

ISSN 1607-0771(Print); ISSN 2408-9494 (Online)

<https://doi.org/10.24835/1607-0771-275>

Прогностически значимые показатели векторэлектрокардиографии у пациентов с острой декомпенсацией сердечной недостаточности со сниженной фракцией выброса левого желудочка

А.К. Ваштаниян^{1}, Т.М. Ускач^{1,2}, В.А. Аманатова¹,
М.Д. Муксинова¹, Т.А. Сахнова¹, Е.В. Блинова¹,
Е.Ш. Кожемякина¹, С.Н. Терещенко¹, А.А. Скворцов¹*

¹ ФГБУ “НМИЦ кардиологии имени академика Е.И. Чазова” Минздрава России; 121552 Москва, ул. Академика Чазова, д. 15а, Российская Федерация

² ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России; 125993 Москва, ул. Баррикадная, д. 2/1, стр. 1, Российская Федерация

Ваштаниян Альберт Карапетович – аспирант отдела заболеваний миокарда и сердечной недостаточности ФГБУ “НМИЦ кардиологии имени академика Е.И. Чазова” Минздрава России, Москва.

<https://orcid.org/0009-0009-9581-187X>

Ускач Татьяна Марковна – доктор мед. наук, ведущий научный сотрудник отдела заболеваний миокарда и сердечной недостаточности ФГБУ “НМИЦ кардиологии имени академика Е.И. Чазова” Минздрава России; профессор кафедры кардиологии ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России Москва. <https://orcid.org/0000-0003-4318-0315>.

Аманатова Валерия Александровна – канд. мед. наук, научный сотрудник отдела заболеваний миокарда и сердечной недостаточности ФГБУ “НМИЦ кардиологии имени академика Е.И. Чазова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-0678-9538>

Муксинова Марина Дамировна – канд. мед. наук, врач-кардиолог отдела заболеваний миокарда и сердечной недостаточности ФГБУ “НМИЦ кардиологии имени академика Е.И. Чазова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-6516-5322>

Сахнова Тамара Анатольевна – канд. мед. наук, старший научный сотрудник лаборатории ЭКГ ФГБУ “НМИЦ кардиологии имени академика Е.И. Чазова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-5543-7184>

Блинова Елена Валентиновна – канд. мед. наук, научный сотрудник лаборатории ЭКГ ФГБУ “НМИЦ кардиологии имени академика Е.И. Чазова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-8725-7084>

Кожемякина Елена Шамилевна – программист лаборатории ЭКГ ФГБУ “НМИЦ кардиологии имени академика Е.И. Чазова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-9349-0998>

Терещенко Сергей Николаевич – доктор мед. наук, руководитель отдела заболеваний миокарда и сердечной недостаточности ФГБУ “НМИЦ кардиологии имени академика Е.И. Чазова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-9234-6129>

Скворцов Андрей Андреевич – доктор мед. наук, ведущий научный сотрудник отдела заболеваний миокарда и сердечной недостаточности ФГБУ “НМИЦ кардиологии имени академика Е.И. Чазова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-2712-927>

Контактная информация*: Ваштаниян Альберт Карапетович – e-mail: Vashtanyan.albert@yandex.ru

Актуальность. Вычислительная векторэлектрокардиография (вЭКГ) является методом визуализации суммарного выброса вектора сердца в трехмерном пространстве на основе 12 отведенных и распределенных вычислительных процедур. Этот метод может быть сторонним способом оценки тяжести и прогноза у пациентов с острой декомпенсацией сердечной недостаточности (ОДСН).

Цель исследования: изучить параметры вЭКГ, связанные с неблагоприятным прогнозом у пациентов с ОДСН.

Материал и методы. Проанализированы данные вЭКГ 100 пациентов с ОДСН. Всем пациентам проводилось исходно клиническое обследование, эхокардиография и определение натрийуретического пептида (NT-proBNP). В ходе наблюдения в течение 12 мес фиксировались летальные исходы. Оценивалась взаимосвязь показателей вЭКГ и NT-proBNP с прогнозом пациентов.

Результаты. В данном исследовании скончались 17 пациентов. По полученным данным вЭКГ выжившие пациенты имели меньший пространственный угол $QRS-T$ по сравнению с умершими ($p = 0,039$). Выявлены статистически незначимые показатели ($p = 0,076$) индекса планарности в группе скончавшихся пациентов. По данным ROC-анализа с чувствительностью 53% и специфичностью 71% было получено отрезное значение пространственного угла $QRS-T$, равное $164,5^\circ$. При превышении этого значения вероятность летального исхода увеличивается. Было выявлено пороговое значение неблагоприятного прогноза для NT-proBNP у пациентов с величиной угла $QRS-T$ $164,5^\circ$, которое составило 999,35 пг/мл.

Заключение. вЭКГ может быть использована в качестве простого метода для прогнозирования и оценки риска летального исхода у пациентов с ОДСН и сниженной фракцией выброса левого желудочка. Наиболее значимым показателем является значение пространственного угла $QRS-T$. Увеличение пространственного угла $QRS-T$ связано с повышением риска летального исхода. Таким образом, анализ данных вЭКГ может быть полезным инструментом для идентификации пациентов с высоким риском и принятия решений по тактике ведения.

Ключевые слова: острая декомпенсация сердечной недостаточности; мозговой натрийуретический пептид (NT-proBNP); вычислительная векторэлектрокардиография; пространственный угол $QRS-T$; индекс планарности

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Цитирование: Ваштанян А.К., Ускач Т.М., Аманатова В.А., Муксинова М.Д., Сахнова Т.А., Блинова Е.В., Кожемякина Е.Ш., Терещенко С.Н., Скворцов А.А. Прогностически значимые показатели векторэлектрокардиографии у пациентов с острой декомпенсацией сердечной недостаточности со сниженной фракцией выброса левого желудочка. *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2024; 3: 34–45. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-275>

ВВЕДЕНИЕ

Проблема острой декомпенсации хронической сердечной недостаточности (ОДСН) актуальна в современном мире. По международным данным за последние годы терапевтические подходы к лечению хронической сердечной недостаточности (ХСН) стали эффективнее, однако существенных положительных изменений в лечении ОДСН не произошло. Так, показатель смерти от всех причин для госпитализированных пациентов с сердечной недостаточностью (СН) составил 17%, а частота госпитализации – 44% в год, что существенно выше по сравнению с амбулаторными пациентами с ХСН [1]. Как показывает регистр ОРАКУЛ-РФ, больные с ОДСН в Российской Федерации

имеют более тяжелое течение болезни по сравнению с пациентами, участвовавшими в зарубежных регистрах [2, 3]. Доля пациентов с фракцией выброса левого желудочка (ФВ ЛЖ) $<40\%$ по российским данным значительно выше, что свидетельствует о более серьезном поражении сердца [3]. ОДСН сопровождается высокой частотой повторных госпитализаций. Так, к 30-му дню после выписки из стационара повторно с диагнозом ОДСН был госпитализирован 31% пациентов, к 90-му дню после выписки из стационара повторно госпитализированы 11%. К 180-му дню число повторных госпитализаций также составило 11%, к 360-му дню – 9,5% [3].

По-видимому, сопутствующие заболевания играют важную роль в развитии декомпенсации у пациентов с ХСН, увеличивая риск летального исхода. Важно принимать во внимание все вышеперечисленные особенности при диагностике, лечении и определении прогноза данной категории больных [4].

При подозрении на ОДСН пациентам показано проведение анализа уровня натрийуретических пептидов в крови и эхокардиографии (ЭхоКГ). Регистрация электрокардиограммы (ЭКГ) играет важную роль в диагностике ОДСН, позволяя различить причины ее возникновения и дифференцировать острые состояния [4]. Однако для оценки прогноза и динамики заболевания регистрация обычной ЭКГ, как правило, не используется. Для этих целей могут применяться более усовершенствованные методы, такие как векторэлектрокардиография (вЭКГ). Этот метод регистрирует изменения электрических сил сердца в течение сердечного цикла в пространстве, а не вдоль определенной линии, как при обычной ЭКГ. Ранее для проведения вЭКГ требовались специальные системы с электродами и специализированные аппараты. Однако современные цифровые аппараты позволяют реализовать этот метод с использованием специальных (матричных) вычислительных процедур и получения вычислительной вЭКГ.

вЭКГ является важным инструментом для ранней диагностики таких заболеваний, как гипертоническая болезнь и ишемическая болезнь сердца [5]. Однако на сегодняшний день в доступной литературе не представлена информация о ее применении в оценке течения ОДСН у пациентов со сниженной ФВ ЛЖ.

Цель исследования: изучение параметров вЭКГ, связанных с неблагоприятным прогнозом у пациентов с ОДСН со сниженной ФВ ЛЖ.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование проведено на базе ФГБУ “НМИЦ кардиологии имени академика Е.И. Чазова” Минздрава России. В нем приняли участие 100 пациентов с СН и низкой ФВ ЛЖ ($\leq 40\%$), диагноз которым был установлен как минимум за 3 мес до включения в исследование. Пациенты включались в

момент госпитализации по поводу ОДСН. Диагноз ОДСН устанавливался согласно алгоритмам действующих клинических рекомендаций [4, 6]. Все пациенты подписывали информированное согласие. Протокол исследования был одобрен на заседании комитета по этике ФГБУ “НМИЦ кардиологии имени академика Е.И. Чазова” Минздрава России от 21 ноября 2022 №9/401.

Критериями исключения были: наличие у пациента острых заболеваний и операций, которые, по мнению исследователя, могли бы отрицательно повлиять на прогноз (такие как острый коронарный синдром, острые хирургические состояния и т.д.), наличие в анамнезе миокардита, инфаркта миокарда, коронарного шунтирования, имплантации устройств в течение предыдущих 3 мес; ожидаемая продолжительность жизни менее 12 мес. В исследование не включались пациенты с хронической болезнью почек IV стадии и более и уровнем гемоглобина менее 90 г/л.

Всем пациентам проводилось исходно клиническое обследование, включающее в себя регистрацию ЭКГ в 12 общепринятых отведениях.

Запись ЭКГ проводилась в положении пациента лежа, при свободном дыхании с использованием модуля регистрации и передачи данных EASY ECG. Для этого было использовано 12 общепринятых отведений в модульной системе, и частота дискретизации сигнала достигала 500 Гц. Регистрация ЭКГ проводилась в автоматическом режиме, продолжительность 10 с. Разрешение прибора составляло 0,5 мкВ/разряд, а частотный диапазон фильтров был от 0,05 до 150 Гц. При регистрации не использовались дополнительные фильтры; вЭКГ в ортогональных отведениях по МакФи–Парунгао создавалась при помощи специализированного программного обеспечения (рис. 1). Данный метод обработки разработан совместно лабораторией ЭКГ ФГБУ “НМИЦ кардиологии имени академика Е.И. Чазова” и ИППИ РАН [7].

Для всех проанализированных вЭКГ были оценены: угол между интегральными векторами QRS и T , индекс планарности – классический (отношение длины вектора геометрической площади к пространственной площади петли QRS), индекс планарности 2 – отношение площади проекции

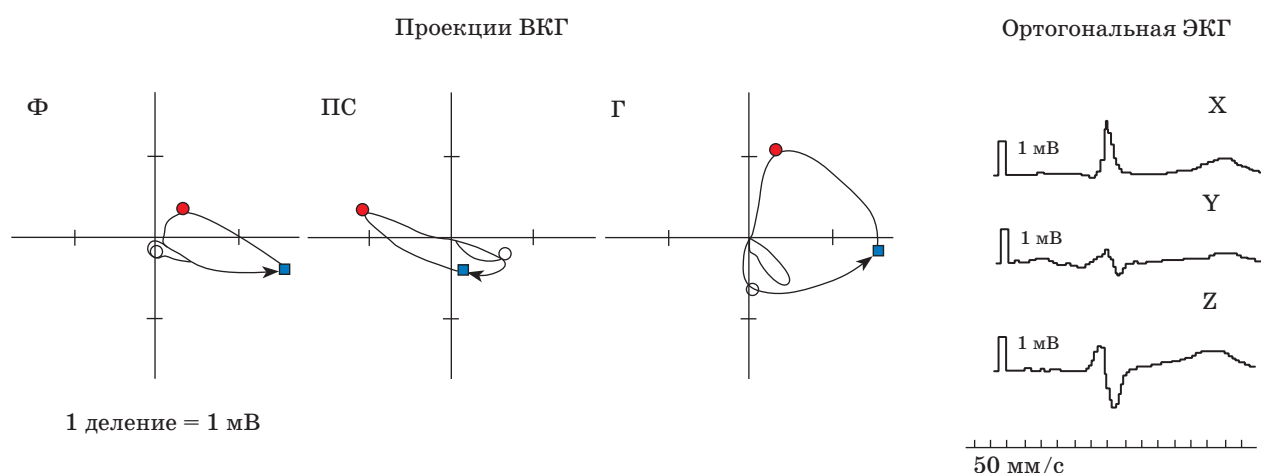


Рис. 1. Ортогональные ЭКГ, векторкардиограммы по МакФи–Парунгао. Ф – фронтальная плоскость, ПС – правая сагиттальная плоскость, Г – горизонтальная плоскость, X, Y, Z – отведения ортогональной ЭКГ [8].

Fig. 1. Orthogonal ECG, vectorcardiograms according to McFee-Parungao. F – frontal plane, PS – right sagittal plane, H – horizontal plane, X, Y, Z – leads of orthogonal ECG [8].

петли *QRS* на плоскость наилучшего приближения (без учета площади перегибов) к пространственной площади петли *QRS*, индекс планарности 3 – отношение площади проекции петли *QRS* на плоскость наилучшего приближения (с добавлением площади перегибов) к пространственной площади петли *QRS*.

Также всем пациентам при включении в исследование проводилась двухмерная ЭхоКГ, режим M-mode, доплерэхокардиография, режим цветового доплеровского картирования кровотока. Исследование сохранялось в цифровом формате для анализа в автономном режиме. В дальнейшем изображение обрабатывалось на рабочей станции EchoPac (version 6.1, General Electric Medical Health). Выполнялась оценка ФВ ЛЖ (biplane Simpson).

Проводилось определение уровня мозгового натрийуретического пептида в плазме крови (NT-proBNP) при включении в исследование.

Продолжительность исследования составила 12 мес. В ходе наблюдения фиксировались летальные исходы.

Статистический анализ данных проводился табличным процессором Excel 2010 и пакетом статистических программ Statistica 10 (StatSoft Inc., США). Качественные величины представлены как абсолютные

значения и проценты. Использовались следующие методы статистического анализа: U-критерий Манна–Уитни, точный критерий Фишера. Выборочные параметры, приводимые в таблице, представлены в виде $M (\pm SD)$ и $Me [Lq; Uq]$, где M – среднее, SD – стандартное отклонение, Me – медиана, Lq ; Uq – межквартильный размах. Уровень различий считался достоверным при $p < 0,05$, значения $0,05 < p < 0,10$ интерпретировались как тенденция. С применением ROC (receiver operating characteristics)-анализа оценивалась прогностическая ценность количественных переменных и моделей, а также их чувствительность и специфичность.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Включение 100 госпитализированных пациентов по причине ОДСН продолжалось в течение полутора лет. Большинство пациентов были мужчинами. По этиологии ХСН половина пациентов перенесли инфаркт миокарда, остальные имели неишемические причины развития ХСН (табл. 1).

Регистрация вЭКГ проводилась исходно в 1-е сутки госпитализации. Анализировались параметры вЭКГ; наиболее значимые исходные параметры, имеющие значение для оценки прогноза, представлены в табл. 2.

Таблица 1. Характеристика пациентов с ОДСН при включении в исследование (n = 100)**Table 1.** Characteristics of patients with ADHF at inclusion in the study (n = 100)

Показатель	Значение
Мужчины/женщины, n (%)	87 (87)/13 (13)
Возраст, годы	63 [34; 85]
Масса тела, кг	96 [57; 197]
Рост, см	177 [156; 191]
ИМТ, кг/м ²	30,7 [21; 55]
Курение, n (%)	38 (38)
ФВ ЛЖ, %	26 [16; 40]
NT-proBNP, пг/мл	1696 [374; 15022]
Сахарный диабет 2 типа, n (%)	22 (22)
СКФ, мл/мин/1,73 м ²	71,8 [40; 113]
Этиология ХСН:	
ИБС, n (%)	51 (51)
ДКМП, n (%)	29 (29)
ГБ, n (%)	20 (20)
ФП при включении, n (%)	35 (35)
ТП, n (%)	5 (5)
Синусовый ритм, n (%)	51 (51)
Артифициальный ритм, n (%)	9 (9)
Блокады ножек пучка Гиса, n (%)	25 (25)
	(БЛНПГ-22, ВПНПГ-3)
Длительность ХСН, мес	66 [12; 175]
Имплантированные устройства, n (%)	16 (16)
	(ИКД-11, ЭКС-3, Оптимайзер-2)

Примечание. Здесь и в табл. 3: ИМТ – индекс массы тела, ФВ ЛЖ – фракция выброса левого желудочка, ХСН – хроническая сердечная недостаточность, ИБС – ишемическая болезнь сердца, ДКМП – дилатационная кардиомиопатия, ГБ – гипертоническая болезнь, ФП – фибрилляция предсердий, ТП – трепетание предсердий, ИКД – имплантация кардиовертера-дефибриллятора, ЭКС – электрокардиостимулятор, БЛНПГ – блокада левой ножки пучка Гиса, ВПНПГ – блокада правой ножки пучка Гиса. Данные представлены как число (%) или медиана [25-й процентиль; 75-й процентиль].

Таблица 2. Характеристики показателей вЭКГ включенных пациентов (n = 100)**Table 2.** The data of vECG parameters in patients included in the study (n = 100)

Показатель	Значение (n = 100)
Угол QRS-T, градусы	156 [63; 178]
ЧСС, уд/мин	86 [49; 129]
Индекс планарности	0,7 [0,03; 0,99]
Индекс планарности 2	0,76 [0,31; 0,99]
Индекс планарности 3	0,82 [0,44; 0,99]
QT, мс	393 [130; 606]

Примечание. Здесь и в табл. 4, 5: Индекс планарности – классический (отношение длины вектора геометрической площади к пространственной площади петли QRS), Индекс планарности 2 – отношение площади проекции петли QRS на плоскость наилучшего приближения (без учета площади перегибов) к пространственной площади петли QRS, Индекс планарности 3 – отношение площади проекции петли QRS на плоскость наилучшего приближения (с добавлением площади перегибов) к пространственной площади петли QRS. Данные представлены как медиана [25-й процентиль; 75-й процентиль].

Таблица 3. Характеристика выживших и умерших пациентов

Table 3. Characteristics of surviving and deceased patients

Характеристика	Выжившие (n = 83)	Умершие (n = 17)	p
Мужчины/женщины, n (%)	71 (85)/12 (14)	16 (94)/1(6)	0,46
Возраст, годы	62 [34; 85]	67 [47; 79]	0,12
Масса тела, кг	92 [57; 197]	101 [78; 147]	0,078
Рост, см	174 [156; 191]	177 [162; 190]	0,15
ИМТ, кг/м ²	30 [21; 55]	32 [24; 44]	0,145
Курение, n (%)	33 (39)	7 (41)	0,914
ФВ ЛЖ, %	34 [26; 39]	28 [19; 34]	0,007
Сахарный диабет 2 типа, n (%)	18 (22)	7 (41)	0,123
Этиология ХСН:			
ИБС, n (%)	46 (55)	11 (65)	0,594
ДКМП, n (%)	31 (37)	5 (29)	0,592
ГБ, n (%)	54 (65)	10 (59)	0,782
ФП при включении, n (%)	26 (31)	9 (53)	0,101
ТП, n (%)	4 (5)	1 (6)	0,974
Синусовый ритм, n (%)	46 (55)	5 (29)	0,064
Артифициальный ритм, n (%)	7 (8)	2 (12)	0,647
Блокады ножек пучка Гиса, n (%):			
левая	22 (27)	9 (53)	0,044
правая	2 (2)	1 (6)	0,431
Длительность ХСН, мес	70 [32;175]	48 [12;163]	0,002
Имплантированные устройства, n (%)	12 (14)	4 (24)	0,465
NT-proBNP, пг/мл	934 [182; 9987]	2411 [174; 15022]	0,019

Основной задачей исследования была оценка прогностически значимых показателей ВЭКГ.

В течение 1 года скончались 17 пациентов. Основной причиной летального исхода у пациентов, включенных в исследование, оказались сердечно-сосудистые осложнения. Проведено сравнение клинико-демографических, инструментальных и лабораторных показателей пациентов в зависимости от наличия или отсутствия летального исхода (табл. 3). Умершие пациенты по сравнению с выжившими имели тенденцию к более высокой массе тела, характеризовались более высокими значениями NT-proBNP, более низкой ФВ ЛЖ, меньшей долей пациентов с синусовым ритмом и большей долей пациентов с блокадой левой ножки пучка Гиса (БЛНПГ).

Анализ данных ВЭКГ выявил статистически значимые различия в показателях в зависимости от летального исхода (табл. 4).

Из данных ВЭКГ видно, что выжившие пациенты имели меньший пространственный угол *QRS-T*, чем умершие в течение 12 мес. Это различие было статистически значимым ($p = 0,039$). Также были обнаружены более низкие показатели индекса планарности у умерших пациентов, но разница не достигала статистической значимости ($p = 0,076$).

В связи с наличием у части пациентов БЛНПГ и имплантированных устройств проводился анализ показателей ВЭКГ у выживших и умерших пациентов с БЛНПГ и имплантированными устройствами, позволивший выявить статистически значимую разницу в значениях угла *QRS-T* у вы-

Таблица 4. Характеристика вЭКГ у выживших и умерших пациентов**Table 4.** The data of vECG parameters of vECG in surviving and deceased patients

Показатель	Выжившие (n = 83)	Умершие (n = 17)	p
Угол <i>QRS-T</i>	155 [63; 177]	161 [102; 178]	0,039
ЧСС, уд/мин	84,5 [49; 129]	90,5 [50; 121]	0,125
Индекс планарности	0,7 [0,06; 0,99]	0,69 [0,03; 0,98]	0,971
Индекс планарности 2	0,76 [0,31; 0,99]	0,75 [0,35; 0,98]	0,985
Индекс планарности 3	0,82 [0,44; 0,99]	0,8 [0,48; 0,98]	0,076
<i>QT</i> , мс	391 [130; 606]	399 [322; 542]	0,956

Таблица 5. Показатели вЭКГ у выживших и умерших пациентов с БЛНПГ и имплантированными устройствами**Table 5.** vECG parameters in surviving and deceased patients with left bundle branch block (LBBB) and implanted devices

БЛНПГ			
показатель	выжившие (n = 22)	умершие (n = 9)	p
Индекс планарности	0,57 [0,11; 0,94]	0,6 [0,03; 0,99]	0,6
Индекс планарности 2	0,66 [0,36; 0,94]	0,68 [0,35; 0,91]	0,5
Индекс планарности 3	0,74 [0,55; 0,94]	0,75 [0,48; 0,91]	0,4
Угол <i>QRS-T</i>	161 [133; 177]	170 [160; 178]	0,041
Имплантированные устройства			
показатель	выжившие (n = 12)	умершие (n = 4)	p
Индекс планарности	0,6 [0,16; 0,98]	0,52 [0,03; 0,91]	0,9
Индекс планарности 2	0,69 [0,31; 0,98]	0,63 [0,35; 0,91]	0,7
Индекс планарности 3	0,78 [0,44; 0,98]	0,73 [0,48; 0,91]	0,6
Угол <i>QRS-T</i>	156 [120; 176]	163 [157; 178]	0,4

Таблица 6. Связь показателей вЭКГ и прогноза у пациентов с ОДСН**Table 6.** Correlation between vECG parameters and prognosis in patients with ADHF

Факторы риска	Отношение шансов	Доверительный интервал	p-value
Угол <i>QRS-T</i>	0,209	(95% ДИ 0,068–0,639)	0,006
Индекс планарности	1,328	(95% ДИ 0,455–3,877)	0,599
Индекс планарности 2	1,548	(95% ДИ 0,516–4,641)	0,431
Индекс планарности 3	1,838	(95% ДИ 0,585–5,771)	0,293

живших и умерших пациентов с БЛНПГ и отсутствие разницы показателей вЭКГ у выживших и умерших пациентов с имплантацией устройств (табл. 5).

При проведении логистического регрессионного анализа установлена статистически значимая связь между значением угла *QRS-T* и летальным исходом, статистически значимой связи между индексами планарности и прогнозом не выявлено. Полученные данные представлены в табл. 6.

Проведен анализ взаимосвязи между пространственным углом *QRS-T* и маркером СН NT-proBNP. Результаты показали положительную значимую взаимосвязь ($p = 0,018$). Это означает, что при увеличении значения пространственного угла *QRS-T* повышается уровень NT-proBNP, что может рассматриваться как маркер неблагоприятного прогноза у пациентов с ОДСН, помимо уровня NT-proBNP (рис. 2).

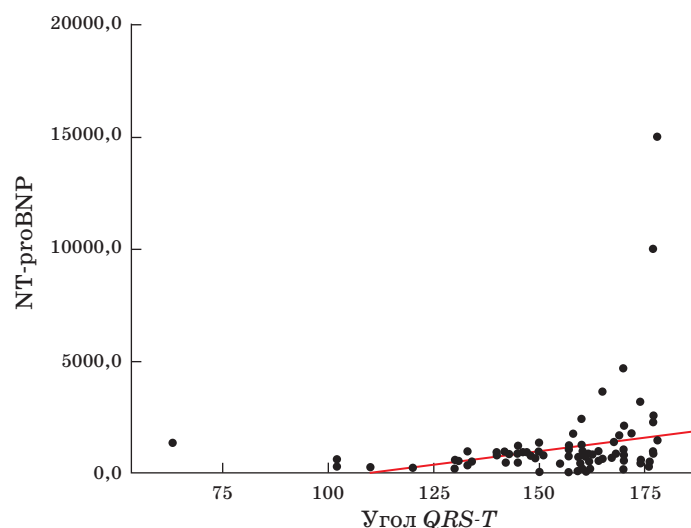


Рис. 2. График корреляции, характеризующий зависимость показателя NT-proBNP от показателя “угол $QRS-T$ ”.

Fig. 2. Correlation graph shows the dependence of the NT-proBNP indicator on the value of $QRS-T$ angle.

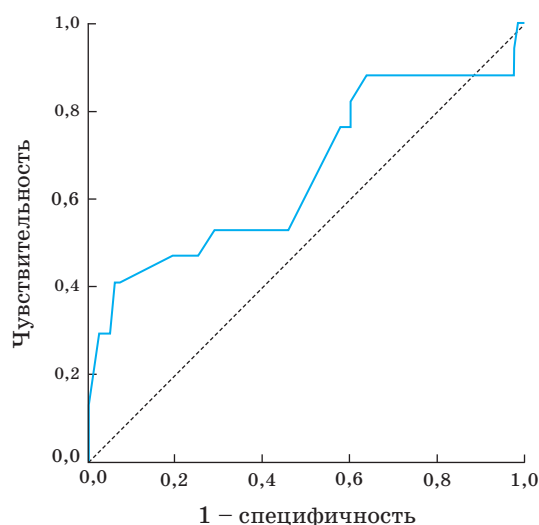


Рис. 3. ROC-кривая, характеризующая возможность применения показателя “угол $QRS-T$ ” для разделения групп выживших и умерших пациентов.

Fig. 3. ROC curve characterizing the ability of using the “ $QRS-T$ angle” parameter to separate groups of surviving and deceased patients.

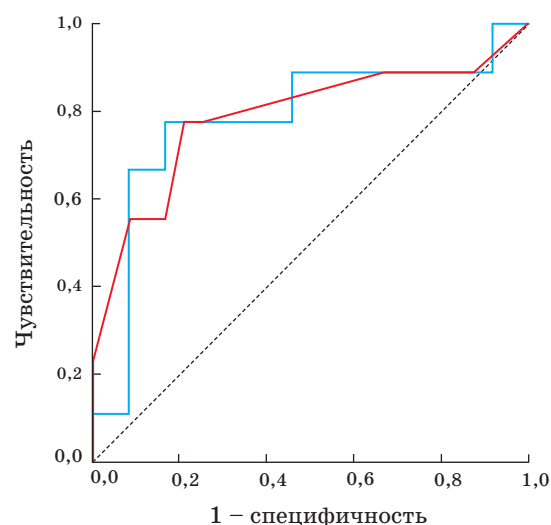


Рис. 4. ROC-кривая, характеризующая зависимость летального исхода у пациентов с величиной угла $QRS-T$ более $164,5^\circ$ и уровня NT-proBNP (красная линия – пространственный угол $QRS-T$, синяя линия – NT-proBNP).

Fig. 4. ROC curve characterizing the dependence of a fatal outcome in patients with a $QRS-T$ angle greater than 164.5° and the NT-proBNP level (red line – spatial $QRS-T$ angle, blue line – NT-proBNP).

На основании значимой корреляции между показателями было необходимо определить критическое значение пространственного угла $QRS-T$, при котором будет наблюдаться прогрессирующее ухудшение прогноза у пациентов с ОДН.

По результатам ROC-анализа с чувствительностью 53% и специфичностью 71% было получено отрезное значение пространственного угла $QRS-T$, равное $164,5^\circ$. При

превышении этого значения вероятность летального исхода увеличивается (рис. 3).

Проведен ROC-анализ зависимости летального исхода у пациентов с углом $QRS-T$ более 165° и уровня NT-proBNP, по результатам которого выявлена значимая модель ($p = 0,012$) (рис. 4). Пороговое значение неблагоприятного прогноза для NT-proBNP составило 999 пг/мл, чувствительность и специфичность модели – 77,8 и 81,8%.

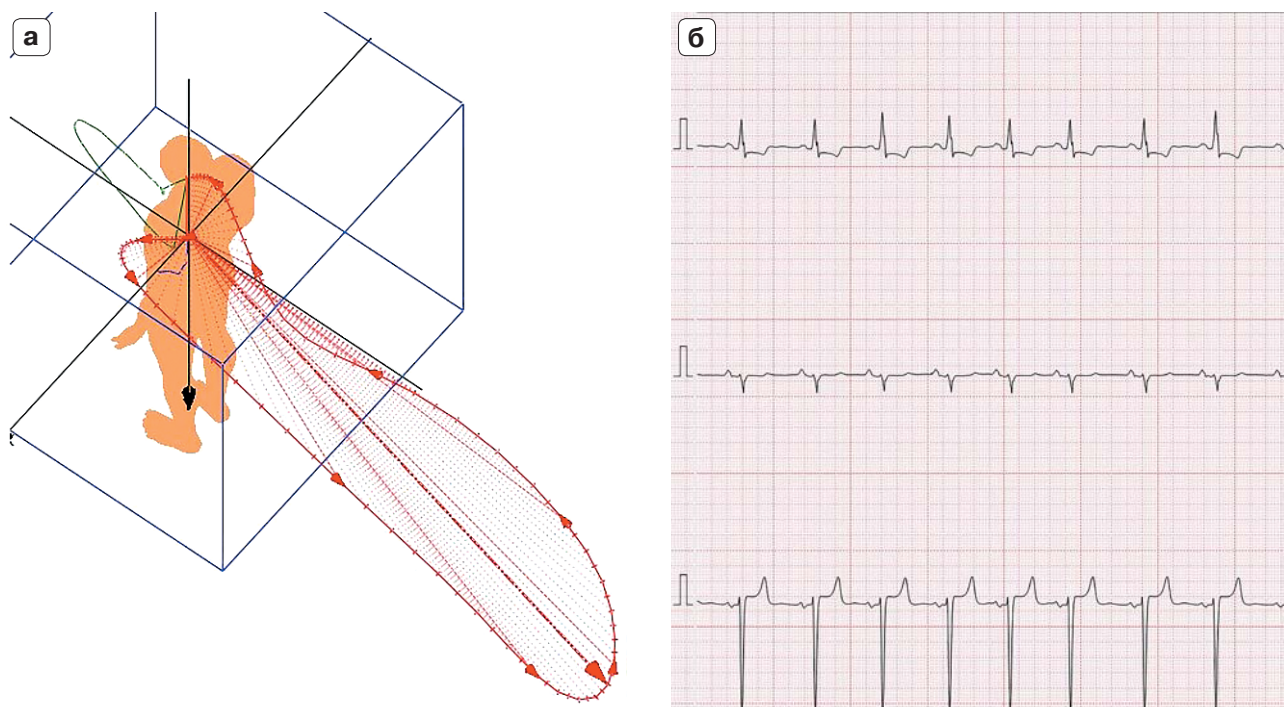


Рис. 5. а – вЭКГ и ортогональная ЭКГ выжившего пациента (мужчина 61 года), прослеживается меньший пространственный угол $QRS-T$ (102°); б – вЭКГ и ортогональная ЭКГ умершего пациента (мужчина 58 лет), отмечается больший пространственный угол $QRS-T$ (больше 177°).

Fig. 5. а – vECG and orthogonal ECG of a surviving patient (61-year-old man), which shows a smaller $QRS-T$ spatial angle (102°); б – vECG and orthogonal ECG of a deceased patient (58-year-old man), which shows a greater $QRS-T$ spatial angle (greater than 177°).

Пространственная объемная модель вЭКГ позволяет наглядно увидеть разницу в показателях пространственного угла. На рис. 5 представлены вЭКГ и ортогональные ЭКГ выжившего и скончавшегося пациентов.

ОБСУЖДЕНИЕ

Прогностически значимыми маркерами ОДСН являются NT-proBNP, ФВ ЛЖ, показатели гемодинамики [9]. Особую роль в диагностике, контроле состояния и прогнозе СН выполняет NT-proBNP, так как повышение данного показателя сопровождается более тяжелыми клиническими проявлениями СН, что увеличивает частоту госпитализаций и количество летальных исходов [10]. Определение NT-proBNP показано всем пациентам, госпитализированным с ОДСН [4]. В нашей работе были проанализированы показатели прогноза у госпитализированных пациентов с ОДСН. Ожидается получение связи снижения ФВ ЛЖ и повышения NT-proBNP с летальным

исходом у пациентов с ОДСН. Так, у умерших пациентов среднее значение ФВ ЛЖ при поступлении составило 28% по сравнению с 34% у выживших. На основании результатов вЭКГ было установлено, что показатель пространственного угла имеет наибольшую связь с прогнозом ОДСН. У пациентов, выживших в течение 12 мес, наблюдались статистически значимо более низкие значения пространственного угла $QRS-T$ по сравнению со скончавшимися пациентами. При увеличении пространственного угла выше $164,5^\circ$ повышается риск летального исхода. Индекс планарности у скончавшихся пациентов продемонстрировал более низкие значения по сравнению с выжившими. Прослеживается взаимосвязь пространственного угла $QRS-T$ и NT-proBNP: чем больше показатель пространственного угла, тем выше значения NT-proBNP. Литературных данных о значении вЭКГ у пациентов с ОДСН в настоящее время не имеется, однако есть данные о пациентах с гипертонической болезнью, ослож-

ненной ХСН. У них прослеживаются высокие значения пространственного угла *QRS-T*, в отличие от пациентов без ХСН [11]. Из этого следует, что величина пространственного угла также может быть как показателем наличия СН, так и маркером динамики и прогноза. Изменения в величине этого угла могут указывать на ухудшение функции сердца и позволить врачам предсказать возможные осложнения и прогнозировать исход заболевания.

Данных о пациентах с имплантированными устройствами в современной литературе мало, но, учитывая наши результаты, полученные данные можно применять в оценке прогноза у пациентов с ОДСН.

При помощи ВЭКГ удастся определять взаимосвязь БЛНПГ с СН. По данным зарубежной литературы, среди пациентов с недавно выявленной БЛНПГ большая векторкардиографическая площадь *QRS* (146–295 мкВ) была связана с повышенным риском диагностики СН, назначением петлевых диуретиков или смерти от СН в течение 5 лет [12].

ОДСН – жизнеугрожающее состояние, требующее максимально полного использования всех возможных диагностических исследований и методов лечения, способных повлиять на клиническое течение и прогноз.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ВЭКГ может быть использована в качестве простого метода для прогнозирования летального исхода у пациентов с ОДСН и сниженной фракцией выброса левого желудочка. Наиболее значимым показателем является значение пространственного угла *QRS-T*. Увеличение пространственного угла *QRS-T* связано с повышением риска летального исхода. Таким образом, анализ данных ВЭКГ может быть полезным инструментом для идентификации пациентов с высоким риском и принятия решений по тактике ведения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ponikowski P., A. Voors A., D. Anker S., Bueno H., G.F. Cleland J., J.S. Coats A., Falk V., González-Juanatey J., Harjola V., A. Jankowska E., Jessup M., Linde C., Nihoyannopoulos P., T. Parissis J., Pieske B., P. Riley J., M.C. Rosano G., M. Ruilope L., Ruschitzka F., H. Rutten F., van der Meer P. Рекомендации ESC по диагностике и лечению острой и хронической сердечной недостаточности 2016. *Российский кардиологический журнал*. 2017; 1: 7–81. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2017-1-7-81>
2. Maggioni A.P., Dahlström U., Filippatos G. et al.; Heart Failure Association of the European Society of Cardiology (HFA). EURObservational Research Programme: regional differences and 1-year follow-up results of the Heart Failure Pilot Survey (ESC-HF Pilot). *Eur. J. Heart Fail.* 2013; 15 (7): 808–817. <https://doi.org/10.1093/eurjhf/hft050>
3. Арутюнов А.Г., Драгунов Д.О., Арутюнов Г.П., Рылова А.К., Пашкевич Д.Д., Витер К.В. Первое открытое исследование синдрома острой декомпенсации сердечной недостаточности и сопутствующих заболеваний в Российской Федерации. Независимый регистр ОРАКУЛ-РФ <https://dx.doi.org/10.18565/cardio.2015.5.12-21>
4. Терещенко С.Н., Галявич А.С., Ускач Т.М. и др. Российские клинические рекомендации по хронической сердечной недостаточности 2020 года. [https://scardio.ru/content/Guidelines/2020/Clinic_rekom_HSN-unlocked.pdf]
5. Jaros R, Martinek R, Danys L. Comparison of Different Electrocardiography with Vectorcardiography Transformations. *Sensors (Basel)*. 2019; 19 (14): 3072. <https://doi.org/10.3390/s19143072>.
6. Maddox T.M., Januzzi J.L., Larry A. et al. 2021 Update to the 2017 ACC Expert Consensus Decision Pathway for Optimization of Heart Failure Treatment: Answers to 10 Pivotal Issues About Heart Failure With Reduced Ejection Fraction: A Report of the American College of Cardiology Solution Set Oversight Committee. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2021; 77 (6): 772–810. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2020.11.022>
7. Трунов В.Г., Айду Э.А., Блинова Е.В., Сахнова Т.А. Синтез сигналов скорректированных ортогональных отведений Макфи–Парунгао по данным электрокардиограммы в 12 отведениях. *Медицинский алфавит*. 2017; 1 (14): 16–21.
8. Блинова Е.В., Сахнова Т.А., Рябыкина Г.В. Использование синтезированной векторкардиограммы в диагностике гипертрофии правого желудочка у больных легочной гипертензией. *Пособие для практикующих врачей. Медицинский алфавит*. 2019; 4 (36): 32–46.
9. Jortani SA, Prabhu SD, Valdes R, Jr. Strategies for developing biomarkers of HF. *Clin Chem*. 2004; 50: 265–278. <https://doi.org/10.1373/clinchem.2003.027557>
10. Терещенко С.Н., Жиров И.В., Насонова С.Н., Николаева О.А., Ледяхова М.В. Патопфизиология острой сердечной недостаточности. Что нового? *Российский кардиологический журнал*. 2016; 9: 52–64.
11. Сахнова Т.А., Блинова Е.В., Юрасова Е.С., Ускач Т.М., Блинова Н.В., Айду Э.А.-И., Трунов В.Г., Саидова М.А. Особенности векторкардиограмм у больных гипертонической болезнью, осложненной хронической сердечной недостаточностью со сниженной фракцией выброса

левого желудочка. *Терапевтический архив*. 2022; 94 (9): 1067–1071. <https://doi.org/10.26442/00403660.2022.09.201843>

12. Andersen D.C., Kragholm K., Petersen L.T. et al. Association between vectorcardiographic QRS area and incident heart failure diagnosis and mortality among patients with left bundle branch block: A register-based cohort study. *J. Electrocardiol.* 2021; 69: 30–35. <https://doi.org/10.1016/j.jelecard.2021.09.002>

REFERENCES

1. Ponikowski P., A. Voors A., D. Anker S. et al. 2016 ESC guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure. *Russian Journal of Cardiology*. 2017; 1: 7–81. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2017-1-7-81> (In Russian)
2. Maggioni A.P., Dahlström U., Filippatos G. et al.; Heart Failure Association of the European Society of Cardiology (HFA). EURObservational Research Programme: regional differences and 1-year follow-up results of the Heart Failure Pilot Survey (ESC-HF Pilot). *Eur. J. Heart Fail.* 2013; 15 (7): 808–817. <https://doi.org/10.1093/eurjhf/hft050>
3. Arutyunov A.G., Dragunov D.O., Arutyunov G.P., Rylova A.K., Pashkevich D.D., Viter K.V. The first open study of acute decompensation syndrome of heart failure and concomitant diseases in the Russian Federation. Independent registry ORACLE-RF. <https://dx.doi.org/10.18565/cardio.2015.5.12-21> (In Russian)
4. Tereshchenko S.N., Galyavich A.S., Uskach T.M. et al. Russian clinical recommendations on chronic heart failure 2020. [https://scardio.ru/content/Guidelines/2020/Clinic_rekom_HSN-unlocked.pdf]. (In Russian)
5. Jaros R, Martinek R, Danys L. Comparison of Different Electrocardiography with Vectorcardiography Transformations. *Sensors (Basel)*. 2019; 19 (14): 3072. <https://doi.org/10.3390/s19143072>.
6. Maddox T.M., Januzzi J.L., Larry A. et al. 2021 Update to the 2017 ACC Expert Consensus Decision Pathway for Optimization of Heart Failure Treatment: Answers to 10 Pivotal Issues About Heart Failure With Reduced Ejection Fraction: A Report of the American College of Cardiology Solution Set Oversight Committee. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2021; 77 (6): 772–810. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2020.11.022>
7. Trunov V.G., Aidu E.A., Blinova E.V., Sakhnova T.A. Synthesis of McFee–Parungao corrected orthogonal lead system signals from 12 lead electrocardiogram. *Medical Alphabet*. 2017; 1 (14): 16–21. (In Russian)
8. Blinova E.V., Sakhnova T.A., Ryabykina G.V. The use of synthesized vector cardiograms in the diagnosis of right ventricular hypertrophy in patients with pulmonary hypertension. *Manual for practitioners. Medical alphabet*. 2019; 4 (36): 32–46. (In Russian)
9. Jortani SA, Prabhu SD, Valdes R, Jr. Strategies for developing biomarkers of HF. *Clin Chem*. 2004; 50: 265–278. <https://doi.org/10.1373/clinchem.2003.027557>
10. Tereshchenko S.N., Zhironov I.V., Nasonova S.N. et al. Pathophysiology of acute heart failure. What's new? *Russian Journal of Cardiology*. 2016; 9: 52–64. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2016-9-52-64> (In Russian)
11. Sakhnova T.A., Blinova E.V., Yurasova E.S. et al. Features of vectorcardiograms in patients with hypertension complicated by chronic heart failure with reduced left ventricle ejection fraction. *Terapevticheskii arkhiv*. 2022; 94 (9): 1067–1071. <https://doi.org/10.26442/00403660.2022.09.201843>
12. Andersen D.C., Kragholm K., Petersen L.T. et al. Association between vectorcardiographic QRS area and incident heart failure diagnosis and mortality among patients with left bundle branch block: A register-based cohort study. *J. Electrocardiol.* 2021; 69: 30–35. <https://doi.org/10.1016/j.jelecard.2021.09.002>

Prognostically significant parameters of vector electrocardiography in patients with acute decompensation of heart failure with reduced left ventricular ejection fraction

A.K. Vashtanian^{1*}, T.M. Uskach^{1,2}, V.A. Amanatova¹, M.D. Muxinova¹, T.A. Sakhnova¹,
E.V. Blinova¹, E.S. Kozhemyakina¹, S.N. Tereshchenko¹, A.A. Skvortsov¹

¹ National medical research centre of cardiology named after academician E.I. Chazov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 15a, Academician Chazov str., Moscow 121552, Russian Federation

² Russian Medical Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 2/1-1, Barrikadnaya str., Moscow 125993, Russian Federation

Albert K. Vashtanian – Postgraduate Student of the Department of Myocardial Diseases and Heart Failure of National medical research centre of cardiology named after academician E.I. Chazov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0009-0009-9581-187X>

Tatiana M. Uskach – Doct. of Sci. (Med.), leading researcher of the Department of myocardial diseases and heart failure National medical research centre of cardiology named after academician E.I. Chazov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; Professor of the Department of Cardiology, Russian Medical

Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0009-0009-9581-187X>

Valeria A. Amanatova – Cand. of Sci. (Med.), researcher of the Department of myocardial diseases and heart failure National medical research centre of cardiology named after academician E.I. Chazov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0009-0009-9581-187X>

Marina D. Muxinova – Cand. of Sci. (Med.), Cardiologist, Department of Myocardial Diseases and Heart Failure, National medical research centre of cardiology named after academician E.I. Chazov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0009-0009-9581-187X>

Tamara A. Sakhnova – Cand. of Sci. (Med.), Senior Researcher, ECG Laboratory, National medical research centre of cardiology named after academician E.I. Chazov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0009-0009-9581-187X>

Elena V. Blinova – Cand. of Sci. (Med.), researcher of the ECG Laboratory of National medical research centre of cardiology named after academician E.I. Chazov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0009-0009-9581-187X>

Elena Sh. Kozhemyakina – programmer of ECG laboratory of National medical research centre of cardiology named after academician E.I. Chazov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0009-0009-9581-187X>

Sergey N. Tereshchenko – Doct. of Sci. (Med.), Head of the Department of Myocardial Diseases and Heart Failure, National medical research centre of cardiology named after academician E.I. Chazov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-9234-6129>

Andrey A. Skvortsov – Doct. of Sci. (Med.), leading researcher of the Department of myocardial diseases and heart failure of National medical research centre of cardiology named after academician E.I. Chazov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-2712-927X>

Correspondence* to Dr. Albert K. Vashtanian – e-mail: Vashtanian.albert@yandex.ru

Computational vector electrocardiography (vECG) is a method for visualizing the total heart vector output in 3-dimensional mode based on 12 lead and distributed computational procedures. This method can be an additional to assess severity and prognosis in patients with acute decompensated heart failure (ADHF).

Objective: to investigate the vECG parameters associated with poor prognosis in patients with ADHF.

Materials and methods. ECG data of 100 patients with ADHF were analyzed. All patients underwent baseline clinical examination, echocardiography, and a natriuretic peptide (NT-proBNP) test. Mortality was recorded during follow-up for 12 months. The correlation of vECG and NT-proBNP parameters with the prognosis of patients was evaluated.

Results. Due to the period of follow-up, 17 patients died. According to vECG data, the surviving patients had a smaller spatial *QRS-T* angle compared to the deceased patients ($p = 0.039$). Statistically insignificant values ($p = 0.076$) of the planarity index in the group of deceased patients were revealed. ROC-analysis revealed the cut-off value of *QRS-T* spatial angle equal to 164.5° with sensitivity of 53% and specificity of 71%. The *QRS-T* spatial angle values above the cut-off value indicate a higher probability of lethal outcome. The cut-off value of 999.35 pg/ml of NT-proBNP in patients with the value of *QRS-T* angle of 164.5° associated with an unfavorable prognosis was revealed.

Conclusions. vECG can be used as a simple method to predict and assess the risk of fatal outcome in patients with ADHF and reduced left ventricular ejection fraction. The most significant parameter is the value of *QRS-T* spatial angle. An increase in the *QRS-T* spatial angle is associated with an increased risk of fatal outcome. Thus, vECG analysis may be a useful tool for identification of high-risk patients and influence the treatment strategy.

Keywords: acute decompensation of heart failure; brain natriuretic peptide (NT-proBNP); computational vectorelectrocardiography; *QRS-T* spatial angle; planarity index

Conflict of interests. The authors have no conflicts of interest to declare.

Financing. This study had no sponsorship.

Citation: Vashtanian A.K., Uskach T.M., Amanatova V.A., Muxinova M.D., Sakhnova T.A., Blinova E.V., Kozhemyakina E.S., Tereshchenko S.N., Skvortsov A.A. Prognostically significant parameters of vector electrocardiography in patients with acute decompensation of heart failure with reduced left ventricular ejection fraction. *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2024; 3: 34–45. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-275> (In Russian)