**Моторина Светлана Валерьевна Разработка и исследование методов автоматической диагностики фибрилляции предсердий для систем мониторинга сердечного ритма**

**ОГЛАВЛЕНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**кандидат наук Моторина Светлана Валерьевна**

**Введение**

**ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ В ОБЛАСТИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ФИБРИЛЛЯЦИИ ПРЕДСЕРДИЙ**

**1.1 Фибрилляция предсердий, методы диагностики фибрилляции предсердий**

**1.1.1 Фибрилляция предсердий**

**1.1.2 Методы диагностики фибрилляции предсердий, основанные на оценке нерегулярности RR-интервалов**

**1.1.3 Методы диагностики фибрилляции предсердий, основанные на оценке предсердной активности**

**1.1.4 Комбинированные методы диагностики фибрилляции предсердий**

**1.2 Современные проблемы в области автоматической диагностики фибрилляции предсердий**

**1.2.1 Выбор оптимальной длительности фрагмента ЭКГ для анализа**

**1.2.2 Снижение вычислительной сложности разрабатываемых методов**

**1.2.3 Повышение специфичности алгоритмов распознавания фибрилляции предсердий**

**1.3 Выводы**

**ГЛАВА 2 ВЫБОР И ФОРМИРОВАНИЕ НАБОРОВ ДАННЫХ**

**2.1 Обучающая выборка**

**2.2 Контрольные выборки**

**2.2.1 MIT-BIH Atrial Fibrillation Database**

**2.2.2 MIT-BIH Arrhythmia Database**

**2.3 Выводы**

**ГЛАВА 3 ФОРМАЛИЗАЦИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ФИБРИЛЛЯЦИИ ПРЕДСЕРДИЙ**

**3.1 Признаки фибрилляции предсердий на ЭКГ**

**3.2 Оценка регулярности сердечного ритма**

**3.2.1 Векторное представление последовательности кардиоинтервалов**

**3.2.2 Устранение дублирования информации при векторном представлении последовательности кардиоинтервалов**

**3.2.3 Определение пороговых величин для разработки признаков, характеризующих нерегулярность сердечного ритма**

**3.2.4 Признаки, характеризующие нерегулярность сердечного ритма**

**3.3 Оценка наличия Р-зубца**

**3.3.1 Определение границ Р-зубца на усредненном кардиокомплексе**

**3.3.2 Признаки, характеризующие процесс деполяризации предсердий**

**3.4 Оценка предсердной активности**

**3.4.1 Вейвлет-разложение сигнала ЭКГ**

**3.4.2 Признаки, характеризующие предсердную активность**

**3.5 Выбор оптимальной длительности анализируемого фрагмента**

**3.6 Выбор решающего правила для алгоритма распознавания фибрилляции предсердий**

**3.7 Выводы**

**ГЛАВА 4 НЕРОСЕТЕВОЙ АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ ФИБРИЛЛЯЦИИ ПРЕДСЕРДИЙ**

**4.1 Предварительная подготовка данных**

**4.2 Разработка модели нейронной сети**

**4.2.1 Выбор функции активации**

**4.2.2 Выбор функции потерь**

**4.2.3 Выбор алгоритма обучения**

**4.2.3 Выбор шага обучения**

**4.3 Настройка модели нейронной сети**

**4.3.1 Выбор гиперпараметров нейронной сети**

**4.3.2 Выбор количества эпох обучения**

**4.4 Оценка информативности признаков**

**4.5 Структура нейросетевого алгоритма**

**4.6 Оценка эффективности нейросетевого алгоритма**

**4.6 Оценка чувствительности нейросетевого алгоритма к помехам**

**4.7 Оценка производительности нейросетевого алгоритма**

**4.8 Выводы**

**Заключение**

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

**Введение**

Заключение

В настоящем исследовании рассмотрены основные принципы и подходы к решению задачи автоматического распознавания фибрилляции предсердий, наиболее продуктивным из которых является комбинирование методов оценки нерегулярности в последовательности RR-интервалов и предсердной активности.

Анализ существующих на сегодняшний день проблем в области автоматического распознавания фибрилляции предсердий показал, что при разработке алгоритмов диагностики этого нарушения необходимо стремиться к:

* выбору такой длительности анализируемого фрагмента, которая исключит влияние шума на результат анализа данных, но при этом позволит оценить динамику в последовательности кардиоинтервалов;
* снижению вычислительных и временных затрат на анализ данных;
* повышению специфичности алгоритма при сохранении высокого уровня чувствительности.

Таким образом при разработке алгоритма автоматического распознавания фибрилляции предсердий необходимо выбрать оптимальную комбинацию информативных признаков, отражающих как характер распределения RR- интервалов, так и предсердную активность. При этом признаки должны вычисляться по небольшим фрагментам ЭКГ в одном отведении с использованием простых математических методов. При выборе и оптимизации решающего правила в пространстве разработанных признаков необходимо опираться на принцип максимального исключения ложно положительных результатов.

Для проведения исследования сформирована база данных, состоящая из ста десяти фрагментов холтеровских записей ЭКГ длительностью пять минут. В базе представлены все виды клинически значимых аритмий, в том числе она содержит большое количество фрагментов с фибрилляцией предсердий. Для тестирования разработанного алгоритма использовалась база данных MIT-BIH Atrial Fibrillation Database, которая содержит записи с фибрилляцией предсердий и широко применяется для оценки эффективности алгоритмов распознавания этого нарушения. Для более полной оценки специфичности и других показателей качества разработанного алгоритма использовалась база данных MIT-BIH Arrhythmia Database, состоящая из различных типов аритмий.

Для разработки алгоритма автоматического распознавания фибрилляции предсердий предложено три группы признаков.

1. Признаки, характеризующие нерегулярность сердечного ритма

(первая группа):

* признак сходства с синусовым ритмом N0;
* признак регулярности ритма R.

1. Признаки, характеризующие процесс деполяризации предсердий

(вторая группа):

* признак наличия P-зубца S;
* признак отсутствия P-зубца L.

1. Признаки, характеризующие предсердную активность (третья группа):

* оценка мощности f-волны P;
* оценка периодичности f-волны C.

В результате проведенного исследования определено, что оптимальными для распознавания фибрилляции предсердий с помощью предложенных признаков являются фрагменты длительностью в тридцать секунд. Это значение длительности, при котором ошибка распознавания с помощью второй и третьей группы признаков максимально снижена при условии, что для первой группы она еще не начала резко возрастать.

Полученные распределения количества фрагментов обучающей выборки по значениям предложенных признаков показывают, что ни один из признаков не является достаточным для надежной диагностики фибрилляции предсердий. При этом каждый из них отражает различные характеристики исходного сигнала, что позволяет сделать вывод о возможности их совместного использования.

В качестве решающего правила для распознавания фибрилляции предсердий по разработанным признакам выбрана нейронная сеть, поскольку минимальное значение ошибки получено при классификации данных с помощью этого метода.

Для решения задачи автоматического распознавания фибрилляции предсердий по разработанным признакам оптимальной является конфигурация нейронной сети, состоящая из трех слоев с логистической функцией активации, девяти нейронов во входном слое, пяти скрытых нейронов и одного нейрона в выходном слое. Оптимальным для обучения такой сети является алгоритм Левенберга-Марквардта при шаге обучения, равном 0,38, и количестве эпох обучения, равном тридцати. В результате проведенной на этой сети оценки информативности предложенных признаков, характеризующих фибрилляцию предсердий, из алгоритма была исключена оценка мощности f-волны.

Разработанная нейронная сеть легла в основу двухэтапного алгоритма распознавания фибрилляции предсердий по коротким фрагментам ЭКГ в одном отведении. Алгоритм отличается высокими показателями точности и специфичности, при этом возможно допустимое количество ошибочных распознаваний при трепетании предсердий, желудочковой тригеминии и срабатывании кардиостимулятора. Алгоритм показал высокую производительность при анализе записей холтеровских мониторов и автономных систем мониторинга сердечного ритма. Для эффективной работы алгоритма соотношение сигнал-шум не должно быть ниже десяти децибел.