

РЕПОЛЯРИЗАЦИЯ МИОКАРДА ЖЕЛУДОЧКОВ СЕРДЦА У СПОРТСМЕНОВ-ПЛОВЦОВ С УМЕРЕННОЙ БРАДИ- И ТАХИКАРДИЕЙ В ПОКОЕ

© 2025 г. Н. И. Ивонина*, И. М. Рощевская

Отдел сравнительной кардиологии ФГБУН ФИЦ «Коми научный центр Уральского отделения РАН»,

Сыктывкар, Россия

*E-mail: bdr13@mail.ru

Поступила в редакцию 07.06.2024 г.

После доработки 10.09.2024 г.

Принята к публикации 08.10.2024 г.

Статья посвящена исследованию процесса восстановления возбудимости миокарда желудочков сердца по данным стандартной электрокардиографии (ЭКГ) и многоканального ЭКГ-картирования у спортсменов-пловцов с разной частотой сердечных сокращений в покое. Электрическую активность сердца исследовали от множества ($n = 64$) униполярных отведений на поверхности торса синхронно со стандартными отведениями от конечностей у спортсменов-пловцов с умеренной бради- ($n = 15$) и тахикардией ($n = 10$) в покое. Оценивали пространственно-временные и амплитудные параметры электрического поля сердца на поверхности тела в период реполяризации желудочков. По электрокардиограмме во втором отведении от конечностей (ЭКГ_{II}) определяли длительность интервалов $R-R$, QT , $T-P$, $J-Tpeak$, $Tpeak-Tend$, $J-Tend$, рассчитывали длительность интервала QTc (по Базетту), индексы $J-Tpeak / QT$, $J-Tend / QT$, $Tpeak-Tend / QT$, $QTpeak / QT$, $J-Tpeak / J-Tend$, $Tpeak-Tend / J-Tend$. Рассчитывали дисперсию QT интервала в каждом ЭКГ отведении (I, II, III, 64 на поверхности торса). Выявлено, что при статистически значимых межгрупповых различиях в длительностях интервалов $R-R_{II}$, QT_{II} и $T-P_{II}$ продолжительности интервалов $J-Tpeak_{II}$, $Tpeak-Tend_{II}$, $J-Tend_{II}$ и расчетные индексы ЭКГ_{II} у лиц сравниваемых групп были практически схожими. По данным многоканального ЭКГ-картирования пространственная организация реполяризации миокарда желудочков у пловцов обеих групп была типичной для здорового человека. Более позднее достижение положительным и отрицательным экстремумами максимальных амплитуд, меньшие значения дисперсии интервала QT у пловцов с умеренной брадикардией могут указывать на меньшую гетерогенность процесса реполяризации желудочков сердца по сравнению с пловцами с умеренной тахикардией.

Ключевые слова: спортивное сердце, электрическое ремоделирование миокарда, брадикардия и тахикардия, реполяризация желудочков, ЭКГ-картирование

DOI: 10.31857/S0131164625010046 **EDN:** VNBQOF

Одним из проявлений электрического ремоделирования «спортивного сердца» является изменение частоты сердечных сокращений (ЧСС). Но если встречаемость синусной брадикардии среди спортсменов превышает 70%, то повышенная ЧСС в покое (тахикардия) встречается намного реже и не относится к комплексу специфических изменений функции сердца [1, 2]. Процесс становления спортивного мастерства характеризуется изменением ЧСС, которое у атлетов различных спортивных дисциплин имеет разную выраженность, наиболее значительны изменения ЧСС у представителей циклических видов спорта. Выделены градации формирующейся бради- и тахикардии в процессе

возрастания тренированности организма, которые позволяют оценить насколько выраженными являются изменения ЧСС [3]. Долгое время считалось, что брадикардия является результатом усиления или ослабления парасимпатических влияний на синусный узел [1, 4]. Однако в последнее время все больше исследователей склоняется к мнению, что урежение или учащение ЧСС у спортсменов происходит не только в результате изменения вегетативного баланса, но и более глубоких структурно-функциональных изменений сердца. Выдвинуто предположение, что именно электрическое ремоделирование миокарда является первопричиной изменения ЧСС, а смещение вегетативного

баланса является механизмом, закрепляющим эти изменения [5, 6]. Повышение ЧСС в покое влечет за собой увеличение градиента реполяризации миокарда желудочков, появление аритмий [7], которые являются одной из причин внезапной сердечной смерти среди спортсменов, частота которой превышает среднестатистическую в популяции в 2–4 раза [8].

Функциональная природа бради- и тахикардии у спортсмена подтверждается наличием характерной для атлета электрокардиограммы, адекватным приростом ЧСС после выполнения физической нагрузки, отсутствием структурных аномалий сердечной мышцы [9, 10]. На рутинной ЭКГ в состоянии покоя у спортсменов с синусной бради- и тахикардией различаются длительности интервала $R-R$, скорректированного с ним QT интервала, $ST-T$ и $T-P$ периодов на фоне практически одинаковой длительности комплекса QRS [11, 12]. Реполяризация желудочков сердца у спортсменов достаточно сложна для анализа ввиду слабой специфичности ЭКГ-изменений и высокой чувствительности процесса восстановления возбудимости миокарда к воздействию факторов различного генеза. При сравнении ЭКГ атлетов с разной ЧСС отмечают изменение общей продолжительности периода реполяризации [1, 4], однако необходим более детальный сравнительный анализ процесса восстановления возбудимости миокарда желудочков.

Диагностическая ценность ЭКГ как метода оценки электрического ремоделирования миокарда повышается при вовлечении дополнительного количества регистрирующих электродов [13]. Многоканальное ЭКГ-картирование позволяет изучить не только амплитудные и временные параметры электрокардиограммы, но также построить пространственную картину распределения потенциалов сердца на поверхности торса, и по ее динамике во времени судить о последовательности прохождения волны возбуждения в миокарде желудочков, о нормальности восстановления возбудимости сердечной мышцы [14, 15]. Ранее нами были показаны специфические изменения параметров электрического поля сердца (ЭПС) на поверхности грудной клетки у спортсменов по сравнению с нетренированными лицами [16], при морфологическом ремоделировании миокарда различного типа [17], при атрио-вентрикулярной блокаде I степени [18].

Цель данной работы – исследовать электрическую активность сердца в период реполяризации миокарда желудочков у юных спортсменов с функциональной брадикардией и тахикардией, используя критерии традиционной ЭКГ и данные многоканального ЭКГ-картирования.

МЕТОДИКА

Исследование проводили при участии спортсменов-пловцов ДЮСШ № 3 г. Сыктывкара (этапы совершенствования и высшего спортивного мастерства). На момент проведения исследования согласно анамнезу и данным, предоставленным спортивным врачом, у всех пловцов отсутствовали хронические заболевания, сердечно-сосудистые аномалии, признаки перетренированности и плохого самочувствия, отсутствовал прием лекарственных препаратов.

В соответствии с протоколом ЦСССА ФМБА России [3] и согласно результатам предварительного анализа ЭКГ в стандартных отведениях от конечностей все обследованные пловцы были разделены на две группы.

В первую группу “Умеренная брадикардия” вошли 15 пловцов, во вторую группу “Умеренная тахикардия” – 10 чел. (табл. 1).

Электрокардиографическое исследование проводили на поверхности грудной клетки спортсменов в состоянии психо-соматического покоя (сидя в кресле не менее 15 мин). Синхронно с 64 униполярными туловищными ЭКГ регистрировали ЭКГ в стандартных биполярных отведениях от конечностей (рис. 1, А), в качестве референсного электрода для униполярных отведений использовали центральную терминаль Вильсона. ЭПС анализировали с помощью моментных эквипотенциальных карт (рис. 1, Б).

На эквипотенциальных моментных картах в период реполяризации желудочков оценивали пространственное расположение зон и экстремумов положительных (максимума) и отрицательных (минимума) кардиоэлектрических потенциалов, определяли наибольшие амплитуды положительного и отрицательного экстремумов (A_{max} и A_{min} , соответственно) и время достижения экстремумами максимальных амплитуд (T_{max} и T_{min} , соответственно) относительно пика зубца R_{II} и вершины T_{II} -волны.

На ЭКГ во втором отведении от конечностей (ЭКГ_{II}) определяли длительности интервалов $R-R$, QT , $T-P$, $J-T_{peak}$, $T_{peak}-T_{end}$, $J-T_{end}$. Рассчитывали длительность скорректированного интервала QT (QT_c) (по Базетту), индексы $J-T_{peak} / QT$, $J-T_{end} / QT$, $T_{peak}-T_{end} / QT$, QT_{peak} / QT , $J-T_{peak} / J-T_{end}$, $T_{peak}-T_{end} / J-T_{end}$. В отведении V_5 измеряли амплитуду T -волны. Рассчитывали дисперсию QT интервала (QT_d) как разницу между минимальной и максимальной длительностью QT интервала в каждом ЭКГ отведении (I, II, III, 64 туловищных): $QT_d = QT_{max} - QT_{min}$.

Статистическую обработку данных и проверку их на нормальность распределения проводили с помощью математико-статистических программ

Таблица 1. Характеристики обследованных спортсменов-пловцов

Инициалы пловца	Возраст	ЧСС в покое	Дистанция (м)
Группа с умеренной брадикардией			
Возраст 12–15 лет			
Р. И.	12	62	800, 1500
Р. А.	12	59	800, 1500
Ч. М.	13	64	800, 1500
П. А.	13	55	50, 100
К. В.	13	66	100, 200
П. В.	13	66	100, 200
Т. А.	13	62	800, 1500
Ж. К.	14	57	50, 100
М. А.	15	53	50, 100
Г. Г.	15	58	50, 100
Возраст 16–18 лет			
П. С.	16	56	800, 1500
О. О.	16	53	400, 800
Б. А.	16	63	800, 1500
Ш. А.	16	64	50, 100
Е. С.	17	57	800, 1500
Группа с умеренной тахикардией			
Возраст 12–15 лет			
Т. П.	15	92	800, 1500
Возраст 16–18 лет			
С. К.	16	82	100, 200
С. А.	16	91	200, 400
Т. И.	16	84	800, 1500
Ю. Р.	17	82	800, 1500
С. Н.	17	82	800, 1500
Я. Я.	17	83	800, 1500

Примечание: ЧСС – частота сердечных сокращений.

Statistica 10.0. (*StatSoft*, США). Поскольку использование критерия Шапиро–Уилка показало, что полученные цифровые данные подчинялись закону нормального распределения, статистическую значимость различий оценивали с помощью *t*-критерия для независимых переменных. Данные представлены в виде средней арифметической \pm стандартное отклонение. Различия считали статистически значимыми при $p < 0.5$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Возраст, весо-ростовые показатели у юных спортсменов статистически значимо не различались. У пловцов с умеренной брадикардией возраст, длина тела и масса тела составили 14.1 ± 2.1 лет, 165 ± 16 см, 56.2 ± 13.7 кг, а у пловцов с тахикардией – 14.9 ± 1.5 лет, 163 ± 17 см и 61.5 ± 10.7 кг соответственно.

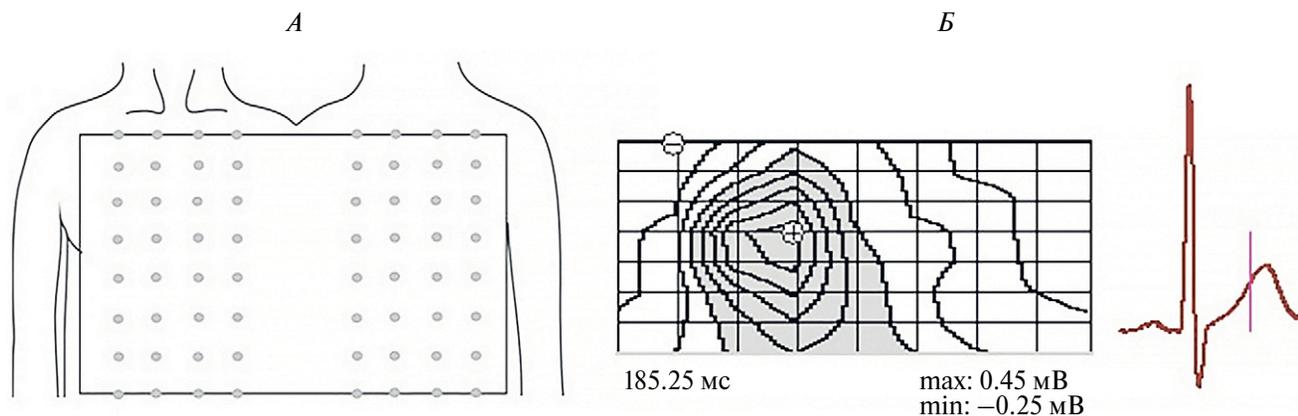


Рис. 1. Схема расположения электродов на поверхности грудной клетки обследованных людей (А) и эквипотенциальная моментная карта распределения потенциала (Б).

На эквипотенциальной карте серым цветом закрашены области положительных, не закрашены – отрицательных кардиопотенциалов. Знаки “+” и “-” обозначают положение положительного и отрицательного экстремумов, соответственно. Под каждой картой указано время в мс относительно пика зубца R_{II} , указаны максимальная амплитуда положительного (max) и отрицательного (min) кардиопотенциалов. Справа приведена ЭКГ_{II} с маркером времени (вертикальная черта). Шаг изолиний равен 0.1 мВ.

Таблица 2. Временные параметры ЭКГ_{II} у юных пловцов с умеренной брадикардией и тахикардией в покое ($M \pm SD$)

Параметры ЭКГ _{II} , мс	Пловцы с умеренной брадикардией (n = 15)	Пловцы с умеренной тахикардией (n = 7)	Уровень статистической значимости
$R-R_{II}$	1005.5 ± 81.8	714.5 ± 47.1	$p = 0.00003$
QRS_{II}	85.1 ± 7.5	85.2 ± 9.3	н/д
QT_{II}	390.2 ± 14.9	371.7 ± 26.3	$p < 0.04$
QTc_{II}	393.5 ± 25.0	411.0 ± 25.0	н/д
$T-P_{II}$	454.5 ± 86.5	315.9 ± 63.8	$p = 0.0002$
$J-T_{peak_{II}}$	227.6 ± 17.3	217.2 ± 29.2	н/д
$T_{peak}-T_{end_{II}}$	76.9 ± 9.1	79.3 ± 7.8	н/д
$J-T_{end_{II}}$	304.5 ± 16.6	296.5 ± 27.2	н/д

Амплитуды волны T_{V5} в состоянии покоя у спортсменов обеих групп значимо не различались ($p > 0.05$) и составили 0.45 ± 0.21 и 0.48 ± 0.15 мВ у пловцов первой и второй группы соответственно. Длительности интервалов $R-R_{II}$, QT_{II} , $T-P_{II}$ у юных спортсменов с синусной брадикардией были значимо больше, чем у пловцов с тахикардией, остальные временные характеристики ЭКГ_{II} существенно не различались (табл. 2).

Дисперсия QT интервала была статистически значимо выше ($p < 0.01$) у пловцов с функциональной тахикардией – 52.9 ± 9.3 против 36.8 ± 1.9 мс у пловцов с брадикардией.

У пловцов с брадикардией и тахикардией расчетные индексы, используемые для соотношения отдельных этапов реполяризации желудочков к общей длительности желудочковой активности, существенно не различались (табл. 3).

Пространственные характеристики ЭПС на поверхности тела. Расположение зон и экстремумов кардиоэлектрических потенциалов на поверхности грудной клетки в период реполяризации желудочков в покое у пловцов с бради- и тахикардией было схожим. Распределение потенциалов, типичное для реполяризации желудочков, формировалось на ЭПС на поверхности тела в период сегмента ST на ЭКГ_{II} и характеризовалось формированием

Таблица 3. Индексы реполяризации желудочков сердца у юных пловцов с умеренной брадикардией и тахикардией в покое ($M \pm SD$)

Расчетные ЭКГ _{II} -индексы	Пловцы с умеренной брадикардией ($n = 15$)	Пловцы с умеренной тахикардией ($n = 7$)	Уровень статистической значимости
$T_{peak}-T_{end} / QT$	0.20 ± 0.02	0.21 ± 0.02	н/д
$J-T_{peak} / QT$	0.58 ± 0.04	0.58 ± 0.05	н/д
$J-T_{end} / QT$	0.78 ± 0.02	0.79 ± 0.03	н/д
QT_p / QT	0.58 ± 0.04	0.58 ± 0.05	н/д
$J-T_{peak} / J-T_{end}$	0.75 ± 0.03	0.73 ± 0.03	н/д
$T_{peak}-T_{end} / J-T_{peak}$	0.34 ± 0.06	0.37 ± 0.06	н/д
$T_{peak}-T_{end} / J-T_{end}$	0.25 ± 0.03	0.27 ± 0.03	н/д

двух областей – положительной, с преимущественным расположением спереди и ниже ключиц (экстремум находится в области проекции верхушки сердца на вентральную поверхность), и отрицательной, с локализацией в верхней части спины и груди (минимум располагался в области правого плеча). В период реполяризации желудочков отмечали постепенное увеличение амплитуд экстремумов, при этом положение отрицательного экстремума незначительно изменялось, а положительного – практически нет. К окончанию периода реполяризации желудочков амплитуды максимума и минимума снижались до минимальных значений (рис. 2).

Амплитудно-временные характеристики ЭПС на поверхности тела. У спортсменов с тахикардией выявлено более раннее достижение отрицательным экстремумом ЭПС на поверхности тела максимальной амплитуды, тогда как у спортсменов с брадикардией минимум достигал максимальных значений существенно позже (табл. 4).

Относительно вершины T -волны на ЭКГ_{II} положительный и отрицательный экстремумы ЭПС в период реполяризации желудочков сердца достигали максимальных значений у пловцов с брадикардией на нисходящей фазе T -волны, у пловцов с тахикардией – на восходящей (рис. 3).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате настоящего исследования показаны различия во временной структуре реполяризации желудочков сердца у спортсменов-пловцов с умеренной бради- и тахикардией. У лиц исследуемых групп различия выявлены в длительности интервалов $R-R_{II}$, QT_{II} , $T-P_{II}$, но интервалы $J-T_{peak_{II}}$, $T_{peak}-T_{end_{II}}$ при этом значимо не различались, как и расчетные индексы, отражающие соотношение

различных этапов реполяризации к общей длительности желудочковой активности. Выявлено, что на фоне практически схожих амплитуд максимума и минимума у спортсменов с бради- и тахикардией отрицательный экстремум достигал максимальных значений в период реполяризации желудочков в разные фазы T_{II} -волны (восходящей или нисходящей его фазе).

Различие в продолжительности QT и QT_c интервалов у исследуемых групп было вполне ожидаемо, ввиду их высокой корреляции с RR интервалом, тогда как соотношение отдельных периодов, отображающих на ЭКГ реполяризацию желудочков, имеет более глубокое значение. Расчетные индексы реполяризации используют как маркеры, позволяющие выявлять аномальное течение восстановления возбудимости желудочков сердца. Дисперсию интервала $T_{peak}-T_{end}$ применяют как маркер аритмогенности [19, 20], а соотношения длительностей интервалов $J-T_{peak}$ и $T_{peak}-T_{end}$ к длительности QT интервала показали высокую чувствительность и специфичность этих индексов в определении аномальной реполяризации при различных заболеваниях [21, 22]. Такие расчетные индексы особо информативны при удлинённом QT интервале [23, 24]. В нашем исследовании использование расчетных индексов реполяризации у юных пловцов с функциональной брадикардией и тахикардией в покое не показало статистически значимых различий, несмотря на существенное отличие в продолжительности интервала QT , что может свидетельствовать о функциональной природе учащения и урежения сердечбиения у обследованных юных пловцов.

QT_d отражает региональные различия в реполяризации желудочков, и ее увеличение связано с повышением гетерогенности реполяризации, это продемонстрировано высокой корреляцией

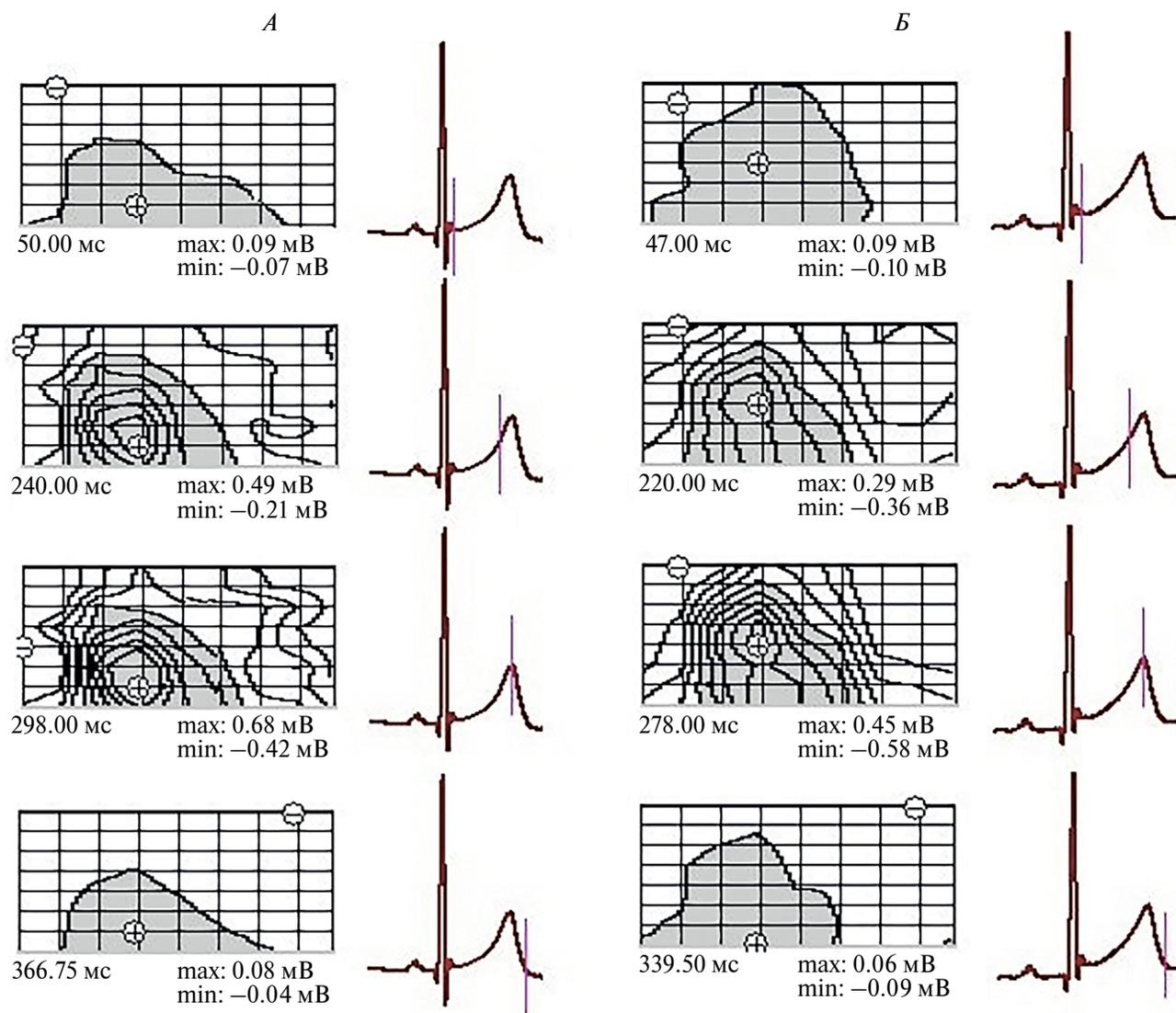


Рис. 2. Репрезентативные эквипотенциальные моментные карты распределения кардиопотенциала на поверхности грудной клетки у пловцов с умеренной бради- (А) и тахикардией (Б) в покое. Обозначения см. рис. 1, Б.

дисперсии эпикардиальных монофазных потенциалов действия с дисперсией интервала QT на поверхностной ЭКГ [25]. У спортсменов дисперсия QT интервала не превышает таковую у здорового нетренированного человека [26]. Следует отметить, что у юных спортсменов с умеренной тахикардией QTd была значимо больше, чем у спортсменов с брадикардией, у которых дисперсия интервала QT соответствовала нормальному для атлетов значениям. Физическая нагрузка может стать триггером неблагоприятных кардиальных событий у лиц с увеличенной дисперсией QT интервала, отражающей возрастание электрической дестабилизации миокарда [27]. Несмотря на значимо более высокие значения QTd у спортсменов с тахикардией, продолжительности интервала QT и его

корректированного значения находились в пределах референсных для здорового человека значений.

Проведенное исследование продемонстрировало различие в динамике изменения амплитуд максимальных экстремумов ЭПС у спортсменов с бради- и тахикардией в период реполяризации миокарда желудочков в покое. В настоящее время достаточно полно изучены закономерности формирования кардиоэлектрического поля на поверхности тела человека в периоды активации и восстановления возбудимости миокарда, проведено сопоставление электрических процессов в сердце с их отражением на поверхности торса в виде динамики положительных и отрицательных областей и экстремумов кардиопотенциалов [15–17]. Исследование ЭПС у людей различных поло-возрастных

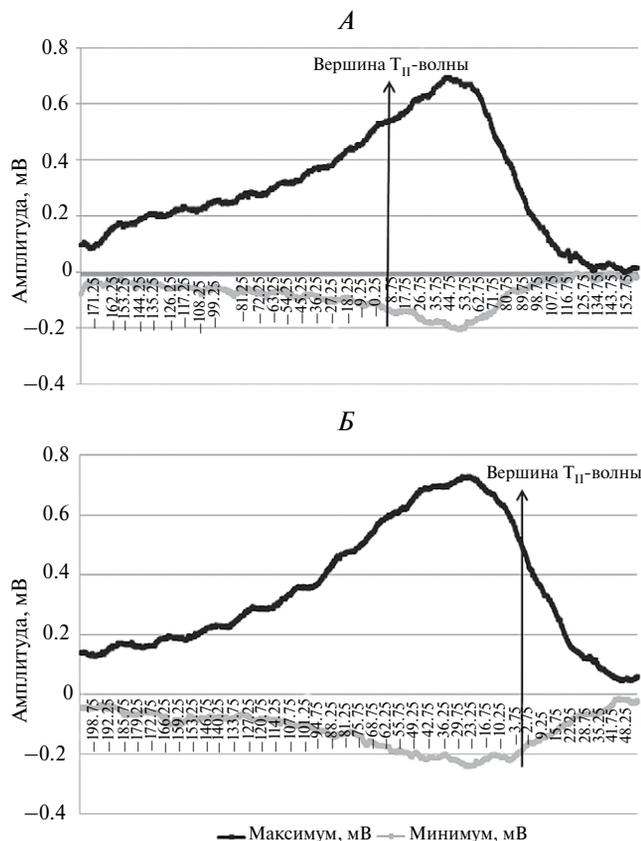


Рис. 3. Динамика амплитуд максимальных экстремумов электрического поля сердца на поверхности торса у пловца с умеренной брадикардией (А) и пловца с умеренной тахикардией (Б) в период реполяризации желудочков.

По оси ОХ указано время (мс) от точки J на ЭКГ_{II}, за «ноль» принята вершина T_{II}-волны. По оси ОУ указаны амплитуды экстремумов (мВ).

групп позволило заключить, что основная последовательность распределения потенциалов на поверхности торса в период де- и реполяризации, типичная для взрослого человека, формируется к 8–10 годам жизни и далее существенно не меняется [28, 29]. У практически здорового человека в начале периода реполяризации желудочков сердца на вентральной поверхности торса формируется зона положительных потенциалов с локализацией экстремума в области, соответствующей проекции верхушки сердца, а зона отрицательных потенциалов занимает обе латеральные и дорсальную часть торса. За весь период восстановления возбудимости желудочков зоны существенно не изменяют своего положения, происходит постепенное нарастание, а затем снижение амплитуд экстремумов [14, 30]. Ранее нами были проведены исследования по изучению паттерна распределения кардиоэлектрических потенциалов на поверхности торса спортсменов, тренирующих выносливость [31]. У обследованных нами пловцов с умеренной брадией и тахикардией расположение зон и экстремумов было аналогично таковым у взрослого здорового нетренированного человека.

Амплитудные электрокардиографические характеристики (амплитуда T_{II}-волны, амплитуды положительного и отрицательного экстремумов ЭПС) у пловцов сравниваемых групп были практически схожими, но время достижения максимальных амплитуд отрицательным экстремумом значительно различалось между группами. У нетренированных здоровых людей положительный экстремум ЭПС на поверхности грудной клетки в период реполяризации желудочков достигает максимальных величин на восходящей фазе T-волны, а отрицательный – либо на вершине, либо на нисходящей

Таблица 4. Амплитудно-временные характеристики экстремумов электрического поля сердца на поверхности грудной клетки юных пловцов с умеренной брадикардией и тахикардией в покое в период реполяризации желудочков сердца ($M \pm SD$)

Параметры ЭПС	Пловцы с умеренной брадикардией (n = 15)	Пловцы с умеренной тахикардией (n = 7)	Уровень статистической значимости
<i>A</i> _{max} , мВ	0.60 ± 0.17	0.56 ± 0.12	н/д
<i>T</i> _{max} , относительно R _{II} -пика, мс	252.59 ± 32.17	248.37 ± 29.9	н/д
<i>T</i> _{max} , относительно вершины T _{II} -волны, мс	-2.37 ± 4.95	-6.36 ± 8.43	н/д
<i>A</i> _{min} , мВ	-0.47 ± 0.20	-0.43 ± 0.12	н/д
<i>T</i> _{min} , относительно R _{II} пика, мс	258.71 ± 29.24	238.93 ± 33.9	<i>p</i> = 0.093
<i>T</i> _{min} , относительно вершины T _{II} -волны, мс	4.58 ± 2.91	-9.44 ± 3.88	<i>p</i> < 0.00001

фазе T -волны [32]. Реполяризация субэпикарда завершается к вершине T -волны на ЭКГ, условно соответствуя окончанию интервала J - T_{peak} , а реполяризация миокарда и субэндокарда на нисходящей фазе T -волны, и по продолжительности соответствует интервалу T_{peak} - T_{end} [33]. Следовательно, исследуемые параметры ЭПС у спортсменов-пловцов с брадикардией практически соответствовали таковым, описанным для здоровых нетренированных людей.

Несмотря на отсутствие межгрупповых различий в длительности интервалов J - $T_{peak_{II}}$ и T_{peak} - $T_{end_{II}}$, у обследованных спортсменов с умеренной тахикардией минимум кардиопотенциалов в период реполяризации желудочков достигал наивысших значений на восходящей T_{II} -волны, показывая отличие в электрической активности сердца со здоровым человеком и спортсменами с умеренной брадикардией. Более раннее достижение отрицательным экстремумом ЭПС максимальной амплитуды в период восстановления возбудимости миокарда в сочетании с увеличенными значениями дисперсии QT интервала может свидетельствовать об увеличении гетерогенности реполяризации желудочков сердца и повышении риска возникновения аритмии у пловцов с умеренной тахикардией.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало, что у юных спортсменов, развивающих физическое качество выносливости, пониженная и повышенная ЧСС в покое отражается в специфичных различиях процесса реполяризации желудочков сердца. У спортсменов с умеренной брадикардией временные, пространственные и амплитудные электрокардиографические показатели, по данным традиционной электрокардиографии и поверхностного ЭКГ-картирования, были практически аналогичны таковым у здорового нетренированного человека, тогда как у спортсменов с умеренной тахикардией отмечены повышение дисперсии QT интервала, более раннее достижение максимальной амплитуды отрицательным экстремумом ЭПС на поверхности тела в период реполяризации желудочков, что может указывать на возрастание электрической неоднородности миокарда желудочков сердца.

Финансирование работы. Работа выполнена в рамках государственного задания Отдела сравнительной кардиологии ФИЦ “Коми научный центр Уральского отделения РАН” (Сыктывкар) № 122040600069-6.

Соблюдение этических стандартов. Все исследования проводились в соответствии с принципами биомедицинской этики, изложенными в Хельсинкской декларации 1964 г. и последующих поправках к ней. Они также были одобрены локальным этическим комитетом Отдела сравнительной

кардиологии ФИЦ “Коми научный центр Уральского отделения РАН” (Сыктывкар), протокол № 1 от 06.04.2022 г.

Каждый участник исследования старше 16 лет и родители более молодых участников обследования дали добровольное письменное информированное согласие после получения разъяснений о потенциальных рисках и преимуществах, а также о характере предстоящего исследования.

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

Вклад авторов в публикацию. Н.И. Ивонина — разработка исследования, сбор данных, их анализ и интерпретация результатов. И.М. Рощевская — разработка исследования, интерпретация результатов, оценка рукописи на интеллектуальное содержание. Все авторы одобрили окончательный вариант рукописи и согласны с порядком представления материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Sharma S., Drezner J.A., Baggish A. et al.* International recommendations for electrocardiographic interpretation in athletes // *Eur. Heart J.* 2018. V. 39. № 16. P. 1466.
2. *Doyen B., Matelot D., Carré F.* Asymptomatic bradycardia amongst endurance athletes // *Phys. Sportsmed.* 2019. V. 47. № 3. P. 249.
3. *Макаров Л.М., Киселева И.И., Комолятова В.Н., Федина Н.Н.* Новые нормы и интерпретации детской электрокардиограммы // *Педиатрия. Журнал им. Г.Н. Сперанского.* 2015. Т. 94. № 2. С. 63.
4. *Шлык Н.И., Гаврилова Е.А.* Брадикардия и вариабельность сердечного ритма у спортсменов // *Человек. Спорт. Медицина.* 2023. Т. 23. № S1. С. 59.
5. *Azevedo L.F., Perlingeiro P.S., Hachul D.T. et al.* Sport modality affects bradycardia level and its mechanisms of control in professional athletes // *Int. J. Sports Med.* 2014. V. 35. № 11. P. 954.
6. *Stomko W., Stomko J., Kowalik T. et al.* Long-term high intensity sport practice modulates adaptative changes in athletes' heart and in the autonomic nervous system profile // *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 2018. V. 58. № 7–8. P. 1146.
7. *Srinivasan N.T., Orini M., Providencia R. et al.* Differences in the upslope of the precordial body surface ECG T wave reflect right to left dispersion of repolarization in the intact human heart // *Heart Rhythm.* 2019. V. 16. № 6. P. 943.
8. *Гаврилова Е.А., Чурганов О.А., Белодедова М.Д. и др.* Внезапная сердечная смерть в спорте. Современные представления // *Теория и практика физической культуры.* 2021. № 5. С. 76.

9. Земцовский Э.В. Спортивная кардиология. СПб.: Гиппократ, 1995. 448 с.
10. Ревиншвили А.Ш., Артюхина Е.А., Глезер М.Г. и др. Брадиаритмии и нарушения проводимости. Клинические рекомендации 2020 // Российский кардиологический журнал. 2021. Т. 26. № 4. С. 4448.
11. Гаверилова Е.А. Безопасный спорт. Настольная книга тренера. М.: ООО "ПРИНТЛЕТО", 2022. 512 с.
12. Sharma S., Whyte G., Elliott P. et al. Electrocardiographic changes in 1000 highly trained junior elite athletes // Br. J. Sports Med. 1999. V. 33. № 5. P. 319.
13. Kania M., Maniewski R., Zaczek R. et al. Optimal ECG lead system for exercise assessment of ischemic heart disease // J. Cardiovasc. Transl. Res. 2020. V. 13. № 5. P. 758.
14. Роцевская И.М. Кардиоэлектрическое поле теплокровных животных и человека СПб.: Наука, 2008. 250 с.
15. Bergquist J., Rupp L., Zenger B. et al. Body surface potential mapping: contemporary applications and future perspectives // Hearts. 2019. V. 2. № 4. P. 514.
16. Ivonina N.I., Fokin A.A., Roshchevskaya I.M. Body surface potential mapping during heart ventricular repolarization in male swimmers and untrained persons under hypoxic and hypercapnic hypoxia // High Alt. Med. Biol. 2021. V. 22. № 3. P. 308.
17. Panteleeva N.I., Zamenina E.V., Roshchevskaya I.M., Kaneva I.N. The heart electrical activity during ventricular repolarization and types of the remodeling of the athlete's heart // Int. J. Biomed. 2019. V. 9. № 4. P. 297.
18. Ivonina N.I., Ivonin A.G., Roshchevskaya I.M. Body Surface Potential Mapping during Ventricular Depolarization in Athletes with Prolonged PQ Interval after Exercise // Arq. Bras. Cardiol. 2024. V. 121. № 1. P. e20230179.
19. Yoon N., Hong S.N., Cho J.G. et al. Experimental verification of the value of the $T_{peak}-T_{end}$ interval in ventricular arrhythmia inducibility in an early repolarization syndrome model // J. Cardiovasc. Electrophysiol. 2019. V. 30. № 10. P. 2098.
20. Antzelevitch C. Tpeak-Tend interval as a marker of arrhythmic risk in early repolarization syndrome // J. Cardiovasc. Electrophysiol. 2019. V. 30. № 10. P. 2106.
21. Cosgun A., Oren H., Turkkani M.H. The relationship between systolic pulmonary arterial pressure and Tp-e interval, Tp-e/QT, and Tp-e/QTc ratios in patients with newly diagnosed chronic obstructive pulmonary disease // Ann. Noninvasive Electrocardiol. 2020. V. 25. № 3. P. e12691.
22. Selvi F., Korkut M., Bedel C. et al. Evaluation of Tpeak-end interval, Tpeak-end/QT, and Tpeak-end/QTc ratio during acute migraine attack in the emergency department // Acta Neurol. Belg. 2024. V. 124. № 3. P. 949.
23. Yenercağ M., Arslan U., Doğduş M. et al. Evaluation of electrocardiographic ventricular repolarization variables in patients with newly diagnosed COVID-19 // J. Electrocardiol. 2020. V. 62. P. 5.
24. Pappone C., Ciconte G., Anastasia L. et al. Right ventricular epicardial arrhythmogenic substrate in long-QT syndrome patients at risk of sudden death // Europace. 2023. V. 25. № 3. P. 948.
25. Zabel M., Lichtlen P.R., Haverich A., Franz M.R. Comparison of ECG variables of dispersion of ventricular repolarization with different myocardial repolarization measurements in the human heart // J. Cardiovasc. Electrophysiol. 1998. V. 9. № 12. P. 1279.
26. Yılmaz M., Kayaççek H., Gözel N. et al. Spotlights on some electrocardiographic paradigms: How should we evaluate normal reference values of Tp-Te interval, Tp-Te dispersion and Tp-Te/QT ratio? // Adv. Clin. Exp. Med. 2020. V. 29. № 9. P. 1091.
27. Dahlberg P., Axelsson K.J., Rydberg A. et al. Spatiotemporal repolarization dispersion before and after exercise in patients with long QT syndrome type 1 versus controls: probing into the arrhythmia substrate // Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol. 2023. V. 325. № 6. P. 1279.
28. Green L.S., Lux R.L., Haws C.W. et al. Effects of age, sex, and body habitus on QRS and ST-T potential maps of 1100 normal subjects // Circulation. 1985. V. 71. № 2. P. 244.
29. Spach M.S., Silberberg W.P., Boineau J.P. et al. Body surface isopotential maps in normal children, ages 4 to 14 years // Am. Heart J. 1966. V. 72. № 5. P. 640.
30. Ramanathan C., Jia P., Ghanem R. et al. Activation and repolarization of the normal human heart under complete physiological conditions // Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 2006. V. 103. № 16. P. 6309.
31. Пантелеева Н.И., Роцевская И.М. Реполяризация желудочков сердца лыжников-гонщиков на разных этапах годичного тренировочного цикла // Физиология человека. 2018. Т. 44. № 5. С. 66.
32. Medvegy M., Duray G., Pintér A., Préda I. Body surface potential mapping: historical background, present possibilities, diagnostic challenges // Ann. Noninvasive Electrocardiol. 2002. V. 7. № 2. P. 139.
33. Conrath C.E., Opthof T. Ventricular repolarization: an overview of (patho)physiology, sympathetic effects and genetic aspects // Prog. Biophys. Mol. Biol. 2006. V. 92. № 3. P. 269.

REFERENCES

1. *Sharma S., Drezner J.A., Baggish A. et al.* International recommendations for electrocardiographic interpretation in athletes // *Eur. Heart J.* 2018. V. 39. № 16. P. 1466.
2. *Doyen B., Matelot D., Carré F.* Asymptomatic bradycardia amongst endurance athletes // *Phys. Sportsmed.* 2019. V. 47. № 3. P. 249.
3. *Makarov L.M., Kiseleva I.I., Komolyatova V.N., Fedina N.N.* [New standards and interpretations of children electrocardiogram] // *Pediatrics. Zh. Im. G.N. Speranskogo.* 2015. V. 94. № 3. P. 249.
4. *Shlyk N.I., Gavrilova E.A.* Bradycardia and heart rate variability in athletes // *Human. Sport. Medicine.* 2023. V. 23. № S1. P. 59.
5. *Azevedo L.F., Perlingeiro P.S., Hachul D.T. et al.* Sport modality affects bradycardia level and its mechanisms of control in professional athletes // *Int. J. Sports Med.* 2014. V. 35. № 11. P. 954.
6. *Stomko W., Stomko J., Kowalik T. et al.* Long-term high intensity sport practice modulates adaptative changes in athletes' heart and in the autonomic nervous system profile // *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 2018. V. 58. № 7–8. P. 1146.
7. *Srinivasan N.T., Orini M., Providencia R. et al.* Differences in the upslope of the precordial body surface ECG T wave reflect right to left dispersion of repolarization in the intact human heart // *Heart Rhythm.* 2019. V. 16. № 6. P. 943.
8. *Gavrilova E.A., Churganov O.A., Belodedova M.D. et al.* [Sudden cardiac deaths in sports: Global statistics analysis] // *Theory Prac. Phys. Cult.* 2021. № 5. P. 31.
9. *Zemtsovsky E.V.* [Sports cardiology]. St. Petersburg: Huppocrates, 1995. 448 p.
10. *Revishvili A.Sh., Artyukhina E.A., Glezer M.G. et al.* [2020 Clinical practice guidelines for Bradyarrhythmias and conduction disorders] // *Russ. J. Cardiol.* 2021. V. 26. № 4. P. 4448.
11. *Gavrilova E.A.* [Safe sport. Trainer's handbook]. M.: "PrintLeto", 2022. 512 p.
12. *Sharma S., Whyte G., Elliott P. et al.* Electrocardiographic changes in 1000 highly trained junior elite athletes // *Br. J. Sports Med.* 1999. V. 33. № 5. P. 319.
13. *Kania M., Maniewski R., Zaczek R. et al.* Optimal ECG lead system for exercise assessment of ischemic heart disease // *J. Cardiovasc. Transl. Res.* 2020. V. 13. № 5. P. 758.
14. *Roshchevskaya I.M.* [Cardioelectric field of warm-blooded animals and humans]. St. Petersburg: Nauka, 2008. 250 p.
15. *Bergquist J., Rupp L., Zenger B. et al.* Body surface potential mapping: contemporary applications and future perspectives // *Hearts.* 2019. V. 2. № 4. P. 514.
16. *Ivonina N.I., Fokin A.A., Roshchevskaya I.M.* Body surface potential mapping during heart ventricular repolarization in male swimmers and untrained persons under hypoxic and hypercapnic hypoxia // *High Alt. Med. Biol.* 2021. V. 22. № 3. P. 308.
17. *Panteleeva N.I., Zamenina E.V., Roshchevskaya I.M., Kaneva I.N.* The heart electrical activity during ventricular repolarization and types of the remodeling of the athlete's heart // *Int. J. Biomed.* 2019. V. 9. № 4. P. 297.
18. *Ivonina N.I., Ivonin A.G., Roshchevskaya I.M.* Body Surface Potential Mapping during Ventricular Depolarization in Athletes with Prolonged PQ Interval after Exercise // *Arq. Bras. Cardiol.* 2024. V. 121. № 1. P. e20230179.
19. *Yoon N., Hong S.N., Cho J.G. et al.* Experimental verification of the value of the $T_{peak}-T_{end}$ interval in ventricular arrhythmia inducibility in an early repolarization syndrome model // *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2019. V. 30. № 10. P. 2098.
20. *Antzelevitch C.* Tpeak–Tend interval as a marker of arrhythmic risk in early repolarization syndrome // *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2019. V. 30. № 10. P. 2106.
21. *Cosgun A., Oren H., Turkkan M.H.* The relationship between systolic pulmonary arterial pressure and Tp-e interval, Tp-e/QT, and Tp-e/QTc ratios in patients with newly diagnosed chronic obstructive pulmonary disease // *Ann. Noninvasive Electrocardiol.* 2020. V. 25. № 3. P. e12691.
22. *Selvi F., Korkut M., Bedel C. et al.* Evaluation of Tpeak-end interval, Tpeak-end/QT, and Tpeak-end/QTc ratio during acute migraine attack in the emergency department // *Acta Neurol. Belg.* 2024. V. 124. № 3. P. 949.
23. *Yenerçağ M., Arslan U., Doğduş M. et al.* Evaluation of electrocardiographic ventricular repolarization variables in patients with newly diagnosed COVID-19 // *J. Electrocardiol.* 2020. V. 62. P. 5.
24. *Pappone C., Ciconte G., Anastasia L. et al.* Right ventricular epicardial arrhythmogenic substrate in long-QT syndrome patients at risk of sudden death // *Europace.* 2023. V. 25. № 3. P. 948.
25. *Zabel M., Lichtlen P.R., Haverich A., Franz M.R.* Comparison of ECG variables of dispersion of ventricular repolarization with different myocardial repolarization measurements in the human heart // *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 1998. V. 9. № 12. P. 1279.
26. *Yılmaz M., Kayanççek H., Gözel N. et al.* Spotlights on some electrocardiographic paradigms: How should we evaluate normal reference values of Tp-Te interval, Tp-Te dispersion and Tp-Te/QT ratio? // *Adv. Clin. Exp. Med.* 2020. V. 29. № 9. P. 1091.
27. *Dahlberg P., Axelsson K.J., Rydberg A. et al.* Spatiotemporal repolarization dispersion before and after exercise in patients with long QT syndrome type I versus controls: probing into the arrhythmia substrate //

- Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol. 2023. V. 325. № 6. P. 1279.
28. Green L.S., Lux R.L., Haws C.W. et al. Effects of age, sex, and body habitus on QRS and ST-T potential maps of 1100 normal subjects // Circulation. 1985. V. 71. № 2. P. 244.
29. Spach M.S., Silberberg W.P., Boineau J.P. et al. Body surface isopotential maps in normal children, ages 4 to 14 years // Am. Heart J. 1966. V. 72. № 5. P. 640.
30. Ramanathan C., Jia P., Ghanem R. et al. Activation and repolarization of the normal human heart under complete physiological conditions // Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 2006. V. 103. № 16. P. 6309.
31. Panteleeva N.I., Roshchevskaya I.M. The ventricular repolarization of the heart of skiers-racers at the different stages of the annual training cycle // Human Physiology. 2018. V. 44. № 5. P. 549.
32. Medvegy M., Duray G., Pintér A., Préda I. Body surface potential mapping: historical background, present possibilities, diagnostic challenges // Ann. Noninvasive Electrocardiol. 2002. V. 7. № 2. P. 139.
33. Conrath C.E., Opthof T. Ventricular repolarization: an overview of (patho)physiology, sympathetic effects and genetic aspects // Prog. Biophys. Mol. Biol. 2006. V. 92. № 3. P. 269.

Repolarization of the Ventricular Myocardium of the Heart in Young Swimmers with Functional Bradycardia and Tachycardia at Baseline

N. I. Ivonina*, I. M. Roshchevskaya

Comparative Cardiology Department of the Federal Research Centre "Komi Science Centre of the Ural Branch of the RAS",
Syktyvkar, Russia
*E-mail: bdr13@mail.ru

The article is focused on the study of the process of excitability restoration of the ventricular myocardium of the heart using multichannel ECG mapping in athletes with different heart rate at baseline. The electrical activity of the heart was studied from 64 unipolar electrodes on the thorax surface synchronously with standard limb leads in young swimmers with moderate bradycardia ($n = 15$) and tachycardia ($n = 10$) at rest. The spatiotemporal and amplitude parameters of the electrical field of the heart during ventricular repolarization were measured. ECG₁₁ was used to determine the durations of the R-R, QT, T-P, J-T_{peak}, T_{peak}-T_{end}, J-T_{end} intervals; the durations of the corrected intervals were calculated: QT (QT_c), J-T_{peak} / QT, J-T_{end} / QT, T_{peak}-T_{end} / QT, QT_{peak} / QT, J-T_{peak} / J-T_{end}, T_{peak}-T_{end} / J-T_{end}. The dispersion of the QT interval in each ECG lead (I, II, III, 64 thoracics) was calculated. It was revealed that with statistically significantly different durations of the RR and QT intervals, the durations of J-T_{peak}, T_{peak}-T_{end}, J-T_{end} and corrected intervals in the persons of the compared groups were almost similar. The spatio-temporal organization of heart ventricular repolarization according to multichannel ECG mapping data in swimmers of both groups was typical for a healthy person. Swimmers with moderate tachycardia show an increase in the dispersion of the QT interval and the positive extreme achieve maximal amplitude earlier, which may indicate an increase in the heterogeneity of the heart ventricular repolarization and an increase in arrhythmogenic risk.

Keywords: athlete's heart, electrical remodeling of the myocardium, ventricular repolarization, bradycardia, tachycardia, multichannel ECG.