

Диагностическое и прогностическое значение угла *QRS-T*

Е.В. Блинова, Т.А. Сахнова, Е.С. Юрасова

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии» Минздрава России, Москва, Россия

Аннотация

Угол между векторами *QRS* и *T* отражает согласованность или же рассогласованность процессов де- и реполяризации желудочков сердца и считается одним из показателей глобальной электрической гетерогенности миокарда. В последние годы продемонстрировано прогностическое значение угла *QRS-T* в отношении общей и сердечно-сосудистой смертности как в популяции, так и в различных группах пациентов. Механизмы этого явления остаются не до конца ясными. В обзоре анализируются опубликованные за последние 5 лет исследования, посвященные связи угла *QRS-T* со смертностью, а также с ишемической болезнью сердца и сердечной недостаточностью. Обсуждаются возможные механизмы увеличения угла *QRS-T*. Приводятся данные об использовании угла *QRS-T* в диагностических и прогностических шкалах, в том числе в комплексе с другими показателями глобальной электрической гетерогенности миокарда.

Ключевые слова: угол *QRS-T*, глобальная электрическая гетерогенность, электрокардиограмма, векторкардиограмма, прогноз.

Для цитирования: Блинова Е.В., Сахнова Т.А., Юрасова Е.С. Диагностическое и прогностическое значение угла *QRS-T*. Терапевтический архив. 2020; 92 (9): 85–93. DOI: 10.26442/00403660.2020.09.000752

Diagnostic and prognostic significance of *QRS-T* angle

E.V. Blinova, T.A. Sakhnova, E.S. Yurasova

National Medical Research Center for Cardiology, Moscow, Russia

The angle between the *QRS* and *T* vectors reflects the consistency or inconsistency of the processes of de- and repolarization of the ventricles of the heart and is considered one of the indicators of global electrical heterogeneity of myocardium. In recent years, the prognostic value of the *QRS-T* angle has been demonstrated in relation to total and cardiovascular mortality, both in the population and in various groups of patients. The mechanisms of this phenomenon are not completely clear. The review analyses studies published over the past five years on the relationship between the *QRS-T* angle and mortality, as well as coronary heart disease and heart failure. Possible mechanisms for increasing the *QRS-T* angle are discussed. Data are given on the use of the *QRS-T* angle in diagnostic and prognostic scales, including in combination with other indicators of global electrical heterogeneity of myocardium.

Keywords: *QRS-T* angle, global electrical heterogeneity, electrocardiogram, vectorcardiogram, prognosis.

For citation: Blinova E.V., Sakhnova T.A., Yurasova E.S. Diagnostic and prognostic significance of *QRS-T* angle. Therapeutic Archive. 2020; 92 (9): 85–93. DOI: 10.26442/00403660.2020.09.000752

АГ – артериальная гипертония
 АД – артериальное давление
 БЛНПГ – блокада левой ножки пучка Гиса
 БПВ – блокада передней ветви
 БПНПГ – блокада правой ножки пучка Гиса
 ВСС – внезапная сердечная смерть
 ГКМП – гипертрофическая кардиомиопатия
 ГЛЖ – гипертрофия левого желудочка
 ДИ – доверительный интервал
 ЖГ – желудочковый градиент
 ИБС – ишемическая болезнь сердца
 ИМТ – индекс массы тела
 ЛЖ – левый желудочек
 ОР – отношение рисков

ОШ – отношение шансов
 СД – сахарный диабет
 ССЗ – сердечно-сосудистые заболевания
 ФВ – фракция выброса
 ХСН – хроническая сердечная недостаточность
 ЭКГ – электрокардиография
 ARIC (Atherosclerosis Risk in Communities Study) – обсервационное исследование
fQRS-T – фронтальный угол *QRS-T*
sQRS-T – пространственный угол *QRS-T*
sQRS-Ti – пространственный угол между интегральными векторами *QRS* и *T*
sQRS-Tm – пространственный угол между максимальными векторами *QRS* и *T*

Введение

Интерес к показателям, отражающим взаимоотношения де- и реполяризации желудочков сердца, начал возникать практически с самого зарождения электрокардиографии (ЭКГ). Но на протяжении нескольких десятилетий эта проблема оставалась предметом сугубо теоретических исследований. Это связано, во-первых, с трудностью вычисления необходимых показателей, а во-вторых, со сложностью биоэлектрических и электрофизиологических процессов, лежащих в их основе.

В XXI в. внедрение цифровых технологий значительно облегчило процесс вычислений, а появление в 2003 г. работы

I. Kardys и соавт., продемонстрировавшей прогностическое значение угла *QRS-T* [1], вызвало всплеск интереса к данной проблеме. В этой работе на основе популяционного когортного исследования мужчин и женщин в возрасте 55 лет и старше (Rotterdam Study) при среднем периоде наблюдения 6,7 года показано, что увеличение пространственного угла *QRS-T* является независимым предиктором смерти от сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ), причем более сильным, чем классические сердечно-сосудистые факторы риска и другие показатели ЭКГ. Величина пространственного угла *QRS-T* больше 135° в 4,5 раза увеличивала риск смерти от сердечной недостаточности даже после поправки на такие факторы, как курение, артериальная гипертония (АГ), сахар-

ный диабет (СД), наличие в анамнезе стенокардии и инфаркта миокарда, индекс массы тела (ИМТ) > 25 кг/м², соотношение общего холестерина и липопротеинов высокой плотности больше 7,2, а также после поправки на наличие ЭКГ-признаков инфаркта миокарда, гипертрофии левого желудочка (ГЛЖ), блокады левой ножки пучка Гиса (БЛНПГ), депрессии сегмента ST, инверсии зубца T и интервала QTc > 440 мс.

В последующие годы в целом ряде исследований, проведенных в разных популяциях, с разным числом участников и продолжительностью наблюдения, разными пороговыми значениями угла QRS-T, получены сходные результаты [2].

Кроме того, вскоре предложено использовать более простой и понятный клиницистам «фронтальный угол QRS-T» – разницу между осями QRS и T во фронтальной плоскости [3]. Так как оси QRS и T вычисляются большинством современных электрокардиографов, расчет этого показателя не требует специального программного обеспечения.

Опубликованный в 2015 г. метаанализ, включивший данные 22 исследований (в общей сложности 164 171 обследованный) [4], продемонстрировал, что как пространственный, так и фронтальный углы QRS-T несут прогностическую информацию о смертности от всех причин у населения в целом и в еще большей степени у пациентов с подозрением на ишемическую болезнь сердца (ИБС) и лиц с сердечной недостаточностью. Увеличение пространственного угла QRS-T связано также с более высокой частотой смерти от ССЗ.

При обсуждении полученных данных авторы метаанализа выделяли несколько существовавших на тот момент проблем:

- 1) неоднородность в определениях пороговых значений углов QRS-T в разных исследованиях;
- 2) отсутствие унификации факторов, на которые должна вноситься поправка;
- 3) проведение большинства исследований только в Европе и отсутствие данных по другим этническим группам;
- 4) отсутствие исследований по оценке экономической эффективности ЭКГ-скрининга с использованием углов QRS-T как в популяции в целом, так и в целевых группах населения.

Кроме того, поскольку природа конечного события, как правило, многофакторная, а отдельный предиктор может отражать только один патофизиологический механизм, выражалась надежда, что будет предложен комплексный метод стратификации риска, в котором свое место займет и угол QRS-T.

Методы

Что же прибавилось к нашим знаниям за последние годы? Поиск в PubMed с использованием ключевых слов QRS-T angle или QRST angle за период с января 2015 по январь 2020 г. позволил обнаружить 145 публикаций на эту тему. Для последующего анализа отобраны оригинальные работы, проведенные на достаточно больших группах (не менее 100 обследованных лиц). В связи с немалым объемом

материала в данном обзоре мы не касались проблем технического обеспечения, математического расчета показателей, исследований на моделях, а также вопросов педиатрии.

Результаты

Большая часть исследований по-прежнему посвящена прогностическому значению углов QRS-T в отношении общей смертности (12 работ), сердечно-сосудистой смертности (6 работ) и внезапной сердечной смерти – БСС (4 работы). Наметилась тенденция к более частому использованию фронтального (10 работ), а не пространственного (7 работ) угла QRS-T. При этом внимание исследователей в основном сконцентрировано на группах больных с тяжелыми формами патологии (острый коронарный синдром, хроническая сердечная недостаточность – ХСН, хроническая почечная недостаточность). В то же время некоторые исследования посвящены и такой прогностически благополучной группе, как лица среднего возраста без ССЗ.

Необходимо отметить, что используемые пороговые значения углов QRS-T по-прежнему значительно различались в разных исследованиях. Так, для пространственного угла QRS-T пороговые значения составляли от 59° (у женщин без внутрижелудочковых блокад) до 134° (у мужчин среднего возраста). Для фронтального угла QRS-T пороговые значения составляли от 20° (у пациентов с подозрением на инфаркт миокарда без подъема сегмента ST без других изменений ЭКГ) до 125° (у мужчин с ХСН).

Ситуация усложняется тем, что разные исследователи используют разные пороговые значения углов QRS-T не только в зависимости от пола, но и от наличия сопутствующих изменений ЭКГ, в первую очередь внутрижелудочковых блокад. А в исследовании K. Küick и соавт. разные пороговые значения получены при разных способах вычисления пространственного угла QRS-T [5].

Угол QRS-T и смертность

В табл. 1 представлены данные 17 исследований, посвященных прогностическому значению пространственного угла QRS-T и фронтального угла QRS-T.

Как видно из табл. 1, в большинстве исследований подтверждена связь увеличения угла QRS-T с ростом риска смерти. Эта тенденция не достигала уровня статистической значимости у мужчин с блокадой правой ножки пучка Гиса (БПНПГ) [6] и в ряде исследований у женщин [5, 10]. Однако следует подчеркнуть, что в исследованиях, включавших большее число участниц, связь пространственного угла QRS-T с общей смертностью у женщин статистически достоверна [6, 22]. На разницу в результатах могло также повлиять использование разных методов вычисления пространственного угла QRS-T.

Связь угла QRS-T с различными заболеваниями и состояниями

В последние годы исследователей интересовала связь угла QRS-T не только со смертностью, но и с более мягкими

Сведения об авторах:

Блинова Елена Валентиновна – к.м.н., науч. сотр. отд. новых методов диагностики Института клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова. ORCID: 0000-0001-8725-7084

Юрасова Елена Сергеевна – к.м.н., вед. науч. сотр. научно-экспертного отд. ORCID: 0000-0002-4640-5578

Контактная информация:

Сахнова Тамара Анатольевна – к.м.н., ст. науч. сотр. отд. новых методов диагностики, ст. науч. сотр. лаб. ЭКГ Института клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова. Тел.: +7(495)414-64-07, +7(916)247-83-92; e-mail: tamara-sahnova@mail.ru; ORCID: 0000-0002-5543-7184

Таблица 1. Исследования, посвященные прогностическому значению пространственного и фронтального углов QRS-T

Автор, год	Число лиц, период наблюдения	Группа	Угол QRS-T	Порог	Исходы	ОР/ОШ (95% ДИ)
Z. Zhang и соавт., 2015 [6]	15 408, 22 года	Популяционное многоцентровое проспективное исследование ARIC	sQRS-T	Без блокад 59° ж, 75° м БЛНПГ 95° ж, 91° м БЛНПГ: 142° ж, 125° м	Смертность	ОР без блокад 1,31 (1,20–1,44) ж; 1,14 (1,05–1, 24) м БЛНПГ 1,84 (1,10–3,08) ж; 1,26 (0,88–1,79) м БЛНПГ 3,01 (1,94–4,65) ж; 1,84 (1,41–2,41) м
M. Lingman и соавт., 2016 [7]	643, 30 мес	Пациенты с острым коронарным синдромом	sQRS-T	sQRS-Ti 112°, sQRS-Tm 123°	ВСС, сердечно-сосудистая смертность	ОШ ВСС: 2,00 (1,22–3,27) sQRS-Tm; 1,73 (1,12–2,68) sQRS-Tm Сердечно-сосудистая смертность 1,60 (1,10–2,33) sQRS-Tm; 1,44 (1,01–2,06) sQRS-Tm
L. Tere-shchenko и соавт., 2016 [8]	358, 865 челове-ко-лет	Пациенты на гемодиализе	sQRS-T	75°	Сердечно-сосудистая смертность, ВСС	ОР Сердечно-сосудистая смертность 2,99 (1,31–6,82) ВСС 4,52 (1,17–17,40)
S. Gleeson и соавт., 2017 [9]	295, 652 дня	Пациенты с ФВ ЛЖ 31–40%	sQRS-T	110°	Имплантация кардиовертера-дефибриллятора и смертность	ОР 3,4 (1,6–7,4)
K. Kück и соавт., 2018 [5]	6667, 12,7 года	Лица среднего возраста Inter99 General Population Study	sQRS-T	Kors, sQRS-Ti 108° м, 95° ж Kors, sQRS-Tm 101° м, 67° ж Dower, sQRS-Ti 128° м, 119° ж Dower, sQRS-Tm 123° м, 80° ж Rautaharju 134° м, 125° ж 97° ж, 117° м	Смертность	ОР Kors, sQRS-Ti 2,17 (1,38–3,43) м; 1,68 (0,93–3,05) ж Kors, sQRS-Tm 1,84 (1,13–3,01) м; 1,45 (0,78–2,69) ж Dower, sQRS-Ti 1,66 (1,00–2,79) м; 1,91 (1,07–3,39) ж Dower, sQRS-Tm 1,64 (0,98–2,74) м; 1,65 (0,91–3,00) ж Rautaharju 1,92 (1,16–3,17) м; 1,60 (0,86–2,96) ж
J. Lipponen и соавт., 2018 [10]	1751, 14 лет	Проспективное популяционное исследование Kuopio Ischaemic Heart Disease Risk Factor Study (KIHD)	sQRS-T		Смертность, сердечно-сосудистая смертность	ОР Смертность 1,42 (0,92–2,18) ж; 2,09 (1,49–2,94) м Сердечно-сосудистая смертность 2,47 (1,37–4,45) ж; 3,44 (2,21–5,36) м

Таблица 1. Исследования, посвященные прогностическому значению пространственного и фронтального углов *QRS-T* (Окончание)

Автор, год	Число лиц, период наблюдения	Группа	Угол <i>QRS-T</i>	Порог	Исходы	ОР/ОШ (95% ДИ)
S. Skamrardoni и соавт., 2019 [11]	178, 36 мес	Пациенты на гемодиализе	<i>sQRS-T</i>	100°	Смертность, сердечно-сосудистая смертность, сердечно-сосудистые события	ОР Сердечно-сосудистая смертность 3,506 (1,118–10,995) Сердечно-сосудистые события 1,902 (1,046–3,459)
S. Li и соавт., 2016 [12]	509, 34 мес	Пациенты с дилатационной кардиомиопатией	<i>fQRS-T</i>	90°	Смертность, сердечно-сосудистая смертность	ОР Смертность 2,5; <i>p</i> <0,05 Сердечно-сосудистая смертность 1,9; <i>p</i> <0,05
K. Chua и соавт., 2016 [13]	666 случаев, 863 «конт-роля»	Пациенты с ВСС	<i>fQRS-T</i>	90°	Риск ВСС	ОШ 2,2 (1,60–3,09)
O. May и соавт., 2017 [14]	178, 21,5 года	Пациенты с СД	<i>fQRS-T</i>	90°	Смертность	ОР 2,2 (1,3–3,8)
I. Gotsman, 2018 [15]	2929, 1526 дней	Пациенты с ХСН	<i>fQRS-T</i>	103° ж, 125° м; изменение больше, чем на 30°	Смертность	ОР 1,42 (1,18–1,71) Изменение <i>fQRS-T</i> ОР 1,52 (1,28–1,79)
T. Colluoglu и соавт., 2018 [16]	248	Пациенты с STEMI (после чрескожного коронарного вмешательства или тромболитической терапии)	<i>fQRS-T</i>	89,6°	Госпитальная смертность	ОШ 3,541 (1,235–10,154)
O. May и соавт., 2018 [17]	178, 21,5 года	Пациенты с СД	<i>fQRS-T</i>	73° м, 67° ж	Смертность	ОР 4,4 (2,5–7,9)
D. Lazzeroni и соавт., 2018 [18]	939, 48 мес	Пациенты после кардиохирургических вмешательств	<i>fQRS-T</i>	120°	Смертность, сердечно-сосудистая смертность	ОР Смертность 1,7 (1,1–2,6) Сердечно-сосудистая смертность 2,4 (1,3–4,4)
I. Strebел и соавт., 2019 [19]	2705, 2 года	Пациенты с подозрением на NSTEMI	<i>fQRS-T</i>	20° без других изменений ЭКГ; 50° БПНПГ, ГЛЖ; 100° БПВ, БПНПГ+БПВ, БЛНПГ	Смертность	ОР 1,32 (1,26–1,40) на каждые 10° увеличения
S. Kahraman и соавт., 2019 [20]	289, 24–28 мес	Пациенты с транскатетерной имплантацией аортального клапана при тяжелом симптоматичном аортальном стенозе	<i>fQRS-T</i>	90°	Смертность, госпитальная смертность	ОШ Смертность 1,015 (1,009–1,020) Госпитальная смертность 1,012 (1,004–1,019)
H. Terho и соавт., 2018 [21]	9511, 30 лет	Лица среднего возраста без известных ССЗ	<i>fQRS-T</i>	100°	ВСС	ОР 10 лет наблюдения 3,4 (1,37–8,44) 30 лет наблюдения 1,79 (1,08–2,95)

Примечание. ОР – отношение рисков, ОШ – отношение шансов, ДИ – доверительный интервал, ФВ – фракция выброса, БПВ – блокада передней ветви, *sQRS-T* – пространственный угол *QRS-T*, *sQRS-T_i* – пространственный угол между интегральными векторами *QRS* и *T*, *sQRS-T_m* – пространственный угол между максимальными векторами *QRS* и *T*, *fQRS-T* – фронтальный угол *QRS-T*. Здесь и в табл. 2: м – мужчины, ж – женщины.

Таблица 2. Исследования, посвященные связи угла QRS-T с различными заболеваниями и состояниями

Автор, год	Число лиц, период наблюдения	Группа	Угол QRS-T	Порог	Исходы	ОР/ОШ (95% ДИ)
S. Gleeson и соавт., 2017 [9]	295, 652 дня	ФВ ЛЖ 31–40%	sQRS-T	110°	Госпитализации из-за ХСН	ОР 4,1 (1,2–13,9)
S. Li и соавт., 2016 [12]	509, 34 мес	Пациенты с дилатационной кардиомиопатией	fQRS-T	90°	Госпитализации из-за ХСН	ОР 2,3; p<0,01
S. Chen и соавт., 2018 [23]	193, 5,7 года	Острый миокардит	fQRS-T	100°	ХСН, смерть от ХСН	ОР ХСН 3,20 (1,35–7,59) Смерть от ХСН 2,56 (1,14–5,75)
K. Fischer и соавт., 2020 [24]	587, 3,9 года	Пациенты с подозрением на миокардит	fQRS-T	90°	Смерть от всех причин, госпитализация по поводу ХСН, трансплантация сердца, документированная устойчивая желудочковая аритмия или рецидивирующий миокардит	ОР 1,01 (1,00–1,01)
J. Jensen и соавт., 2019 [25]	2540, 700,5 дня	Пациенты с БЛНПГ	fQRS-T	160°	ХСН	ОР 2,25 (1,26–4,02) в течение 30 дней 1,67 (1,25–2,23) после 30 дней
Z. Zhang и соавт., 2015 [6]	15 408, 22 года	Популяционное многоцентровое проспективное исследование ARIC	sQRS-T	Без блокад 59° ж, 75° м БЛНПГ 95° ж, 91° м БЛНПГ 142° ж, 125° м	Смерть от ИБС	ОР без блокад 2,00 (1,47–2,72) ж; 1,72 (1,39–2,13) м БЛНПГ 3,82 (1,18–12,4) ж; 1,96 (0,96–4,48) м БЛНПГ 15,9 (7,10–35,4) ж; 6,04 (3,92–9,31) м
Z. Zhang и соавт., 2017 [26]	9498, 9 лет	Популяционное многоцентровое проспективное исследование ARIC	sQRS-T fQRS-T	sQRS-T 114° (120° м, 104° ж) fQRS-T 63° (66° м, 61° ж)	«Немой» инфаркт миокарда	ОР fQRS-T 2,28 (1,58–3,29) sQRS-T 2,10 (1,44–3,06)
O. May и соавт., 2017 [14]	178, 21,5 года	Пациенты с СД	fQRS-T	90°	Инфаркт миокарда	ОР 2,95 (1,1–7,7)
A. Dogan и соавт., 2019 [27]	340	Пациенты с STEMI	fQRS-T	79,5°	Коронарная атеросклеротическая нагрузка (шкала SYNTAX \geq 23)	ОШ 3,088 (1,843–5,174)
S. Kahraman и соавт., 2019 [28]	197	Пациенты с изолированным стенозом передней нисходящей артерии	fQRS-T	63,5°	Фракционный резерв потока <0,80	ОШ 1,025 (1,010–1,041)
D. Cortez и соавт., 2016 [29]	100	Пациенты с ГКМП	sQRS-T	124°	Устойчивые желудочковые аритмии	ОШ 14,2 (3,1–65,6)

Таблица 2. Исследования, посвященные связи угла QRS-T с различными заболеваниями и состояниями (Окончание)

Автор, год	Число лиц, период наблюдения	Группа	Угол QRS-T	Порог	Исходы	ОР/ОШ (95% ДИ)
Н. Jogi и соавт., 2017 [30]	4282, 12,1 года	Проспективная популяционная когорта	fQRS-T	131° м, 104° ж	Фибрилляция предсердий	Увеличение на каждые 10° Увеличивает риск фибрилляция предсердий на 3% ОР 1,03 (1,01 – 1,05)
J. Pirinen и соавт., 2015 [31]	690	Пациенты с ишемическим инсультом в возрасте 15–49 лет	fQRS-T (1–14 дней после инсульта)	110°	Высокий риск кардиоэмболии	ОШ 8,29 (3,55–19,32)
Z. Tanriverdi и соавт., 2018 [32]	122	Больные АГ без ГЛЖ	fQRS-T		Статус «нон-диппера»	ОШ 1,037 (1,019–1,056)
D. Cortez и соавт., 2017 [33]	967 слу-чаев, 519 «конт-ролей»	Пациенты с ГКМП	sQRS-T	sQRS-Tm 82,6°; sQRS-Ti 77,2°	Наличие ГКМП	sQRS-Tm чувстви-тельность – 94%, специфичность – 97%, sQRS-Ti чувстви-тельность – 84%, специфичность – 91%
K. Fischer и соавт., 2020 [24]	587	Пациенты с подозрением на миокардит	fQRS-T	90°	Отсроченное конт-растирование при магнитно-резонанс-ной томографии	Чувствительность – 28%, специфичность – 82%
S. Mahipragad и соавт., 2019 [34]	4172, 3,2 года	Пожилые больные с высоким сердечно-сосудистым риском	sQRS-T		Снижение когнитивных способностей	Участники с более широким sQRS-T имели более резкое снижение когнитивных способностей в тесте кодирования букв и цифр ($\beta=-0,0106$; $p=0,004$), немедленном тесте «картинка–слово» ($\beta=-0,0049$; $p=0,001$) и отсроченном тесте «картинка–слово» ($\beta=-0,0055$; $p=0,013$)

Примечание. ГКМП – гипертрофическая кардиомиопатия.

конечными точками, и в этом отношении наибольшее внимание закономерно привлекали ИБС и ХСН.

В табл. 2 представлены данные 17 исследований, посвященных связи пространственного угла QRS-T (6 работ) и фронтального угла QRS-T (12 работ) с различными заболеваниями и состояниями (в одном исследовании изучались как пространственный, так и фронтальный углы QRS-T).

Механизмы увеличения угла QRS-T

Патофизиологические механизмы, отвечающие за увеличение угла QRS-T, не до конца ясны. Теоретически, если бы форма и длительность потенциалов действия являлись одинаковыми во всем миокарде желудочков, то зубец T стал бы зеркальным отражением комплекса QRS, и угол QRS-T стал бы равным 180°. Нормальные, невысокие, значения

угла QRS-T связаны с существованием различий в длительности потенциалов действия в разных слоях миокарда, а также в разных его областях (например, на верхушке сердца и у его основания). Причины существования этих различий в здоровом сердце остаются неясными. Предполагалось, что на скорость процесса реполяризации могут оказывать влияние градиенты давления в стенках желудочков. Изменение длительности потенциалов действия может быть также связано с биохимическими сдвигами и воздействием вегетативной иннервации.

Несмотря на большой интерес к прогностическому значению угла QRS-T, работ, посвященных изучению механизмов этого явления, мало. Продемонстрировано, что увеличение пространственного угла QRS-T у лиц обоего пола связано с наличием метаболического синдрома, количеством его компонентов, повышенным артериальным давлением

(АД) и повышенным уровнем глюкозы крови натощак, а у женщин также со снижением липопротеинов высокой плотности и абдоминальным ожирением (L. Delhey и соавт., 2020) [35].

При обследовании 111 пожарных (96% мужчин, средний возраст 44 года, 90% с увеличением ИМТ, 71% с АГ) выявлена слабая, но достоверная отрицательная корреляционная связь пространственного угла QRS-T с диастолическим АД после физической нагрузки (D. Dzikowicz и соавт., 2019) [36]. По мнению этих авторов, снижение диастолического АД после нагрузки может быть признаком плохой растяжимости желудочков.

При обследовании 140 лыжников (средний возраст 19,2±3,5 года, 66% мужчин) при учете возраста и уровня подготовки пространственный угол QRS-T больше у мужчин, чем у женщин. Увеличение пространственного угла QRS-T связано с наличием на ЭКГ вольтажных критериев гипертрофии правого желудочка, но не связано с вольтажными критериями ГЛЖ. Более высокие спортивные результаты связаны с более узким углом QRS-T. Каждые 10% ухудшения в процентиле скоростного спуска Международной федерации лыжников связаны с увеличением пространственного угла QRS-T на 2,1°; $p=0,013$ (J. Thomas и соавт., 2019) [37].

В мультиэтнической популяционной когорте увеличение как пространственного, так и фронтального угла QRS-T связано с более высоким индексом апноэ-гипопноэ (Y. Kwon и соавт., 2018) [38].

Независимые предикторы увеличения фронтального угла QRS-T у лиц с интактными коронарными артериями – корригированный интервал QT, АГ и увеличение диаметра ствола левой коронарной артерии (M. Gungor и соавт., 2017) [39], а у лиц с ожирением – ИМТ и масса миокарда ЛЖ (S. Kurisu и соавт., 2018) [40].

При анализе плоскостных углов QRS-T, полученных из 1-минутного фрагмента холтеровской ЭКГ, фронтальный угол QRS-T не отличался у лиц с наличием и отсутствием СД, но угол QRS-T в горизонтальной плоскости выше у больных СД (J. Chen и соавт., 2016) [41].

Использование угла QRS-T в комплексе с другими показателями в диагностических и прогностических шкалах

Как и предполагалось ранее, предприняты попытки использования угла QRS-T в комплексе с другими показателями в различных диагностических и прогностических шкалах. Такие исследования в первую очередь касались проблемы стратификации риска ВСС.

На базах данных 2 крупных исследований (Oregon Sudden Unexpected Death Study и Atherosclerosis Risk in Communities Study – ARIC) разработана и проверена шкала, которая наряду с фронтальным углом QRS-T (более 90°) включала такие показатели, как частота сердечных сокращений более 75 уд/мин, признаки ГЛЖ, переходная зона в отведении V5, QTc>450 мс у мужчин и выше 460 мс у женщин, интервал Трек-Тенд более 89 мс (A. Ago и соавт., 2017) [42]. При наличии 4 и более перечисленных изменений ЭКГ ОШ ВСС составляло 21,2 (95% ДИ 9,4–47,7; $p<0,001$), а в подгруппе с ФВ ЛЖ>35% ОШ ВСС – 26,1 (95% ДИ 9,9–68,5; $p<0,001$). Данная шкала оценки риска ВСС по сравнению с ФВ ЛЖ повысила С-статистику с 0,625 до 0,753 ($p<0,001$) с улучшением реклассификации на 0,319 ($p<0,001$). Шкала, разработанная на базе первого исследования (Oregon Sudden Unexpected Death Study), проверена на

базе исследования ARIC. При этом наличие 4 и более перечисленных изменений ЭКГ связано с увеличением риска ВСС в 4,84 раза (95% ДИ 2,34–9,99; $p<0,001$), достоверным улучшением реклассификации по сравнению с ФВ ЛЖ.

В другой работе использовалась шкала, в которую наряду с фронтальным углом QRS-T (более 100°) входили длительность QRS>110 мс; интервал QTc>440 мс у мужчин и выше 460 мс у женщин; признаки ГЛЖ по критерию Соколова–Лайона или по шкале Ромхилта–Эстеса; ранняя реполяризация в нижних или боковых отведениях с нисходящим или горизонтальным сегментом ST и инверсия зубца T≥1,0 мм в любых отведениях, кроме aVR. Наличие 2 и более изменений ЭКГ за 10 лет наблюдения связано с увеличением риска ВСС в 3,22 раза (95% ДИ 1,57–6,62; $p=0,001$). За 30 лет наблюдения риск ВСС возрастал в 2,97 раза (95% ДИ 2,09–4,20; $p<0,001$; H. Terho и соавт., 2018) [21].

При изучении вклада отдельных ЭКГ-показателей в окончательный результат оказалось, что угол QRS-T – самый сильный долгосрочный предиктор ВСС (площадь под ROC-кривой 0,710; 95% ДИ 0,668–0,753 для ЭКГ, зарегистрированной за 10 лет до ВСС; E. Perez-Alday и соавт., 2019) [43].

Предпринимались попытки использования угла QRS-T и для диагностики других состояний. У больных с подозрением на инфаркт миокарда без подъема сегмента ST учет значений фронтального угла QRS-T наряду с депрессией сегмента ST, инверсией зубца T и наличием БЛНПГ приводил к улучшению чувствительности с 45 до 78% ($p<0,001$) и специфичности с 86 до 91%; $p<0,001$ (I. Strebel и соавт., 2019) [19].

При диагностике ГЛЖ добавление ИМТ и пространственного угла QRS-T увеличивало чувствительность критерия Соколова–Лайона с 16 до 41% (при специфичности 90%) и чувствительность Корнельского произведения с 25 до 44% (при специфичности 90%); T. Elffers и соавт., 2019) [44].

В отечественной литературе проблема угла QRS-T пока не нашла широкого освещения. Поиск с аналогичными критериями в базе Российского индекса научного цитирования позволил обнаружить лишь работу А.В. Фролова и соавт., где пространственный угол QRS-T наряду с другими показателями использовался для вычисления так называемого интегрального индекса электрической нестабильности миокарда. Помимо угла QRS-T туда входили такие показатели, как микроальтернация зубца T, длительность и дисперсия интервала QT, фрагментация комплекса QRS, начало и наклон турбулентности сердечного ритма, а также индексы ускорения/торможения сердечного ритма. Предложенный индекс позволял с чувствительностью 75%, специфичностью 78% и прогностической точностью 77% среди больных с коронарной патологией и некоронарогенными заболеваниями миокарда выявлять пациентов с наличием жизнеугрожающих желудочковых тахикардий, подтверждением чего считали пароксизмы устойчивой ЖТ, обоснованные разряды ИКВД (имплантируемого кардиовертера-дефибриллятора), успешную сердечно-легочную реанимацию и документированную ВСС (А.В. Фролов и соавт., 2019) [45].

Угол QRS-T и другие показатели глобальной электрической гетерогенности миокарда

Концепция глобальной электрической гетерогенности миокарда основана на предложенном Ф. Уильсоном еще в 1930-е годы понятии электрокардиографического желу-

дочкового градиента (ЖГ), который определяется как вектор, характеризующий величину и направление наибольшей разницы в длительности процесса реполяризации в миокарде желудочков сердца. Вектор ЖГ направлен к зоне с наиболее короткой длительностью реполяризации. Считается, что глобальная электрическая гетерогенность отражает дисперсию длительности реполяризации в миокарде и является маркером существующего аритмогенного субстрата. В настоящее время для характеристики глобальной электрической гетерогенности миокарда кроме угла *QRS-T* применяются такие показатели, как величина ЖГ, направление (азимут и элевация) ЖГ и скалярный суммарный абсолютный интеграл *QRST*. Продемонстрировано, что показатели глобальной электрической гетерогенности миокарда связаны с риском ВСС после поправки на другие традиционные показатели ЭКГ и широкий спектр сердечно-сосудистых факторов риска. Показатели глобальной электрической гетерогенности миокарда слабо коррелируют между собой и с другими традиционными показателями ЭКГ (т.е. не дублируют друг друга) и поэтому представляются перспективными для включения в шкалы риска ВСС. Не так давно исследование геномной ассоциации выявило 10 локусов, связанных с показателями глобальной электрической гетерогенности миокарда (Л. Tereshchenko и соавт., 2018) [46]. Еще одной чертой этих показателей, делающей их привлекательными для внедрения в клиническую практику, является их хорошая воспроизводимость.

Скруплезное исследование связи показателей глобальной электрической гетерогенности миокарда и их изменений во времени со структурой и функцией сердца проведено на

базе данных исследования ARIC (Т. Biering-Sørensen, 2018) [47]. Наличие 4 патологических показателей глобальной электрической гетерогенности миокарда связано с уменьшением ФВ ЛЖ на 6,4%, увеличением индекса массы миокарда ЛЖ на 24,2 г/м², увеличением индекса конечно-диастолического объема ЛЖ на 10,3 мл/м² и индекса конечно-систолического объема ЛЖ на 7,8 мл/м². Эти взаимосвязи являлись наиболее сильными у больных с ССЗ. Лица, у которых причиной летального исхода стала ВСС, демонстрировали быстрое ухудшение показателей глобальной электрической гетерогенности миокарда, в то время как у больных с развившейся в итоге дисфункцией ЛЖ наблюдалось более медленное ухудшение этих показателей.

Заключение

Концепция угла *QRS-T* как показателя, отражающего глобальную электрическую гетерогенность миокарда, возникла давно, но только в последние годы интерес к нему начал неуклонно расти. К настоящему времени уже не вызывает сомнений, что этот показатель обладает прогностическим значением в отношении как общей смертности, так и развития целого ряда осложнений ССЗ. Тем не менее механизмы этого явления остаются не до конца ясными. Хочется надеяться, что дальнейшие исследования в данной области не только позволят внедрить угол *QRS-T* в шкалы стратификации риска, но и будут способствовать более глубокому пониманию патофизиологических механизмов, лежащих в основе ССЗ.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Kardys I, Kors JA, van der Meer IM, et al. Spatial QRS-T angle predicts cardiac death in a general population. *Eur Heart J*. 2003;24:1357-64.
- Сахнова Т.А., Блинова Е.В., Юрасова Е.С. Пространственный угол QRS-T и желудочковый градиент: диагностическое и прогностическое значение. *Кардиологический вестн.* 2017;2:70-5 [Sakhnova TA, Blinova EV, Yurasova ES. The spatial QRS-T angle and ventricular gradient: diagnostic and prognostic value. *Kardiologicheskii vestnik*. 2017;2:70-5 (In Russ.)].
- Zhang ZM, Prineas RJ, Case D, et al. Comparison of the prognostic significance of the electrocardiographic QRS/T angles in predicting incident coronary heart disease and total mortality (from the atherosclerosis risk in communities study). *Am J Cardiol*. 2007;100:844-9. doi: 10.1016/j.amjcard.2007.03.104
- Zhang X, Zhu Q, Zhu L, et al. Spatial/Frontal QRS-T Angle Predicts All-Cause Mortality and Cardiac Mortality: A Meta-Analysis. *PLoS One*. 2015;10(8):e0136174. doi: 10.1371/journal.pone.0136174
- Kück K, Isaksen JL, Graff C, et al. Spatial QRS-T angle variants for prediction of all-cause mortality. *J Electrocardiol*. 2018;51(5):768-75. doi: 10.1016/j.jelectrocard.2018.05.011
- Zhang ZM, Rautaharju PM, Prineas RJ, et al. A wide QRS/T angle in bundle branch blocks is associated with increased risk for coronary heart disease and all-cause mortality in the Atherosclerosis Risk in Communities (ARIC) Study. *J Electrocardiol*. 2015;48(4):672-7. doi: 10.1016/j.jelectrocard.2015.04.014
- Lingman M, Hartford M, Karlsson T, et al. Value of the QRS-T area angle in improving the prediction of sudden cardiac death after acute coronary syndromes. *Int J Cardiol*. 2016;218:1-11. doi: 10.1016/j.ijcard.2016.05.005
- Tereshchenko LG, Kim ED, Oehler A, et al. Electrophysiologic Substrate and Risk of Mortality in Incident Hemodialysis. *J Am Soc Nephrol*. 2016;27(11):3413-20. doi: 10.1681/ASN.2015080916
- Gleeson S, Liao YW, Dugo C, et al. ECG-derived spatial QRS-T angle is associated with ICD implantation, mortality and heart failure admissions in patients with LV systolic dysfunction. *PLoS One*. 2017;12(3):e0171069. doi: 10.1371/journal.pone.0171069
- Lipponen JA, Kurl S, Laukkanen JA. Global electrical heterogeneity as a predictor of cardiovascular mortality in men and women. *Europace*. 2018;20(11):1841-8. doi: 10.1093/europace/euy113
- Skampardonis S, Green D, Hnatkova K, et al. QRS-T Angle Predicts Cardiac Risk and Correlates With Global Longitudinal Strain in Prevalent Hemodialysis Patients. *Front Physiol*. 2019;10:145. doi: 10.3389/fphys.2019.00145
- Li SN, Zhang XL, Cai GL, et al. Prognostic Significance of Frontal QRS-T Angle in Patients with Idiopathic Dilated Cardiomyopathy. *Chin Med J (Engl)*. 2016;129(16):1904-11. doi: 10.4103/0366-6999.187844
- Chua KC, Teodorescu C, Reimier K, et al. Wide QRS-T Angle on the 12-Lead ECG as a Predictor of Sudden Death Beyond the LV Ejection Fraction. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2016;27(7):833-9. doi: 10.1111/jce.12989
- May O, Graversen CB, Johansen MØ, Arildsen H. A large frontal QRS-T angle is a strong predictor of the long-term risk of myocardial infarction and all-cause mortality in the diabetic population. *J Diabetes Complications*. 2017;31(3):551-5. doi: 10.1016/j.jdiacomp.2016.12.001
- Gotsman I, Shauer A, Elizur Y, et al. Temporal changes in electrocardiographic frontal QRS-T angle and survival in patients with heart failure. *PLoS One*. 2018;13(3):e0194520. doi: 10.1371/journal.pone.0194520
- Colluoglu T, Tanriverdi Z, Unal B, et al. The role of baseline and post-procedural frontal plane QRS-T angles for cardiac risk assessment in patients with acute STEMI. *Ann Noninvasive Electrocardiol*. 2018;23(5):e12558. doi: 10.1111/anec.12558
- May O, Graversen CB, Johansen MØ, Arildsen H. The prognostic value of the frontal QRS-T angle is comparable to cardiovascular autonomic neuropathy regarding long-term mortality in people with diabetes. A population based study. *Diabetes Res Clin Pract*. 2018;142:264-8. doi: 10.1016/j.diabetes.2018.05.018

18. Lazzeroni D, Bini M, Camaiora U, et al. Prognostic value of frontal QRS-T angle in patients undergoing myocardial revascularization or cardiac valve surgery. *J Electrocardiol.* 2018;51(6):967-72. doi: 10.1016/j.jelectrocard.2018.08.028
19. Strebel I, Twerenbold R, Wussler D, et al. Incremental diagnostic and prognostic value of the QRS-T angle, a 12-lead ECG marker quantifying heterogeneity of depolarization and repolarization, in patients with suspected non-ST-elevation myocardial infarction. *Int J Cardiol.* 2019;277:8-15. doi: 10.1016/j.ijcard.2018.09.040
20. Kahraman S, Yilmaz E, Demir AR, et al. The prognostic value of frontal QRS-T angle in patients undergoing transcatheter aortic valve implantation. *J Electrocardiol.* 2019;55:97-101. doi: 10.1016/j.jelectrocard.2019.05.003
21. Terho HK, Tikkanen JT, Kenttä TV, et al. Electrocardiogram as a predictor of sudden cardiac death in middle-aged subjects without a known cardiac disease. *Int J Cardiol Heart Vasc.* 2018;20:50-5. doi: 10.1016/j.ijcha.2018.08.002
22. Rautaharju PM, Kooperberg C, Larson JC, LaCroix A. Electrocardiographic predictors of incident congestive heart failure and all-cause mortality in postmenopausal women: The Women's Health Initiative. *Circulation.* 2006;113:481-9. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.105.537415
23. Chen S, Hoss S, Zeniou V, et al. Electrocardiographic Predictors of Morbidity and Mortality in Patients With Acute Myocarditis: The Importance of QRS-T Angle. *J Card Fail.* 2018;24(1):3-8. doi: 10.1016/j.cardfail.2017.11.001
24. Fischer K, Marggraf M, Stark AW, et al. Association of ECG parameters with late gadolinium enhancement and outcome in patients with clinical suspicion of acute or subacute myocarditis referred for CMR imaging. *PLoS One.* 2020;15(1):e0227134. doi: 10.1371/journal.pone.0227134
25. Jensen JR, Kragholm K, Bødker KW, et al. Association between T-wave discordance and the development of heart failure in left bundle branch block patients: Results from the Copenhagen ECG study. *J Electrocardiol.* 2019;52:39-45. doi: 10.1016/j.jelectrocard.2018.11.001
26. Zhang ZM, Rautaharju PM, Prineas RJ, et al. Electrocardiographic QRS-T angle and the risk of incident silent myocardial infarction in the Atherosclerosis Risk in Communities study. *J Electrocardiol.* 2017;50(5):661-6. doi: 10.1016/j.jelectrocard.2017.05.001
27. Dogan A, Kahraman S. Frontal QRS-T angle predicts coronary atherosclerotic burden in patients with ST segment elevation myocardial infarction. *J Electrocardiol.* 2019;58:155-9. doi: 10.1016/j.jelectrocard.2019.11.042
28. Kahraman S, Kalkan AK, Turkyilmaz AB, et al. Frontal QRS-T angle is related with hemodynamic significance of coronary artery stenosis in patients with single vessel disease. *Anatol J Cardiol.* 2019;22(4):194-201. doi: 10.14744/AnatolJCardiol.2019.99692
29. Cortez D, Graw S, Mestroni L. In Hypertrophic Cardiomyopathy, the Spatial Peaks QRS-T Angle Identifies Those With Sustained Ventricular Arrhythmias. *Clin Cardiol.* 2016;39(8):459-63. doi: 10.1002/clc.22549
30. Jogu HR, O'Neal WT, Broughton ST, et al. Frontal QRS-T Angle and the Risk of Atrial Fibrillation in the Elderly. *Ann Noninvasive Electrocardiol.* 2017;22(2). doi: 10.1111/anec.12388
31. Pirinen J, Putaala J, Aro AL, et al. Resting 12-lead electrocardiogram reveals high-risk sources of cardioembolism in young adult ischemic stroke. *Int J Cardiol.* 2015;198:196-200. doi: 10.1016/j.ijcard.2015.06.095
32. Tanriverdi Z, Unal B, Eyuboglu M, et al. The importance of frontal QRS-T angle for predicting non-dipper status in hypertensive patients without left ventricular hypertrophy. *Clin Exp Hypertens.* 2018;40(4):318-23. doi: 10.1080/10641963.2017.1377214
33. Cortez D, Schlegel TT, Ackerman MJ, Bos JM. ECG-derived spatial QRS-T angle is strongly associated with hypertrophic cardiomyopathy. *J Electrocardiol.* 2017;50(2):195-202. doi: 10.1016/j.jelectrocard.2016.10.001
34. Mahinrad S, Ferguson I, Macfarlane PW, et al. Spatial QRS-T Angle and Cognitive Decline in Older Subjects. *J Alzheimers Dis.* 2019;67(1):279-89. doi: 10.3233/JAD-180633
35. Delhey L, Jin J, Thapa S, et al. The association of metabolic syndrome and QRS/T angle in US adults (NHANES III). *Ann Noninvasive Electrocardiol.* 2020;25(1):e12678. doi: 10.1111/anec.12678
36. Dzikowicz DJ, Carey MG. Widened QRS-T Angle May Be a Measure of Poor Ventricular Stretch During Exercise Among On-duty Firefighters. *J Cardiovasc Nurs.* 2019;34(3):201-7. doi: 10.1097/JCN.0000000000000554
37. Thomas JA, Perez-Alday EA, Junell A, et al. Vectorcardiogram in athletes: The Sun Valley Ski Study. *Ann Noninvasive Electrocardiol.* 2019;24(3):e12614. doi: 10.1111/anec.12614
38. Kwon Y, Misialek JR, Duprez D, et al. Sleep-disordered breathing and electrocardiographic QRS-T angle: The MESA study. *Ann Noninvasive Electrocardiol.* 2018;23(6):e12579. doi: 10.1111/anec.12579
39. Gungor M, Celik M, Yalcinkaya E, et al. The Value of Frontal Planar QRS-T Angle in Patients without Angiographically Apparent Atherosclerosis. *Med Princ Pract.* 2017;26(2):125-31. doi: 10.1159/000453267
40. Kurisu S, Nitta K, Sumimoto Y, et al. Frontal QRS-T angle and World Health Organization classification for body mass index. *Int J Cardiol.* 2018;272:185-8. doi: 10.1016/j.ijcard.2018.08.060
41. Chen J, Lin Y, Yu J, et al. Changes of Virtual Planar QRS and T Vectors Derived from Holter in the Populations with and without Diabetes Mellitus. *Ann Noninvasive Electrocardiol.* 2016;21(1):69-81. doi: 10.1111/anec.12276
42. Aro AL, Reinier K, Rusinaru C, et al. Electrical risk score beyond the left ventricular ejection fraction: prediction of sudden cardiac death in the Oregon Sudden Unexpected Death Study and the Atherosclerosis Risk in Communities Study. *Eur Heart J.* 2017;38(40):3017-25. doi: 10.1093/eurheartj/ehx331
43. Perez-Alday EA, Bender A, German D, et al. Dynamic predictive accuracy of electrocardiographic biomarkers of sudden cardiac death within a survival framework: the Atherosclerosis Risk in Communities (ARIC) study. *BMC Cardiovasc Disord.* 2019;19(1):255. doi: 10.1186/s12872-019-1234-9
44. Elffers TW, Trompet S, de Mutsert R, et al. Electrocardiographic Detection of Left Ventricular Hypertrophy: Adding Body Mass Index and Spatial QRS-T Angle: A Cross-Sectional Study. *Cardiol Ther.* 2019;8(2):345-56. doi: 10.1007/s40119-019-00151-9
45. Фролов А.В., Вайханская Т.Г., Мельникова О.П. и др. Индекс электрической нестабильности миокарда: клиническое и прогностическое значение. *Рос. кардиологический журн.* 2019;24(12):55-61 [Frolov AV, Vaykhanskaya TG, Melnikova OP, et al. Myocardial electrical instability score: clinical and prognostic significance. *Rossiyskiy kardiologicheskiy zhurnal.* 2019;24(12):55-61 (In Russ.)]. doi: 10.15829/1560-4071-2019-12-55-61
46. Tereshchenko LG, Sotoodehnia N, Sitlani CM, et al. Genome-Wide Associations of Global Electrical Heterogeneity ECG Phenotype: The ARIC (Atherosclerosis Risk in Communities) Study and CHS (Cardiovascular Health Study). *J Am Heart Assoc.* 2018;7(8). pii: e008160. doi: 10.1161/JAHA.117.008160
47. Biering-Sørensen T, Kabir M, Waks JW, et al. Global ECG Measures and Cardiac Structure and Function: The ARIC Study (Atherosclerosis Risk in Communities). *Circ Arrhythm Electrophysiol.* 2018;11(3):e005961. doi: 10.1161/CIRCEP.117.005961

Поступила 25.05.2020