

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ИЗМЕРЕНИЮ И ОЦЕНКЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ИНТЕРВАЛА QT СТАНДАРТНОЙ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММЫ

Колоцей Л. В., Снежицкий В. А.

Гродненский государственный медицинский университет, Гродно, Беларусь

Интерпретация каждой электрокардиограммы должна включать измерение и оценку интервала QT, как увеличение, так и уменьшение продолжительности которого ассоциировано с риском возникновения жизнеугрожающих желудочковых аритмий и внезапной сердечной смерти. В настоящей статье отражены методологические подходы к определению, измерению и оценке длительности интервала QT, рассмотрен характер его зависимости от пола, возраста и частоты сердечных сокращений у пациента, а также описан ряд показателей, вычисляемых на его основе. На основании проведенного анализа литературы сформулированы рекомендации по измерению и оценке интервала QT стандартной электрокардиограммы.

Ключевые слова: интервал QT, скорректированный интервал QT, дисперсия интервала QT, вариабельность интервала QT.

Интерпретация каждой электрокардиограммы должна включать измерение и оценку интервала QT, как увеличение, так и уменьшение продолжительности которого ассоциировано с риском возникновения жизнеугрожающих желудочковых аритмий и внезапной сердечной смерти [1, 2]. Без учета оценки величины данного интервала врожденный синдром удлиненного интервала QT может длительное время скрываться под маской эпилептических припадков или рефлекторных синкопе, а приобретенный – оставаться нераспознанным при электролитных нарушениях и приеме таких распространенных препаратов, как антиаритмики IA, IC и III класса, антипсихотические препараты, фторхинолоны и макролиды.

Несмотря на актуальность измерения интервала QT, при вычислении его продолжительности на одной и той же ЭКГ разные специалисты нередко приходят к разным результатам. Проблема заключается в том, что нет четко установленного стандарта, где именно определять начало и конец интервала QT, в каком отведении ЭКГ это следует делать, сколько интервалов R-R учитывать и какую формулу для коррекции ЧСС использовать. Более того, сама продолжительность интервала QT является вариабельной величиной, изменяющейся с каждым сердечным сокращением и колеблющейся в течение суток. Всё это обуславливает важность выработки рекомендаций, соблюдение которых даст возможность определить четкие границы нормального интервала QT, а также показателей, вычисляемых на его основе.

История измерения интервала QT берет свое начало в 1895 г., когда W. Einthoven присвоил названия зубцам электрокардиограммы, выделив зубец P, комплекс QRS и зубец T, а позднее, в 1906 г., и зубец U. В первой половине XX века аномальная морфология зубца T считалась патологической, но значение интервала QT ценилось мало, а удлинение его регистрировалось преимущественно у пациентов в остром периоде инфаркта миокарда. Так, в изданном в 1950 г. учебнике «Электрокардиография: фундаментальные

основы и клиническое применение» L. Wolff утверждал: «Интервал QT измеряется от начала комплекса QRS до конца зубца T, но зачастую определять его значение не обязательно» [3].

Однако уже в конце 1950-х – начале 1960-х годов были опубликованы работы A. Jervell и F. Lange-Nielsen, а также C. Romano, посвященные изучению семей, члены которых страдали врожденной глухотой, частыми синкопальными состояниями, имели стойкое удлинение интервала QT на ЭКГ [4, 5]. В последующие десятилетия было описано множество случаев удлинения интервала QT, как связанных с принадлежностью к определенной семье, так и ассоциированных с приемом лекарственных препаратов, электролитными нарушениями или сердечно-сосудистой патологией, объединенных риском возникновения злокачественных жизнеугрожающих аритмий и получивших общее название «синдром удлиненного интервала QT». Синдром укороченного интервала QT был описан в 2000 г. I. Gussac и ассоциирован с увеличенным риском внезапной смерти, как правило, вследствие развития фибрилляции желудочков [6].

Стандартная 12-канальная ЭКГ является наиболее часто используемой методикой для получения электрокардиографического сигнала с поверхности тела и используется, в том числе, для оценки желудочковой реполяризации. Интервал QT – это временной отрезок ЭКГ от начала зубца Q до возврата нисходящего колена зубца T к изолинии, продолжающийся от начала деполаризации до конца реполяризации желудочков (рис. 1, Б). На стандартной электрокардиограмме начало комплекса QRS обычно определяется сравнительно легко, в отличие от окончания зубца T, на которое влияет его морфология, амплитуда и наличие зубца U.

Сам термин «Интервал QT» предполагает, что зубец U не должен включаться в измерение. С другой стороны, полная реполяризация сердца заканчивается только после окончания зубца U, отражающего реполяризацию волокон Пуркинье. Но поскольку зубец U часто не отображается на ЭКГ или наслаивается на зубец P при более

высокой частоте сердечных сокращений, он плохо распознается на стандартной ЭКГ (рис. 1, В). Поэтому общепринятой практикой является измерение интервала QT вместо интервала QU. Более того, при некоторых патологиях, например при синдроме Андерсена-Тавила (LQTS7), амплитуда зубца U значительно возрастает, имея продолжительность от 200 до 350 мс, а включение его в интервал QT приводит к экстремально высоким ошибочным значениям QT [7].

Как альтернатива интервалу QT был предложен интервал JT, который исключает из измерения фазу деполяризации (QRS-комплекс) и измеряется от начала сегмента ST до окончания зубца T (рис. 1, А).

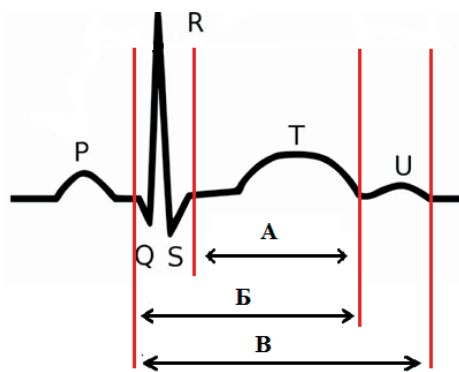


Рисунок 1. – Интервалы, характеризующие желудочковую реполяризацию на стандартной ЭКГ. А – интервал JT, Б – интервал QT, В – интервал QU

Figure 1. – Intervals, characterizing ventricular repolarization on the standard 12-lead ECG. A – JT interval, B – QT interval, V – QU interval

Особо это актуально для пациентов с нарушением внутрижелудочкового проведения, в частности полной блокадой одной из ножек пучка Гиса, а также у пациентов с СПВЖ. В работах P. Tabatabaei et al. отмечалось, что уширение комплекса QRS у пациентов с полной блокадой левой ножки Гиса приводит к завышению продолжительности интервала QT на 16%, но не влияет на продолжительность интервала JT [8]. При этом, согласно исследованиям W. Zareba, у пациентов с генотипом LQT 1 и LQT 3 и нормальным внутрижелудочковым проведением диагностическая эффективность интервалов QT и JT сопоставима, в то время как у пациентов с генотипом LQT 2 ценность интервала JT ниже и менее ассоциирована с аритмическими событиями [9].

Для определения окончания зубца T предложены ручной (мануальный) и автоматические методы измерения. Ручной метод позволяет визуально идентифицировать точку, в которой зубец T возвращается к изолинии. Однако этот метод субъективный, а, следовательно, наименее точный и не исключает значительных межоператорских погрешностей измерения. Тем не менее, именно ручной метод продолжает использоваться в качестве стандарта для оценки автоматических компьютерных алгоритмов.

Автоматические методы измерения интервала QT включают пороговый метод, дифференциаль-

ный пороговый метод, метод наклона, метод максимального наклона, Novel-метод и другие.

Пороговый метод определяет конец зубца T как точку пересечения зубца T с пороговым уровнем, а дифференциальный пороговый метод, соответственно, первого дифференциала зубца T с пороговым уровнем. Под пороговым уровнем в обоих случаях понимается 5% (T1) либо 15% (T2) от амплитуды зубца T [10]. При использовании метода наклона и его вариаций окончание зубца T определяется в месте пересечения изолинии с касательной, проведенной из вершины зубца T вдоль его нисходящей части (рис. 2).

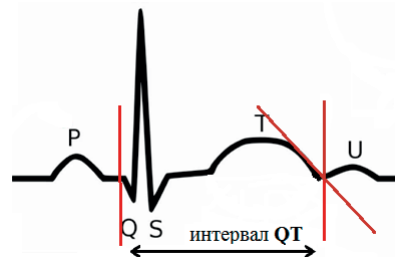


Рисунок 2. – Измерение интервала QT с помощью метода наклона

Figure 2. – Interval QT assessment using the slope method

Несмотря на то, что метод наклона представляется более точным, он имеет тенденцию к заниженным значениям интервала QT по сравнению с другими методами и может быть неточным у пациентов с атипичной морфологией зубца T [10].

Novel-метод, предложенный A. Hunt, основан на аксиоматическом принципе, что окончание зубца T – это начальная точка его пересечения (оверлапа) с собственным перевернутым изображением [11]. Когда зубец T и его перевернутое изображение совпадают, они возвращаются к общему основанию – изолинии, что позволяет рассчитать конечную точку зубца T. Алгоритм включает процесс фильтрации, который удаляет фоновый шум и производит отфильтрованный сигнал. Первые четыре миллисекунды отфильтрованного сигнала, который приобретает постоянное напряжение (становится изоэлектрическим), и определяют окончание зубца T. Таким образом, зубец T используется в качестве матрицы, которая сама себя измеряет (рис. 3).

Необычная морфология зубца T сама по себе может навести на мысль о наличии синдрома удлиненного интервала QT. Так, для генотипа LQT1 характерно наличие выраженного положительного зубца T с широким основанием (рис. 4, А). Для генотипа LQT2 типично наличие небольшого, нередко деформированного или двухфазного зубца T с наличием зазубрин на нисходящем колене (рис. 4, Б). Генотип LQT3 характеризуется удлинением сегмента ST и заостренным зубцом T (рис. 4, В) [12].

Известно, что интервал QT отличается по продолжительности в разных отведениях одной и той же ЭКГ. Исторически продолжительность интервала QT измерялась во II стандартном отве-

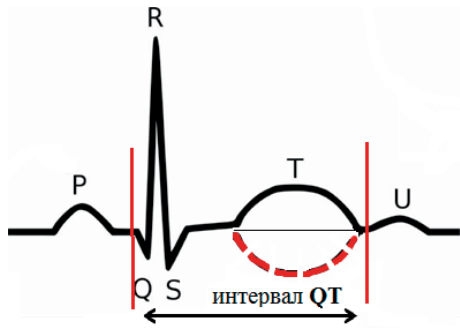


Рисунок 3. – Измерение интервала QT с помощью Novel-метода

Figure 3. – Interval QT assessment using the Novel-method

дении (Lewis предложил это в 1912 г., а Bazett в 1920 г.). Для этого существовало несколько причин: во-первых, векторная ось комплекса QRS и зубцов T и U преимущественно направлена ниже-латерально, и, следовательно, в направлении II отведения, во-вторых, грудные отведения ЭКГ были описаны Вильсоном только в 1946 г.

В разнообразных клинических исследованиях предлагалось измерять QT во всех отведениях от конечностей, в отведениях V2 и V3, где продолжительность комплекса QRS на 20 миллисекунд больше, чем в остальных, в отведении с самым высоким зубцом T, в отведении aVL, где зубец U обычно находится на изолинии, и в «квази-ортогональных» отведениях I, aVF и V2.

Согласно Рекомендациям АНА/ACCF/HRS по стандартизации и интерпретации электрокардиограмм, интервал QT следует измерять во всех 12 отведениях ЭКГ, а в дальнейших расчетах использовать отведение с самым длинным значением интервала QT (обычно это отведение V2 или V3). Если длительность интервала QT в этом отведении превышает его длительность в других отведениях более чем на 40 миллисекунд, измерение может считаться ошибочным и предлагается использовать значение QT в одном из стандартных отведений [13].

Определенное значение в продолжительности интервала QT имеет пол пациента. У женщин молодого и среднего возраста интервал QT длиннее, чем у мужчин. Гендерная разница появляется в подростковом возрасте, когда у мальчиков проявляется эффект тестостерона,

ускоряющий ток калия через быстрые калиевые каналы и укорачивающий интервал QT, в то время как у девочек его продолжительность остается без изменений. Данная разница варьирует от 12-15 мс у молодых людей, уменьшается до 6-10 мс в старших возрастных группах и практически нивелируется в пожилом возрасте.

Однако наиболее существенно продолжительность интервала QT зависит от частоты сердечных сокращений. Долгое время считалось, что зависимость QT от ЧСС является линейной и подчиняется модели $QT = \beta + \alpha \times R-R$, однако дальнейшие исследования показали, что эта взаимосвязь индивидуальна для каждого человека и может носить как линейный, так и параболический, логарифмический, экспоненциальный или любой другой характер [14]. Более того, взаимосвязь QT и ЧСС может изменяться при увеличении или уменьшении частоты сердечных сокращений, например, она может быть линейной в одном диапазоне ЧСС и экспоненциальной в другом диапазоне [14, 19].

Первую попытку стандартизировать измерения QT предпринял в 1920 г. английский физиолог G. Bazett. Он предложил вычислять скорректированный интервал QT (QTc) путем деления определенной вручную величины интервала QT на квадратный корень из частоты сердечных сокращений, измеренной в миллисекундах.

На смену формуле Bazett было предложено несколько десятков других формул (Fridericia, Mayeda, Kawataki, Youshinaga (только для детей), Boudoulas, Ashman, Kariäläinen, Adams, Ljung (для пациентов с гипокалиемией), Schlamowitz (только для здоровых лиц), Framingham, Simonson, Akhras & Rickards, Hodges, Kovach, Arrowood, Sarma, Lecocq, Rautahajru, Dmitrienko и др.). Многие из них основаны на исследованиях большего количества пациентов и используют более сложные методики статистического анализа, однако именно формула Bazett чаще всего используется клиницистами в силу своей простоты и надежности уже на протяжении практически ста лет. Именно формула Bazett используется для подсчета QTc в критериях Шварца, использующихся в Рекомендациях АНА/ACCF/HRS, а также Рекомендациях ESC по лечению пациентов с желудочковыми нарушениями ритма и профилактике внезапной сердечной смерти [15, 16].

Почему же в одних областях современная кардиология остается консервативнее, чем в других? Вероятно, оптимального решения для подсчета QTc до сих пор не предложено именно из-за сложностей в понимании характера связи между QT и ЧСС, а также трудностей дифференцировки нормальной реполяризации желудочков от аномальной.

Одно из последних исследований, посвященных систематизации и использованию формул для коррекции интервала QT, было проведено S. Rabkin в 2015 г. и включало использование 20 формул для

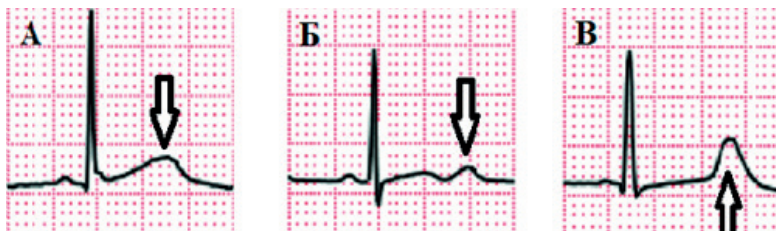


Рисунок 4. – Морфология зубца T при врожденном синдроме удлиненного интервала QT. А – генотип LQT1, Б – генотип LQT2, В – генотип LQT3

Figure 4. – T-wave morphology in congenital long QT syndrome. А – LQT1 genotype, Б – LQT2 genotype, В – LQT3 genotype

измерения скорректированного интервала QT у каждого из 107 пациентов с разными значениями ЧСС [17]. На основании полученных данных для каждой из формул была построена диаграмма рассеяния и высчитан наклон линии линейной регрессии, который оказался наименьшим при использовании формул Dmitrienko и Rautahajru, а наибольшим – для формул Bazett и Mayeda [17].

В 2016 г. проведено сходное исследование, во время которого ЭКГ пациентов записывалась во время проведения тредмил-теста (в конце каждой стадии протокола по Bruce). Согласно результатам этого исследования, наклон линейной регрессии снова оказался минимален для формул Rautahajru и Dmitrienko, однако следующей за ними оказалась формула Bazett, опередившая формулы Fridericia, Framingham и Hodges [18].

В 2017 г. S. Rabkin, E. Szefer и D. Thompson вывели собственную формулу для измерения QTc (spline QTc) с модификациями для пола и возраста, основанную на исследовании NHANES, включавшем 13527 пациентов [19].

Предложенная формула для коррекции обратной зависимости между интервалом QT и частотой сердечных сокращений была выведена на основе функционального агностического моделирования данных ЭКГ с гибкими регрессионными сплайнами. Во всех предыдущих формулах использовались стандартные математические функциональные формы, включая экспоненты, линейные и логарифмические функции, которые применялись к соотношению QT и ЧСС. Но такой подход может быть оправдан только тогда, когда природа соотношения QT и ЧСС у данного пациента известна, и действительно является строго линейной, логарифмической или экспоненциальной.

Формула spline QTc не предполагает конкретной функциональной формы зависимости (квадратичной, логарифмической или другой), а основана на гибком подходе регрессионного сплайна, позволяющего моделировать практически любую форму соотношения ЧСС и QT.

Наклон линии линейной регрессии для spline QTc составил 0,015 (для сравнения, для QTcFRD = 0,139, QTcFRM = 0,454, QTcBZT = 0,685) [19, 20]. Важно учитывать, что данная формула может быть использована только у пациентов с синусовым ритмом при отсутствии гипертрофии левого желудочка, нарушения внутрижелудочковой проводимости, инфаркта миокарда с подъемом сегмента ST и существенных изменений ST-T [19, 20].

Еще одним часто используемым показателем в клинической практике является дисперсия интервала QT (QTd). Дисперсию интервала QT принято вычислять как разницу между наибольшим и наименьшим значениями интервала QT, измеренного во всех отведениях стандартной ЭКГ. Она зависит преимущественно от изменений конечного отрезка интервала QT и отражает вариабельность разных проекций пространственной петли зубца T в разных отведениях.

Изначально дисперсию интервала QT было предложено использовать в качестве маркера

аритмогенности миокарда, поскольку по результатам проведенных исследований была выдвинута гипотеза, что риск возникновения жизнеугрожающих аритмий прямо пропорционален увеличению дисперсии QT, а не степени удлинения интервала QT [21]. Позднее было доказано, что дисперсия интервала QT не является точным показателем пространственной неоднородности желудочковой реполяризации и не может быть использована для количественного определения степени данной неоднородности. P. Rautaharju назвал переоценку связи между дисперсией интервала QT и желудочковой реполяризацией величайшей ошибкой кардиологии в 1990-е годы [22]. В то же время опровержение этой гипотезы не является веской причиной того, что «дисперсии QT не существует». Дисперсия интервала QT, очевидно, является лишь приблизительным и довольно упрощенным выражением аномалий реполяризации. Однако даже косвенные измерения аномалий петли зубца T могут иметь информативную ценность. На современном этапе нормальные значения дисперсии QT варьируют от 10 до 71 мс, а неблагоприятную прогностическую значимость несут изменения более 100 мс [23].

Значение дисперсии интервала QT может быть использовано для расчета приобретающего все больший интерес показателя вариабельности интервала QT. Вариабельность интервала QT – это изменение продолжительности интервала QT от сокращения к сокращению, отражающее временную лабильность реполяризации. Вариабельность интервала QT повышается при застойной сердечной недостаточности, ишемической болезни сердца, некоторых типах гипертрофической кардиомиопатии, синдроме удлиненного интервала QT и паническом расстройстве [24, 25]. В исследовании MADIT-II повышенная вариабельность интервала QT являлась предиктором обостренных разрядов ИКД, а также общей смертности и внезапной сердечной смерти среди пациентов, перенесших инфаркт миокарда без установленного ИКД.

Количественным выражением вариабельности интервала QT является индекс вариабельности QT (QTVI). QTVI определяется как $\log_{10} [(QTv / QTm2) / (RRv / RRm2)]$, где QTvis – дисперсия интервала QT, QTm – средний интервал QT, RRvis – дисперсия интервала RR, RR – средний интервал RR. Таким образом, QTVI количественно определяет величину флуктуаций интервала QT, нормированную как средней длительностью интервала QT, так и величиной колебаний ЧСС.

При этом вариабельность интервала QT не является прямой мерой симпатической активности желудочков, но зависит от состояния тонуса вегетативной нервной системы в целом. Вероятно, этим объясняется рост QTVI у пациентов с прогрессирующей ХСН, а также прямо пропорциональная зависимость между индексом вариабельности интервала QT и аритмической активностью [24, 25].

Какие же значения интервала QT, а также рассчитываемых на его основе величин считать

пороговыми? В практической медицине часто используется простой алгоритм (rule of the thumb): если интервал QT превышает половину RR, то он увеличен. Однако эта закономерность работает только при значениях ЧСС от 60 до 95 ударов в минуту и не всегда оказывается верной. Результаты применения данного алгоритма часто ложноположительные и дальнейшее назначение ЭКГ и ХМ-ЭКГ нецелесообразно.

Согласно критериям Шварца, используемым в Рекомендациях ESC и HRS/EHRA/APHRs по лечению пациентов с желудочковыми нарушениями ритма и профилактике внезапной сердечной смерти, удлиненным считается скорректированный интервал QT, превышающий 450 мс у мужчин и 460 мс у женщин [14, 15]. Значение QTc, превышающее 480 мс, позволяет выставить диагноз синдрома удлиненного интервала QT даже без наличия клинических проявлений. Синдром укороченного интервала QT диагностируется при наличии уменьшения продолжительности QTc менее 340 мс и менее 360 мс при наличии документированных синкопе и пароксизмов ЖТ [14, 15].

Однако все эти показатели рассчитаны при помощи формулы Bazett, имеющей тенденцию к гиперкоррекции скорректированного интервала QT, особенно при увеличении ЧСС. При использовании других формул для подсчета QTc следует придерживаться иных значений для удлиненного скорректированного интервала QT, которые, согласно критериям Шварца, могут оставаться в пределах нормальных или пограничных значе-

ний (таблица).

На основании вышеуказанных данных сформулирован ряд рекомендаций по измерению и оценке интервала QT стандартной электрокардиограммы:

1. Интервал QT необходимо измерять на каждой электрокардиограмме, за исключением пациентов с нарушением внутрижелудочковой проводимости, у которых рекомендуется измерять интервал JT.

2. Интервал QT следует подсчитывать как с помощью автоматических методов измерения, так и вручную для исключения ошибки компьютерных алгоритмов.

3. Интервал QT следует измерять во всех 12 отведениях ЭКГ, а в дальнейших расчетах использовать показатель в отведении с самым продолжительным его значением.

4. Дисперсия интервала QT не является точным показателем пространственной неоднородности желудочковой реполяризации и не может быть использована для количественного определения ее степени, однако может быть применена для определения индекса вариабельности интервала QT.

5. Формула, используемая для подсчета скорректированного интервала QT, должна учитывать индивидуальный характер связи между величиной интервала QT и частотой сердечных сокращений, быть адаптированной к полу и возрасту пациентов. На данный момент этим критериям наиболее соответствует формула spline QTc.

Таблица – Значения скорректированного интервала QT при использовании наиболее часто употребляемых формул для измерения QTc

Table – Values of the corrected QT interval applying the most frequently used formulas for measuring QTc

Формула для измерения скорректированного интервала QT	Нормальный QTc, мс		Пограничный QTc, мс		Удлиненный QTc, мс	
	мужчины	женщины	мужчины	женщины	мужчины	женщины
Bazett ($QTc = QT/RR$)	<430	<440	430-450	440-460	>450	>460
Fridericia ($QTc = QT/RR$)	<429	<438	429-441	438-451	>441	>451
Framingham ($QTc = QT + 0.154 \times (1 - RR)$)	<428	<438	428-440	438-450	>440	>450
Hodges ($QTc = QT + 105/RR - 105$)	<428	<436	428-441	436-449	>441	>449
Rautaharju ($QTc = QT - 0.185(RR - 1) + k$ (k=+0.006 для мужчин))	<431	<440	431-443	440-454	>443	>454
Spline-формула	<430	<430	430-442	430-442	>442	>442

Spline-формула: $QTc = 523,29 - 76,94 B1(ЧСС) - 101,59 B2(ЧСС) - 130,81 B3(ЧСС) - 144,79 B4(ЧСС) - 196,76 B5(ЧСС) - 231,01 B6(ЧСС) - 247,84 B7(ЧСС) + 9,35 f \times \text{женский пол} + 0,18 \times \text{возраст}$, где $B1(x), \dots, B7(x)$ – это семь ортогональных базисных функций b-сплайна, позволяющих устанавливать нелинейную регрессионную связь между ЧСС и QT.

Литература

- Contemporary outcomes in patients with Long QT Syndrome / K.R. Rohatgi [et al.] // J Am Coll Cardiol. – 2017. – Vol. 70, №4. – P. 453-462. doi: 10.1016/j.jacc.2017.05.046.
- Tester, D. J. Genetics of long QT syndrome / D.J. Tester, M.J. Ackerman // Methodist DeBakey Cardiovascular Journal. – 2014. – Vol. 10, №1. – P. 29–33.
- Wolff, L. Electrocardiography: Fundamentals and clinical application / L. Wolff. – 1st ed. – Philadelphia: W.B. Saunders company, – 1950. – 270 p.
- Jervell, A. Congenital deaf-mutism, functional heart disease with prolongation of the Q-T interval and sudden death / A. Jervell, F. Lange-Nielsen // Am Heart J. – 1957. – №54. – P. 59-68.
- Romano, C. Rare cardiac arrhythmias of the pediatric age. I. Repetitive paroxysmal tachycardia / C. Romano,

- G. Gemme, R. Pongiglione // *Minerva Pediatr.* – 1963. – №15. – P. 1155-64.
6. Idiopathic short QT interval: a new clinical syndrome? / I. Gussak [et al.] // *Cardiology.* – 2000. – №94. – P. 99–102.
 7. IK1 modulates the U-wave: insights in a 100 year old enigma / P.G. Postema [et. al] // *Heart Rhythm.* – 2009. – №6. – P.393–400.
 8. Assessment of QT and JT Intervals in Patients With Left Bundle Branch Block / P. Tabatabaei [et al.] // *Research in Cardiovascular Medicine.* – 2016. – Vol. 5, №2. – P. 315– 328. doi:10.5812/cardiovascmed.31528.
 9. JT interval: What does this interval mean? / W. Zareba [et al.] // *Journal of Electrocardiology.* – 2017. – Vol. 50, №6. – P. 748 – 751 doi.org/10.1016/ j. jelectrocard.2017.07.019.
 10. Xue, J.Q. Robust QT interval estimation – from algorithm to validation / J.Q. Xue // *Ann Noninvasive Electrocardiol.* – 2009. – №14. – P. 35-41. doi: 10.1111/j.1542-474X.2008.00264.
 11. Hunt, A.C. Accuracy of popular automatic QT Interval algorithms assessed by a “Gold Standard” and comparison with a Novel method: computer simulation study / A. C. Hunt // *BMC Cardiovascular Disorders.* – 2001. – Vol.26, №5. – P. 1–15. doi:10.1186/1471-2261-5-29.
 12. Zareba, W. Genotype-specific ECG patterns in long QT syndrome / W. Zareba // *J Electrocardiol.* – 2006. – Vol. 39, №4. – P. 101 – 106.
 13. AHA/ACCF/HRS Recommendations for the Standardization and Interpretation of the Electrocardiogram Part IV: The ST Segment, T and U Waves, and the QT Interval A Scientific Statement From the American Heart Association Electrocardiography and Arrhythmias Committee, Council on Clinical Cardiology; the American College of Cardiology Foundation; and the Heart Rhythm Society Endorsed by the International Society for Computerized Electrocardiology / P. Rautaharju [et al.] // *Journal of the American College of Cardiology.* – 2009. – Vol. 53, №11. – P. 982 – 991. doi: 10.1016/j.jacc.2008.12.014
 14. Importance of subject-specific QT/RR curvatures in the design of individual heart rate corrections of the QT interval / G. Ferber [et al.] // *J of Electrocardiology.* – 2014. – Vol.47, №3. – P. 385–386. doi: 10.1016/ j.jelectrocard.2013.12.010.
 15. HRS/EHRA/APHRS Expert Consensus Statement on the Diagnosis and Management of Patients with Inherited Primary Arrhythmia Syndromes / S. G. Priori [et al.] // – 2013. - *Journal of Arrhythmia.* – № 30. – P. 1–28.
 16. 2015 ESC Guidelines for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death: The Task Force for the Management of Patients with Ventricular Arrhythmias and the Prevention of Sudden Cardiac Death of the European Society of Cardiology (ESC) / S. G. Priori [et al.] // – 2015. - *European Heart Journal.* – Vol.36, № 41. – P. 2793–2867.
 17. Rabkin, S.W. Nomenclature, categorization and usage of formulae to adjust QT interval for heart rate / S.W. Rabkin, X.B.Cheng // *World Journal of Cardiology.* – 2015. – Vol.7, №6. – P. 315-325. doi:10.4330/wjc.v7.i6.315.
 18. Rabkin, S. W. Newer QT Correction Formulae to Correct QT for Heart Rate Changes During Exercise / S.W. Rabkin, X.J. Cheng // *Am J Med Sci.* – 2016. – Vol.351, №2. P.133– 139. doi: 10.1016/j.amjms.2015.11.007.
 19. Rabkin, S.W. A New QT Interval Correction Formulae to Adjust for Increases in Heart Rate / S.W. Rabkin, E. Szefer, D. Thompson // *JACC: Clinical Electrophysiology.* – 2017. – Vol. 3, №7. – P. 756–766. doi: 10.1016/j.jacep.2016.12.005
 20. Value of the New Spline QTc Formula in Adjusting for Pacing-Induced Changes in Heart Rate / H. Nouraei [et al.] // *Cardiology Research and Practice.* – 2018. – Vol. 2018. – P. 1–8. doi.org/10.1155/2018/2052601
 21. Day, C.P. QT dispersion: an indication of arrhythmia risk in patients with long QT interval / C.P. Day, L.M. McComb, R.W. Campbell // *Br Heart J.* – 1990. – №63. – P. 342–344.
 22. Rautaharju, P.M. QT and dispersion of ventricular repolarization: the greatest fallacy in electrocardiography in the 1990s / P.M. Rautaharju // *Circulation.* – 1999. – №18. – P. 2477–2478.
 23. Kelmanson, I.A. High anxiety in clinically healthy patients and increased QT dispersion: a meta-analysis / I.A. Kelmanson // *Eur J Prev Cardiol.* – 2016. – Vol.21, №12. – P.1568–1574. doi: 10.1177/2047487313501613.
 24. Short-term QT variability markers for the prediction of ventricular arrhythmias and sudden cardiac death: a systematic review / M.N. Niemeijer [et al.] // *Heart.* – 2014. –Vol.100, №23. – P. 1831–1836. doi: 10.1136/heartjnl-2014-305671.
 25. QT Variability Index / C.P. Dobson [et al.] // *Prog Cardiovasc Dis.* – 2013. – Vol.56, №2. – P.186–194. doi: 10.1016/j.pcad.2013.07.004.

References

1. Rohatgi RK, Sugrue A, Bos JM, Cannon BC, Asirvatham SJ, Moir C, Owen HJ, Bos KM, Kruisselbrink T, Ackerman MJ. Contemporary Outcomes in Patients With Long QT Syndrome. *J Am Coll Cardiol.* 2017;70(4):453–462. doi: 10.1016/j.jacc.2017.05.046.
2. Tester DJ, Ackerman MJ. Genetics of long QT syndrome. *Methodist Debaquey Cardiovasc J.* 2014;10(1):29–33.
3. Wolff L. *Electrocardiography: Fundamentals and clinical application.* 1st ed. Philadelphia: W.B. Saunders company; 1950. 270p.
4. Jervell A, Lange-Nielsen F. Congenital deaf-mutism, functional heart disease with prolongation of the Q-T interval and sudden death. *Am Heart J.* 1957;54(1):59–68.
5. Romano C. Rare cardiac arrhythmias of the pediatric age. I. Repetitive paroxysmal tachycardia. *Minerva Pediatr.* 1963;15:1155–64.
6. Gussak I, Brugada P, Brugada J, Wright RS, Kopecky SL, Chaitman BR, Bjerregaard P. Idiopathic short QT interval: a new clinical syndrome? *Cardiology.* 2000;94(2):99–102.
7. Postema PG, Ritsema van Eck HJ, Ophof T, van Herpen G, van Dessel PF, Priori SG, Wolpert C, Borggreffe M, Kors JA, Wilde AA. IK1 modulates the U-wave: insights in a 100 year old enigma. *Heart Rhythm.* 2009;6(3):393–400. doi: 10.1016/j.hrthm.2008.11.024.
8. Tabatabaei P, Keikhavani A, Haghjoo M, Fazelifar A, Emkanjoo Z, Zeighami M, Bakhshandeh H, Ghadroost B, Alizadeh A. Assessment of QT and JT Intervals in Patients With Left Bundle Branch Block. *Res Cardiovasc Med.* 2016;5(2):315–28. doi: 10.5812/cardiovascmed.31528.
9. Zareba W, McNitt S, Polonsky S, Couderc JP. JT interval: What does this interval mean? *J Electrocardiol.* 2017;50(6):748–51 doi.org/10.1016/ j. jelectrocard.2017.07.019.
10. Xue JQ. Robust QT interval estimation – from algorithm to validation. *Ann Noninvasive Electrocardiol.* 2009;14(1):35–41. doi: 10.1111/j.1542-474X.2008.00264.
11. Hunt, A.C. Accuracy of popular automatic QT Interval

- algorithms assessed by a “Gold Standard” and comparison with a Novel method: computer simulation study. *BMC Cardiovasc Disord.* 2005;26(5):1–15. doi:10.1186/1471-2261-5-29.
12. Zareba W. Genotype-specific ECG patterns in long QT syndrome. *J Electrocardiol.* 2006;39(4):101–6.
 13. Rautaharju PM, Surawicz B, Gettes LS, Bailey JJ, Childers R, Deal BJ, Gorgels A, Hancock EW, Josephson M, Kligfield P, Kors JA, Macfarlane P, Mason JW, Mirvis DM, Okin P, Pahlm O, van Herpen G, Wagner GS, Wellens H. AHA/ACCF/HRS Recommendations for the Standardization and Interpretation of the Electrocardiogram Part IV: The ST Segment, T and U Waves, and the QT Interval A Scientific Statement From the American Heart Association Electrocardiography and Arrhythmias Committee, Council on Clinical Cardiology; the American College of Cardiology Foundation; and the Heart Rhythm Society Endorsed by the International Society for Computerized Electrocardiology. *J Am Coll Cardiol.* 2009;53(11):982–91. doi: 10.1016/j.jacc.2008.12.014.
 14. Ferber G, Zhou MM, Darpo B. Importance of subject-specific QT/RR curvatures in the design of individual heart rate corrections of the QT interval. *J Electrocardiol.* 2014;47(3):385–6. doi: 10.1016/j.jelecard.2013.12.010.
 15. Priori SG, Wilde AA, Horie M, Cho Y, Behr ER, Berul C, Blom N, Brugada J, Chiang CE, Huikuri H, Kannankeril P, Krahn A, Leenhardt A, Moss A, Schwartz PJ, Shimizu W, Tomaselli G, Tracy C. HRS/EHRA/APHS Expert Consensus Statement on the Diagnosis and Management of Patients with Inherited Primary Arrhythmia Syndromes. *Heart Rhythm.* 2013;10(12):1932–63. doi: 10.1016/j.hrthm.2013.05.014.
 16. Priori SG, Blomström-Lundqvist C, Mazzanti A, Blom N, Borggrefe M, Camm J, Elliott PM, Fitzsimons D, Hatala R, Hindricks G, Kirchhof P, Kjeldsen K, Kuck KH, Hernandez-Madrid A, Nikolaou N, Norekvål TM, Spaulding C, Van Veldhuisen DJ; ESC Scientific Document Group. 2015 ESC Guidelines for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death: The Task Force for the Management of Patients with Ventricular Arrhythmias and the Prevention of Sudden Cardiac Death of the European Society of Cardiology (ESC). [Internet]. *Eur. Heart J.* 2015;36(41):2793–2867. doi: 10.1093/eurheartj/ehv316.
 17. Rabkin SW, Cheng XB. Nomenclature, categorization and usage of formulae to adjust QT interval for heart rate. *World J Cardiol.* 2015;7(6):315–25. doi:10.4330/wjc.v7.i6.315.
 18. Rabkin SW, Cheng XJ. Newer QT correction formulae to correct QT for heart rate changes during exercise. *Am J Med Sci.* 2016;351(2):133–9. doi: 10.1016/j.amjms.2015.11.007.
 19. Rabkin SW, Szefer E, Thompson DJS. A New QT Interval Correction Formulae to Adjust for Increases in Heart Rate. *JACC Clin Electrophysiol.* 2017;3(7):756–66. doi: 10.1016/j.jacep.2016.12.005.
 20. Nouraei H, Bennett M, Rabkin S. Value of the New Spline QTc Formula in Adjusting for Pacing-Induced Changes in Heart Rate. *Cardiol Res Pract.* 2018;2018(1):1–8. doi: 10.1155/2018/2052601.
 21. Day CP, McComb JM, Campbell RW. QT dispersion: an indication of arrhythmia risk in patients with long QT interval. *Br Heart J.* 1990;63(6):342–4.
 22. Rautaharju PM. QT and dispersion of ventricular repolarization: the greatest fallacy in electrocardiography in the 1990s. *Circulation.* 1999;99(18):2477–8.
 23. Kelmanson IA. High anxiety in clinically healthy patients and increased QT dispersion: a meta-analysis. *Eur J Prev Cardiol.* 2014;21(12):1568–74. doi: 10.1177/2047487313501613.
 24. Niemeijer MN, van den Berg ME, Eijgelsheim M, van Herpen G, Stricker BH, Kors JA, Rijnbeek PR. Short-term QT variability markers for the prediction of ventricular arrhythmias and sudden cardiac death: a systematic review. *Heart.* 2014;100(23):1831–6. doi: 10.1136/heartjnl-2014-305671.
 25. Dobson CP, Kim A, Haigney M. QT Variability Index. *Prog Cardiovasc Dis.* 2013;56(2):186–94.

METHODOLOGICAL APPROACHES TO MEASURING AND ESTIMATING THE DURATION OF QT INTERVAL OF A STANDARD ELECTROCARDIOGRAM

Kalatsei L. V., Snezhitskiy V. A.

Grodno State Medical University, Grodno, Belarus

Interpretation of each electrocardiogram should include measurement and evaluation of the QT interval, because both an increase and a decrease in its duration are associated with a risk of polymorphic ventricular tachycardia and sudden cardiac death. This article reflects the methodological approaches to determining, measuring and evaluating the duration of the QT interval, describes the nature of its dependence on gender, age and heart rate of the patient, and also describes a number of indicators calculated on its basis. Recommendations for measuring and evaluating the QT interval of a standard electrocardiogram have been formulated on the basis of the literature analysis.

Keywords: *QT interval, corrected QT interval, QT dispersion, QT variability.*

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Об авторах / About the authors

*Колоцей Людмила Владимировна / Kalatsei Ludmila, e-mail: lkolotsey@mail.ru, ORCID: 0000-0001-5211-709X
Снежицкий Виктор Александрович / Snezhitskiy Viktor, e-mail: vsnezh@mail.ru, ORCID: 0000-0002-1706-1243

* – автор, ответственный за переписку / corresponding author

Поступила / Received: 26.11.2018

Принята к публикации / Accepted for publication: 29.01.2019