ISSN 2311-4495
ISSN 2410-5155 (Online)
УДК 616.124.3

ГЛОБАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЖЕЛУДОЧКОВОЙ РЕПОЛЯРИЗАЦИИ ПРИ АРИТМОГЕННОЙ ДИСПЛАЗИИ ПРАВОГО ЖЕЛУДОЧКА

Артеева Н.В.[1], Земсков И.А.[2], Куриленко Т.А.[2], Пармон Е.В.[2]

[1] Институт физиологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Республика Коми, Россия
[2] Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

Контактная информация:
Куриленко Татьяна Анатольевна
ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России
ул. Аккуратова, д. 2, Санкт-Петербург, Россия, 197341.
E-mail: tatianakurilenko@gmail.com

Статья поступила в редакцию 28.08.2018 и принята к печати 06.09.2018.

Резюме

Актуальность. При аритмогенной дисплазии правого желудочка (АДПЖ) нарушения реполяризации предшествуют структурным изменениям в сердце. Цель работы — оценить изменения желудочковой реполяризации у пациентов с АДПЖ при разной степени выраженности электрокардиографических (ЭКГ) изменений.

Материалы и методы. Анализировали стандартные ЭКГ и векторкардиограммы (ВКГ) пациентов НМИЦ им. В. А. Алмазова (n=22, 13 мужчин 51±16 лет и 9 женщин 50±12 лет) с установленным диагнозом АДПЖ. Выраженность ЭКГ изменений оценивали по количеству грудных отведений с отрицательной Т-волной, глобальную дисперсию реполяризации — на основе максимального интервала между пиком и окончанием Т-волны, пространственную последовательность реполяризации — по направлению Т-вектора, длительность потенциалов действия (ДПД) приближенно определяли по величине интервалов Q-Tpeak и Q-Tend.

Результаты. При отсутствии инверсии Т-волны в грудных отведениях наиболее поздняя реполяризация имела место в задних областях основания желудочков, при инверсии Т-волны только в правых грудных отведениях — в латеральной части правого желудочка, при инверсии Т-волны во всех грудных отведениях — в передне-верхушечных отделах желудочков. В зависимости от выраженности ЭКГ изменений длительность реполяризации увеличивалась, причем более короткие изначально ДПД увеличивались в большей степени, чем более длинные; глобальная дисперсия реполяризации при этом не возрастала.

Заключение. Нарастание ЭКГ изменений реполяризации при АДПЖ — результат неравномерного удлинения ДПД и существенного изменения (вплоть до инверсии) последовательности реполяризации желудочков, не сопровождающегося увеличением глобальной дисперсии реполяризации.

Ключевые слова: ЭКГ, ВКГ, Т-волна, аритмогенная дисплазия правого желудочка, длительность потенциалов действия, дисперсия реполяризации.

Для цитирования:

Артеева Н.В., Земсков И.А., Куриленко Т.А., Пармон Е.В. глобальные изменения желудочковой реполяризации при аритмогенной дисплазии правого желудочка. Трансляционная медицина. 2018;5(4): 35–43 .

GLOBAL CHANGES OF VENTRICULAR REPOLARIZATION IN ARRHYTHMOGENIC RIGHT VENTRICULAR DYSPLASIA

Arteyeva N.V.[1], Zemskov I.A.[2], Kurilenko T.A.[2], Parmon E.V.[2]

[1] Institute of physiology of Komi, Syktyvkar, Komi Republic, Russia
[2] Almazov National Medical Research Centre, Saint Petersburg, Russia

Corresponding author:
Tatiana A. Kurilenko
Almazov National Medical Research Centre
Akkuratova str. 2, Saint Petersburg, Russia, 197341
E-mail: tatianakurilenko@gmail.com

Received 28 August 2018; accepted 06 September 2018.

Abstract

Background. In arrhythmogenic right ventricular dysplasia (ARVD), repolarization disorders precede structural heart changes.

Objective. The aim of this work was to evaluate repolarization changes in ARVD patients with various degree of electrocardiographic (ECG) changes.

Design and methods. The standard ECG and vectorcardiograms (VCG) of patients with a confirmed ARVD diagnosis (N = 22, 13 men 51 ± 16 years and 9 women 50 ± 12 years), observed in the Medical Centre of V.A. Almazov, were analyzed. The degree of ECG changes was assessed by the number of precordial leads with negative T-wave, the global dispersion of repolarization — on the basis of the maximum interval between the peak and the end of T-wave, the spatial repolarization sequence — by T-vector direction, the action potential duration (APD) — on the basis of Q-Tpeak and Q-Tend intervals.

Results. At no T-wave inversion in precordial leads, the latest repolarization took place in the posterior regions of ventricular base, at T-wave inversion only in the right precordial leads — in the lateral part of the right ventricle, at T-wave inversion in all precordial leads — in the antero-apical parts of the ventricles. Depending on the degree of ECG changes, the duration of repolarization increased in such a way that the shorter APD increased more than the longer ones; the global dispersion of repolarization was not increased.

Conclusion. In ARVD, the increase of repolarization ECG changes is a result of inhomogeneous APD prolongation and the changes in ventricular repolarization sequence (up to it's inversion), not accompanied with a growth of global dispersion of repolarization.

Key words: ECG, VCG, T-wave, arrhythmogenic right ventricular dysplasia, action potential duration, dispersion of repolarization

For citation:
Arteyeva N.V., Zemskov I.A., Kurilenko T.A., Parmon E.V. Global changes of ventricular repolarization in arrhythmogenic right ventricular dysplasia. Translyatsionnaya meditsina=Translational Medicine. 2018;5(4): 35–43 pages. (In Russ.)

Список сокращений

АДПЖ — аритмогенная дисплазия правого желудочка, ВКГ — векторкардиограмма, ДПД — длительность потенциалов действия, ЛЖ — левый желудочек, ПЖ — правый желудочек, ЭКГ — электрокардиография.

Введение

При аритмогенной дисплазии правого желудочка (АДПЖ) нарушения реполяризации предшествуют структурным изменениям в сердце [1]. В связи с этим, при электрокардиографическом обследовании пациентов актуален не просто поиск

инверсии Т-волны в грудных отведениях, что является ЭКГ — маркером АДПЖ, но анализ гетерогенности желудочковой реполяризации, определяющей изменения морфологии Т-волны.

Степень выраженности инверсии Т-волны при АДПЖ тесно связана с масштабом поражения правого желудочка (ПЖ), а также с вовлечением в патологический процесс левого желудочка (ЛЖ) [2]. Если у пациентов с впервые установленным диагнозом отрицательная Т-волна встречается лишь в 16% случаев [3], то в целом при АДПЖ она регистрируется в 83% случаев [4]. Инверсия Т-волны при АДПЖ говорит о нарушении общей последовательности реполяризации, связанном как с изменениями в длительности и последовательности деполяризации, так и с неоднородными изменениями в длительности потенциалов действия (ДПД) желудочковых кардиомиоцитов; последние на сегодняшний день изучены недостаточно.

Анализ эпикардиальных электрограмм, реконструированных на основе многоканального картирования потенциалов на поверхности тела, показал, что у пациентов с АДПЖ величина интервалов «активация-восстановление» (суррогат локальной ДПД) в среднем была больше, чем у здоровых людей; очаги желудочковых экстрасистол были зарегистрированы в обоих желудочках в областях с наиболее поздней реполяризацией [1]. В работе Haapalahti P. et al., 2008г градиент реполяризации между ПЖ и ЛЖ оценивали как разницу в длительности интервала QT между правыми и левыми грудными отведениями; у пациентов с АДПЖ наиболее длинные интервалы QT регистрировали в правых отведениях, в то время как в норме ситуация была обратной. Таким образом, было показано, что при АДПЖ имеет место увеличение ДПД и инверсия межжелудочкового градиента реполяризации, а также то, что области с наиболее поздней реполяризацией являются возможными очагами возникновения желудочковых аритмий, вплоть до злокачественных [5]. Однако цельная картина изменений желудочковой реполяризации по мере развития АДПЖ отсутствует, также отсутствуют научно обоснованные ЭКГ-критерии для определения пространственной гетерогенности реполяризации.

Целью данной работы была комплексная оценка изменений в гетерогенности желудочковой реполяризации (временнуй и пространственной) у пациентов с разным количеством грудных отведений с отрицательной Т-волной (что ассоциируется с разной степенью выраженности АДПЖ) на основе ЭКГ- и ВКГ-анализа. Пространственную гетерогенность реполяризации оценивали на основе направления Т-вектора, исходя из следующих соображений. Поскольку суммарный электрический вектор реполяризации ориентирован от «плюса» (не полностью реполяризованные области миокарда) к «минусу» (области миокарда, где реполяризация уже завершилась, и потенциалы действия достигли уровня потенциала покоя), направление Т-вектора позволяет судить о локализации областей наиболее ранней и наиболее поздней реполяризации.

Рисунок 1. Фронтальные (А) и трансверсальные (Б) проекции Т-вектора у пациентов с АДПЖ групп I — III в стандартной векторкардиографической системе координат X,Y,Z. Показаны фронтальная и трансверсальная проекции сердца и торса

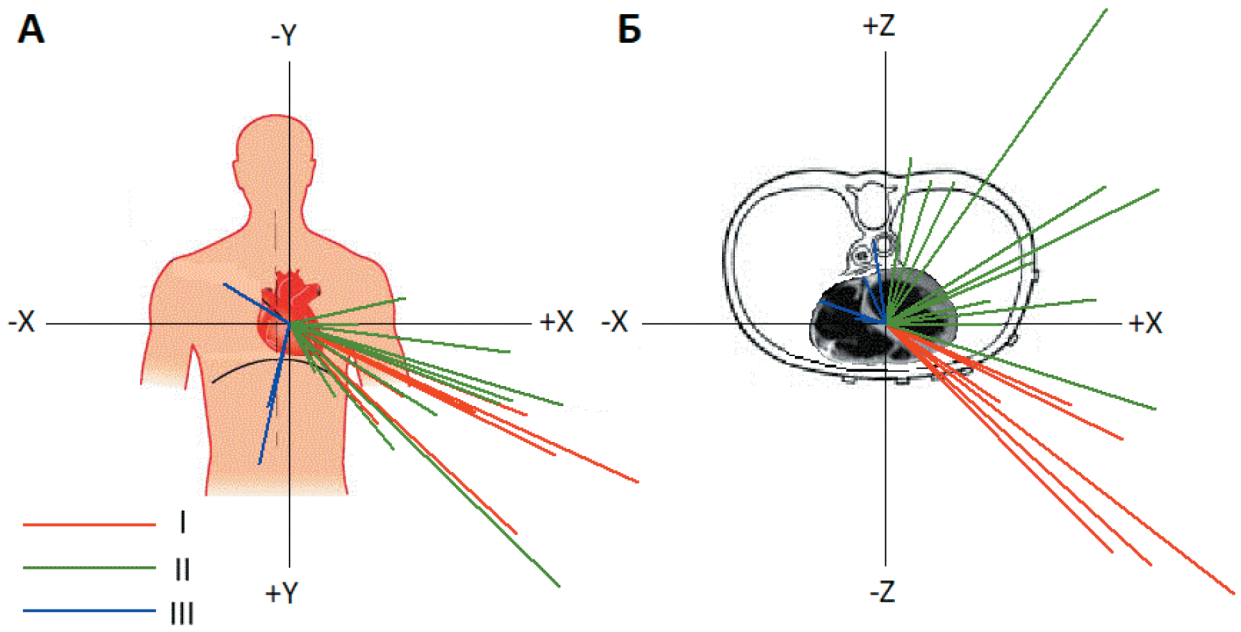
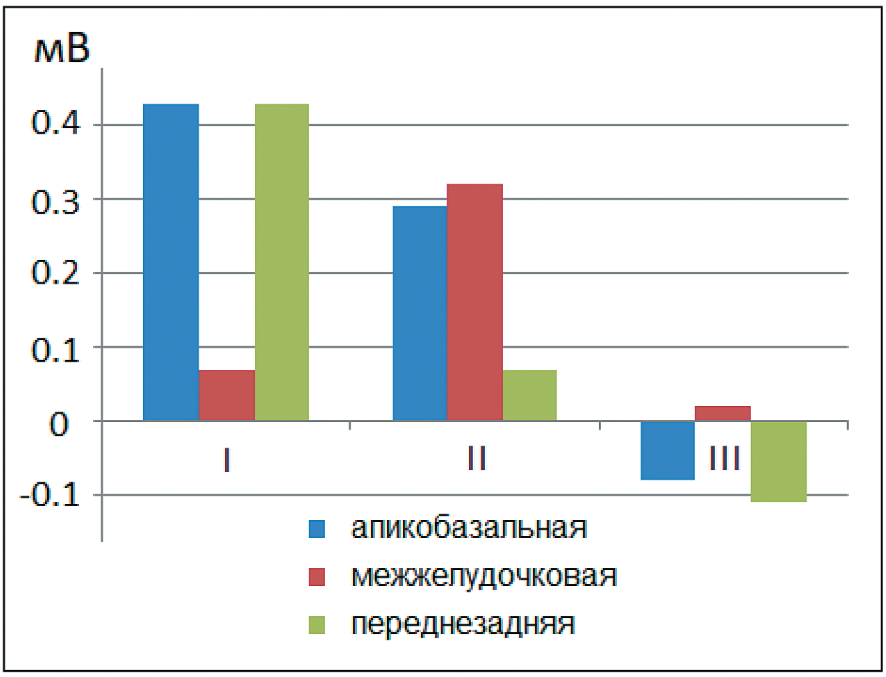


Рисунок 2. Относительная величина апикобазальной, межжелудочковой и переднезадней проекций Т-вектора у пациентов с АДПЖ групп I–III



Материалы и методы

Анализировали ЭКГ в 12 стандартных отведениях (1 мВ/см, 25 мм/с) у пациентов НМИЦ им. В. А. Алмазова (n=22, 13 мужчин 51±16 лет и 9 женщин 50±12 лет) с уточнённым диагнозом АДПЖ [6]. ЭКГ оцифровывали, фильтровали и обрабатывали с помощью самостоятельно разработанной компьютерной программы. ВКГ вычисляли на основе отведений I, II и V_1-V_6 с помощью матрицы Корса [7].

Степень выраженности ЭКГ изменений оценивали по количеству грудных отведений с отрицательной Т-волной. Пациенты были разделены на три группы: в группе I (n=7) Т-волна во всех грудных отведениях была положительной; в группе II (n=11) Т-волна в правых отведениях (от V_1 до V_5) была отрицательной, в левых — положительной; в группе III (n=4) Т-волна была отрицательной во всех грудных отведениях.

Временную гетерогенность реполяризации (глобальную дисперсию реполяризации) оценивали на основе интервала между пиком и окончанием Т-волны — Tpeak — Tend [8; 9]. Моменты начала, пика и окончания Т-волны определяли тангенциальным методом [10], при анализе данных использовали максимальное значение интервала Tpeak — Tend.

Пространственную гетерогенность реполяризации оценивали на основе Т-вектора, исходя из того, что он направлен от областей наиболее поздней реполяризации к областям наиболее ранней реполяризации. При анализе направления Т-вектора стандартная векторкардиографическая система координат была наложена на фронтальные и трансверсальные проекции сердца и торса (рис. 1). Для приближенной оценки величины градиентов реполяризации в переднезаднем, апикобазальном и межжелудочковом направлениях, вычисляли проекции Т-вектора (усредненного для каждой группы) на соответствующие оси.

Длительность потенциалов действия приближенно оценивали на основе интервалов Q — Tpeak и Q — Tend: в экспериментальном исследовании на свиньях было показано, что в момент пика Т-волны было реполяризовано около 25% миокарда желудочков, а момент окончания Т-волны практически не отличался от полного завершения реполяризации [11]. Чтобы исключить вклад удлинения деполяризации, которое имеет место при АДПЖ, анализировали также длительность интервалов S — Tpeak и S — Tend.

Амплитудные характеристики кардиоэлектрического поля оценивали на основе амплитуды Т-вектора — интегральной характеристики электрического генератора сердца.

Результаты

Направление Т-вектора и последовательность реполяризации**.** В группе I Т-вектор был направлен влево, вниз и вперед (рис. 1), что соответствует

Рисунок 3. Длительность корригированных интервалов Q — Tpeak, Q — Tend, S — Tpeak и S — Tend у пациентов с АДПЖ групп I–III. Показаны медианы, 25-й и 75-й процентили, минимальные и максимальные значения.

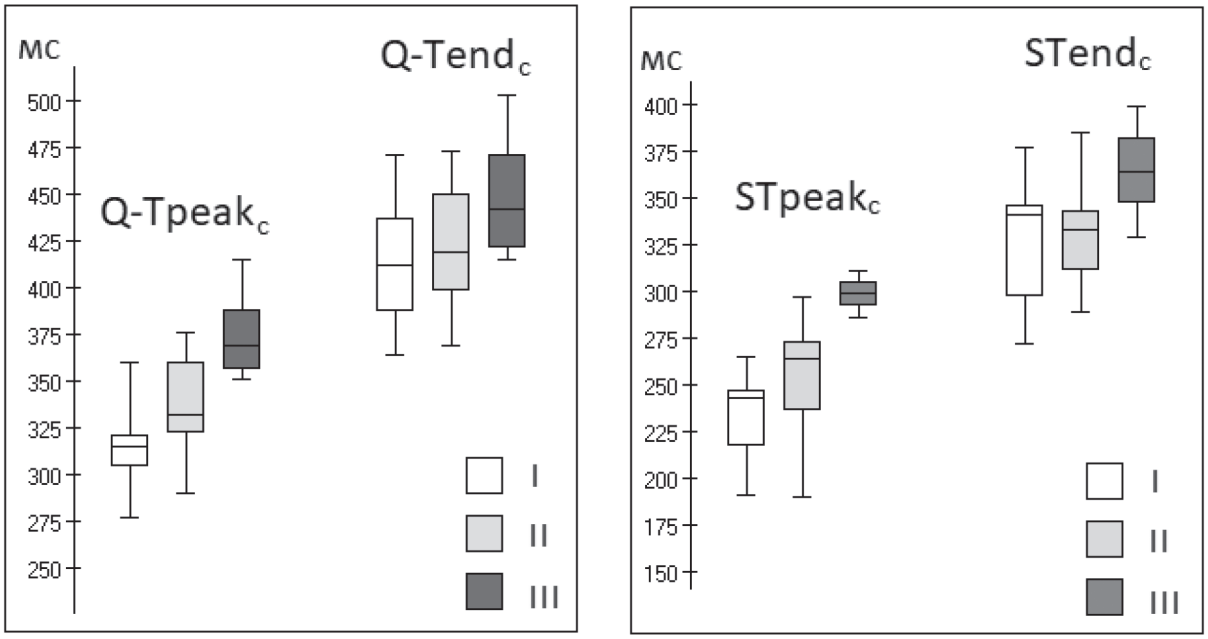
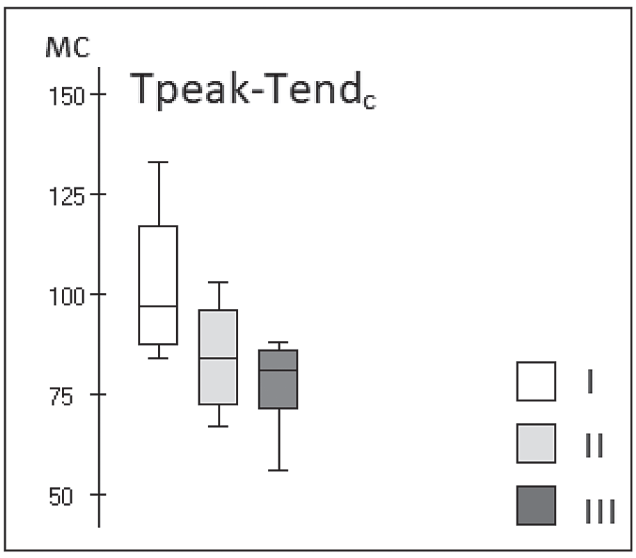


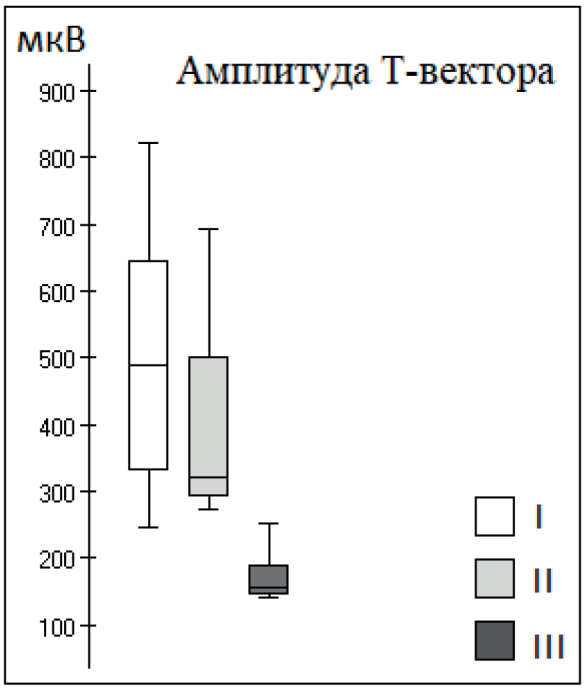
Рисунок 4. Длительность корригированного интервала Tpeak — Tend у пациентов с АДПЖ групп I–III. Показаны медианы, 25-й и 75-й процентили, минимальные и максимальные значения



его нормальному направлению [12]. Относительно желудочков сердца, это направление от задней поверхности желудочков к передней, и от основания к верхушке. Данное направление Т-вектора говорит о том, что наиболее ранняя реполяризация — в передних и верхушечных областях желудочков, наиболее поздняя — в задних и базальных областях. Соответственно, основными градиентами реполяризации были переднезадний и апикобазальный (рис. 2).

В группе II Т-вектор был направлен влево, вниз и назад (рис. 2), по отношению к желудочкам — от правого желудочка к левому, и от основания к верхушке. Соответственно, наиболее поздняя реполяризация имела место в ПЖ, в особенности в его базальных областях. По сравнению с группой I, в группе II направление Т-вектора в трансверсальной плоскости существенно изменилось: он совершил поворот против часовой стрелки, и чем больше было количество грудных отведений с от-

Рисунок 5. Максимальная амплитуда Т-вектора у пациентов с АДПЖ групп I–III. Показаны медианы, 25- й и 75-й процентили, минимальные и максимальные значения



рицательной Т-волной, тем больше был угол этого поворота (рис. 1). Значительно изменилась пропорция между градиентами реполяризации: если в группе I основными градиентами были апикобазальный и переднезадний, то в группе II — апикобазальный и межжелудочковый (рис. 2).

В группе III Т-вектор был направлен вправо, назад и вверх, относительно желудочков — от передней поверхности желудочков к их задней поверхности, и от верхушки к основанию (рис. 1). Судя по направлению Т-вектора, наиболее поздняя реполяризация в данной группе имела место в передних и верхушечных областях ЛЖ. Основными градиентами реполяризации стали переднезадний и апикобазальный, но их направление (как и направление Т-вектора) по сравнению с группой I изменилось на противоположное (рис. 2).

Изменения ДПД. Минимальную и максимальную величину ДПД приближенно оценивали на основе длительности корригированных интервалов Q — Tpeak и Q — Tend, соответственно [11]. Длительность обоих интервалов последовательно увеличивалась от группы I к группе III, причем Q — Tpeak (суррогат наиболее коротких ДПД) увеличивался в большей степени, чем Q — Tend (суррогат наиболее длинных ДПД) (рис. 3). Анализ длительности интервалов S — Tpeak и S — Tend показал аналогичную динамику (рис. 3).

Дисперсия реполяризации и амплитуда Т-вектора. От группы I к группе III наблюдалось последовательное снижение дисперсии реполяризации, оцениваемой на основе длительности интервала Tpeak — Tend (рис. 4), и еще более выраженное снижение максимальной амплитуды Т-вектора (рис. 5).

Обсуждение

Анализ изменений глобальной гетерогенности желудочковой реполяризации (временнуй и пространственной) при разной степени выраженности ЭКГ критериев реполяризации у пациентов с АДПЖ показал следующее:

(1) При отсутствии инверсии Т-волны в грудных отведениях наиболее поздняя реполяризация имеет место в задних областях основания желудочков, при частичной инверсии Т-волны (только в правых отведениях) область наиболее поздней реполяризации смещается в латеральную часть ПЖ, а при инверсии всех грудных отведений область наиболее поздней реполяризации смещается в передне — верхушечные отделы обоих желудочков. Таким образом, в зависимости от степени ЭКГ изменений имеет место значительное (вплоть до полной инверсии) нарушение пространственной последовательности реполяризации: области наиболее ранней и наиболее поздней реполяризации практически меняются местами.

(2) Длительность реполяризации увеличивается за счет неоднородного увеличения ДПД, причем более короткие изначально ДПД увеличиваются в большей степени, чем более длинные; удлине-

ние ДПД происходит преимущественно в областях ПЖ, соответствующих ЭКГ изменениям;

(3) Глобальная дисперсия реполяризации уменьшается;

(4) Амплитуда Т вектора и Т волны существенно снижается.

Увеличение ДПД и перераспределение градиентов реполяризации. Анализ длительности интервалов Q — Tpeak и Q — Tend (а также S — Tpeak и S — Tend) показал последовательное увеличение величины ДПД по мере развития АДПЖ, что согласуется с данными других исследований [1]. Тот факт, что наиболее короткие ДПД увеличивались в большей степени, чем наиболее длинные, дает основания предположить, что при АДПЖ более короткие эпикардиальные ДПД увеличиваются в большей степени, чем эндокардиальные (что было обнаружено in vitro [13]), а также то, что преимущественное увеличение ДПД происходит в областях желудочков с изначально более короткими ДПД. Данные выводы подтверждаются динамикой изменения в направлении Т-вектора: по мере появления всё большего количества грудных отведений с отрицательной Т-волной, происходит последовательный поворот Т-вектора в трансверсальной плоскости, и в конечном итоге (когда Т-волна отрицательна во всех грудных отведениях) он меняет свое направление на противоположное по сравнению с ситуацией, когда Т-волна во всех грудных отведениях положительна). Данные результаты согласуются с ранее обнаруженной инверсией межжелудочкового градиента реполяризации при АДПЖ [14].

Неравномерное удлинение ДПД, в результате которого области наиболее ранней и наиболее поздней реполяризации меняются местами, а градиенты реполяризации инвертируются, характерно и для других ситуаций изменения реполяризации, в частности, для гипотермии [15] и сахарного диабета [16]. Можно предположить, что такое неравномерное удлинение ДПД — характерный «ответ» миокардиальных клеток на патологию или воздействие, а временнуй диапазон ДПД — важный, но не специфический диагностический критерий. Это подтверждается тем, что во множестве клинических исследований показана связь между увеличением длительности интервала QT и возникновением аритмий [17]. Однако механизм увеличения ДПД может быть разным: либо за счет увеличения фазы 2, либо за счет увеличения фазы 3 [18], то есть у пациентов с АДПЖ, возможно, присутствуют индивидуальные различия в электрофизиологическом ремоделировании сердца.

Уменьшение глобальной дисперсии реполяризации. Мы не обнаружили тенденции к увеличению глобальной дисперсии реполяризации у пациентов с АДПЖ, в отличие от других исследователей [19; 20]. Напротив, при высокой степени развития АДПЖ (когда Т-волна была отрицательной во всех грудных отведениях) мы наблюдали уменьшение дисперсии реполяризации. Различия в выводах относительно динамики изменения дисперсии реполяризации при АДПЖ могут быть вызваны, во-первых, разной методикой определения интервала Tpeak — Tend, и, во-вторых, разными исходными данными — ЭКГ пациентов с разной степенью развития АДПЖ отличаются очень существенно. В нашем исследовании у отдельных пациентов (в основном у тех, у кого отрицательная Т-волна отсутствовала, или количество грудных отведений с отрицательной Т-волной было минимальным) также наблюдались достаточно высокие значения дисперсии реполяризации.

Обнаруженное нами уменьшение глобальной дисперсии реполяризации по мере развития АДПЖ можно объяснить тем, что из-за неравномерного удлинения ДПД, когда преимущественно удлиняются изначально более короткие ДПД, разница во времени реполяризации между желудочками и между эпи- и эндокардом частично нивелируется. Однако АДПЖ предполагает аритмогенность, которую принято связывать с увеличением дисперсии реполяризации [21]. Можно предположить, что АДПЖ присуще увеличение не глобальной, а локальной дисперсии реполяризации. Измерения дисперсии реполяризации при сердечной недостаточности на сегментах стенок желудочков in vitro [18] свидетельствуют об увеличении локальной, а не глобальной дисперсии реполяризации.

Уменьшение амплитуды Т-волны. Наиболее ожидаемым и объяснимым фактом является уменьшение амплитуды Т-волны, которое может быть вызвано совокупным действием нескольких факторов. Прежде всего, по мере замещения миокардиальной ткани фиброзно — жировой, в желудочках уменьшается количество элементарных клеточных электрических генераторов — кардиомиоцитов. Кроме того, было показано, что при сердечной недостаточности из-за преимущественного удлинения эпикардиальных ДПД имеет место уменьшение трансмурального градиента реполяризации [13], что также может способствовать уменьшению амплитуды Т-волны. Увеличение ДПД также уменьшает амплитуду Т-волны [22, 15].

Выводы

В зависимости от степени выраженности ЭКГ изменений при АДПЖ (увеличение количества грудных отведений с отрицательной Т волной) в желудочках сердца имеет место неравномерное

увеличение длительности потенциалов действия. В результате существенно изменяется (вплоть до инверсии) последовательность реполяризации желудочков; глобальная дисперсия реполяризации при этом не увеличивается.

Ограничения работы**.** (1) Поскольку Т-вектор является интегральной характеристикой реполяризации, он дает представление об общей картине реполяризации, не включающей локальные особенности.

(2) В данной работе мы использовали усредненные анатомические параметры, однако векторные характеристики кардиоэлектрического поля зависят от положения и ориентации сердца в грудной клетке, которые могут различаться у разных пациентов. (3) По мере развития АДПЖ в результате дисплазии ПЖ изменяется геометрия желудочков, что также может влиять на векторкардиограмму.

Конфликт интересов / Conflict of interest

Авторы заявили об отсутствии потенциального конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.

Благодарности / Acknowledgments

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных научных исследований (№ ГР АААА-А17-117012310154-6) на 2013-2020 гг

Список литературы / References

1. Parmon EV. Pecularities of arrhythmogenic right ventricular dysplasia. Bulleten of Federal Almazov Heart Blood and Endocrynology Centre. 2011; 5-14. In Russian. [Пармон, Е.В. Особенности аритмогенной дисплазии правого желудочка. Бюллетень Федерального Центра сердца, крови и эндокринологии им. В.А. Алмазова. 2011; 5-14].
2. Nunes de Alencar Neto J, Baranchuk A, Bayés-Genís A, Bayés de Luna A. Arrhythmogenic right ventricular dysplasia/cardiomyopathy: an electrocardiogram-based review. Europace. 2018;20(FI1):f3-f12.
3. Arteyeva NV, Azarov JE. Effect of action potential duration on T(peak)-T(end) interval, T-wave area and T-wave amplitude as indices of dispersion of repolarization: Theoretical and simulation study in the rabbit heart. J Electrocardiol. 2017;50(6):919-924.
4. Smetana P, Schmidt A, Zabel M, et al. Assessment of repolarization heterogeneity for prediction of mortality in cardiovascular disease: peak to the end of the T wave interval and nondipolar repolarization components. J Electrocardiol. 201;44(3):301-308.
5. Marcus FI, McKenna WJ, Sherrill D, et al. Diagnosis of arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy/dysplasia: proposed modification of the Task Force Criteria. Eur Heart J. 2010;31(7):806-814.
6. Opthof T, Coronel R, Wilms-Schopman FJ, et al. Dispersion of repolarization in canine ventricle and the electrocardiographic T wave: Tp-e interval does not reflect transmural dispersion. Heart Rhythm. 2007;4(3):341-348.
7. Andrews CM, Srinivasan NT, Rosmini S, et al. Electrical and Structural Substrate of Arrhythmogenic Right Ventricular Cardiomyopathy Determined Using Noninvasive Electrocardiographic Imaging and Late Gadolinium Magnetic Resonance Imaging. Circ Arrhythm Electrophysiol. 2017;10(7). pii: e005105.
8. Meijborg VM, Conrath CE, Opthof T, et al. Electrocardiographic T wave and its relation with ventricular repolarization along major anatomical axes. Circ Arrhythm Electrophysiol. 2014;7(3):524-531.
9. Haapalahti P, Viitasalo M, Kaartinen M, et al. Electrocardiographic ventricular repolarization during cardiovascular autonomic function testing in patients with arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy. Scand Cardiovasc J. 2008;42(6):375-382.
10. Alizade E, Yesin M, Yazicioğlu MV, et al. Evaluation of Tp-e Interval, Tp-e/QT Ratio, and Tp-e/QTc Ratio in Patients with Asymptomatic Arrhythmogenic Right Ventricular Cardiomyopathy. Ann Noninvasive Electrocardiol. 2017;22(1).
11. Ovechkin AO, Vaykshnorayte MA, Sedova K, et al. Functional role of myocardial electrical remodeling in diabetic rabbits. Can J Physiol Pharmacol. 2015;93(4):245-252.
12. Man S, Algra AM, Schreurs CA, Borleffs CJ, et al. Influence of the vectorcardiogram synthesis matrix on the power of the electrocardiogram-derived spatial QRS-T angle to predict arrhythmias in patients with ischemic heart disease and systolic left ventricular dysfunction. J Electrocardiol. 2011;44(4):410-415.
13. Panicker GK, Karnad DR, Natekar M, et al. Intra- and interreader variability in QT interval measurement by tangent and threshold

methods in a central electrocardiogram laboratory. J Electrocardiol. 2009; 42(4):348-352.
14. Marcus FI, Zareba W. The electrocardiogram in right ventricular cardiomyopathy/dysplasia. How can the electrocardiogram assist in understanding the pathologic and functional changes of the heart in this disease? J Electrocardiol. 2009;42(2):136.e1-5.
15. Lou Q, Janks DL, Holzem KM, et al. Right ventricular arrhythmogenesis in failing human heart: the role of conduction and repolarization remodeling. Am J Physiol Heart Circ Physiol. 2012;303(12):H1426-34.
16. Vandael E, Vandenberk B, Vandenberghe J, et al. Risk factors for QTc-prolongation: systematic review of the evidence. Int J Clin Pharm. 2017; 39(1):16-25.
17. Pérez Riera AR, Uchida AH, Filho CF, et al. Significance of vectorcardiogram in the cardiological diagnosis of the 21st century. Clin Cardiol. 2007; 30(7):319-323.
18. Zorio E, Arnau MA, Rueda J, et al. The presence of epsilon waves in a patient with acute right ventricular infarction. Pacing Clin Electrophysiol. 2005 Mar;28(3):245-247.
19. Glukhov AV, Fedorov VV, Lou Q, et al. Transmural dispersion of repolarization in failing and nonfailing human ventricle. Circ Res. 2010;106(5):981-91.
20. Golcuk E, Yalin K, Kaya Bilge A, et al. Usefulness of T(peak) -T(end) interval to distinguish arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy from idiopathic right ventricular outflow tract tachycardia. Pacing Clin Electrophysiol. 2014; 37(12):1665-1670.
21. Azarov JE, Shmakov DN, Vityazev VA, et al. Ventricular repolarization pattern under heart cooling in the rabbit. Acta Physiol (Oxf). 2008;193(2):129-138.

22. Arteyeva NV, Goshka SL, Sedova KA, et al. What does the T(peak)-T(end) interval reflect? An experimental and model study. J Electrocardiol. 2013;46(4):296.e1-8.

Информация об авторах:

Артеева Наталия Викторовна, д.б.н., старший научный сотрудник лаборатории физиологии сердца, Институт физиологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук;

Земсков Иван Александрович, аспирант; ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова»;

Куриленко Татьяна Анатольевна, младший научный сотрудник НИЛ электрокардиологии; ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова»;

Пармон Елена Валерьевна, к.м.н., доцент, директор Института медицинского образования ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова»;

Author information:

Natalia V. Arteyeva, Dr. Sci., senior researcher, laboratory of Heart Physiology, Institute of Physiology of Komi;

Ivan A. Zemskov, MD, PhD student, Almazov National Medical Research Centre;

Tatiana A. Kurilenko, MD, researcher at laboratory of electrocardiology, Almazov National Medical Research Centre;

Elena V. Parmon, MD, PhD, director of Medical Education Institute, Almazov National Medical Research Centre.