

Устойчивость пространственного угла QRS-T векторкардиограммы к влиянию фильтрации сигнала: пилотное исследование

М. Э. Гасанова, Д. В. Дроздов, И. Л. Козловская, Е. Ш. Кожемякина

ФГБУ «НМИЦК им. Академика Е. И. Чазова» МЗ РФ

РЕЗЮМЕ

Цель: оценить устойчивость пространственного угла QRS-T к воздействию фильтра низких частот.

Материалы и методы: В исследование были включены векторкардиограммы (ВКГ) в системе отведений Франка в пересчете по матрице Беммеля, синтезированные с помощью разработанного в лаборатории ЭКГ автоматического алгоритма из электрокардиограмм (ЭКГ-12), зарегистрированных у 53 пациентов 28–80 лет с синусовой нормокардией, случайным образом отобранных из базы данных НМИК им. ака. Е. И. Чазова. Были сопоставлены величины амплитуд зубцов P, Q, R, S, T, а также пространственного угла QRS-T, полученные при включении различных режимов фильтрации (70 Гц, 40 Гц, 30 Гц) и при ее отсутствии.

Результаты: включение всех вариантов фильтров низких частот (ФНЧ) приводило к уменьшению амплитуды зубцов комплекса QRS но не оказывало значимого влияния на величину пространственного угла QRS-T.

Заключение: была разработана и апробирована методика статистической оценки устойчивости показателей ЭКГ и ВКГ к воздействию одного из методов обработки сигналов — фильтрации; подтверждена выдвинутая гипотеза об устойчивости к фильтрации пространственного угла QRS-T, являющегося одним из интегральных показателей электрической гетерогенности миокарда и значимым маркером и предиктором сердечно-сосудистых осложнений. Пространственный угол QRS-T является перспективным показателем для разработки алгоритмов автоматизированного анализа ЭКГ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ЭКГ покоя, синтезированная ВКГ, пространственный угол QRS-T, фильтрация, обработка сигнала.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов. Исследование проведено в рамках научно-исследовательской работы по Государственному заданию Министерства Здравоохранения РФ, регистрационный номер 121030900367–2.

Sustainability of spatial QRS-T angle of vectorcardiogram to filtration: a pilot study

M. E. Gasanova, D. V. Drozdov, I. L. Kozlovskaya, E. Sh. Kozhemyakina

E. I. Chazov National Medical Research Center for Cardiology

SUMMARY

Objective: to evaluate sustainability of spatial QRS-T angle of vectorcardiogram to filtration.

Materials and methods: Vectorcardiographic records in Frank lead system obtained from 53 randomly included patients with sinus normocardia (28–80 years) were synthesized by means of special algorithm developed in our laboratory based on Bemmel's matrix. The changes in P, Q, R, S, T amplitudes and in the values of spatial QRS-T angle were analysed at different modes of filtering (70 Hz, 40 Hz, 30 Hz) and without filtering.

Results: all of the filtration modes studied diminished the amplitudes of ventricular complex components while no significant changes in the values of spatial QRS-T angle were observed.

Conclusion: a new methodology for ECG and VCG parameters sustainability to signal processing (filtration) was developed and tested; the hypothesis about sustainability of spatial QRS-T angle of vectorcardiogram to filtration was approved. Taking into account that spatial QRS-T angle is known as a strong predictor of cardiac diseases, it seems perspective to be implemented in automatic ECG analysis algorithms.

KEY WORDS: rest ECG, synthesized VCG, spatial QRS-T angle, filtration, signal processing.

CONFLICT OF INTEREST: the study was supported by the state assignment of the Russian Ministry of Health (registration number № AAAA-A20-120092490042–7).

ИЗВЕСТНО, что фильтрация сигнала влияет на амплитуду отдельных элементов электрокардиограммы (ЭКГ). При включении фильтров, ограничивающих высокие частоты (low-pass filter, ФНЧ), происходит уменьшение амплитуды зубцов Q, R, S относительно нефильтрованного сигнала [1]. Влияние фильтрации на векторкардиограмму (ВКГ) исследовано мало [2–4].

Учитывая возможное искажение результатов анализа ЭКГ и ВКГ, обусловленное применением фильтров, разработка и поиск показателей, устойчивых к такому воздействию, представляется актуальной задачей. Логично предположить, что наиболее перспективным в этом отношении может быть подход, основанный на изучении

параметров, не связанных с измерением и оценкой амплитудных значений.

С этой точки зрения, интерес представляет векторкардиографический пространственный угол QRS-T, рассматриваемый как интегральный показатель электрической гетерогенности миокарда [5]. Доказана связь пространственного и фронтального угла QRS-T с риском смерти в общей популяции и среди пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями, а также с такими конечными точками, как развитие инфаркта миокарда, жизнеугрожающие желудочковые нарушения сердечного ритма, фибрилляция предсердий и кардиоэмболические осложнения, декомпенсация хронической сердечной недостаточности [6, 7]. Кроме того, в ходе исследований, проведенных

в лаборатории ЭКГ ФГБУ «НМИЦК им. ак. Е. И. Чазова», была показана связь величины пространственного угла QRS-T с тяжестью течения артериальной гипертензии [8, 9], легочной гипертензии [10] и острого коронарного синдрома [11].

В настоящем исследовании проверялась гипотеза о том, что пространственный угол QRS-T ВКГ, рассматриваемый как один из интегральных показателей электрической гетерогенности миокарда, устойчив к традиционно используемой при анализе ЭКГ фильтрации сигнала, т. е. несущественно меняется при применении ФНЧ к сигналу. Для проверки этой гипотезы была разработана и апробирована методика оценки устойчивости параметров ВКГ к воздействию ФНЧ.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материал исследования составили 53 ВКГ пациентов в возрасте от 28 до 80 лет (средний возраст 55,5 у, стандартное отклонение 14,4 года), 23 мужчины и 30 женщин. Пациенты были выбраны случайным образом из имевшейся базы ЭКГ данных. Для данного исследования нозологическая принадлежность рассматривалась как несущественная. Для уменьшения влияния нестабильности формы ЭКГ вследствие нарушений сердечного ритма были подобраны пациенты с синусовым ритмом, без выраженной брадикардии и тахикардии.

ЭКГ регистрировалась в положении лежа, на свободном дыхании, при стандартизированной установке электродов в 12 общепринятых отведениях в модульной системе для регистрации и дистанционной передачи ЭКГ «EASY ECG» (ООО «АТЕС МЕДИКА софт», Россия). Частота дискретизации сигнала 500 Гц, разрешение по амплитуде приблизительно 0,5 мкВ/разряд. При регистрации ЭКГ все фильтры были отключены (эффективная полоса пропускания от 0,05 до 150 Гц). ЭКГ регистрировалась в автоматическом режиме продолжительностью 10 с. Затем средствами программного обеспечения из ЭКГ–12 формировалась ВКГ в системе отведений Франка (матрица пересчета Vemmel) с инвертированным отведением Z [12].

Особенностью использованного программного обеспечения является проведение измерений на усредненном кардиокомплексе, который строится автоматически. Данная установка не изменялась. После проверки правильности автоматической установки на усредненном кардиокомплексе меток начала и окончания зубцов ЭКГ с коррекцией их положения (одномоментно по ЭКГ в 12 отведениях и ВКГ) фиксировались результаты автоматического измерения амплитуд зубцов P, Q, R, S, T отдельно в каждом из отведений ВКГ X, Y, Z с точностью 0,01 мВ. Пространственный угол QRST по ВКГ с точностью до целых градусов также определялся встроенными средствами программного обеспечения системы.

Затем из интерфейса программного обеспечения последовательно включались реализованные в нем фильтры ФНЧ с частотами среза 70, 40 и 30 Гц. Для каждой из этих частот среза также фиксировались амплитуды зубцов P, Q, R, S, T отдельно в каждом из отведений ВКГ X, Y, Z и величина пространственного угла QRS-T. Таким об-

разом, массив данных для анализа составил по 4 набора измерений для каждой из 53 ВКГ.

Подготовка массива данных для дальнейшей обработки и анализа велась в электронной таблице MS Excel. Статистический анализ и визуализация данных проводились с использованием языка R (версия 4.2.1) в среде RStudio (версия 2022.07.1) и необходимых пакетов анализа данных [13, 14]. Детально использованные статистические процедуры описаны в разделе Результаты.

Для уменьшения размерности обрабатываемых данных для каждого из зубцов P, Q, R, S, T рассчитывалась его интегральная амплитуда как квадратный корень из суммы квадратов амплитуд зубцов в отведениях X, Y и Z. В дальнейшем изложении индексы F_off, F_70, F_40 и F_30 обозначают величину соответствующего зубца или пространственного угла при отсутствии фильтрации (F_off) сигнала и при использовании трех видов фильтров, частота среза которых отражена в индексе.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На этапе разведочного анализа данных были построены графики зависимости амплитуд зубцов P, Q, R, S, T и угла QRS-T от установленного фильтра. Для построения графиков использовался пакет ggplot2 (версия 3.3.6) [15, 16]. Графики для всех шести изученных переменных приведены на рис. 1. По оси абсцисс — категориальная переменная фильтр, по оси ординат — результаты соответствующих измерений, линии — результаты отдельных пациентов, название оцениваемых переменных приведены над графиками.

В результате разведочного анализа сделан вывод, что включение всех вариантов ФНЧ уменьшало амплитуды зубцов комплекса QRS, в наибольшей степени — R и S, что соответствует данным литературы, и фактически не влияло на величину угла QRS-T. Для подтверждения этого наблюдения был проведен углубленный анализ полученных данных.

Проверка на нормальность распределения переменных (критерий Шапиро-Уилка) показала, что при всех вариантах фильтрации все выборки имеют нормальное распределение, за исключением суммарного вектора зубца Q. Отсутствие нормальности распределения этого показателя обусловлено, наиболее вероятно, значительным числом нулевых значений, т. е. отсутствием зубца Q, что наблюдалось в 18 случаях из 53 (рис. 2).

Для оценки значимости влияния фильтров на исследуемые параметры был применен парный критерий Стьюдента [15]. Значения вероятностей нулевой гипотезы об отсутствии различий для критерия Стьюдента приведены в табл. 1.

Отдельного обсуждения требует оценка разницы показателей пространственного угла QRS-T до и после обработки ФНЧ. Наблюдавшееся в нашем исследовании распределение разниц между измеренными значениями угла QRS-T оказалось характерным для дискретных распределений (рис. 3) с резким преобладанием нулевых значений и с небольшой долей значений ± 1 , при единичных отклонениях

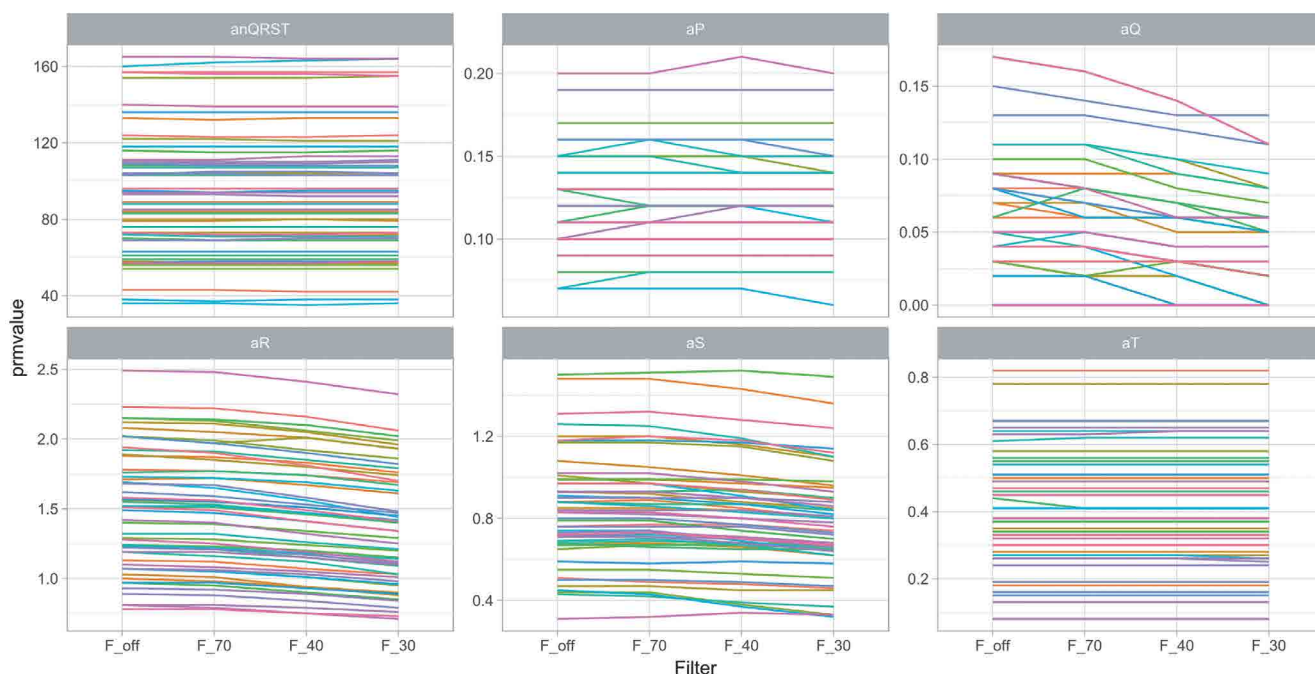


Рисунок 1. Зависимости изучаемых переменных от установленных параметров ФНЧ. Объяснения в тексте

в два и более градусов. Поэтому использование парного критерия Стьюдента некорректно для этого показателя, необходимо использовать более адекватные для таких видов распределений. Однако расчеты были проведены и их результаты представлены в табл. 1.

Одним из вариантов может быть использование критерия Вилкоксона, который не накладывает существенных ограничений на вид распределения разниц в парных тестах. Значения $pH0$ об отсутствии различий приведено в табл. 1. Можно сделать вывод об отсутствии влияния ФНЧ на результат измерения угла QRS-T для всех 3 видов фильтров. Однако, из-за наличия повторяющихся значений и нулевых разниц, точная оценка $pH0$ этим методом невозможна. Хотя, с учетом полученных вели-

чин $pH0$, поправки на указанные ограничения не должны изменить оценку в целом.

Существенным моментом при анализе изменений угла QRST является его дискретность 1 градус. Исходя из этого, изменения угла QRST в ± 1 градус могут рассматриваться, например, как проявление округления в программном обеспечении при многоступенчатой обработке сигнала. Так, нам не известно, применяется ли фильтрация к исходной ЭКГ или к уже синтезированной ВКГ, потенциально это может вести к различным результатам для одинаковых исходных данных при финальном округлении результата для вывода в интерфейс пользователя. С учетом этого, отклонения в ± 1 градус могут рассматриваться как несущественные или допустимые, а отклонения более, чем на 1 градус можно определить как существенные.

Исходя из этого, нами была подсчитаны числа допустимых и существенных изменений величины угла QRS-T при воздействии ФНЧ на ВКГ. Результаты представлены в табл. 2. При статистическом анализе использовался точный биномиальный тест в его одностороннем варианте и гипотетической вероятности доли допустимых изменений, не менее 0,95 (не менее 95% результатов должны быть допустимыми). Это корректно, поскольку измерения для каждой отдельной ЭКГ независимы от других (выполняется условие эксперимента Бернулли) [16]. Значение вероятности $pH0$

Рисунок 2. Значения амплитуды зубца Q в выборке без фильтрации (исходные данные для сравнений). Каждая точка — одно наблюдение

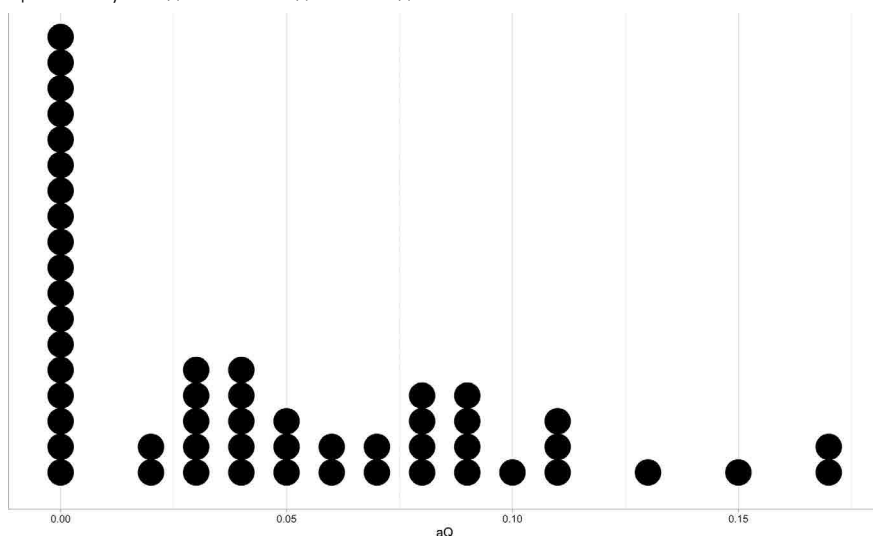


Таблица 1
Вероятность принятия нулевой гипотезы pH_0 об отсутствии разницы показателей между нефльтрованной ВКГ и ВКГ, обработанных ФНЧ (парный критерий Стьюдента, если не отмечено иное)

Показатель	F_70	F_40	F_30
Амплитуда P	0,1822	0,3219	0,5687
Амплитуда Q	0,0091	6,126 е-08	1,176 е-08
Амплитуда R	9,156 е-12	< 2,2 е-16	< 2,2 е-16
Амплитуда S	0,3367	9,746 е-09	1,439 е-15
Амплитуда T	0,5322	0,7662	0,4106
Угол QRS-T	0,0599	0,2536	1
Угол QRS-T, критерий Вилкоксона	0,224	0,3895	0,663

Примечание: выделены значения pH_0 ниже порога статистической значимости, принятой в исследовании (0,05).

приведены в табл. 2. Полученные результаты во всех случаях воздействия фильтров позволяют принять нулевую гипотезу.

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные нами результаты подтверждают выдвинутую гипотезу об устойчивости пространственного угла QRS-T синтезированной ВКГ к воздействию ФНЧ, что согласуется с имеющимися литературными данными.

Так, в исследовании Guldenring D соавт. (726 пациентов, в том числе 229 здоровых добровольцев, 265 с очагово-рубцовыми изменениями миокарда и 232 с гипертрофией левого желудочка), изучалось влияние ФНЧ с верхней границей полосы пропускания 40 Гц, применяемого при мониторингировании ЭКГ, на величину пространственного угла QRS-T; при сопоставлении измерений, полученных при регистрации ВКГ по Франку в двух режимах фильтрации (при 40 Гц и при стандартной для ЭКГ покоя с верхней границей полосы пропускания 150 Гц), значимых различий выявлено не было [17]. В другом исследовании (181 пациент) этой же группы авторов было показано отсутствие существенных различий в значениях угла QRS-T синтезированной ВКГ, определенных при стандартной нижней границе полосы пропускания (0,05 Гц) и при включении фильтра высоких частот (ФВЧ) с частотой среза 0,67 Гц [18]. Были исследованы ФВЧ с нелинейной и линейной фазовыми характеристиками.

Существенным методическим вопросом является полнота диапазонов вариации исследованных параметров, поскольку надежные выводы могут быть сделаны лишь для достаточно репрезентативного диапазона значений исследуемых величин. У здоровых лиц величина пространственного угла QRS-T по данным литературы чаще всего лежит в диапазоне 0–60 градусов [19].

В числе первых исследователей, изучавших нормальные значения

пространственного угла QRS-T, были Pipberger HV с соавт. (1958–1967) [20–22]. Были проанализированы ВКГ, зарегистрированные в системе отведений Франка у 518 мужчин 21–78 лет без явной кардиальной патологии; верхняя граница нормы пространственного угла QRS-T была определена как 105°.

Scherptong R с соавт. оценивали нормальные показатели угла QRS-T синтезированных ВКГ, полученных путем пересчета ЭКГ 660 здоровых студентов Лейденского Университета 18–29 лет, с помощью обратной матрицы Дауэра [23]. Нормальный

диапазон значений угла QRS-T в этой работе составил 20°–116° для девушек и 30°–130° для юношей.

Пороговые значения пространственного угла QRS-T, ассоциирующиеся с увеличением риска развития осложнений, установленные в ряде крупных по численности наблюдений исследований, приведены в табл. 3.

В литературе отмечается, что на величину пространственного угла QRS-T оказывают влияние: пол, возраст, расовая принадлежность, частота сердечных сокращений, анатомические особенности и расположение сердца в грудной клетке, рост и масса тела пациента, а также тип системы отведений и алгоритм вычисления ВКГ из ЭКГ покоя. Значения угла QRS-T у здоровых женщин меньше, чем у мужчин. Угол QRS-T увеличиваются по мере старения как у женщин, так и у мужчин. Увеличение угла QRS-T также ассоциировано с наличием сердечно-сосудистых заболеваний, а также повышенным риском осложнений и смерти [28].

Cortez DL и Schlegel TT сопоставили величины пространственного угла QRS-T, полученные при анализе ВКГ, полученных с применением различных видов преобразований [29]. Вычисления, основанные на матрице Дауэра, соответствовали более высоким значениям QRS-T (66°–81°), по сравнению с другими способами

Рисунок 3. Распределение разниц пространственного угла QRS-T для ВКГ, не обработанной и обработанной тремя видами ФНЧ. По оси абсцисс — величина разниц, по оси ординат — число наблюдений с данной разницей, цвет — вид ФНЧ.

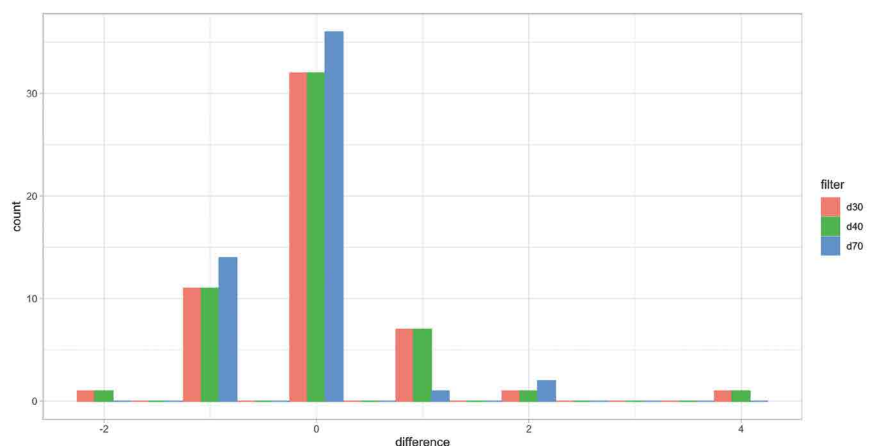


Таблица 2
Число допустимых и существенных изменений величины угла QRST при воздействии ФНЧ, а также рН0 различий

Показатель	F_70	F_40	F_30
Число допустимых (0,—1, +1) изменений	51	50	50
Число существенных изменений	2	3	3
p	0,75	0,4982	0,4982

пересчета (по Корсу — 44°–65°), а также по сравнению с показателями, определенными непосредственно из ВКГ, зарегистрированной в ортогональной системе отведений Франка (35°–51°).

Наши данные получены для величин пространственного угла QRS-T в диапазоне от 35 до 165 градусов (среднее 94,6, стандартное отклонение 32,5 градусов). Данный

диапазон охватывает как нормальные значения, так и повышенные, характерные для пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями. Это отражает особенности выборки, полученной в кардиологическом стационаре. Существенно, что мы использовали один и тот же метод формирования ВКГ из ЭКГ и регистрацию всех сигналов на одинаковом оборудовании, что исключает

необходимость учета возможного влияния таких факторов, как алгоритм расчета и аппаратные погрешности регистрации сигналов. Точность определения пространственного угла QRS-T зависит от корректного определения меток ЭКГ-интервалов, соответствующих началу и окончанию деполяризации [30]. С учетом этого представляет ин-

Таблица 3
Значения пространственного угла QRS-T, ассоциирующиеся с увеличением риска развития сердечно-сосудистых осложнений (по данным популяционных исследований)

Автор, исследование, год	Клиническая характеристика материала	Пороговые значения пространственного угла QRS-T, °	Конечные точки, ОР/ОШ (95% ДИ)
Kardys I, 2003 [24] Prospective population-based Rotterdam Study	Общая популяция м и ж N=6134 Возраст: >55 лет Продолжительность наблюдения: 6,7 лет	105–135 С поправкой на клинические факторы риска	Общая смертность 1.4 (1.2–1.7) ВСС 1.9 (1.1–1.3) Нефатальные события (ИМ, реваскуляризация, ЗСН) 0.9 (0.6–1.3)
		135–180 С поправкой на клинические и ЭКГ-факторы риска	Фатальные события: — смерть от ИМ 2,1 (1,0–4,5) — смерть вследствие СН 4,5 (2,3–8,6) — ВСС 4,4 (2,8–6,9) — Общая смертность 1,8 (1,5–2,2)
Yamazaki T, 2005 [25]	Госпитализированные и амбулаторные пациенты Медицинского Центра Станфордского Университета и Клиник системы Veterans Affairs М и Ж N=46573 Возраст: >55 лет Продолжительность наблюдения: 6,0 лет	100–180 С поправкой на клинические и ЭКГ-факторы риска (БЛНПГ, БПНПГ, НЗВЖП, ГЛЖ, патологические Q, изменения ST)	ССС 2,4 (2,2–2,7)
Rautaharju PM, 2006 [26], Women's Health Initiative (WHI) study	38283 женщины Возраст: 62 года Продолжительность наблюдения: 9,2 лет	57–96	Нефатальные события: — ХСН 1.5 (1.2–1.9) — ИБС 1.21 (1.0–1.46) Смертность: — ХСН 1.2 (1.1–1.4) — ИМ 1.2 (0.8–1.9)
		≥ 97	Нефатальные события: — ХСН 1.95 (1.4–2.7) — ИБС 1.7 (1.32–2.2) Смертность: — ХСН 1.4 (1.07–1.7) — ИМ 2.1 (1.3–3.6)
Zhang Z и соавт., 2017 [27] Популяционное многоцентровое проспективное исследование ARIC	9498 м и ж Возраст: 45–64 года Продолжительность наблюдения: 9,0 лет	120° м, 104° ж	«Немой» инфаркт миокарда 2,10 (1,44–3,06)

Примечание. ОР — отношение рисков, ОШ — отношение шансов, ДИ — доверительный интервал, ФВ — фракция выброса, БПНПГ — блокада правой ножки пучка Гиса, БЛНПГ — блокада левой ножки пучка Гиса, НЗВЖП — неспецифическое замедление внутрижелудочкового проведения, ГЛЖ — гипертрофия левого желудочка, БПВ — блокада передней ветви, м — мужчины, ж — женщины, ИБС — ишемическая болезнь сердца, ИМ — инфаркт миокарда, ЗСН — застойная сердечная недостаточность, ССС — сердечно-сосудистая смертность.

интерес относительно недавно предложенный алгоритм, основанный на определении координат начала векторов QRS и T не в начале и конце желудочкового комплекса и зубца T, а на коротких интервалах, предшествующих названным точкам. Было показано, что это позволяет избежать неправильного измерения пространственного угла QRS-T даже при погрешностях в установке маркеров ЭКГ-интервалов. Валидация алгоритма производилась на популяции Биобанка Великобритании (35501 ЭКГ продолжительностью 10 с) [31]. Поскольку наши данные были получены без каких-либо корректировок положения меток характерных точек ЭКГ, то мы считаем влияние этого фактора несущественным.

Резюмируя, можно констатировать, что наши наблюдения свидетельствуют, что пространственный угол QRS-T не подвержен влиянию фильтрации ВКГ, полученной из ЭКГ покоя, всеми исследованными реализациями ФНЧ с частотами среза 70, 40 и 30 Гц. При этом мы рассмотрели и обсудили известные по литературе факторы, которые могут поставить под сомнение данное утверждение. Разработанный нами метод оценки устойчивости параметров ЭКГ к фильтрации может быть применен и для анализа других параметров.

Выводы

Разработана методика статистической оценки устойчивости показателей ЭКГ и ВКГ к воздействию методов обработки сигналов, например, фильтрации. Основными шагами определения устойчивости конкретного параметра являются:

вычисление разниц между величинами параметра необработанного сигнала и всех вариантов его обработки; определение и обоснование границ «допустимого» или «ожидаемого» случайного изменения параметра, которое может быть связано с неодинаковостью условий получения необработанного и обработанных сигналов;

определение чисел и частот «допустимых» и недопустимых изменений параметров в выборке и применение биномиального теста к полученному распределению результатов, на основании чего делается вывод об устойчивости или неустойчивости изученного параметра к изученным воздействиям.

Угол QRS-T ВКГ устойчив к влиянию всех исследованных реализаций фильтров нижних частот, в то время как амплитудные показатели зубцов комплекса QRS, существенно уменьшались под воздействием фильтров. Зубцы P и T не показывали столь явной динамики, что, очевидно, обусловлено их более плавным нарастанием и спадом по сравнению с комплексом QRS. По-видимому, этот вывод можно распространить вообще на все ФНЧ.

Пространственный угол QRS-T, ввиду своей устойчивости к фильтрации сигнала, может оказаться хорошей основой для автоматической диагностики ЭКГ, не накладывающей существенных ограничений на качество исходного сигнала ЭКГ. Кроме того, представляется целесообразным оценить устойчивость других показателей электрической гетерогенности миокарда, например, пространственного желудочкового градиента и т.п.

Вклад авторов

Дроздов Д. В.: разработка дизайна исследования, проведение статистического анализа данных, подготовка всех разделов рукописи

Козловская И. Л.: обзор литературы, подготовка рукописи к печати

Гасанова М. Э., Кожемякина Е. Ш.: сбор и подготовка первичного материала, подготовка данных для обработки.

Список литературы / References:

1. Smulyan H. The computerized ECG: friend and foe. *American journal of medicine*. 2019 (132): 153–160.
2. Recommendations for the standardization and interpretation of the electrocardiogram: part I: the electrocardiogram and its technology 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. *Journal of the American College of Cardiology*. 2007;49:10: 1109–1127.
3. Martinek R, Ladrova M, Sidikova M et al. Advanced Bioelectrical Signal Processing Methods: Past, Present and Future Approach — Part I: Cardiac Signals. *Sensors (Basel)*. 2021(15): 5186–5192. doi: 10.3390/s21155186
4. Дроздов Д. В. Неочевидные причины диагностических ошибок в электрокардиографии. М., «Медика», 2014 г., 214 с.
5. Drozdov D. V. Neoevidnye prichiny diagnosticheskikh oshibok v elektrokardiografii. [Unobvious sources of diagnostic errors in electrocardiography]. Moscow. "Medica", 2014, 214 p.
6. Блинова Е. В., Сахнова Т. А., Юрасова Е. С. Диагностическое и прогностическое значение угла QRS-T // *Терапевтический архив*. 2020; 9: 85–93.
7. Блинова Е. В., Сахнова Т. А., Юрасова Е. С. Diagnosticheskoe i prognosticheskoe znachenie ugla QRS-T [Diagnostic and prognostic value of QRS-T angle]. *Terapevticheskui archiv [Clinical therapeutics]*. 2020, 9:85–93 p
8. Фролов А. В. Пространственный угол QRS-T в оценке риска жизнеугрожающих аритмических событий. *Кардиология в Беларуси*. 2020; 5:620–628
9. Frolov A. V. Prostranstvennyi ugol QRS-T v ocenke riska zhizneugrozhayuschich aritmicheskikh sobytii [Spatial QRS-T angle in risk-evaluation of life-threatening arrhythmic events]. *Kardiologiya Belarusi*. 2020;5:620–628.
10. Сахнова Т. А., Блинова Е. В., Саидова М. А. Значение пространственного угла QRS-T для оценки тяжести поражения сердца у больных артериальной гипертензией. *Кардиология*. 2021;11: 49–56.
11. Sakhnova T. A., Blinova E. V., Saidova M. A. Znachenie prostranstvennogo ugla QRS-T dlya ocenki tyazhesti porazheniya serdtsa u bolnykh arterialnoi gipertoniei [The value of spatial QRS-T angle as a marker of heart injury in arterial hypertension]. 2021;11:49–56.
12. Блинова Е. В., Сахнова Т. А., Юрасова Е. С. Пространственный угол QRS-T как показатель тяжести поражения сердца у больных артериальной гипертензией. *Российский кардиологический журнал*. 2021;6: 17–17.
13. Blinova E. V., Sakhnova T. A., Yurasova E. S. Prostranstvennyi ugol QRS-T kak pokazatel tyazhesti porazheniya serdtsa u bolnykh arterialnoi gipertoniei [Spatial QRS-T angle for heart injury assessment in arterial hypertension]
14. Сахнова Т. А., Мартынюк Т. В. Пространственный угол QRS-T и электрокардиографический желудочковый градиент при разных формах прекапиллярной легочной гипертензии. *Кардиологический вестник*. 2019;1: 40–45.
15. Sakhnova T. A., Martynyuk T. V. Prostranstvennyi ugol QRS-T i zheludochkovyi gradient pri raznykh formakh prekapillarnoi legochnoi gipertenzii [Spatial QRS-T angle and ventricular gradient in different types of pulmonary hypertension]. *Kardiologicheskii vestnik [The bulletin of Cardiology]*. 2019;1: 40–45.
16. Сахнова Т. А., Доценко Ю. В., Сергиенко В. Б. и др. Факторы, связанные с увеличением пространственного и фронтального углов

- QRS-T у больных инфарктом миокарда нижней локализации. Кардиология. 2020; 11: 76–83.
- Sakhnova T. A., Dozenko Yu. V., Sergienko V. B. et al. Factory associrovannye s uvelicheniem prostranstvennogo i frontalnogo ugla QRS-T u bolnykh infarktomyokardii nizhej lokaisacii [Factors, associated with spatial and frontal QRS-T angle growth in patients with inferior myocardial infarction]. *Cardiology*. 2020; 11: 76–83.
12. Macfarlane P. W. Lead systems. — In: *Comprehensive Electrocardiology*. Macfarlane P. W., Oosterom A., Pahlm O., Kligfield P., Janse M., Camm J. (eds), Springer; 2010. p. 375–426.
 13. R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
 14. Ripley B. D. et al. The R project in statistical computing // *MSOR Connections*. The newsletter of the LTSN Maths, Stats & OR Network. 2001; 1: 23–25.
 15. Петри А., Сэбин К. Наглядная медицинская статистика: учебное пособие // А. Петри, К. Сэбин. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2021. — 232 с. Petri A., Sabin K. Naglyadnaya medicinskaya statistika: uchebnoe posobie [Visual medical statistics: manual]. Moscow, GEOTAR-Media, 2021, 232p.
 16. Лагутин М. Б. Наглядная математическая статистика. Учебное пособие. — М.: Лаборатория знаний, 2022. — 472 с. Lagutin MB. Naglyadnaya medicinskaya statistika: uchebnoe posobie [Visual medical statistics: manual]. Moscow, Laboratory of Knowledge. 2022, 472p.
 17. Guldenring D, Finlay DD, Bond RR. The effects of 40 Hz low-pass filtering on the spatial QRS-T angle. *Computing in Cardiology Conference (CinC)*, 2016: 93–96.
 18. Guldenring D, Finlay DD, Bond RR, Kennedy A. The effects of 0.67 Hz high-pass filtering on the spatial QRS-T angle. *Computing in Cardiology (CinC)*. 2017;. 1–4. doi: 10.22489/CinC.2017.223–392.
 19. Grant RP. In: *Clinical Electrocardiography: The Spatial Vector Approach*. Grant RP, editor. New York: McGraw-Hill Inc; 1957. pp. 1–225.
 20. Ball MF, Pipberger HV. The normal spatial QRS-T angle of the orthogonal vectorcardiogram. *American Heart Journal*. 1958; 611–615 [https://doi.org/10.1016/0002-8703\(58\)90090-5](https://doi.org/10.1016/0002-8703(58)90090-5).
 21. Draper HV, Peffer CJ, Stallmann FV, Littmann D, Pipberger HV. The corrected orthogonal electrocardiogram and vectorcardiogram in 510 normal men (Frank lead system). *Circulation*. 1964;30:853–64 DOI: 10.1161/01.cir.30.6.853
 22. H. V. Pipberger, M. J. Goldman, D. Littmann, G. P. et al. Correlations of the orthogonal electrocardiogram and vectorcardiogram with constitutional variables in 518 normal men. *Circulation*. 1967; 35(3):536–51. doi: 10.1161/01.cir.35.3.536.
 23. Scherptong RWC, Henkens IR. Normal limits of the spatial QRS-T angle and ventricular gradient in 12-lead electrocardiograms of young adults: dependence on sex and heart rate. *Journal of Electrocardiology*. 2008: 648–655. <https://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2008.07.006>.
 24. Kardys I, Kors JA, Van der Meer I, Hofman A, Van der Kuip DA, Witteman JC. Spatial QRS-T angle predicts cardiac death in a general population. *Eur Heart J*. 2003;24:1357–1364.
 25. Yamazaki T, Froelicher VF, Myers J, Chun S, Wang P. Spatial QRS-T angle predicts cardiac death in a clinical population. *Heart Rhythm*. 2005;2:73–78.
 26. Rautaharju PM, Kooperberg C, Larson JC, LaCroix A. Electrocardiographic abnormalities that predict coronary heart disease events and mortality in postmenopausal women: The Women's Health Initiative. *Circulation*. 2006;113:473–480.
 27. 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
 28. Andrew Oehler, M.D.,* Trevor Feldman, B.S.,† Charles A. Henrikson, M.D., M.P.H.,† and Larisa G. Tereshchenko, M.D., Ph.D. QRS-T Angle: A Review *Ann Noninvasive Electrocardiol* 2014;19(6):534–542
 29. Voulgaris C, Pagoni S, Tesfalete S, Tentolouris N. The spatial QRS-T angle: implications in clinical practice. *Curr Cardiol Rev*. 2013;9(3):197–210. doi: 10.2174/1573403x113099990031. PMID: 23909632; PMCID: PMC3780345.
 30. Perez-Alday E.A., Li-Pershing Y., Bender A. et al. Importance of the heart vector origin point definition for an ECG analysis: the Atherosclerosis Risk in Communities (ARIC) study. *Comput. Biol. Med.*, 104 (2019):127–138, <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2018.11.013>
 31. Young WJ, Duijvenboden S, Ramirez J, et al. A Method to Minimise the Impact of ECG Marker Inaccuracies on the Spatial QRS-T angle: Evaluation on 1,512 Manually Annotated ECGs, *Biomedical Signal Processing and Control*. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2020.102305>

Сведения об авторах

Гасанова М. Э. — лаборант-исследователь лаборатории
 Дроздов Д. В. — к.м.н., рук. лаборатории
 Кожемякина Е. Ш. — инженер-программист лаборатории
 Козловская И. Л. — к.м.н., научный сотрудник лаборатории
 ФГБУ «НМИЦК им. Академика Е.И. Чазова» МЗ РФ

Автор для переписки: Гасанова Муминат Эмрановна
 E-mail: muminatemranovna@yandex.ru

About authors

Gasanova M. E. — laboratory researcher
 Drozdov D. V. — PhD, head of the laboratory
 Kozhemyakina E. Sh. — software engineer
 Kozlovskaya I. L. — PhD, research associate
 laboratory of ECG, E.I. Chazov National Medical Research Center for
 Cardiology of the Ministry of Health of Russia

Corresponding author: Gasanova M. E.
 E-mail: muminatemranovna@yandex.ru

Статья поступила / Received 18.02.2023
 Получена после рецензирования / Revised 19.03.2023
 Принята в печать / Accepted 20.03.2023

Для цитирования: Гасанова М. Э., Дроздов Д. В., Козловская И. Л., Кожемякина Е. Ш. Устойчивость пространственного угла QRS-T векторкардиограммы к влиянию фильтрации сигнала: пилотное исследование. Медицинский алфавит. 2023;(7):34–40. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-7-34-40>

For citation: Gasanova M. E., Drozdov D. V., Kozlovskaya I. L., Kozhemyakina E. Sh. Sustainability of spatial QRS-T angle of vectorcardiogram to filtration: a pilot study. *Medical alphabet*. 2023;(7):34–40. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-7-34-40>



КАРДИОДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ



КР-01

Система длительного мониторинга ЭКГ (по Холтеру)

Кардиан-СДМ

Система длительного мониторинга ЭКГ и АД

Кардиан ПМ

Многофункциональный комплекс оперативного контроля ЭКГ для работы в стационаре и в полевых условиях

Кардиан-МД

Монитор суточного автоматического измерения АД

Кардиан ПМ

Многофункциональный комплекс оперативного контроля ЭКГ для работы в стационаре и в полевых условиях



СИСТЕМА КАЧЕСТВА ПО МС ISO 9001, ISO 13485