

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.
ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра медицинской физики

**ДИАГНОСТИКА СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ С
ПОМОЩЬЮ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРНОГО АВТОДИНА**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студента 2 курса 205 группы
направления 03.04.02 «Физика»

факультета нано- и биомедицинских технологий

Клобучара Дмитрия Сергеевича



Научный руководитель

профессор,
доктор физ.- мат. наук

должность, уч. степень, уч. звание

А.В. Скрипаль



подпись, дата

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой

профессор,
доктор физ.- мат. наук.

должность, уч. степень, уч. звание

А.В. Скрипаль



10.06.19

подпись, дата

инициалы, фамилия

Саратов 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

1 Анализ современного состояния литературы по методам оценки функционального состояния сосудистой системы.	5
2 Методы измерения пульсовой волны	5
3 Моделирование автодинного сигнала для проверки теории	6
4 Автодинное детектирование. Бесконтактные методы измерения пульсовой волны.	8
5. Пульсовая волна. Анализ пульсовой волны. Моделирование автодинного сигнала и спектра пульсовой волны.	9
5.1 Расположение информативных точек на пульсовой кривой	9
5.2 Показатели старения при анализе пульсовой волны.	11

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Введение

Наибольшее количество смертей приходится на патологию сердечно-сосудистых заболеваний. В настоящее время для диагностики состояния сердца существует большое количество разнообразных методов, которые позволяют эффективно диагностировать риск возникновения смерти от сердечно-сосудистых заболеваний. Риск развития смерти в результате сосудистых заболеваний в настоящее время практически не оценивается. Для оценки состояния структуры сосудистой системы применяют различные методы такие как: магнито-резонансная томография, компьютерная томография, ультразвуковая диагностика, которые позволяют визуализировать структуру и различные структурные изменения сосудов человека. Для оценки функционального состояния сосудистой системы человека предлагается использовать методы реографии, фотоплетизмографии, сфигмографии. Однако, утвержденных методик диагностики функциональных патологий сосудистых систем в настоящее время не существует. Поэтому актуальным является разработка новых методов диагностики сосудистой системы.

Одной из таких методик, может быть методика, основанная на использовании лазерного автодина позволяющего диагностировать движение стенок сосудов неинвазивно через кожу человека.

В ряде работ показана возможность восстановления формы пульсовой волны по лазерному автодинному сигналу. Однако оценка формы автодинного сигнала, полученного при регистрации движения стенок сосудов, при различных патологиях в настоящее время не проведена.

Целью работы явился анализ метода лазерной автодинной интерферометрии при движении стенок сосудов в различных возрастных категориях и оценка формы и спектра автодинного сигнала различными методами их анализа.

В процессе работы для достижения цели будут решены следующие задачи:

1. Анализ современного состояния литературы по методам оценки функционального состояния сосудистой системы.
2. Описание методов анализа формы пульсовой волны по автодинному сигналу полупроводникового лазера.
3. Моделирование формы и спектра автодинного сигнала при различных возрастных категориях.

1. Анализ современного состояния литературы по методам оценки функционального состояния сосудистой системы.

Современная медицина имеет в своем арсенале достаточно много устройств и приборов для диагностики состояния сердечно-сосудистой системы (ССС). Однако, все они в той или иной мере страдают недостатками: эпизодичность исследования односторонний подход к функционированию [1].

Примерами таких исследований являются Компьютерная томография (КТ), магниторезонансная томография (МРТ), ультразвуковое исследование, реография, фотоплетизмография и т.д. Рассмотрим данные методы подробнее.

2. Методы измерения пульсовой волны

Визуализирования не достаточно для полного анализа состояния сердечно-сосудистой системы, помимо этого нужно проводить оценку функционального состояния сосудистой системы путем регистрации механических, акустических и биоэлектрических проявлений сердечной деятельности. Среди инструментальных методов, позволяющих объективно оценить состояние ССС, широкое применение нашли методы, основанные на регистрации пульсовой волны. Наиболее известными контактными методами регистрации, с помощью которых можно, в том числе в пульсовой волне выделить дыхательную составляющую, являются фотоплетизмография и сфигмография.

3 Моделирование автодинного сигнала для проверки теории

Что бы проверить точность измерения наносмещений (измерить пульсовую волну), прежде было проведено моделирование измерения спектра автодинного сигнала со смещением в 25 нм в программном пакете Mathcad 15.

Моделирование автодинного сигнала проводилось при следующих параметрах: длина волны излучения лазерного диода $\lambda=650\text{нм}$, значение девиации длины волны излучения лазерного диода 0.002нм, при заданных моделью расстояниях $L_0=0.1+x\cdot 10^{-10}\text{м}$, где $x=25,50,75..600\text{нм}$.

В состав установки входили: частотномодулированный полупроводниковый лазерный автодин на лазерном диоде RLD-650(5) на квантоворазмерных структурах с дифракционно-ограниченной одиночной пространственной модой с длиной волны 654 нм – 1, его излучение направлялось на поверхность объекта 4, который был закреплен на микромеханической подаче – 5, также при этом значение измеренного диаметра пятна лазерного излучения на поверхности объекта 4 составило 1 мм. Модуляция длины волны излучения лазерного диода осуществлялась на частоте $\nu = 300\text{ Гц}$ с помощью модуляции тока питания лазера посредством встроенного в учебную лабораторную станцию виртуальных приборов NI ELVIS генератора сигналов – 3. Изменение тока питания, лазерного диода осуществлялось путем изменения напряжения питания, подаваемого на полупроводниковую структуру от блока управления током питания – 2.

Питание лазерного диода осуществлялось с помощью источника тока. Отраженное излучение направлялось обратно, в резонатор лазера, изменение мощности которого фиксировалось фотоприемником – 6. Продетектированный и усиленный сигнал с фотоприемника проходил через

фильтр переменного сигнала – 7 и поступал на вход аналого-цифрового преобразователя – 8 (частота дискретизации сигнала – 100 кГц), который, в свою очередь, соединён с компьютером – 9. Величина гармонической девиации частоты излучения лазерного диода $\Delta\lambda$ измерялась спектрометром высокого разрешения SHR (Solar Laser Systems). Отражающая поверхность объекта находилась на расстоянии 20 сантиметров.

Таблица 2 - Результаты измерений и расчета наноперемещений зонда

Номер шага	Смещение шагового транслятора, нм	Амплитуда спектральной составляющей C_2	Амплитуда спектральной составляющей C_3	Стационарная фаза автодинного сигнала θ , рад	Величина смещений зонда, мкм
1	0	0,00844	0,00829	0,78	0
2	21	0,00939	0,00728	1,42	19
3	42	0,00046	0,00917	1,23	44
4	63	0,00991	0,00624	1,13	60
5	84	0,01284	0,00028	0,95	83
6	105	0,0056	0,00764	1,34	102
7	126	0,01076	0,00546	1,06	122
8	147	0,01487	0,01398	1,15	137
9	168	0,01071	0,0059	1,71	156
10	189	0,00279	0,00818	0,69	176
11	210	0,0104	0,00598	1,56	192
12	231	0,01155	0,00534	1,17	216
13	252	0,01457	0,00071	0,91	237
14	273	0,01211	0,00402	0,72	256
15	294	0,01139	0,00512	1,26	278
16	315	0,00443	0,00877	1,50	298

Из результатов, приведенных в таблице, можно увидеть возможность измерения наносистем с помощью полупроводникового лазерного автодина с гармонической модуляцией длины волны лазерного излучения.

4 Автодинное детектирование. Бесконтактные методы измерения пульсовой волны.

В связи с развитием современных технологий, требующих непрерывного контроля за многими параметрами процесса становится всё более актуальной задача создания неразрушающих бесконтактных методов измерения и контроля параметров движения объекта. Для этого в настоящее время широко используются методы, основанные на использовании эффекта автодинного детектирования в полупроводниковых приборах [17,18,19].

Автодин представляет собой генератор, в котором одновременно происходят процессы генерирования на частоте, отличной от принимаемой, и детектирования.

Применение эффекта автодинного детектирования для контроля параметров движения основано на установлении зависимости величины продетектированного сигнала от параметров контролируемых величин: расстояния, скорости и т.д. [17,20].

Автодинное детектирование основано на интерференции оптического излучения в лазерной системе с движущимся отражателем.

Метод автодинного детектирования в настоящее время внедряется и в область медицины, в частности, в область измерения артериального давления, так как вследствие работы сердца происходит периодическое сжатие и сужение кровеносных сосудов и, следовательно, изменение расстояния до стенки сосуда. Сосуд и представляет собой движущийся отражатель.

5 Пульсовая волна. Анализ пульсовой волны.

Моделирование автодинного сигнала и спектра пульсовой волны.

Пульсовая волна кровенаполнения имеет следующие основные компоненты (рис. 29): крутой систолический подъем от нулевой линии (точка a) до максимума (точка B) – анакротическая фаза. Нисходящая часть кривой характеризуется медленным спуском и соответствует катакротической фазе пульсовой волны (BF). Несколько выше середины катакроты располагается так называемая дикротическая волна (CDE). В некоторых случаях в конце катакротической фазы перед началом следующего цикла может также появляться волна небольшой амплитуды, называемая «венозной волной» (E).

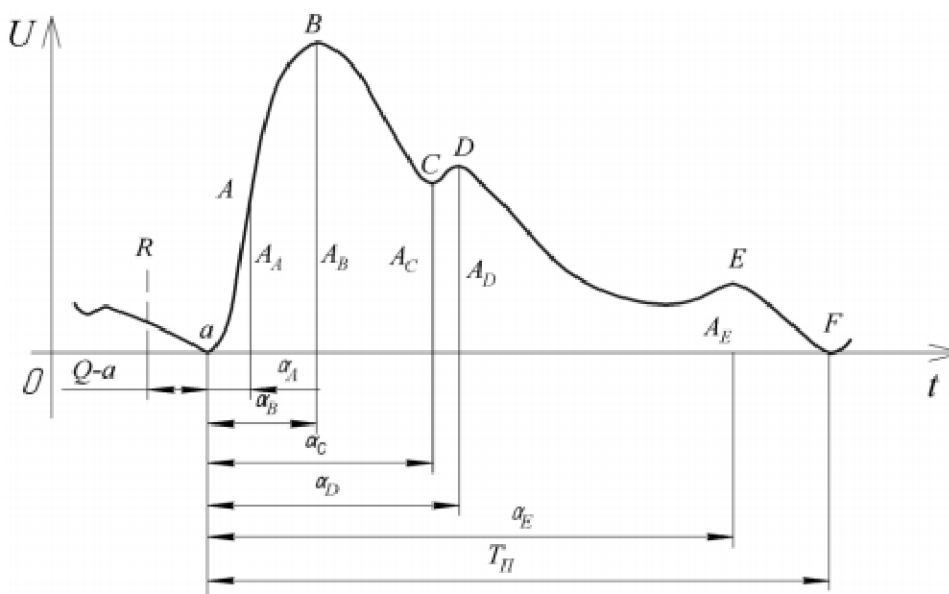


Рисунок 29 – расположение информативных точек на пульсовой кривой

5.1 Расположение информативных точек на пульсовой кривой.

С возрастом организм меняется. Меняется состояние сердечно-сосудистой системы, соответственно и форма пульсовой волны. Состояние ССС можно определить по пульсовой волне, но что бы определить его точно, нужно учесть возрастной фактор. Наиболее существенные возрастные изменения

появляются в организме в 50–60 лет. Сокращается сила сердечной мышцы, понижается эластичность стенок сосудов, уменьшается скорость течения крови в сосудах. У пожилых людей значительно уменьшается количество действующих капилляров. Формируются новые приспособительные реакции (увеличение межкапиллярных анастомозов, замедление капиллярного кровотока). Если крупные сосуды теряют свою эластичность и одновременно увеличивается периферическое сопротивление мелких сосудов, то повышается артериальное давление.

Взаимоотношение возраста и артериального давления рассматривается различными авторами с двух точек зрения. Одни из них указывают, что с годами артериальное давление значительно повышается, другие считают это увеличение незначительным [24].

При старении изменяется характер регуляции кровообращения. Рефлекторные реакции сердечно-сосудистой системы становятся более инертными, что связано с ослаблением вегетативной иннервации сердца и сосудов. На фоне общего снижения вегетативного тонуса формируется относительное преобладание симпатической регуляции сердечной деятельности.

Для пожилых и старых людей нормальным является правильный синусовый ритм сердца. Однако частота сердечных сокращений с возрастом несколько уменьшается. Таким образом, измерение частоты сердечных сокращений и артериального давления даёт полезную информацию о процессе старения и о наличии патологий. Из вышеизложенного следует, что повышение артериального давления с возрастом может свидетельствовать о патологии, и возрастные нормы данного показателя, так же как и частота сердечного сокращения ещё требуется исследовать.

Пульсовой кривой (сфигмограмме) аорты и крупных артерий (рис. 2) различают две основные части — подъем и спад [28]. Подъем кривой — анакрота — возникает вследствие повышения АД и вызванного этим растяжения, которому подвергаются стенки артерий под влиянием крови, выброшенной из сердца в начале фазы изгнания. В конце систолы желудочка, когда давление в нем начинает падать, происходит спад пульсовой кривой — катакрота. В тот момент, когда желудочек начинает расслабляться и давление в его полости становится ниже, чем в аорте, кровь, выброшенная в артериальную систему, устремляется назад к желудочку; давление в артериях резко падает и на пульсовой кривой крупных артерий появляется глубокая выемка — инцизура. Движение крови обратно к сердцу встречает препятствие, так как полулунные клапаны под влиянием обратного тока крови закрываются и препятствуют поступлению ее в сердце. Волна крови отражается от клапанов и создает вторичную волну повышения давления, вызывающую вновь растяжение артериальных стенок. В результате на сфигмограмме появляется вторичный, или дикротический, подъем. Формы кривой пульса аорты и отходящих непосредственно от нее крупных сосудов, так называемого центрального пульса, и кривой пульса периферических артерий несколько отличаются.

5.2 Показатели старения при анализе пульсовой волны.

Пульсовая волна, регистрируемая на верхней конечности у молодых людей, характеризуется быстрым подъемом, довольно острой вершиной и наличием дополнительных волн на нисходящей части кривой. В старших возрастных группах такая картина наблюдается в единичных случаях. Кривая пульсовой волны у пожилых и старых людей отличается медленным подъемом с закругленной вершиной, часто аркообразной формы. Наряду с этим наблюдается сглаженность или отсутствие дикротической волны на нисходящей части волны. Расположение ее соответствует верхней или средней части кривой, тогда как у молодых людей — обычно нижней трети.

Рассмотренные факторы являются предпосылкой использования картины пульсовой волны для определения биологического возраста человека, а также распознавания патологий на основе анализа отличий сфигмограммы обследуемого от возрастной нормы.

Заключение.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы проведен анализ состояния методов регистрации пульсовой волны. Рассмотрены особенности формирования по спектру автодинного сигнала. Проведено моделирование автодинного сигнала пульсовой волны для различных возрастных категорий. Построены спектры автодинного сигнала для различных возрастных категорий. В ходе работы было выявлено, что в отличии от автодинного сигнала пульсовой волны, спектры автодинного сигнала имеют количественное различие для различных возрастных категорий. Что должно учитываться при анализе состояния ССС.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. УКД 621.006. Синютин С.А. Оценка состояния сердечно-сосудистой системы на базе ЭКГ и оксигемометрии. Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск.
2. Gerald M. Pohost, MD; Radha J. Sarma, MD; Patrick M. Colletti, MD; Mark Doyle, PhD. Магнито-резонансная и рентген-компьютерная томографии при исследовании сердечно-сосудистой системы. Стр. 296
3. Физика визуализации изображений в медицине: в 2-х томах. Том 2. Глава 7. Ультразвуковая диагностика: Перевод с англ./Под ред. С. Уэбба. — М.: Мир, 1991. — С. 5 — 104.
4. Ушакова Л.Ю. Ультразвуковое исследование сосудов Проблемные статьи и обзоры
5. Лелюк С.Э., Лелюк В.Г. // Ультразвук. диагностика. — 1995. — №3. — С. 65—77.
6. Млюк В.Г., Млюк С.Э. Основные принципы гемодинамики и ультразвукового исследования сосудов: клинич. рук-во по ультразвуковой диагностике / под ред. Митькова В.В. — М.: Видар, 1997. — Т. 4. — С. 185—220.
7. Фотоплетизмография и сфигмография- <http://ilab.xmedtest.net>.
8. УДК 616-073.173:004.4 АНАЛИЗ ПУЛЬСОВЫХ КРИВЫХ, Е.В. Тылюдина, С.И. Юран, Н. Або Исса. ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАФИИ
9. Алексеев, В. А. Проектирование устройств регистрации гемодинамических показателей животных на основе метода фотоплетизмографии: монография / В. А. Алексеев, С. И. Юран. — Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2006. — 248 с.

10. Явелов И. С., Рогоза А. Н. О новых возможностях сфигмографии высокого разрешения. Функциональная диагностика. – М: Изд-во ИМАШ РАН, 2009. - №2.
11. Чашин А. В., Попечителей Е. П. Реализация компрессионно-осциллометрического метода измерения артериального давления в комплексном исследовании состояния организма. Вестник новых медицинских технологий. Санкт-Петербург: Изд-во СПбГЭУ, 2010. – Т. 12, №1. – С. 126.
12. Рябухо, В.П. Интерферометр Майкельсона с лазерным источником света / В.П. Рябухо, В.В. Лычагов, А.Л. Кальянов. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2009. 16 с.
13. Соболев, В. С. Применение активной лазерной интерферометрии с частотной модуляцией для оценки наноперемещений и нановибросмещений диффузно отражающих объектов / В.С. Соболев, А.М. Щербаченко, А.М. Харин // ГЕО-Сибирь. 2010. Т. 5. Специализированное приборостроение, метрология, теплофизика, микротехника, нанотехнологии. Ч. 1 С. 119-124
14. Усанов Д. А., Скрипаль А. В., Вагарин В. А. Определение амплитуды колебаний оптическим гомодинным методом по высшим гармоникам// ПТЭ. 1994. №6. С. 162–165.
15. УДК 621.373.8 Усанов Д.А., Скрипаль А.В. Полупроводниковые лазерные автодины для измерения параметров движения при микро- и наносмещениях — Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2014. — 122 с.: ил.
16. Усанов Д. А., Скрипаль А. В. Измерение нанометровых вибраций полупроводниковым лазером на квантоворазмерных структурах, работающим в автодинном режиме// Письма в ЖТФ. 2003. № 9. С.51–57.
17. Усанов Д.А., Скрипаль Ал.В., Скрипаль Ан.В. Физика полупроводниковых радиочастотных и оптических автодинов. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2003. - 312 с.
18. Усанов Д.А., Постельга А.Э., Дорошенко А.А. Восстановление сложного движения участка тела человека по сигналу радиоволнового

- автодина с использованием вейвлет-преобразований. Саратов: Журнал Медицинская физика, 2013. - № 1(57). – С. 78-84 7 с.
19. Усанов Д.А. Постельга А.Э. Дорошенко А.А. Определение параметров сердечной деятельности по форме колебаний плечевой артерии с помощью радиоволнового автодина. М.: Журнал Медицинская физика, 2013. – №4 (60). – С. 72-76 5 с.
20. Техника автодинного приема - <http://amfan.ru/avtodiny>.
21. Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Кащавцев Е.О. Определение формы пульсовой волны по сигналу полупроводникового лазерного автодина. Письма в ЖТФ. - Саратов, 2013. – Т 39, №5 – С. 82-87 6 с.
22. Усанов Д.А., Скрипаль Ал.В., Скрипаль Ан.В. Лазерные автодинные технологии для анализа нано- и биомедицинских систем. -Саратов, 2010.- 204 с.: ил. Электронное издание.
23. Усанов Д.А., Постельга А.Э., Дорошенко А.А. Восстановление сложного движения участка тела человека по сигналу радиоволнового автодина с использованием вейвлет-преобразований. Саратов: Журнал Медицинская физика, 2013. - № 1(57). – С. 78-84 7 с.
24. УДК 612.13—053.88/9:615.838 Бальнеотерапия и возраст/Ус А. Д.— Киев : Наук, думка, 1985.— 136 с.
25. УДК 615.849.19 И.А. Запорожко, В.И. Зубчук Возрастные нормы в пульсовой диагностике, Электроника и связь 5' Тематический выпуск «Электроника и нанотехнологии», 2010 142-147с
26. УДК 612.13—053.88/9:615.838 Бальнеотерапия и возраст/Ус А. Д.— Киев : Наук, думка, 1985.— 136 с.
27. Светлова Л. И. Омолаживающая гимнастика для сердца и сосудов. Изд. Питер. 2010 год, 176 стр.
28. Г.Ф.Коротько, В.М.Покровской, Физиология человека Том 1, Издательство «Медицина». 1997.