

<https://doi.org/10.35336/VA-1301><https://elibrary.ru/CFZAKD>

ИНТЕРВАЛ QT НА ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММЕ ПОКОЯ: ЗНАЧЕНИЕ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ

В.Н.Комолятова¹, Т.С.Шаблинова², Д.В.Дроздов³, И.Е.Карпова³, И.Л.Козловская³, Л.М.Макаров¹¹ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр детей и подростков ФМБА России» МЗ РФ, Россия, Москва, ул. Москворечье, д. 20; ²ГУЗ Саратовской области «Медико-санитарная часть городского округа ЗАТО Светлый», Россия, Саратовская область, Татищевский район, ЗАТО п. Светлый, ул. Коваленко, д. 16; ³ФГБУ «НМИЦ кардиологии им. ак. Е.И. Чазова» МЗ РФ, Россия, Москва, ул. Академика Чазова, д.15а.

В настоящей работе обобщены основные сведения о физиологии интервала QT, современных стандартах его измерения и интерпретации значений, полученных при регистрации и анализе электрокардиограммы покоя в 12 общепринятых отведениях.

Ключевые слова: электрокардиограмма; интервал QT; скорректированный интервал QT

Конфликт интересов: отсутствует.

Финансирование: отсутствует.

Рукопись получена: 13.12.2023 **Исправленная версия получена:** 21.03.2024 **Принята к публикации:** 29.04.2024

Ответственный за переписку: Козловская Ирина Леонидовна, E-mail: ilkozlovskaya@yandex.ru

В.Н.Комолятова - ORCID ID 0000-0002-3691-7449, Т.С.Шаблинова - ORCID ID 0000-0003-4401-8395, Д.В.Дроздов - ORCID ID 0000-0001-7374-3604, И.Е.Карпова - ORCID ID 0000-0001-5650-5655, И.Л.Козловская - ORCID ID 0000-0002-7458-4315, Л.М.Макаров - ORCID ID 0000-0002-0111-3643

Для цитирования: Комолятова ВН, Шаблинова ТС, Дроздов ДВ, Карпова ИЕ, Козловская ИЛ, Макаров ЛМ. Интервал QT на электрокардиограмме покоя: значение и методы измерения. *Вестник аритмологии*. 2024;31(2): e15-e23. <https://doi.org/10.35336/VA-1301>.

QT-INTERVAL OF THE RESTING ECG: ITS ROLE AND MEASUREMENT METHODS

V.N.Komolyatova¹, T.S.Shablinova², D.V.Drozдов³, I.E.Karpova³, I.L.Kozlovskaya³, L.M.Makarov¹¹FGBU "Federal Scientific and Clinical Center for Children and Adolescents FMBA of Russia" MH RF, Russia, Moscow, 20 Moskvorechye str; ²SHI of the Saratov region "Medical and sanitary unit of the urban district of ZATO Svetly", Russia, Saratov region, Tatishchevsky district, ZATO village Svetly, 16 Kovalenko str; ³FGBU "Chazov NMRC of Cardiology" MH RF, Russia, Moscow, 15a Academician Chazova str.

The review summarizes the most update knowledge on the resting ECG QT-interval physiology, current measurement standards and interpretation.

Key words: electrocardiography; QT interval, corrected QT interval

Conflict of interest: none.

Funding: none.

Received: 13.12.2023 **Revision received:** 21.03.2024 **Accepted:** 29.04.2024

Corresponding author: Irina Kozlovskaya, E-mail: ilkozlovskaya@yandex.ru

V.N.Komolyatova - ORCID ID 0000-0002-3691-7449, T.S.Shablinova - ORCID ID 0000-0003-4401-8395, D.V.Drozдов - ORCID ID 0000-0001-7374-3604, I.E.Karpova - ORCID ID 0000-0001-5650-5655, I.L.Kozlovskaya - ORCID ID 0000-0002-7458-4315, L.M.Makarov - ORCID ID 0000-0002-0111-3643

For citation: Komolyatova VN, Shablinova TS, Drozdov DV, Karpova IE, Kozlovskaya IL, Makarov LM. QT interval on resting electrocardiogram: its role and measurement methods. *Journal of Arrhythmology*. 2024;31(2): e15-e23. <https://doi.org/10.35336/VA-1301>.

Выраженное удлинение интервала QT (иQT) является фактором неблагоприятного прогноза и смертности не только от сердечно-сосудистых заболеваний, но и от других причин [1, 2]. Это определяет необходимость оценки иQT при анализе электрокардиограммы (ЭКГ). Вместе с тем, ряд факторов силь-

но затрудняют его оценку в клинической практике. Так, S.Viskin и соавт. (2005) показали, что правильно оценить иQT на 4 предложенных ЭКГ смогли менее 25% из 877 врачей, включая 771 кардиолога (в качестве стандарта использовались результаты анализа этих записей 25 международно признанными экспер-

тами) [3]. Основными причинами ошибок явились: неправильное определение точки окончания зубца Т, оценка скорректированного иQT (QTc), а также выбор пороговых значений. Помимо уже перечисленных проблем, трудности также могут возникать с адекватным выбором отведения для проведения измерений и их корректировки с учетом факторов, способных оказывать влияние на реполяризацию желудочков (частота сердечных сокращений (ЧСС), нарушения ритма и проводимости, феномен WPW, электрокардиостимуляция и др.). В ходе подготовки настоящего обзора мы провели опрос среди 144 врачей функциональной диагностики и кардиологов и выявили, что наибольшие затруднения у специалистов вызывает оценка иQT при мерцательной аритмии и широком QRS (54% и 61% опрошенных, соответственно).

Цель данной работы - суммировать основные сведения о физиологии иQT, современных стандартах его измерения и интерпретации значений, полученных при регистрации и анализе ЭКГ покоя в 12 общепринятых отведениях. Следует отметить, что аспекты, связанные с изменениями интервала QT при функциональных пробах, представляют собой самостоятельную тему для изучения и в данном обзоре не обсуждаются.

Определение и причины изменения иQT

иQT на ЭКГ измеряется от начала зубца Q до окончания зубца Т и включает комплекс QRS и сегмент ST, соответствующие процессам деполяризации и реполяризации желудочков. Таким образом, иQT характеризует общую продолжительность желудочкового возбуждения и восстановления (рис. 1). Процессы де- и реполяризации желудочков реализуются посредством электролитных токов в кардиомиоцитах. Процесс деполяризации желудочков осуществляется за счет поступления в кардиомиоцит ионов натрия через быстрые натриевые каналы (I_{Na}), работа которых кодируется геном SCN5A. Реполяризация желудочков происходит в результате противоположно направленных ионных токов: быстрого натриевого тока и медленного кальциевого тока (I_{Ca-L}), направленных внутрь кардиомиоцита, а также выхода ионов калия из кардиомиоцита через калиевые каналы (I_{to} , I_{Kr} , I_{Ks} , I_{K1}). За функционирование каналов, принимающих участие в реполяризации желудочков, отвечают гены CACNA1c, KCND3, KCNH2, KCNQ1, KCNJ2 [4-6]. Мутации в этих генах могут проявляться изменением продолжительности иQT на поверхностной ЭКГ и приводить к возникновению опасных аритмий - желудочковой тахикардии типа «пируэт» вследствие возникающей неоднородности реполяризации в различных участках миокарда.

Помимо генетических факторов, ослабление или усиление функции ионных каналов, определяющих реполяризацию желудочков, может быть вызвано воздействием ряда факторов: лекарственных препаратов (актуальный список на сайте www.crediblemeds.org), электролитных наруше-

ний, гипо- и гипертермией, гипоксией, интоксикацией, инфекциями и др. [7, 8]. Вместе с тем, показано, что 5-10% людей, у которых желудочковая тахикардия типа «пируэт» развивается под воздействием удлиняющих иQT препаратов, также имеют мутации в генах, ассоциированных с синдромом удлиненного иQT [9,10].

Выбор отведений для анализа иQT

В норме продолжительность иQT в разных отведениях ЭКГ может отличаться более чем на 50 мс. На изучении различий продолжительности фазы реполяризации желудочков в разных отделах миокарда (дисперсия иQT), основан метод оценки риска желудочковых аритмий у больных с сердечно-сосудистой патологией [11].

Традиционно иQT оценивается во II стандартном отведении, т.к. изначально ЭКГ регистрировалась только в стандартных отведениях (регистрация ЭКГ в грудных отведениях была предложена позднее). Кроме

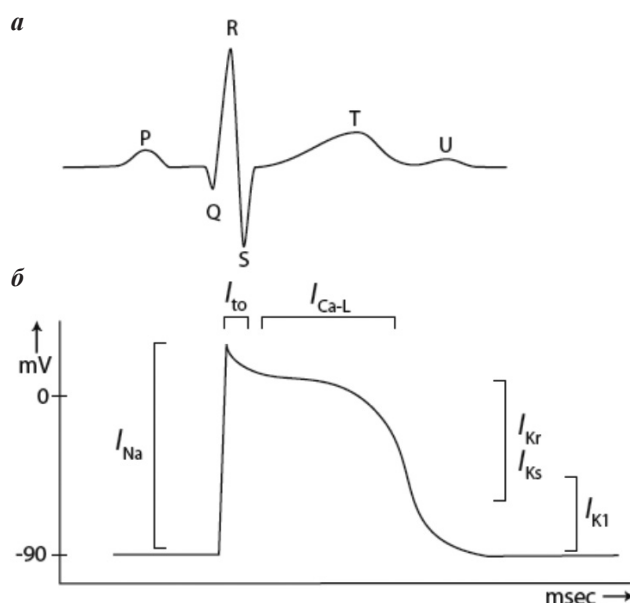


Рис 1. Схематическое изображение ионных токов, определяющих потенциал действия. Интервалы ЭКГ (а) соотнесены с фазами потенциала действия (б). Адаптировано из Postema PG, Wilde AA-M, 2014 [4]. Объяснения в тексте.

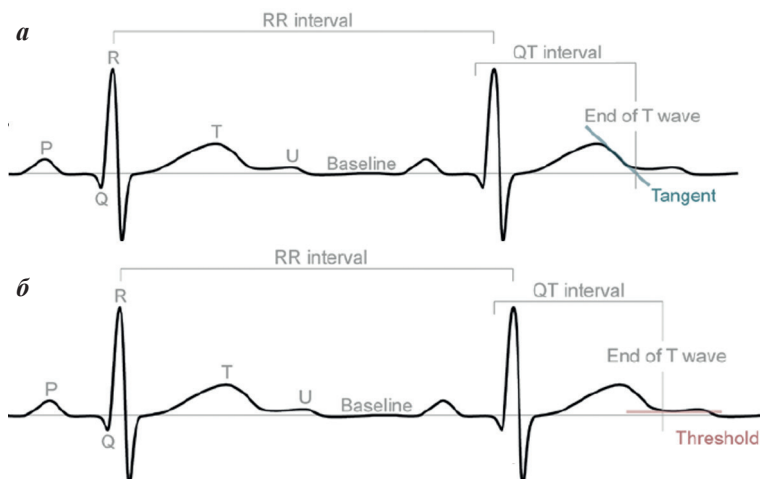


Рис 2. Наиболее часто используемые способы оценки окончания Т волн: а - метод касательной, б - пороговый метод.

того, во II стандартном отведении, как правило, лучше всего видны зубцы и интервалы, т.к. векторная ось сердца имеет заднелатеральное направление, а величина iQT во II стандартном отведении имеет средние значения в сравнении с продолжительностью iQT в других отведениях [12]. В тех случаях, когда определение окончания зубца Т во II стандартном отведении затруднительно, в качестве альтернативы рекомендуется использовать отведения V5, V6 или I. В соответствии с рекомендациями Американской коллегии кардиологов по стандартизации и интерпретации ЭКГ 2009 (AHA/ACC/HRS), для измерения iQT необходимо использовать то отведение, в котором он максимально выражен, что может иметь место в отведениях II (традиционно приоритетное), I, V1-V5 [13]. Для повышения точности оценки iQT и воспроизводимости его измерений

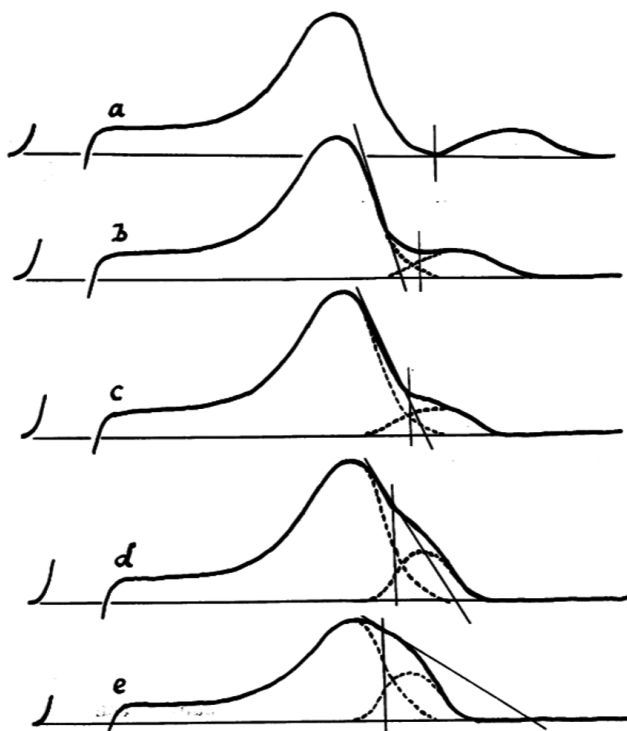


Рис. 3. Определение окончания iQT методом касательной (адаптировано из E.Lepeschkin, B.Surawicz, 1952), где пунктиром обозначены истинные контуры зубцов Т и U, сплошные линии соответствуют окончанию iQT по методам касательной и порога: а - пересечение нисходящей части Т с изолинией наилучшим образом определяет окончание iQT ; б - точка пересечения касательной с изолинией располагается раньше, чем истинное окончание зубца Т, которое в данной ситуации может быть определено через надир (наиболее низкую точку) расщепления, т.е. методом порога; в - пересечение касательной с изолинией определяется между расщеплением и истинным окончанием зубца Т и характеризует окончание Т точнее, чем надир; д - метод касательной завышает истинную продолжительность Т, но, тем не менее, описывает ее точнее, чем метод порога; е - метод касательной значительно завышает iQT , оптимальный результат может быть получен путем усреднения вычислений по обоим методам.

необходимо проводить оценку не в одном, а в нескольких (3-5) последовательных кардиоциклах, что может быть особенно полезно при наличии у пациентов синусовой аритмии.

Методика измерения iQT

В соответствии с рекомендациями АНА/ACC/HRS, наиболее достоверными методами определения точки окончания зубца Т считаются метод касательной, описанный в 1952 г. E.Lepeschkin, B.Surawicz и метод порога [14]. По методу касательной окончание зубца Т соответствует пересечению касательной, проведенной из вершины зубца Т по нисходящей части зубца Т и изолинии, за которую принимается продолжение интервала PQ (рис. 2). При наличии двухфазного зубца Т для проведения касательной выбирается фаза зубца Т с наибольшей амплитудой. При использовании порогового метода за окончание зубца Т принимается точка пересечения конечной части зубца Т с изолинией, которая при использовании этого метода определяется, как линия, соединяющая окончание Т зубца и следующий зубец Р (рис. 2). Иногда зубцы Т на ЭКГ могут быть двугорбыми или двухфазными, и окончание зубца Т следует измерять после второго пика. Порой бывает сложно различить двугорбый Т зубец и U зубец (QT+U), с этой целью для облегчения различения может быть полезным просмотр всех отведений ЭКГ. Как правило между зубцом Т и U определяется участок изолинии. Если после Т наблюдается зубец U, то в качестве конечной части Т рассматривается надир расщепления - самая низкая точка между Т и U. Наиболее часто встречаемые варианты соотношений между Т и U представлены на рис. 3.

В целом оба метода дают сопоставимые результаты. Так, по данным A.S.Vink с соавт. (2018), сравнивших диагностическую точность методов касательной и порога на популяции пациентов с верифицированным врожденным синдромом удлиненного интервала QT ($n=1484$), iQT , измеренный по методу касательной, оказался в среднем на 10,4 мс меньше, чем по методу порога [15]. По мнению авторов, использование обоих методов позволяет с высокой точностью идентифицировать больных с синдромом удлиненного интервала QT (СУИQT).

Измерение интервала QT при автоматическом анализе ЭКГ, влияние обработки сигнала на интервал QT

Поскольку современные компьютерные ЭКГ системы обладают возможностью проведения автоматического анализа ЭКГ, который во многих случаях впоследствии лежит в основе врачебного заключения, целесообразно кратко изложить основные принципы и факторы обработки ЭКГ, которые могут повлиять на результаты измерения iQT .

Международным стандартом и эквивалентным ему российским ГОСТ на анализирующие электрокардиографы (т.е. с автоматическим анализом ЭКГ) установлена рекомендация определения начала зубца по максимально раннему началу во всех синхронно зарегистрированных отведениях, а окончания - по максимально позднему (рис. 4) [16-18]. Такой подход, при высокой дисперсии QT, вполне может быть причиной

значительного увеличения QT и QTc относительного врачебного измерения в II или иных отведениях. Известно, что большинство производителей автономных анализирующих электрокардиографов и компьютерных программ анализа ЭКГ придерживаются этой рекомендации. По-видимому, этот же подход сохранится в перспективном разрабатываемом в настоящее время общем стандарте [18].

При автоматическом анализе ЭКГ измерения интервалов могут производиться как на репрезентативном комплексе QRS-T, выбираемом автоматически среди комплексов доминирующей формы, так и на медианных (superimposed median beat - SMB) комплексах в пределах каждого отведения отдельно либо в глобальном медианном комплексе (automated global median beat methods - GMB). В русском языке часто используется обозначение «усредненный комплекс», вместо более корректного «медианный». Реализация того или иного метода выбора комплекса может оказывать влияние на результаты измерения иQT [19-22].

Важно подчеркнуть, что сам по себе метод определения начала и окончания зубцов, рекомендованный обсуждаемыми стандартами, может приводить к увеличению продолжительности иQT. Различные способы измерения в разных аппаратах ЭКГ могут приводить к сложностям клинической оценки результатов мониторинга иQT [23]. Также авторам не известно, чтобы в каких-либо системах автоматического анализа ЭКГ было бы реализовано определение окончания зубца T методом касательной.

Получают распространение полуавтоматические инструменты измерения и анализа ЭКГ: после автоматической разметки комплексов P-QRS-T в распоряжении врача даются различные электронные «линейки и циркули» для корректировки положения непосредственно на дисплее кардиографа или компьютера автоматически установленной разметки зубцов. Применительно к иQT такой полуавтоматический анализ повышает точность и воспроизводимость результатов [18, 19]. По данным S.Viskin, межоператорские различия в измерениях экспертов при ручном измерении варьировали от 34 до 80 мс. При полуавтоматическом анализе ЭКГ из открытой базы ЭКГ PTB Diagnostic ECG Database разброс измерений одной ЭКГ между экспертами в определении начала зубца Q и окончания зубца T составил $2,43 \pm 0,96$ мс и $7,43 \pm 3,44$ мс соответственно [24], что существенно меньше приведенного ранее межоператорского различия.

Известно, что результат измерения интервалов ЭКГ может зависеть от уровня шума. Интерференция с миограммой и электромеханическим шумом движения может приводить к ошибкам в определении иQT из-за частичного совпадения частотного спектра с ЭКГ. Так, при визуальном анализе относительно стационарных 10-секундных фрагментов холтеровского мониторинга ЭКГ 523 здоровых лиц, было показано, что даже умеренный уровень шума вносит в изменения QT больший вклад, чем колебания ЧСС [25]. Применение ЭКГ-фильтров также может приводить к изменению величины иQT. По данным N.B. McLaughlin и соавт., включившем ЭКГ 25 здоровых лиц, зарегистрированных при

различных режимах фильтрации, автоматическое измерение иQT 5 различными алгоритмами дало расхождение средних значений 62 мс при SD 54 мс [26].

По-видимому, перечисленные выше факторы не существенно влияют на оценку скорректированного QTc (сравнение измеренного QTc с пороговыми значениями) в большинстве случаев [27]. Однако в экспертных случаях, а также при любых сомнениях в результатах автоматического измерения иQT, необходимо провести ручное измерение с учетом рекомендаций ниже, по возможности отключив фильтрацию ЭКГ. Возможные расхождения измерений и оценок продолжительности иQT следует учитывать при оценке его динамики (мониторинге) в серии ЭКГ.

Коррекция измерений иQT

Известно, что продолжительность иQT зависит от ЧСС. В норме величина QT обратно пропорциональна ЧСС, поэтому коррекция измерений QT с учетом ЧСС необходима для их адекватного сопоставления. Поиск оптимальной формулы для оценки скорректированного иQT (QTc) продолжается в течение века. Однако до сих пор она не была найдена. Наиболее часто используемые формулы для коррекции иQT представлены в табл. 1. В исследовании I.Androsova (2021) сравнивались 4 основные формулы для оценки скорректированного иQT (QTc): Bazett, Fridericia, Framingham и Hodges [28]. Оказалось, что формула Bazett является самой нестабильной формулой и наихудшим образом устраняет зависимость между ЧСС и интервалом QTc. Однако в настоящее время в клинической практике для выявления больных с удлинением и укорочением иQT продолжает использоваться формула Bazett. Проведенное в 2015 г



Рис. 4. Схема измерения иQT на глобальном медианном комплексе ЭКГ. Серым показаны сигналы в 12 общепринятых отведениях, черным - сигнал в отведении V2. Вертикальные линии, обозначенные Pb, Pe, Qb, j, Te - результат автоматического определения границ зубцов. Tet - результат определения правой границы зубца T методом касательной.

исследование по оценке иQT у 702 детей в возрасте от 0 до 6 лет на фоне синусовой тахикардии показало, что формула Bazett лучше других идентифицирует пациентов с удлинением иQT и более пригодна к использованию в клинической практике в сравнении с формулами Friderici, Framingham и Hodges [29]. Чем точнее формула коррекции, тем меньше рассчитанные по ней значения зависят от ЧСС. В этом отношении формула Friderici превосходит формулу Bazett, однако обе они не в полной мере решают данную задачу [36-38].

Учитывая нелинейный характер взаимоотношений QT и ЧСС, эффективность нормировки QT по ЧСС различных формул на разных диапазонах значений ЧСС неодинакова. В 2005 году W.Zareba и A.Moss с целью выявления наиболее оптимальной формулы для верификации больных с синдромом удлиненного иQT сравнили 6 наиболее используемых формул у 569 больных и 772 здоровых родственников и выявили, что формула Rautaharju оказалась наиболее информативной для разделения больных и здоровых, в диапазоне ЧСС от 61-100 уд/мин лучше всех работала формула Hodges, а при увеличении ЧСС более 100 уд/мин формула Bazett. В тоже время, F.Schnell, ссылаясь на собственные результаты анализа иQT у 5000 элитных атлетов показывает, что формула Bazett работает правильно в диапазоне ЧСС от 60 до 90 уд/мин. [39].

Практически ежегодно в списке формул для оценки иQTс появляются 1-2 новые формулы. Однако в клинической практике для постановки диагноза синдрома удлиненного иQT и стратификации риска у больных с кардиальной патологией используется формула Bazett. В нескольких популяционных исследованиях ранее сообщалось о связи между QTс и смертностью от всех причин. В известном Фремингемском исследовании (n=6895; среднее время наблюдения=27,5 лет), где использовалась формула Bazett наблюдалась тесная ассоциация между увеличением иQTс на каждые 20 мс и смертностью от всех причин (отношение рисков [ОР], 1,14; 95% доверительный интервал [ДИ], 1,10-1,18; P<0,0001), смертностью, связанной с ишемической болезнью сердца (ОР, 1,15; 95% ДИ, 1,05-1,26; P=0,003) и внезапной сердечной смертью (ОР, 1,19; 95% ДИ, 1,03-1,37; P=0,02). [40]. О подобном анализе с использованием других формул не сообщалось.

В исследовании здоровых, проведенном E.G.Schouten et al., где также QTс определялся по формуле Bazett, увеличение QTс выше 440 мс было сопряжено со значительным относительным риском смертности от всех причин [41]. Таким образом, в настоящее время для оценки иQT в клинической практике Европейское общество кардиологов рекомендует использовать формулу Bazett (независимо от ЧСС), для проведения клинических исследований лекарственных

Таблица 1.

Некоторые формулы коррекции QT по частоте сердечных сокращений

Название	Формула QTс, с	Источник	n	Нормативные значения, мс	
				мужчины	женщины
Bazett	$QTc = QT / \sqrt{RR}$	Bazett	39	350-450	360-460
		AHA/ACC/HRS guidelines [10]		346-472	346-482
		S.Viskin [30]	>60 000	350-450	360-460
Friderici	$QTc = QT / \sqrt[3]{RR}$	Fridericia	50	<450	<470
		AHA/ACC/HRS guidelines [13]		349-468	348-468
		Mason et al. [31]	79 743	355-438	365-450
Dmitrienki	$QTc = QT / RR^{0.413}$	Dmitrienki [32]	13 039	<465	< 516
Framingham	$QTc = QT + 0,154 \times (1 - RR)$	Sagie	5 000	332-420	344-432
		AHA/ACC/HRS guidelines [13]		350-449	351-467
		Luo S [33]	10 303	368-457	368-457
Hodges	$QTc = QT + 0,00175 \times (ЧСС - 60)$	Hodges*			
		Luo S [33]	10 303	372-457	372-457
Rautaharju	$QTc = QT + 0,24251 - 0,434 \times e^{-0,0097 \times ЧСС}$	Rautaharju PM [34]	14 379	<40 лет: 430 40-69 лет: 440 ≥70 лет: 455	<40 лет: 440 40-69 лет: 450 ≥70 лет: 460 .
Rabkin	$QTc = [QT^* (60,0,50.3) + 1000 \times QT - QT^* (ЧСС, пол, возраст)] / 1000^{**}$	Rabkin S [35]		<450	<470

Примечание: n - размер выборки; * - оригинальное исследование поднять не удалось; ** - QT* обозначает сплайн-функцию, зависимую от ЧСС и учитывающую пол (задается числовой переменной) и возраст. Смысл формулы, предложенной Rabkin, заключается в нормализации QT не к стандартной ЧСС = 60 уд/мин, а к распределению ЧСС здоровых мужчин в возрасте около 50 лет при ЧСС = 60 уд/мин.

препаратов FDA рекомендует использовать формулу Friderici, (табл. 1) [42].

Важно понимать, что изменения интервала QT в ответ на изменения ЧСС происходит не сразу, для этого требуется определенное время, в связи с чем был предложен такой термин, как гистерезис QT/RR, характеризующий продолжительность задержки изменения величины QT в ответ на изменения RR [43]. Поскольку традиционно используемые формулы расчета QTc включают лишь один интервал RR предшествующего комплекса, приступая к анализу значения QTc, необходимо удостовериться в том, что адаптация иQT к уровню ЧСС на изучаемой ЭКГ уже достигнута, в противном случае рассчитанный QTc не будет отражать истинное состояние реполяризации миокарда желудочков у данного пациента. Несоблюдение требований стационарности может стать причиной серьезной диагностической ошибки.

Некоторые частные случаи коррекции QT по ЧСС имеют свои особенности. При синусовой аритмии, особенно у молодых лиц, разные по продолжительности интервалы RR могут привести к ошибке определения удлинения иQTc и неверной его интерпретации. Схожая ситуация может произойти при фибрилляции предсердий, т.к. при данном нарушении ритма могут встречаться как короткие, так и очень длинные интервалы RR. Следовательно, у больных с синусовой аритмией иQTc предпочтительно определять во время стабильного синусового ритма, а значения QTc полученные на ЭКГ с аритмиями следует интерпретировать с осторожностью. В тех случаях, когда интервал RR демонстрирует значительную вариабельность, следует измерять иQT в нескольких подряд следующих друг за другом циклах (не менее 3) и усреднять значение QTc, чтобы избежать переоценки или недооценки иQT [44]. В случае преждевременных наджелудочковых или желудочковых сокращений следует избегать измерений в комплексах, следующих сразу после паузы, так как реполяризация желудочков в этом комплексе меняется.

Известно, что при фибрилляции предсердий значения QTc, рассчитанные по формуле Bazett, несколько завышены (сопоставления проводились с QTc, измеренными на фоне восстановленного синусового ритма). Для более адекватного определения QTc при фибрилляции предсердий рекомендуется включать в анализ 5-10 комплексов. Более точные результаты, по сравнению с формулой Bazett, по данным разных авторов, дают формулы Friderici, Sagie [45-48]. Это может быть важно, например, при решении вопроса о выборе терапии у онкологических больных [49].

Для исключения вклада расширенного желудочкового комплекса в увеличение QT при наличии нарушений внутри-

желудочковой проводимости предлагается вычисление модифицированного иQT: $QT_m = QT - 50\% QRS$ (с последующим расчетом QTc по формуле Bazett) [50]. Первоначально данный способ корректировки применялся у пациентов с электрокардиостимуляторами, но в дальнейшем была показана возможность его использования у пациентов с блокадой левой и правой ножек пучка Гиса. Еще один способ коррекции QT по ЧСС при замедлении внутрижелудочкового проведения был апробирован на пациентах, получавших лечение по поводу COVID-19. Суть поправки состоит в вычитании из QTc, рассчитанного по формуле Bazett, той величины, на которую расширился исходный желудочковый комплекс: $QTc - (QRS - 100 \text{ мс})$ [51].

Методы коррекции QT по ЧСС на фоне блокады левой ножки пучка Гиса, значительно превосходящие ранее описанные подходы по показателям точности, были предложены Ю.Э.Терегуловым с соавт. (2022): 1) метод линейной регрессии с модификацией формул Bazett ($QTc = 120,5692 + 0,6315 \times QTcB$), Fridericia ($QTc = 130,4425 + 0,6024 \times QTcF$) и Sagie ($QTc = 125,4726 + 0,6182 \times QTcS$); 2) метод компенсации QT на уширение QRS за счет блокады левой ножки пучка Гиса, в котором в качестве вычитаемого принимается не QTc по Bazett, а непосредственно результата измерения иQT: $QT - (QRS - 100 \text{ мс})$ [52]. Однако данные формулы очень сложны для регулярного использования в ежедневной клинической практике.

Нормальные и патологические значения QTc

В соответствии с действующими клиническими рекомендациями, значения $QTc > 480 \text{ мс}$ на серии ЭКГ свидетельствуют о высоком риске врожденного синдрома удлинения QT (СУИQT), $< 320 \text{ мс}$ - высоком риске врожденного синдрома короткого интервала QT (СКИQT), даже в отсутствие других признаков; при $QTc > 500 \text{ мс}$ имеет место высокий риск фатальных желудочковых аритмий, независимо от причины удлинения этого интервала. Удлинение QT также ассоциировано с повышением риска фатальных аритмий при многих заболеваниях, таких как ишемическая болезнь сердца, острое нарушения мозгового крово-

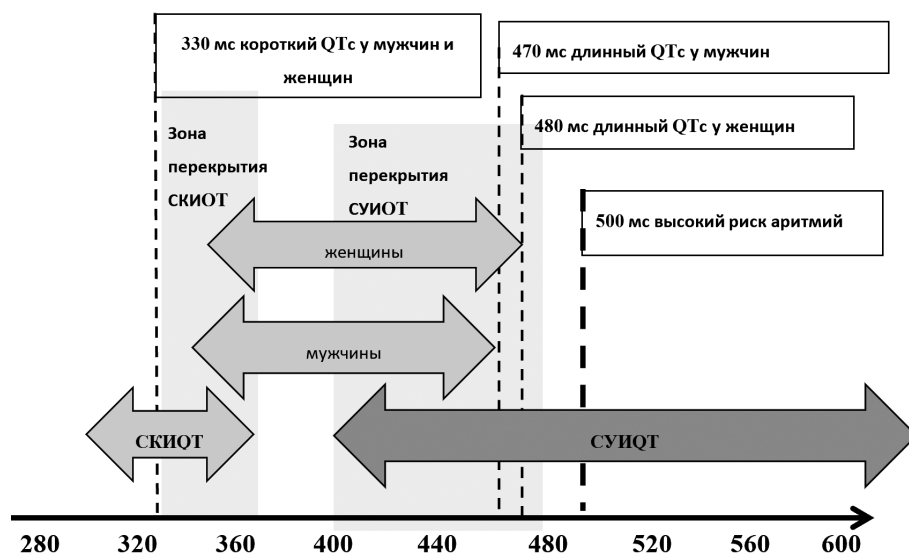


Рис. 5. Нормальные, пограничные и патологические значения QTc по формуле Bazett (адаптировано из R.M.Lester с соавт., 2019) [44].

обращения, острый инфаркт миокарда, фибрилляция предсердий, хроническая сердечная недостаточность и др. [31, 53-59].

Нормальные значения QTc, вычисленного по формуле Bazett, по результатам крупных популяционных исследований, лежат в пределах 350-450 мс у мужчин и 360-460 мс у женщин. В исследованиях, проведенных на больных и их родственниках с СУИQT было показано, что у лиц, с выявленными мутациями и без них диапазоны значений QTc перекрываются в пределах 420-490 мс [60]. Выявление носителей мутаций в «серой» зоне имеет большое значение, т.к. таким пациентам, несмотря на отсутствие удлинения иQT на ЭКГ рекомендовано с профилактической целью назначение бета-блокаторов (класс рекомендаций IIa) [61]. С этой целью у таких больных могут быть использованы дополнительные тесты с оценкой интервала QT, такие как холтеровское мониторирование [62], ЭКГ в ранний период отроста [63]. Однако в настоящее время эти тесты не включаются в классические критерии постановки диагноза СУИQT, т.к. изменение иQT при этих пробах остается крайне дискуссионным. Нижние пограничные значения QTc лежат в пределах 340-360 мс. Схематично нормальные, пограничные и патологические значения QTc, вычисленные по формуле Bazett, представлены на рис. 5.

Очень важным является момент, что некорректно переносить нормальные, пограничные и патологические значения, разработанные с использованием фор-

мулы Bazett, на другие формулы. Как сказано выше, коррекция иQT при использовании различных формул отличается. Для иQTc с использованием формулы Friderici нормальный диапазон значений лежит в области 355-438 мс у мужчин и 365-450 мс у женщин [31]. Нормативные значения других, часто используемых формул, представлены в табл. 1. Однако подробного разделения на нормальные, пограничные и патологические значения для них не разработаны, что существенно ограничивает их использование в клинической практике.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка иQT на стандартной ЭКГ позволяет выявить пациентов с высоким риском развития жизнеугрожающих аритмий и внезапной смерти, однако правильное измерение и интерпретация иQT является непростой задачей. Суммируя вышеперечисленные данные необходимо отметить, что интервалы QT и QTc необходимо измерять вручную, для чего на ЭКГ целесообразно использовать отведения (в порядке предпочтения) II, V5, V6, V2. В случае плохой визуализации Т зубца рекомендуется использовать любое отведение, где этот зубец максимально выражен. Об удлинении или укорочении интервала QT необходимо судить по величине скорректированного интервала QT (QTc), которая в клинической практике вычисляется с использованием формулы Bazett.

ЛИТЕРАТУРА

1. Anderson HN, Bos JM, Haugaa KH, et al. Prevalence and outcome of high-risk QT prolongation recorded in the emergency department from an institution-wide QT alert system. *J of Emerg Med*. 2018;54(1): 8-15. <https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2017.08.073>.
2. O'Neal WT, Singleton MJ, Roberts JD, et al. Association between QT-Interval components and sudden cardiac death: The ARIC study (Atherosclerosis Risk in Communities). *Circ Arrhythm Electrophysiol*. 2017;10(10): e005485. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.117.005485>.
3. Viskin S, Rosovski U, Sands AJ, et al. Inaccurate electrocardiographic interpretation of long QT: the majority of physicians cannot recognize a long QT when they see one. *Heart Rhythm*. 2005;2(6): 569-74. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2005.02.011>.
4. Postema PG, Wilde AA. The measurement of the QT interval. *Current Cardiology Reviews*. 2014; 10:287-294. <https://doi.org/10.2174/1573403X10666140514103612>.
5. Школьников МА, Ильдарова РА, Щербакова НВ. Клинические и молекулярно-генетические основы внезапной сердечной смерти при первичных электрических заболеваниях сердца у детей. *Педиатрия. Журнал им. Г.Н.Сперанского*. 2022;(3): 57-67. [Shkolnikova MA, Ildarova RA, Shcherbakova NV. Clinical and molecular genetic basis of sudden cardiac death in primary electrical heart diseases in children. *Pediatrics named after GN Speransky*. 2022(3): 57-67] <https://doi.org/10.24110/0031-403X-2022-101-3-57-67>.
6. Бокерия ЛА, Проничева ИВ, Сергуладзе СЮ. Синдром короткого интервала QT и внезапная сердечная смерть: последние клинические и генетические достижения. *Анналы аритмологии*. 2022;19(3): 196-206 [Bockeria LA, Pronicheva IV, Serguladze SY. Short QT syndrome and sudden cardiac death: recent clinical and genetic advances. *Annals of Arrhythmology*. 2022;19(3): 196-206]. <https://doi.org/10.15275/annaritm.2022.3.9>.
7. Black N, D'Souza A, Wang Y, et al. Circadian rhythm of cardiac electrophysiology, arrhythmogenesis, and the underlying mechanisms. *Heart Rhythm*. 2019;16(2): 298-307. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2018.08.026>.
8. Шляхто ЕВ, Пармон ЕВ, Бернгардт ЭР, Жабина ЕС. Особенности электрокардиографических изменений при некоронарогенных синдромах у пациентов с Covid-19. *Российский кардиологический журнал*. 2020;25(7): 194-200. [Shlyaheto EV, Parmon EV, Berngardt ER, Zhabina ES. Features of electrocardiographic changes in patients with COVID-19. *Rus J Cardiol*. 2020;25(7): 194-200]. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2020-4019>.
9. Yang P, Kanki H, Drolet B, et al. Allelic variants in long-QT disease genes in patients with drug-associated torsades de pointe. *Circulation*. 2002; (16): 1943-1948 <https://doi.org/10.1161/01.cir.0000014448.19052.4c>.
10. Dilaveris P. Molecular predictors of drug-induced prolongation of the QT interval. *Curr Med Chem Cardiovasc Hematol Agents*. 2005;3(2): 105-18. <https://doi.org/10.2174/1568016053544318>.
11. Zabel M, Klingenhoben T, Franz MR, et al. Assessment of QT dispersion for prediction of mortality or arrhythmic events after myocardial infarction: results of a prospective, long-term follow-up study. *Circulation*. 1998;97: 2543-2550. <https://doi.org/10.1161/01.cir.97.25.2543>.
12. Statters DJ, Malik M, Ward DE, Camm AJ. QT disper-

- sion: problems of methodology and clinical significance. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 1994;5(8): 672-85. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8167.1994.tb01190.x>.
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. *Circulation.* 2009;119: e241-250. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.108.191096>.
 14. Lepeschkin E, Surawicz B. The measurement of the Q-T interval of the electrocardiogram. *Circulation.* 1952; 379-388. <https://doi.org/10.1161/01.cir.6.3.378>.
 15. Vink AS, Neumann B, Lieve KV, et al. Determination and interpretation of the QT interval. *Circulation.* 2018;138(21): 2345-2358. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.118.033943>.
 16. Medical electrical equipment - part 2-51: Particular requirements for safety, including essential performance, of recording and analysing single channel and multichannel electrocardiographs (IEC 60601-2-51:2003).
 17. ГОСТ IEC 60601-2-51-2011 Изделия медицинские электрические. Часть 2-51. Частные требования безопасности с учетом основных функциональных характеристик к регистрирующим и анализирующим одноканальным и многоканальным электрокардиографам [GOST IEC 60601-2-51-2011 Medical electrical products. Part 2-51. Particular safety requirements, taking into account the basic functional characteristics of recording and analyzing single-channel and multi-channel electrocardiographs (In Russ)].
 18. Young B, Schmid JJ. Updates to IEC/AAMI ECG standards, a new hybrid standard. *J Electrocardiol.* 2018: 103-105. <https://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2018.06.017>.
 19. Neumann B, Vink AS, Hermans BJ., et al. Manual vs automatic assessment of the QT-interval and corrected QT. *Europace.* 2023;25(9): 213-223. <https://doi.org/10.1093/europace/euad213>.
 20. Savelieva I, Yi G., Guo XH, et al. Agreement and reproducibility of automatic versus manual measurement of QT interval and QT dispersion. *Am J Cardiol.* 1998;1(4): 471-477. [https://doi.org/10.1016/S0002-9149\(97\)00927-2](https://doi.org/10.1016/S0002-9149(97)00927-2).
 21. International recommendations for electrocardiographic interpretation in athletes, *Eur Heart J.* 2018: 1466-1480. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehw631>.
 22. Barbey JT, Connolly M, Beaty B, et al. Man versus machine: comparison of automated and manual methodologies for measuring the QTc interval: a prospective study. *Ann Noninvasive Electrocardiol.* 2016;21(1): 82-90. <https://doi.org/10.1111/anec.12277>.
 23. Update to practice standards for electrocardiographic monitoring in hospital settings: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation.* 2017;136: e273-e344. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000527>.
 24. Christov I. Dataset of manually measured QT intervals in the electrocardiogram. *Biomedical Engineering Online.* 2006: 1-8. <https://doi.org/10.1186/1475-925X-5-31>.
 25. Toman O, Hnatkova K, Šišáková M, et al. Short-term beat-to-beat QT variability appears influenced more strongly by recording quality than by beat-to-beat rr variability. *Front Physiol.* 2022. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.863873>.
 26. McLaughlin NB, Campbell RW, Murray A. Comparison of automatic QT measurement techniques in the normal 12 lead electrocardiogram. *Heart.* 1995: 84-89. <https://doi.org/10.1136/hrt.74.1.84>.
 27. Darpo B, Agin M, Kazierad DJ. Man versus machine: is there an optimal method for QT measurements in thorough QT studies? *The Journal of Clinical Pharmacology.* 2006;46(6): 598-612. <https://doi.org/10.1177/0091270006286900>.
 28. Androsova I, Hnatkova K, Sisakova M, et al. Influence of heart rate correction formulas on QTc interval stability. *Sci Rep.* 2021 <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93774-9>.
 29. Phan DQ, Silka MJ, Lan YT, Chang RR. Comparison of formulas for calculation of the corrected QT interval in infants and young children. *J Pediatr.* 2015;166(4): 960-964.e2. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2014.12.037>.
 30. S.Viskin. The QT interval: too long, too short or just right. *Heart Rhythm.* 2009;6(5): 711-5. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2009.02.044>.
 31. Mason SW, Ramseth DS, Chanter DO. Electrocardiographic reference ranges derived from 79,743 ambulatory subjects. *Journal of Electrocardiology.* 2007;40(3): 228-234 <https://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2006.09.003>.
 32. Dmitrienke AA, Sides GD, Winters KJ, et al. Electrocardiogram reference ranges derived from a standardized clinical trial population. *Ther Innov Regul Sci.* 2005: 395-405. <https://doi.org/10.1177/009286150503900408>.
 33. Luo S, Michler K, Johnston P, et al. A comparison of commonly used QT correction formulae: the effect of heart rate on the QTc of normal ECGs. *J Electrocardiol.* 2004;37(Suppl): 81-90. <https://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2004.08.030>.
 34. Rautaharju PM, Mason JW, Akiyama T. New age- and sex-specific criteria for QT prolongation based on rate correction formulas that minimize bias at the upper normal limits. *Int J Cardiol.* 2014;1;174(3): 535-40. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2014.04.133>.
 35. Rabkin SW, Cheng X J. newer qt correction formulae to correct qt for heart rate changes during exercise. *Am J Med Sci.* 2016;351(2): 133-9. <https://doi.org/10.1016/j.amjms.2015.11.007>.
 36. Yazdanpanah MH, Naghizadeh MM, Sayyadipoor S, et al. The best QT correction formula in a non-hospitalized population: the Fasa PERSIAN cohort study. *BMC Cardiovasc Disord.* 2022: 22-52. <https://doi.org/10.1186/s12872-022-02502-2>.
 37. Puddu PE, Jouve R, Mariotti S, et al. Evaluation of 10 QT prediction formulas in 881 middle-aged men from the seven countries study: emphasis on the cubic root Fridericia's equation. *J Electrocardiol.* 1988;21(3): 219-29. [https://doi.org/10.1016/0022-0736\(88\)90096-9](https://doi.org/10.1016/0022-0736(88)90096-9).
 38. Malik M. Problems of heart rate correction in assessment of drug-induced QT interval prolongation. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2001;12(4): 411-20. <https://doi.org/10.1046/j.1540-8167.2001.00411.x>.

39. Schnell F, Behar N, Carré F. Long-QT syndrome and competitive sports. *Arrhythmia & Electrophysiology Review*. 2018; 187-194. <https://doi.org/10.15420/aer.2018.39.3>.
40. Noseworthy PA, Peloso GM, Hwang SJ, et al. QT interval and long term mortality risk in the Framingham Heart Study. *Ann Noninvasive Electrocardiol*. 2012;17: 340-348. <https://doi.org/10.1111/j.1542-474X.2012.00535.x>.
41. Schouten EG, Dekker JM, Meppelink P, et al. QT interval prolongation predicts cardiovascular mortality in an apparently healthy population. *Circulation*. 1991;84: 1516-1523. <https://doi.org/10.1161/01.cir.84.4.1516>.
42. International Council for Harmonisation (ICH). E14 and S7B Clinical and nonclinical evaluation of QT/QTc interval prolongation and proarrhythmic potential—questions and answers. Update 2022 Esc 2022.
43. Pelchovitz DJ, NgJ, Chicos AB, et al. QT-RR hysteresis is caused by differential autonomic states during exercise and recovery. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2012;302: H2567-73. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00041.2012>.
44. Lester RM, Paglialunga S, Johnson IA. QT assessment in early drug development: the long and the short of it. *Int J Mol Sci*. 2019;20: 1324-57. <https://doi.org/10.3390/ijms20061324>.
45. Выпускная квалификационная работа студента Галимовой АА. Сравнительный анализ интервал QT при мерцательной аритмии. Научный руководитель: Терегулов Ю.Э. 23-19. (kazangmu.ru) (Final qualifying work of student Galimova AA. Comparative analysis of the QT interval in atrial fibrillation. Scientific supervisor: Teregulov YuE. 23-19. Available from: <http://e-lib.kazangmu.ru/files/bibl/VKR/23-19.pdf> (In Russ).
46. Luzzza F, De Sarro R, Licordari R, et al. Atrial fibrillation and QT corrected. What is the best formula to use? *Eur J Clin Invest*. 2023 53(9): e14013. <https://doi.org/10.1111/eci.14013>.
47. YuY, WenS, RuanY, et al. Impact of heart rate and rhythm on corrected QT interval during paroxysmal atrial fibrillation. *Am J Cardiol*. 2022: 64-70. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2021.12.016>.
48. Tooley J, Ouyang D, Hadley D, et al. Comparison of QT interval measurement methods and correction formulas in atrial fibrillation. *Am J Cardiol*. 2019: 1822-1827. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2019.02.057>.
49. Al-Tweigeri T, Dent S, Al Sayed A, et al. Using the appropriate formula for QT measurement can save lives. *Hematol Oncol Stem Cell Ther*. 2022;15(1): 79-82. <https://doi.org/10.1016/j.hemonc.2021.06.001>.
50. Bogossian H, Linz D, Heijman J, et al. QTc evaluation in patients with bundle branch block. *Int J Cardiol Heart Vasc*. 2020;30: 100636. <https://doi.org/10.1016/j.ijcha.2020.100636>.
51. Комолятова ВН, Макаров ЛМ. Интервал QT у пациентов с инфекцией COVID-19. Кардиология. 2020;60(7): 11-14. [Komoliatova VN, Makarov LM. QT interval in patients with COVID-19. *Kardiologia*. 2020;60(7): 11-14. (In Russ). <https://doi.org/10.18087/cardio.2020.7.n1201>.
52. Терегулов ЮЭ, Ацель ЕА, Салямова ЛФ, и др. Разработка методов оценки интервала QT при блокаде левой ножки пучка Гиса. Медицинский алфавит. 2022;(11): 13-18. [Teregulov YE, Acel EA, Salyamova LF, et al. QT-interval measurement methods in patients with left bundle branch block. *Medical alphabet*. 2022;(11): 13-18 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2022-11-13-18>.
53. Wu J, Kors JA, Rijnbeek PR, et al. Normal limits of the electrocardiogram in Chinese subjects. *Int J Cardiol*. 2003;87: 37-51. [https://doi.org/10.1016/s0167-5273\(02\)00248-6](https://doi.org/10.1016/s0167-5273(02)00248-6).
54. Gallagher MM, Magliano G, Yap YG, et al. Distribution and prognostic significance of QT intervals in the lowest half centile in 12,012 apparently healthy persons. *Am J Cardiol*. 2006; 98:933-935. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2006.04.035>.
55. Reinig MG, Engel TR. The shortage of short QT intervals. *Chest*. 2007;132: 246-249. <https://doi.org/10.1378/chest.06-2133>.
56. Anttonen O, Junttila MJ, Rissanen H, et al. Prevalence and prognostic significance of short QT interval in a middle-aged Finnish population. *Circulation*. 2007;116: 714-720. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.106.676551>.
57. Funada A, Hayashi K, Ino H, et al. Assessment of QT intervals and prevalence of short QT syndrome in Japan. *Clin Cardiol*. 2008;31: 270-274. <https://doi.org/10.1002/clc.20208>.
58. Moriya M, Seto S, Yano K, et al. Two cases of short QT interval. *Pacing Clin Electrophysiol*. 2007;30: 1522-1526. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8159.2007.00901.x>.
59. Kobza R, Roos M, Niggli B, et al. Prevalence of long and short QT in a young population of 41,767 predominantly male Swiss conscripts. *Heart Rhythm*. 2009;6(5): 652-7. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2009.01.009>.
60. Vincent GM, Timothy KW, Leppert M, et al. The spectrum of symptoms and QT intervals in carriers of the gene for the long QT syndrome. *N Engl J Med*. 1992;327: 846-852. <https://doi.org/10.1056/NEJM199209173271204>.
61. Zeppenfeld K, Tfelt-Hansen J, de Riva M, et al. 2022 ESC Guidelines for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death. *Eur Heart J*. 2022: 1-130. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehac262>.
62. Follansbee CW, Beerman L, Gaurav A. Automated QT analysis on Holter monitors in pediatric patients can differentiate long QT syndrome from controls. *Pacing Clin Electrophysiol*. 2018;41(1):50-56. <https://doi.org/10.1111/pace.13244>.
63. Комолятова ВН, Макаров ЛМ, Киселева ИИ, и др. Изменение интервала QT в ортостазе - новый диагностический маркер синдрома удлиненного интервала QT. Медицинский алфавит. 2019;22(2): 18-21. [Komoliatova VN, Makarov LM, Kiseleva II, et al. Changing QT interval in orthostasis - new diagnostic marker of syndrome of extended QT interval. *Medical alphabet*. 2019;22(2): 18-21. (In Russ.)]. [https://doi.org/10.33667/2078-5631-2019-2-21\(396\)-18-21](https://doi.org/10.33667/2078-5631-2019-2-21(396)-18-21).