

Введение. В настоящее время заболевания сердечно-сосудистой системы являются основными причинами смертности населения во многих странах мира. Одной из самых распространённых сердечно-сосудистых патологий является артериальная гипертензия. Артериальная гипертензия несет в себе риск поражения органов–мишеней: сердца, сосудов, почек, мозга, сетчатки глаз и т.д., и, как следствие, развитие заболеваний, например, инфаркта миокарда, ишемической болезни сердца, хронической сердечной недостаточности и других патологий. По разным данным в современном обществе наблюдается значительная распространенность артериальной гипертензии, составляющая около 30-45% от всех заболеваний среди взрослого населения.

В медицинской практике существует ряд методик диагностики артериальной гипертензии. Однако начальным этапом выявления данного заболевания, в большинстве случаев, является измерение артериального давления во время врачебного приёма. Наличие регулярного стойкого повышения артериального давления, выходящего за границы нормы, может свидетельствовать уже о наличии гипертензии той или иной степени тяжести. Поэтому существует актуальность разработки и применения новых неинвазивных экспресс-методик для ранней диагностики артериальной гипертензии, основанных на выявлении, в первую очередь, регуляторных нарушений, во избежание необратимых патологических изменений в тканях, органах и системах организма.

Еще с 60-х годов развиваются различные методики оценки состояния сердечно-сосудистой системы, в основе которых лежит рассмотрение ряда механизмов регуляции, в частности механизма регуляции нервной вегетативной системой. Одним из методов, получивших распространение, является спектральный анализ variability сердечного ритма (VCP) на основе кардиоинтервалограммы (КИГ), выделяемой из электрокардиограммы (ЭКГ).

Однако существующие методы изучения ВСР отражают только регуляцию сердца, не принимая во внимание воздействие регуляторных механизмов на кровеносную систему. Поэтому разработка метода оценки состояния сердечно-сосудистой системы, учитывающего регуляцию частоты сердечных сокращений и тонуса артериальных сосудов, в настоящее время представляет большой интерес для кардиологии и смежных областей.

Цель данной дипломной работы - развитие метода ранней неинвазивной скрининг-диагностики артериальной гипертензии и тяжести поражения сердечно-сосудистой системы при наличии артериальной гипертензии на основе спектрального анализа сигналов фотоплетизмограммы (ФПГ).

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Получить записи сигналов ФПГ и ЭКГ у 3х групп исследуемых - практически здоровых людей, у пациентов до и после курса лечения артериальной гипертензии.
2. Провести обработку сигналов для получения графиков спектров мощности КИГ и ФПГ.
3. Вычислить величину LF/HF - отношение суммарной мощности спектра в низкочастотном диапазоне [0,05-0,15 Гц] к суммарной мощности спектра в высокочастотном диапазоне [0,15-0,4 Гц] для каждой записи.
4. Оценить распределение величины LF/HF, вычисленной из записей сигналов КИГ и ФПГ, для различных групп пациентов.
5. Сделать выводы о возможности диагностики артериальной гипертензии на основе оценки полученной величины LF/HF из записи сигнала ФПГ на основе статистического анализа.

Основное содержание работы.

Сердечно-сосудистая система – это сложная многоуровневая система, основной функцией которой является обеспечение циркуляции крови по кровеносной системе для снабжения органов и тканей необходимыми веществами и удаления от них токсичных для организма веществ. В состав

сердечно-сосудистой системы входит сердце и кровеносные сосуды. Все функции кровеносной системы строго согласованы благодаря механизмам регуляции, позволяющим поддерживать гомеостаз и адаптироваться к постоянно изменяющимся условиям внешней и внутренней среды.

На работу сердечно-сосудистой системы влияет ряд регуляторных механизмов, в том числе, центральная нервная система, вегетативная нервная система, барорефлекторная, гуморальная регуляция и др.

Особый интерес представляет изучение вегетативной нервной системы, дающей оценку текущему функциональному состоянию организма, что имеет прикладное значение в диагностике сердечно-сосудистных заболеваний, поскольку уровень активности вегетативной нервной системы может выступать маркером наличия регуляторных отклонений и предиктором артериальной гипертензии.

Как известно, вегетативная нервная система состоит из симпатического и парасимпатического отделов. Симпатические нервы, иннервирующие сердце (синусовый узел), увеличивают частоту и силу сердечных сокращений в противоположность блуждающему нерву парасимпатической системы. Тонус сосудов регулируется только симпатическими нервами прессорного или депрессорного действия, то есть приводящие к сужению или расширению просвета сосудов, за счет чего изменяется уровень артериального давления.

Принято считать, что воздействие симпатических и парасимпатических отделов вегетативной нервной системы имеет модулирующий амплитудный и/или частотный характер в ответ на изменяющиеся условия для организма. Информация об её активности отражается в вариабельности регистрируемых сигналов.

Анализ вариабельности сердечного ритма (BCP) основан на распознавании и измерении временных интервалов между R-R-интервалами ЭКГ, а затем построении динамического ряда кардиоинтервалограммы (КИГ) и его последующего анализа различными математическими методами.

Спектральный анализ ритма сердца позволяет перейти к рассмотрению временного сигнала в частотную область для получения спектра частот сигнала – совокупности периодических изменений продолжительности интервалов времени между соседними сокращениями сердца. Для спектрального метода анализа variability сердечного ритма используют, в большинстве случаев, сигнал ЭКГ, из которого выделяется КИГ.

В спектре КИГ считается, что влияние преимущественно парасимпатической системы отражается в спектре мощности дыхательных волн (HF) в высокочастотном диапазоне от 0,15 до 0,4 Гц, а влияние преимущественно симпатической системы – в мощности медленных волн 1-го порядка (LF) в низкочастотном диапазоне от 0,04 до 0,15 Гц.

Таким образом, по данным спектрального анализа сигнала КИГ, предварительно приведённого к эквидистантному виду, оценивают суммарные мощности колебаний в двух представленных диапазонах и вычисляют отношение полученных мощностей LF/HF, отражающее взаимодействие двух отделов вегетативной нервной системы – симпатической и парасимпатической. Данное выражение LF/HF получило распространение и название в литературе - вагосимпатический индекс.

Однако метод спектрального анализа ВСР характеризует только часть сердечно-сосудистой системы, а именно только регуляцию частоты сердечных сокращений, и практически не оценивает степень взаимодействия между системами регуляции деятельности сердца и регуляции артериального давления за счёт барорефлекторной регуляции тонуса сосудов.

Для изучения регуляторных механизмов, воздействующих на систему кровообращения, можно использовать схожую методику спектрального анализа взаимодействия симпатической и парасимпатической систем вегетативной нервной системы на основе данных о кровенаполнении и давлении в сосудах.

В настоящее время интерес представляет разработка аппаратов и комплексов для непрерывного неинвазивного получения информации о

работе системы кровообращения и уровня давления в сосудах, например фотоплетизмограф.

Фотоплетизмография (ФПГ) является оптическим методом исследования сосудистого тонуса и кровотока в сосудах мелкого калибра, поскольку отражает изменение периферического объёма крови, вызванного пульсовыми и более медленными колебаниями сердечно-сосудистой системы, связанными с медленной динамикой кровенаполнения сосудов.

Поскольку поглощение света в тканях пропорционально объёму крови, проходящему через освещаемый участок, то усиливая сигнал фотоприемника можно зарегистрировать изменения его амплитуды, обусловленные артериальной пульсацией сосуда, то есть косвенно получить данные об артериальном давлении в сосудах.

При анализе сигнала ФПГ в нём можно выделить характерные волны с определёнными периодами колебаний, подобно волнам в КИГ. Волны первого порядка являются основными при анализе ФПГ, отражающие пульсовые колебания от удара к удару сердца с частотой около 1 Гц. Волны второго порядка тесно связаны по длительности с дыхательными циклами (частота колебаний в диапазоне 0,15-0,4 Гц). К волнам третьего порядка относятся все колебания с длительностью, превышающей дыхательные циклы (0,05-0,15 Гц). Они связаны с ритмической активацией сосудодвигательного центра, регулирующего состояние тонуса сосудов.

Предполагается, что в спектре сигнал ФПГ отражена регуляция тонуса сосудов, и косвенно модуляция частоты и силы сердечных сокращений, т.е. он несет более полную информацию о регуляции сердечно-сосудистой системы, по сравнению с известной ранее методикой спектрального анализа ВСР.

Для развития метода ранней неинвазивной скрининг-диагностики артериальной гипертензии на основе спектрального анализа сигналов фотоплетизмограммы (ФПГ) и тяжести поражения сердечно-сосудистой системы при наличии артериальной гипертензии в данной дипломной работе

был проведен эксперимент по апробации методики, разработанной сотрудниками кафедры динамического моделирования и биомедицинской инженерии факультета nano- и биомедицинских технологий СГУ.

1. Дизайн эксперимента предполагал синхронную регистрацию ЭКГ и ФПГ в течение 5 мин. ЭКГ регистрировался в I стандартном отведении по Эйнтховену. ФПГ регистрировался с дистальной фаланги указательного пальца испытуемых. Для регистрации ФПГ использовался инфракрасный фотоплетизмографический датчик на пропускание света с длиной волны около 960 нм

В исследование были включены:

- 28 практически здоровых лиц;
- 41 пациент с артериальной гипертензией до лечения;
- 34 пациента после курса лечения артериальной гипертензии.

2. На следующем этапе проводилась цифровая обработка сигналов записи ЭКГ и ФПГ. Также из записи ЭКГ выделялась эквидистантная кардиоинтервалограмма (КИГ).

3. Вычисление спектров мощности сигналов КИГ и ФПГ производилось методом Уэлча в скользящем окне Ханна с использованием быстрого преобразования Фурье.

4. Рассчитывались суммарные спектральные мощности сигналов в низкочастотном диапазоне (Δf_{LF}), соответствующем частотам от 0.05 до 0.15 Гц, и в высокочастотном диапазоне (Δf_{HF}), соответствующем частотам от 0.15 до 0.4 Гц, для сигналов ФПГ и КИГ (рис.1):

$LF_{КИГ}$ - суммарная мощность спектра сигнала КИГ в Δf_{LF} диапазоне;

$HF_{КИГ}$ - суммарная мощность спектра сигнала КИГ в Δf_{HF} диапазоне;

$LF_{ФПГ}$ - суммарная мощность спектра сигнала ФПГ в Δf_{LF} диапазоне;

$HF_{ФПГ}$ - суммарная мощность спектра сигнала ФПГ в Δf_{HF} диапазоне.

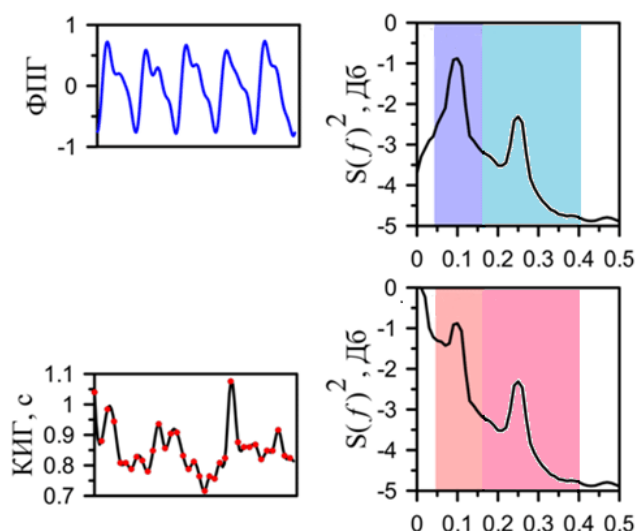


Рис. 1. Спектральный анализ КИГ и ФПГ

На основании полученных значений суммарных мощностей спектра в заданных диапазонах рассчитывались их отношения для каждой из методик. Из спектра мощности сигнала КИГ высчитывался индекс $\frac{LF_{киг}}{HF_{киг}}$. Из спектра мощности сигнала ФПГ высчитывалась величина $\frac{LF_{фпг}}{HF_{фпг}}$.

Для статистического анализа данных использовались методы проверки нормальности распределения, среднее значение, стандартное отклонение, ошибка среднего, максимум, минимум, эксцесс, асимметрия.

На рисунке 2 изображены распределения значений индексов LF/HF в зависимости от статуса здоровья испытуемого и источника анализируемого сигнала.

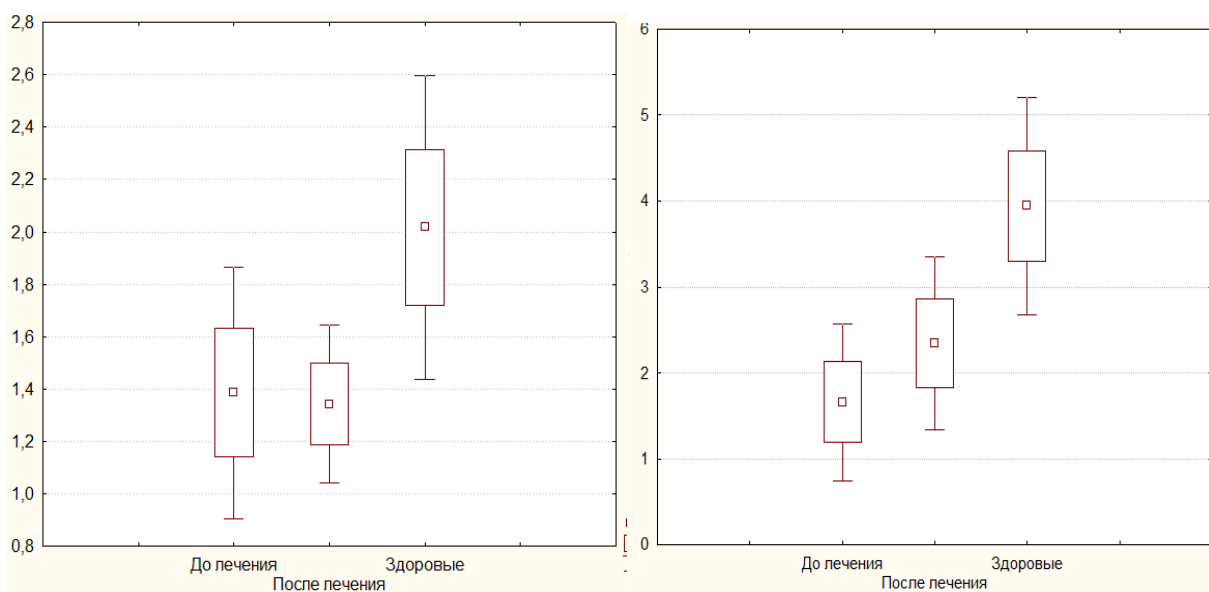


Рис. 2. Распределение значений индексов LF/HF, полученных из сигналов КИГ (слева) и сигналов ФПГ (справа) для разных групп испытуемых. Квадратом в центре обозначено среднее значение величины; прямоугольником («box») обозначается ошибка среднего; горизонтальными прямыми («whiskers») обозначены значения среднеквадратичного отклонения.

На основании полученных результатов можно сделать выводы о возможности использования оценки LF/HF, полученных из сигналов ФПГ для выявления степени нарушения регуляторных механизмов сердечно-сосудистой системы, а именно для выявления артериальной гипертензии.

По сравнению в известной ранее методикой, оценка, основанная на спектральных характеристиках сигнала ФПГ, показала большую чувствительность при различии групп больных артериальной гипертензией и здоровых, а также групп больных различной степени тяжести.

Показано, что метод спектрального анализа ФПГ является перспективным для оценки адекватности регуляции сердечно-сосудистой системы, в том числе и для выявления артериальной гипертензии на ранних стадиях за счёт использования носимого датчика ФПГ, легко совмещаемого с современными гаджетами, например, с камерой смартфона, смарт-часами, смарт-браслетами и проч.

Заключение.

В ходе выполнения данной дипломной работы был проанализирован и развит метод оценки состояния сердечно-сосудистой системы на основе спектрального анализа биологических сигналов, учитывающий регуляцию частоты сердечных сокращений и тонуса артериальных сосудов.

В данной дипломной работе был проведен обзор существующих методов оценки вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы. Было выявлено, что большинство из них основано на анализе сигналов электрической активности сердца, и слабо учитывают контур регуляции тонуса сосудов. На основе этого было сделано предположение о возможности использования схожих методик спектрального анализа применительно для сигналов фотоплетизмограммы, содержащих в себе более полную информацию о регуляторном воздействии нервной системы на частоту сердечных сокращений и амплитудную модуляцию тонуса сосудов.

В ходе проведения эксперимента была проведена регистрация сигналов ФПГ и ЭКГ у 3-х групп испытуемых: практически здоровых, больных до и после лечения гипертензии. Была также проведена цифровая обработка полученных сигналов, выделение спектров мощности, по которым вычислялся индекс LF/HF - отношения суммарной мощностей спектра в диапазоне Δf_{LF} [0.05 - 0.15 Гц] к суммарной мощности спектра в диапазоне Δf_{HF} [0.15-0.4 Гц] для сигналов КИГ и ФПГ.

По оценкам распределения полученного индекса по группам испытуемых и на основе статистического анализа был сделан вывод о перспективности дальнейшего развития методики неинвазивной экспресс-диагностики артериальной гипертензии на основе спектрального анализа сигналов фотоплетизмограммы, а также оценки тяжести поражения сердечно-сосудистой системы при наличии артериальной гипертензии.