

UDC 612.172.4

Racing Skiers and Swimmers' Heart Electric Field during Ventricular Depolarization at Recovery Period after Moderate and Submaximal Physical Load *¹ Svetlana V. Strelnikova² Natalya I. Panteleeva³ Tatyana V. Yatsechko⁴ Irina M. Roshchevskaya

^{1, 2, 4} Laboratory of Comparative Cardiology, Komi Science Centre, Ural Division of Russian Academy of Sciences, Russia

24, Kommunisticheskaya st., Syktyvkar, 167982

³ Komi Republican Children's Hospital

¹ Junior scientific researcher

strelnikovasvs@mail.ru

² PhD, scientific researcher

bdr13@mail.ru

³ MD, doctor,

tatyana-yatsechko@yandex.ru

⁴ Corresponding Member of RAS,

Dr., Head of the laboratory of comparative cardiology

compcard@mail.ru

Abstract. The article presents the results of cardioelectrotopographic investigation of racing skiers and swimmers' heart electric activity during ventricular depolarization at recovery period after moderate and submaximal physical load. Changes in ventricular depolarization time and ventricular depolarization phases ratio due to longer duration of the first and second cardioelectric potential inversions on the chest surface in racing skiers and less duration of the depolarization initial phase in swimmers were detected after moderate and submaximal load.

Keywords: heart electric field; ventricular depolarization; physical load; racing skiers; swimmers.

Введение. Лыжные гонки и спортивное плавание относятся к циклическим видам спорта, тренировки направлены на формирование выносливости, тренировочный процесс на преодоление развивающегося утомления. В первую очередь, функциональное состояние сердечно-сосудистой системы организма обеспечивает успех тренировочной и соревновательной деятельности спортсмена. Долговременное воздействие систематических физических нагрузок большой интенсивности и мощности приводит к структурным и функциональным перестройкам в сердечной мышце и отражается на электрической активности [1]. Метод множественного картирования потенциалов сердца на поверхности грудной клетки позволяет получить больше информации об электрических процессах, и локализации функциональных изменений в миокарде [2, 3]. Исследование электрической активности сердца с проведением функциональных пробы с физической нагрузкой, позволяют оценить работу сердца в условиях максимально приближенным к соревновательной деятельности [4, 5, 6]. Внедрение в спортивную физиологию нового метода исследования электрической активности сердца при провокации физической нагрузкой позволит оценить функциональные изменения миокарда спортсменов.

Цель работы – провести сравнительный анализ электрической активности сердца в период деполяризации желудочков у лыжников-гонщиков и пловцов, выявить особенности пространственно-временных характеристик электрического поля сердца (ЭПС) при восстановлении после выполнения умеренной и субмаксимальной физической нагрузки.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 12-04-01814; при поддержке программы фундаментальных исследований УрО РАН № 12-П-4-1069.

Методы. Обследованы лыжники-гонщики (N=20) высокой спортивной квалификации (кандидаты в мастера спорта, мастера спорта, мастера спорта международного класса) в и пловцы (N=15) первого взрослого разряда и кандидаты в мастера спорта. Всем спортсменам были подробно разъяснены цели исследования и было получено добровольное письменное согласие. Регистрацию электрической активности сердца от 64 униполярных отведений на поверхности грудной клетки синхронно со стандартными от конечностей проводили методом кардиоэлектротопографии [2, 7] в положении обследуемого сидя в состоянии покоя и на каждой минуте трехминутного периода восстановления (1-3 минута) после умеренной и субмаксимальной физической нагрузки длительностью в пять минут каждая (стандартный тест PWC170) на велоэргометре. Пространственно-временные характеристики ЭПС анализировали по эквипотенциальным моментным картам. По пространственному изменению положения зон и экстремумов положительных и отрицательных потенциалов в течение деполяризации желудочков на ЭПС выделяли этапы: начало и окончание формирования ЭПС, характерного для деполяризации желудочков сердца, начало и окончание первой и второй инверсии взаимного расположения зон и экстремумов положительных и отрицательных кардиопотенциалов; длительность деполяризации желудочков сердца на ЭПС, длительность первой и второй инверсий, длительность начальной фазы деполяризации, фазы стабильности между инверсиями, заключительной фазы деполяризации.

Нормальность распределения значений определяли по критерию Шапиро–Уилка, результаты представлены в виде медианы и квартилей (Me (Q1;Q3)). Статистический анализ проводили по критерию Манна–Уитни для независимых выборок, для зависимых выборок – по критерию Вилкоксона. Различия между выборками считались достоверными при $p < 0,05$.

Результаты. При анализе эквипотенциальных моментных карт на поверхности торса у всех у обследованных спортсменов в покое и при восстановлении после умеренной и субмаксимальной физической нагрузки характер динамики смещения зон и экстремумов положительных и отрицательных кардиопотенциалов в период деполяризации желудочков не различался (Рис. 1.).

В состоянии покоя

У всех обследованных спортсменов начало формирования ЭПС, характерного для периода деполяризации (Рис. 1. 1) соответствовало на ЭКГII сегменту PQ или Q зубцу, зона положительных потенциалов располагалась в нижней 2/3 вентральной части торса, положительный экстремум локализовался на правой или левой окологрудинной линии; область отрицательных потенциалов - на верхней 1/3 вентральной и всей дорзальной части грудной клетки. В период восходящей части зубца RII у всех обследованных людей происходила первая инверсия взаимного расположения зон положительных и отрицательных кардиопотенциалов (Рис. 1. 2-3): положительный экстремум смещался леволатерально к нижнему краю вентральной поверхности грудной клетки, отрицательный - с дорзальной стороны на вентральную в право-латеральном направлении, к окончанию инверсии экстремумы располагались в нижней части вентральной поверхности торса, преимущественно на левых средне-грудинной и средне-лопаточной линиях; зона отрицательных потенциалов занимала наибольшую часть торса, положительных - нижнюю треть вентральной и леволатеральной поверхности у всех обследованных. В период нисходящей фазы RSII происходила вторая инверсия взаимного расположения зон и экстремумов положительных и отрицательных кардиопотенциалов (Рис. 1. 4-5): положительный экстремум по нижней части торса смещался леволатерально на дорзальную поверхность, отрицательный оставался на вентральной стороне, к окончанию второй инверсии, зона положительных кардиопотенциалов занимала всю дорзальную и верхнюю 1/3 вентральной поверхности торса, положительных - нижние 2/3 вентральной поверхности.

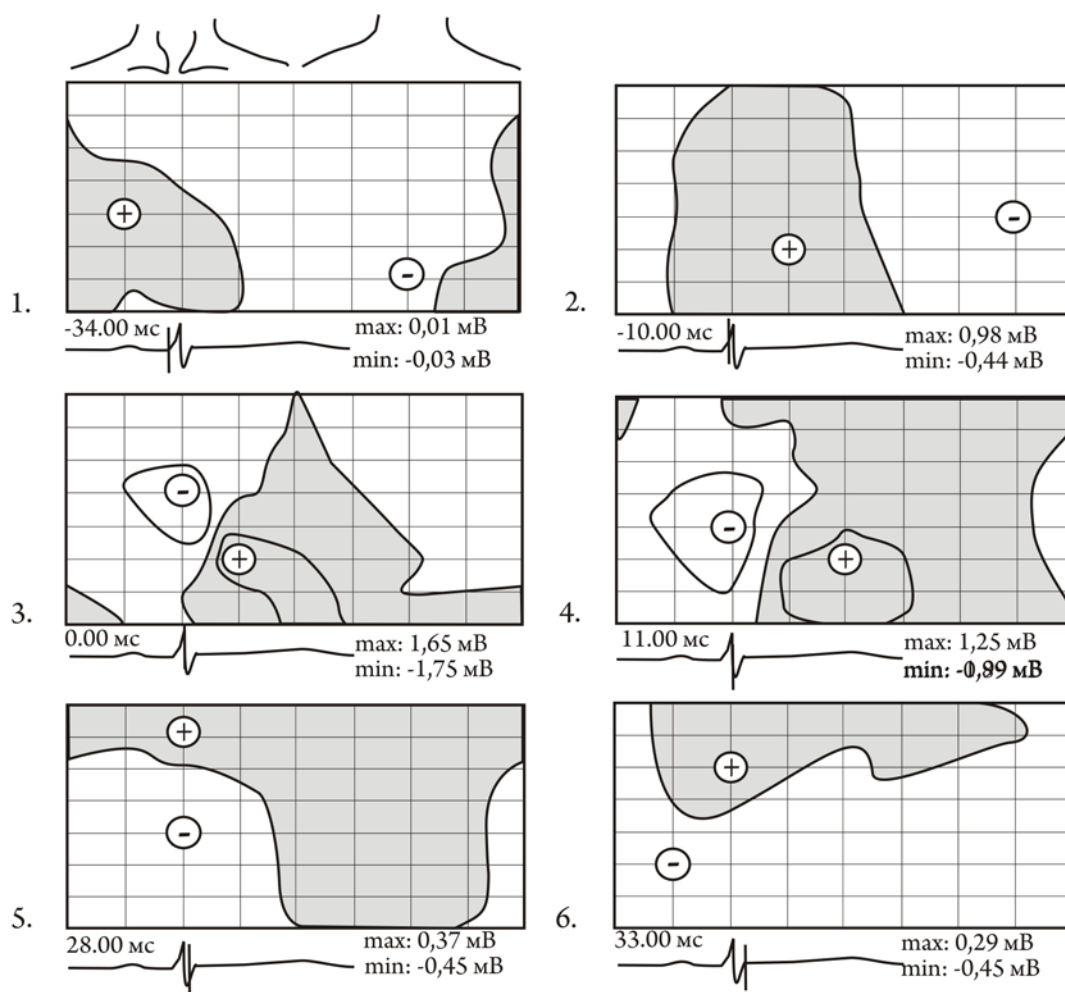


Рис. 1. Эквипотенциальные моментные карты на поверхности грудной клетки спортсменов в состоянии покоя в период деполяризации желудочков сердца: динамика пространственного расположения зон положительных и отрицательных кардиоэлектрических потенциалов и экстремумов

1 – начало формирования ЭПС, характерного для периода деполяризации желудочков сердца, 2 – начало первой инверсии взаимного расположения зон и экстремумов положительных и отрицательных кардиопотенциалов; 3 – окончание первой инверсии; 4 – начало второй инверсии; 5 – окончание второй инверсии; 6 – окончание периода деполяризации желудочков сердца.

Закрашены области положительных кардиопотенциалов. Знаки «+» и «-» обозначают положение положительного и отрицательного экстремумов, соответственно. Под каждой картой приведена ЭКГ_{II} с маркером времени (мс). Слева под каждой картой указан момент времени (значения до пика зубца R_{II} со знаком “-”, после - без знака), справа - максимальные значения амплитуд положительного и отрицательного экстремумов.

В состоянии покоя в период деполяризации желудочков сердца у лыжников гонщиков значимо раньше, чем у пловцов происходило начало формирования ЭПС, начало и окончание первой инверсии, начало второй инверсии; окончание второй инверсии и ЭПС значимо позже. Длительность деполяризации желудочков сердца на ЭПС у обследованных спортсменов не различалась, хотя длительность первой и второй инверсий у лыжников-гонщиков значимо больше, чем у пловцов (первая инверсия, 17,50 (13,56; 23,25) мс и 10,75 (9,06; 14,44) мс, соответственно; вторая инверсия, 22,75 (18,50; 26,75) мс и 12,50 (9,56; 15,69) мс, соответственно), а длительность начальной фазы значимо больше у пловцов, чем у лыжников-гонщиков 23,25 (19,00; 27,25) мс и 14,50 (7,50; 23,38) мс, соответственно.

Умеренная физическая нагрузка

На 1 минуте после воздействия физической нагрузки умеренной мощности у лыжников-гонщиков по ЭПС начало первой инверсии отмечено значимо раньше, окончание второй инверсии и деполяризации позже, чем у пловцов. Длительность второй инверсии ЭПС значимо больше у лыжников, чем у пловцов (27,00 (22,19; 33,81) мс и 12,50 (10,63; 22,38) мс, соответственно). Длительность деполяризации желудочков сердца по ЭПС значимо больше у лыжников, чем у пловцов (81,13 (75,75; 85,25) мс и 68 (65,75; 74,00) мс, соответственно), длительность фазы стабильности между инверсиями значимо не различалась. На 2 минуте восстановления начало первой инверсии у лыжников-гонщиков значимо раньше, окончание второй инверсии позже, чем у пловцов, длительность второй инверсии и деполяризации желудочков сердца по ЭПС значимо больше у лыжников, длительность заключительной фазы начальной желудочковой активности у пловцов значимо больше, чем у лыжников (14,63 (11,00; 23,69) мс и 8,50 (4,75; 14,50) мс, соответственно). На 3 минуте восстановления начало первой инверсии у лыжников-гонщиков значимо раньше, окончание второй инверсии и деполяризации желудочков сердца по ЭПС позже, чем у пловцов. Длительность второй инверсии и деполяризации значимо больше у лыжников, длительность фазы стабильности между инверсиями значимо не различались. Пространственно-временные характеристики ЭПС в период деполяризации желудочков у лыжников на 3 минуте восстановления после умеренной физической нагрузки значимо не различались с исходными значениями в покое. У пловцов на 3 минуте восстановления начало формирования ЭПС происходило значимо позже, чем в покое на -32,50 (-35,75; -31,25) мс; начало второй инверсии (на 11,00 (7,00; 15,25) мс) и окончание деполяризации по ЭПС (на 34,50 (32,25; 42,50) мс), значимо раньше по сравнению с покоем.

Субмаксимальная физическая нагрузка

На 1 минуте после выполнения физической нагрузки субмаксимальной мощности значимых различий пространственно-временных характеристик ЭПС между обследованными спортсменами не выявлено. На 2 минуте восстановления у лыжников окончание первой инверсии значимо раньше, второй инверсии позже, чем у пловцов. Длительность второй инверсии была значимо больше у лыжников, чем у пловцов (22,50 (19,00; 29,44) мс и 17,63 (22,00; 33,63) мс, соответственно); длительность первой инверсий, фазы стабильности и длительность деполяризации по ЭПС по сравнению с пловцами не различались. На 3 минуте восстановления конец второй инверсии и длительность деполяризации по ЭПС значимо позже у лыжников, значимо больше у лыжников по сравнению с пловцами длительность второй инверсии (25,25 (18,38; 33,63) мс и 13,50 (11,00; 23,00) мс, соответственно) и длительность деполяризации по ЭПС (81,75 (76,38; 84,38) мс и (72,25 (69,75; 76,75) мс, соответственно), длительность фазы стабильности значимо не различалась. Пространственно-временные характеристики ЭПС в период деполяризации желудочков у лыжников на 3 минуте восстановления после субмаксимальной физической нагрузки значимо не различались с исходными значениями в покое. У пловцов на 3 минуте восстановления начало формирования деполяризации желудочков сердца по ЭПС происходило на -34,50 (-36,50; -31,25) мс, окончание на 38,50 (36,00; 43,25) мс, что значимо позже, чем в покое, начало второй инверсии раньше, чем в покое на 9,13 (5,44; 11,94) мс. Длительность фазы стабильности между инверсиями составила 11,25 (5,25; 17,50) мс, что значимо меньше, по сравнению с покоем.

Обсуждение. Исследование реакции сердечно-сосудистой системы у обследованных лыжников-гонщиков [9] и пловцов [10] выявило преимущественно гипер- и нормотонический тип реагирования на физическую нагрузку, что свидетельствует о функциональном напряжении системы кровообращения вследствие высокой интенсивности тренировочных нагрузок у спортсменов.

В экспериментальных исследованиях на животных с последовательным типом активации сердца, было доказано, что начало первой инверсии на эквипотенциальных моментных картах ЭПС связано с изменением основного направления деполяризации в верхушечной трети желудочков сердца и отражает прорыв волны возбуждения на эпикард желудочков; вторая инверсия кардиоэлектрических потенциалов связана с изменением направления волны возбуждения к основанию желудочков и возбуждением основной массы миокарда [7]. Следовательно, выявленные изменения пространственно-временных

характеристик ЭПС у обследованных спортсменов в ответ на провокацию физической нагрузки разной мощности отражают изменение соотношения фаз деполяризации.

У обследованных лыжников-гонщиков в ответ на физическую нагрузку на фоне неизменной длительности ЭПС, происходило изменение соотношения фаз деполяризации за счет изменения длительности первой и второй инверсии [8]. У обследованных пловцов, после умеренной физической нагрузки значительно сокращается длительность ЭПС, длительность инверсий не изменяется, на 1-2 минутах восстановления значительно сокращается длительность начальной фазы деполяризации. Таким образом, у пловцов по сравнению с лыжниками-гонщиками, после умеренной нагрузки изменение длительности фаз деполяризации приводит к изменению общей длительности периода деполяризации по ЭПС. После субмаксимальной физической нагрузки у пловцов длительность ЭПС значительно не отличается от значений в покое, но длительность начальной фазы на 1-2 минутах восстановления значительно меньше, чем в покое.

Заключение. У обследованных спортсменов (лыжников-гонщиков и пловцов) выявлены различия пространственно-временных характеристик ЭПС в период деполяризации желудочков в покое и при восстановлении после физической нагрузки умеренной и субмаксимальной мощности. На каждой минуте восстановления после физической нагрузки умеренной мощности и на 2-3 минутах после физической нагрузки субмаксимальной мощности у лыжников-гонщиков длительность второй инверсии и ЭПС больше, чем у пловцов. В конце 3-минутного восстановительного периода после физической нагрузки умеренной и субмаксимальной мощности у лыжников-гонщиков пространственно-временные характеристики ЭПС достигали исходных значений в покое, у пловцов полного восстановления не происходило. В ответ на физическую нагрузку умеренной и субмаксимальной мощности у обследованных спортсменов происходило изменение соотношения различных фаз деполяризации желудочков: длительности первой и второй инверсий у лыжников; длительности начальной фазы деполяризации у пловцов.

Таким образом, использование метода кардиоэлектротопографии позволило выявить особенности электрической активности сердца у обследованных пловцов и лыжников - гонщиков в период деполяризации желудочков в покое и разнонаправленность изменений пространственно-временных характеристик при восстановлении после выполнения физической нагрузки различной мощности.

Примечания:

1. Гаврилова Е.А. Спортивное сердце и стрессорная кардиомиопатия. М.: Сов. спорт, 2007. 200 с.
2. Роцевский М.П. Эволюционная электрокардиология: от электрокардиотопографии к созданию основ будущей электрокардиотомографии / М.П. Роцевский, И.М. Роцевская // Медицинский академикский журнал. 2005. Т. 5. № 2. С. 33–46.
3. Rudy Y. Noninvasive Electrocardiographic Imaging (ECGI) / Y. Rudy, J.E. Burnes // *Annals of Noninvasive elctrocardiology*. 1999. Vol. 3. P. 340-359.
4. Дибнер Р.Д. Значение функциональных исследований сердца в системе комплексного медицинского контроля / Р.Д. Дибнер // Медико-биологическое обследование системного подхода к оценке подготовленности спортсменов. Л., 1987. С. 66–75.
5. Аронов Д.М. Функциональные пробы в кардиологии / Д.М. Аронов, В.П. Лупанов. М.: МЕД Пресс–информ. 2007. 327 с.
6. Recommendations and considerations related to preparticipation screening for cardiovascular abnormalities in competitive athletes. 2007 update // *Circulation*. 2007. Vol. 115. P. 1643–1655.
7. Роцевская И.М. Кардиоэлектрическое поле теплокровных животных и человека. СПб: Наука, 2008. 250 с.
8. Strelnikova S.V. Spatiotemporal characteristics of racing skiers' cardiac electric field at the period of ventricular depolarization after moderate and submaximal physical load / S.V. Strelnikova, N.I. Panteleeva, I.M. Roshchevskaya // *European Researcher*. 2012. Vol. 24. № 6-2. P. 958-960.

9. Стрельникова С.В. Типы реакции системы кровообращения лыжников-гонщиков Республики Коми при выполнении физической нагрузки / С.В. Стрельникова, Н.И. Пантелеева // Здоровье человека на Севере. Сыктывкар. 2012. №2. С. 7-11.

10. Стрельникова С.В. Реакция кардиореспираторной системы юных спортсменов и нетренированных подростков г. Сыктывкара на субмаксимальную физическую нагрузку / С.В. Стрельникова, Н.И. Пантелеева, Т.В. Яцечко, И.М. Рощевская, М.П. Рощевский // Экология человека. 2010. №7. С. 25–29.

УДК 612.172.4

Электрическое поле сердца лыжников-гонщиков и пловцов в период деполяризации желудочков при восстановлении после физической нагрузки умеренной и субмаксимальной мощности

¹С.В. Стрельникова

²Н.И. Пантелеева

³Т.В. Яцечко

⁴И.М. Рощевская

^{1-2, 4} Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук, Россия
Лаборатория сравнительной кардиологии

³ Республиканская детская больница, г. Сыктывкар, Россия

Аннотация. Проведено кардиэлектротопографическое исследование электрической активности сердца у лыжников-гонщиков и спортсменов-пловцов в период деполяризации желудочков сердца при восстановлении после выполнения физической нагрузки умеренной и субмаксимальной мощности. После выполнения умеренной и субмаксимальной физической нагрузки выявлено изменение длительности периода деполяризации и соотношения фаз деполяризации желудочков сердца за счет большей длительности первой и второй инверсий кардиоэлектрических потенциалов на поверхности грудной клетки у лыжников и меньшей длительности начальной фазы деполяризации у пловцов.

Ключевые слова: электрическое поле сердца; деполяризация желудочков сердца; физическая нагрузка; лыжники-гонщики; пловцы.