

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра динамического моделирования и биомедицинской инженерии

**Анализ формы ST-сегмента электрокардиограммы на ранних этапах
развития ишемической болезни сердца**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студентки 4 курса 4081 группы
направления 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии

Института физики

Шабаета Алина Римовна

Научный руководитель:
Доцент кафедры
динамического
моделирования и
биомедицинской инженерии,
к.ф.-м.н.



18.06.2024

подпись, дата

Е.И. Боровкова

Зав. кафедрой динамического
моделирования и
биомедицинской инженерии,
д.ф.-м.н., профессор



18.06.2024

подпись, дата

А.С. Караваев

Саратов 2024

Введение. Актуальность темы исследования: В современном мире одной из главных естественных причин смерти являются болезни сердечно-сосудистой системы (ССС). Одним из таких заболеваний является ишемическая болезнь сердца. Ишемическая болезнь сердца (ИБС) – это острое или хроническое поражение миокарда, возникающее вследствие уменьшения или прекращения снабжения сердечной мышцы артериальной кровью, в основе которого лежат патологические процессы в системе коронарных артерий.

В 2022 году в России среди людей, имеющих сердечно-сосудистые заболевания, около 20% пришлось на людей с ишемической болезнью сердца, а среди людей, причиной смерти которых являются заболевания сердечно-сосудистой системы, около 54% пришлось на людей с ишемической болезнью сердца.

Цель выпускной квалификационной работы: разработка метода, с помощью которого можно будет выявить первые признаки ишемической болезни сердца при анализе ST-сегмента на электрокардиограмме.

В ходе работы были поставлены и решены следующие задачи:

1. Рассмотреть известные к настоящему моменту сведения об изменении формы ST-сегмента электрокардиограммы пациентов с ишемической болезнью сердца.
2. Разработать метод детекции характерных точек P, Q, R, S, T комплекса электрокардиограммы с помощью вейвлет-анализа.
3. Разработать метод анализа ST-сегмента электрокардиограммы на ранних этапах развития ишемической болезни сердца.
4. Продемонстрировать работоспособность метода при анализе экспериментальных выборок здоровых людей и пациентов с ишемической болезнью сердца.

5. Провести количественную оценку характеристик ST-сегмента электрокардиограммы.

6. Провести статистический анализ полученных результатов.

Материалы исследования: 62 сигнала ЭКГ здоровых людей и людей с ишемической болезнью сердца с частотой дискретизации 250 Гц.

Объём и структура работы: выпускная квалификационная работа состоит из введения, раздела «ST-сегмент», раздела «ST-сегмент у больных и здоровых людей», раздела «Экспериментальные данные», раздела «Методы», состоящего из подраздела «Автоматический метод поиска характерных точек P, Q, R, S, T электрокардиограммы» и подраздела «Методы оценки асимметрии ST-сегмента», состоящего из пункта «Метод анализа ST-сегмента, основанный на аппроксимации линейной функцией» и пункта «Метод анализа ST-сегмента, основанный на нахождении производной», раздела «Результаты», заключения, списка использованных источников.

Основное содержание работы. Раздел 1 содержит краткое описание электрокардиограммы, зубцов, из которых она состоит, ST-сегмента. Определено, что во время распространения возбуждения в миокарде сердце – источник электрического тока, который проводится в окружающие ткани, и если на кожу поместить электроды в точках, расположенных по обе стороны от сердца, то можно зарегистрировать электрокардиограмму, состоящую из зубцов P, Q, R, S, T [3]. Между зубцами S и T располагается ST-сегмент, который отражает период, во время которого оба желудочка сердца полностью вовлечены в процесс возбуждения, и время продолжительности, которого тем меньше, чем больше частота сердечных сокращений. Диагностическое значение этого участка заключается в отражении насыщенности клеток миокарда кислородом, то есть его изменения свидетельствуют о кислородном голодании миокарда.

Раздел 2 содержит описание ST-сегмента у здоровых людей и у людей с ишемической болезнью сердца. На кардиограмме здорового человека в отведениях от конечностей ST-сегмент имеет горизонтальное направление и располагается на изоэлектрической линии или его положение несколько выше изоэлектрической линии, зубец Т асимметричный.

Так как ST-сегмент является отражением дефицита кислорода в сердечной мышце, наибольшее внимание ему уделяется при подозрении на ишемическую болезнь сердца или при диагностировании этого заболевания, то есть на этом отрезке отражается степень ишемии миокарда. У людей с ишемической болезнью сердца зубец Т становится симметричным, может стать выше. Со временем сегмент ST становится отрицательным. Заключение о депрессии ST-сегмента делается, когда он располагается ниже изоэлектрической линии.

Раздел 3 содержит описание экспериментальных данных, примеры рассмотренных электрокардиограмм здорового человека и человека с ишемической болезнью сердца. В работе для анализа были взяты первые шесть минут 62 сигналов ЭКГ – 31 сигнала здоровых людей в состоянии покоя и 31 сигнала людей с ишемической болезнью сердца с частотой дискретизации сигналов – 250 Гц.

Раздел 4 содержит два подраздела, в которых описаны методов поиска зубцов электрокардиограммы и анализа ST-сегмента.

В подразделе 4.1 описан автоматический метод поиска характерных точек P, Q, R, S, T электрокардиограммы. Для анализа ST-сегмента была разработана программа для автоматического поиска зубцов электрокардиограммы с применением вейвлет-функции на основе первой производной функции Гаусса. Программа загружает сигнал, сглаживает его, далее применяется вейвлет-преобразование, затем находятся точки пересечения массивов вейвлет-коэффициентов с нулем, и при дальнейшем анализе удаляются выбросы, если они есть, и оставшиеся точки отмечаются на сигнале. Затем остаются только точки, соответствующие зубцам S и T, так

как они нужны для дальнейшего анализа ST-сегмента. Для уменьшения времени работы программы сигнал разбивается на несколько частей (по умолчанию 10501 точка в наборе), но разбиение может привести к увеличению числа пропущенных сегментов. Также изменение различных параметров может привести к изменению числа пропусков.

Подраздел 4.2 содержит два пункта, в которых описаны методы анализа сегмента, основанные на оценке асимметрии или симметрии зубца T.

В пункте 4.2.1 описан первый метод, основанный на аппроксимации линейной функцией. Он основан на расчете разностей коэффициентов уравнений линейной регрессии для нарастающего и убывающего участков сегмента и их отношении. Находятся уравнения линейной регрессии для нарастающего и убывающего участков зубца T. Далее рассчитываются индекс разности, который обозначается k_1 , и показывает модуль отношения коэффициентов, определяющих наклон линии регрессии, и индекс разности, который обозначается r_1 и показывает модуль разности модулей этих коэффициентов, и средние арифметические индексов. Для здоровых людей индекс разности не должен стремиться к нулю, а индекс отношения должен стремиться к нулю. Для людей с ишемической болезнью сердца индекс разности должен стремиться к нулю, а индекс отношения должен стремиться к единице.

В пункте 4.2.2 описан второй метод, основанный на нахождении производной. Он основан на расчете разностей скоростей нарастания и убывания сегмента и их отношении. Находится производная зубца T, на ней находятся максимальная скорость нарастания и минимальная скорость убывания. Далее рассчитываются индекс k_2 , показывающий модуль отношения скоростей нарастания и убывания сегмента, и коэффициент r_2 , показывающий модуль разности модулей этих скоростей, и средние арифметические индексов. Для здоровых людей индекс разности не должен стремиться к нулю, а индекс отношения должен стремиться к нулю. Для

людей с ишемической болезнью сердца индекс разности должен стремиться к нулю, а индекс отношения должен стремиться к единице.

В разделе 5 описаны результаты работы программы поиска зубцов, рассчитанные индексы разности и отношения для тридцати одного здорового человека и тридцати одного человека с ишемической болезнью сердца, сравнение двух методов. Показано, что в среднем было проанализировано 419 сегментов каждого сигнала, среднее количество пропусков составило 7 %, приведены примеры работы программы с выделенными зубцами S и T двух здоровых людей и двух людей с ишемической болезнью сердца.

Также для каждого человека показаны первые 10 секунд электрокардиограммы и рассчитанные средние арифметические индексов оценки асимметрии по первому методу, основанному на аппроксимации линейной функцией, и средние арифметические индексов оценки асимметрии по второму методу, основанному на нахождении производной.

Для каждого метода оценки асимметрии (симметрии) сегмента были показаны диаграммы распределения признаков, была выполнена кластеризация методом k-means, полученные результаты представлены в виде таблиц.

В результате для первого метода количество людей, определенных как здоровые, составило 22 человека, а количество людей, определенных как люди с ишемической болезнью сердца, составило 40 человек. Для класса «здоровые» среднее значение индекса отношения составило 0.49, среднее отношение индекса разности составило 7.89, для класса «люди с ишемической болезнью сердца» среднее значение индекса отношения составило 0.76, а среднее значение индекса разности составило 1.35. Расстояние между кластерами составило 4,6.

Для второго метода количество людей, определенных как здоровые, составило 25 человека, а количество людей, определенных как люди с ишемической болезнью сердца, составило 37 человек. Для класса «здоровые» среднее значение индекса отношения составило 0.65, среднее отношение

индекса разности составило 10.34, для класса «люди с ишемической болезнью сердца» среднее значение индекса отношения составило 0.79, а среднее значение индекса разности составило 1.36. Расстояние между кластерами составило 7,1.

Также для каждого метода были показаны графики показателей эффективности, рассчитаны чувствительность, специфичность, F-score. Число здоровых людей, отнесенных к классу «здоровые», для второго метода оказалось больше, чем для первого, а число людей с ишемической болезнью сердца, отнесенных к классу «люди с ибс», для обоих классов одинаково. Чувствительность первого метода составила 71 %, второго – 81 %, специфичность обоих методов – 100 %, F-score первого метода – 83 %, второго – 89 %.

В результате метод оценки симметрии (асимметрии) сегмента, при котором индексы рассчитываются с помощью максимальных скоростей нарастания и минимальных скоростей убывания сегмента, оказался более чувствительным, чем метод, при котором индексы рассчитываются с помощью коэффициентов, определяющих наклон линии регрессии, уравнения линейной регрессии для нарастающего и убывающего участков сегмента, и показатель F-score для второго метода выше, чем для первого. Также расстояние между кластерами оказалось для второго метода больше, чем для первого.

Заключение. Ишемическая болезнь сердца является одним из наиболее распространенных и опасных заболеваний сердечно-сосудистой системы. В настоящее время известно несколько видов методов диагностики, которые позволяют поставить более точный диагноз и оказать действенную медицинскую помощь.

Некоторые методы диагностики включают в себя запись электрокардиограммы. В работе были рассмотрены сведения об изменении формы ST-сегмента электрокардиограммы людей с ишемической болезнью

сердца. При нарушении функций сердечной мышцы и коронарных сосудов зубец Т электрокардиограммы изменяется и становится симметричным.

Для анализа формы ST-сегмента электрокардиограммы людей с ишемической болезнью сердца был разработан метод детекции зубцов P, Q, R, S, T электрокардиограммы с применением вейвлет-анализа. В среднем количество пропущенных ST-сегментов не превышает 7%.

Также к рассмотрению были предложены два метода оценки асимметрии (симметрии) сегмента. Каждый метод имеет два индекса для оценки. Первый метод основан на аппроксимации линейной функцией нарастающего и спадающего участков сегмента и для анализа рассчитываются индексы, основанные на расчёте модуля разности модулей коэффициентов, определяющих наклон линий регрессий, уравнений линейной регрессии для нарастающего и убывающего участка сегмента, на расчёте модуля отношений коэффициентов, определяющих наклон линий регрессий, уравнений линейной регрессии для нарастающего и убывающего участка сегмента. Второй метод основан на нахождении производной и его индексы рассчитываются как модуль разностей модулей максимальных скоростей нарастания и минимальных скоростей убывания сегмента и как модуль отношений максимальных скоростей нарастания и минимальных скоростей убывания сегмента. На практике предложенные методы показали свою эффективность.

Для каждого метода оценки симметрии (асимметрии) был проведен кластерный анализ. При сравнении методов было получено, что метод, основанный на построении производной, имеет более высокие показатели чувствительности, F-score метода, основанного на аппроксимации линейной функцией.

14.06.2024 Шабалин А.В.