

На правах рукописи

Дорофеев Дмитрий Александрович

**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АЛГОРИТМА
РАННЕЙ ДИАГНОСТИКИ НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ
ПЕРВИЧНОЙ ОТКРЫТОУГОЛЬНОЙ ГЛАУКОМЫ**

3.1.5. Офтальмология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Москва – 2025

Работа выполнена на кафедре офтальмологии Академии постдипломного образования Федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий Федерального медико-биологического агентства» (АПО ФГБУ ФНКЦ ФМБА России), г. Москва.

Научный руководитель:

доктор медицинских наук, доцент **Куроедов Александр Владимирович**

Официальные оппоненты:

Бржеский Владимир Всеволодович, доктор медицинских наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, заведующий кафедры офтальмологии

Арутюнян Лусине Левоновна, доктор медицинских наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение дополнительного образования «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, профессор кафедры офтальмологии

Ведущая организация:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»

Защита состоится «16» апреля 2025 г. в 14-00 часов на заседании диссертационного совета 68.1.010.01 при ФГБУ ФНКЦ ФМБА России по адресу: 125371, Москва, Волоколамское шоссе, д. 91.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Академии постдипломного образования ФГБУ ФНКЦ ФМБА по адресу: 125371, Москва, Волоколамское шоссе, д. 91 и на сайте диссертационного совета <http://medprofedu.ru>

Автореферат разослан « ____ » _____ 2025 г.

Ученый секретарь диссертационного совета

доктор медицинских наук, профессор

Полунина Елизавета Геннадьевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность и степень разработанности темы

Глаукома является одной из основных причин необратимой слепоты, при этом распространенность заболевания увеличивается с каждым годом. Высокая социальная значимость глаукомы с учетом инвалидизации населения из-за первичной открытоугольной глаукомы (ПОУГ) определяют актуальность проведения на современном этапе развития офтальмологии комплексных исследований, направленных на разработку методов ранней диагностики данной патологии органа зрения (Куроедов А.В. с соавт., 2022; Егоров Е.А. с соавт., 2023; Hashimoto Y. et al., 2021; Huang J. et al., 2022; Xiong J. et al., 2022).

Накопленный опыт офтальмологической практики свидетельствует о системных (пожилой возраст, наличие семейного анамнеза, сердечно-сосудистые заболевания и др.) и локальных (миопия высокой степени, уменьшенная толщина роговицы в центральной оптической зоне, увеличенное соотношение диаметра экскавации диска зрительного нерва к размеру ДЗН, повышенный показатель среднеквадратичного отклонения средней светочувствительности сетчатки и др.) факторах риска возникновения/развития глаукомы (Brandt J.D. et al., 2001; Gordon M. et al., 2002; Kass M. et al., 2002; Kymes S. et al., 2006).

В этой связи следует также подчеркнуть, что ключевым фактором риска в развитии открытоугольной глаукомы является неустойчивый и/или повышенный уровень внутриглазного давления (ВГД). В то же время важным фактором развития и прогрессирования ПОУГ представляется возникновение псевдоэкзофолиативного синдрома (ПЭС), часто приводящего к формированию псевдоэкзофолиативной глаукомы (ПЭГ). Наряду с этим, необходимо отметить, что у значительной части пациентов заболевание продолжает прогрессировать даже при так называемом «нормализованном» уровне офтальмотонуса, что указывает на возможное влияние других факторов риска, в том числе связанных с гемодинамическими нарушениями (Егоров Е.А. с соавт., 2011; Баранов В.И. с соавт., 2012; Курышева Н.И. с соавт., 2016, 2019, 2023, 2024).

Проведенный анализ литературных данных свидетельствует о разработке ряда математических моделей, рассматривающих различные аспекты диагностики и прогнозирования течения ПОУГ. В частности, определены предполагаемый возраст и срок наступления слепоты для пациентов с различными стадиями глаукомы (Авдеев Р.Ф. с соавт., 2014); вероятность определения отсутствия/подозрения/наличия заболевания (Куроедов А.В. с соавт., 2017); прогнозирование течения и значимость нарушений ретинальной микроциркуляции как предикторов прогрессирования глаукомной оптической нейропатии (Курышева Н.И. с соавт., 2004; Курышева Н.И., Шаталова Е.О., 2022);

прогнозирование развития глаукомы нормального давления (Park H.L. et al. 2021); оценка морфофункциональных изменений в определении прогрессирования начальной стадии первичной глаукомы (Курышева Н.И., Лепешкина Л.В., 2021); оценка влияние на состояние поля зрения интенсивной начальной стратегии лечения, направленной на снижение ВГД (Bengtsson B. et al., 2024) и некоторые другие.

Необходимо отметить, что, несмотря на значимость, предлагаемые математические модели характеризуются рядом особенностей, существенно снижающих их клинко-диагностическую эффективность и практическое применение. При этом основным недостатком является отсутствие комплексного подхода к набору исходных параметров, основанного как на обследовании пациентов с различными формами заболевания (ПОУГ, ПЭГ, псевдоэксфолиативная глаукома на одном глазу и отсутствие заболевания на парном глазу который и был взят в исследование, офтальмогипертензия) и пациентов без офтальмологической патологии, так и с учетом клинко-демографических, структурно-функциональных и гемодинамических показателей зрительной системы.

Цель работы

Разработка автоматизированного алгоритма ранней диагностики глаукомы, основанного на статистическом исследовании клинко-демографических показателей, структурно-функциональных и гемодинамических характеристик зрительной системы.

Основные задачи работы:

1. Провести сравнительную оценку клинко-демографических, структурно-функциональных и гемодинамических показателей у пациентов с псевдоэксфолиативной глаукомой на одном глазу и отсутствием заболевания на парном глазу, который и был взят в исследование («ПЭГ-»), начальной стадией ПОУГ, ПЭГ, офтальмогипертензией (ОГ), а также пациентов без офтальмологической патологии.
2. Определить практическую значимость (с позиции ранней диагностики и прогнозирования развития глаукомного процесса) исследования параметров зрительной системы у пациентов с «ПЭГ-».
3. Определить наиболее информативные диагностические критерии, практическое применение которых обеспечивает раннюю диагностику ПОУГ.
4. Разработать (на основании математической модели с достаточными уровнями чувствительности и специфичности) автоматизированный алгоритм ранней диагностики начальной стадии ПОУГ, включающий наиболее информативные клинко-демографические, а также структурно-функциональные и гемодинамические показатели зрительной системы.

Основные положения, выносимые на защиту диссертационной работы

1. Разработанный (на основании математической модели) автоматизированный алгоритм, включающий наиболее информативные клинико-демографические (мужской пол, артериальная гипер- или гипотензия), структурно-функциональные (среднее отклонение светочувствительности сетчатки, толщина слоя нервных волокон сетчатки) и офтальмологические гемодинамические показатели (максимальная, минимальная скорости кровотока и пульсовой индекс в латеральных задних коротких цилиарных артериях) зрительной системы, характеризуется достаточно высоким уровнем чувствительности и специфичности в ранней диагностике первичной открытоугольной глаукомы.
2. Особенности зрительного анализатора пациентов с наличием псевдоэкссфолиативной глаукомы на одном глазу и отсутствием заболевания на парном глазу, который был взят в исследование, характеризуются увеличением показателей гемодинамики в глазной артерии, центральной артерии и центральной вене сетчатки, предшествующим сохранным морфо-функциональным значениям зрительной системы (параметры светочувствительности сетчатки и толщина СНВС).

Научная новизна работы

Впервые в офтальмологической практике на основании наиболее информативных клинико-демографических, структурно-функциональных и гемодинамических показателей зрительной системы разработан автоматизированный алгоритм, обеспечивающий с точностью 83,8% первичную диагностику начальной стадии ПОУГ (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Калькулятор вероятности глаукомы» (от 20.06.2018, № 20186195523).

Определено (на основании математической модели), что наиболее значимыми предикторами развития ПОУГ являются уровень ВГД, 10, 5, 15 м ($Z=5,6; 2,1; 2,1$ соответственно), MD ($Z=-3,06$), мужской пол ($Z=-3,06$), артериальная гипер или гипотензия ($Z=2,9; 2,6$ соответственно), $V_{\min_лЗКЦА}$ ($Z=2,7$), СНВС ($Z=2,3$), $V_{\max_лЗКЦА}$ ($Z=-2,2$), ЦТР ($Z=2,2$), эластоподъем ($Z=2,1$), R ($Z=1,9$).

Установлено увеличение показателей гемодинамики (V_{\max} и V_{\min}) в глазной артерии при разных формах глаукомы, выраженные в повышении показателей, как при ПЭГ ($31,2 \pm 10,1$ и $7,3 \pm 5,2$ см/сек) так и при «ПЭГ-» ($30,4 \pm 9,3$ и $6,7 \pm 4,0$ см/сек) по сравнению с данными группы ПОУГ ($29,2 \pm 9,0$ и $6,0 \pm 2,6$ см/сек), при этом V_{\max} p ПОУГ/ПЭГ=0,028; V_{\min} p ПОУГ/ПЭГ=0,001; p ПОУГ/«ПЭГ-» =0,07).

Выявлено, что в группе пациентов «ПЭГ-» отмечаются сопоставимые с нормой показатели светочувствительности сетчатки и толщины СНВС, но при этом при сравнении с группами ПОУГ ($p_{MD}=0,0130$; $p_{снвс}=0.0014$) и ПЭГ ($p_{MD}=0,00535$; $p_{снвс}=1.97e-06$) эти же показатели более сохранены в группе «ПЭГ-», а также увеличение показателей гемодинамики в глазной артерии (V_{max} и $V_{min} = 30,4\pm 9,3$ и $6,7\pm 4,0$ см/сек) по сравнению с данными группы ПОУГ ($29,2\pm 9,0$, $p=0,028$ и $6,0\pm 2,6$ см/сек, $p=0,07$).

Теоретическая значимость работы Определены наиболее информативные диагностические критерии (мужской пол, длительность наблюдения, ВГД до старта терапии (10 г), MD (на момент исследования), S_СНВС.ОСТ (на момент исследования), Ri.ЦВС (на момент исследования), $V_{min_лЗКЦА}$, ЦТР (на момент исследования), артериальная гипертензия, артериальная гипотония, соматическая патология (прочее), диастолический уровень АД, пульсовое давление, уровень ВГД (5г, на момент исследования), ПЭС), практическое применение которых обеспечивает дифференциальную раннюю диагностику пациентов с ПОУГ.

Практическая значимость работы заключается в разработке «онлайн-калькулятора вероятности глаукомы» (<https://sites.google.com/view/glausomacalc>, свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ от 20.06.2018, №20186195523) в целях прогнозирования вероятности развития глаукомы на основе параметров гемодинамики зрительной системы.

Методология и методы исследования

В работе использован комплексный подход к оценке результатов, основанный на применении клинико-демографических, структурно-функциональных и гемодинамических показателей зрительной системы пациента.

Степень достоверности результатов

Степень достоверности результатов исследования основывается на адекватных и апробированных методах сбора клинического материала (336 пациентов, 586 глаз), с помощью современных диагностических методов и методов статистической обработки.

Внедрение работы

Результаты исследования внедрены в учебный процесс кафедр глазных болезней ФГБУ ВО «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, ФГБУ ВО «Омский государственный медицинский университет» Минздрава России, ФГБУ ВО «Курский государственный медицинский университет» Минздрава России, ГОУ ВПО «Ивановская государственная медицинская академия» Минздрава России, а также в клиническую практику отделение офтальмологии МАУЗ «Городская клиническая больница №2», г. Челябинска.

Апробация и публикация материалов исследования

Основные результаты исследования доложены и обсуждены на VII всемирном глаукомном конгрессе (Хельсинки, Финляндия, 2017), XIV Всероссийской научной конференции молодых ученых «Актуальные проблемы офтальмологии» (Москва, 2017), XVI-XX ежегодных конгрессах Российского глаукомного общества (Москва, 2018-2022), XXIX Всероссийской научно-практической конференции «Оренбургская конференция офтальмологов» (Оренбург, 2018), XXVI научно-практической конференции офтальмологов (Екатеринбург, 2018), «Ерошевских чтениях» (Самара, 2022), I Дальневосточном офтальмологическом саммите (Владивосток, 2022), конференции «Диагностика и лечение глаукомы» (Екатеринбург, 2023).

Диссертация апробирована на кафедре офтальмологии Академии постдипломного образования ФГБУ ФНКЦ ФМБА России (20.11.2024 г).

Материалы диссертации представлены в 13 научных работах, в том числе в 9 статьях, опубликованных в определенных ВАК РФ ведущих рецензируемых научных журналах.

Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Калькулятор вероятности глаукомы» (№ 20186195523 от 20.06.2018).

Структура диссертации

Диссертация изложена на 116 страницах машинописного текста. Состоит из введения, обзора литературы, главы «Материалы и методы исследования», главы «Результаты исследования и их обсуждение» (включающей 6 разделов), заключения, выводов, практических рекомендаций, списка сокращений и списка литературы. Работа иллюстрирована 19 таблицами и 20 рисунками. Список литературы содержит 172 источника, из них - 65 российских и 107 – иностранных авторов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Материал и методы исследования

Исследование выполнялось в период 2017-2022 гг. на базах ГБУЗ «Областная клиническая больница №3» (г. Челябинск), офтальмологической клинике «Перспектива» (г. Челябинск), медицинского центра «Кемма» (г. Челябинск). Все пациенты предоставили добровольное информированное согласие на проведение исследования и лечение в письменной форме. Исследование было одобрено этическим комитетом ФГБОУ ВО ЮУГМУ Минздрава России.

Под нашим наблюдением находилось 336 пациентов (586 глаз), включая 289к женщины (83%) и 47 мужчин (17%). Средний возраст пациентов варьировал от 62,8 до 74,5 лет и в среднем составил $67,8 \pm 8,7$ года. Основными общими критериями включения

пациентов в исследование являлись: наличие ПОУГ или ПЭГ, или ОГ, или «ПЭГ-» (контрлатеральные глаза пациентов с односторонней ПЭГ с открытым углом передней камеры, или пациенты без офтальмологической патологии; возраст на момент включения в исследование – от 45 до 89 лет; клиническая рефракция в диапазоне $\pm 6,0$ дптр и астигматизм $\pm 3,0$ дптр; величина передне-задней оси глаза не более 26 мм; любой режим местной антиглаукомной гипотензивной терапии.

Общими критериями невключения пациентов в исследование являлись: альтернативные формы глаукомы; выраженные помутнения оптических сред, препятствующие выполнению периметрических исследований; заболевания сетчатки (возрастная макулярная дегенерация, состояния после окклюзий сосудов сетчатки, диабетическая ретинопатия и др.); оперативное офтальмологическое лечение в анамнезе, травмы и заболевания органа зрения, затрудняющие проведение тонометрии по Маклакову; общие заболевания, требующие гормональной терапии (бронхиальная астма и хроническая обструктивная болезнь легких).

В соответствии с целью и основными задачами исследования все пациенты были разделены на следующие 5 групп: ПОУГ (140 глаз), ПЭГ (104 глаза), ОГ (116 глаз), без офтальмологической патологии «Норма» (125 глаз), «ПЭГ-» (101 глаз). При этом специфическими критериями включения в каждую из групп являлись:

- группа ПОУГ – начальная стадия глаукомы с центральным дефектом дугообразной и/или серповидной формы, расположенного в височной части, имеет четкую границу вдоль горизонтального шва; дефект ГКС соответствует дефекту СНВС, отсутствие клинических проявлений ПЭС, уровень ВГД более 25 мм рт.ст. по Маклакову до назначения лечения;
- группа ПЭГ - начальная стадия глаукомы с центральным форма дефектом дугообразной и/или серповидной формы, расположенного в височной части, имеет четкую границу вдоль горизонтального шва; дефект ГКС соответствует дефекту СНВС, клинические проявления ПЭС на одном или обоих глазах, уровень ВГД более 25 мм рт.ст. по Маклакову до назначения лечения;
- группа ОГ - стойко повышенный уровень ВГД более 25 мм рт.ст. по Маклакову до назначения лечения (если оно было назначено), отсутствие типичных для глаукомы структурных и периметрических дефектов, отсутствие клинических проявлений ПЭС;
- группа Норма - уровень ВГД менее 25 мм рт.ст. по Маклакову, отсутствие типичных для глаукомы структурных и периметрических дефектов, отсутствие клинических проявлений ПЭС.

- группа «ПЭГ-» - парный глаз пациента с односторонней ПЭГ, который и взят в исследование, в котором уровень ВГД менее 25 мм рт.ст. по Маклакову, отсутствие типичных для глаукомы структурных и периметрических дефектов, отсутствие клинических проявлений ПЭС.

Комплексное офтальмологическое обследование пациентов выполнялось по следующим методикам: визометрия (таблица Сивцева-Головина, Россия); тонометрия (тонометр Маклакова с грузами 5,0; 10,0 и 15,0 г., Россия); офтальмоскопия, биомикроскопия, гониоскопия (рабочее место офтальмолога «Торсон IS 600», Япония); периметрия (компьютерный периметр «Centerfield II», Германия); спектральная оптическая когерентная томография (томограф «Spectralis OCT», Германия); конфокальная сканирующая лазерная офтальмоскопия (аппарат «Heidelberg Retina Tomograph», Германия); ультразвуковое цветное доплеровское картирование сосудов глаза (ультразвуковой сканер «Toshiba Aplio XG», Япония с оценкой показателей ГА, ЦАС, ЦВС, мЗКЦА, лЗКЦА, Vmax, Vmin, Ri).

По результатам обследования применительно к каждому пациенту во всех группах были определены клинико-демографические (длительность заболевания, наличие/отсутствие глаукомы у родственников, среднее ВГД (не менее 6 измерений), структурно-функциональные (MD, PSD, размер ДЗН, ПЗО, толщина слоя нервных волокон сетчатки в различных сегментах) и гемодинамические (Vmax, Vmin, Pi, Ri в ГА, ЦАС, ЦВС, ЗКЦА) показатели. При этом всего у каждого пациента было исследовано 120 показателей зрительной системы.

Статистическая обработка результатов проводилась в среде «RStudio» версии 1.1.463.0, используя язык программирования R версии 3.5.2 (Вена, Австрия). Для проверки нормальности распределения применялся тест Шапиро-Уилка, гомогенность дисперсий оценивалась с помощью теста Бартлетта. Данные были представлены в виде $M \pm \sigma$ и Me (Q25%; Q75%), где M обозначает среднее значение, σ — стандартное отклонение, Me — медиана, а Q25% и Q75% — первый и третий квартили соответственно. При нормальном распределении параметров для сравнения двух независимых групп применялся t-критерий Стьюдента. В случаях, когда распределение параметров отличалось от нормального, использовался критерий Уилкоксона для попарных сравнений. Для анализа данных наблюдений с учетом различий в возрасте участников применялся ковариационный анализ с поправкой Тьюки для множественных сравнений. При оценке различий эмпирического распределения номинативных данных по сравнению с теоретическим для двумерных таблиц сопряженности использовался критерий χ^2 Пирсона. Для анализа взаимосвязи между переменными при нормальном распределении использовался коэффициент

корреляции Пирсона. В случаях, когда распределение отклонялось от нормального, применялся коэффициент корреляции Спирмена. Для исследования связи между различными признаками и определения наиболее значимых предикторов применялась биномиальная логистическая регрессия, при этом разработка модели выполнялась на основе однофакторного дисперсионного анализа методом пошагового исключения (ANOVA). Критический уровень значимости (p) для проверки статистических гипотез и при сравнении нескольких групп был установлен на уровне $<0,05$. Для коррекции влияния множественных сравнений на вероятность ошибки I рода использовалась поправка Бенферрони.

Результаты работы и их обсуждение

Результаты сравнительной оценки клинико-демографических, структурно-функциональных и гемодинамических показателей зрительной системы в экспериментальной и контрольных группах пациентов

Результаты сравнительной оценки возраста пациентов и индексов светочувствительности сетчатки в исследуемых группах пациентов представлены в Таблице 1.

Таблица 1 - Возраст пациентов и индексы светочувствительности сетчатки в исследуемых группах пациентов ($M \pm \sigma$)

Диагноз	Возраст (лет)	MD (dB)	PSD (dB)
ПОУГ (n=140)	69,7±9,0	-2,15±2,94	3,53±1,34
ПЭГ (n=104)	71,2±6,6	-2,40±3,59	3,73±1,62
ОГ (n=116)	64,3±8,4	-0,27±1,39	2,52±0,89
Норма (n=125)	63,7±8,3	-1,07±1,95	2,76±1,03
«ПЭГ-» (n=101)	70,2±7,3	-1,26±2,38	3,12±1,08
p между группами	p ПОУГ vs ПЭГ=0,16 p ПОУГ vs ОГ= 4,063e-07 p ПОУГ vs N= 2,844e-08 p ПОУГ vs «ПЭГ-»=0,92 p ПЭГ vs ОГ= 5,373e-11 p ПЭГ vs N= 5,39e-12 p ПЭГ vs «ПЭГ-»=0,26 p ОГ vs N=0,43 p ОГ vs «ПЭГ-»= 8,466e-06 p N vs «ПЭГ-»= 1,744e-06	p ПОУГ vs ПЭГ=0,71024 p ПОУГ vs ОГ=1 p ПОУГ vs N=0,99298 p ПОУГ vs «ПЭГ-»= 0,0130 p ПЭГ vs ОГ=1 p ПЭГ vs N=0,99717 p ПЭГ vs «ПЭГ-»= 0,00535 p ОГ vs N= 0,00578 p ОГ vs «ПЭГ-»=0,95600 p N vs «ПЭГ-»=0,39978	p ПОУГ vs ПЭГ=0,10876 p ПОУГ vs ОГ= 1,53e-09 p ПОУГ vs N= 2,17e-05 p ПОУГ vs «ПЭГ-»=0,9744 p ПЭГ vs ОГ= 2,76e-11 p ПЭГ vs N= 5,36e-07 p ПЭГ vs «ПЭГ-»=0,99755 p ОГ vs N=0,97453 p ОГ vs «ПЭГ-»= 0,00271 p N vs «ПЭГ-»=0,09936

Представленные в Таблице 1 данные свидетельствуют, что пациенты с ОГ и Норма оказались моложе и обладали более высокими показателями СС по сравнению с пациентами групп ПОУГ, ПЭГ и «ПЭГ-». Принимая во внимание возраст пациентов, ковариационный анализ выявил, что в группе «ПЭГ-» было зафиксировано более значительное отклонение средней СС на ранних этапах заболевания в сравнении с группами ПОУГ и ПЭГ, при р-значениях 0,0130 и 0,00535 соответственно. У пациентов с ОГ наблюдалось более выраженное снижение средней СС по сравнению с группой Нормы. Статистический анализ показал различия между группами ПОУГ и «ПЭГ-» ($p=0,013$), а также между ПЭГ и «ПЭГ-» ($p=0,00535$). Кроме того, было установлено, что показатель среднего уменьшения СС у пациентов с ОГ был статистически значимо выше, чем в группе Нормы ($p=0,00578$), что подтверждает наличие более выраженного нарушения функции сетчатки у данной категории пациентов. По показателю среднеквадратичного отклонения среднего уровня снижения СС были выявлены статистически значимые различия между всеми группами с диагнозом глаукомы по сравнению с группами без диагноза глаукомы. Также было обнаружено, что в группе ОГ данный показатель был меньше, чем в группе «ПЭГ-», что соответствует ожиданиям, поскольку среднеквадратичное отклонение среднего уровня снижения СС обладает большей диагностической значимостью при начальных периметрических дефектах, характерных для глаукомы.

Наряду с этим, установлено, что показатель толщины СНВС был меньше в группах ПОУГ ($90,2 \pm 15,6$ мкм), ПЭГ ($85,64 \pm 18,86$ мкм) по сравнению с «ПЭГ-» ($96,8 \pm 13,4$ мкм, $r_{\text{ПОУГ/«ПЭГ-»}}=0,0026$; $r_{\text{ПЭГ/«ПЭГ-»}}=1,97e-06$), но у лиц группы «ПЭГ-» был, в среднем, ниже по сравнению с «нормой» ($98,4 \pm 11,8$ мкм) и ОГ ($96,9 \pm 9,1$ мкм).

Результаты сравнительной оценки гемодинамических показателей в глазной артерии (ГА) в различных группах пациентов представлены на рисунке 1.

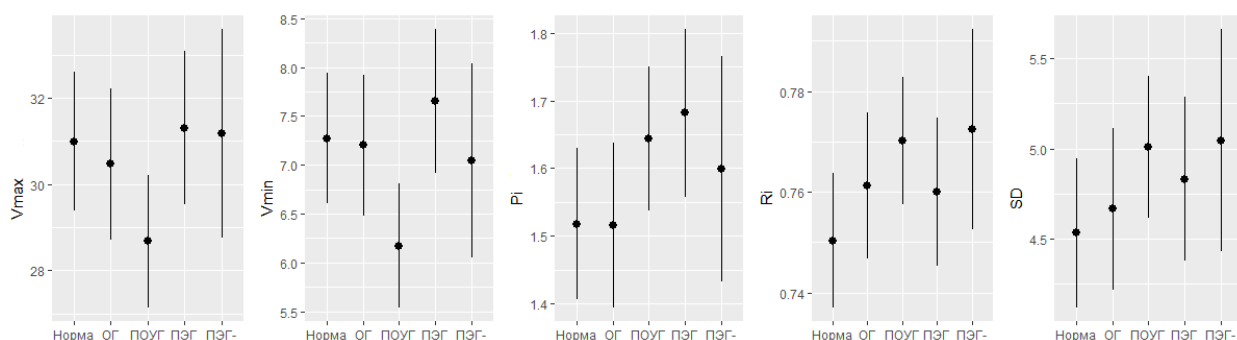


Рисунок 1 - Результаты сравнительной оценки гемодинамических показателей в глазной артерии в различных группах пациентов

Представленные на рисунке 1 данные свидетельствуют о статистически значимых отличиях показателей гемодинамики ГА при разных формах глаукомы, выраженных в повышении V_{\max} и V_{\min} , как при ПЭГ ($31,2 \pm 10,1$ и $7,3 \pm 5,2$ см/сек) так и при «ПЭГ-» ($30,4 \pm 9,3$ и $6,7 \pm 4,0$ см/сек) по сравнению с данными группы ПОУГ ($29,2 \pm 9,0$ и $6,0 \pm 2,6$ см/сек), при этом V_{\max} $P_{\text{ПОУГ/ПЭГ}}=0,028$; V_{\min} $P_{\text{ПОУГ/ПЭГ}}=0,001$; $P_{\text{ПОУГ/«ПЭГ-»}}=0,07$), которые, вместе с тем, были сопоставимы с данными других групп (ОГ $30,4 \pm 8,4$ и $7,4 \pm 3,0$ см/сек) и Норма ($31,0 \pm 10,1$ и $7,5 \pm 3,4$ см/сек).

При сравнении показателей гемодинамики в ГА между пациентами групп с ПЭГ и «ПЭГ-» (в контрлатеральном глазу) были получены сопоставимые показатели ($p > 0,05$). Кроме того, определено, что скоростные характеристики V_{\max} в ЦАС и ЦВС были выше при «ПЭГ-» (ЦАС – $P_{\text{ПОУГ/«ПЭГ-»}}=0,09$; ЦВС - $P_{\text{ПОУГ/«ПЭГ-»}}=0,05$).

Обсуждая представленные результаты, следует отметить, что в исследовании, Nagaoka T. et al. (2021), было установлено, что у пациентов с глаукомой снижены показатели перфузионного давления зрительного нерва по сравнению с контрольной группой без глаукомы. Это указывает на сниженное кровоснабжение, что может привести к ишемии и повреждению нервной ткани. Напротив, пациенты с офтальмогипертензией не показывают таких значительных изменений, что может свидетельствовать об иных механизмах патогенеза этой группы пациентов (Liao Y. et al. 2020). Альтернативные исследования выявили, что у пациентов с нормальным уровнем ВГД сохраняется адекватное глазное перфузионное давление, что способствует защите нервной ткани от повреждений (Wang F. et al., 2020). Это подчеркивает важность оценки гемодинамических параметров не только у пациентов с глаукомой, но и у тех, кто имеет нормальное глазное давление или офтальмогипертензию. Гемодинамические различия между пациентами с глаукомой, офтальмогипертензией и здоровыми людьми отражают важные особенности в патофизиологии этих состояний. Глаукома ассоциируется с изменениями кровоснабжения зрительного нерва, что проявляется снижением плотности сосудов и снижением перфузии в области зрительного нерва и сетчатки. Наряду с этим, было выявлено, что у пациентов с глаукомой наблюдается значительное снижение толщины слоя нервных волокон сетчатки и макулы по сравнению со здоровыми контрольными группами, что связано с более высокими значениями ВГД и снижением плотности сосудов в области диска зрительного нерва и периферической макулы (Fabczak-Kubicka A., et al., 2024). Таким образом, различия в гемодинамике между пациентами с глаукомой и контрольной группой, а также пациентами с офтальмогипертензией, подчеркивают важность индивидуализированного подхода к лечению и мониторингу этих состояний.

Результаты исследования характеристик зрительной системы у пациентов с «ПЭГ-»

Проведенный анализ исследования характеристик зрительной системы у пациентов с «ПЭГ-» по сравнению с другими 4 группами пациентов позволил сформулировать следующие основные положения:

- более значительные отличия, по сравнению с нормальными значениями светочувствительности сетчатки и толщины СНВС на ранних этапах заболевания в сравнении с группами ПОУГ ($p_{MD}=0,0130$; $p_{снвс}=0,0014$) и ПЭГ ($p_{MD}=0,00535$; $p_{снвс}=1.97e-06$);
- наличие статистически значимой тенденции к гиперметропической рефракции по сравнению с группой ПОУГ (на 0,75 дптр., $p=0,003$);
- наличие статистически незначимой ($p>0,05$) тенденции к снижению показателя толщины СНВС ($96,8\pm 13,4$ мкм) по сравнению с группой «Норма» ($98,4\pm 11,8$ мкм) и ОГ ($96,9\pm 9,1$ мкм);
- увеличение показателей гемодинамики в глазной артерии (V_{max} и $V_{min} = 30,4\pm 9,3$ и $6,7\pm 4,0$ см/сек соответственно) по сравнению с данными группы ПОУГ ($29,2\pm 9,0$, $p=0,028$ и $6,0\pm 2,6$ см/сек, $p=0,07$);

Обсуждая в целом полученные результаты, следует подчеркнуть, что полученные данные, касающиеся группы пациентов «ПЭГ-» представляются, по данным анализа современной литературы, новыми. Между тем, данная группа представляет особый интерес вследствие отсутствия верифицированного диагноза «глаукома» на парном глазу, при наличии ПЭГ в контрлатеральном, и ПЭС (как одного из факторов риска развития глаукомного процесса). Наряду с этим, в группе «ПЭГ-» наблюдаются наиболее сохраненные показатели структурно-функциональных характеристик. Это указывает, что на начальном этапе структурно-функциональные характеристики не могут служить надежными маркерами для диагностики и прогнозирования развития глаукомного процесса, что особенно важно для пациентов с ОГ и «ПЭГ-».

Полученные в рамках настоящей работы данные показывают, что структурно-функциональные и гемодинамические изменения наблюдаются даже в здоровых глазах пациентов с односторонней глаукомой, что свидетельствует о системном влиянии ПЭС на глаукомный процесс. В частности, у здорового глаза таких пациентов часто выявляют уменьшение толщины СНВС и макулы, а также сниженную плотность сосудов. Эти изменения можно наблюдать с помощью оптической когерентной томографии с ангиографией, которая позволяет визуализировать микроциркуляцию и сосудистую плотность. Согласно исследованиям, снижение плотности сосудов указывает на начальные

признаки патологии, несмотря на отсутствие клинически выраженной глаукомы (Lee S.H. et al., 2020; Johnson C.A. et al., 2021).

Снижение перфузии в области ДЗН и перипапиллярной зоны также отмечено в здоровых глазах пациентов с односторонней глаукомой, что может быть связано с компенсаторными механизмами, которые стремятся стабилизировать кровоток, но в то же время приводят к уменьшению сосудистой плотности и снижению кровоснабжения в поражённых областях. Гемодинамические нарушения, такие как уменьшение кровотока в ДЗН и сетчатке, могут отражать начальные признаки глаукомы в здоровых глазах и предсказывать развитие заболевания в дальнейшем (Garcia J.M. et al., 2021).

Функциональные изменения в здоровом глазу у пациентов с односторонней глаукомой часто проявляются снижением амплитуды зрительных вызванных потенциалов и паттерн электроэнцефалографии, что указывает на нарушения в активности ганглиозных клеток. Эти изменения могут возникать раньше видимых структурных повреждений и служить индикаторами начальных нарушений функции зрительных нервов. Такой подход позволяет выявлять скрытые признаки глаукомы на ранних стадиях, что может быть полезным для предупреждения её прогрессирования (Miller R. et al., 2023).

Таким образом, наблюдение структурных, функциональных и локальных гемодинамических изменений в здоровых глазах пациентов с односторонней глаукомой подчеркивает важность комплексного подхода к диагностике сосудистой перфузии и структурно-функциональных характеристик, что обеспечит прогнозирование развития глаукомы на более ранних стадиях.

Результаты определения наиболее информативные диагностических критериев, практическое применение которых обеспечивает дифференциальную диагностику пациентов с глаукомой

Комплексный анализ результатов клинико-демографических, структурно-функциональных и гемодинамических показателей зрительной системы всех групп пациентов (всего 120 показателей) выполнялся на основании стандартного однофакторного дисперсионного анализа, в процессе которого «шаг за шагом» оценивалась точность математической модели при включении в нее каждого из параметров с учетом определения уровня клинической значимости и статистической достоверности. Результаты анализа представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Полная модель биномиальной логистической регрессии вероятности развития глаукомы

	Коэффициент	Стандартная ошибка	Z-значение	Достоверность, p	
Норма	-18,6	731,0	-0,02	0,9	
Мужской пол	1,2	0,5	2,3	0,01	*
Длительность наблюдения	0,1	0,05	3,1	0,001	**
ВГД (до старта терапии (10 г))	0,4	0,08	5,6	0,00000001	***
ЦТР (до старта терапии)	0,02	0,01	1,9	0,06	.
MD	-0,3	0,1	-3,06	0,002	***
PSD	0,2	0,1	1,6	0,1	.
mean_СНВС.ОСТ	-0,1	0,04	-2,3	0,01	*
I_СНВС.ОСТ	0,03	0,01	1,6	0,09	.
N_СНВС.ОСТ	0,03	0,02	1,5	0,1	.
T_СНВС.ОСТ	0,04	0,01	2,4	0,01	*
Vmax.ЦАС	0,08	0,05	1,5	0,1	.
Ri.ЦВС	-4,8	1,7	-2,7	0,006	**
Vmax_лЗКЦА	-0,1	0,06	-2,2	0,02	*
Vmin_лЗКЦА	0,5	0,1	2,7	0,006	**
Pi_мЗКЦА	0,4	0,4	0,9	0,3	
ЦТР	-0,03	0,01	-2,2	0,02	*
Артифакция	18,6	731,0	0,02	0,9	
ВМД	0,7	0,4	1,5	0,1	.
Катаракта	17,8	731,0	0,0	0,9	
Офтальмологическая патология (прочее)	16,1	731,0	0,02	0,9	
Артериальная гипертензия	-2,6	0,9	-2,9	0,003	**
Артериальная гипотония	-2,7	1,06	-2,6	0,008	**
Соматическая патология (прочее)	-1,6	0,9	-1,8	0,06	.
Диастолический уровень АД	-0,09	0,02	-3,09	0,001	**
Уровень ВГД (5 г)	35,4	16,6	2,1	0,03	*
Уровень ВГД (15 г)	-35,4	16,6	-2,1	0,03	*
Эластоподъем	35,4	16,6	2,1	0,03	*
Рефракция	-0,16	0,08	-1,9	0,04	*
Пульсовое давление	0,05	0,02	2,08	0,03	*
ПЭС	0,4	0,3	1,04	0,2	

Примечания: p-уровень значимости: *- <0,05; **- <0,01; ***- 0,001.
 Норма-пациенты без сопутствующей офтальмологической и соматической патологии, без ПЭС.
Жирным шрифтом выделены наиболее значимые предикторы с учетом определения уровня клинической значимости и статистической достоверности.

Представленные данные свидетельствуют, что наиболее значимыми предикторами развития глаукомы являются уровень ВГД, 10, 5, 15 м ($Z=5,6;2,1;2,1$ соответственно), MD ($Z=-3,06$), мужской пол ($Z=-3,06$), артериальная гипер- или гипотензия ($Z=2,9;2,6$ соответственно), Vmin_лЗКЦА ($Z=2,7$), толщина СНВС ($Z=2,3$), Vmax_лЗКЦА ($Z=-2,2$), ЦТР ($Z=2,2$), эластоподъем ($Z=2,1$), R ($Z=1,9$) и некоторые другие факторы.

Разработка автоматизированного алгоритма ранней диагностики начальной стадии ПОУГ

Представляется очевидным, что практическое применение разработанной (таблица 2) модели затруднительно вследствие большого (30) числа параметров, необходимых для проведения оценки. В связи с этим для разработки автоматизированного алгоритма ранней диагностики начальной стадии ПОУГ была обоснована упрощенная (оптимальная) модель, включающая в себя лишь 15 показателей, представленных в таблице 3.

Таблица 3 – Упрощенная модель биномиальной логистической регрессии вероятности развития глаукомы

	Коэффициент	Стандар- тная ошибка	Z- значение	Достоверность, p	
Норма	2,6	4,2	0,6	0,5	.
Мужской пол	1,0	0,4	2,4	0,01	*
Длительность наблюдения	0,1	0,04	4,1	0,00003	** *
ВГД до старта терапии (10 г)	0,4	0,07	5,5	0,00000008	** *
MD (на момент исследования)	-0,5	0,08	-6,0	0,000000009	** *
S_СНВС.ОСТ (на момент исследования)	-0,01	0,009	-1,4	0,1	.
Ri.ЦВС (на момент исследования)	-4,2	1,5	-2,7	0,006	**
Vmin_лЗКЦА	0,2	0,1	1,9	0,04	*
ЦТР (на момент исследования)	-0,007	0,005	-1,3	0,1	.
Артериальная гипертензия	-2,2	0,8	-2,6	0,007	**
Артериальная гипотония	-2,4	0,9	-2,5	0,009	**
Соматическая патология (прочее)	-2,2	0,8	-2,5	0,01	*
Диастолический уровень АД	-0,07	0,02	-3,0	0,002	**
Пульсовое давление	0,04	0,02	2,0	0,03	*
Уровень ВГД ((на момент исследования) (5 г))	-0,1	0,08	-1,6	0,1	.
ПЭС	0,6	0,3	1,6	0,09	.
Примечания: p-уровень значимости: *- <0,05; **- <0,01; ***- 0,001. Норма-пациенты без сопутствующей соматической патологии, без ПЭС. Жирным шрифтом выделены наиболее значимые предикторы.					

Результаты оценки чувствительности и специфичности разработанных моделей представлены на рисунке 2.

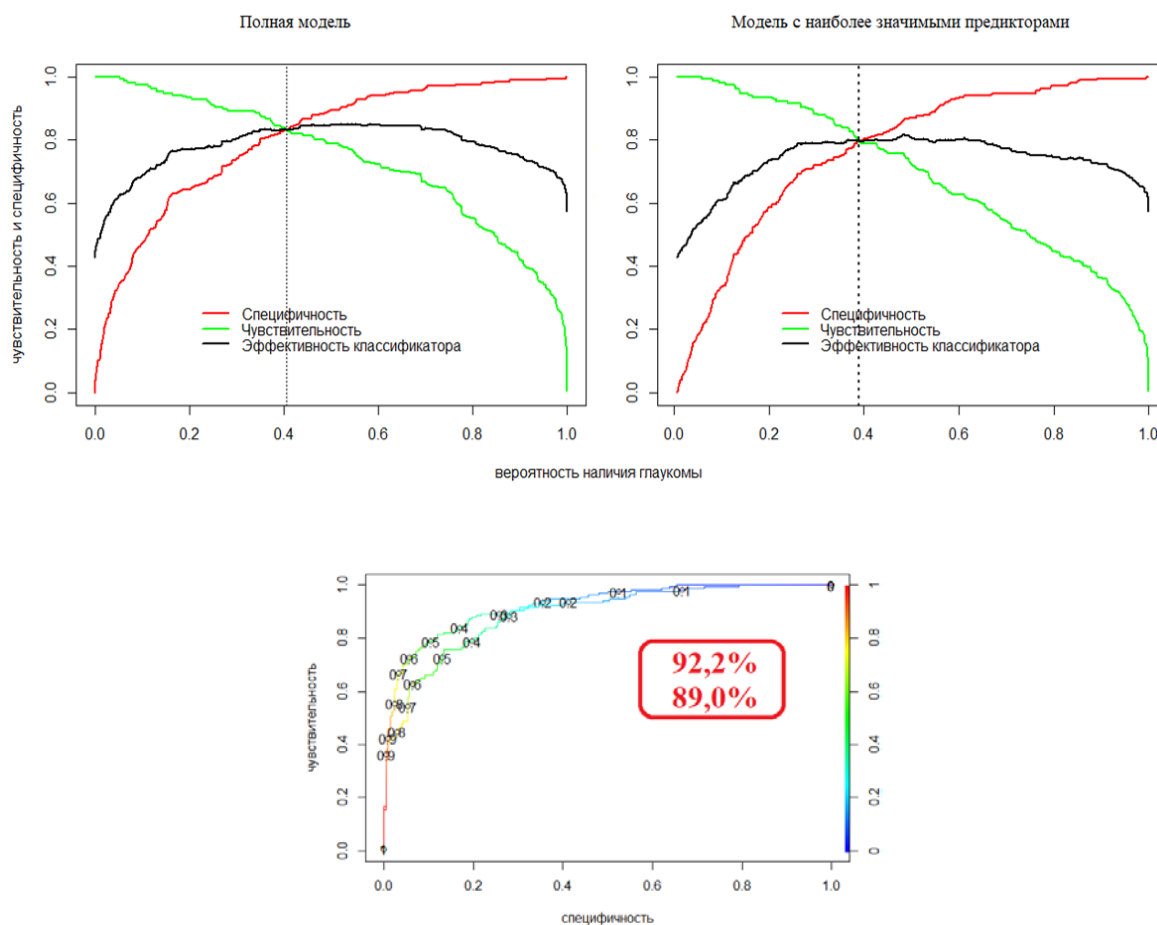


Рисунок 2 – Результаты оценки чувствительности и специфичности разработанных моделей (по показателю ROC-кривых)

Полученные данные свидетельствуют о высокой эффективности разработанных моделей для ранней диагностики глаукомы, что подтверждается высокими уровнями чувствительности и специфичности как для полной модели, так и для оптимальной соответственно (83,8%; 79,9%).

Рассматривая в целом разработанную упрощенную (оптимальную) модель прогнозирования глаукомы, следует, на наш взгляд, выделить следующие важные моменты:

- разработка модели основывалась на достаточно большом количестве наблюдений (586 глаз);
- в процессе исследования было выделено 5 различных групп пациентов (ПОУГ, ПЭГ, ОГ, пациенты без офтальмологической патологии, «ПЭГ-» с числом включенных пациентов 336 человек, 586 глаз (в каждой подгруппе было более 100 глаз);

- данная модель не ограничена узкими критериями включения в исследование, что позволяет возможность ее применения для широких групп пациентов;
- разработанная модель представляется универсальной с возможностью применения, как в специализированных учреждениях, так и при направлении пациента на отдельные обследования, с целью их обобщения при помощи разработанного алгоритма.

Достаточно высокая диагностическая эффективность разработанного автоматизированного алгоритма ранней диагностики ПОУГ подтверждена представленными в диссертационной работе клиническими примерами.

Таким образом, практическое внедрение разработанного автоматизированного алгоритма позволит, с нашей точки зрения, существенно повысить возможность ранней диагностики начальной стадии ПОУГ, что в целом приведет к повышению уровня оказания офтальмологической помощи пациентам с глаукомой.

ВЫВОДЫ

1. Результаты сравнительной оценки клинико-демографических, структурно-функциональных и гемодинамических показателей у пациентов с начальной стадией первичной открытоугольной глаукомой (ПОУГ), псевдоэксфолиативной глаукомой (ПЭГ), офтальмогипертензией (ОГ), псевдоэксфолиативной глаукомой на одном глазу и отсутствием заболевания на парном глазу («ПЭГ-»), а также пациентов без офтальмологической патологии (Норма) свидетельствуют, что пациенты с ОГ и Норма оказались моложе и обладали более высокими показателями светочувствительности сетчатки по сравнению с пациентами групп ПОУГ, ПЭГ и «ПЭГ-». При этом выявлено уменьшение показателя толщины СНВС в группах ПОУГ ($90,2 \pm 15,6$ мкм), ПЭГ ($85,64 \pm 18,86$ мкм) по сравнению с «ПЭГ-» ($96,8 \pm 13,4$ мкм, $p_{\text{ПОУГ/«ПЭГ-»}} = 0,0026$; $p_{\text{ПЭГ/«ПЭГ-»}} < 0,001$), а также увеличение показателей гемодинамики (V_{max} и V_{min}) в глазной артерии при разных формах глаукомы, выраженные в повышении показателей, как при ПЭГ ($31,2 \pm 10,1$ и $7,3 \pm 5,2$ см/сек) так и при «ПЭГ-» ($30,4 \pm 9,3$ и $6,7 \pm 4,0$ см/сек) по сравнению с данными группы ПОУГ ($29,2 \pm 9,0$ и $6,0 \pm 2,6$ см/сек), при этом $V_{\text{max}} p_{\text{ПОУГ/ПЭГ}} = 0,028$; $V_{\text{min}} p_{\text{ПОУГ/ПЭГ}} = 0,001$; $p_{\text{ПОУГ/«ПЭГ-»}} = 0,07$).
2. Результаты анализа характеристик зрительной системы у пациентов с «ПЭГ-» по сравнению с другими группами пациентов свидетельствует о характерных особенностях при «ПЭГ-», выявлено, сопоставимые с нормой показатели светочувствительности сетчатки и толщины СНВС, но при этом при сравнении с группами ПОУГ более значительным их отклонением в группах ПОУГ ($p_{\text{MD}} = 0,0130$; $p_{\text{СНВС}} = 0,0014$) и ПЭГ

($p_{MD}=0,00535$; $p_{CHBC}=1.97e-06$); и увеличением показателей гемодинамики в глазной артерии (V_{max} и $V_{min} = 30,4\pm 9,3$ и $6,7\pm 4,0$ см/сек соответственно) по сравнению с данными группы ПОУГ ($29,2\pm 9,0$, $p=0,028$ и $6,0\pm 2,6$ см/сек, $p=0,07$), и, в целом, сохранностью структурно-функциональных характеристик, что указывает на снижении адаптации и является предиктором развития заболевания.

3. Результаты «пошагового» дисперсионного анализа (586 глаз) свидетельствуют, что наиболее значимыми (из 120 измеренных) предикторами развития ПОУГ являются уровень ВГД, 10, 5, 15 г ($Z=5,6; 2,1; 2,1$ соответственно), MD ($Z=-3,06$), мужской пол ($Z=-3,06$), артериальная гипер или гипотензия ($Z=2,9; 2,6$ соответственно), $V_{min_лЗКЦА}$ ($Z=2,7$), CHBC ($Z=2,3$), $V_{max_лЗКЦА}$ ($Z=-2,2$), ЦТР ($Z=2,2$), эластоподъем ($Z=2,1$), R ($Z=1,9$).

4. Разработан (на основании математической модели с требуемыми параметрами чувствительности (83,8%) и специфичности (73,9%) автоматизированный алгоритм ранней диагностики начальной стадии ПОУГ (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ от 20.06.2018, № 20186195523), включающую наиболее информативные клинико-демографические, структурно-функциональные и гемодинамические офтальмологические показатели.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Раннюю диагностику начальной стадии первичной открытоугольной глаукомы целесообразно выполнять на основании разработанного алгоритма, включающего в себя оценку клинико-демографических, структурно-функциональных и гемодинамических показателей зрительной системы, в условиях специализированных центров оснащенных достаточным объемом оборудования для всех проведения необходимых обследований.

2. Практическая реализация разработанного алгоритма представлена в автоматизированном виде на сайте <https://sites.google.com/view/glaucomacalc>.

3. Глаукома парный, но ассиметричный процесс (начало заболевания второго глаза зачастую отсрочено на несколько лет), и принятие решения о начале терапии может быть основано с учетом данных предложенного автоматизированного алгоритма.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. Структурно-функциональные диагностические критерии в оценке вероятности наличия подозрения на глаукому и начальной стадии глаукомы / А.В. Куроедов, Д.А. Дорофеев, Р.В. Авдеев, А.С. Александрова и др. // Медико-биологические проблемы жизнедеятельности. – 2017. – № 1(17). – С. 105-117.

2. Differential diagnosis differences between suspected glaucoma and glaucoma. Markers diagnosis of glaucoma / Alexandr Kuroyedov, **Dmitriy Dorofeev**, Ilmira Gazizova, Roman

- Avdeev, et al. // 7th World Glaucoma Congress, 28 June–1 July, 2017, Helsinki. Abstract book: P. 99-100.
3. Подозрение и начальная стадия глаукомы: дифференциально-диагностические критерии / А.В. Куроедов, Д.А. Дорофеев, Р.В. Авдеев, А.С. Александрова и др. // **Российский офтальмологический журнал**. – 2017.–Т.10, №4.– С.5-15. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2017-10-4-5-15> (К-1).
 4. Экгардт, В.Ф. Структурно-функциональные и гемодинамические особенности у пациентов с простой первичной и псевдоэксфолиативной открытоугольной глаукомой и офтальмогипертензией / В.Ф. Экгардт, Д.А. Дорофеев // *Отражение*. – 2018. – № 1(6). – С. 213-218.
 5. **Дорофеев, Д.А.** Особенности структурно-функциональных и гемодинамических характеристик у пациентов с простой первичной и псевдоэксфолиативной открытоугольной глаукомой и офтальмогипертензией / Д.А. Дорофеев // *Современные технологии в офтальмологии*. – 2018. – № 4. – С. 76-81.
 6. Экгардт, В.Ф. Структурно-функциональные характеристики у пациентов с простой первичной и псевдоэксфолиативной открытоугольной глаукомой и офтальмогипертензией. Часть 1 / В.Ф. Экгардт, Д.А. Дорофеев // **Национальный журнал глаукома**. – 2018. – Т. 17, № 1. – С. 55-69. <https://doi.org/10.25700/NJG.2018.01.06> (К-1).
 7. Экгардт, В. Ф. Гемодинамические особенности у пациентов с простой первичной и псевдоэксфолиативной открытоугольной глаукомой и офтальмогипертензией. Часть 2 / В.Ф. Экгардт, Д.А. Дорофеев // **Национальный журнал глаукома**. – 2018. – Т. 17, № 2. – С. 48-63. <https://doi.org/10.25700/NJG.2018.02.06>. (К-1).
 8. **Дорофеев, Д.А.** Структурно-функциональные и гемодинамические характеристики при простой первичной и псевдоэксфолиативной открытоугольной глаукоме и офтальмогипертензии / Д.А. Дорофеев, В.Ф. Экгардт // **Практическая медицина**. – 2018. – Т.16,№ 4.–С.96-100. (К-2).
 9. Экгардт, В.Ф. Структурно-функциональные и гемодинамические особенности пациентов при простой первичной и псевдоэксфолиативной открытоугольной глаукоме и офтальмогипертензии в модели прогнозирования развития глаукомы. Часть 3 / В.Ф. Экгардт, Д.А. Дорофеев // **Национальный журнал глаукома**. – 2018. – Т. 17, № 4. – С. 3-15. <https://doi.org/10.25700/NJG.2018.04.01>. (К-1).
 10. Экгардт, В.Ф. Пространственная контрастная чувствительность при открытоугольной глаукоме и офтальмогипертензии / В. Ф. Экгардт, Д.А. Дорофеев // **Вестник офтальмологии**. – 2020. – Т. 136, № 1. – С. 25-35. <https://doi.org/10.17116/oftalma202013601125>. (К-1).
 11. Определение факторов риска, влияющих на прогрессирование и течение первичной открытоугольной глаукомы у пациентов с разными стадиями заболевания (многоцентровое исследование) / А.В. Куроедов, Д.А. Дорофеев, Н.Е. Фомин, П.Ч. Завадский, и др. // **РМЖ. Клиническая офтальмология**. – 2022. – Т. 22, № 2. – С. 80-90. <https://doi.org/10.32364/2311-7729-2022-22-2-80-90>. (К-2).
 12. Искусственный интеллект и нейросети в диагностике глаукомы / Д.А. Дорофеев, С.Ю. Казанова, А.Б. Мовсисян, Р.П. Полева // **Национальный журнал глаукома**. – 2023. – Т. 22, № 1. – С. 115-128. <https://doi.org/10.53432/2078-4104-2023-22-1-115-128>. (К-1).
 13. Искусственный интеллект в офтальмологии. Нужны ли нам калькуляторы риска развития и прогрессирования глаукомы? / А.В. Куроедов, Д.А. Дорофеев, В.Е. Корелина, А.А. Витков, и др.// **Национальный журнал глаукома**. – 2023. – Т. 22, № 2. – С. 29-37. <https://doi.org/10.53432/2078-4104-2023-22-2-29-37>. (К-1).

Примечания: (К-1,2) – категория журнала по коэффициенту научной значимости в базе данных RSCI.

Список сокращений и условных обозначений

MD	– среднее отклонения светочувствительности сетчатки (mean deviation)
Pi	– пульсовой индекс
PSD	– среднеквадратичное отклонение от средней светочувствительности сетчатки (pattern standard deviation)
R	– рефракция
Ri	– индекс резистентности
Vmax	– максимальная систолическая скорость кровотока
Vmin	– минимальная диастолическая скорость кровотока
АД	– артериальное давление
ВГД	– внутриглазное давление
ГА	– глазная артерия
ЗКЦА	– задние короткие цилиарные артерии
лЗКЦА	– латеральные задние короткие цилиарные артерии
мЗКЦА	– медиальные задние короткие цилиарные артерии
ОГ	– офтальмогипертензия
ПОУГ	– первичная открытоугольная глаукома
ПЭГ	– псевдоэксфолиативная глаукома
«ПЭГ-»	– группа пациентов с псевдоэксфолиативной глаукомой на одном глазу и отсутствием заболевания на парном глазу
ПЭС	– псевдоэксфолиативный синдром
СС	– светочувствительность сетчатки
СНВС	– слой нервных волокон сетчатки
ЦАС	– центральная артерия сетчатки
ЦВС	– центральная вена сетчатки