



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

A61B 5/0402 (2019.05); G06N 5/00 (2019.05)

(21)(22) Заявка: 2018138788, 02.11.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
02.11.2018

Дата регистрации:
31.10.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 02.11.2018

(45) Опубликовано: 31.10.2019 Бюл. № 31

Адрес для переписки:

440026, Пензенская обл., г. Пенза, ул. Красная,
40, ФГБОУ ВО "ПГУ"

(72) Автор(ы):

Безбородова Оксана Евгеньевна (RU),
Бодин Олег Николаевич (RU),
Герасимов Андрей Ильич (RU),
Полосин Виталий Германович (RU),
Рахматуллов Фагим Касымович (RU),
Рахматуллов Руслан Фагимович (RU),
Шерстнёв Владислав Вадимович (RU),
Ожигенов Касымбек Адильбекович
Касымбек Адильбекович (KZ),
Алимбаева Жадыра Нурдаулетовна (KZ)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Пензенский государственный
университет" (ФГБОУ ВО "Пензенский
государственный университет") (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: US 2008082013 A1, 03.04.2008. RU
2461877 C1, 20.09.2012. CN 104970789 B,
19.12.2017. CN 102779234 B, 28.10.2015.

(54) СПОСОБ НЕЙРОСЕТЕВОГО АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ СЕРДЦА

(57) Реферат:

Изобретение относится к медицине, в частности к кардиологии, и может быть использовано в автоматическом режиме для диагностики состояния сердца пациента по данным электрокардиографического обследования пациента при скрининге или в условиях скорой и неотложной помощи. Предложена диагностика состояния сердца, которая осуществляется за счет анализа выходных сигналов нейронных сетей, обученных на распознавание прямых и реципрокных признаков ИМ в ЭКС 12 общепринятых отведений, и построения решающих правил. Для этого осуществляют: разделение поверхности левого желудочка сердца на области, для которых выявленные прямые и реципрокные признаки

инфаркта миокарда (ИМ) соответствуют конкретной стадии и конкретному виду ИМ по глубине поражения; определение стадии ИМ и вида ИМ по глубине поражения по областям сердца; определение локализаций ИМ установленных стадий. Изобретение обеспечивает формирование диагностического заключения о состоянии сердца пациента, в котором при наличии инфаркта миокарда (ИМ) левого желудочка сердца указываются его локализации, стадии развития (острейшая, острая, подострая, рубцовая) и виды по глубине поражения стенки сердца (трансмуральный, субэпикардальный, субэндокардиальный), а также полную и точную оценку состояния сердца пациента независимо от уровня врача и опыта его работы. 12 ил.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(52) CPC

A61B 5/0402 (2019.05); *G06N 5/00* (2019.05)

(21)(22) Application: **2018138788, 02.11.2018**

(24) Effective date for property rights:
02.11.2018

Registration date:
31.10.2019

Priority:

(22) Date of filing: **02.11.2018**

(45) Date of publication: **31.10.2019 Bull. № 31**

Mail address:

**440026, Penzenskaya obl., g. Penza, ul. Krasnaya,
40, FGBOU VO "PGU"**

(72) Inventor(s):

**Bezborodova Oksana Evgenevna (RU),
Bodin Oleg Nikolaevich (RU),
Gerasimov Andrej Ilich (RU),
Polosin Vitalij Germanovich (RU),
Rakhmatullof Fagim Kasymovich (RU),
Rakhmatullof Ruslan Fagimovich (RU),
Sherstnev Vladislav Vadimovich (RU),
Ozhikenov Kasymbek Adilbekovich Kasymbek
Adilbekovich (KZ),
Alimbaeva Zhadyra Nurdauletovna (KZ)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Penzenskij gosudarstvennyj
universitet" (FGBOU VO "Penzenskij
gosudarstvennyj universitet") (RU)**

(54) NEURAL NETWORK ANALYSIS METHOD OF CARDIAC CONDITION

(57) Abstract:

FIELD: medicine.

SUBSTANCE: invention refers to medicine, particularly to cardiology, and can be used in automatic mode for diagnosing patient's heart condition by electrocardiographic examination of a patient in screening or emergency and emergency care. Diagnosis of the heart condition is suggested, which is carried out by analyzing output signals of neural networks, trained for recognition of direct and reciprocal signs of MI in ECS of 12 common leads, and construction of decision rules. That is ensured by the following: separation of the left ventricular surface into regions for which the revealed direct and reciprocal signs of myocardial infarction (MI) correspond to a specific stage and a specific type of MI by the depth of the lesion;

determining the stage of MI and the type of MI by the depth of involvement by heart; determination of localized infarction of the established stages.

EFFECT: invention provides a diagnostic conclusion on the patient's heart condition, in which in the presence of myocardial infarction (MI) of the left ventricle of the heart, its localization is indicated, stage of development (peracute, acute, subacute, cicatricial) and types of cardiac wall involvement (transmural, subepicardial, subendocardial) as well as complete and accurate evaluation of patient's heart condition irrespective of doctor's level and experience of its operation.

1 cl, 12 dwg

Предлагаемое изобретение относится к медицине, в частности к кардиологии, и может быть использовано в автоматическом режиме для дифференциальной диагностики инфаркта миокарда (ИМ) по данным электрокардиографического обследования пациента при скрининге или в условиях скорой и неотложной помощи.

Известен способ обработки и анализа электрокардиосигнала (ЭКС) для диагностики инфаркта миокарда [1], включающий автоматический съем ЭКС пациента в трех стандартных, трех усиленных и шести грудных отведениях, его регистрацию, оцифровку, выделение кардиоцикла и комбинированный анализ, при комбинированном анализе ЭКС во всех отведениях осуществляют выявление ЭКС признаков инфаркта миокарда, оценку состояния сердца по результатам анализа ЭКС в амплитудно-временной, частотно-временной и амплитудно-фазовой областях, а также по результатам комплексного контурного анализа ЭКС и нейросетевого анализа ЭКС, и формирование диагностического заключения. При этом комплексный контурный анализ ЭКС [2],водящий в известный комбинированный анализ ЭКС, позволяет диагностировать инфаркт миокарда (ИМ) определенных стадий и локализаций, но ограничен набором заданных контурных подграфов и не позволяет при наличии в ЭКС признаков ИМ формировать расширенные диагностические заключения, содержащие комплексные сведения об ИМ (то есть сведения, включающие информацию о локализации, стадии ИМ и глубине поражения стенок затронутых областей сердца). Амплитудно-временной, частотно-временной и амплитудно-фазовый анализы при диагностировании ИМ не выявляют стадии его развития и вид по глубине поражения. Кроме того, при определении патологии по отдельным элементам ЭКС и без разделения признаков на прямые и реципрокные возникают неоднозначности при определении локализации ИМ (например, и перегородочный и задний инфаркты миокарда выявляются по изменениям в ЭКС отведений V1...V3, только первый по прямым признакам, а второй – по реципрокным). Недостатком нейросетевого анализа ЭКС,водящего в известный комбинированный анализ ЭКС для диагностики ИМ, является то, что количество нейронных сетей равно количеству отведений и их обучение может быть осуществлено только на определенный вид ИМ по глубине поражения и конкретную стадию его развития (так как ЭКС для различных видов и стадий ИМ существенно различаются). Кроме того, отсутствие решающих правил для определения локализации не позволяет формировать диагностическое заключение о состоянии сердца пациента, относящегося к одному из k состояний сердца.

Наиболее близким к предлагаемому изобретению по способу обработки и анализа электрокардиосигнала (ЭКС) для диагностики инфаркта миокарда является способ [3], заключающийся в том, что непрерывный электрокардиосигнал регистрируют, осуществляют предварительную обработку и представляют его в виде n-размерного вектора, создают m n-размерных векторов справочной информации, характеризующих одно из состояний сердца, и сравнивают n-размерный вектор зарегистрированного электрокардиосигнала с созданным множеством m n-размерных векторов справочной информации, характеризующих одно из состояний сердца, решают, что n-размерный вектор находится в пределах или вне порогового диапазона векторов справочной информации, характеризующих одно из состояний сердца, дополнительно осуществляют нейросетевой анализ k состояний сердца, для чего создают $(k-1)*m$ n-размерных векторов справочной информации, выполняют построение решающих правил, осуществляют нейросетевой анализ n-размерного вектора зарегистрированного электрокардиосигнала с учетом решающих правил и вывод результата, относящегося к одному из k состояний сердца.

При этом для нейросетевого анализа ЭКС используют нейронную сеть (НС) LVQ, которая является развитием структуры сети Кохонена, и обладает возможностью обучения с учителем [4, 5].

Для выполнения нейросетевого анализа n-размерного вектора зарегистрированного электрокардиосигнала осуществляют построение $k \times L$ (L – количество отведений) нейронных сетей для анализа каждого из k состояний сердца в каждом отведении.

Построение решающих правил осуществляют на основе прямых и реципрокных признаков топической диагностики для каждого из k состояний сердца.

Вывод результата, относящегося к одному из k состояний сердца, осуществляют на основе выбора k -го состояния сердца, у которого выявлено максимальное количество признаков.

На фигуре 1 приведен алгоритм известного способа нейросетевого анализа состояния сердца.

На фигуре 2 приведена схема формирования диагностического заключения о состоянии сердца пациента, относящегося к одному из двух состояний сердца (здоровому состоянию и инфаркту миокарда передний и переднеперегородочный локализации), по результатам известного нейросетевого анализа ЭКС.

Согласно формуле изобретения, известный способ нейросетевого анализа состояния сердца состоит (см. фигуру 1):

во-первых, из ранее известных действий [1], таких как «Регистрация ЭКС», «Предварительная обработка ЭКС», «Представление ЭКС в виде n-размерного вектора», «Вывод результата»;

во-вторых, из введенных действий, таких как «Формирование обучающей выборки», «Обучение нейронных сетей», «Нейросетевой анализ состояний сердца», «Построение решающих правил» и «Анализ выходов нейронных».

Регистрация ЭКС. На этом этапе осуществляется съем и регистрация ЭКС с помощью устройства регистрации ЭКС. При регистрации ЭКС решаются вопросы электрического взаимодействия между электродом и тканью кожи в месте расположения электродов; электрической безопасности пациента; аналоговой фильтрации и усиления ЭКС; дискретизации и оцифровки ЭКС; сопряжения устройства регистрации ЭКС с компьютером. После этапа регистрации на вход компьютера поступают оцифрованные ЭКС.

Предварительная обработка ЭКС. Здесь решаются вопросы:

- цифровой фильтрации, включающей подавление помех и устранение артефактов.

С помощью цифровой фильтрации удаляют нерегулярные биения из зарегистрированного ЭКС;

- выделения характерных особенностей ЭКС: амплитуды Р, Q, R, S, Т зубцов и значений средних точек между Р и Q зубцами, S и Т зубцами;

- получения значений коэффициентов после выполнения преобразования Фурье и/или вейвлет.

После этапа предварительной обработки получают данные, характеризующие особенности зарегистрированного ЭКС, необходимые для формирования n-размерного вектора.

Представление ЭКС в виде n-размерного вектора. На этом этапе из полученных значений формируют n-размерный вектор. Можно выделить два варианта формирования n-размерного вектора. В первом случае значениями n-размерного вектора являются характерные особенности ЭКС: амплитуды Р, Q, R, S, Т зубцов и значения средних точек между Р и Q зубцами, S и Т зубцами. Во втором случае значениями n-размерного

вектора являются значения коэффициентов после выполнения преобразования Фурье и/или вейвлет-преобразования.

Формирование обучающей выборки основано на формировании для каждого k состояния сердца «своей» базы данных ЭКС по каждому задействованному отведению и включает в себя:

1. Проведение анализа зарегистрированного ЭКС опытным врачом кардиологом и отнесение зарегистрированного ЭКС по результатам анализа к одному из k состояний сердца.

2. Статистическая обработка сформированной для каждого из k состояний сердца «своей» базы данных ЭКС. Для этого:

- количество ЭКС одного состояния сердца должно быть не менее 50;
- количество ЭКС одного состояния сердца делится на две равные выборки;
- выдвигается нулевая гипотеза о принадлежности рассматриваемых выборок к одной генеральной совокупности;

- рассчитываются параметры t -критерия [6];

- при условии $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$, коэффициент корреляции признаётся значимым и принимается нулевая гипотеза о принадлежности рассматриваемых выборок к одной генеральной совокупности.

1. Разделение количества ЭКС одного состояния сердца на две части (обучающую и контрольную) в соотношении 4:1.

2. Разделение обучающей части количества ЭКС одного состояния сердца на две составляющие (без зашумления и зашумленную) в соотношении 3:1.

3. Зашумление ЭКС.

4. Использование полученных ЭКС (без зашумления и зашумленных) для обучения k нейронных сетей.

5. Использование контрольных ЭКС для проверки обучения k нейронных сетей.

Обучение нейронных сетей. В ходе этого действия обучаются $k \cdot L$ (L – количество отведений) нейронных сетей, для каждой из которых используется «своя» база данных ЭКС, полученная в результате выполнения предыдущего действия.

По мнению авторов, адаптация параметров структуры НС LVQ для анализа ЭКС [7] заключается в изменении таких параметров НС, как: размерность входного вектора; количество нейронов в конкурирующем слое; количество внутренних слоев.

Парадигма нейросетевого анализа включает в себя дискретизацию ЭКС, выделение ЭКС признаков ИМ, обработку их в НС, оценку состояния сердца.

Для каждого из 12 сигналов ЭКС в общепринятых отведениях используется «своя» LVQ-сеть. Исходный аналоговый электрокардиосигнал (имеется в виде сигнал ЭКС в каждом из 12 общепринятых отведений) оцифровывается в соответствии со стандартом SCP-ECG для обмена цифровыми ЭКС [8] и представляется в виде 500 отсчетов на один кардиоцикл. Выделение одного кардиоцикла [9] является отличительной особенностью: для выявления инфаркта миокарда достаточно одного кардиоцикла [10].

Значения отсчетов одного кардиоцикла ЭКС поступают на входы НС LVQ в виде входного вектора x^h .

Размерность входного вектора N_m определяется стандартом SCP-ECG для обмена цифровыми ЭКС [8] и равна $N_m = \{1 \div 500\}$.

Значение сигнала на выходе НС LVQ определяется по следующей формуле:

$$Y_k = F_{lin} \left(\sum_{j=1}^{S_2} w_{jk}^2 \cdot F_{compet} \left(\sqrt{\sum_{i=1}^{S_1} (x_i - w_{im}^1)^2} \right)_j \right) \quad (1)$$

где x_i – i -й элемент входного вектора,

w_{im}^1 – i -й элемент вектора весов m -го нейрона конкурирующего слоя,

w_{jk}^2 – j -й элемент вектора весов k -го нейрона линейного слоя,

F_{compet} – передаточная функция конкурирующего слоя, выявляющая нейрон-победитель,

F_{lin} – линейная функция активации нейронов распределительного слоя,

S_1 – размерность входного вектора НС,

S_2 – количество нейронов в конкурирующем слое,

Y_k – значение k -го выхода НС.

При анализе входных данных должна быть минимизирована суммарная евклидова мера:

$$D = \sum_h \sum_i (x_i^h - w_i^{c(h)}) = \sum_h \left[(x^h, x^h) - 2(x^h, w^{c(h)}) + (w^{c(h)}, w^{c(h)}) \right] \quad (2)$$

где h – номер входного вектора,

$c(h)$ – класс заболевания, соответствующий вектору x^h .

Анализ выражения (2) показывает, что задача поиска минимума D эквивалентна поиску максимума выражения:

$$\min D \rightarrow \sum_h \sum_i (x_i^h w_i^{c(h)}) \quad (3)$$

Количество нейронов в слое Кохонена N_{coh} соответствует числу кластеров, на которые предполагается разделить входные данные. Для определения данного значения используется следующая формула:

$$N_{coh} = \alpha \cdot N_{out} \quad (4)$$

где α – число кластеров, приходящихся на один класс заболеваний.

После определения параметров осуществляется обучение НС LVQ для каждого отведения. Целью обучения НС при анализе ЭКС является такое упорядочение нейронов (подбор значений их весов), которое минимизирует значение ожидаемого искажения, оцениваемого погрешностью аппроксимации входного вектора x^h , значениями весов $w_{x(h)}$ нейрона-победителя в конкурентной борьбе. Эта погрешность (или ошибка распознавания) может быть представлена в виде:

$$E_q = \frac{1}{p} \sum_{h=1}^p \|x^h - w_{x(h)}\|^2 \quad (5)$$

где p – количество входных векторов,

$w_{x(h)}$ - вектор весов нейрона-победителя при предъявлении вектора x^h .

Критерием завершения процесса обучения НС служит выполнение условия $E_q < \varepsilon$, где ε – величина погрешности, заданная пользователем перед началом обучения (например, $\varepsilon = 0,01$).

Для обучения НС LVQ для анализа ЭКС используется метод «выпуклой комбинации» [11]. Алгоритм обучения НС LVQ работает следующим образом:

- шаг 1. Присваивается всем весам слоя Кохонена одно и то же начальное значение

$$w_i^m = \frac{1}{\sqrt{N_m}}.$$

- шаг 2. Выбирается из обучающей выборки очередной вектор x^h .

- шаг 3. Изменяются элементы вектора x^h в соответствии в формулой (6):

$$x' = \beta(t) \cdot x^h + \frac{1 - \beta(t)}{\sqrt{N_m}} \quad (6)$$

где t – номер эпохи обучения,

$\beta(t)$ – монотонно возрастающая функция, меняющаяся от 0 до 1 по мере обучения.

- шаг 4. Определяется евклидово расстояние между вектором x' и каждым нейроном конкурирующего слоя по формуле (7)

$$d_m = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x'_i - w_{im}^1)^2} \quad (7)$$

где x'_i – значение i -го элемента вектора x' ,

w_{im}^1 – значение i -го веса m -го нейрона конкурирующего слоя.

- шаг 5. Определяются 2 нейрона с наименьшим евклидовым расстоянием d_m до входного вектора x' .

- шаг 6. При выполнении условия (8) осуществляется переход к п. 7, иначе происходит возврат к шагу 2

$$\min\left(\frac{d_1}{d_2}, \frac{d_2}{d_1}\right) > (1 - \varepsilon)/(1 + \varepsilon) \quad (8)$$

где d_1 – евклидово расстояние между вектором x' и весами первого найденного нейрона,

d_2 – евклидово расстояние между вектором x' и весами второго найденного нейрона,

ε – значение, выбираемое из диапазона $0.2 \div 0.3$ [5].

- шаг 7. Изменяются веса найденных нейронов. При правильной классификации вектора x' выполняется корректировка по формуле (9). При ложной классификации выполняется «отторжение» по формуле (10).

$\omega_i = \omega_{i-1} + \eta_i(x - \omega_{i-1})$	(9)
$\omega_i = \omega_{i-1} - \eta_i(x + \omega_{i-1})$	(10)

где η_t – величина скорости обучения НС.

- шаг 8. При минимизации ошибки обучения E_q (5) прекращается цикл обучения, иначе осуществляется переход к шагу 2.

Нейросетевой анализ производится одновременно путем параллельного анализа зарегистрированного ЭКС каждой нейронной сетью. Выходной сигнал НС принимает значение равное 1 в случае, когда n -размерный вектор входной ЭКС соответствует вектору, на который обучена данная НС, и 0 – в противном случае. В результате анализа получается массив данных с выходов нейронных сетей.

Построение решающих правил для анализа выходов нейронных сетей основано на том, что отклонения при каждой из локализаций ИМ проявляются не во всех отведениях. Для построения решающих правил выбора одного из $(k-1)$ состояний сердца, относящихся к ИМ, были использованы сочетания наличия и отсутствия прямых и реципрокных признаков ИМ в ЭКС отведений для восьми различных локализаций [12]. Решающие правила построения логических блоков для восьми диагнозов ИМ:

1) Передний и переднеперегородочный ИМ

$$F_1 = I \& II \& III \& aVR \& aVF \& aVL \& V1 \& V2 \& V3 \& V4 \& V5 \& V6, \quad (11)$$

2) Переднебазальный ИМ

$$F_2 = I \& II \& III \& aVR \& aVF \& aVL \& V1 \& V2 \& V3 \& V4 \& V5 \& V6, \quad (12)$$

3) Передний распространенный ИМ

$$F_3 = I \& II \& III \& aVR \& aVF \& aVL \& V1 \& V2 \& V3 \& V4 \& V5 \& V6, \quad (13)$$

4) Боковой ИМ

$$F_4 = I \& II \& III \& aVR \& aVF \& aVL \& V1 \& V2 \& V3 \& V4 \& V5 \& V6, \quad (14)$$

5) Боковой базальный ИМ

$$F_5 = I \& II \& III \& aVR \& aVF \& aVL \& V1 \& V2 \& V3 \& V4 \& V5 \& V6, \quad (15)$$

6) Заднедиафрагмальный (нижний) ИМ

$$F_6 = I \& II \& III \& aVR \& aVF \& aVL \& V1 \& V2 \& V3 \& V4 \& V5 \& V6, \quad (16)$$

7) Циркулярный ИМ

$$F_7 = I \& II \& III \& aVR \& aVF \& aVL \& V1 \& V2 \& V3 \& V4 \& V5 \& V6, \quad (17)$$

8) Заднебазальный ИМ

$$F_8 = I \& II \& III \& aVR \& aVF \& aVL \& V1 \& V2 \& V3 \& V4 \& V5 \& V6, \quad (18)$$

Здесь $I, II, III, aVR, aVF, aVL, V1, V2, V3, V4, V5, V6$ – данные с выходов нейронных сетей, выявляющих здоровые ЭКС.

Анализ выходов нейронных сетей. Данные с выходов нейронных сетей поступают на логические блоки, предназначенные для выявления соответствующего состояния сердца в соответствии с решающими правилами, и далее на приоритетный шифратор, предназначенный для выделения соответствующего состояния сердца. На выходе приоритетного шифратора формируется код номера входной линии, на который приходит положительный входной сигнал с выхода одного из k логических блоков нейронных сетей, участвующих в анализе ЭКС. При одновременном поступлении нескольких входных сигналов формируется выходной код, соответствующий входу с наибольшим номером, т.е. старшие входы имеют приоритет перед младшими. Результатом выполнения работы данного этапа является номер диагностического заключения о состоянии сердца пациента, к которому отнесен анализируемый ЭКС.

Вывод результата. Полученному в результате анализа выходов нейронных сетей номеру присваивается словесное описание диагностического заключения о состоянии сердца пациента, которое и сообщается пользователю.

Для обоснования недостатков известного способа нейросетевого анализа состояния сердца ниже приведены сведения об отличительных особенностях (признаках) ИМ

различных стадий, видов ИМ по глубине поражения, а также сведения по основным локализациям ИМ.

Инфаркт миокарда возникает при переходе нормально функционирующего миокарда в некротизированный. В развитии ИМ различают, как правило, 4 стадии: острейшую (острый коронарный синдром), острую, подострую и рубцовую [12-18].

В острейшей стадии, которая длится от нескольких часов до суток, происходит повреждение миокарда. В последующей острой стадии инфаркта (продолжительностью до 2-3 недель) мышечные волокна миокарда погибают, и образуется участок некроза. Во время подострой стадии ИМ (длительностью, как правило, 1-3 месяца) часть мышечных волокон, получившие глубокие повреждения, переходит в зону некроза, а остальные волокна частично восстанавливаются и переходят в состояние ишемии. Зона повреждения постепенно исчезает, а зона некроза стабилизируется. В рубцовой стадии ИМ (месяцы, годы) на месте некроза происходит рубцевание ткани, которая стягивает соседние здоровые участки миокарда. Одновременно с образованием рубца происходит компенсаторная гипертрофия оставшихся мышечных волокон, что приводит к уменьшению зоны инфаркта (трансмуральный ИМ может превращаться в нетрансмуральный). Зоны повреждения и ишемии уменьшаются.

В соответствии с глубиной поражения сердечной мышцы различают следующие виды инфаркта миокарда: трансмуральный (с поражением всей толщи мышечной стенки сердца), субэпикардиальный (с поражением миокарда в зоне прилегания к эпикарду), субэндокардиальный (с поражением миокарда в зоне прилегания к эндокарду) и интрамуральный (с поражением в толще миокарда).

В связи с тем, что зоны инфаркта и рубцовой ткани не возбуждаются, то происходит изменение регистрируемого электрокардиосигнала, который становится отличным от нормального. На фигуре 3 показаны примеры изменений ЭКС при ишемии и различных стадиях ИМ [16].

На фигуре 4 в таблице приведены упрощенные формы характерных графиков ЭКС для трех видов ИМ по глубине поражения (трансмурального, субэпикардиального и субэндокардиального) и четырех стадий ИМ (острейшей, острой, подострой и рубцовой) [10, 12-20]. Всего можно выделить 11 характерных графиков ЭКС с прямыми признаками ИМ и 6 характерных графиков ЭКС с реципрокными признаками ИМ, которые соответствуют 9 различным ЭКС с прямыми признаками ИМ. Это связано с тем, что признаки интрамурального ИМ во многом совпадают с признаками субэндокардиального или субэпикардиального ИМ, и он плохо диагностируется. Также плохо определяются прямые признаки субэндокардиального ИМ и реципрокные признаки всех видов ИМ по глубине поражения для рубцовой стадии, и плохо различаются между собой реципрокные признаки трансмурального и субэпикардиального ИМ.

По локализации (топографии) и в зависимости от поражения ветвей коронарных артерий, инфаркт миокарда бывает: правожелудочковый и левожелудочковый. При ишемической болезни сердца прежде всего поражается миокард левого желудочка.

Левый желудочек (ЛЖ) можно разделить на области (сегменты): перегородочную (септальную), передневерхушечную (апикальную), боковую (латеральную), заднюю и нижнюю (диафрагмальную). Первые 3 области составляют переднюю стенку, а последние 3 – заднюю стенку. Боковая область, таким образом, может быть вовлечена как в инфаркт передней стенки, так и инфаркт задней стенки.

Локализация ИМ может быть определена по отклонениям в ЭКС соответствующих отведений (далее – согласно отведениям). В каждом отведении записывается своя

проекция ЭДС сердца, при этом 3 стандартных (I, II, III) и 3 усиленных (aVR, aVF, aVL) отведения от конечностей отражают ЭДС сердца в так называемой фронтальной плоскости, а грудные отведения (V1, V2, ...) отражают ЭДС сердца в горизонтальной (поперечной) плоскости.

5 В зависимости от того какие области левого желудочка сердца повреждены различают, как правило, до 13 диагнозов ИМ левого желудочка, определяемых его локализацией [12-20].

Переднеперегородочный ИМ (ИМ переднесептальной области, ИМ передней части межжелудочковой перегородки), как правило, случаев обусловлен закупоркой
10 перегородочной ветви передней нисходящей артерии. Характерные изменения ЭКС наблюдаются в отведениях V1, V2 (иногда V3).

Передневерхушечный ИМ (ИМ апикальной области, ИМ передней стенки левого желудочка), как правило, обусловлен закупоркой передней нисходящей артерии (дистальных ее отделов), отходящей от левой коронарной артерии. Диагностируется
15 по характерным изменениям ЭКС в отведениях V3 и V4, реципрокные изменения могут наблюдаться в отведениях III, aVF.

Переднеперегородочный ИМ с переходом на верхушку (ИМ переднесептальной области и передней стенки левого желудочка), как правило, обусловлен закупоркой
20 левой передней нисходящей артерии. Характерные изменения ЭКС наблюдаются в отведениях V1-V4, реципрокные изменения могут наблюдаться в отведениях III, aVF.

Боковой ИМ (ИМ латеральной области, ИМ боковой стенки левого желудочка), как правило, вызван поражением диагональной артерии или заднебоковых ветвей левой
огибающей артерии. Признаки такого ИМ определяются по изменению ЭКС в отведениях V5, V6, I, aVL, реципрокные изменения могут наблюдаться в отведениях
25 V1, V2.

Переднебоковой ИМ (ИМ переднебоковой стенки левого желудочка), как правило, вызван поражением огибающей артерии или передней нисходящей артерии, которые
отходят от левой коронарной артерии. Характерные изменения ЭКС наблюдаются в отведениях V3-V6, I, aVL, реципрокные изменения могут наблюдаться в отведениях III,
30 aVF, V1 и V2.

Высокий переднебоковой ИМ (боковой базальный ИМ), как правило, связан с поражением диагональной артерии или ветви левой огибающей артерии. Диагностируется по изменениям ЭКС в отведении aVL и I. Иногда реципрокные
изменения могут наблюдаться в отведениях V1, V2.

35 Передний распространенный ИМ (обширный ИМ передней стенки левого желудочка) обусловлен закупоркой основного ствола левой коронарной артерии (чаще ее ветви – передней нисходящей артерии). Признаки такого ИМ регистрируются в отведениях V1-V6, I, aVL. Реципрокные изменения могут наблюдаться в отведениях III, aVF.

Заднебазальный ИМ (ИМ верхних отделов задней стенки левого желудочка, задний
40 ИМ), как правило, обусловлен закупоркой правой задней нисходящей артерии или левой огибающей артерии. Такой ИМ весьма труден для диагностики и выявления, т.к. прямые признаки инфаркта в 12 обычных отведениях отсутствуют. Диагноз заднебазального ИМ ставится по реципрокным изменениям ЭКС в отведениях V1-V3. Прямые признаки заднебазального ИМ выявляются в дополнительных отведениях V7-
45 V9.

Заднедиафрагмальный ИМ (нижний ИМ, ИМ нижних отделов задней стенки, прилежащих к диафрагме), как правило, вызван закупоркой нисходящей ветви правой коронарной артерии, которая при левом типе кровоснабжения может отходить от левой

огибающей артерии. При такой локализации инфаркта поражаются нижние отделы задней стенки, зачастую затрагивая заднюю часть межжелудочковой перегородки. Характерные изменения ЭКС наблюдаются в отведениях II, III, aVF. Реципрокные изменения в острую стадию ИМ наблюдаются в отведениях V1-V3.

5 Задний распространенный ИМ (обширный ИМ задней стенки левого желудочка) развивается в результате закупорки правой коронарной артерии, локализующейся проксимальнее места отхождения обеих артерий атриовентрикулярного и синусового узлов. Обширный ИМ захватывает как нижние, так и верхние отделы задней стенки левого желудочка, что обуславливает регистрацию на ЭКС признаков заднебазального и заднедиафрагмального ИМ: прямые изменения – в отведениях II, III, aVF, V5, V6,
10 реципрокные – в отведениях V1-V3.

Заднебоковой ИМ (ИМ заднебоковой стенки левого желудочка) вызван закупоркой огибающей ветви левой коронарной артерии. При такой локализации инфаркта поражается одновременно задняя и боковая стенки левого желудочка. Характерные
15 изменения ЭКС наблюдаются в отведениях II, III, aVF (поражение диафрагмальных отделов задней стенки), V5, V6, I, aVL (поражение боковой стенки), реципрокные изменения ЭКС – в отведениях V1-V3 (при поражении базальных отделов задней стенки).

Заднеперегородочный ИМ обычно обусловлен поражением правой коронарной артерии. При такой локализации инфаркта поражается межжелудочковая перегородка и задняя стенки левого желудочка. Прямые признаки инфаркта регистрируются в
20 отведениях II, III, aVF, V1 и V2.

Циркулярный ИМ (циркулярный верхушечный ИМ) вызывается поражением огибающей артерии. При такой локализации инфаркт полукругом охватывает верхушку сердца с одновременным поражением передней и задней ее частей. При этом возможны
25 два варианта поражения верхушки сердца: путем перехода с задней стенки левого желудочка через верхушку на боковую и переднюю стенки, а также инфаркт может охватывать нижние отделы верхушки левого желудочка, распространяясь с задней стенки на ее переднюю стенку. Поэтому, для циркулярного верхушечного ИМ характерны изменения ЭКС в двух группах отведений:

30 1) прямые – в отведениях II, III, aVF, изредка реципрокные – в отведениях V1, V2 (при поражении задней части верхушки сердца) и прямые – в отведениях V3-V6, I, aVL, (при поражении передней и боковой стенок верхушки сердца);

2) прямые – в отведениях II, III, aVF (при поражении задненижних отделов верхушки сердца), в отведениях V3, V4 (при поражении передней части верхушки сердца), изредка
35 реципрокные – в отведениях V1, V2 (поражение базальных отделов задней стенки).

Изолированный ИМ правого желудочка наблюдается чрезвычайно редко. Как правило, он сочетается с поражением задней стенки левого желудочка. Инфаркт миокарда правого желудочка трудно диагностируется на ЭКС, поскольку вектор возбуждения правого желудочка в норме значительно меньше вектора возбуждения
40 левого желудочка и изменения вектора, вызванные ИМ правого желудочка не оказывают большого влияния на суммарную ЭДС и слабо влияют на комплекс QRS. Характерные изменения ЭКС могут наблюдаться в дополнительных правых грудных отведениях V3R и V4R.

На фигуре 5 в таблице приведены прямые (П) и реципрокные (Р) признаки ИМ для рассмотренных выше инфарктов миокарда левого желудочка сердца согласно
45 общепринятым отведениям [12-19], при этом дополнительный символ «-» обозначает признаки ИМ, которые при диагностировании можно не учитывать (далее – второстепенные признаки ИМ).

Также при диагностировании представляет интерес определение локализаций ранних (старых) инфарктов миокарда. Согласно [17] если новый ИМ:

- расположен в отдалении от старого рубцового поля или на его периферии, то старый инфаркт обычно не мешает диагностике нового;

5 - развивается в области старых рубцовых изменений, то его диагностика из-за незначительных изменений ЭКС не всегда возможна;

- возникает на стенке, противоположной рубцовым изменениям, то он диагностируется, как правило, только если он больше по размерам старого рубцового поля.

10 Таким образом, для формирования полноценного (расширенного) диагностического заключения об инфаркте миокарда (при его наличии) необходимы сведения не только о локализации ИМ, но также о его стадии и глубине поражения миокарда, разделяя при этом новый (повторный) ИМ от старого, то есть необходимы комплексные сведения об ИМ.

15 Известный способ обработки и анализа ЭКС на основе нейросетевого анализа [3] в случае обучения НС на выявление признаков ИМ в характерных графиках ЭКС с прямыми и реципрокными признаками ИМ, приведенными в таблице 1, позволит при диагностировании ИМ определить его стадию и вид по глубине поражения. Однако:

20 1. В известном способе обработки и анализа ЭКС построение решающих правил осуществляется на основе комбинации выходных сигналов НС, обученных на выявление признаков ИМ в ЭКС сразу всех отведений, поэтому диагностирование возможно только одного состояния, так как вывод результата, относящегося к одному из k состояний сердца, осуществляется на основе выбора k-го состояния сердца, у которого выявлено максимальное количество признаков, что не позволяет диагностировать

25 инфаркты миокарда разных стадий по локализациям (например, при одновременном проявлении передневерхушечного ИМ острой стадии и бокового ИМ подострой стадии).

30 2. В решающих правилах известного способа обработки и анализа ЭКС не заложена возможность непроявления реципрокных признаков ИМ [17], что при наличии прямых признаков ИМ и отсутствии сопутствующих им реципрокных признаков ИМ или их нераспознавании, приведет к неправильному диагностированию состояния сердца пациента, то есть к невыявлению ИМ (например, передневерхушечного ИМ при не проявлении реципрокных признаков в отведениях III, aVF – см. таблицу 2, приведенную на фигуре 5).

35 3. Количество нейронных сетей, требуемых для диагностирования различных ИМ, в известном способе зависит от общего количества возможных признаков ИМ в ЭКС отведений по всем локализациям. Так, если диагностировать ИМ с учетом его локализации, стадии и вида по известной схеме [3], то потребуется A нейронных сетей, при этом значение A определяется по формуле

$$A = a_1 * b_1 + a_2 * b_2' + L, \quad (19)$$

40 где a_1 , a_2 – количество соответственно прямых и реципрокных признаков ИМ по локализациям,

b_1 – количество различных ЭКС с прямыми признаками ИМ,

b_2' – количество различных ЭКС с реципрокными признаками ИМ, которые

45 сопоставляются ЭКС с прямыми признаками,

L – количество ЭКС здорового пациента, равное общему количеству отведений.

В этом случае для диагностирования ИМ для 14 локализаций по 63 прямым и 30 реципрокным признакам ИМ (см. таблицу 2) с учетом 11 различных ЭКС с прямыми

признаками ИМ и 9 ЭКС с реципрокными признаками ИМ, которые соответствуют ЭКС с прямыми признаками ИМ (см. таблицу 1) при использовании 12 общепринятых отведений потребуется 975 нейронных сетей.

Очевидно, что для формирования расширенного диагностического заключения об инфаркте миокарда на основе нейросетевого анализа ЭКС, включающего вывод информации о локализации ИМ, стадии и глубине поражения, требуется совершенствование решающих правил, а для уменьшения количества задействованных нейронных сетей необходима оптимизация структуры схемы реализации нейросетевого анализа.

Целью предлагаемого изобретения является формирование диагностического заключения о состоянии сердца пациента, в котором при наличии инфаркта миокарда указывается его локализация, стадия развития ИМ (острейшая, острая, подострая или рубцовая) и вид ИМ по глубине поражения (трансмуральный, субэпикардиальный или субэндокардиальный).

Для этого используется нейросетевой анализ состояния сердца, заключающийся в том, что непрерывный электрокардиосигнал (ЭКС) регистрируют в L отведениях, предварительно обрабатывают и представляют его в виде n -размерного вектора для каждого из L отведений, создают образцовые n -размерные векторы $E_{эт}$ различных ЭКС для каждого из L отведений, обучают нейронные сети, осуществляют нейросетевой анализ n -размерных векторов зарегистрированных ЭКС $E_{рег}$, выполняют анализ выходов нейронных сетей на основе построения решающих правил и выводят результат о состоянии сердца пациента, отличающийся тем, что, во-первых, построение решающих правил осуществляют следующим образом:

- осуществляют разделение поверхности левого желудочка сердца на области, для которых выявленные прямые и реципрокные признаки инфаркта миокарда (ИМ) соответствуют конкретной стадии и конкретному виду ИМ по глубине поражения, для этого:

- определяют $p=\{1,2,...6\}$ области левого желудочка сердца и задают соответствующие им группы отведений: для перегородочной области ($p=1$) – отведения V1 и V2 (в случае общепринятых отведений), для задней области ($p=2$) – отведения V1 и V2 (в случае общепринятых отведений) при реципрокных признаках ИМ, для передней области ($p=3$) – отведения V3 и V4 (в случае общепринятых отведений), для боковой нижней области ($p=4$) – отведения V5 и V6 (в случае общепринятых отведений), для боковой верхней области ($p=5$) – отведения I и aVL (в случае общепринятых отведений), для нижней области ($p=6$) – отведения II, III и aVF (в случае общепринятых отведений);

- учитывают, что стадия ИМ в пределах каждой $p=\{1,2,...6\}$ области левого желудочка сердца не изменяется;

- осуществляют определение $s=\{1,2,...4\}$ стадии ИМ по $p=\{1,2,...6\}$ областям сердца, для этого:

- выбирают выходы нейронных сетей, обученных на выявление в ЭКС прямых и реципрокных признаков ИМ конкретной стадии $s=\{1,2,...4\}$ (острейшей, острой, подострой, рубцовой);

- формируют матрицу ST стадий ИМ по областям сердца, путём логического преобразования сигналов выбранных выходов нейронных сетей для $s=\{1,2,...4\}$ стадии ИМ в пределах группы отведений, соответствующих одной из $p=\{1,2,...6\}$ областей сердца, при этом значения элементов матрицы $ST(p,s)$ находят следующим образом:

- 1) для перегородочной области ($p=1$)

$$ST(1,s) = \left(\bigvee_{\substack{i \triangleq \text{отв. V1} \\ j \triangleq \text{ЭКС с прямыми} \\ \text{признаками ИМ стадии } s}} g_{ij} \right) \wedge \left(\bigvee_{\substack{i \triangleq \text{отв. V2} \\ j \triangleq \text{ЭКС с прямыми} \\ \text{признаками ИМ стадии } s}} g_{ij} \right),$$

2) для задней области (p=2)

$$ST(2,s) = \left(\bigvee_{\substack{i \triangleq \text{отв. V1} \\ j \triangleq \text{ЭКС с реципрокными} \\ \text{признаками ИМ стадии } s}} g_{ij} \right) \wedge \left(\bigvee_{\substack{i \triangleq \text{отв. V2} \\ j \triangleq \text{ЭКС с реципрокными} \\ \text{признаками ИМ стадии } s}} g_{ij} \right),$$

3) для передней области (p=3)

$$ST(3,s) = \left(\bigvee_{\substack{i \triangleq \text{отв. V3} \\ j \triangleq \text{ЭКС с прямыми} \\ \text{признаками ИМ стадии } s}} g_{ij} \right) \wedge \left(\bigvee_{\substack{i \triangleq \text{отв. V4} \\ j \triangleq \text{ЭКС с прямыми} \\ \text{признаками ИМ стадии } s}} g_{ij} \right),$$

4) для боковой нижней области (p=4)

$$ST(4,s) = \left(\bigvee_{\substack{i \triangleq \text{отв. V5} \\ j \triangleq \text{ЭКС с прямыми} \\ \text{признаками ИМ стадии } s}} g_{ij} \right) \wedge \left(\bigvee_{\substack{i \triangleq \text{отв. V6} \\ j \triangleq \text{ЭКС с прямыми} \\ \text{признаками ИМ стадии } s}} g_{ij} \right),$$

5) для боковой верхней области (p=5)

$$ST(5,s) = \left(\bigvee_{\substack{i \triangleq \text{отв. I} \\ j \triangleq \text{ЭКС с прямыми} \\ \text{признаками ИМ стадии } s}} g_{ij} \right) \wedge \left(\bigvee_{\substack{i \triangleq \text{отв. aVL} \\ j \triangleq \text{ЭКС с прямыми} \\ \text{признаками ИМ стадии } s}} g_{ij} \right),$$

6) для нижней области (p=6)

$$ST(6,s) = \left(\bigvee_{\substack{i \triangleq \text{отв. II} \\ j \triangleq \text{ЭКС с прямыми} \\ \text{признаками ИМ стадии } s}} g_{ij} \right) \wedge \left(\bigvee_{\substack{i \triangleq \text{отв. III} \\ j \triangleq \text{ЭКС с прямыми} \\ \text{признаками ИМ стадии } s}} g_{ij} \right) \wedge \left(\bigvee_{\substack{i \triangleq \text{отв. aVF} \\ j \triangleq \text{ЭКС с прямыми} \\ \text{признаками ИМ стадии } s}} g_{ij} \right),$$

где s=1 – для острейшей стадии ИМ, s=2 – для острой стадии ИМ, s=3 – для подострой стадии ИМ, s=4 – для рубцовой стадии ИМ;

g_{ij} – выходной сигнал j-ой нейронной сети i-го отведения, при этом $i \in L$ и для общепринятых отведений $i \in \{V1, V2, V3, V4, V5, V6, I, II, III, aVL, aVF\}$, $j = \{2, 3, \dots, 18\}$ соответствует ЭКС различных стадий ИМ (острейших, острых, подострых, рубцовых), видов ИМ по глубине поражения (трансмуральных, субэпикардиальных, субэндокардиальных) и признаков ИМ (прямых, реципрокных);

$$g_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{при } E_{\text{рег}} = E_{\text{эт}} \\ 0 & \text{при } E_{\text{рег}} \neq E_{\text{эт}} \end{cases};$$

- выполняют анализ значений элементов матрицы стадии ИМ по областям сердца $ST(p,s)$ на основе решающего правила: если элемент матрицы $ST(p,s)=1$, то определяется инфаркт миокарда s-ой стадии в p-ой области сердца;

- осуществляют определение $v = \{1, 2, 3\}$ вида ИМ по глубине поражения по $p = \{1, 2, \dots, 6\}$ областям сердца, для этого:

- разделяют выходы нейронных сетей, обученных на выявление в ЭКС прямых и реципрокных признаков ИМ;

- выбирают выходы нейронных сетей, обученных на выявление в ЭКС прямых признаков ИМ конкретного вида по глубине поражения $v=\{1,2,3\}$ (трансмурального, субэпикардального, субэндокардального) в $i \in \{V1, V2, V3, V4, V5, V6, I, II, III, aVL, aVF\}$ отведениях;

- формируют матрицу WP видов ИМ по глубине поражения при прямых признаках путём логического преобразования сигналов выбранных выходов нейронных сетей, при этом значения элементов матрицы $WP(i,v)$ находят следующим образом:

1) для трансмурального вида ИМ по глубине поражения ($v=1$):

$$WP(i,1) = \begin{pmatrix} \bigvee_{\substack{j \in \text{ЭКС с прямыми} \\ \text{признаками трансмурального ИМ}}} g_{ij} \end{pmatrix},$$

2) для субэпикардального ИМ по глубине поражения ($v=2$):

$$WP(i,2) = \begin{pmatrix} \bigvee_{\substack{j \in \text{ЭКС с прямыми} \\ \text{признаками субэпикардального ИМ}}} g_{ij} \end{pmatrix},$$

3) для субэндокардального ИМ по глубине поражения ($v=3$):

$$WP(i,3) = \begin{pmatrix} \bigvee_{\substack{j \in \text{ЭКС с прямыми} \\ \text{признаками субэндокардального ИМ}}} g_{ij} \end{pmatrix},$$

где $v=1$ – для трансмурального ИМ, $v=2$ – для субэпикардального ИМ, $v=3$ – для субэндокардального ИМ;

- выбирают выходы нейронных сетей, обученных на выявление в ЭКС реципрокных признаков ИМ конкретного вида по глубине поражения $v=\{1,2,3\}$ (трансмурального, субэпикардального, субэндокардального) в $i \in \{V1, V2\}$ отведениях;

- формируют матрицу WR видов ИМ по глубине поражения при реципрокных признаках путём логического преобразования сигналов выбранных выходов нейронных сетей, при этом значения элементов матрицы $WR(i,v)$ находят следующим образом:

1) для трансмурального (субэпикардального) вида ИМ по глубине поражения ($v=1, v=2$):

$$WR(i,1) = WR(i,2) = \begin{pmatrix} \bigvee_{\substack{j \in \text{ЭКС с реципрокными} \\ \text{признаками трансмурального} \\ \text{(субэпикардального) ИМ}}} g_{ij} \end{pmatrix},$$

2) для субэндокардального ИМ по глубине поражения ($v=3$):

$$WR(i,3) = \begin{pmatrix} \bigvee_{\substack{j \in \text{ЭКС с реципрокными} \\ \text{признаками субэндокардального ИМ}}} g_{ij} \end{pmatrix};$$

- формируют вектор-строки WF_p вида ИМ по глубине поражения для $p=\{1,2,...6\}$ областей сердца:

- для перегородочной области ($p=1$)

$$WF_1 = \text{row}WP(i \in \text{отв.V1, }) + \text{row}WP(i \in \text{отв.V2, }),$$

- для задней области ($p=2$)

$$WF_2 = \text{rowWR}(i \hat{=} \text{ome.V1, }) + \text{rowWR}(i \hat{=} \text{ome.V2, }),$$

- для передней области (p=3)

$$WF_3 = \text{rowWP}(i \hat{=} \text{ome.V3, }) + \text{rowWP}(i \hat{=} \text{ome.V4, }),$$

- для боковой нижней области (p=4)

$$WF_4 = \text{rowWP}(i \hat{=} \text{ome.V5, }) + \text{rowWP}(i \hat{=} \text{ome.V6, }),$$

- для боковой верхней области (p=5)

$$WF_5 = \text{rowWP}(i \hat{=} \text{ome.I, }) + \text{rowWP}(i \hat{=} \text{ome.aVL, }),$$

- для нижней области (p=6)

$$WF_6 = \text{rowWP}(i \hat{=} \text{ome.II, }) + \text{rowWP}(i \hat{=} \text{ome.III, }) + \text{rowWP}(i \hat{=} \text{ome.aVF, }),$$

- выполняют анализ значений вектор-строк вида ИМ по глубине поражения WF_p

для $p=\{1,2,\dots,6\}$ областей сердца на основе решающих правил:

если $WF_p = [1 \ X \ X]$, то определяется трансмуральный ИМ,

если $WF_p = [0 \ 1 \ X]$, то определяется субэпикардиальный ИМ,

если $WF_p = [0 \ 0 \ 1]$, то определяется субэндокардиальный ИМ,

при этом значение X равно 0 или 1;

- осуществляют определение локализаций ИМ установленных стадий, для этого:

- формируют вектор-строки SL_s локализаций ИМ путем транспонирования вектор-столбцов матрицы ST для $s=\{1,2,\dots,4\}$ стадий:

$$SL_s = \text{colonST}(,s)^T;$$

- выполняют анализ значений вектор-строк SL_s локализаций ИМ для $s=\{1,2,\dots,4\}$

стадий на основе решающих правил:

- если $SL_s = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$, то определяется переднеперегородочный инфаркт миокарда s-ой стадии,

- если $SL_s = [0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]$, то определяется передневерхушечный инфаркт миокарда s-ой стадии,

- если $SL_s = [1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]$, то определяется переднеперегородочный инфаркт миокарда с переходом на верхушку s-ой стадии,

- если $SL_s = [1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0]$, то определяется передний распространенный инфаркт миокарда s-ой стадии,

- если $SL_s = [0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0]$ или $SL_s = [0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0]$, то определяется боковой инфаркт миокарда s-ой стадии,

- если $SL_s = [0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0]$ или $SL_s = [0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0]$, то определяется переднебоковой инфаркт миокарда s-ой стадии,

- если $SL_s = [0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0]$ или $SL_s = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0]$, то определяется боковой базальный инфаркт миокарда s-ой стадии,

- если $SL_s = [0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$, то определяется заднебазальный инфаркт миокарда s-ой стадии,

- если $SL_s = [0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1]$ или $SL_s = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1]$, то определяется заднедиафрагмальный инфаркт миокарда s-ой стадии,

- если $SL_s = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1]$, то определяется заднеперегородочный инфаркт миокарда s-ой стадии,

- если $SL_s = [0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1]$, то определяется задний распространенный инфаркт миокарда

s-ой стадии,

- если $SL_S = [0\ 1\ 0\ 1\ 1\ 1]$ или $SL_S = [0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1]$, то определяется заднебоковой инфаркт миокарда s-ой стадии,

- если $SL_S = [0\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1]$ или $SL_S = [0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1]$ или $SL_S = [0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 1]$ или $SL_S = [0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 1]$, то определяется циркулярный инфаркт миокарда s-ой стадии;

во-вторых, вывод результата нейросетевого анализа состояния сердца осуществляют следующим образом:

- определяют параметры состояния сердца D1-D3:

$$D_1 = g_{1,1} \wedge g_{2,1} \dots \wedge g_{12,1},$$

$$D_2 = ST(1,1) \vee ST(2,1) \dots \vee ST(6,1) \vee ST(1,2) \dots \vee ST(6,4),$$

$$D_3 = \overline{D_1} \wedge \overline{D_2},$$

где $g_{i,1}$ – выходной сигнал $j=1$ нейронной сети i -го отведения, обученной для анализа

ЭКГ на соответствие здоровому состоянию сердца;

$i \in \{V1, V2, V3, V4, V5, V6, I, II, III, aVL, aVF, aVR\}$;

$ST(p,s)$ – элементы матрицы стадий ИМ по областям сердца, $p=\{1,2,\dots,6\}$, $s=\{1,2,\dots,4\}$;

– формируют вывод результата об общем состоянии сердца пациента, при этом:

– если $D_1=1$, то выводят результат «В пределах нормы»,

– если $D_2=1$, то выводят результат «Подозрение на инфаркт миокарда»,

– если $D_3=1$, то выводят результат «Отклонение от нормы»;

– формируют вывод результатов о состоянии сердца пациента при наличии признаков ИМ ($D_2=1$), полученных с помощью решающих правил, при этом:

– указывают наименование ИМ, определяемое локализацией (переднеперегородочный, передневерхушечный, переднеперегородочный с переходом на верхушку, боковой, переднебоковой, боковой базальный, передний распространенный, заднебазальный, заднедиафрагмальный, заднеперегородочный, задний распространенный, заднебоковой, циркулярный) для конкретной стадии (остройшей, острая, подострая, рубцовая);

– перечисляют затронутые ИМ области (перегородочная, передняя, боковая верхняя, боковая нижняя, нижняя, задняя) и соответствующие им виды ИМ по глубине поражения (трансмуральный, субэпикардиальный, субэндокардиальный).

По мнению авторов предполагаемого изобретения, в результате реализации

предлагаемого способа нейросетевого анализа состояния сердца для автоматизированного электрокардиографического обследования пациента при скрининге или в условиях скорой и неотложной помощи при диагностировании инфаркта миокарда врачу представляются комплексные сведения по локализациям, стадиям ИМ и глубине поражения затронутых областей сердца.

На фигуре 6 приведен алгоритм предлагаемого способа нейросетевого анализа состояния сердца.

На фигуре 7 приведена структурная схема реализации предлагаемого способа нейросетевого анализа состояния сердца.

На фигуре 8 в таблице приведены индексы нейронных сетей i -го отведения и соответствующие им ЭКГ с признаками ИМ, на n -размерные векторы которых обучены данные НС.

На фигуре 9 условно показано положение сердца в пространстве и показаны направления общепринятых отведений по отношению к областям сердца.

На фигуре 10 приведена схема, показывающая выбор выходов нейронных сетей, обученных на выявление в ЭКС признаков ИМ конкретной стадии с целью дальнейшего логического преобразования значений выходных сигналов НС согласно решающих правил для определения стадии ИМ.

5 На фигуре 11 приведена схема, показывающая выбор выходов нейронных сетей, обученных на выявление в ЭКС признаков ИМ конкретного вида по глубине поражения в случае прямых и реципрокных признаков ИМ в пределах отведений с целью дальнейшего логического преобразования значений выходных сигналов НС согласно решающих правил для определения вида ИМ по глубине поражения.

10 На фигуре 12 в таблице приведено сравнение функционала прототипа и предлагаемого изобретения.

Согласно формуле изобретения, предлагаемый способ нейросетевого анализа состояния сердца состоит (см. фигуру 6):

во-первых, из известных действий, таких как «Регистрация ЭКС», «Предварительная
15 обработка ЭКС», «Представление ЭКС в виде n-размерного вектора», «Формирование обучающей выборки», «Обучение нейронных сетей», «Нейросетевой анализ»;

во-вторых, из введенных действий, таких как «Построение решающих правил для определения областей сердца и соответствующих им отведений», «Построение решающих правил для определения стадии ИМ по областям сердца», «Построение решающих
20 правил для определения вида ИМ по глубине поражения по областям сердца»;

в-третьих, из измененных действий, таких как «Построение решающих правил для определения локализаций ИМ установленных стадий» (аналог действия «Построение решающих правил для k состояний сердца»), «Анализ выходов нейронных сетей», «Вывод результата».

25 Описание известных действий «Регистрация ЭКС», «Предварительная обработка ЭКС», «Представление ЭКС в виде n-размерного вектора», «Формирование обучающей выборки», «Обучение нейронных сетей», «Нейросетевой анализ» приведено выше, но при этом:

- в рамках действия «Формирование обучающей выборки» формируются n-размерные
30 векторы ЭКС с прямыми и реципрокными признаками, по которым можно диагностировать ИМ разных видов (трансмуральный, субэпикардальный, субэндокардальный) и стадий (острейшую, острую, подострую, рубцовую). Количество n-размерных векторов ЭКС определяется необходимым количеством нейронных сетей по отведениям;

35 - в рамках действия «Нейросетевой анализ» необходимое количество нейронных сетей, требуемых для диагностирования различных ИМ, определяется по формуле

$$B = b_1 * I_1 + b_2 * I_2 + L, \quad (20)$$

где b_1 , b_2 – количество различных ЭКС соответственно с прямыми и реципрокными признаками ИМ,

40 I_1 , I_2 – количество отведений в ЭКС которых наблюдаются соответственно прямые и реципрокные признаки ИМ,

L – количество ЭКС здорового пациента, равное общему количеству отведений.

В этом случае для диагностирования ИМ по 11 различным ЭКС с прямыми признаками ИМ в 11 отведениях и 6 различным ЭКС с реципрокными признаками ИМ
45 в 2 необходимых отведениях V_1 , V_2 , (см. таблицы 1 и 2) при 12 общепринятых отведениях потребуется 145 нейронных сетей, а именно (см. фигуры 7 и 8):

– по 1 НС на каждое из 12 отведений для анализа ЭКС на соответствие здоровому

состоянию сердца ($HC_{i,1}$, $i=1, 2..12$);

– по 11 НС на каждое из отведений $V1...V6, I, II, III, aVF, aVL$ (без aVR) для выявления прямых признаков ИМ в ЭКС ($HC_{i,2}...HC_{i,12}$, $i=1, 2..11$);

5 – по 6 НС на отведения $V1$ и $V2$ для выявления реципрокных признаков ИМ в ЭКС ($HC_{i,13}...HC_{i,18}$, $i=1, 2$).

Поясним особенности введенных и измененных действий.

10 Построение решающих правил для определения областей сердца и соответствующих им отведений. Известно, что поражения при инфаркте затрагивают ту или иную область сердца (сегмент), которой соответствуют изменения ЭКС определенных отведений, поэтому каждой области сердца (или ее части) можно сопоставить определенную комбинацию наличия признаков ИМ в некоторой группе отведений [16, 19].

15 Грудные отведения «показывают» сердце в горизонтальной плоскости своеобразным полукругом (см. фигуру 9): отведения $V1$ и $V2$ – перегородочную (септальную) область (межжелудочковую перегородку) при прямых признаках ИМ или заднюю область при реципрокных признаках ИМ, $V3$ и $V4$ – переднюю (апикальную) область (переднюю верхушку), $V5$ и $V6$ – боковую (латеральную) область в средней и нижней ее части.

20 Отведения от конечностей «показывают» сердце во фронтальной плоскости: I и aVL – боковую (латеральную) область в верхней ее части, отведения II, III и aVF – нижнюю область. Отведение aVR , как правило, не отражает изменений при инфаркте миокарда ЛЖ.

Построение решающих правил для определения стадии ИМ по областям сердца. Данные решающие правила включают следующие действия:

25 – выбор выходов нейронных сетей, обученных на выявление в ЭКС признаков ИМ конкретной $s=\{1,2,..4\}$ стадии (см. фигуру 10);

– формирование матрицы ST стадий ИМ по областям сердца путём логического преобразования сигналов выбранных выходов нейронных сетей $g_{i,j}$ для $s=\{1,2,..4\}$ стадии ИМ в пределах группы отведений, соответствующих одной из $p=\{1,2,..6\}$ областей сердца;

30 – анализ значений элементов матрицы ST стадий ИМ по областям сердца.

Значения элементов матрицы $ST(p,s)$ находят следующим образом:

1) для перегородочной области ($p=1$):

- при острейшей стадии ИМ ($s=1$):

$$ST(1,1) = (g_{1,2} \vee g_{1,3} \vee g_{1,4}) \wedge (g_{2,2} \vee g_{2,3} \vee g_{2,4}), \quad (21)$$

35 - при острой стадии ИМ ($s=2$):

$$ST(1,2) = (g_{1,5} \vee g_{1,6} \vee g_{1,7}) \wedge (g_{2,5} \vee g_{2,6} \vee g_{2,7}), \quad (22)$$

- при подострой стадии ИМ ($s=3$):

$$ST(1,3) = (g_{1,8} \vee g_{1,9} \vee g_{1,10}) \wedge (g_{2,8} \vee g_{2,9} \vee g_{2,10}), \quad (23)$$

40 - при рубцовой стадии ИМ ($s=4$):

$$ST(1,4) = (g_{1,11} \vee g_{1,12}) \wedge (g_{2,11} \vee g_{2,12}), \quad (24)$$

2) для задней области или другой области при реципрокном признаке ($p=2$):

- при острейшей стадии ИМ ($s=1$):

45 $ST(2,1) = (g_{1,13} \vee g_{1,14}) \wedge (g_{2,13} \vee g_{2,14}), \quad (25)$

- при острой стадии ИМ ($s=2$):

$$ST(2,2) = (g_{1,15} \vee g_{1,16}) \wedge (g_{2,15} \vee g_{2,16}), \quad (26)$$

- при подострой стадии ИМ ($s=3$):

$$ST(2,3) = (g_{1,17} \vee g_{1,18}) \wedge (g_{2,17} \vee g_{2,18}), (27)$$

- при рубцовой стадии ИМ (s=4):

$$ST(2,4) = 0 \text{ (признак ИМ отсутствует)}, (28)$$

3) для передней области (p=3):

- при острой стадии ИМ (s=1):

$$ST(3,1) = (g_{3,2} \vee g_{3,3} \vee g_{3,4}) \wedge (g_{4,2} \vee g_{4,3} \vee g_{4,4}), (29)$$

- при острой стадии ИМ (s=2):

$$ST(3,2) = (g_{3,5} \vee g_{3,6} \vee g_{3,7}) \wedge (g_{4,5} \vee g_{4,6} \vee g_{4,7}), (30)$$

- при подострой стадии ИМ (s=3):

$$ST(3,3) = (g_{3,8} \vee g_{3,9} \vee g_{3,10}) \wedge (g_{4,8} \vee g_{4,9} \vee g_{4,10}), (31)$$

- при рубцовой стадии ИМ (s=4):

$$ST(3,4) = (g_{3,11} \vee g_{3,12}) \wedge (g_{4,11} \vee g_{4,12}), (32)$$

4) для боковой нижней области (p=4):

- при острой стадии ИМ (s=1):

$$ST(4,1) = (g_{5,2} \vee g_{5,3} \vee g_{5,4}) \wedge (g_{6,2} \vee g_{6,3} \vee g_{6,4}), (33)$$

- при острой стадии ИМ (s=2):

$$ST(4,2) = (g_{5,5} \vee g_{5,6} \vee g_{5,7}) \wedge (g_{6,5} \vee g_{6,6} \vee g_{6,7}), (34)$$

- при подострой стадии ИМ (s=3):

$$ST(4,3) = (g_{5,8} \vee g_{5,9} \vee g_{5,10}) \wedge (g_{6,8} \vee g_{6,9} \vee g_{6,10}), (35)$$

- при рубцовой стадии ИМ (s=4):

$$ST(4,4) = (g_{5,11} \vee g_{5,12}) \wedge (g_{6,11} \vee g_{6,12}), (36)$$

5) для боковой верхней области (p=5):

- при острой стадии ИМ (s=1):

$$ST(5,1) = (g_{7,2} \vee g_{7,3} \vee g_{7,4}) \wedge (g_{11,2} \vee g_{11,3} \vee g_{11,4}), (37)$$

- при острой стадии ИМ (s=2):

$$ST(5,2) = (g_{7,5} \vee g_{7,6} \vee g_{7,7}) \wedge (g_{11,5} \vee g_{11,6} \vee g_{11,7}), (38)$$

- при подострой стадии ИМ (s=3):

$$ST(5,3) = (g_{7,8} \vee g_{7,9} \vee g_{7,10}) \wedge (g_{11,8} \vee g_{11,9} \vee g_{11,10}), (39)$$

- при рубцовой стадии ИМ (s=4):

$$ST(5,4) = (g_{7,11} \vee g_{7,12}) \wedge (g_{11,11} \vee g_{11,12}), (40)$$

6) для нижней области (p=6):

- при острой стадии ИМ (s=1):

$$ST(6,1) = (g_{8,2} \vee g_{8,3} \vee g_{8,4}) \wedge (g_{9,2} \vee g_{9,3} \vee g_{9,4}) \wedge (g_{10,2} \vee g_{10,3} \vee g_{10,4}), (41)$$

- при острой стадии ИМ (s=2):

$$ST(6,2) = (g_{8,5} \vee g_{8,6} \vee g_{8,7}) \wedge (g_{9,5} \vee g_{9,6} \vee g_{9,7}) \wedge (g_{10,5} \vee g_{10,6} \vee g_{10,7}), (42)$$

- при подострой стадии ИМ (s=3):

$$ST(6,3) = (g_{8,8} \vee g_{8,9} \vee g_{8,10}) \wedge (g_{9,8} \vee g_{9,9} \vee g_{9,10}) \wedge (g_{10,8} \vee g_{10,9} \vee g_{10,10}), (43)$$

- при рубцовой стадии ИМ (s=4):

$$ST(6,4) = (g_{8,11} \vee g_{8,12}) \wedge (g_{9,11} \vee g_{9,12}) \wedge (g_{10,11} \vee g_{10,12}). (44)$$

Если элемент матрицы $ST(p,s)=1$, то определяется инфаркт миокарда s-ой стадии в

р-ой области сердца.

Построение решающих правил для определения вида ИМ по глубине поражения по областям сердца. Данные решающие правила включают следующие действия:

- разделение выходов нейронных сетей, обученных на выявление в ЭКС прямых и реципрокных признаков ИМ;
- выбор выходов нейронных сетей, обученных на выявление в ЭКС прямых признаков ИМ конкретного вида по глубине поражения $v=\{1,2,3\}$ (трансмурального, субэпикардального, субэндокардиального) в $i=\{1, 2..11\}$ отведениях (см. фигуру 11);
- формирование матрицы WP видов ИМ по глубине поражения при прямых признаках;
- выбор выходов нейронных сетей, обученных на выявление в ЭКС реципрокных признаков ИМ конкретного вида по глубине поражения $v=\{1,2,3\}$ (трансмурального, субэпикардального, субэндокардиального) в $i=\{1,2\}$ отведениях (см. фигуру 11);
- формирование матрицы WR видов ИМ по глубине поражения при реципрокных признаках;
- формирование вектор-строк WF_p вида ИМ по глубине поражения для $p=\{1,2,..6\}$ областей сердца;

– анализ значений вектор-строк WF_p вида ИМ по глубине поражения для $p=\{1,2,..6\}$ областей сердца.

Значения элементов матрицы $WP(i,v)$ находят следующим образом:

1) для трансмурального вида ИМ по глубине поражения ($v=1$):

$$WP(1,1) = g_{1,2} \vee g_{1,5} \vee g_{1,8} \vee g_{1,11}, (45)$$

$$WP(2,1) = g_{2,2} \vee g_{2,5} \vee g_{2,8} \vee g_{2,11}, (46)$$

... ..

$$WP(11,1) = g_{11,2} \vee g_{11,5} \vee g_{11,8} \vee g_{11,11}, (55)$$

2) для субэпикардального ИМ по глубине поражения ($v=2$):

$$WP(1,2) = g_{1,3} \vee g_{1,6} \vee g_{1,9} \vee g_{1,12}, (56)$$

$$WP(2,2) = g_{2,3} \vee g_{2,6} \vee g_{2,9} \vee g_{2,12}, (57)$$

... ..

$$WP(11,2) = g_{11,3} \vee g_{11,6} \vee g_{11,9} \vee g_{11,12}, (66)$$

3)) для субэндокардиального ИМ по глубине поражения ($v=3$):

$$WP(1,3) = g_{1,4} \vee g_{1,7} \vee g_{1,10}, (67)$$

$$WP(2,3) = g_{2,4} \vee g_{2,7} \vee g_{2,10}, (68)$$

... ..

$$WP(11,3) = g_{11,4} \vee g_{11,7} \vee g_{11,10}, (77)$$

Значения элементов матрицы $WR(i,v)$ находят следующим образом:

1) для трансмурального (субэпикардального) вида ИМ по глубине поражения ($v=1, v=2$):

$$WR(1,1) = WR(1,2) = g_{1,13} \vee g_{1,15} \vee g_{1,17}, (78)$$

$$WR(2,1) = WR(2,2) = g_{2,13} \vee g_{2,15} \vee g_{2,17}, (79)$$

Так как ЭКС с реципрокными признаками трансмурального и субэпикардального ИМ практически совпадают, то при наличии таких ЭКС вид ИМ по глубине поражения диагностируется как трансмуральный;

2) для субэндокардиального ИМ по глубине поражения ($v=3$):

$$WR(1,3) = g_{1,14} \vee g_{1,16} \vee g_{1,18}, \quad (80)$$

$$WR(2,3) = g_{2,14} \vee g_{2,16} \vee g_{2,18}, \quad (81)$$

5 Вектор-строки WF_p вида ИМ по глубине поражения для $p=\{1,2,...6\}$ областей сердца находят путем сложения соответствующих вектор-строк матриц WP (при прямых признаках ИМ) и WR (при реципрокных признаках ИМ) для общепринятых отведений в пределах группы, соответствующих одной из областей сердца:

- для перегородочной области ($p=1$):

$$10 \quad WF_1 = rowWP(1,) + rowWP(2,), \quad (82)$$

- для задней области ($p=2$):

$$WF_2 = rowWR(1,) + rowWR(2,), \quad (83)$$

- для передней области ($p=3$):

$$15 \quad WF_3 = rowWL(3,) + rowWL(4,), \quad (84)$$

- для боковой нижней области ($p=4$):

$$WF_4 = rowWL(5,) + rowWL(6,), \quad (85)$$

- для боковой верхней области ($p=5$):

$$20 \quad WF_5 = rowWL(7,) + rowWL(11,), \quad (86)$$

- для нижней области ($p=6$):

$$WF_6 = rowWL(8,) + rowWL(9,) + rowWL(10,), \quad (87)$$

Анализ значений вектор-строк WF_p вида ИМ по глубине поражения для $p=\{1,2,...6\}$ областей сердца выполняют на основе заданной иерархии глубины поражения ИМ (трансмуральный, субэпикардиальный, субэндокардиальный):

При этом определяют следующие виды ИМ по глубине поражения:

- трансмуральный ИМ в p -ой области сердца, если

$$WF_p = [1 \ X \ X], \quad (88)$$

30 - субэпикардиальный ИМ в p -ой области сердца, если

$$WF_p = [0 \ 1 \ X], \quad (89)$$

- субэндокардиальный ИМ в p -ой области сердца, если

$$WF_p = [0 \ 0 \ 1], \quad (90)$$

при этом значение элемента X равно 0 или 1.

35 Построение решающих правил для определения локализаций ИМ установленных стадий. Данные решающие правила включают следующие действия:

- формирование вектор-строк SL_s локализаций ИМ для $s=\{1,2,...4\}$ стадий;

- анализ значений вектор-строк SL_s локализаций ИМ для $s=\{1,2,...4\}$ стадий.

40 Вектор-строки SL_s локализаций ИМ для s -ой стадии формируют путем транспонирования соответствующих вектор-столбцов матрицы ST :

- для острейшей стадии ИМ ($s=1$):

$$SL_1 = [ST(1,1) \ ST(2,1) \ ST(3,1) \ ST(4,1) \ ST(5,1) \ ST(6,1)], \quad (91)$$

45 - для острой стадии ИМ ($s=2$):

$$SL_2 = [ST(1,2) \ ST(2,2) \ ST(3,2) \ ST(4,2) \ ST(5,2) \ ST(6,2)], \quad (92)$$

- для подострой стадии ИМ ($s=3$):

$$SL_3 = [ST(1,3) \ ST(2,3) \ ST(3,3) \ ST(4,3) \ ST(5,3) \ ST(6,3)], \quad (93)$$

- для рубцовой стадии ИМ ($s=4$):

$$SL_4 = [ST(1,4) \ ST(2,4) \ ST(3,4) \ ST(4,4) \ ST(5,4) \ ST(6,4)], \quad (94)$$

Анализ значений вектор-строк SL_S выполняют при учете, что второстепенные признаки ИМ являются избыточными, а реципрокные признаки ИМ в ЭКС по отведениям V1 и V2 могут как проявляться, так и не проявляться. При этом определяются следующие локализации ИМ для установленной стадии:

- переднеперегородочный ИМ s -ой стадии, если

$$SL_S = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0], \quad (95)$$

- передневерхушечный ИМ s -ой стадии, если

$$SL_S = [0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0], \quad (96)$$

- переднеперегородочный ИМ с переходом на верхушку s -ой стадии, если

$$SL_S = [1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0], \quad (97)$$

- передний распространенный ИМ s -ой стадии, если

$$SL_S = [1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0], \quad (98)$$

- боковой ИМ s -ой стадии, если

$$SL_S = [0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0] \text{ или } SL_S = [0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0], \quad (99)$$

- переднебоковой инфаркт ИМ s -ой стадии, если

$$SL_S = [0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0] \text{ или } SL_S = [0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0], \quad (100)$$

- боковой базальный ИМ s -ой стадии, если

$$SL_S = [0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0] \text{ или } SL_S = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0], \quad (101)$$

- заднебазальный ИМ s -ой стадии, если

$$SL_S = [0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0], \quad (102)$$

- заднедиафрагмальный ИМ s -ой стадии, если

$$SL_S = [0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1] \text{ или } SL_S = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1], \quad (103)$$

- заднеперегородочный ИМ s -ой стадии, если

$$SL_S = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1], \quad (104)$$

- задний распространенный ИМ s -ой стадии, если

$$SL_S = [0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1], \quad (105)$$

- заднебоковой ИМ s -ой стадии, если

$$SL_S = [0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1] \text{ или } SL_S = [0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1], \quad (106)$$

- циркулярный ИМ s -ой стадии, если

$$SL_S = [0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1] \text{ или } SL_S = [0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1] \text{ или } SL_S = [0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1]$$

$$\text{или } SL_S = [0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1], \quad (107)$$

Анализ выходов нейронных сетей. Вначале логический анализатор определяет параметры состояния сердца D1-D3, на основании которых формируется результат о состоянии сердца пациента, а именно:

1) параметр состояния сердца «В пределах нормы»

$$D_1 = g_{1,1} \wedge g_{2,1} \wedge \dots \wedge g_{12,1}, \quad (108)$$

где $g_{i,1}$ – выходной сигнал $j=1$ нейронной сети i -го отведения, обученной для анализа

ЭКС на соответствие здоровому состоянию сердца;

$$i \in \{V1, V2, V3, V4, V5, V6, I, II, III, aVL, aVF, aVR\}.$$

2) параметр состояния сердца «Подозрение на инфаркт миокарда»

$$D_2 = ST(1,1) \vee ST(2,1) \dots \vee ST(6,1) \vee ST(1,2) \dots \vee ST(6,4), \quad (109)$$

где $ST(p,s)$ – элементы матрицы стадий ИМ по областям сердца, $p=\{1,2,..6\}$, $s=\{1,2,..4\}$;
3) параметр состояния сердца «Отклонение от нормы»

$$D_3 = \overline{D_1} \wedge \overline{D_2}. \quad (110)$$

Состояние сердца пациента находится в пределах нормы, если нейросетевой анализ покажет, что ЭКС от всех 12 отведений находятся в пределах нормы, т.е. $D_1=1$.

Подозрение на инфаркт миокарда сердца будет в случае, если нейросетевой анализ покажет, что в группе ЭКС, соответствующей любой из областей сердца, имеются признаки ИМ, т.е. $D_2=1$.

Отклонение от нормального состояния сердца будет определяться, если ЭКС какого-либо из 12 отведений находятся не в пределах нормы, но и признаков ИМ не выявлено, т.е. $D_3=1$.

В случае выявления признаков ИМ ($D_2=1$) логический анализатор определяет:

- стадии ИМ по областям (см. формулы 21-44);
- виды ИМ по глубине поражения по областям (см. формулы 45-90);
- локализации ИМ для установленных стадий (см. формулы 91-107).

Например, у следующих нейронных сетей, значения выходных сигналов, оказались отличны от 0:

$g_{1,3} = 1$ (в отведении V1 определен ЭКС с прямыми признаками субэпикардального ИМ острой стадии);

$g_{2,3} = 1$ (в отведении V2 определен ЭКС с прямыми признаками субэпикардального ИМ острой стадии);

$g_{3,4} = 1$ (в отведении V3 определен ЭКС с прямыми признаками субэндокардального ИМ острой стадии);

$g_{4,4} = 1$ (в отведении V4 определен ЭКС с прямыми признаками субэндокардального ИМ острой стадии);

$g_{5,11} = 1$ (в отведении V5 определен ЭКС с прямыми признаками трансмурального ИМ рубцовой стадии);

$g_{6,11} = 1$ (в отведении V6 определен ЭКС с прямыми признаками трансмурального ИМ рубцовой стадии);

$g_{7,11} = 1$ (в отведении I определен ЭКС с прямыми признаками трансмурального ИМ рубцовой стадии);

$g_{11,12} = 1$ (в отведении aVL определен ЭКС с прямыми признаками субэпикардального ИМ рубцовой стадии).

Тогда на основании нейросетевого анализа определяется:

1) боковой инфаркт миокарда (т.к. $SL_4=[000110]$) в рубцовой стадии (т.к. $ST(4,4)=1$, $ST(5,4)=1$) и при этом уточняется вид ИМ по глубине поражения по областям сердца: боковая нижняя область (т.к. $p=4$) – трансмуральный инфаркт миокарда (т.к. $rowWL(5,)=[100]$, $rowWL(6,)=[100]$ и $WF_4=[100]$); боковая верхняя область (т.к. $p=5$) – трансмуральный инфаркт миокарда (т.к. $rowWL(7,)=[100]$, $rowWL(11,)=[010]$ и $WF_5=[110]$);

2) переднеперегородочный инфаркт миокарда с переходом на верхушку (т.к. $SL_1=[101000]$) в острой стадии (т.к. $ST(1,1)=1$, $ST(3,1)=1$) и при этом уточняется вид ИМ по глубине поражения по областям сердца: перегородочная область (т.к. $p=1$) – субэпикардальный инфаркт миокарда (т.к. $rowWL(1,)=[010]$, $rowWL(2,)=[010]$ и $WF_1=$

[010]); передняя область (т.к. $p=3$) – субэндокардиальный инфаркт миокарда (т.к. $rowWL(3,)=[001]$, $rowWL(4,)=[001]$ и $WF_3=[001]$).

Вывод результата. Расширенное диагностическое заключение о состоянии сердца пациента состоит из двух частей:

- вывод заключения об общем состоянии сердца пациента;
- вывод результатов по инфаркту миокарда при наличии его признаков.

Общее заключение о состоянии сердца пациента включает следующие записи: «Состояние в пределах нормы», «Имеются отклонения от нормы» и «Подозрение на инфаркт миокарда».

При подозрении на инфаркт миокарда выводится его наименование, определяемое локализацией для конкретной стадии (переднеперегородочный, передневерхушечный, переднеперегородочный с переходом на верхушку, боковой, переднебоковой, боковой базальный, передний распространенный, заднебазальный, заднедиафрагмальный, заднеперегородочный, задний распространенный, заднебоковой, циркулярный), а также наименование стадии ИМ (острейшая, острая, подострая, рубцовая).

Далее осуществляется перечисление затронутых ИМ областей с указанием соответствующего им вида ИМ. Для вывода результатов определены следующие области ЛЖ: перегородочная (септальная), передняя (апикальная), боковая верхняя (латеральная базальная), боковая нижняя (латеральная нижняя), нижняя (диафрагмальная) и задняя. Для вывода части результата по виду ИМ (глубине поражения) используются записи: трансмуральный ИМ, субэндокардиальный ИМ и субэпикардиальный ИМ.

Примеры диагностического заключения при наличии признаков ИМ в отведениях I, aVL, V1, V2... V6 (в зависимости от разных стадии и видов ИМ по глубине поражения):

Пример 1.

Подозрение на передний распространенный инфаркт миокарда в острой стадии. Затронутые области и глубина поражения ИМ:

- 1) перегородочная область – субэпикардиальный ИМ;
- 2) передняя область – субэпикардиальный ИМ;
- 3) боковая верхняя область – трансмуральный ИМ;
- 4) боковая нижняя область – трансмуральный ИМ.

Пример 2.

Подозрение на боковой инфаркт миокарда в рубцовой стадии. Затронутые области и глубина поражения ИМ:

- 1) боковая верхняя область – субэпикардиальный ИМ;
- 2) боковая нижняя область – трансмуральный ИМ.

Подозрение на переднеперегородочный инфаркт миокарда с переходом на верхушку в острейшей стадии. Затронутые области и глубина поражения ИМ:

- 1) перегородочная область – субэндокардиальный ИМ;
- 2) передняя область – субэндокардиальный ИМ.

В заключение следует отметить, что данное изобретение направлено на автоматизацию электрокардиографической диагностики состояния сердца пациента и в случае подозрений на ИМ поможет врачу более полно и точно оценить состояние сердца пациента, не зависимо от уровня его квалификации и опыта работы.

Источники информации:

1. Патент РФ №2383295. Способ обработки электрокардиосигнала для диагностики инфаркта миокарда /Бодин О.Н., Зайцева О.А., Логинов Д.С., Моисеев А.Е. // Официальный бюллетень «Изобретения. Полезные модели». №7, 2010.

2. Патент РФ №2217045. Способ обработки электрокардиосигнала в динамике для диагностики инфаркта миокарда. / Белоцерковский О.М., Виноградов А.В., Шебеко С.В., Самгин Ю.С., Виноградов Н.А., Гамоля С.В., Конотоп Ю.И. // Официальный бюллетень «Изобретения. Полезные модели». №11, 2003.

3. Патент РФ № 2461877. Способ нейросетевого анализа состояния сердца /Бодин О.Н., Волкова Н.А., Логинов Д.С., Рябчиков Р.В., Фунтиков В.А. //Официальный бюллетень «Изобретения. Полезные модели». №26, 2012.

4. Kohonen, S., Self-Organizing Maps, Second Edision, Berlin: Springer-Verlag, 1997.

5. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / Пер. с польского И.Д. Рудинского. – М.: Финансы и статистика, 2002.

6. Багат А.В., Конкина М.М., Симчера В.М. Статистика. – М.: Финансы и статистика, 2005. – 368 с.

7. Бодин О.Н., Логинов Д.С. Адаптация структуры нейронной сети LVQ для анализа электрокардиосигнала // Нейрокомпьютеры: разработка, применение, 2008, №5-6, С.88-92.

8. Плотников А.В., Прилуцкий Д.А., Селищев С.В. Стандарт SCP-ECG для обмена цифровыми ЭКС // Тезисы докладов Международной конференции по биомедицинскому приборостроению «Биомедприбор-98» – Москва, ВНИИМП РАМН. 1998, С. 213-215.

9. Патент РФ №2294139. Способ выделения начала кардиоцикла и устройство для его осуществления / Бодин О.Н., Жулев И.О., Логинов Д.С., Митрошин А.Н., Прошкин В.В. //Официальный бюллетень «Изобретения. Полезные модели». №6, 2007.

10. Зудбинов Ю.И. Азбука ЭКС. Изд. 4-е, исп. и доп. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2003, – 240 с.

11. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика. – М.: Мир, 1992. – 240 с.

12. Ройтберг Г.Е., Струтынский А.В. Внутренние болезни. Сердечно-сосудистая система. – М.: Бином-пресс, 2007. – 856 с.

13. Брискин В.Р. Электрокардиограмма инфаркта миокарда. – Винница: ПП «Видавництво «Теза», 2006. – 144 с.

14. Голдбергер А.Л. Клиническая электрокардиография. Наглядный подход. /А.Л. Голдбергер; пер. с англ. Ю.В. Фурменковой; под ред. А.В. Струтынского. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009. – 328 с.

15. Мешков А.П. Азбука клинической электрокардиографии. – Н. Новгород: Издательство: НГМА, 1998, – 149 с.

16. Мурашко В.В., Струтынский А.В. Электрокардиография: Учебное пособие. – М.: МЕДпресс-информ, 2008. – 320 с.

17. Орлов В.Н. Руководство по электрокардиографии / В.Н. Орлов. 9-е изд., испр. – М.: ООО «Медицинское информационное агентство», 2017. – 560 с.

18. Сыволап В.Д. Клиническая электрокардиография. – Запорожье: ИПО «Запоріжжя», 2008. – 264 с.

19. Ярцев С.С. Электрокардиография: практическое руководство-справочник для врачей. – М.:РУДН, 2014. – 227 с.

20. Wagner Galen S., Ssrauss David G. Marrioss's pracsical elecsrocardiography. 12sh Revised edision. Lippincoss Williams and Wilkins, 2013. – 552 pages.

(57) Формула изобретения

Способ нейросетевого анализа состояния сердца, заключающийся в том, что непрерывный электрокардиосигнал (ЭКС) регистрируют в L отведениях, предварительно

обрабатывают и представляют его в виде n -размерного вектора для каждого из L отведений, создают образцовые n -размерные векторы $E_{эт}$ различных ЭКС для каждого из L отведений, обучают нейронные сети, осуществляют нейросетевой анализ n -размерных векторов зарегистрированных ЭКС $E_{рег}$, выполняют анализ выходов нейронных сетей на основе построения решающих правил и выводят результат о состоянии сердца пациента, отличающийся тем, что, во-первых, построение решающих правил осуществляют следующим образом:

- осуществляют разделение поверхности левого желудочка сердца на области, для которых выявленные прямые и реципрокные признаки инфаркта миокарда (ИМ) соответствуют конкретной стадии и конкретному виду ИМ по глубине поражения, для этого:

- определяют $p=\{1,2,..6\}$ области левого желудочка сердца и задают соответствующие им группы отведений: для перегородочной области ($p=1$) – отведения V1 и V2, для задней области ($p=2$) – отведения V1 и V2 при реципрокных признаках ИМ, для передней области ($p=3$) – отведения V3 и V4, для боковой нижней области ($p=4$) – отведения V5 и V6, для боковой верхней области ($p=5$) – отведения I и aVL, для нижней области ($p=5$) – отведения II, III и aVF;

- учитывают, что стадия ИМ в пределах каждой $p=\{1,2,..6\}$ области левого желудочка сердца не изменяется;

- осуществляют определение $s=\{1,2,..4\}$ стадии ИМ по $p=\{1,2,..6\}$ областям сердца, для этого:

- выбирают выходы нейронных сетей, обученных на выявление в ЭКС прямых и реципрокных признаков ИМ острейшей ($s=1$), острой ($s=2$), подострой ($s=3$) и рубцовой стадии ($s=4$);

- формируют матрицу ST стадий ИМ по областям сердца, путём логического преобразования сигналов выбранных выходов нейронных сетей для $s=\{1,2,..4\}$ стадии ИМ в пределах группы отведений, соответствующих одной из $p=\{1,2,..6\}$ областей сердца, при этом значения элементов матрицы $ST(p,s)$ находят следующим образом:

1) для перегородочной области ($p=1$)

$$ST(1,s) = \left(\bigvee_{\substack{i \triangleq \text{отв. V1} \\ j \triangleq \text{ЭКС с прямыми} \\ \text{признаками ИМ стадии } s}} g_{ij} \right) \wedge \left(\bigvee_{\substack{i \triangleq \text{отв. V2} \\ j \triangleq \text{ЭКС с прямыми} \\ \text{признаками ИМ стадии } s}} g_{ij} \right),$$

2) для задней области ($p=2$)

$$ST(2,s) = \left(\bigvee_{\substack{i \triangleq \text{отв. V1} \\ j \triangleq \text{ЭКС с реципрокными} \\ \text{признаками ИМ стадии } s}} g_{ij} \right) \wedge \left(\bigvee_{\substack{i \triangleq \text{отв. V2} \\ j \triangleq \text{ЭКС с реципрокными} \\ \text{признаками ИМ стадии } s}} g_{ij} \right),$$

3) для передней области ($p=3$)

$$ST(3,s) = \left(\bigvee_{\substack{i \triangleq \text{отв. V3} \\ j \triangleq \text{ЭКС с прямыми} \\ \text{признаками ИМ стадии } s}} g_{ij} \right) \wedge \left(\bigvee_{\substack{i \triangleq \text{отв. V4} \\ j \triangleq \text{ЭКС с прямыми} \\ \text{признаками ИМ стадии } s}} g_{ij} \right),$$

4) для боковой нижней области ($p=4$)

$$ST(4,s) = \left(\bigvee_{\substack{i \in \text{отв. V5} \\ j \in \text{ЭКС с прямыми} \\ \text{признаками ИМ стадии } s}} g_{ij} \right) \wedge \left(\bigvee_{\substack{i \in \text{отв. V6} \\ j \in \text{ЭКС с прямыми} \\ \text{признаками ИМ стадии } s}} g_{ij} \right),$$

5) для боковой верхней области ($p=5$)

$$ST(5,s) = \left(\bigvee_{\substack{i \in \text{отв. I} \\ j \in \text{ЭКС с прямыми} \\ \text{признаками ИМ стадии } s}} g_{ij} \right) \wedge \left(\bigvee_{\substack{i \in \text{отв. aVL} \\ j \in \text{ЭКС с прямыми} \\ \text{признаками ИМ стадии } s}} g_{ij} \right),$$

6) для нижней области ($p=6$)

$$ST(6,s) = \left(\bigvee_{\substack{i \in \text{отв. II} \\ j \in \text{ЭКС с прямыми} \\ \text{признаками ИМ стадии } s}} g_{ij} \right) \wedge \left(\bigvee_{\substack{i \in \text{отв. III} \\ j \in \text{ЭКС с прямыми} \\ \text{признаками ИМ стадии } s}} g_{ij} \right) \wedge \left(\bigvee_{\substack{i \in \text{отв. aVF} \\ j \in \text{ЭКС с прямыми} \\ \text{признаками ИМ стадии } s}} g_{ij} \right),$$

где $s=1$ – для острой стадии ИМ, $s=2$ – для острой стадии ИМ, $s=3$ – для подострой стадии ИМ, $s=4$ – для рубцовой стадии ИМ;

g_{ij} – выходной сигнал j -й нейронной сети i -го отведения, при этом $i \in L$ и для общепринятых отведений $i \in \{V1, V2, V3, V4, V5, V6, I, II, III, aVL, aVF\}$, $j \in \{2, 3, \dots, 18\}$ соответствует ЭКС различных стадий ИМ, различных видов ИМ по глубине поражения, прямых и реципрокных признаков ИМ;

$$g_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{при } E_{\text{рег}} = E_{\text{эт}} \\ 0 & \text{при } E_{\text{рег}} \neq E_{\text{эт}} \end{cases};$$

- выполняют анализ значений элементов матрицы стадии ИМ по областям сердца $ST(p,s)$ на основе решающего правила: если элемент матрицы $ST(p,s)=1$, то определяется инфаркт миокарда s -й стадии в p -й области сердца;

- осуществляют определение $v=\{1,2,3\}$ вида ИМ по глубине поражения по $p=\{1,2,\dots,6\}$ областям сердца, для этого:

- разделяют выходы нейронных сетей, обученных на выявление в ЭКС прямых и реципрокных признаков ИМ;

- выбирают выходы нейронных сетей, обученных на выявление в ЭКС прямых признаков ИМ трансмурального ($v=1$), субэпикардального ($v=2$) и субэндокардального ($v=3$) вида ИМ по глубине поражения в $i \in \{V1, V2, V3, V4, V5, V6, I, II, III, aVL, aVF\}$ отведениях;

- формируют матрицу WP видов ИМ по глубине поражения при прямых признаках путём логического преобразования сигналов выбранных выходов нейронных сетей, при этом значения элементов матрицы $WP(i,v)$ находят следующим образом:

1) для трансмурального вида ИМ по глубине поражения ($v=1$):

$$WP(i,1) = \left(\bigvee_{\substack{j \in \text{ЭКС с прямыми} \\ \text{признаками трансмурального ИМ}}} g_{ij} \right),$$

2) для субэпикардального ИМ по глубине поражения ($v=2$):

$$WP(i,2) = \left(\bigvee_{\substack{j \in \text{ЭКС с прямыми} \\ \text{признаками субэпикардального ИМ}}} g_{ij} \right),$$

3) для субэндокардиального ИМ по глубине поражения ($v=3$):

$$WP(i,3) = \left(\bigvee_{\substack{j \in \text{ЭКС с прямыми} \\ \text{признаками субэндокардиального ИМ}}} g_{ij} \right),$$

где $v=1$ – для трансмурального ИМ, $v=2$ – для субэпикардиального ИМ, $v=3$ – для субэндокардиального ИМ;

- выбирают выходы нейронных сетей, обученных на выявление в ЭКС реципрокных признаков ИМ трансмурального ($v=1$), субэпикардиального ($v=2$) и субэндокардиального ($v=3$) вида ИМ по глубине поражения в $1 \in \{V1, V2\}$ отведениях;

- формируют матрицу WR видов ИМ по глубине поражения при реципрокных признаках путём логического преобразования сигналов выбранных выходов нейронных сетей, при этом значения элементов матрицы $WR(i, v)$ находят следующим образом:

1) для трансмурального или субэпикардиального вида ИМ по глубине поражения ($v=1, v=2$):

$$WR(i,1) = WR(i,2) = \left(\bigvee_{\substack{j \in \text{ЭКС с реципрокными} \\ \text{признаками трансмурального} \\ \text{(субэпикардиального) ИМ}}} g_{ij} \right),$$

2) для субэндокардиального ИМ по глубине поражения ($v=3$):

$$WR(i,3) = \left(\bigvee_{\substack{j \in \text{ЭКС с реципрокными} \\ \text{признаками субэндокардиального ИМ}}} g_{ij} \right);$$

- формируют вектор-строки WF_p вида ИМ по глубине поражения для $p \in \{1, 2, \dots, 6\}$ областей сердца:

- для перегородочной области ($p=1$)

$$WF_1 = \text{row} WP(i \in \text{оме.V1, }) + \text{row} WP(i \in \text{оме.V2, }),$$

- для задней области ($p=2$)

$$WF_2 = \text{row} WR(i \in \text{оме.V1, }) + \text{row} WR(i \in \text{оме.V2, }),$$

- для передней области ($p=3$)

$$WF_3 = \text{row} WP(i \in \text{оме.V3, }) + \text{row} WP(i \in \text{оме.V4, }),$$

- для боковой нижней области ($p=4$)

$$WF_4 = \text{row} WP(i \in \text{оме.V5, }) + \text{row} WP(i \in \text{оме.V6, }),$$

- для боковой верхней области ($p=5$)

$$WF_5 = \text{row} WP(i \in \text{оме.I, }) + \text{row} WP(i \in \text{оме.aVL, }),$$

- для нижней области ($p=6$)

$$WF_6 = \text{row} WP(i \in \text{оме.II, }) + \text{row} WP(i \in \text{оме.III, }) + \text{row} WP(i \in \text{оме.aVF, }),$$

- выполняют анализ значений вектор-строк вида ИМ по глубине поражения WF_p для $p \in \{1, 2, \dots, 6\}$ областей сердца на основе решающих правил:

если $WF_p = [1 \ X \ X]$, то определяется трансмуральный ИМ,

если $WF_p = [0 \ 1 \ X]$, то определяется субэпикардиальный ИМ,

если $WF_p = [0 \ 0 \ 1]$, то определяется субэндокардиальный ИМ,

при этом значение X равно 0 или 1;

- осуществляют определение локализаций ИМ установленных стадий, для этого:

- формируют вектор-строки SL_s локализаций ИМ путем транспонирования вектор-столбцов матрицы ST для $s=\{1,2,..4\}$ стадий:

$$SL_s = \text{colon}ST(,s)^T;$$

- 5 - выполняют анализ значений вектор-строк SL_s локализаций ИМ для $s=\{1,2,..4\}$ стадий на основе решающих правил:
- если $SL_s = [1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0]$, то определяется переднеперегородочный инфаркт миокарда s -й стадии,
 - 10 - если $SL_s = [0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0]$, то определяется передневерхушечный инфаркт миокарда s -й стадии,
 - если $SL_s = [1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0]$, то определяется переднеперегородочный инфаркт миокарда с переходом на верхушку s -й стадии,
 - если $SL_s = [1\ 0\ 1\ 1\ 1\ 0]$, то определяется передний распространенный инфаркт
 - 15 миокарда s -й стадии,
 - если $SL_s = [0\ 1\ 0\ 1\ 1\ 0]$ или $SL_s = [0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0]$, то определяется боковой инфаркт миокарда s -й стадии,
 - если $SL_s = [0\ 1\ 1\ 1\ 1\ 0]$ или $SL_s = [0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 0]$, то определяется переднебоковой
 - инфаркт инфаркт миокарда s -й стадии,
 - 20 - если $SL_s = [0\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0]$ или $SL_s = [0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0]$, то определяется боковой базальный инфаркт миокарда s -й стадии,
 - если $SL_s = [0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0]$, то определяется заднебазальный инфаркт миокарда s -й
 - стадии,
 - 25 - если $SL_s = [0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1]$ или $SL_s = [0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1]$, то определяется заднедиафрагмальный инфаркт миокарда s -й стадии,
 - если $SL_s = [1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1]$, то определяется заднеперегородочный инфаркт миокарда s -й стадии,
 - если $SL_s = [0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1]$, то определяется задний распространенный инфаркт миокарда
 - 30 s -й стадии,
 - если $SL_s = [0\ 1\ 0\ 1\ 1\ 1]$ или $SL_s = [0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1]$, то определяется заднебоковой инфаркт миокарда s -й стадии,
 - если $SL_s = [0\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1]$ или $SL_s = [0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1]$ или $SL_s = [0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 1]$ или $SL_s = [0\ 0\ 1\ 0$
 - 35 $0\ 1]$, то определяется циркулярный инфаркт миокарда s -й стадии;
- во-вторых, вывод результата нейросетевого анализа состояния сердца осуществляют следующим образом:
- определяют параметры состояния сердца $D1-D3$:
- $$D_1 = g_{1,1} \wedge g_{2,1} \dots \wedge g_{12,1},$$
- $$D_2 = ST(1,1) \vee ST(2,1) \dots \vee ST(6,1) \vee ST(1,2) \dots \vee ST(6,4),$$
- $$D_3 = \overline{D_1} \wedge \overline{D_2},$$
- где $g_{i,1}$ – выходной сигнал $j=1$ нейронной сети i -го отведения, обученной для анализа
- 45 ЭКС на соответствие здоровому состоянию сердца;
- $i \in \{V1, V2, V3, V4, V5, V6, I, II, III, aVL, aVF, aVR\}$;
- $ST(p,s)$ – элементы матрицы стадий ИМ по областям сердца, $p=\{1,2,..6\}$, $s=\{1,2,..4\}$;
- формируют вывод результата об общем состоянии сердца пациента, при этом:

- если $D_1=1$, то выводят результат «В пределах нормы»,
- если $D_2=1$, то выводят результат «Подозрение на инфаркт миокарда»,
- если $D_3=1$, то выводят результат «Отклонение от нормы»;
- 5 – формируют вывод результатов о состоянии сердца пациента при наличии признаков ИМ ($D_2=1$), полученных с помощью решающих правил, при этом:
 - указывают наименование ИМ, определяемое локализацией для конкретной стадии;
 - перечисляют затронутые ИМ области сердца и соответствующие им виды ИМ по глубине поражения.

10

15

20

25

30

35

40

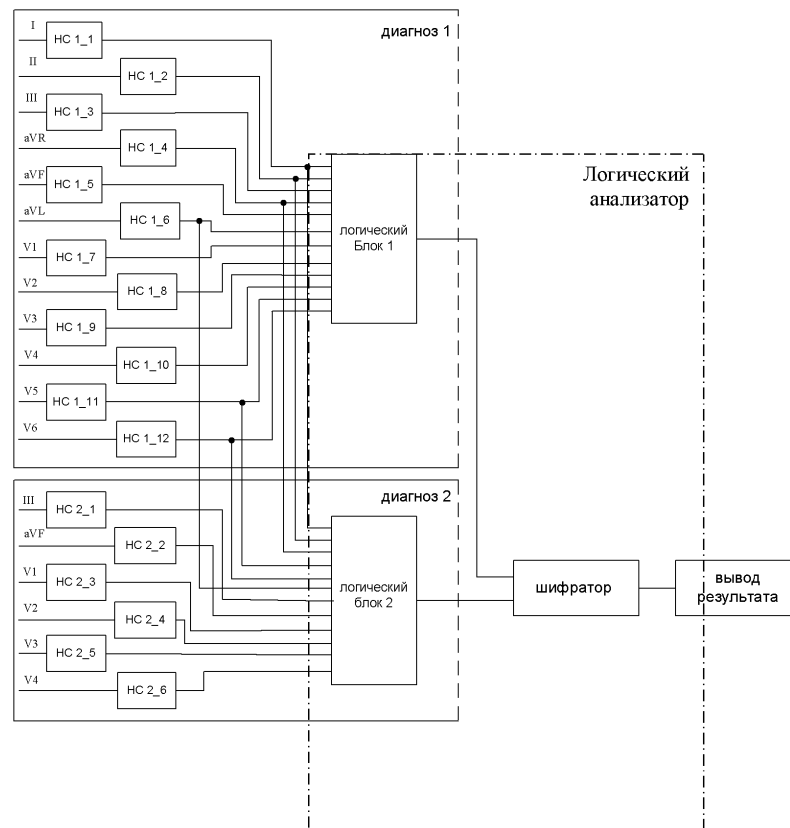
45

1



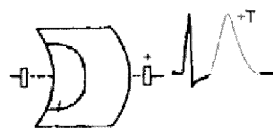
Фиг. 1

2

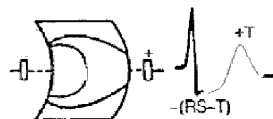


Фиг. 2

1) ишемия миокарда



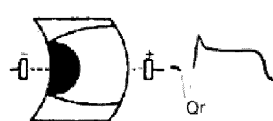
2) ишемия и повреждение миокарда



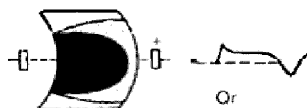
3) трансмуральное повреждение миокарда



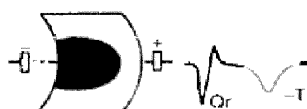
4) повреждение и начало некроза миокарда



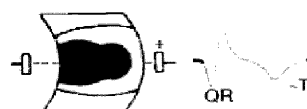
5) некроз миокарда



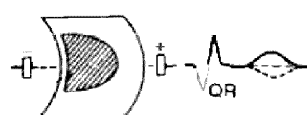
6) некроз миокарда и уменьшение области повреждения



7) уменьшение некроза, восстановление миокарда (ишемия)



8) рубец миокарда



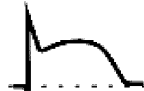
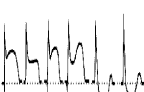
Фиг. 3

№ п/п	Электро- кардосигнал (ЭКС)	Признаки инфаркта миокарда (ИМ)	Вид ИМ по глубине поражения	Стадия ИМ
1.		Признаки ИМ отсутствуют (нормальный ЭКС)	–	–
2.		<u>Прямые признаки:</u> Зубец Q – отсутствует Зубец R – уменьшен Интервал ST – элевация Зубец T – отсутствует	трансмуральный	острейшая
3.		<u>Прямые признаки:</u> Зубец Q – отсутствует Зубец R – уменьшен Интервал ST – элевация (меньше, чем при трансмуральном повреждении) Зубец T – отсутствует	субэпикардиальный	острейшая
4.		<u>Прямые признаки:</u> Зубец Q – отсутствует Зубец R – нормальный или незначительно уменьшен Интервал ST – депрессия Зубец T – не имеет диагностического значения	субэндокардиальный	острейшая
5.		<u>Прямые признаки:</u> Зубец Q – увеличенный, расширенный Зубец R – отсутствует Интервал ST – элевация Зубец T – постепенно формируется отрицательным	трансмуральный	острая
6.		<u>Прямые признаки:</u> Зубец Q – увеличенный, расширенный Зубец R – уменьшен Интервал ST – элевация Зубец T – постепенно формируется отрицательным	субэпикардиальный	острая

Фиг. 4

№ п/п	Электро- кардиосигнал (ЭКС)	Признаки инфаркта миокарда (ИМ)	Вид ИМ по глубине поражения	Стадия ИМ
7.		<u>Прямые признаки:</u> Зубец Q – отсутствует Зубец R – нормальный или незначительно уменьшен Интервал ST – депрессия (<i>меньше, чем при острой стадии; форма плоская</i>) Зубец T – не имеет диагностического значения	субэндокардиальный	острая
8.		<u>Прямые признаки:</u> Зубец Q – увеличенный, расширенный Зубец R – отсутствует Интервал ST – нормальный Зубец T – значительный, отрицательный	трансмуральный	подострая
9.		<u>Прямые признаки:</u> Зубец Q – увеличенный, расширенный Зубец R – уменьшен Интервал ST – нормальный Зубец T – отрицательный	субэпикардиальный	подострая
10.		<u>Прямые признаки:</u> Зубец Q – отсутствует Зубец R – нормальный Интервал ST – нормальный Зубец T – значительный, отрицательный (коронарный)	субэндокардиальный	подострая
11.		<u>Прямые признаки:</u> Зубец Q – увеличенный, расширенный Зубец R – отсутствует Интервал ST – нормальный Зубец T – постепенно из отрицательного становится положительным	трансмуральный	рубцовая
12.		<u>Прямые признаки:</u> Зубец Q – увеличенный, расширенный Зубец R – уменьшен Интервал ST – нормальный Зубец T – постепенно из отрицательного становится положительным	субэпикардиальный	рубцовая

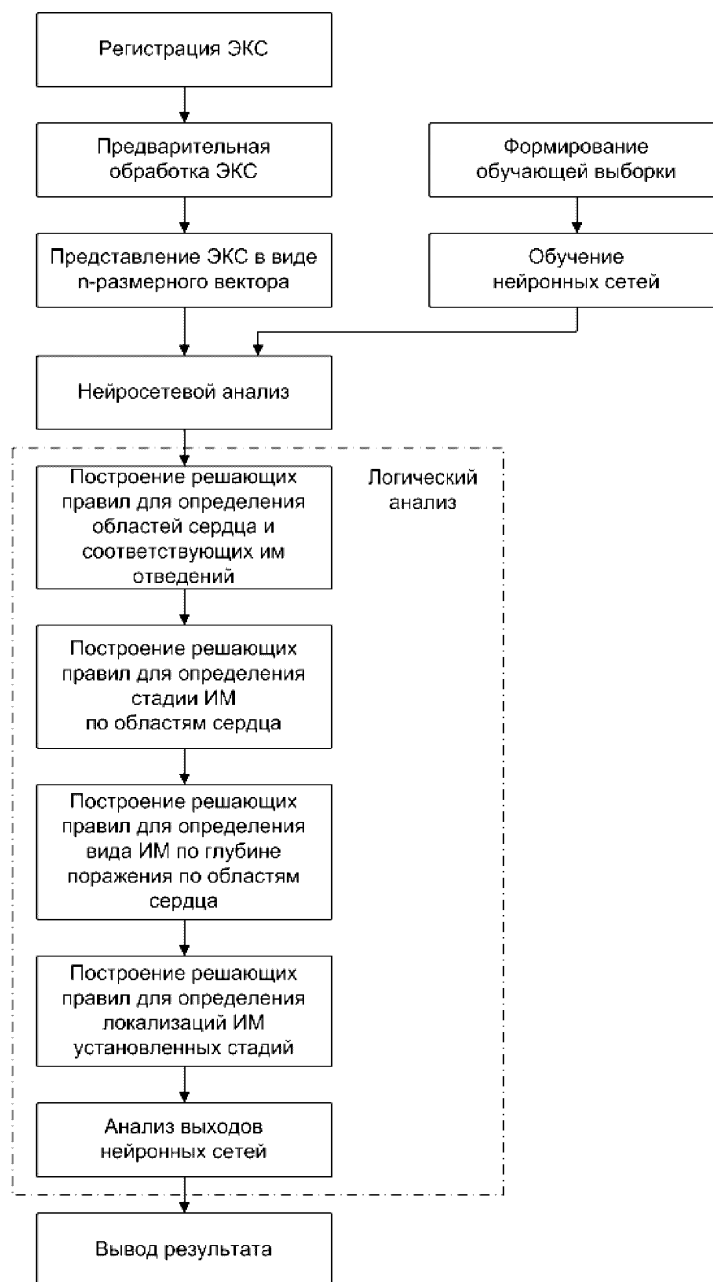
Фиг.4 (продолжение)

№ п/п	Электро- кардосигнал (ЭКС)	Признаки инфаркта миокарда (ИМ)	Вид ИМ по глубине поражения	Стадия ИМ
13.		<u>Реципрокные признаки:</u> Зубец Q – отсутствует Зубец R – отсутствует Интервал ST – депрессия Зубец T – отсутствует	трансмуральный <i>или</i> <i>субэпикардальный</i>	острейшая
14.		<u>Реципрокные признаки:</u> Зубец Q – отсутствует Зубец R – нормальный или незначительно уменьшен Интервал ST – элевация Зубец T – не имеет диагностического значения	субэндокардиальный	острейшая
15.		<u>Реципрокные признаки:</u> Зубец Q – отсутствует Зубец R – увеличенный Интервал ST – депрессия Зубец T – не имеет диагностического значения	трансмуральный <i>или</i> <i>субэпикардальный</i>	острая
16.		<u>Реципрокные признаки:</u> Зубец Q – отсутствует Зубец R – нормальный или незначительно уменьшен Интервал ST – элевация (меньше, чем при острейшей стадии; форма плоская) Зубец T – не имеет диагностического значения	субэндокардиальный	острая
17.		<u>Реципрокные признаки:</u> Зубец Q – отсутствует Зубец R – увеличенный Интервал ST – нормальный Зубец T – значительный, положительный	трансмуральный <i>или</i> <i>субэпикардальный</i>	подострая
18.		<u>Реципрокные признаки:</u> Зубец Q – отсутствует Зубец R – нормальный Интервал ST – нормальный Зубец T – положительный (меньше, чем при трансмуральном ИМ)	субэндокардиальный	подострая

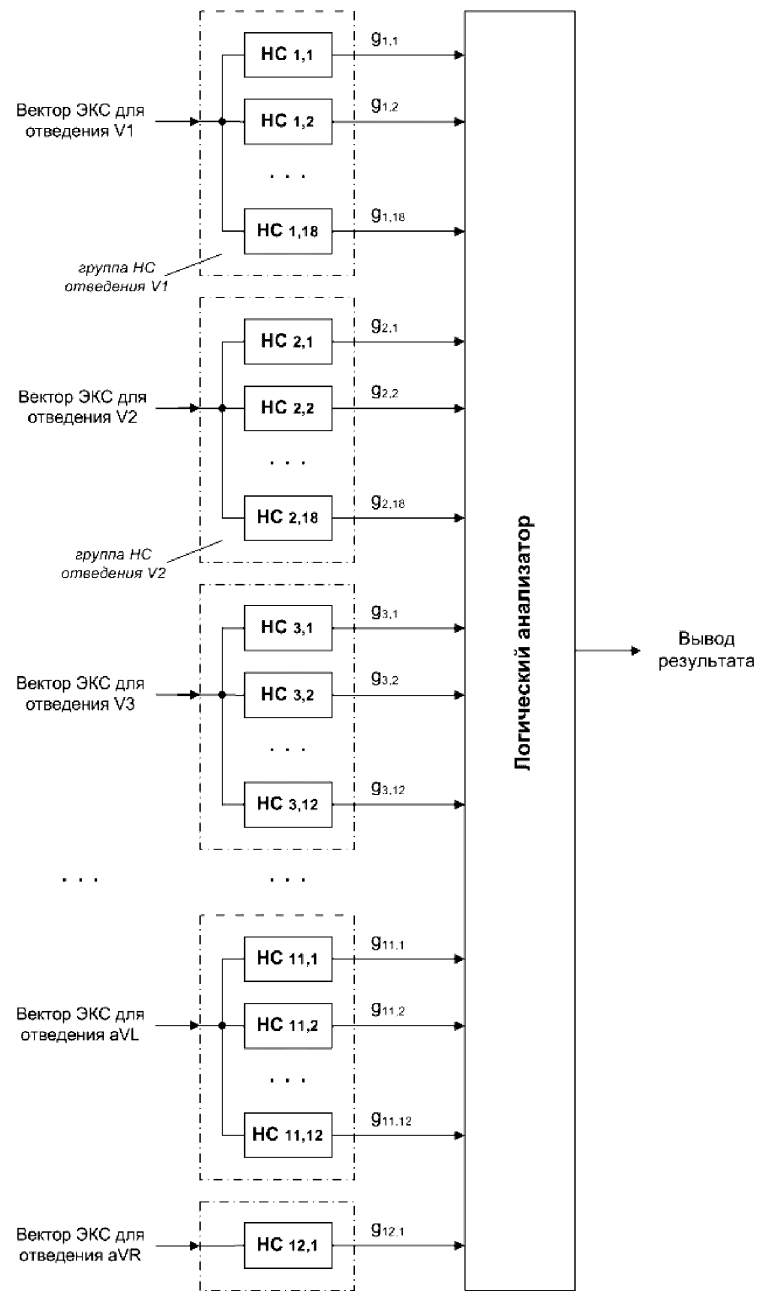
Фиг.4 (продолжение)

Наименование ИМ ЛЖ по его локализации	отклонения в отведениях (без aVR)										
	I	II	III	aVF	aVL	V1	V2	V3	V4	V5	V6
Переднеперегородочный						П	П	П-			
Передневерхушечный			Р-	Р-				П	П		
Переднеперегородочный с переходом на верхушку			Р-	Р-		П	П	П	П		
Боковой	П				П	Р	Р			П	П
Переднебоковой	П		Р-	Р-	П	Р	Р	П	П	П	П
Боковой базальный	П				П	Р	Р				
Передний распространенный	П		Р-	Р-	П	П	П	П	П	П	П
Заднебазальный						Р	Р	Р-			
Заднедиафрагмальный		П	П	П		Р	Р	Р-			
Заднеперегородочный		П	П	П		П	П				
Задний распространенный		П	П	П		Р	Р	Р-		П	П
Заднебоковой	П	П	П	П	П	Р	Р	Р-		П	П
Циркулярный 1	П	П	П	П	П	Р	Р	П	П	П	П
Циркулярный 2		П	П	П		Р	Р	П	П		

Фиг. 5



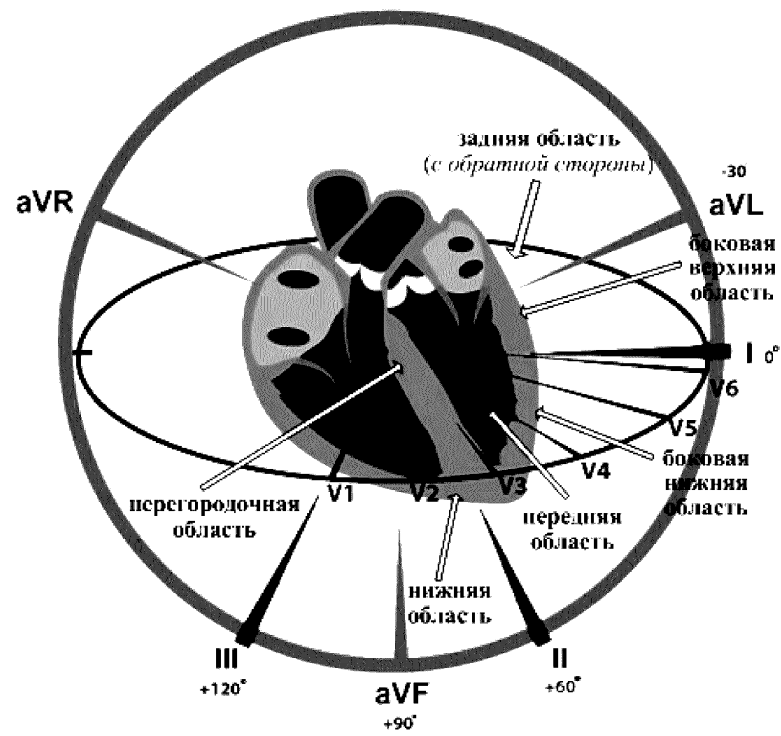
Фиг. 6



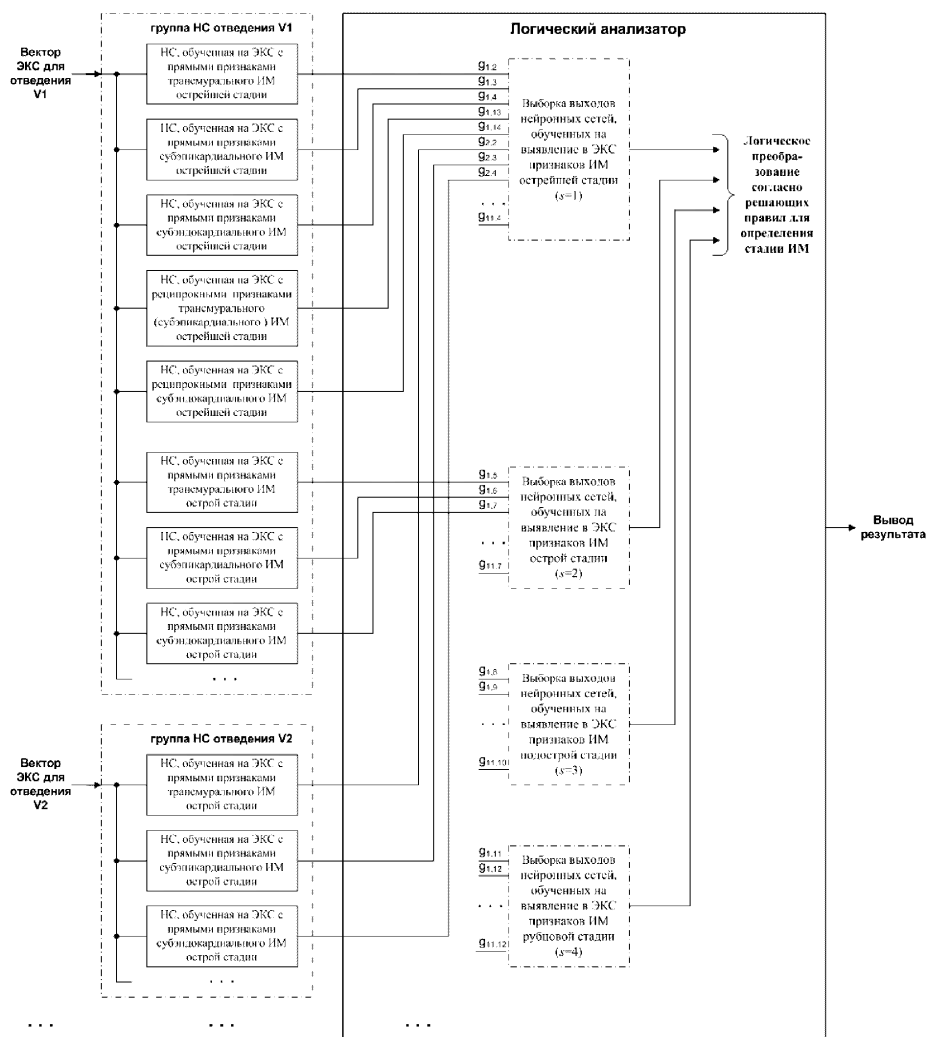
Фиг. 7

Номер нейронной сети i -го отведения	Номера отведений	Характеристики ЭКС, на которые обучена НС				
		признак ИМ	Вид ИМ	Номер вида ИМ	Стадия ИМ	Номер стадии ИМ
НС _{$i,2$}	$i=1, 2 \dots 11$	П	трансмуральный	$v=1$	острейшая	$s=1$
НС _{$i,3$}	$i=1, 2 \dots 11$	П	субэпикардальный	$v=2$	острейшая	$s=1$
НС _{$i,4$}	$i=1, 2 \dots 11$	П	субэндокардальный	$v=3$	острейшая	$s=1$
НС _{$i,5$}	$i=1, 2 \dots 11$	П	трансмуральный	$v=1$	острая	$s=2$
НС _{$i,6$}	$i=1, 2 \dots 11$	П	субэпикардальный	$v=2$	острая	$s=2$
НС _{$i,7$}	$i=1, 2 \dots 11$	П	субэндокардальный	$v=3$	острая	$s=2$
НС _{$i,8$}	$i=1, 2 \dots 11$	П	трансмуральный	$v=1$	подострая	$s=3$
НС _{$i,9$}	$i=1, 2 \dots 11$	П	субэпикардальный	$v=2$	подострая	$s=3$
НС _{$i,10$}	$i=1, 2 \dots 11$	П	субэндокардальный	$v=3$	подострая	$s=3$
НС _{$i,11$}	$i=1, 2 \dots 11$	П	трансмуральный	$v=1$	рубцовая	$s=4$
НС _{$i,12$}	$i=1, 2 \dots 11$	П	субэпикардальный	$v=2$	рубцовая	$s=4$
НС _{$i,13$}	$i=1, 2$	Р	трансмуральный или субэпикардальный	$v=1^*$	острейшая	$s=1$
НС _{$i,14$}	$i=1, 2$	Р	субэндокардальный	$v=3$	острейшая	$s=1$
НС _{$i,15$}	$i=1, 2$	Р	трансмуральный или субэпикардальный	$v=1^*$	острая	$s=2$
НС _{$i,16$}	$i=1, 2$	Р	субэндокардальный	$v=3$	острая	$s=2$
НС _{$i,17$}	$i=1, 2$	Р	трансмуральный или субэпикардальный	$v=1^*$	подострая	$s=3$
НС _{$i,18$}	$i=1, 2$	Р	субэндокардальный	$v=3$	подострая	$s=3$

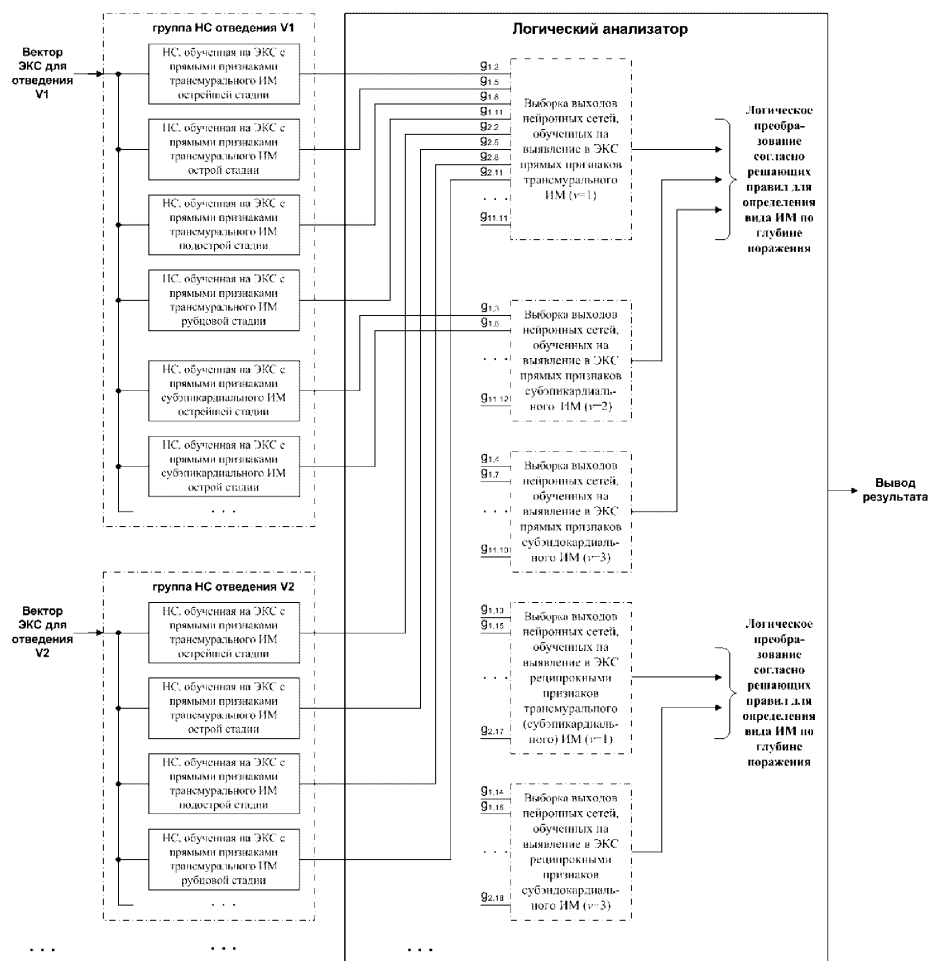
Фиг. 8



Фиг. 9



Фиг. 10



Фиг. 11

		Возможность диагностирования инфаркта миокарда при прямых признаках и непрямоугольных (нерасположенных) сопутствующих реципрокных признаков	Определение локализации инфаркта миокарда для конкретной стадии	Определение стадий инфаркта миокарда по областям сердца	Определение вида инфаркта миокарда по глубине поражения по областям сердца	Определение локализаций инфаркта миокарда для нескольких установленных стадий	Вывод комплексных сведений об инфаркте миокарда, включающих информацию о его локализации, стадии и глубине поражения стенок областей сердца
Прототип	—	+	—	—	—	—	—
Предлагаемое изобретение	+	+	+	+	+	+	+

Фиг. 12