

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **045043**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.10.26

(51) Int. Cl. *A61B 5/349* (2021.01)
G16H 50/00 (2018.01)

(21) Номер заявки
202200013

(22) Дата подачи заявки
2021.03.15

(54) **СПОСОБ ОКАЗАНИЯ ЭКСТРЕННОЙ КАРДИОЛОГИЧЕСКОЙ ПОМОЩИ И
УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ**

(31) **2020120310**

(56) RU-C1-2644303
WO-A1-2010123751
US-A1-20020052557
US-A-5211179

(32) **2020.06.15**

(33) **RU**

(43) **2023.02.27**

(86) **PCT/RU2021/000104**

(87) **WO 2021/256960 2021.12.23**

(71)(72)(73) Заявитель, изобретатель и
патентовладелец:

**ПОЛОСИН ВИТАЛИЙ
ГЕРМАНОВИЧ (RU)**

(57) Изобретение относится к области медицины, в частности кардиологии, и может быть использовано для оказания неотложной экстренной кардиологической помощи пациенту. Технический результат изобретения состоит в расширении функциональных возможностей оценки состояния сердца на основе энтропийно-параметрического анализа ЭКС для принятия решения о проведении мероприятий по дефибрилляции сердца или подготовки пациента к немедленной ревазуляризации миокарда при выявлении шоковых ритмов. Для достижения заявленного технического результата на основе отсчётов временного интервала электрокардиосигнала (ЭКС) длительностью, равной по крайней мере трём последовательным кардиоциклам, определяются признаки распределения: среднее квадратическое отклонение, коэффициенты энтропии K_s , асимметрии A_s и контрэксцесса k , которые используются для установления наличия гемодинамически значимой аритмии и выдачи рекомендации по выбору стратегии оказания экстренной кардиологической помощи при проведении сердечно-лёгочной реанимации. Применение результата изобретения позволяет ускорить подготовку пациента для проведения дефибрилляции, чтобы шокировать сердце и восстановить нормальный сердечный ритм в течение нескольких минут, или ускорить подготовку мероприятий для проведения немедленной ревазуляризации, направленной на устранение дефицита кровоснабжения. При отсутствии гемодинамически значимой аритмии способ позволяет установить наличие независимого симптома патологического состояния сердца.

B1

045043

045043

B1

Предполагаемое изобретение относится к медицине, в частности к кардиологии, и может быть использовано при оказании экстренной кардиологической помощи, при определении наличия заболеваний из категории внезапной сердечной смерти (ВСС) и/или получении независимого симптома о наличии патологии.

Внезапная остановка сердца является одной из ведущих причин смертности во всем мире. Регистрация электрокардиограммы в течение первых 4 мин внезапной смерти в 95% случаев свидетельствует о наличии аритмии фибрилляции желудочков [1]. При внезапной остановке сердца происходит опасное для жизни прекращение нормального сердечного ритма и развития аритмий - фибрилляции желудочков или желудочковой тахикардии - характерных для тяжёлых желудочковых нарушений, при которых отсутствует самостоятельное кровообращение. При тяжёлых желудочковых нарушениях, обнаруживаемых по частым, асинхронным сокращениям сердечной мышцы, проводится экстренная дефибрилляция сердца.

Известен способ диагностики стадий фибрилляции желудочков сердца [2] заключающийся в регистрации электрокардиограммы и определения в отрезках электрокардиограммы 1 с спектральной мощности методом быстрого преобразования Фурье, позволяющий определить спектральную мощность тета-ритма частотой 4-7 Гц, альфаритма - 8-12 Гц, бета-ритма - 13-17 Гц и гамма-ритма - 18-40 Гц, если гамма-ритм следует на 2-м ...4-м месте по мощности в 5-ти подряд отрезках электрокардиограммы, то определяют стадии фибрилляции желудочков по удельному весу тета-, альфа-, бета- и гамма-ритмов в процентах к сумме мощности этих ритмов. Несмотря на то, что способ позволяет выявить стадии альфа-, бета-, тета- фибрилляций или диагностировать отсутствие фибрилляции желудочков, результат применения алгоритма зависит от зашумлённости сигнала. В рассматриваемом способе также отсутствует оценка надёжности принятия утверждения "фибрилляция желудочков", необходимого для проведения дефибрилляции, и отсутствует возможность установления состояния "тяжёлое желудочковое нарушение", включающего различные ритмы желудочковой тахикардии.

Известен способ и устройство для оценки надёжности рекомендации относительно разряда при сердечно-лёгочной реанимации [3], включающее в себя дефибриллятор с возможностью подачи высоковольтного импульса к сердцу для восстановления нормального ритма, схема главного узла которого выполнена с возможностью анализа сегмента ЭКГ и схему анализа надёжности, сконструированную с возможностью анализа сегмента ЭКС и предыдущего сегмента для определения надёжности решения о разряде.

По мнению автора предлагаемого изобретения недостатки известных способов диагностики тяжёлых желудочковых нарушений - способа диагностики стадий фибрилляции желудочков сердца и способа для оценки надёжности рекомендации относительно разряда при сердечно-лёгочной реанимации - состоят

в отсутствии оценки вероятности принятия утверждения о состоянии тяжёлых желудочковых нарушений, определяющей надёжность рекомендаций для проведения дефибрилляции;

в отсутствии рекомендаций для проведения реваскуляризации миокарда;

в отсутствии возможности установления независимого симптома о наличии патологического состояния сердца;

в отсутствии анализа хаотических свойств ЭКС при определении шоковых состояний сердечно-сосудистой системы;

в снижении надёжности принимаемого решения (в частности рекомендации для проведения дефибрилляции) при оказании экстренной кардиологической помощи, обусловленного искажением ЭКС при проведении предварительной обработки из-за перекрытия сплошного спектра хаотических составляющих ЭКС и частотного диапазона устройств фильтрации помех и артефактов.

Наиболее близким по достигнутому результату является способ оказания экстренной кардиологической помощи [4], заключающийся в том, что регистрируется ЭКС, анализируется ЭКС, определяется стандартное отклонение средних значений кардиоцикла (SDANN), отношение волн низкой и высокой частоты (LF/HF) вариабельности интервалов QT, фракции выброса (ФВ) в течение суток и расстояние между соседними зубцами R на ЭКГ для оценки гемодинамически значимой аритмии для определения наличия желудочковой тахикардии и для расчёта прогноза степени тяжести аритмического синдрома. При наличии удлинения интервала QT, определяемого по истинному результату оценки неравенства $k\sqrt{R_1 R_2} - QT > 0$, где коэффициент k принимается равным 0,37, 0,39 и 0,38 для мужчин, женщин и детей соответственно, и значения оценки ФВ даются рекомендации для проведения дефибрилляции или реваскуляризации сердца. При отсутствии удлинённого интервала QT определяют коэффициент прогноза степени тяжести аритмического синдрома по выражению:

$$K = -4,518 + 0,02 \cdot \Phi B + 0,037 \cdot SDANN + 0,049 \cdot LF/HF - 0,019 \cdot \text{var } QT$$

Если коэффициент $K \geq 0,25$, прогнозируется тяжёлый аритмический синдром и делается рекомендация для проведения реваскуляризации.

В качестве недостатков данного способа следует отметить

отсутствие возможности определения гемодинамически значимой аритмии без предварительной

обработки ЭКС с целью оценки фракции выброса путём обнаружения, выделения и анализа зубцов ЭКС, проводимой для определения временных интервалов ЭКС, от точности определения которых зависит диагностический результат;

отсутствие возможности определения состояния тяжёлых желудочковых нарушений, при которых наблюдаются аритмии фибрилляции желудочков, трепетание желудочков и, в частности, желудочковые тахикардии;

отсутствие возможности получения рекомендаций по оказанию экстренной кардиологической помощи путём ее оценки по разности временных интервалов, определяемых на основе отдельных взятых параметров QRS комплекса;

отсутствие алгоритма для определения вероятности неправомерного установления симптома патологии сердца и неправомерного установления наличия тяжёлых желудочковых нарушений непосредственно по характеристикам распределений отсчётов ЭКС.

Краткое описание фигур

На фиг. 1 приведена схема процесса, реализующего известный способ оказания экстренной кардиологической помощи.

На фиг. 2 приведены примеры электрокардиографических записей сигналов для ритмов сердца при тяжёлых желудочковых нарушениях,

На фиг. 3 приведены эпюры энтропийно-параметрического пространства, иллюстрирующие выявление наличия заболевания в пространстве коэффициента энтропии, асимметрии и контрэксцесса.

На фиг. 4 приведена схема процесса, реализующего предлагаемый способ оказания экстренной кардиологической помощи.

На фиг. 5 приведена схема формирования пространства координат энтропийно-параметрических признаков распределения отсчётов ЭКС для реального состояния.

На фиг. 6 приведена схема определения надёжности установления ритма ЭКС для состояния с "ТЖН".

На фиг. 7 приведена схема процесса прогнозирования патологического состояния.

На фиг. 8 приведена схема определения надёжности независимого симптома патологического состояния.

На фиг. 9 приведены графики ЭКС при трепетании желудочков.

На фиг. 10 приведены графики ЭКС при желудочковой тахикардии.

На фиг. 11 приведена таблица признаков для ограниченных в основании распределений.

На фиг. 12 приведены графики ЭКС при фибрилляции желудочков.

На фиг. 13 приведено отображение области состояний сердечно-сосудистой системы и области состояния с "ТЖН" в пространстве коэффициента энтропии и контрэксцесса для установления параметра надёжности ритма ЭКС.

На фиг. 14 приведена структурная схема мобильного устройства оказания экстренной кардиологической помощи.

Подробное описание изобретения

Материал подробного описания содержит пояснения вариантов осуществления изобретения со ссылками на чертежи, где аналогичные ссылочные позиции представляют одинаковые или подобные элементы.

Сердечно-лёгочная реанимация используется в качестве протокола лечения ВОС, согласно которому обеспечивается кровообращение в сердечно-сосудистой системе и вентиляция лёгких за счёт компенсации грудной клетки. Лечение ФЖ обеспечивается за счёт дефибрилляции электрическим импульсом. Вероятность восстановления самостоятельного кровообращения при дефибрилляции увеличивается при уменьшении времени между последней сердечно-лёгочной компенсацией и подачей дефибрирующего разряда.

Фиг. 1 представляет собой иллюстрацию схемы этапов процесса реализации для известного способа оказания экстренной кардиологической помощи. Как проиллюстрировано на фиг. 1, обработка информации начинается с этапа 105 регистрации электрокардиосигнала (ЭКС), включающего предварительное усиление, оцифровку и запись ЭКС в базу данных. Далее происходит предварительный анализ электрокардиосигнала на этапе 110, включающий фильтрацию от помех и определение расстояния между соседними зубцами R для определения длительности цикла ЭКС, определение стандартного отклонения средних значений кардиоцикла. При обнаружении на этапе 115 гемодинамически значимой аритмии (ГЗА) и проводится определение желудочковой тахикардии (ЖТ) на этапе 120. При обнаружении ЖТ, на этапе 125 даётся рекомендация для проведения дефибрилляции. Если ЖТ или ГЗА не были обнаружены, то происходит прогнозирование тяжёлого аритмического синдрома на этапе 130, после чего на этап 135 даётся рекомендация для проведения реваскуляризации сердца. Далее выполняются стандартные этапы процесса оказания экстренной кардиологической помощи: этап 140 постановки предварительного диагноза и этап 145 формирования отчёта о состоянии пациента.

Дефибрилляции для восстановления нормального ритма и сократительной функции сердца проводится в случае нарушения кровообращения в результате установления ритма, такого как фибрилляции

желудочков (ФЖ), трепетание желудочков (ТЖ) или желудочковой тахикардии (ЖТ), которые устанавливаются при тяжёлых желудочковых нарушениях [7]. Дефибриляция не проводится при наличии синусового ритма или в случаях развития ряда аритмий, таких как суправентрикулярная тахикардия, преждевременное сокращение желудочков, фибрилляция предсердий и др., при которых возможно самостоятельное кровообращение [8].

К ритмам сердца при тяжёлых желудочковых нарушениях относятся ритмы, иллюстрируемые на фиг. 2.

1) Фибрилляция желудочков (ФЖ) (мерцание) - ритм сердца при наличии патологии, в результате которой желудочки сердца начинают сокращаться с огромной частотой 200-300 сокращений в минуту в хаотичном порядке. Ускоренный ритм сокращений не дает им возможности наполниться кровью, из-за чего происходит критичное нарушение кровообращения, соответствующее кардиогенному шоку. Пример ритма при фибрилляции желудочков дан на фиг. 2а.

2) Желудочковая тахикардия (ЖТ) - ритм сердца при желудочковых нарушениях в результате серьёзного поражения сердечной мышцы. Нарушение может спровоцировать приступ учащённого сердцебиения, которое, вероятнее всего, перейдёт в фибрилляцию желудочков. Пример развития пароксизма полиморфной желудочковой тахикардии типа Torsade de Pointes дан на фиг. 2б.

3) Трепетания желудочков (ТЖ) - нарушение ритма, схожее с фибрилляцией, при котором сокращения происходят ритмично и упорядочено без фракции выброса. Пример ритма при трепетании желудочков дан на фиг. 2в.

Остановка сердца может быть отменена, если выполняется сердечно-лёгочная реанимация (СЛР) или используется дефибриллятор, чтобы шокировать сердце и восстановить нормальный сердечный ритм в течение нескольких минут. Для быстрого и правильного определения ударных ритмов в автоматических дефибрилляторах применяются алгоритмы обнаружения таких тяжелых нарушений сердечного ритма, как ФЖ и ЖТ, для построения которых наибольшее распространение получили методы обнаружения фибрилляций желудочков во временной области.

Метод обнаружения ФЖ во временной области обеспечивает обнаружение ФЖ в реальном времени на основе комплексного поиска QRS по наклону, амплитуде и ширине электрокардиосигнала (ЭКС). Такие методы основаны на алгоритме Томпкинса, алгоритме автокорреляционной функции и алгоритме пороговых интервалов [9]. Недостаток способа оценки надёжности рекомендации относительно разряда при сердечно-лёгочной реанимации во временной области состоит в том, что рекомендация даётся на основе анализа свойств отдельного временного участка ЭКС. Для применения способов обнаружения фибрилляций желудочков во временной области необходимо надёжное обнаружение, выделение и анализ отдельных зубцов и комплексов ЭКС.

Известные методы обнаружения фибрилляций желудочков (ФЖ) в частотной области обнаруживают сигналы с ритмом ФЖ по их близкой к синусоидальной форме. Нормальный ЭКС - это широкополосный сигнал с основными гармониками до 25 Гц. При развитии ритма фибрилляций желудочков ЭКС сконцентрирован в узкой полосе частот от 3 до 10 Гц. Основной принцип алгоритмов обнаружения фибрилляций желудочков (ФЖ) в частотной области состоит в анализе Фурье спектра, нормированного по первой спектральной составляющей. Для обнаружения ФЖ методы анализа Фурье спектра используют сумму амплитуд в разных полосах частот [10]. Несмотря на то, что методы анализа спектра позволяют выявить стадии фибрилляций [2], надёжность результата зависит от зашумлённости ЭКС и методов предварительной фильтрации. По данным [11] для известных способов обнаружения и диагностики ФЖ, такие как режекторная фильтрация, спектральный анализ, линейный анализ автокорреляционной функции, алгоритм надпороговых интегралов, чувствительность не превышает 79% при специфичности 95%.

По мнению автора предполагаемого изобретения недостатки известных алгоритмов обнаружения ФЖ и ЖТ в частотной и временной области состоят в том, что ЭКС имеет хаотические свойства и сплошной спектр, что не позволяет выполнить фильтрацию сигнала без потери информации вследствие искажения сигнала в частотной и временной области. Среди недостатков известных способов выявления тяжёлых желудочковых нарушений также следует отметить отсутствие оценки надёжности принятия решения, получаемое непосредственно по отсчётам исследуемого ЭКС.

Большинство современных устройств автоматической внешней дефибрилляции ограничиваются только записью сигнала с поверхностной электрокардиографией и и диагностикой базового сердечного ритма [3]. Наличие хаотической составляющей сокращения сердца накладывает ограничение на фильтрацию и последующую диагностику базового ритма ЭКС. Так как ни один известный метод фильтрации электрокардиосигнала не является совершенным, то в анализируемом сигнале присутствуют остатки артефактов, которые могут потенциально привести к неправильному определению базового ритма алгоритмов, используемых для рекомендации относительно разряда для автоматического внешнего дефибриллятора. При неустойчивом сердечном ритме во время асистолии несовершенная фильтрация может заставить алгоритм ошибочно рекомендовать стимуляцию разрядом, так как остатки фильтрации будут анализироваться как фибрилляции желудочков [3]. С другой стороны, техника фильтрации может ошибочно отфильтровать часть информации о фибрилляции желудочков и сделать ритм для алгоритма рекомендации относительно разряда как ритм, при котором стимуляция разрядом не вызовет эффекта восста-

новления, или как ритм, при котором не рекомендована стимуляция разрядом. Таким образом, существующие методы анализа ЭКС не позволяют получить приемлемый ЭКС, на основе которого можно принять достаточно надёжные решения о проведении стимуляции сердца электрическим разрядом [9].

Несмотря на то, что в последнее время развиваются новые методы, основанные на анализе сложности динамики сигнала, к примеру, алгоритм измерения сложности (complexity measure algorithm) [9], актуальна разработка новых способов выявления тяжёлых желудочковых нарушений, основанных на анализе хаотических свойств ЭКС при определении шоковых состояний сердечно-сосудистой системы. Качественно новые возможности для определения состояния сердца и выявления патологий непосредственно по отсчётам ЭКС содержит энтропийно-параметрический подход, основанный на объединении методов вероятностного и информационного анализа за счёт синергетического объединения меры Эвланда и меры Шеннона [12].

Целью предполагаемого изобретения является расширение функциональных возможностей оценки состояния сердца на основе энтропийно-параметрического анализа ЭКС для принятия решения о проведении мероприятий по дефибрилляции сердца или подготовки пациента к немедленной реваскуляризации миокарда при выявлении шоковых ритмов. При отсутствии гемодинамически значимой аритмии способ оказания экстренной кардиологической помощи, основанный на анализе энтропийно-параметрического критерия в пространстве энтропийного коэффициента, контрэксцесса и асимметрии, позволяет установить наличие независимого симптома патологического состояния сердца.

Для этого в способе оказания экстренной кардиологической помощи, включающем регистрацию, анализ электрокардиосигнала (ЭКС), определение параметра стандартного отклонения средних значений кардиоциклов, определение желудочковой тахикардии и экстрасистолии по крайней мере для трёх последовательных кардиоциклов, проведение дефибрилляции в случае гемодинамически значимой аритмии, прогнозирование тяжёлого аритмического синдрома и проведение реваскуляризации в случае отсутствия желудочковой тахикардии; постановка предварительного диагноза и формирования отчёта о состоянии сердца пациента;

отличающийся тем, что дополнительно осуществляется

формирование пространства координат энтропийно-параметрических признаков распределения отсчётов ЭКС для реального состояния путём определения центральных моментов распределения отсчётов временного интервала ЭКС, рассчитываемые по формуле:

$$\mu_s = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^m (y_j - M)^s \cdot n_j, \quad (1)$$

где N - число отсчётов временного интервала ЭКС;

m - число интервалов группирования;

n_j - число отсчётов в j -м интервале группирования;

y_j - среднее значение отсчётов ЭКС в j -м интервале группирования;

s - порядок момента распределения, $s=2, 3, 4, \dots$;

M - математическое ожидание ЭКС для исследуемого временного интервала

$$M = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^m y_j \cdot n_j, \quad (2)$$

определения информационного признака распределения отсчётов временного интервала ЭКС

$$\Delta_3 = \frac{1}{2} \Delta_y \cdot N \cdot \exp \left(-\frac{1}{N} \sum_{j=1}^m n_j \ln(n_j) \right), \quad (3)$$

где Δ_y - ширина интервалов группирования отсчётов ЭКС;

определения коэффициента энтропии K_3 , асимметрии As и контрэксцесса κ для распределения отсчётов временного интервала электрокардиосигнала (ЭКС) длительностью, равной по крайней мере трём последовательным кардиоциклам, по формулам:

$$K_3 = \frac{\Delta_3}{\sigma}, \quad As = \frac{\mu_3}{\sigma^3}, \quad \kappa = \frac{\sigma^2}{\mu_4}, \quad (4)$$

где σ - среднее квадратическое отклонение отсчётов временного интервала ЭКС (параметрический признак неопределённости отсчётов ЭКС);

определения разбросов признаков распределения отсчётов ЭКС для реального состояния пациента H_1 ,

$$\begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{bmatrix} = \left[\frac{0.9}{\kappa k_3^2 \sqrt{k_3 n}}, \kappa \frac{\sqrt[4]{(\varepsilon^2 - 1)^3}}{\sqrt{29 \cdot n}}, \sqrt{\frac{6(n-1)}{(n+1)^2(n+3)(n+5)}} \right]^T, \quad (5)$$

где S_1, S_2, S_3 - разбросы коэффициента энтропии, контрэксцесса и асимметрий, соответственно; определение параметрического критерия возникновения гемодинамически значимой аритмии (ГЗА)

путём оценки истинности неравенства разницы модуля асимметрии As распределения отсчётов временного интервала электрокардиосигнала и его минимального критического значения $As_{\text{крит}}$

$$|As| - As_{\text{крит}} < 0, \quad (6)$$

и в случае, если выражение (6) истина, определение надёжности утверждения об установлении ритма электрокардиосигнала для состояния с тяжёлыми желудочковыми нарушениями путём формирования границ области состояния "тяжёлые желудочковые нарушения (ТЖН)", заданных с помощью матрицы выражений:

$$\begin{bmatrix} \eta_{1\text{max}} & \eta_{1\text{min}} \\ \eta_{2\text{max}} & \eta_{2\text{min}} \\ \eta_{3\text{max}} & \eta_{3\text{min}} \end{bmatrix} = \left[\left(\frac{k_{\text{эmax}} - k_{\text{э}}}{S_1} \right), \left(\frac{As_{\text{max}} - As}{S_2} \right), \left(\frac{\kappa_{\text{max}} - \kappa}{S_3} \right) \right]^T \quad (7)$$

где k_{max} , As_{max} , κ_{max} , $k_{\text{эmin}}$, As_{min} , κ_{min} , - максимальные и минимальные значения коэффициента энтропии, асимметрии и контрэксцесса для отсчётов ритма ЭКС с тяжёлыми желудочковыми нарушениями;

определения вероятности $\beta_{\text{ТЖН}}$ появления ошибки в результате принятия неверного утверждения об установлении ритма электрокардиосигнала патологического состояния с тяжёлыми желудочковыми нарушениями по формуле:

$$\beta_{\text{ТЖН}} = \prod (\Phi_0(\eta_{\text{max}}) - \Phi_0(\eta_{\text{min}})); \quad (8)$$

где $\Phi_0(x)$ - функция Лапласа;

определения критерия надёжности утверждения "ритм электрокардиосигнала соответствует патологическому состоянию с тяжёлыми желудочковыми нарушениями" на основе сравнения вероятности $\beta_{\text{ТЖН}}$ появления ошибки в результате принятия неверного утверждения "ритм ЭКС соответствует патологическому состоянию с тяжёлыми желудочковыми нарушениями и критической вероятности $\beta_{\text{крит}}$

$$\beta_{\text{ТЖН}} < \beta_{\text{крит}}; \quad (9)$$

и проведение мероприятий по оказанию экстренной кардиологической помощи в случае, если вероятность $\beta_{\text{ТЖН}}$ появления ошибки в результате принятия неверного утверждения об установлении ритма электрокардиосигнала патологического состояния с тяжёлыми желудочковыми нарушениями менее критического значения, равного 20%, что соответствует надёжному определению ритма ЭКС при наличии тяжёлых желудочковых нарушений, проводится дефибриляция сердца; в случае если вероятность $\beta_{\text{ТЖН}}$ появления ошибки в результате принятия неверного утверждения об установлении ритма электрокардиосигнала патологического состояния с тяжёлыми желудочковыми нарушениями более критического значения, равного 20%, что соответствует не надёжному определению ритма ЭКС с тяжёлыми желудочковыми нарушениями, проводится прогнозирование аритмического синдрома сердца и реваскуляризация;

в случае если выражение (6) ложно, проводится прогнозирование возможности патологического состояния путём определения энтропийно-параметрического критерия для ритма электрокардиосигнала оптимального состояния сердца пациента по выражению:

$$r = \sqrt{\left(\frac{K_{\text{э}} - K_{\text{э0}}}{a \cdot K_{\text{э0}}} \right)^2 + \left(\frac{As - As_0}{c \cdot As_0} \right)^2 + \left(\frac{\kappa - \kappa_0}{b \cdot \kappa_0} \right)^2} \quad (10)$$

где $K_{\text{э0}}$, As_0 , κ_0 - коэффициент энтропии, асимметрия и контрэксцесс для ритма электрокардиосигнала оптимального состояния сердца;

a, b и c - параметры границы зоны оптимальных состояний сердца;

сравнения критерия r и его критического значения при уровне значимости α с помощью выражения:

$$r < r_{\alpha}, \quad (11)$$

где α - уровень значимости принятия решения об отклонении утверждения "ритм электрокардиосигнала оптимального состояния"

$$\alpha(r) = 1 + 2[r \cdot \Phi(r) - \Phi_0(r)]; \quad (12)$$

в случае если выражения (11) ($r < r_{\alpha}$) истина, информирование "ритм сердца оптимального состояния", и в случае если выражение (11) ($r > r_{\alpha}$) ложно, прогнозирование патологического состояния, для чего дополнительно проводится определение надёжности независимого симптома патологического состояния путём определения параметров границы области принятия решения "ритм электрокардиосигнала оптимального состояния" в пространстве признаков распределения отсчётов для ритма электрокардиосигнала реального состояния:

$$[A_1 \ A_2 \ A_3]^T = \left[\frac{a \cdot k_{\text{э0}}}{S_1} \ \frac{b \cdot As_0}{S_2} \ \frac{c \cdot \kappa_0}{S_3} \right]^T, \quad (13)$$

определения координат ритма электрокардиосигнала оптимального состояния в пространстве признаков распределений отсчётов для ритма электрокардиосигнала реального состояния пациента:

$$[\eta_{01} \quad \eta_{02} \quad \eta_{03}]^T = \left[\left(\frac{k_{20} - k_2}{S_1} \right), \left(\frac{As_0 - As}{S_2} \right), \left(\frac{\kappa_0 - \kappa}{S_3} \right) \right]^T, \quad (14)$$

формирования границ области принятия решения "ритма электрокардиосигнала оптимального состояния" в пространстве признаков распределении отсчётов для ритма электрокардиосигнала реального состояния

$$\begin{aligned} \eta_{\max 1}(\eta_2, \eta_3) &= \eta_{01} + A_1 A_2^{-1} \sqrt{A_2^2 \left[r_{\alpha}^2 - \left(\frac{\eta_3 - \eta_{03}}{A_3} \right)^2 - (\eta_2 - \eta_{02})^2 \right]}, \\ \eta_{\min 1}(\eta_2, \eta_3) &= \eta_{01} - A_1 A_2^{-1} \sqrt{A_2^2 \left[r_{\alpha}^2 - \left(\frac{\eta_3 - \eta_{03}}{A_3} \right)^2 - (\eta_2 - \eta_{02})^2 \right]}, \\ \eta_{\max 2}(\eta_3) &= \eta_{02} + A_2 A_3^{-1} \sqrt{A_3^2 r_{\alpha}^2 - (\eta_3 - \eta_{03})^2}, \\ \eta_{\min 2}(\eta_3) &= \eta_{02} - A_2 A_3^{-1} \sqrt{A_3^2 r_{\alpha}^2 - (\eta_3 - \eta_{03})^2}, \\ \eta_{\max 3} &= \eta_{03} + A_3 r_{\alpha}, \\ \eta_{\min 3} &= \eta_{03} - A_3 r_{\alpha}. \end{aligned} \quad (15)$$

определения вероятности β_0 совершения ошибки в результате принятия неверного утверждения "ритм электрокардиосигнала оптимального состояния" путём вычисления выражения:

$$\beta = \frac{1}{(2\pi)^{3/2}} \int_{\eta_{\min 1}(\eta_2, \eta_3)}^{\eta_{\max 1}(\eta_2, \eta_3)} \int_{\eta_{\min 2}(\eta_3)}^{\eta_{\max 2}(\eta_3)} \int_{\eta_{\min 3}}^{\eta_{\max 3}} e^{-\frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 (\eta_i)^2} d\eta_1 d\eta_2 d\eta_3, \quad (16)$$

сравнения вероятности β_0 появления ошибки в результате принятия неверного утверждения "состояние оптимально" и его критического значения $\beta_{\text{крит}}$ (равного 20%),

$$\beta_0 > \beta_{\text{крит}}, \quad (17)$$

в случае, если выражение (17) истинно, что характеризует ЭКС при наличии патологических отклонений, установление наличия симптома патологии сердца;

в случае, если выражение (17) ложно, что характеризует ЭКС при отсутствии патологических отклонений, информирование о возможном развитии патологического состояния.

Устройство для осуществления способа оказания экстренной кардиологической помощи содержит блок регистрации и предварительного анализа ЭКС (блок 1405), выполненный с возможностью усиления сигналов отведений ЭКС, контроля отрыва проводов, аналого-цифрового преобразования сигналов, фильтрации помех, независимой записи оцифрованной информации в базу данных, предварительного анализа экс, определение стандартного отклонения среднего значения кардиоцикла;

блок формирования энтропийно-параметрических признаков выборки электрокардиосигнала реального состояния (блок 1410), выполненный с возможностью выделение $\{S_{EP}\}$ выборки данных кардиоциклов, определение центральных моментов ЭКС, определение информационного признака ЭКС, определение энтропийно-параметрических признаков - коэффициента энтропии, асимметрии и контрэксцесса для распределения отсчётов временного интервала ЭКС, определение разбросов признаков распределения отсчётов ЭКС для реального состояния;

блок определения критерия гемодинамически значимой аритмии (блок 1415), выполненный с возможностью оценки истинности неравенства разницы модуля признака асимметрии распределения отсчётов временного интервала ЭКС и его минимального критического значения и возможностью переключения последовательности обработки информации при возникновении гемодинамически значимой аритмии;

блок определения надёжности установления ритма ЭКС состояния с тяжёлыми желудочковыми нарушениями (ТЖН) (блок 1420), выполненный с возможностью формирования границ области состояния "ТЖН", вычисления вероятности появления ошибки в результате принятия неверного утверждения об установлении ритма патологического состояния с тяжёлыми желудочковыми нарушениями; определения критерия надёжности утверждения о патологическом состоянии "ТЖН" путём сравнения с его критическим значением и возможностью подключения средств информирования о необходимости проведения дефибрилляции или реваскуляризации (при реваскуляризации информирование ограничивается формированием предварительного диагноза и отчёта);

блок информирования о необходимости проведения дефибрилляции (блок 1425), с возможностью представления звуковой и визуальной информации о необходимости проведения дефибрилляции и возможностью подключения средств управления дефибриллятором;

блок прогнозирования патологического состояния (блок 1430), выполненный с возможностью определения энтропийно-параметрического критерия для ритма ЭКС оптимального состояния; сравнение энтропийно-параметрического критерия и его критического значения при заданном уровне значимости

α ; информировании о ритме сердца оптимальном состоянии в случае, если энтропийно-параметрический критерий меньше его критического значения, и прогнозировании возможности патологического состояния в случае, если энтропийно-параметрический критерий равен или больше его критического значения путём определения параметров границы области принятия решения "ритм ЭКС оптимального состояния" и координат ритма оптимального состояния в пространстве признаков распределения отсчётов ЭКС реального состояния, формирования границ области принятия решения ритма электрокардиосигнала реального состояния; определения вероятности ошибки в результате принятия неверного утверждения "ритм ЭКГ оптимального состояния"; сравнения вероятности появления ошибки в результате принятия неверного утверждения "ритм ЭКС оптимального состояния" и его критического значения для установления наличия независимого симптома патологического состояния сердца;

блок формирования предварительного диагноза (блок 1435);

блок формирования отчёта (блок 1440).

Введённые действия с их связями проявляют новые свойства, расширяют функциональные возможности известного способа и позволяют получить независимый симптом наличия патологии сердца. Расширение функциональных возможностей в способе оказания экстренной кардиологической помощи обеспечивается путём

отображения состояния сердца в энтропийно-параметрическом пространстве признаков распределения электрокардиосигнала: коэффициента энтропии, контрэксцесса и асимметрии;

установления гемодинамически значимой аритмии (ГЗА) на основе сравнения асимметрии A_s распределения отсчётов временного интервала ЭКС с минимальным критическим значением асимметрии $A_{s_{крит}}$;

принятия решения о проведении дефибрилляции на основе оценки надёжности анализа формы распределения в энтропийно-параметрическом пространстве путём сравнения вероятности $\beta_{ТЖН}$ появления ошибки в результате принятия неверного утверждения о патологическом состоянии "тяжёлые желудочковые нарушения" с его критическим значением;

установления независимого симптома патологического состояния на основе оценки надёжности симптома в энтропийно-параметрическом пространстве путём сравнения вероятности β_0 совершения ошибки в результате принятия неверного утверждения "состояние оптимально" и его критического значения.

Суть предлагаемого изобретения заключается в вынесении суждения о состоянии сердечно-сосудистой системы и оказании экстренной кардиологической помощи на основе оценки формы распределения отсчётов ЭКС временного интервала, характерного для трёх последовательных циклов сокращения сердца.

Известно, что отображение электрокардиосигнала в энтропийно-параметрическом пространстве признаков распределений: коэффициента энтропии, контрэксцесса и асимметрии является эффективным инструментом анализа состояния системы сердца по форме распределения отсчётов [12, 13]. На фиг. 3 дана эпо́ра распределения энтропийно-параметрического пространства для выявления наличия заболевания в пространстве коэффициента энтропии, асимметрии и контрэксцесса, где 305 - точка оптимального состояния с нормальным синусовым ритмом; 310 - область оптимального состояния сердца (и сердечно-сосудистой системы в целом); 315 - область возможного патологического состояния сердца; 320 - область состояний с тяжёлыми желудочковыми нарушениями; 325 - положение арксинусоидальных распределений; 330 - положение признаков распределения отсчётов ЭКГ для реального состояния; 335 - поверхность критических значений асимметрии. Там же обозначены цифрами 340, 345 и 350 кривые для семейств статистических распределений: семейства распределений Вейбулла-Гнеденко; семейства обобщённого гамма распределения (при коэффициенте формы 0.6) и семейства экспоненциальных распределений, соответственно, из которых можно видеть, что распределения плохо различимы в пространстве параметрических признаков распределений - асимметрии и контрэксцесса. Гистограмма 355 иллюстрирует характерное распределение отсчётов одного кардиоцикла. Применение коэффициента энтропии позволяет однозначно различать эти распределения. Очевидно, что трёхмерное пространство, заданное параметрическими признаками распределения - контрэксцессом, асимметрией и коэффициентом энтропии, можно выгодно использовать для анализа состояний сердца по форме распределения отсчётов ЭКС. В трёхмерном пространстве признаков распределений область оптимального состояния 310 и область состояний с ритмами ЭКС 320, соответствующих тяжёлым желудочковым нарушениям, пространственно разнесены, что позволяет однозначно выявить ритмы, при которых необходимо проведение дефибрилляции для восстановления нормального сердечного ритма.

Автор предлагаемого изобретения убеждён в том, что отображение распределений в энтропийно-параметрическом пространстве признаков распределений ЭКС позволяет получить важнейшие диагностические показатели состояния сердца и сердечнососудистой системы в целом, которые позволяют расширить функциональные возможности оценки состояния сердца на основе энтропийно-параметрического анализа ЭКС для принятия решения о проведении мероприятий по дефибрилляции сердца или подготовки пациента к немедленной реваскуляризации миокарда при выявлении шоковых

ритмов. Для иллюстрации особенностей и новых возможностей способа оказания экстренной кардиологической помощи рассмотрим характерные ритмы ЭКС для состояний с тяжёлыми желудочковыми нарушениями.

Трепетание желудочков

В качестве примера разберём нарушение ритма ЭКС вследствие трепетания желудочков (ТЖ), которое представляет собой частый случай желудочковой тахикардии с частотой 200-300 сокращений сердца в минуту. Трепетание желудочков происходит из-за устойчивого кругового движения автоволн по периметру зоны миокарда с частотой от 180 до 250 импульсов в минуту. При трепетании желудочков комплексы QRS и зубцы Т сливаются в единую волну большой амплитуды. Поскольку эти волны приходят регулярно, возникает картина правильных синусоидальных колебаний, в которых, в отличие от ЖТ, не удаётся выделить отдельные элементы. В 75% случаев трепетание желудочков переходит в ФЖ [7]. Пример ЭКГ при трепетании желудочков дан на фиг. 2в, где показано спонтанное развитие трепетания желудочков с эволюцией в синусоидальную кривую и последующим переходом в фибрилляцию желудочков на записи ЭКС при проведении Холтеровского мониторирования, зафиксировавшей момент внезапной аритмической смерти. Характерные примеры ЭКС при трепетании желудочков показаны на фиг. 9. При трепетании желудочков ЭКС имеют близкую к гармоническим сигналам форму. Распределение отсчётов при трепетании желудочков стремится к симметричной форме.

Отсчёты при синусоидальном (гармоническом) колебании распределены арксинусоидально с известными значениями признаков: коэффициент энтропии и контрэксцесса равны 1,11 и 0,816 соответственно [14]. Так как при правильных гармонических колебаниях отсчёты распределены симметрично, то коэффициент асимметрии равен нулю. Положению состояний с нарушением ритма ЭКС вследствие "трепетаний желудочков" из-за разброса колебаний по амплитуде и частоте в энтропийно-параметрическом пространстве признаков распределений соответствует некоторая малая область вблизи точки арксинусоидальных распределений 325. На фиг. 3, расположенной в плоскости, заданной равной нулю асимметрией. Очевидно, что состояние с координаты точки 325 на фиг. 3 диагностируется как нарушение ритма ЭКС вследствие тяжёлых желудочковых нарушений, при котором согласно рекомендациям [15, 16] необходимо проведение дефибрилляции для восстановления нормального ритма сердца.

Более общий пример нарушение ритма ЭКС наблюдается при различных видах желудочковых тахикардий, для которых характерен ускоренный ритм с частотой сердечных сокращений более 100 уд./мин. Источник ускоренного ритма желудочковой тахикардии находится в ножках или разветвлениях пучка Гиса в волокнах Пуркинье или рабочем миокарде желудочков. Устойчивой считается тахикардия, при которой длительность пароксизма равна или превышает 30 с [15]. В зависимости от количества и расположения источников ускоренного ритма различают параксиальные и полиформные желудочковые тахикардии.

Пароксизмальная желудочковая тахикардия - вид аритмии, характеризующийся приступами сердцебиения (пароксизмами) с частотой сердечных сокращений от 140 до 220 и более сокращений в минуту, возникающих под влиянием эктопических импульсов, которые приводят к замещению нормального синусового ритма. Термином "желудочковая парасистолия" обозначают такое состояние, при котором сердечным ритмом управляют два независимых водителя. Один из них основной (наиболее часто - синусовый узел), другой - парасистолический, расположен в желудочках [17, 18, 19]. Примеры графиков ЭКС при различных ритмах желудочковых тахикардий даны на фиг. 10. При развитии парааксиальной тахикардии ЭКС хорошо аппроксимируется наложением гармонического сигнала на фиг. 10а или наложением треугольных сигналов на фиг. 10б. Распределение отсчётов такого сигнала имеют двухмодальное симметричное распределение. Если сигнал аппроксимировать с помощью треугольных сигналов, то отсчётам аппроксимации соответствует равномерное распределение с известными коэффициентом энтропии и контрэксцессом, равными 1,73 и 0,745 соответственно. Так как при равномерном распределении отсчёты распределены симметрично относительно математического ожидания, то коэффициент асимметрии для распределения отсчётов аппроксимации равен нулю. Отклонение от треугольной аппроксимации приблизительно в 5-10 раз меньше амплитуды, что обуславливает отклонение коэффициента асимметрии от нулевого значения. Коэффициент асимметрии распределения отсчётов таких сигналов не превышает 0,3-0,5, что можно использовать для ограничения области возможных форм асимметрии сигнала при желудочковых тахикардиях. Для распределения отсчётов ЭКС парааксиальной тахикардии на фиг. 10 в характерно двухмодальное распределение с асимметрией менее 0,5, которая определяется на основе распределения отсчётов модели треугольных импульсов.

Полиморфная желудочковая тахикардия характеризуется прогрессирующими (от удара к удару) изменениями комплексов QRS по конфигурации, амплитуде и направлению преобладающих электрических отклонений. Чаще всего встречается полиморфная желудочковая тахикардия типа пируэт - Torsade de Pointes (TdP) - другое название "двунаправленная-веретенообразная" ЖТ, которая является одной из самых опасных форм ЖТ из-за тяжёлых клинических проявлений (гемодинамической нестабильностью) и высокого риска трансформации в ФЖ. На фиг. 2б дан пример развития пароксизма полиморфной желудочковой тахикардии типа Torsade de Pointes на фоне физической нагрузки у больного синдромом Романо-Уорда (фрагмент непрерывной записи суточного мониторирования ЭКГ по Холтеру) [16].

На фиг. 10г даны характерные примеры ЭКС для ритма полиморфной желудочковой тахикардии типа Torsade de Pointes. Частота ритма полиморфной желудочковой тахикардии составляет 150-250 колебаний в секунду с колебаниями R-R интервалов в пределах 0,2-0,3 с. Характерная особенность ЖТ типа Torsade de Pointes состоит в изменении амплитуды и полярности широких неправильных QRS комплексов в течение коротких промежутков времени 1-3 с. Вне приступа ЖТ типа Torsade de Pointes на ЭКГ регистрируется значительное удлинение интервала QT.

Несмотря на то, что для таких ритмов при перемещении скользящего окна длительностью 2-3 с выделяются участки ЭКС с разными по амплитуде и направлению QRS комплексами, признаки распределения отсчётов колеблются вблизи признаков двухмодульного, равномерного и треугольного распределений с нулевым значением асимметрии. Распределение отсчётов ЭКС между двумя точками изменения полярности QRS комплекса формируется суммированием отсчётов двухмодальных распределений. Для ритма ЭКС на фиг. 10г отдельной осцилляции соответствует ограниченное арксинусоидальное распределение. Как показано в работе [14], композиция арксинусоидальных распределений с различным размахом, ограниченной амплитудой осцилляции ЭКС, позволяет получить семейство ограниченных в основании двухмодульных островершинных распределений. Для композиции распределений арксинусоидальных распределений характерно ограничение по размаху и отсутствие островершинности. На фиг. 11 дана таблица с основными признаками ограниченных в основании распределений, таких как арксинусоидальное, островершинное двухмодульное, равномерное и треугольное распределения, распределение в форме "древнерусского шлема", распределение Шапо и др [14]. Характерное свойство ограниченных в основании распределений состоит в низком значении эксцесса - признака островершинности распределения. Эксцесс ε распределений ограничен сверху значением 2,5, что соответствует нижней границе контрэксцесса ($\kappa = \varepsilon^{-0.5}$), равной 0,63. При прохождении точки переворота QRS распределение выборки ЭКС стремится к симметричной форме и находится на плоскости с нулевым значением асимметрии. Таким образом, несмотря на многообразие форм распределения отсчётов при различных ритмах желудочковых тахикардий точка, отображающая состояние сердца в энтропийно-параметрическом пространстве, будет находиться вблизи поверхности с нулевым значением асимметрии.

Фибрилляции желудочков - третий пример ритма ЭКС, наблюдаемый при тяжёлых желудочковых нарушениях. В состоянии фибрилляции желудочков происходит непрерывное некоординированное возбуждение, которое поддерживается случайными прерывистыми возбуждениями отдельных элементов и нерегулярной активацией миокарда с появлением множественных мелких волн [7]. При этом состоянии сердце перестаёт выполнять свои насосные функции, и прекращается кровоснабжение всего организма. На ЭКГ фибрилляция желудочков распознаётся по непрерывным хаотичным резко деформированным осцилляциям различной высоты, ширины и формы, следующих с частотой 400-600 колебаний в минуту (6-10 Гц) [7]. Частота основных фибриллярных осцилляций в первые 30 - 40 с больше 300 осцилляций. По мере увеличения длительности фибрилляций желудочков частота осцилляций уменьшается. В зависимости от амплитуды осцилляций выделяют крупноволновую, средневолновую и мелковолновую фибрилляции с амплитудами более 0,7-1,2 мВ, 0,4-0,7 мВ и менее 0,3 мВ соответственно. Фибрилляции желудочков, как правило, является необратимым процессом и требуют проведения сердечно-легочной реанимации и дефибрилляции [20].

Для выявления особенностей распределения отсчётов ЭКС при различных ритмах фибрилляций желудочков на фиг. 12 даны примеры типичных ЭКС, соответствующих крупноволновой, средневолновой и мелковолновой фибрилляциям.

Для крупноволновых фибрилляций, иллюстрируемых на фиг. 12а, характерно наложение распределений отсчётов от множества хаотических волн, соизмеримых по амплитуде. Для отдельных волн распределения отсчётов хорошо аппроксимируется арксинусоидальным, двухмодальным и равномерным распределениями. Композиция таких распределений при близких центрах распределений имеет ограничение островершинности [14]: эксцесс распределений не превышает 2,5, контрэксцесс ограничен в диапазоне от 0,63 до 1.

Особенность средневолновых фибрилляций, примеры которых приведены на фиг. 12б, состоит в том, что её значения попадают в ограниченное количество интервалов группирования. При выборе ширины интервала группирования равного 0,1 мВ все значения группируются в 4-7 интервалах с близким к равномерному распределением. Для распределения отсчётов образованного периодическими гармоническими и треугольными формами сигнала контрэксцесс находится в диапазоне 0,7-0,8. Снижение амплитуды в период мелковолновой фибрилляции до значений менее 0,3 мВ обуславливает распределение сигнала в 1 ... 2 интервалах. Для таких сигналов характерно низкое значение коэффициента энтропии, при которых отсутствуют признаки жизнедеятельности объекта. Несмотря на то, что при уменьшении ширины интервала группирования до 0,01 мВ контрэксцесс распределения находится в интервале от 0,6 до 1, значение коэффициента энтропии более 1 и асимметрия не превышает 0,5, при этом анализ сигнала имеет малую достоверность из-за наличия шумов. Состояние летального исхода при амплитуде сигнала менее 0,1 мВ устанавливает медицинский специалист. Примеры периодов мелковолновой фибрилляции иллюстрирует фиг. 12в.

Таким образом, из рассмотренного анализа возможно установление в энтропийно-параметрическом пространстве границ для ограничения области состояний с тяжёлыми желудочковыми нарушениями: коэффициент энтропии от 0,8 до 2,2; контрэксцесс от 0,6 до 1; модуль асимметрии от 0 до 0,6. При наличии состояния с ритмом тяжёлых желудочковых нарушений (ФЖ, ТЖ или ЖТ без пульса) ключевым элементом реанимации (т.е., однозначно рекомендована) является экстренная электрическая дефибрилляция с применением энергии разряда 150-360 Дж [15, 16].

Для иллюстрации особенностей распределений отсчётов ЭКС при ритме сердца с "ТЖН" на фиг. 13 показано отображение области оптимального состояния сердечно-сосудистой системы и области состояния сердца с ТЖН в виде проекции состояний на плоскость коэффициента энтропии и контрэксцесса. Там же даны кривые расположения известных распределений в пространстве признаков, построенные по известной топографической диаграмме Новицкого П.В. [14], где используются следующие обозначения: 350 - кривая положений семейства распределений экспоненциального класса с показателями степени α от 0 и до ∞ ; 1305 - область разброса положений признаков распределения отсчётов ЭКГ для реального состояния; 1310 - кривая положений семейства двухмодальных распределений; 1315 - область возможных проекций на плоскость отображения симметричных распределений; 1320, 1325 - кривые положения композиций экспоненциального и дискретного двухзначного распределений; 1330, 1335 и 1340 - точки положения распределения Лапласа, нормального и равномерного распределений соответственно; 1345 - кривая положения семейства композиций дискретного и экспоненциального распределений с параметрами формы 1/3; 1350, 1355 - точки ограничения для положения класса арккосинусоидальных распределений; 1360 - точка положения дискретного двухзначного распределения; 1365 - пунктирная кривая, ограничивающая часть пространства признаков коэффициента энтропии и контрэксцесса для наиболее вероятного положения изображающей точки для распределений отсчётов ЭКС реального состояния, включающего как область оптимального состояния 310, так и состояния с тяжёлыми желудочковыми нарушениями (граница ТЖН 320).

Из диаграммы можно видеть, что область оптимального состояния и область состояний с тяжёлыми желудочковыми нарушениями разнесены в пространстве и, следовательно, могут быть однозначно установлены. Для оптимального состояния при длительности цикла 0,8 с и высоте R-зубца 1 мВ контрэксцесс соответствует 0,26. Для области тяжёлых желудочковых нарушений характерно уплощенное распределение и значениями контрэксцесса более 0,6.

Автор изобретения считает, что для обеспечения надёжности принятия решения при оказании экстренной кардиологической помощи целесообразно использовать отображение реального состояния сердечно-сосудистой системы пациента в виде изображающей точки распределения отсчётов ЭКС в пространстве признаков коэффициента энтропии, контрэксцесса и асимметрии.

Положению изображающей точки в области состояния 305 соответствует нормальный синусовый ритм сердца. При выходе изображающей точки 330 за пределы области оптимального состояния 310 можно констатировать об изменении распределений отсчётов в отдельных циклах ЭКС, что возможно при изменениях форм, амплитуд, длительностей зубцов и временных интервалов ЭКС. Такие изменения происходят при развитии патологий сердечно-сосудистой системы.

Очевидно, что положение изображающей точки вне области оптимального состояния следует рассматривать как независимый симптом проявления патологического состояния сердечно-сосудистой системы. Для надёжного установления патологического состояния необходимо оценить вероятность совершения ошибки в результате принятия неверного утверждения об оптимальном состоянии системы.

Состоянию сердца с тяжёлыми желудочковыми нарушениями соответствуют ЭКС, для распределения отсчётов которых характерна симметрия сигнала и низкое значение островершинности. Распределения отсчётов ЭКС при ритмах сердца с тяжёлыми желудочковыми нарушениями ограничены сравнительно небольшой областью энтропийно-параметрического пространства признаков распределений. При положении изображающей точки распределения отсчётов ЭКС реального состояния в пространстве признаков распределений отсчётов ЭКС ритмов сердца с ТЖН в соответствии с клиническими рекомендациями министерства здравоохранения РФ от 2017 года однозначно рекомендована экстренная электрическая дефибрилляция с целью восстановления нормального сердечного ритма [15, 16]. Для принятия решения о проведении дефибрилляции необходимо надёжное определение сердечного ритма с тяжёлыми желудочковыми нарушениями. Сопоставление оценки вероятности появления ошибки в результате принятия неверного утверждения "состояние с ТЖН" с его критическим значением увеличивает надёжность принятия решения, направленного на выбор мероприятий по оказанию экстренной кардиологической помощи.

Для реализации новых возможностей в предполагаемом изобретении проводятся следующие действия, иллюстрируемые в виде этапов 405, 410, 415, 420, 425 на фиг. 4 схемы процесса поддержки принятия решения при оказании экстренной кардиологической помощи.

Формирование пространства координат энтропийно-параметрических признаков распределения отсчётов ЭКС для реального состояния

Основная цель этого действия, иллюстрируемого этапом 405 схемы на фиг. 4, состоит в том, чтобы

получить координаты изображающей точки распределения отсчётов ЭКС для реального состояния в энтропийно-параметрическом пространстве признаков распределений и оценку неопределённости состояния в виде разброс координат изображающей точки для определения границ областей оптимального состояния 310 и границ области состояния с ТЖН 320 в пространстве реального состояния с приведёнными координатами η_i .

Схема формирования пространства координат энтропийно-параметрических признаков распределения отсчётов ЭКС для реального состояния дана на фиг. 5 в виде этапов 505, 510, 515, 520. Из фиг. 5 следует, что первое отличительное действие предполагаемого способа оказания экстренной кардиологической помощи содержит

определение на этапе 505 центральных моментов второго, третьего и четвёртого порядков распределения отсчётов временного интервала ЭКС по формуле (1);

определение на этапе 510 информационного признака неопределённости отсчётов временного интервала ЭКС по формуле (3);

определения на этапе 515 коэффициента энтропии K_e , асимметрии A_s и контрэксцесса k по формулам (4) для распределения отсчётов временного интервала электрокардиосигнала (ЭКС) реального состояния длительностью, равной трём кардиоциклам, и отображения результата в энтропийно-параметрическом пространстве признаков распределений отсчётов ЭКС;

определение на этапе 520 разбросов признаков распределения отсчётов выборки ЭКС для реального состояния пациента 330.

Разбросы признаков коэффициента энтропии, контрэксцесса и асимметрии распределения отсчётов ЭКС для реального состояния пациента 330, обозначенные, соответственно, как элементы S_1, S_2, S_3 вектора разбросов. Разбросы признаков находят по формулам (5), заданным в виде матричного вектора разбросов.

Разбросы признаков распределения позволяют сформировать границы области оптимального состояния и состояния с ТЖН в пространстве отсчётов текущей выборки отсчётов ЭКС.

Определение энтропийно-параметрического критерия возникновения ГЗА

Действию определения энтропийно-параметрического критерия возникновения ГЗА соответствует этап 115 схемы, иллюстрируемой на фиг. 4. Для установления патологического состояния с гемодинамически значимыми аритмиями необходимо оценить выброс фракции крови при сжатии сердца. Известно, что при нормальной работе сердца оптимальному состоянию соответствует значение признака асимметрии распределения отсчётов отдельного кардиоцикла порядка 2,4. При развитии тяжёлых желудочковых нарушений ритму сердца соответствуют симметричные выборка отсчётов распределений с близким к нулю признаком асимметрии. При развитии инфаркта происходит подъём участка ST, что соответствует смещению значений из интервала положения значений участка TP в интервалы, где расположены значения только зубца R, что приводит к увеличению симметрии распределения отсчётов.

Область возможного патологического состояния сердца 315 включает с большой вероятностью включает состояния при наличии патологии. При развитие симптома патологического состояния происходит смещение сигнала за пределы области 315, где вероятность нормального состояния менее 1-5%. Поверхность критических значений асимметрии 335 разделяет пространство на две части. Смещение изображающей точки в область с признаком асимметрии меньше его критического значения $A_{s_{крит}}$ принимается в качестве условия развития гемодинамически значимых аритмий (ГЗА), при котором необходимо оказание экстренной кардиологической помощи. Энтропийно-параметрическим критерием возникновения ГЗА является истинное значение неравенства (6): $|A_s| < A_{s_{крит}}$.

Определение надёжности установления ритма ЭКС для состояния "тяжёлые желудочковые нарушения"

Введения третьего дополнительного действия, иллюстрируемого этапом 415 на фиг. 4 схемы, состоит в необходимости оценки надёжности принятия решения для проведения мероприятий по дефибриляции сердца. При нарушении кровообращения в результате возникновения аритмии, такой как фибрилляции желудочков (ФЖ) или желудочковой тахикардии (ЖТ), для восстановления нормального ритма и сократительной функции сердца проводится дефибриляция. При развитии ГЗА и отсутствии ритмов сердца, соответствующих "ТЖН", проводятся медицинские мероприятия по оказанию экстренной кардиологической помощи, связанные с ревазуляризацией сердца. Снижение фракции выброса компенсируется за счёт выполнения комплекса мероприятий по сердечно-легочной реанимации (СЛР). Для принятия решения о проведении дефибриляции необходима оценка надёжности утверждения об установлении ритма ЭКС для состояния с "тяжёлыми желудочковыми нарушениями".

Схема действия "Определение надёжности установления ритма ЭКС для состояния с ТЖН" показана на фиг. 6 и содержит этапы 605, 610 и 615. Из схемы алгоритма фиг. 6 следует, что третье отличительное действие предполагаемого способа оказания экстренной кардиологической помощи, иллюстрируемое этапом 605, состоит в формировании границы области состояния ТЖН.

В пространстве признаков распределений η_i , центрированные относительно реального положения состояния пациента и приведённые к и разбросам S_i , границы состояния ТЖН зависят от признаков ко-

эфициента энтропии k_s , асимметрии As и контрэксцесса к распределения отсчётов ЭКС и разбросов S_1, S_2, S_3 признаков распределения отсчётов ЭКС. Границы состояния "ТЖН" в пространстве реального состояния можно определить с помощью матрицы выражений (7):

Область состояния ТЖН в пространстве признаков коэффициента энтропии, асимметрии и контрэксцесса, ограничена шестью плоскостями: три плоскости ограничения заданы минимальными признаками распределений $[k_{s\min} \ As_{\min} \ \kappa_{\min}]^T$ и три другие плоские грани заданы максимальными признаками $[k_{s\max} \ As_{\max} \ \kappa_{\max}]^T$.

Для задания границ рекомендуются следующие оценки, записанные в виде векторов минимальных и максимальных границ признаков:

$$\begin{bmatrix} k_{s\min} \\ As_{\min} \\ \kappa_{\min} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,8 \\ 0 \\ 0,6 \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} k_{s\max} \\ As_{\max} \\ \kappa_{\max} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2,2 \\ 0,6 \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (18)$$

Этап 610 схемы на фиг. 6 состоит в определении вероятности $\beta_{\text{ЖТ}}$ появления ошибки в результате принятия неверного утверждения о патологическом состоянии "тяжёлые желудочковые нарушения".

В координатном пространстве признаков распределений отсчётов ЭКС положение изображающей точки реального состояния задано с помощью коэффициента энтропии, асимметрии и контрэксцесса. Разбросы признаков характеризуют неопределённость положения изображающей точки реального состояния. Возможные положения изображающей точки для реального состояния распределены по нормальному закону [21, 22]. Так как при переходе в пространство реального состояния выполняются линейные преобразования смещения и масштабирования, то при переходе в пространство реального состояния положение изображающей точки реального состояния распределено также по нормальному закону. Вероятность $dP(\eta_i)$ попадания гипотетической реализации из-за разброса реального состояния H_1 в элементарный объём $dV=(d\eta_1 d\eta_2 d\eta_3)$ с координатами η_i определена выражением вида:

$$dP(\eta_i) = \frac{1}{(2\pi)^{3/2}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\sum_i \eta_i^2} \prod_i d\eta_i. \quad (19)$$

Вероятность $\beta_{\text{ТЖН}}$ появления ошибки в результате принятия неверного утверждения об отсутствии патологического состояния ТЖН получим суммированием вероятностей по всей области принятия утверждения о патологическом состоянии ТЖН. Тогда для вероятности $\beta_{\text{ТЖН}}$ появления ошибки в результате принятия неверного утверждения о патологическом состоянии ТЖН справедливо интегральное выражение вида

$$\beta_{\text{ТЖН}} = \int_{\eta_{\min 1}}^{\eta_{\max 1}} \int_{\eta_{\min 2}}^{\eta_{\max 2}} \int_{\eta_{\min 3}}^{\eta_{\max 3}} \frac{1}{(2\pi)^{3/2}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\sum_i \eta_i^2} d\eta_1 d\eta_2 d\eta_3. \quad (20)$$

где η_i - признаки распределений, центрированные относительно реального положения состояния пациента и приведённые к их разбросам S_i .

Так как в пространстве признаков коэффициента энтропии, асимметрии и контрэксцесса положение области состояния с ТЖН ограничено плоскими границами, проведёнными через минимальные и максимальные значения признаков распределения, то для определения вероятности $\beta_{\text{ТЖН}}$ появления ошибки в результате принятия неверного утверждения о патологическом состоянии ТЖН получено выражение (8).

По таблице определяют значения функция Лапласа для шести оценок максимальных и минимальных границ признаков. После подстановки значений значения функция Лапласа, определяемых по таблице для шести оценок максимальных и минимальных границ признаков, в выражение (8), проводится расчёт вероятности появления ошибки $\beta_{\text{ТЖН}}$.

Этап 615 схемы на фиг. 6 состоит в определении критерия надёжности утверждения "ритм ЭКС соответствует патологическому состоянию с тяжёлыми желудочковыми нарушениями (ТЖН)".

Для выбора необходимости проведения медицинских мероприятий по дефибрилляции или ревазуляризации необходимо установление критерия надёжности утверждения "Ритм ЭКС патологического состояния с тяжёлыми желудочковыми нарушениями (ТЖН)" на основе оценки истинности выражения: вероятность $\beta_{\text{ТЖН}}$ появления ошибки в результате принятия неверного утверждения "ритм ЭКС патологического состояния с ТЖН" меньше критической вероятности $\beta_{\text{крит}}$

$$\beta_{\text{ТЖН}} < \beta_{\text{крит}}.$$

Принятие решения при выборе мероприятий дефибрилляции или ревазуляризации при оказании экстренной кардиологической помощи иллюстрирует этап 420 на схемы процесса фиг. 4.

Если вероятность $\beta_{\text{ТЖН}}$ появления ошибки в результате принятия неверного утверждения о патологическом состоянии "тяжёлые желудочковые нарушения" менее критического значения, равного 20%, что соответствует надёжному определению ритма ЭКС при наличии тяжёлых желудочковых нарушений, в соответствии с рекомендациями [15, 16] ключевым элементом реанимации (т.е. однозначно рекомендована) является экстренная электрическая дефибрилляция с применением энергии разряда 150-360 Дж.

Проведение медицинских мероприятий по дефибрилляции сердца иллюстрирует этап 125 схемы на фиг. 4.

Если вероятность $\beta_{ТЖН}$ появления ошибки в результате принятия неверного утверждения о патологическом состоянии "тяжёлые желудочковые нарушения" более критического значения, равного 20%, то проводятся мероприятия прогнозирования тяжёлого аритмического синдрома на этапе 130 и экстренной реваскуляризации на этапе 135. В соответствии с рекомендациями по реваскуляризации миокарда больным с кардиогенным шоком рекомендуется полная реваскуляризация - выполнение черезкожного вмешательства на всех критически стенозированных крупных эпикардиальных коронарных артериях [23, 24, 25].

Реваскуляризация при кардиогенном шоке

Гемодинамически значимая аритмия вызывает кардиологический шок, при котором наблюдается состояние выраженной гипоксии органов и тканей из-за клинически выраженных нарушений системного или регионального кровообращения, обусловленное резким уменьшением сердечного выброса крови. Гемодинамически значимые аритмии подлежат немедленному купированию.

Кардиогенный шок - острое патологическое состояние, при котором сердечно-сосудистая система оказывается неспособной обеспечить адекватный кровоток. Кардиогенный шок является основной причиной смерти при остром инфаркте миокарда. При отсутствии высококвалифицированной медицинской помощи вероятность наступления летального исхода среди больных с кардиогенным шоком составляет 70-90%. Предотвратить летальный исход возможно путём быстрой диагностики, оперативного использования методов реваскуляризации и применения современных медицинских методов лечения совместно с поддерживающей терапией. Быстрая реваскуляризация поражённых коронарных артерий у больных с ишемической болезнью сердца или инфарктом снижает риск летального исхода при оказании экстренной кардиологической помощи. Поскольку реваскуляризация при кардиогенном шоке - главный метод лечения, необходима экстренная коронарография.

Для устранения дефицита кровоснабжения (ишемии) при нарушении проходимости коронарных артерий, питающих сердце, проводится реваскуляризация миокарда - медицинское хирургическое вмешательство, направленное на устранение дефицита кровоснабжения повреждённого участка сердечной мышцы. Реваскуляризация миокарда - широкое понятие, включающее как операцию коронарного шунтирования (КШ), так и различные виды чрескожного коронарного вмешательства (ЧКВ) на коронарных артериях. В случае выявления нестабильной гемодинамики, включая "кардиологический шок" (прекращения кровообращения), проводится реваскуляризация - чрескожное коронарное вмешательство ad hoc (ЧКВ ad hoc), которая рассматривается как лечебная интервенционная процедура, выполняемая немедленно после диагностической коронароангиографии, не снимая больного с операционного стола. Немедленная реваскуляризация показана пациентам с коронарным шоком и инфаркта миокарда с подъёмом ST.

При проведении реваскуляризации миокарда наиболее известна и распространена баллонная ангиопластика, которую сочетают с другими воздействиями на атеросклеротические изменения коронарной артерии: установкой металлического каркаса - эндопротеза (стента), выжиганием бляшки лазером, разрушением бляшки быстро вращающимся буром и срезанием бляшки специальным атеротомическим катетером. Реваскуляризация, как и фармакотерапия, преследует 2 цели: улучшение прогноза (профилактика ИМ и ВС), уменьшение или полную ликвидацию симптомов. Основными факторами, которые определяют выбор метода лечения, являются индивидуальный сердечно-сосудистый риск и выраженность симптомов [23, 24, 25]. В случае отсутствия ГЗА проводится прогнозирование симптома патологического состояния, иллюстрируемое этапом 425 на фиг. 4.

Прогнозирование симптома патологического состояния

Следующий четвёртый отличительный признак предполагаемого изобретения состоит в прогнозировании симптома патологического состояния на этапе 425 фиг. 4. Вводимое действие необходимо для выявления возможного развития патологического состояния или установления симптома наличия патологии.

Схема развёрнутого алгоритма прогнозирования симптома патологического состояния приведена на фиг. 7. Четвёртое отличительное действие предполагаемого способа оказания экстренной кардиологической помощи содержит этапы 705, 710, 715, 720 и 725.

Этап 705 состоит в определении энтропийно-параметрического критерия для области оптимального состояния.

При отсутствии гемодинамически значимой аритмии сердце обеспечивает необходимую для жизни циркуляцию крови. В этом состоянии важно выяснить о состоянии сердечно-сосудистой системы и наличии патологии. По этой причине первое действие, которое выполняет алгоритм, состоит в оценке оптимального состояния сердца. Для этих целей использована оценка положения выборки отсчётов реального состояния относительно положения выборки отсчётов оптимального состояния в координатном пространстве признаков распределений, где для оптимального состояния заданы коэффициентом энтропии $K_{э0}$, асимметрией As_0 и контрэксцессом k_0 , равными 1,3, 0,26 и 2,4 соответственно. Значения призна-

ков получено на основе усреднённой оценки анализа записей ЭКС 75 пациентов при отсутствии патологических отклонений. Разброс оценок относительно оптимального состояния зависит от функционального состояния систем организма и многообразия внешних факторов, таких как условия существования, раздражители, поставленные цели, воздействие физических полей и другие. Для описания разброса признаков распределения отсчётов ЭКС завершённого цикла коэффициента энтропии, асимметрии и контрэксцесса вблизи оптимального состояния 305 использован нормальный закон распределения. Разброс задан с помощью параметров a, b, c из условия, нормального распределения отсчётов ЭКС по соответствующим признакам. При этом в доверительные интервалы по каждому признаку, отсекаемому границами $K_{30}(1 \pm a), A_{s0}(1 \pm c), \kappa_0(1 \pm b)$, попадает 68.2% [27] изображающих точек для оптимального состояния. В параллелепипеде, ограниченном границами признаков, находится 32% изображающих точек оптимального состояния. При увеличении доверительных интервалов по каждому отдельному признаку в два раза в доверительные интервалы по каждому признаку, отсекаемой границами $2K_{30}(1 \pm a), 2A_{s0}(1 \pm c), 2\kappa_0(1 \pm b)$, попадает 95%, в области параллелепипеда содержится 73% изображающих точек оптимального состояния.

Для оценки отклонения реального состояния от его оптимального значения использован энтропийно-параметрический критерий γ , заданный в пространстве признаков коэффициента энтропии, асимметрии и контрэксцесса [12, 13]. Формула для расчёта критерия имеет вид:

Признаки распределения отсчётов ЭКС завершённого кардиоцикла, центрированные относительно оптимального состояния и приведённые к разбросам, удобно записывать в форме матричного вектора:

$$[\xi] = [\xi_1, \xi_2, \xi_3]^T = \left[\left(\frac{k_3 - k_{30}}{a \cdot k_{30}} \right), \left(\frac{\kappa - \kappa_0}{b \cdot \kappa_0} \right), \left(\frac{As - A_{s0}}{c \cdot A_{s0}} \right) \right]^T \quad (21)$$

Критерий γ в пространстве центрированных признаков ξ_i , приведённых к разбросам признаков оптимального состояния, ограничивает область в форме сферы радиуса γ .

Этап 710 схемы на фиг. 7 состоит в сравнении энтропийно-параметрического критерия для области оптимального состояния и его критического значения при уровне значимости α .

Элементарная вероятность $dP([\xi_i, \xi_i + d\xi_i])$ попадания центрированных признаков распределений ξ_i , в интервалы $[\xi_i, \xi_i + d\xi_i]$, ограниченные элементарными приращениями $d\xi_i$ центрированных признаков, равна произведению вероятностей наблюдения i -го признака в интервале $[\xi_i, \xi_i + d\xi_i]$ элементарного приращения:

$$dP([\xi_i, \xi_i + d\xi_i]) = \prod_i f(\xi_i) d\xi_i \quad (22)$$

где $f(\xi_i)$ - плотность распределения вероятности центрированного признака ξ_i :

$$f_i(\xi_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{\xi_i^2}{2}\right) \quad (23)$$

Элементарная вероятность события "критерий γ в интервале его элементарного приращения $[\gamma, \gamma + d\gamma]$ " равна произведению объёма сферы, радиуса γ и её толщины $d\gamma$ на произведение плотность распределения вероятности центрированного признака ξ_i :

$$dP_r = \left(\prod_i f(\xi_i) \right) 4\pi r^2 dr = \sqrt{\frac{2}{\pi}} r^2 \exp\left(-\frac{r^2}{2}\right) dr \quad (24)$$

Выражение (24) представляет собой плотность распределения Максвелла для случайной величины критерия γ , заданного в виде радиус-вектора в пространстве центрированных признаков ξ_i с параметрами масштабов, равными 1. Распределение Максвелла для случайной величины критерия γ имеет вид:

$$F_r(r) = 2[\Phi_0(r) - r \cdot \varphi(r)] \quad (25)$$

где $\Phi_0(r)$ - функция Лапласа;

$\varphi(r)$ - плотность вероятности нормального распределения.

Распределение Максвелла (25) записано для вероятности $F_r(r)$ события, для которого изображающая точка признаков распределения отсчётов ЭКС при оптимальном состоянии находится в области, ограниченной критерием γ .

Уровень значимости α принятия решения об отклонения от оптимального состояния связан с распределением вероятности $F_r(r)$ критерия γ с помощью выражения:

$$\alpha = 1 - F_r(r) \quad (26)$$

Таким образом, уровень значимости $\alpha(r)$ принятия решения об отклонении от оптимального состояния однозначно связан с критерием γ . Формула, для расчёта уровня значимости при известных значениях критерия имеет вид:

$$\alpha(r) = 1 + 2[r \cdot \varphi(r) - \Phi_0(r)]. \quad (27)$$

Для наиболее используемых уровней значимости 5%, 10%, 20% и 80% значение критерия γ при-

нимается равным 2,8, 2,5, 2,2, 1 соответственно. Из оценки критерия значимости следует, что вне области $r=1$, находится 80% отсчётов, соответствующих оптимальному состоянию. Если изображающая точка находится в области $r \leq 1$, то выборка отсчётов ЭКС соответствует оптимальному состоянию. В областях при $r \leq 2,5$ и при $r \leq 2,8$ находится 90 и 95% изображающая точка оптимального состояния. Выход за пределы этих зон при нормальном функционировании организма маловероятен. Если критерий r реального состояния больше критических значений r_{10} и r_5 , то утверждение "состояние оптимально" следует рассматривать как ошибочное. Указанные границы следует использовать в тех случаях, если ранее заболевание не было обнаружено.

Таким образом, если при сравнении критерий r , рассчитанный по выборке отсчётов ЭКС завершённого кардиоцикла, меньше или равен его критическому значению r_α , заданному с помощью уровня значимости α , то выборка отсчётов ЭКС кардиоцикла соответствует оптимальному состоянию. Тогда, если неравенство ($r \leq r_\alpha$) истина, то состояние принимается оптимальным. Этап 715 схемы на фиг. 7 иллюстрирует вывод информации об оптимальном состоянии ритма сердца, при котором не требуется оказание кардиологической помощи.

В случае если неравенство ($r \leq r_\alpha$) ложно, то для полученного значения изображающей точки следует установить возможное развитие патологического состояния. Для установления возможности патологического состояния дополнительно проводится определение надёжности независимого симптома патологического состояния, иллюстрируемое этапом 720 схемы прогнозирования патологического состояния на фиг. 7.

Определение надёжности независимого симптома патологического состояния

Надёжность обнаружения патологии оценивается на основе вероятности β_0 совершения ошибки в результате принятия неверного утверждения об оптимальности состояния. Для этого согласно схеме алгоритма определения надёжности независимого симптома патологического состояния, приведённой на фиг. 8, проводятся следующие четыре действия, иллюстрируемые этапами 805, 810, 815, 820, 825, 830 и 835.

Первое действие (этап 805): определение параметров границы области принятия решения "ритм электрокардиосигнала оптимального состояние" в пространстве признаков распределения отсчётов реального состояния.

В координатном пространстве признаки коэффициента энтропии, асимметрии и контрэксцесса распределений отсчётов ЭКС для возможных положений изображающей точки реального состояния распределены по нормальному закону [21, 22]. Плотности распределения вероятностей $f_1(\eta_1)$, $f_2(\eta_2)$, $f_3(\eta_3)$ по каждому отдельному признаку имеют симметричный вид в пространстве признаков η_i , центрированных относительно положения реального состояния и приведённых к разбросам признаков S_i . При переходе в пространство центрированных признаков реального состояния η_i границы области оптимального состояния претерпевают изменение вследствие линейных преобразований масштабирования и смещения. Формула соответствия векторов-матриц для определения параметров границы области принятия решения "состояние оптимально" в пространстве реального состояния имеет вид (13).

Так как операции масштабирования проводятся в направлении координатных осей признаков распределений - коэффициента энтропии, асимметрии и контрэксцесса - то в пространстве центрированных признаков реального состояния границы области оптимального состояния принимают форму эллипсоида с размерами полуосей A_i , равными отношению разбросов признаков оптимального состояния к разбросу признаков реального состояния.

Второе действие (этап 810): определение координат оптимального состояния в пространстве признаков распределения отсчётов для ритма ЭКС реального состояния пациента.

Так как плотности распределения вероятностей $f_1(\eta_1)$, $f_2(\eta_2)$, $f_3(\eta_3)$ имеют симметричный вид в пространстве признаков η_i , центрированных относительно положения реального состояния и нормированных к разбросу признаков S_i , то для определения надёжности независимого симптома патологического состояния необходимо определить координаты положения гипотезы оптимального состояния в пространстве реального состояния. Перенос и нормирование координат область реального состояния задан с помощью матричного выражения (14).

В пространстве реального состояния центр координат совмещён с положением реального состояния. Координаты положения оптимального состояния и параметры границ области принятия решения "состояние оптимально" необходимы для определения надёжности независимого симптома патологического состояния.

Третье действие (этап 815): формирование границ области принятия решения "ритм электрокардиосигнала оптимального состояния" в пространстве признаков распределения отсчётов для ритма реального состояния.

Вследствие разброса положения изображающей точки реального состояния возможно положение изображающей точки внутри области оптимального состояния. Для оценки возможного положения изображающей точки с координатами $f_1(\eta_1)$, $f_2(\eta_2)$, $f_3(\eta_3)$ в области оптимального состояния формируются границы области принятия решения "состояние оптимально" в пространстве реального состояния. Мат-

рица предельных значений признаков распределений имеет вид

$$\begin{aligned} [\theta_{\eta_{\max 1}} \quad \theta_{\eta_{\max 2}} \quad \theta_{\eta_{\max 3}}]^T &= [\eta_{01} \quad \eta_{02} \quad \eta_{03}]^T + r_{\alpha} \cdot [A_1 \quad A_2 \quad A_3]^T, \\ [\theta_{\eta_{\min 1}} \quad \theta_{\eta_{\min 2}} \quad \theta_{\eta_{\min 3}}]^T &= [\eta_{01} \quad \eta_{02} \quad \eta_{03}]^T - r_{\alpha} \cdot [A_1 \quad A_2 \quad A_3]^T. \end{aligned}$$

Выражения для задания границ области оптимального состояния имеют вид (15).

В координатном пространстве признаков распределений отсчётов ЭКС положения изображающей точки реального состояния задано с помощью разброса признаков, который характеризует неопределённость положения изображающей точки реального состояния. Возможное положение реализации реального состояния распределено в координатном пространстве реального состояния с плотностью вероятностью $f_1(\eta_1)$, $f_2(\eta_2)$, $f_3(\eta_3)$, равной произведению плотностей распределений нормированных признаков.

Четвёртое действие (этап 820): определение вероятности β_0 совершения ошибки в результате принятия неверного утверждения "ритм электрокардиосигнала оптимального состояния"

Вследствие разброса реального состояния H_1 существует отличная от нуля элементарная вероятность dP попадания гипотетической реализации в элементарный объём $(d\eta_1 d\eta_2 d\eta_3)$ с координатами η_1 имеет вид:

$$dP = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{3}{2}}} e^{-\frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 (\eta_i)^2} d\eta_1 d\eta_2 d\eta_3 \quad (28)$$

Суммирование элементарных вероятностей по трём независимым координатам в пределах границ эллипсоида позволяет определить вероятность совершения ошибки в результате принятия утверждения "состояния оптимально", вычисляемую по формуле (16). Интегрирование выражения (16) проводится численными методами.

Установление симптома патологии или возможности развития патологического состояния устанавливаются на основе сравнения с помощью выражению (17) вероятности появления ошибки в результате принятия неверного утверждения "ритм электрокардиосигнала оптимального состояния" и его критического значения, иллюстрирует этап 825 схемы определения надёжности независимого симптома на фиг. 8. Если выражение (17) истинно, что характеризует ЭКС при наличии патологических отклонений, способ оказания экстренной кардиологической помощи позволяет установить наличие патологического состояния сердца. Данный результат следует рассматривать как независимый симптом патологии, установленный с надёжностью более 80%, при котором необходимо проведение дополнительных мероприятий для выявления диагноза заболевания. Этап 830 схемы на фиг. 8 иллюстрирует установление наличия симптома патологии.

Если выражение (17) ложно, что характеризует ЭКС при отсутствии патологических отклонений, алгоритм оказания экстренной кардиологической помощи предусматривает информирование о возможном развитии патологического состояния при недостаточной надёжности установления симптома патологии, иллюстрируемое этапом 835 на фиг. 8. Результаты прогнозирования патологического состояния, полученного на этапе 425 схемы на фиг. 4, передаются на этапе 140 фиг. 4 для постановки предварительного диагноза. На этапе 145 формируется отчёт о состоянии пациента.

Таким образом, проводимые действия позволяют расширить функциональные возможности оценки состояния сердца на основе энтропийно-параметрического анализа ЭКГ для оказания экстренной кардиологической помощи и получить независимый симптом о развитии патологии.

Устройство оказания экстренной кардиологической помощи

Рассмотренный способ оказания экстренной кардиологической помощи может быть осуществлён программными обеспечениями мобильных андроидов или аппаратными обеспечениями в виде отдельных решающих блоков, либо комбинированием программного и аппаратного обеспечения с использованием универсальных возможностей современной вычислительной техники.

Структурная схема преобразования информации мобильного устройства оказания экстренной кардиологической помощи показана на фиг. 14. Технологический конвейер преобразования информации устройства оказания экстренной кардиологической помощи включает в себя

блок 1405 регистрации и предварительного анализа ЭКС, выполненный с возможностью усиления сигналов отведений ЭКС, контроля отрыва проводов, аналого-цифрового преобразования сигналов, фильтрации помех, независимой записи оцифрованной информации в базу данных, предварительного анализа ЭКС, оценки расстояния RR, определения стандартного отклонения среднего значения кардиоцикла, реализует этапы 105, 110, 115 схемы на фиг. 4;

блок 1410 формирования энтропийно-параметрических признаков выборки электрокардиосигнала реального состояния, реализующий схему алгоритма фиг. 5 и выполненный с возможностью выделения выборки данных кардиоциклов, определения центральных моментов ЭКС, определения информационного признака ЭКС, определения энтропийно-параметрических признаков - коэффициента энтропии, асимметрии и контрэкссесса - для распределения отсчётов временного интервала ЭКС, определения разбросов признаков распределения отсчётов ЭКС для реального состояния;

блок 1415 определения критерия гемодинамически значимой аритмии, реализующий этапы 410 и

120 схемы фиг. 4, выполненный с возможностью оценки истинности неравенства разницы модуля признака асимметрии распределения отсчётов временного интервала ЭКС и его минимального критического значения, и возможностью переключения последовательности обработки информации при возникновении гемодинамически значимой аритмии;

блок 1420 определения надёжности установления ритма ЭКС состояния с тяжёлыми желудочковыми нарушениями (ТЖН), реализующий схему алгоритма фиг. 6 и выполненный с возможностью формирования границ области состояния "ТЖН", вычисления вероятности появления ошибки в результате принятия неверного утверждения об установлении ритма патологического состояния с тяжёлыми желудочковыми нарушениями; определения критерия надёжности утверждения о патологическом состоянии "ТЖН" путём сравнения с его критическим значением, и возможностью подключения средств информирования о необходимости проведения дефибрилляции или реваскуляризации (при реваскуляризации информирование ограничивается формированием предварительного диагноза и отчёта);

блок 1425 информирования о необходимости проведения дефибрилляции, с возможностью представления звуковой и визуальной информации о необходимости проведения дефибрилляции и возможностью подключения средств управления дефибриллятором, реализует этап 125 схемы на фиг. 4;

блок 1430 прогнозирования патологического состояния, реализующий схемы алгоритмов фиг. 7, фиг. 8 и выполненный с возможностью определения энтропийно-параметрического критерия для ритма ЭКС оптимального состояния; сравнения энтропийно-параметрического критерия и его критического значения при заданном уровне значимости α ; информирования о ритме сердца, оптимальном состоянии в случае, если энтропийно-параметрический критерий меньше его критического значения, и прогнозирования возможности патологического состояния в случае, если энтропийно-параметрический критерий равен или больше его критического значения путём определения параметров границы области принятия решения "ритм ЭКС оптимального состояния" и координат ритма оптимального состояния в пространстве признаков распределения отсчётов ЭКС реального состояния, формирования границ области принятия решения ритма электрокардиосигнала реального состояния; определения вероятности ошибки в результате принятия неверного утверждения "ритм ЭКС оптимального состояния"; сравнения вероятности появления ошибки в результате принятия неверного утверждения "ритм ЭКС оптимального состояния" и его критического значения для установления наличия независимого симптома патологического состояния сердца;

блок 1435 формирования предварительного диагноза реализует этап 140 схемы на фиг. 4;

блок 1440 формирования отчёта реализует этап 145.

Блоки могут быть выполнены в виде отдельного мобильного устройства или в виде добавочного модуля, интегрированного в информационные продукты здравоохранения. Характеристики и идеи, раскрытые в описании, формуле, чертежах и иллюстрациях изобретения, представляют специалистам в данной области техники важные сведения, предназначение для реализации отдельного технического устройства или любой комбинации в составе современных медицинских информационных систем, приборов и устройств.

Литература

1. Бокерия Л.А., Ревиншвили А.Ш., Ардашев А.В. и Кочовин Д.З. Желудочковая аритмия. М., Медпрактика-М. 2002.
2. Пат. № 2373849 С1 Российская Федерация. Способ диагностики стадий фибрилляции желудочков сердца / Гурьянов М.И. – МПК А61В 5/046, 27.11.2009 Бюл. № 33.
3. Пат. № 2672521 С2 Российская Федерация. Способ и устройство для оценки надёжности рекомендации относительно разряда при сердечно-лёгочной реанимации / Фироозабади Р. (NL), Бабаеизадех С. (NL) – МПК А61N 1/39, 19.04.2017 Бюл. №11, 15.11.2018 Бюл. №32.
4. Пат. № 2644303 С1 Российская Федерация. Способ оказания экстренной кардиологической помощи / Бодин О.Н., Аржаев Д.А., Бодин А.Ю., Ожигенов К.А., Полосин В.Г., Рахматуллоев А.Ф., Рахматуллоев Ф.К., Сафров М.С., Сергеев А.С., Убиенных А.Г. – МПК А61В 5/0402, А61В 5/0456, 08.02.1018 Бюл. №4.
5. Пат. № 2518133 С1 Российская Федерация. Способ прогнозирования тяжести аритмического синдрома при инфаркте миокарда / Логачёва И.В., Понамарёв С.Б., Баранцева Н.Г. – МПК А61В 5/0402, 10.06.2014 Бюл. № 16.
6. Патент 2454171 РФ. Способ прогнозирования и стратификации степени риска возникновения желудочковых нарушений ритма сердца у больных артериальной гиперто-

нией / Рузов В.И., Гимаев Р.Х., Крестьянинов М.В., Халаф Х., Рябова Л., Машин Е.В., Скворцов Д.Ю. // Заявл. 03.12.2010; опубл. 27.06.2012. Бюл. №17.

7. Гурвич Н.Л., Рябова Н.М., Табак В.Я. Угасание и восстановление функции сердца. – В кн.: Основы реаниматологии. Ташкент, 1977, С. 51 – 54.

8. Исаков И.И., Кушаковский М.С., Журавлёва Н.Б. Клиническая электрокардиография (нарушение сердечного ритма и проводимости): Руководство для врачей. – Л.: Медицина, 1984. – 272 с.

9. Aijun Fan, Peng Han, Bin Liu Shockable Rhythm Detection Algorithms for Electrocardiograph Rhythm in Automated Defibrillators / 2012 AASRI Conference on Computational Intelligence and Bioinformatics. – AASRI Procedia 1. – 2012 – P. 21 – 26. <https://doi.org/10.1016/j.aasri.2012.06.005>.

10. Barro S, Ruiz R, Cabello D, Mira J. Algorithmic sequential decision-making in the frequency domain for life threatening ventricular arrhythmias and imitative artefacts: a diagnostic system. J Biomed Eng 1989; 11(4): 320-328.

11. Горбунов Б.Б., Гусев А.Н., Каменский С.А., Селищев С.В. Сравнение эффективности и помехоустойчивости алгоритмов распознавания шоковых ритмов сердца // Мед. техника. 2004. – № 3. С. 22–28.

12. Полосин В.Г. Система стохастического мониторинга электрофизиологических характеристик сердца. / Вестник новых медицинских технологий, Электронное издание. 2017.– №3. Публ.1-7. URL: (дата обр.: 19.09.2017), DOI: 10.12737/article_59c4b47cf1b9697 <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2017-3/1-7.pdf>.

13. Полосин В.Г. Система стохастического мониторинга состояния и электрофизиологических характеристик сердца на основе энтропийно–параметрического анализа. Автореферат диссертации на соискание степени д.т.н., Пенза, 2018 – 39 с.

14. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерения. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние. 1985. – 248 с.

15. Клинические рекомендации. Желудочковая аритмия / Состав рабочей группы: Бокерия Л.А., Бокерия О.Л., Голухова Е.З., Филатов А.Г., Сергуладзе С.Ю., Меликулов А.Х., Ломидзе Н.Н., Сопов О.В., Проничева И.В., // М., – 2017. ФГБУ «ННПЦССХ им. А.Н. Бакулева» МЗ РФ, 50 стр. <https://racvs.ru/clinic/files/2017/Ventricular-Arrhythmias.pdf>.

16. Желудочковые аритмии у взрослых. Клинические рекомендации. / Мин. Здрав. РФ, состав рабочей группы: Голицын С.П., Майков Е.Б., Миронов Н.Ю., Нестеренко Л.Ю., Соколов С.Ф., Шлевков Н.Б. - 2016. - 93 с.

<http://kokb45.ru/wp-content/uploads/2018/06/ZHeludochkovye-aritmii-u-vzroslyh.pdf>

17. Epstein A.E., Bigger J.T., Wyse D.S. et al. Events in the Cardiac Arrhythmia Suppression Trial (CAST): mortality in the entire population enrolled. – J Am Coll Cardiol – 1991 – 18 – p. 14 – 19.
18. Gallavardin L. Extrasistolic ventricular a paroxysmes tachycardiques prolonges. – Arch Mal Coeur Vaiss – 1922 – v.15 – p. 298–306.
19. Apshtein A.E., Ideker R.E. Ventricular Fibrillation in “Cardiac Electrophysiology. From Cell to Bedside”, ed. By Zipes D.P. and Jalife J., W.B.Saunders Company – 2000 – p. 677-684.
20. Иванов Г.Г., Востриков В.А. Фибрилляция желудочков и желудочковые тахикардии – базовые положения и диагностические критерии / Вестник РУДН, серия Медицина, 2009, № 1, С. 75 – 80.
21. Петрович М.Л. Статистическая проверка и оценивание гипотез на ЭВМ. / М.Л. Петрович, М.И. Давидович // М.: Финансы и статистика, 1989. – 191 с.
22. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. – 816 с.
23. Рекомендации по реваскуляризации миокарда. Рабочая группа Европейского общества кардиологов (ESC) и Европейской ассоциации кардиоторакальных хирургов (EACTS) Разработаны при участии Европейской ассоциации по чрескожным сердечно-сосудистым вмешательствам / Рационал. Фармакотерапия в Кардиологии. 2011. Прилож. к №3., 60 с.
24. Рекомендации ESC/EACTS по реваскуляризации миокарда 2014 / Российский кардиологический журнал. – 2015. – № 2 (118). – С. 5-81.
25. Показания к реваскуляризации миокарда (Российский согласительный документ). – М: НЦССХ им. А.Н. Бакулёва РАМН, 2011. – 162 с.
26. Hochman J.S., Sleeper L.A., Webb J.G. et al. Early revascularization and long-term survival in cardiogenic shock complicating acute myocardial infarction // JAMA. – 2006. – Vol. 295. – P. 2511–2515.
27. Вентцель Е.С. Теория вероятности. М.: Высш. шк., 1998. – 576 с.
28. Табак В.Я., Черныш А.М., Немирко А.П., Манило Л.А. Динамика спектральных характеристик ЭКГ при развитии фибрилляции желудочков сердца// Анест. реаниматол., №1, 1980, С.71-74.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ оказания экстренной кардиологической помощи, включающий регистрацию, анализ электрокардиосигнала (ЭКС), определение параметра стандартного отклонения средних значений кардиоциклов, определение желудочковой тахикардии и экстрасистолии по крайней мере для трёх последовательных кардиоциклов, проведение дефибрилляции в случае гемодинамически значимой аритмии, прогнозирование тяжёлого аритмического синдрома и проведение реваскуляризации в случае отсутствия желудочковой тахикардии; постановку предварительного диагноза и формирования отчёта о состоянии сердца пациента; отличающийся тем, что дополнительно осуществляется

формирование пространства координат энтропийно-параметрических признаков распределения отсчётов ЭКС для реального состояния путём

определения центральных моментов распределения отсчётов временного интервала ЭКС, рассчитываемых по формуле:

$$\mu_s = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^m (y_j - M)^s \cdot n_j \quad (1)$$

где N - число отсчётов временного интервала ЭКС;

m - число интервалов группирования;

n_j - число отсчётов в j-М интервале группирования;

y_j - среднее значение отсчётов ЭКС в j-м интервале группирования;

s - порядок момента распределения, s=2. 3. 4. ...;

M - математическое ожидание ЭКС для исследуемого временного интервала

$$M = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^m y_j \cdot n_j \quad (2)$$

определения информационного признака распределения отсчётов временного интервала ЭКС

$$\Delta_3 = \frac{1}{2} \Delta y \cdot N \cdot \exp \left(-\frac{1}{N} \sum_{j=1}^m n_j \ln(n_j) \right) \quad (3)$$

где Δy - ширина интервалов группирования отсчётов ЭКС;

определения коэффициента энтропии K_3 , асимметрии As и контрэксцесса κ для распределения отсчётов временного интервала электрокардиосигнала (ЭКС) длительностью, равной по крайней мере трём последовательным кардиоциклам по формулам:

$$K_3 = \frac{\Delta_3}{\sigma}, \quad As = \frac{\mu_3}{\sigma^3}, \quad \kappa = \frac{\sigma^2}{\mu_4} \quad (4)$$

где σ - среднее квадратическое отклонение отсчётов временного интервала ЭКС (параметрический признак неопределённости отсчётов ЭКС);

определения разбросов признаков распределения отсчётов ЭКС для реального состояния пациента H_1 ,

$$\begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,9 \\ \kappa k_3^2 \sqrt{k_3 n} \\ \kappa \sqrt{29 \cdot n} \end{bmatrix} \cdot \frac{\sqrt[4]{(e^2 - 1)^3}}{\sqrt{(n+1)^2(n+3)(n+5)}} \quad (5)$$

где S_1, S_2, S_3 - разбросы коэффициента энтропии, контрэксцесса и асимметрии, соответственно;

определение параметрического критерия возникновения гемодинамически значимой аритмии (ГЗА) путём оценки истинности неравенства разницы модуля асимметрии As распределения отсчётов временного интервала электрокардиосигнала и его минимального критического значения $As_{\text{крит}}$

$$|As| - As_{\text{крит}} < 0, \quad (6)$$

и в случае, если выражение (6) истина, определение надёжности утверждения об установлении ритма электрокардиосигнала для состояния с тяжёлыми желудочковыми нарушениями путём

формирования границ области состояния "тяжёлые желудочковые нарушения (ТЖН)", заданных с помощью матрицы выражений:

$$\begin{bmatrix} \eta_{1 \max} & \eta_{1 \min} \\ \eta_{2 \max} & \eta_{2 \min} \\ \eta_{3 \max} & \eta_{3 \min} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(\frac{k_{3 \max} - k_3}{S_1} \right), \left(\frac{As_{\max} - As}{S_2} \right), \left(\frac{\kappa_{\max} - \kappa}{S_3} \right) \\ \left(\frac{k_{3 \min} - k_3}{S_1} \right), \left(\frac{As_{\min} - As}{S_2} \right), \left(\frac{\kappa_{\min} - \kappa}{S_3} \right) \end{bmatrix}^T \quad (7)$$

где $k_{3 \max}, As_{\max}, \kappa_{\max}, k_{3 \min}, As_{\min}, \kappa_{\min}$ - максимальные и минимальные значения коэффициента энтропии, асимметрии и контрэксцесса для отсчётов ритма ЭКС с тяжёлыми желудочковыми нарушениями;

определения вероятности $\beta_{\text{ТЖН}}$ появления ошибки в результате принятия неверного утверждения об установлении ритма электрокардиосигнала паталогического состояния с тяжёлыми желудочковыми нарушениями по формуле:

$$\beta_{\text{ТЖН}} = \prod_i (\Phi_0(\eta_{\max i}) - \Phi_0(\eta_{\min i})) \quad (8)$$

где $\Phi_0(x)$ - функция Лапласа;

определения критерия надёжности утверждения "ритм электрокардиосигнала соответствует паталогическому состоянию с тяжёлыми желудочковыми нарушениями" на основе сравнения вероятности $\beta_{\text{ТЖН}}$ появления ошибки в результате принятия неверного утверждения "ритм ЭКС соответствует паталогическому состоянию с тяжёлыми желудочковыми нарушениями и критической вероятности $\beta_{\text{крит}}$

$$\beta_{\text{ТЖН}} < \beta_{\text{крит}}$$

и проведение мероприятий по оказанию экстренной кардиологической помощи, в случае если вероятность $\beta_{\text{ТЖН}}$ появления ошибки в результате принятия неверного утверждения об установлении ритма электрокардиосигнала паталогического состояния с тяжёлыми желудочковыми нарушениями менее критического значения, равного 20%, что соответствует надёжному определению ритма ЭКС при наличии тяжёлых желудочковых нарушений, проводится дефибриляция сердца; в случае если вероятность $\beta_{\text{ТЖН}}$ появления ошибки в результате принятия неверного утверждения об установлении ритма электрокардиосигнала паталогического состояния с тяжёлыми желудочковыми нарушениями более критического значения, равного 20%, что соответствует не надёжному определению ритма ЭКС с тяжёлыми желудочковыми нарушениями, проводится прогнозирование аритмического синдрома сердца и реваскуляризация;

в случае если выражение (6) ложно, проводится прогнозирование возможности паталогического состояния путём определения энтропийно-параметрического критерия для ритма электрокардиосигнала оптимального состояния сердца пациента по выражению:

$$r = \sqrt{\left(\frac{K_3 - K_{30}}{a \cdot K_{30}}\right)^2 + \left(\frac{As - As_0}{c \cdot As_0}\right)^2 + \left(\frac{\kappa - \kappa_0}{b \cdot \kappa_0}\right)^2} \quad (9)$$

где K_{30} , K_{30} , As_0 , κ_0 - коэффициент энтропии, асимметрия и контрэкссесс для ритма электрокардиосигнала оптимального состояния сердца; a , b и c - параметры границы зоны оптимальных состояний сердца;

сравнения критерия r и его критического значения при уровне значимости α с помощью выражения:

$$r < r_\alpha, \quad (10)$$

где α - уровень значимости принятия решения об отклонении утверждения "ритм электрокардиосигнала оптимального состояния"

$$\alpha(r) = 1 + 2[r \cdot \Phi(r) - \Phi_0(r)]; \quad (11)$$

в случае если выражения (10) ($r < r_\alpha$) истина, информирование "ритм сердца оптимального состояния", и в случае если выражение (10) ($r < r_\alpha$) ложно, прогнозирование паталогического состояния, для чего дополнительно проводится определение надёжности независимого симптома паталогического состояния путём определения параметров границы области принятия решения "ритм электрокардиосигнала оптимального состояния" в пространстве признаков распределения отсчётов для ритма электрокардиосигнала реального состояния:

$$[A_1 \ A_2 \ A_3]^T = \left[\frac{a \cdot k_{30}}{S_1} \quad \frac{b \cdot As_0}{S_2} \quad \frac{c \cdot \kappa_0}{S_3} \right]^T, \quad (12)$$

определения координат ритма электрокардиосигнала оптимального состояния в пространстве признаков распределений отсчётов для ритма электрокардиосигнала реального состояния пациента:

$$[\eta_{01} \ \eta_{02} \ \eta_{03}]^T = \left[\left(\frac{k_{30} - k_3}{S_1} \right), \left(\frac{As_0 - As}{S_2} \right), \left(\frac{\kappa_0 - \kappa}{S_3} \right) \right]^T, \quad (13)$$

формирования границ области принятия решения "ритма электрокардиосигнала оптимального состояния" в пространстве признаков распределений отсчётов для ритма электрокардиосигнала реального состояния

$$\begin{aligned} \eta_{\max 1}(\eta_2, \eta_3) &= \eta_{01} + A_1 A_2^{-1} \sqrt{A_2^2 \left[r_\alpha^2 - \left(\frac{\eta_3 - \eta_{03}}{A_3} \right)^2 - (\eta_2 - \eta_{02})^2 \right]}, \\ \eta_{\min 1}(\eta_2, \eta_3) &= \eta_{01} - A_1 A_2^{-1} \sqrt{A_2^2 \left[r_\alpha^2 - \left(\frac{\eta_3 - \eta_{03}}{A_3} \right)^2 - (\eta_2 - \eta_{02})^2 \right]}, \\ \eta_{\max 2}(\eta_3) &= \eta_{02} + A_2 A_3^{-1} \sqrt{A_3^2 r_\alpha^2 - (\eta_3 - \eta_{03})^2}, \\ \eta_{\min 2}(\eta_3) &= \eta_{02} - A_2 A_3^{-1} \sqrt{A_3^2 r_\alpha^2 - (\eta_3 - \eta_{03})^2}, \\ \eta_{\max 3} &= \eta_{03} + A_3 r_\alpha, \\ \eta_{\min 3} &= \eta_{03} - A_3 r_\alpha. \end{aligned} \quad (14)$$

определения вероятности β_0 совершения ошибки в результате принятия неверного утверждения "ритм электрокардиосигнала оптимального состояния" путём вычисления выражения:

$$\beta = \frac{1}{(2\pi)^{3/2}} \int_{\eta_{\min 1}(\eta_2, \eta_3)}^{\eta_{\max 1}(\eta_2, \eta_3)} \int_{\eta_{\min 2}(\eta_3)}^{\eta_{\max 2}(\eta_3)} \int_{\eta_{\min 3}}^{\eta_{\max 3}} e^{-\frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 (\eta_i)^2} d\eta_1 d\eta_2 d\eta_3, \quad (15)$$

сравнения вероятности β_0 появления ошибки в результате принятия неверного утверждения "ритм электрокардиосигнала оптимального состояния" и его критического значения $\beta_{\text{крит}}$ (равного 20%),

$$\beta_0 > \beta_{\text{крит}}, \quad (16)$$

в случае если выражение (16) истинно, что характеризует ЭКС при наличии паталогических отклонений, установление наличия симптома патологии сердца,

в случае если выражение (16) ложно, что характеризует ЭКС при отсутствии паталогических отклонений, информирование о возможном развитии паталогического состояния.

2. Устройство оказания экстренной кардиологической помощи, содержащее

блок регистрации и предварительного анализа ЭКС, выполненный с возможностью усиления сигналов отведений ЭКС, контроля отрыва проводов, аналого-цифрового преобразования сигналов, фильтрации помех, независимой записи оцифрованной информации в базу данных, предварительного анализа экс, определение стандартного отклонения среднего значения кардиоцикла;

блок формирования энтропийно-параметрический признаков выборки электрокардиосигнала ре-

ального состояния, выполненный с возможностью выделения выборки данных кардиоциклов, определения центральных моментов ЭКС, определения информационного признака ЭКС, определения энтропийно-параметрических признаков - коэффициента энтропии, асимметрии и контрэксцесса - для распределения отсчётов временного интервала ЭКС, определения разбросов признаков распределения отсчётов ЭКС для реального состояния;

блок определения критерия гемодинамически значимой аритмии, выполненный с возможностью оценки истинности неравенства разницы модуля признака асимметрии распределения отсчётов временного интервала ЭКС и его минимального критического значения и возможностью переключения последовательности обработки информации при возникновении гемодинамически значимой аритмии;

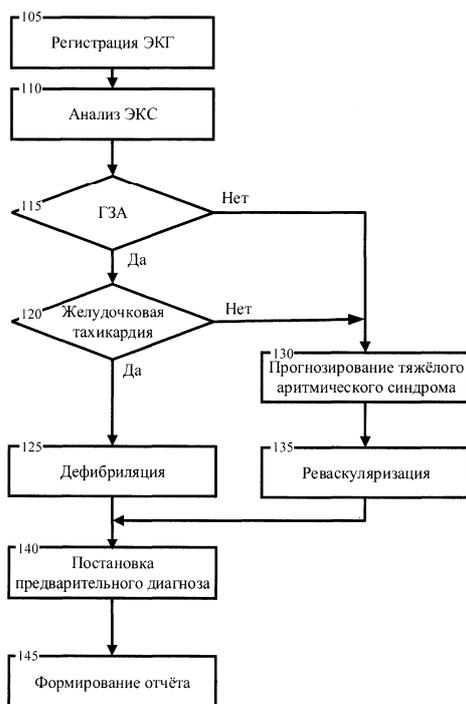
блок определения надёжности установления ритма ЭКС состояния с тяжёлыми желудочковыми нарушениями (ТЖН), выполненный с возможностью формирования границ области состояния "ТЖН", вычисления вероятности появления ошибки в результате принятия неверного утверждения об установлении ритма паталогического состояния с тяжёлыми желудочковыми нарушениями; определения критерия надёжности утверждения о паталогическом состоянии "ТЖН" путём сравнения с его критическим значением и возможностью подключения средств информирования о необходимости проведения дефибрилляции или реваскуляризации (при реваскуляризации информирование ограничивается формированием предварительного диагноза и отчёта);

блок информирования о необходимости проведения дефибрилляции, с возможностью представления звуковой и визуальной информации о необходимости проведения дефибрилляции и возможностью подключения средств управления дефибриллятором;

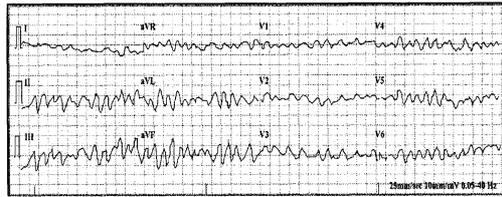
блок прогнозирования паталогического состояния, выполненный с возможностью определения энтропийно-параметрического критерия для ритма ЭКС оптимального состояния; сравнения энтропийно-параметрического критерия и его критического значения при заданном уровне значимости α ; информирования о ритме сердца оптимальном состоянии в случае, если энтропийно-параметрический критерий меньше его критического значения, и прогнозирования возможности паталогического состояния в случае, если энтропийно-параметрический критерий равен или больше его критического значения путём определения параметров границы области принятия решения "ритм ЭКС оптимального состояния" и координат ритма оптимального состояния в пространстве признаков распределения отсчётов ЭКС реального состояния, формирования границ области принятия решения ритма электрокардиосигнала реального состояния; определения вероятности ошибки в результате принятия неверного утверждения "ритм ЭКГ оптимального состояния"; сравнения вероятности появления ошибки в результате принятия неверного утверждения "ритм ЭКС оптимального состояния" и его критического значения для установления наличия независимого симптома паталогического состояния сердца;

блок формирования предварительного диагноза;

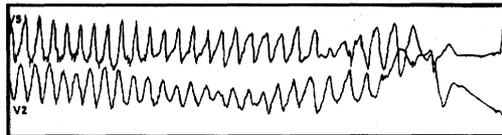
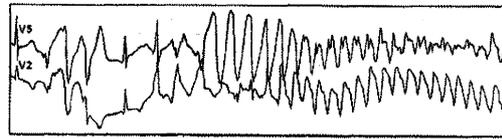
блок формирования отчёта.



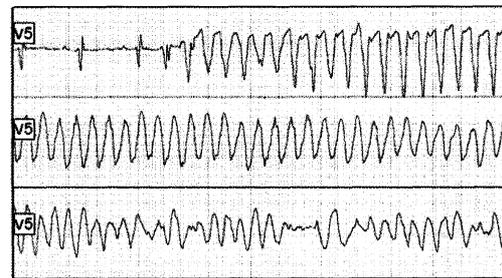
Фиг. 1



а)

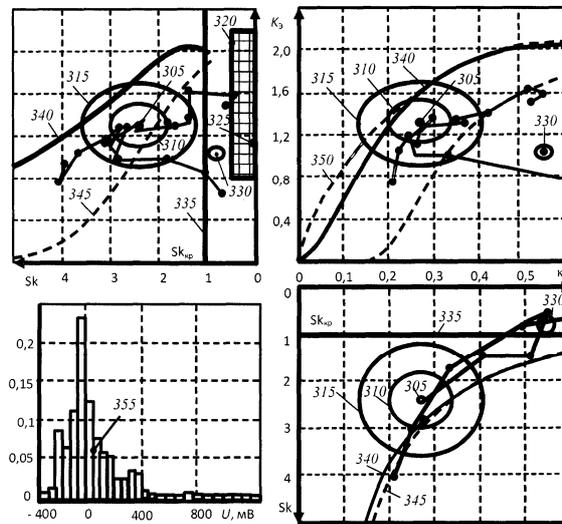


б)

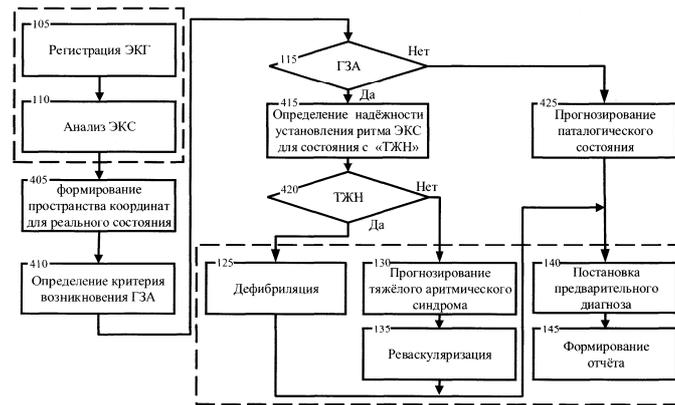


в)

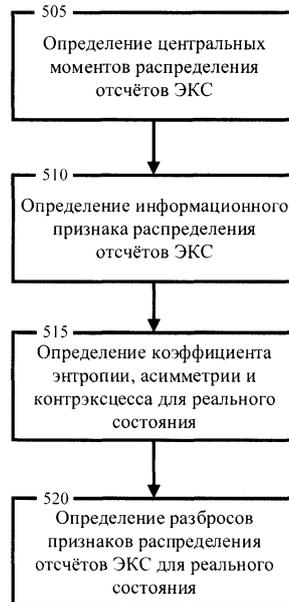
Фиг. 2



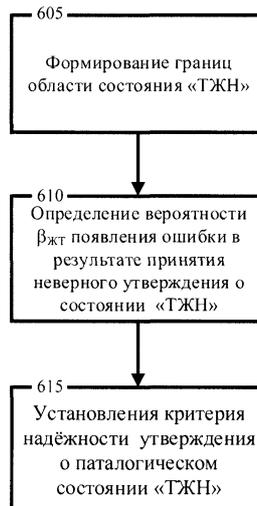
Фиг. 3



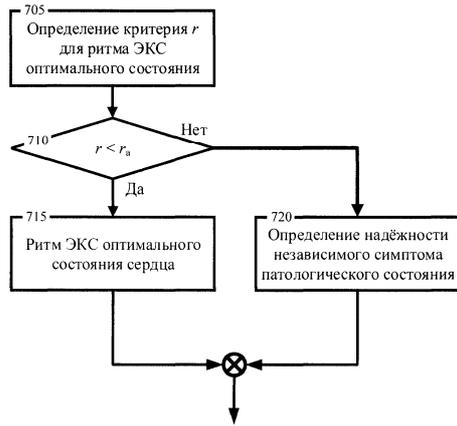
Фиг. 4



Фиг. 5



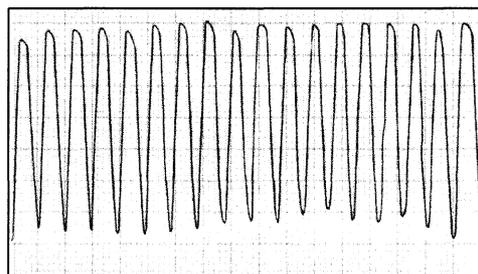
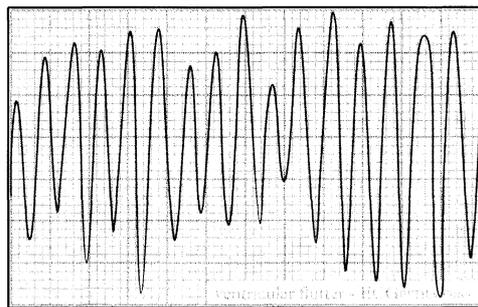
Фиг. 6



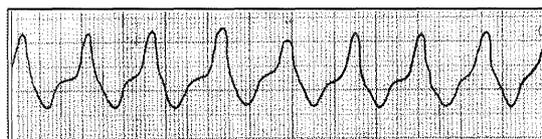
Фиг. 7



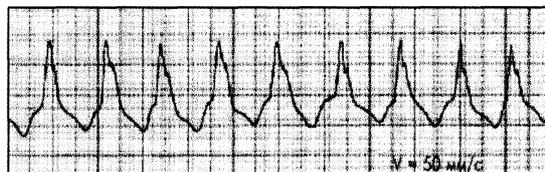
Фиг. 8



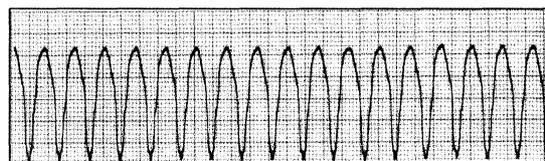
Фиг. 9



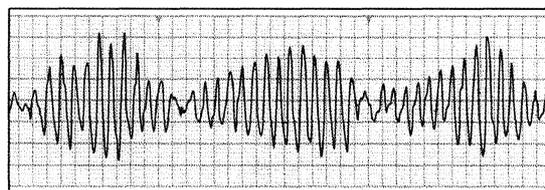
а)



б)



в)

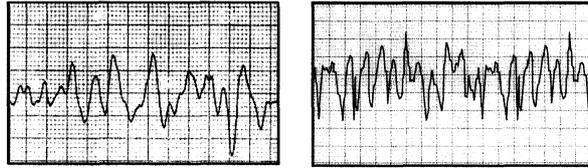


г)

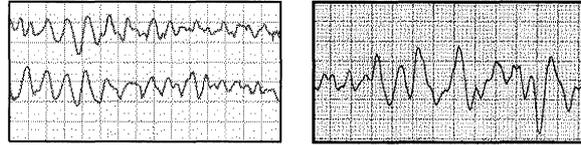
Фиг. 10

Таблица признаков для распределений, ограниченных в основании					
№	Вид распределения	Отношение границы основания Δ_m к СКО	Экссесс ϵ	Контр-эксцесс κ	Коэффициент энтропии, K_s
1	Арксинусоидальное распределение	1,41	1,5	0,816	1,11
2	Композиция двух арксинусоидальных распределений с отношением размахов оснований 1/3	1,79	1,72	0,752	1,76
3	Распределение «древнерусского шлема»	2	2,25	0,667	1,88
4	Распределение Симпсона (треугольное)	2,45	2,4	0,645	2,02
5	Трапециальное распределение (1/3)	2,19	2,016	0,704	1,94
6	Равномерное распределение	1,73	1,8	0,745	1,73
7	Полукруговое распределение Вигнера	2	1	1	Меньше 2

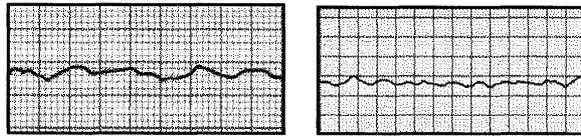
Фиг. 11



a)

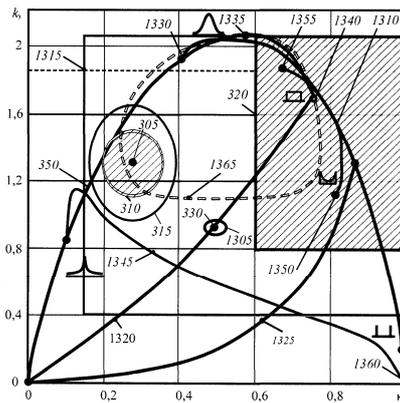


б)

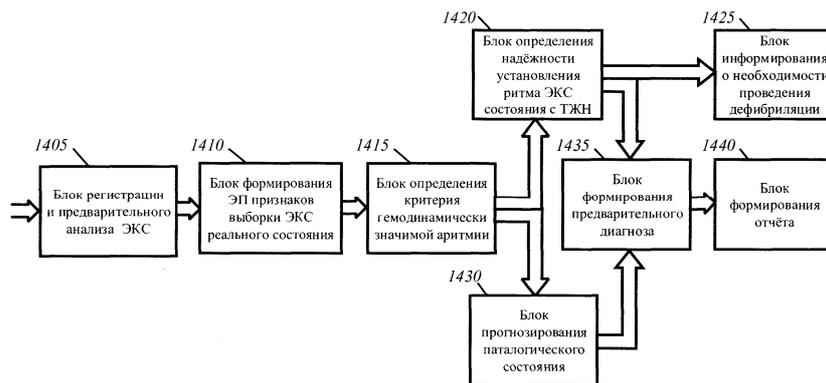


в)

Фиг. 12



Фиг. 13



Фиг. 14

