

ЗАВИСИМОСТЬ ИЗМЕНЕНИЙ ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МИОКАРДА ОТ ИСХОДНОГО УРОВНЯ ПРИ МЕНТАЛЬНОЙ НАГРУЗКЕ

Н.Г. Русских, О.В. Рогачевская

Сыктывкарский государственный университет
им. Питирима Сорокина, Сыктывкар

Зарегистрировано 1500 кардиоциклов (КЦ) у 15 юношей в возрасте 18-19 лет. Общее количество КЦ распределено на 3 группы (по 250 КЦ) в зависимости от их длительности: 1 – с длительностью РР (полный КЦ) $\geq 1,00$ с (ЧСС – ≥ 60 уд/мин), 2 – с длительностью РР от 0,99 до 0,75 с (ЧСС – 61-79 уд/мин), 3 – с длительностью РР $\leq 0,74$ с (≤ 80 уд/мин). Представлены результаты длительности интервалов РР, РТ и сегмента ТР ЭКГ, и также соотношений фаз абсолютной и относительной рефрактерности в общем КЦ до и во время действия МН. Установлено, в контроле длительность интервала РТ (время активации миокарда, фаза абсолютной рефрактерности) малоизменчива, колеблется в пределах от 0.51 ± 0.05 с до 0.42 ± 0.02 с, т.е. в пределах ошибки метода, независима от длительности интервала РР. Продолжительность сегмента ТР (изопотенциальное состояние миокарда, фаза относительной рефрактерности) колеблется между 0.60 ± 0.09 с и 0.22 ± 0.05 с. Чем больше длительность КЦ, тем длиннее фаза относительной рефрактерности. Во время МН длительность абсолютной рефрактерности практически не меняется, относительной – снижается (0.25 ± 0.03 - 0.08 ± 0.05 с). При этом меняется соотношение (%) РТ и ТР в КЦ до и во время нагрузки. Несмотря на исходный уровень соотношений времени активации миокарда (АК) и продолжительности изопотенциального состояния миокарда (ИПС), при МН их пределы пришли к одинаковому уровню в каждой из трех групп: предел АК (РТ) повышен до ~70-80%, предел ИПС (ТР) снижен до ~20-30%. Приведенные результаты свидетельствуют о том, что изменения электрофизиологических показателей под влиянием стрессовой ситуации во время МН проявляют прямую пропорциональную зависимость от фонового уровня.

Ключевые слова: электрокардиография, миокард, интервалы, деполяризация, реполяризация, фаза рефрактерности, ментальная нагрузка, человек.

Введение. При изучении электрических показателей миокарда одним из важнейших методов является электрокардиография (ЭКГ). С помощью этого метода можно оценить характеристики электрических свойств миокарда (Долабчян, 1986; Can et al., 2002; Kligfield, 2006;

Покровский, 2007; Смирнов, 2007; Русских, Иржак, 2018; Иржак и др., 2021). В числе показателей, исследуемых с помощью ЭКГ, особый представляют интерес интервалы РР, РТ и ТР. Интервал РР характеризует общую сократительную активность сердца на основе данных по РТ и ТР. Изучение его важно, поскольку именно с зубца Р начинается процесс активации миокарда (Иванов, 2007). Интервал РТ отражает процесс распространения деполяризации по миокарду, формирование фазы абсолютной рефрактерности в работе сердца (состояние активации миокарда). Интервал (сегмент) ТР соответствует включению процесса реполяризации, формированию фазы относительной рефрактерности (изопотенциальное состояние). Измерения длительностей этих элементов ЭКГ позволяют оценивать электрофизиологические показатели миокарда, поскольку они отражают, с одной стороны, состояние потенциалов покоя и действия в клетках, а с другой стороны, служат основой формирования ЧСС и вариабельности ритма сердца (ВРС) (Панкова, 2013).

В настоящее время население в любом возрастном периоде постоянно сталкивается с возрастающими информационными нагрузками, влияющими на стрессоустойчивость, показатели сердечной деятельности и адаптационные способности человека. К настоящему времени в этой области науки получены материалы о действии функциональных проб разного характера на свойства миокарда (Иванов и др., 2007; Сорокин др., 2012; Иржак, Русских, 2021). Тесты с ментальными нагрузками (МН) одни из наиболее информативных среди множества существующих методик для изучения сердечного ритма (Криволапчук и др., 2013; Розенталь, Сафина, 2015, Ефимова, Мильникова, 2017; Горелик и др., 2018; Русских, Иржак, 2018). На сегодняшний день нет определенных методик применения МН, которые могли бы смоделировать определенное эмоциональное состояние, повлекшее за собой сбой или нарушение ритма сердца.

Целью работы является определить соотношение РТ и ТР в кардиоцикле (РР) и его зависимости от исходного уровня при ментальной нагрузке.

Методика. В качестве материалов использованы электрофизиологические показатели миокарда, полученные на основе анализа данных ЭКГ юношей 18-19 лет. Проанализировано 1500 кардиоциклов до и вовремя МН. Все участники не имели исследования специальной физической подготовки, физической культурой занимались в объеме учебной программы, предусмотренной государственными образовательными стандартами для ВУЗов. Обследование проведено в соответствии с документом «Этические принципы проведения медицинских исследований с участием людей в

качестве субъектов исследования» (Хельсинская декларация Всемирной медицинской ассоциации 1964 года с изменениями и дополнениями 2013 года). Участники подписали согласие на обследование, где были разъяснены цели, задачи и методы работы, одобренные комиссией по этике СГУ им. Питирима Сорокина.

Регистрировали по 50 кардиоциклов ЭКГ во II отведении в контроле (положение – сидя) и во время МН. В качестве МН использовали устный счет от 100 до 1 в течение 1 мин. Длительность интервалов РР, РТ и сегмента ТР измеряли с помощью линейки (соотношение – 50 мм=1с), погрешность – 0,5 мм. Рассчитывали среднее значение (*M*), стандартное отклонение (*SD*), ошибку средней (*m*) с помощью пакета программ «Excel». Корреляции между показателями рассчитывали по Спирмену (r_s).

Результаты и обсуждение. В исследованиях, как правило, используются усредненные данные с учетом изменчивости показателей, не учитывая при этом возможные зависимости показателей от индивидуальных внутригрупповых особенностей элементов ЭКГ, в частности, от интервалов ТР и РТ. При изучении средних показателей разница между контролем и опытом нивелируется и частично исчезает, в связи с чем представляется целесообразным рассматривать ЭКГ интервалы, учитывая особенности показателей каждого из участников исследования. Для этого общее количество кардиоциклов было распределено на 3 группы (по 250 КЦ) в зависимости от их длительности: 1 – с длительностью РР (полный КЦ) $\geq 1,00$ с (ЧСС – ≥ 60 уд/мин), 2 – с длительностью РР от 0,99 до 0,75 с (ЧСС – 61-79 уд/мин), 3 – с длительностью РР $\leq 0,74$ с (≤ 80 уд/мин).

Показатели электрической активности миокарда до и во время МН представлены в таблице 1.

Таблица 1
Межгрупповые показатели длительности (с) и соотношений (%) кардиоинтервалов у юношей до и во время ментальной нагрузки

Группа	Контроль					Ментальная нагрузка				
	РР, с	ТР		РТ		РР, с	ТР		РТ	
		с	%	с	%		с	%	с	%
1 $\geq 1,00$ с	1,24	0,67	54	0,57	46	0,73	0,21	29	0,52	71
	1,14	0,68	60	0,46	40	0,72	0,24	33	0,48	67
	1,12	0,59	53	0,53	47	0,75	0,26	35	0,49	65
	1,02	0,48	47	0,54	53	0,81	0,29	36	0,52	64
	1,02	0,56	55	0,46	45	0,65	0,24	37	0,41	63
M	1,11 *	0,60 *	54 *	0,51 *	46 *	0,73 * **	0,25 * **	34 * **	0,48	66 * **
SD	0,09	0,08	4,7	0,05	4,7	0,06	0,03	3,2	0,05	3,2
min	1,02	0,48	47	0,46	40	0,65	0,21	29	0,41	63

max	1,24	0,68	60	0,57	53	0,81	0,29	37	0,52	71
2	0,94	0,45	48	0,49	52	0,59	0,14	24	0,45	76
0,99-0,75	0,83	0,36	43	0,47	57	0,56	0,12	21	0,44	79
c	0,82	0,32	39	0,50	61	0,63	0,17	27	0,46	73
	0,78	0,28	36	0,50	64	0,60	0,13	22	0,47	78
	0,78	0,33	42	0,45	58	0,50	0,09	18	0,41	82
M	0,83*	0,35*	42	0,48	58	0,58**	0,13**	22**	0,45	78**
SD	0,07	0,06	4,5	0,02	4,5	0,05	0,03	3,4	0,02	3,4
min	0,78	0,28	36	0,45	52	0,50	0,09	18	0,41	73
max	0,94	0,45	48	0,50	64	0,63	0,17	27	0,47	82
3	0,70	0,27	39	0,43	61	0,58	0,15	23	0,43	77
≤0,74 c	0,67	0,27	40	0,40	60	0,46	0,06	13	0,40	87
	0,65	0,24	37	0,41	63	0,49	0,09	18	0,40	82
	0,60	0,15	25	0,45	75	0,51	0,08	16	0,43	84
	0,60	0,17	28	0,43	72	0,37	0,02	5	0,35	95
M	0,64	0,22	34	0,42	66	0,48**	0,08**	15**	0,40	85**
SD	0,04	0,05	5,8	0,02	6,8	0,08	0,05	6,7	0,03	6,7
min	0,60	0,15	25	0,40	60	0,37	0,02	5	0,35	77
max	0,70	0,27	40	0,45	75	0,58	0,15	23	0,43	95

Примечание: * - разница достоверна при $p \geq 0,05$ между группами, ** - разница достоверна при $p < 0,05$ до и во время МН

Данные соответствуют средним показателям в контроле: ЧСС – 70 уд/мин, длительность РР – $0,86 \pm 0,2$ с, ТР – $0,39 \pm 0,2$ с, РТ – $0,47 \pm 0,05$ с. Проанализировав результаты по группам, установили, что в контроле длительность времени реполяризации (сегмент ТР) между 1 и 3 группами различаются почти в 3 раза, между 1 и 2 группами – на 42%, между 2 и 3 группами – на 37%. Исходя из данных стандартного отклонения ($\pm SD$, с), изменчивость сегмента ТР в группе 1 в 1,5 раза больше, чем в 3 группе и на 25% больше, чем во 2 группе. В группах 2 и 3 изменчивость находится практически на одном уровне.

Длительность времени деполяризации (интервал РТ) различается незначительно – от $0,51 \pm 0,05$ с (1 группа) до $0,42 \pm 0,02$ с (3 группа). Изменчивость, по данным $\pm SD$ (с), в 1 группе в 2 раза больше, чем во 2 и 3 группах.

Длительность общего кардиоцикла (интервал РР) в контроле различается в 1,5 раза – от $1,11 \pm 0,09$ с (1 группа) до $0,64 \pm 0,04$ с (3 группа). Продолжительность кардиоцикла различается между группами 1 и 3 на 42%, 1 и 2 – на 25%, 2 и 3 – на 23%. Изменчивость показателя, на основании стандартного отклонения, в 1 группе в 2 раза больше, чем в 3. Разница между 2 и 3 группами составила 43%.

При рассмотрении вклада в общий кардиоцикл (интервал РР) изопотенциального состояния (сегмент ТР) и состояния активации миокарда (интервал РТ) выявили, что до МН в 1 и 2 группах доля времени активации миокарда (АК) и изопотенциального состояния

(ИПС) занимают продолжительность всего кардиоцикла практически в равных долях. В то же время в 3 группе большую часть интервала РР (на 50 %) составляет доля интервала РТ (рис.1).

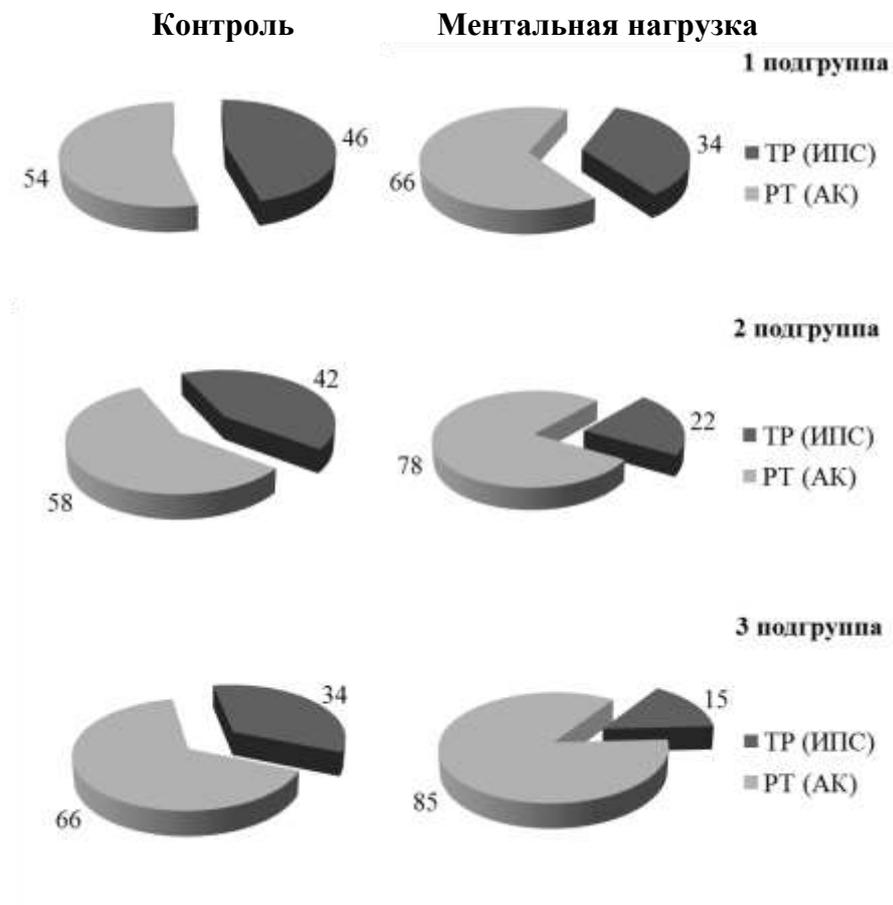


Рис. 1. Соотношения между относительными значениями ТР (ИПС) и РТ (АК) (% от РР) до и во время МН

Условия ментальной пробы приводят к снижению всего кардиоцикла (РР): в группе 1 - на 40%, в группе 2 - на 30%, в группе 3 - на 25%. При этом длительность фазы абсолютной рефрактерности (РТ) изменяется незначительно, а длительность фазы относительной рефрактерности (ТР) во всех 3 группах снижается примерно на 60% (таблица). Другими словами, изменение длительности РР в ответ на нагрузку происходит при активном сокращении длительности ТР и при менее значительном укорочении интервала РТ и зависит от исходной величины в контроле.

Во время МН различен также характер изменений пропорций (рисунок): в 1 и 2 группах доля РТ выросла в пределах 50%, доля ТР

при этом снизилась примерно на 47%. В 3 группе, в которой в абсолютных числах интервал РР после нагрузки снизился незначительно, пропорции АК и ИПС изменились на 29 и 56% соответственно. Несмотря на исходный уровень соотношений АК и ИПС, при МН их пределы пришли к одинаковому уровню в каждой из трех групп: предел АК (РТ) повышен до ~70-80%, предел ИПС (ТР) снижен до ~20-30%.

Проанализировав полученные в ходе исследования показатели сердечной активности, выявлено: чем больше длительность сегмента ТР (ИПС) в контроле, тем больше степень его изменения во время МН. Это обусловлено тем, что начало активации миокарда происходит в разное время, что связано с разной степенью возбудимости синоатриального узла и миокарда, от чего зависит разная длительность сегмента ТР.

Заключение. Обнаружено разное влияние сегмента ТР (ИПС) и интервала РТ (АК) на изменение интервала РР (кардиоцикл). По абсолютным величинам фаза абсолютной рефрактерности (РТ) – малоизменчива, но при этом ее относительный вклад в общую длительность кардиоцикла увеличивается. Этим интервал РТ усиливает свое влияние на общую вариабельность ритма сердца, тем самым уменьшая ее. С другой стороны, фаза относительной рефрактерности (ТР) может снижаться по максимуму и в абсолютных, и в относительных числах. Со стороны сегмента ТР наблюдается двойной эффект: уменьшается не только вариабельность самого показателя, но также и его вклад в кардиоцикл, отдавая свою долю влияния интервалу РТ, снижая тем самым свое влияние на вариабельность сердечного ритма. Таким образом, в заданных пределах условий проведенного нами исследования, и РТ (АК), и ТР (ИПС) служат определением ритма сердца и его вариабельности, но с большей степенью влияния со стороны сегмента ТР (ИПС).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что изменение электрофизиологических показателей сердечной деятельности во время МН проявляет прямую пропорциональную зависимость от фонового уровня. Чем больше длительность кардиоинтервалов (с), тем больше их изменение (%) во время нагрузки.

Авторы выражают благодарность главному научному сотруднику научно-исследовательской лаборатории "Проблемы гипоксии" ФГБОУ ВО «СГУ им. Питирима Сорокина», заслуженному деятелю науки Российской Федерации и Республики Коми, доктору биологических наук, профессору Льву Исаковичу Иржаку за ценные советы и помощь в процессе подготовки публикации в журнале.

Список литературы

- Горелик В.В., Филиппова С.Н., Кнышева Т.П.* 2018. Особенности физиологических показателей школьников 7–12 лет при занятиях ментальной арифметикой, включающих физические упражнения с переключением внимания // Вестник Российского государственного медицинского университета. № 5. С. 53-61.
- Долабчян З.Л.* 1986. Основы клинической электрофизиологии и биофизики сердца. М.: Медицина. 476 с.
- Ефимова Н.В., Мыльникова И.В.* 2017. Влияние личностной тревожности на показатели variability ритма сердца у подростков при функциональных нагрузках // Журнал медико-биологических исследований. Т. 5. № 4. С. 21-31. doi: 10.17238/issn2542-1298.2017.5.4.21
- Иванов Г.Г., Дворников В.Е., Сбеитан С.* 2007. Анализ показателей структуры variability ритма сердца у здоровых лиц по данным РР- и РР-интервалов // Вестник РУДН. Серия: Медицина. №4. С. 26-33.
- Иванов Г.Г.* 2007. Структура variability сердечного ритма при анализе РР- и РР-интервалов у больных с различными формами ИБС // Новые методы электрокардиографии / под ред. С.В. Грачева, Г.Г. Иванова, А.Л. Сыркина. М.: Техносфера. С. 518-549.
- Иржак Л.И., Русских Н.Г., Паришук А.Н.* 2021. Variability временных и амплитудных показателей ЭКГ у людей пожилого и старческого возраста // Журнал медико-биологических исследований. № 4. С. 355-365.
- Иржак Л.И., Русских Н.Г.* 2021. Интервально-амплитудные показатели электрических свойств миокарда у человека при физической нагрузке // Физиология человека. Т. 27. № 2. С. 56-62.
- Криволапчук И.А., Чернова М.Б., Кесель С.А., Мышьяков В.В.* 2013. Обоснование модели тестовых информационных нагрузок для изучения функционального состояния детей // Нов. исследования. № 3(36). С. 50-61.
- Панкова Н.Б.* 2013. Функциональные пробы для оценки состояния здоровых людей по variability сердечного ритма // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. Т. 99. № 6. С. 682–696.
- Покровский В.М.* 2007. Формирование ритма сердца в организме человека и животных. Краснодар: Кубань-Книга. 143 с.
- Розенталь С.Г., Сафина А.И.* 2015. Сравнительный анализ умственной работоспособности в разных возрастных группах // Учен. зап. Казанского университета. Серия: Естественные науки. №157 (3). С. 144–150.
- Русских Н.Г., Иржак Л.И.* 2018. Variability интервалов электрокардиограммы в ответ на ментальную пробу у юношей 18-19 лет // Журнал медико-биологических исследований. Т. 6. № 1. С. 35-40.
- Смирнов В.М.* 2007. Новое представление о механизме проведения возбуждения по рабочему миокарду // Российский кардиологический журнал. № 1(63). С. 74-76.
- Сорокин О.В., Ефименко В.Г., Титенко А.В.* 2012. Особенности дисперсии

RR, QT и TQ-периодов у подростков при проведении ортостатической пробы // Медицина и образование в Сибири. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/osobennosti-dispersii-rr-qt-i-tq-periodov-u-podrostkov-pri-provedenii-ortostaticheskoy-proby>. (дата обращения 20.08.2022).

Can I., Aytimir K., Kose S., Oto S. 2002. Physiological mechanisms influencing cardiac repolarization and QT interval // Cardiac electrophysiology reviews. Vol. 6. P. 278-281.

Kligfield P. 2006. Rethinking the exercise electrocardiogram // A.N.E. V. 11. P. 99-101.

DEPENDENCE OF CHANGES IN THE ELECTROPHYSIOLOGICAL INDICATORS OF THE MYOCARDIA ON THE INITIAL LEVEL UNDER MENTAL LOAD

N.G. Russkikh, O.V. Rogachevskaya

Pitirim Sorokin Syktyvkar State University, Syktyvkar

1500 cardiocycles (CC) were registered in 15 young men aged 18-19 years. The total number of CCs is divided into 3 groups (250 CCs each) depending on their duration: 1 - with PP duration (full CC) ≥ 1.00 s (HR ≥ 60 bpm), 2 - with PP duration from 0,99 to 0,75 s (HR - 61-79 beats / min), 3 - with a duration of PP ≤ 0.74 s (≤ 80 beats / min). The results of the duration of the intervals of the PP, PT and the TP segment of the ECG, as well as the ratio of the phases of absolute and relative refractoriness in the general CC before and during the action of ML are presented. It was established that in the control, the duration of the PT interval (myocardial activation time, the phase of absolute refractoriness) is not very variable, ranging from 0.51 ± 0.05 s to 0.42 ± 0.02 s, i.e. within the error of the method, independent of the duration of the PP interval. The duration of the TP segment (isopotential state of the myocardium, phase of relative refractoriness) ranges between 0.60 ± 0.09 s and 0.22 ± 0.05 s. The longer the duration of the CC, the longer the phase of relative refractoriness. During ML, the duration of absolute refractoriness practically does not change, while the relative one decreases (0.25 ± 0.03 - 0.08 ± 0.05 s). At the same time, the ratio (%) of PT and TP in CC changes before and during exercise. Despite the initial level of the ratio of the time of activity of the cardiovascular system (AC) and the duration of the isopotential state of the cardiovascular system (IPS), with ML they achieve the same level of activity in each of the three groups: the limit of AC (PT) is increased to ~ 70 - 80 %, the limit of IPS (TP) is reduced to ~ 20 - 30 %. These results indicate that changes in electrophysiological parameters depending on the stress situation during ML suggest a proportional dependence on the background level.

Keywords: *electrocardiography, myocardium, intervals, depolarization, repolarization, refractoriness phase, mental load, human.*

Об авторах:

РУССКИХ Надежда Геннадьевна – кандидат биологических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности и физической культуры Института социальных технологий, старший научный сотрудник НИИ «Проблемы гипоксии» Медицинского института ФГБОУ ВО «Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина», 167000, Республика Коми, Сыктывкар, ул. Октябрьский проспект, д. 55, e-mail: rung76@mail.ru.

РОГАЧЕВСКАЯ Ольга Васильевна – кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности и физической культуры Института социальных технологий ФГБОУ ВО «Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина», 167000, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Октябрьский проспект, д. 55, e-mail: roga-olga@mail.ru.

Русских Н.Г. Зависимость изменений электрофизиологических показателей миокарда от исходного уровня при ментальной нагрузке / Н.Г. Русских, О.В. Рогачевская // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2023. № 4(72). С. 27-35.

Дата поступления рукописи в редакцию: 18.03.23

Дата подписания рукописи в печать: 01.12.23