

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

Кафедра оптики и биофотоники

Оптические когерентные методы в офтальмологии

название темы выпускной квалификационной работы полужирным шрифтом

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 4 курса 4023 группы

направления 03.03.02 «Физика»
код и наименование направления

Институт физики

наименование факультета, института, колледжа

Ирицян Яков Константинович

фамилия, имя, отчество

Научный руководитель

Доцент, к.ф-м.н.

должность, уч. степень, уч. звание

13.06.2023 Акчурин Г.Г.

дата, подпись инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой

чл.-корр. РАН, д.ф-м.н., профессор

должность, уч. степень, уч. звание

13.06.2023 Тучин В.В.

дата, подпись инициалы, фамилия

Саратов 2023 год

Введение. В данной работе описываются оптические когерентные приборы, предназначенные для диагностики заболеваний глаза от переднего сегмента до сетчатки. Описывается история происхождения оптической когерентной томографии, как основного метода диагностики и визуализации сетчатки глаза, описывается её развитие и развитие методов сканирования и построения изображений. В работе проводится обзор современных оптических когерентных приборов, а поскольку причина возникновения и методы лечения некоторых глазных болезней, таких как глаукома и различные виды глазных эктазий не до конца понятны и изучены, то она имеет высокую степень актуальности, из-за описания методов исследования глазных заболеваний, причина возникновения которых, в частности, может находиться в сосудистой оболочке глаза или склере. Целью данной работы было оценить, может ли оптический когерентный метод быть использован в качестве основного метода диагностики и визуализации глаза, а также его способность выступать в качестве исследовательского метода для выяснения причин возникновения глазных болезней. Среди задач данной работы было описание современных оптических приборов, их метода работы, специализации и возможностей к диагностики и визуализации. Работа состоит из двух частей, теоретической и практической (обзор приборов). В теоритической части приводится краткая история возникновения оптической когерентной томографии (далее – ОКТ), принципы её сканирования построения изображений, их плюсы и минусы относительно друг друга. В практической части идёт описание приборов, их характеристики, методы работы, и способность к визуализации и диагностики.

Основное содержание работы. На протяжении более ста лет офтальмоскопия, предложенная Г. Гельмгольцем была единственным способом исследования глазного дна. Однако она, несмотря на свою широкую доступность, не всегда позволяла диагностировать ранние изменения в сетчатке глаза и зрительном нерве. В связи с этим происходили поиски новой технологии, которая позволила бы получать детальные изображения глазного дна, регистрировать и проводить анализ полученных изображений.

ОКТ как раз и стала такой технологией. ОКТ это метод диагностики, с помощью которого можно получать томографические срезы внутренних биологических систем, в том числе глаза, с высокой разрешающей способностью.

История развития ОКТ была неравномерной, первоначальный процесс длился десятилетия, а на более поздней стадии произошёл бурный взрыв. Начало развития началось в 1970-ых годах в массачусетском технологическом институте (МИТ), который закончил Гордон Фримен. Первые ОКТ изображения появились в начале 90-ых, а первые ОКТ приборы уже во второй половине 90-ых, а широкое распространение ОКТ в качестве основного метода диагностики произошло в начале 2000-ых, когда был применён новый метод получения изображений.

Временной метод построения изображений. В основе данного метода лежал интерферометр Майкельсона. Луч света от суперлюминесцентного диода (далее – СЛД), попадал на делитель луча, первый луч шёл на исследуемую область, а второй на подвижное опорное зеркало, положение которого регулировалось исследователем. После отражения луч возвращался к делителю, и фиксировался фотодетектором. У данного метода были существенные минусы, связанные с низкой скоростью сканирования. Из-за низкой скорости сканирования, увеличивалось время сканирования, а за больший промежуток времени глаз успевал совершить больше колебаний, которые приводили к ухудшению качества получаемого изображения.

Метод преобразования Фурье. Вторым этапом развития ОКТ стал спектральный метод построения изображений. Данный метод также был основан на интерферометр Майкельсона, однако в качестве источника света использовался широкополосный СЛД, который, после отражения от исследуемой области и от опорного, но уже зафиксированного зеркала, перед регистрацией высокоскоростной камерой, пространственно разлагался по спектру. После регистрации, сигнал проходил через преобразование Фурье и формировал изображение. Основными преимуществами данного метода были, во-первых – увеличенная скорость сканирования (400 А-сканов/сек. у временного против 40.000 А-сканов/сек. у спектрального), а во-вторых – возможность строить 3д изображения на основе полученных изображений.

Модуль улучшенной глубины изображения. Несмотря на свои преимущества, спектральный метод также имеет недостатки. Одним из таких недостатков является его ограниченность в визуализации сосудистой оболочки глаза. В связи с этим был предложен метод визуализации сетчатки сосудистой оболочки, называемый «Метод возникновения зеркальных артефактов из преобразования Фурье». Смысл метода заключался в расположения спектрального ОКТ прибора достаточно близко к глазу, и представлении воображаемой, условной «линии нулевой задержки». Рядом с этой линией строились два симметричных изображения, негативное и позитивное. Однако, чувствительность метода снижалась по мере отдаления исследуемых тканей от этой условной линии задержки.

Вторым методом визуализации сосудистой оболочки был метод с перестраиваемой длиной волны. Как и временной и спектральный методы, этот метод был основан на интерферометре Майкельсона, только в качестве источника света выступал лазер, длина волны в котором менялась с высокой скоростью в пределах определённой спектральной полосы, что позволяло упростить схему, так как на выходе больше не нужен был спектрометр. Свет после отражения от зеркала и исследуемой области фиксировался

светодиодом и проходил через математическое преобразование Фурье. В приоре используются два параллельных фотодетектора, благодаря чему скорость сканирования составляет 100.000 А-сканов/сек. Благодаря использованию лазера с более высокой длиной волны (1050 нм в данном методе против 850 нм в спектральном) визуализация сосудистой оболочки происходит лучшим образом, в связи с лучшим прохождением света через хрусталик глаза, и его меньшее рассеяние структурами хориоиды. По мимо этого имеет дополнительную функцию подавления Спекл-шумов, часто возникающих при построении ОКТ изображений, что уменьшает их качество, и значительно меньше зависит от расстояния от исследуемой области до условной линии задержки.

Практическая часть (Обзор приборов). Optovue Solix. Optovue Solix – это оптический когерентный томограф нового поколения разработанный компанией Optovue. В этом томографе используется спектральный метод построения. Solix предназначенный для диагностики заболеваний сетчатки глаза, также имеет возможности при работе с передним сегментом глаза. При работе с передним сегментом глаза Solix может проводить визуализацию переднего сегмента глаза в полном диапазоне, строить его карты пахиметрии (карты толщины роговицы и эпителия) и проводить диагностику на наличие разного вида эктазий. Помимо этого, также может строить ИК изображений глаза для оценки меймбомиевых желёз. Может менять глубину визуализации переднего сегмента глаза для оценки размеров хрусталика глаза, что помогает в планировании операций, связанных с катарктой. Основной функцией данного прибора является работа с сетчаткой глаза, её полная визуализация, а благодаря ОКТ-А модулю (оптическая когерентная томография – аниография), может визуализировать не только структуру сетчатки глаза, но и кровеносные сосуды сосудистой оболочки и склеры. Способен проводить 3д визуализацию сетчатки и строить карты толщины GCC (комплекса ганглиозных клеток).

Кроме этого, способен строить изображения фундуса (глазного дна) и проводить очистку спекл-шумов для лучшей визуализации.

Oculus Pentacam. Oculus Pentacam – это корнеотопографическая ротационная Шаймпфлюг камера, предназначенная для работы с передним сегментом глаза, и для проведения корнеотопографии (оценки топографии роговицы), кератопахиметрии (оценка толщины и кривизны роговицы), денситометрии (Оценка оптической плотности роговицы, её помутнения) и проводит оценку истинной оптической силы роговицы. Способен строить карты, основанные на данных вышеперечисленных измерений. Принцип работы данного прибора основан на принципе Шаймпфлюга, который, если кратко, заключается в расположении плоскости объектива камеры под определённым углом к плоскости изображения, что позволяет увеличить резкость и глубину одной части изображения и сделать размытыми другие части изображения. Сканирование происходит следующим образом, луч света от синего СЛД направляется на исследуемую область, затем возвращается и фиксируется находящейся под углом к лучу камерой, затем ротационная камера совершает поворот на определённый угол и повторяет сканирование. Таким образом делается от 25 до 50 фотографий (в зависимости от выбранного режима), на основе которых строятся 2д и 3д изображения переднего сегмента глаза с последующей диагностикой и оценкой патологий глаза. Особенностями данного прибора являются дисплей эктазий Белин Амброзио, который объединяет все данные о поверхностях роговицы, анализирует их прогрессию, изменение от сеанса к сеансу, и оценивает наличие эктазии или предрасположенности к ней на основе полученных данных. Второй особенностью является способность расчёта мощности интраокулярных линз (Искусственный хрусталик), в том числе факичных (Те, что имплантируются в глаз без удаления хрусталика), и широкая библиотека геометрий для подбора контактных линз с возможностью редактирования геометрии линзы под особенности клиента.

Oculus Corvis ST. Oculus Corvis ST – это бесконтактный офтальмологический тонометр, предназначенный для измерения внутриглазного давления (далее – ВГД), биомеханически скорректированного ВГД (далее – бВГД), биомеханических свойств роговицы и её пахиметрии. Принцип работы тонометра, как и корнеотопографа Pentacam, основан на принципе Шаймпфлюга. Само сканирование происходит следующим образом, на роговицы подаётся коллимированный воздушный импульс с постоянным давлением, под воздействием импульса роговицы изгибаются внутрь, а затем возвращается в первоначальное положение. На протяжении всего процесса деформации Шаймпфлюг камера фиксирует изображения и на их основе рассчитывает биомеханические свойства роговицы. Может проводить интеграцию с данными прибора Pentacam для улучшенной диагностики эктазий глаза и катаракты и для расчёта бВГД для диагностики ГНД.

Заключение. В данной работе проводится историческая справка и описание методов построения изображений в современных ОКТ приборах. Помимо этого, описаны другие оптические когерентные приборы и их принцип работы и метод сканирования. Описаны их специализации и возможности к диагностике глазных заболеваний и визуализации глаза. Проведена оценка пригодности оптических когерентных методов для данных задач и их возможность проводить интеграцию с альтернативными методами, такими как аниография, для лучшего выполнения поставленных задач.

*Ириченко Я.К.
13.06.2025*