In Russian]

17. Chepenko Vladimir V. Advanced capabilities of analysis of R/S wave amplitude alternation behavior on ECG as non-linear dynamic system. *Cardiometry*. 2016, 8, pp. 33-38.

18. Deryagina L. E., Tsyganolk T. V., Ruvina L. G., Gudkov A. B. Psychophysiological traits of personality and specific features of cardiac rhythm regulation during occupational activity. *Biomedical engineering*. 2001, 35 (3), pp. 166-170.

19. Fletcher G. F., Ades P. A., Kligfield P. Exercise standards for testing and training: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2013, 128, pp. 873-934.

20. Gomes-Marcos M. A., Recio-Rodriguez J. I., Patino-Alonso M. C. Electrocardiographic left ventricular hypertrophy criteria and ambulatory blood pressure monitoring parameters in adults. *Am. J. Hypertens*. 2013, pp. 355-362.

21. Kligfield P., Lauer M. S. Exercise electrocardiogram testing: Beyond the ST segment. *Circulation*. 2006, 114, pp. 2070-2082.

22. Lux R. L. Basis and ECG Measurement of Global Ventricular Repolarization. *J. Electrocardiology*. 2017, 50 (6), p. 792.

23. Maganis J. C., Drimmer D. A., Rojo F. B. Enhanced

recognition of ischemia by three variable analysis of the exercisestress test. *J. Electrocardiol*. 2013, 46 (6), pp. 644-648.

24. Michaelides A. P., Tousoulis D., Raftopoulos L. G. The impact of novel exercise criteria and indices for the diagnostic and prognostic ability of exercise testing. *Inter. J. Cardiol*. 2010, 143 (2), p. 119.

25. Nobble A., Jonnson R., Thomas A., Buss P. *The Cardiovascular System. Basic science and clinical Conditions*. Toronto, 2010, 184 p.

26. Plowman S. A., Smith D. L. *Exercise Physiology for Health, Fitness, and Performance*. Wolters Kluwer Health. Lippincott Williams and Wilkins, 2010, 726 p.

27. Schillaci G., Battista F., Pucci G. A review of the role of electrocardiography in the diagnosis of left ventricular hypertrophy in hypertension. *J. Electrocardiol*. 2012, 45 (6), p. 617.

28. Sidorov P. I., Gudkov A. B., Tedder Yu. R. Physiologic aspects of optimization of expedition and shifted working schedules in Transpolar regions. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 1996, 6, pp. 4-7.

#### Контактная информация:

Паришкова Александра Николаевна – лаборант-исследователь, Научно-образовательная лаборатория «Проблемы гипоксии» ФГБОУ ВО «Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина»

Адрес: 167001, Республика Коми, г. Сыктывкар, Октябрьский пр., д. 55

E-mail: sandraign@mail.ru