

**НАО «Медицинский университет Астана»**

УДК: 617.7-007.681:681.784

МПК: G01N33/49, A61P27/06

**Аминова Әсем Хамзақызы**

**АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СКРИНИНГА ГЛАУКОМЫ**

**7М10144 – Медицина**

Диссертация на соискание академической степени магистра  
медицинских наук

Научный руководитель: к.м.н. Кадралиева Эльвира Ибрагимовна  
Официальный рецензент: PhD Мукажанова Айнагуль Сериковна

**Астана, 2026**

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ.....                                                     | 3  |
| ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....                                                            | 4  |
| ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....                                               | 6  |
| СПИСОК ТАБЛИЦ И РИСУНКОВ.....                                               | 7  |
| ВВЕДЕНИЕ.....                                                               | 8  |
| 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....                                                    | 14 |
| 1.1. Введение.....                                                          | 14 |
| 1.2. Эпидемиология глаукомы.....                                            | 16 |
| 1.3. Патогенез глаукомы и значение ранней диагностики.....                  | 17 |
| 1.4. Возрастные и генетические факторы риска.....                           | 18 |
| 1.5. Обоснование скрининга глаукомы.....                                    | 19 |
| 1.6. Методы скрининга глаукомы.....                                         | 20 |
| 1.6.1. Тонометрия.....                                                      | 20 |
| 1.6.2. Периметрия.....                                                      | 21 |
| 1.6.3. Фотографирование глазного дна.....                                   | 21 |
| 1.6.4. Оптическая когерентная томография.....                               | 22 |
| 1.6.5. Комбинированные методы скрининга.....                                | 22 |
| 1.7. Международный опыт скрининга глаукомы.....                             | 23 |
| 1.8. Опыт скрининга глаукомы в Республике Казахстан.....                    | 24 |
| 1.9. Крупные исследования по изучению эффективности скрининга глаукомы..... | 27 |
| 1.10. Заключение литературного обзора.....                                  | 29 |
| 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....                                     | 31 |
| 2.1. Дизайн исследования.....                                               | 31 |
| 2.2. Характеристика выборки.....                                            | 32 |
| 2.3. Методы диагностики.....                                                | 33 |
| 2.4. Методы статистического анализа.....                                    | 37 |
| 2.5. Выборка.....                                                           | 38 |
| 3. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....                                 | 38 |
| 3.1. Описательная статистика.....                                           | 38 |
| 3.2. Сравнительный анализ.....                                              | 42 |
| 4. ОБСУЖДЕНИЕ.....                                                          | 50 |
| ВЫВОДЫ.....                                                                 | 54 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....                                                             | 55 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....                                                      | 57 |

## **НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ**

В настоящей диссертации использованы ссылки на следующие стандарты:

1. Приказ и.о. Министра здравоохранения Республики Казахстан от 30 октября 2020 года № ҚР ДСМ-174/2020. Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 2 ноября 2020 года № 21572. «Об утверждении целевых групп лиц, подлежащих скрининговым исследованиям, а также правил, объема и периодичности проведения данных исследований».
2. Министерство здравоохранения Республики Казахстан. Протокол диагностики и лечения первичной глаукомы №240 от 23.10.2025 г., утверждённый Министерством здравоохранения Республики Казахстан. – Астана, 2024. – 38 с.
3. Министерство здравоохранения Республики Казахстан. Приказ № ҚР ДСМ-170/2020 от 30.10.2020 г. «Об утверждении Правил проведения клинических исследований и (или) испытаний лекарственных средств и изделий медицинского назначения».

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей диссертации применяют следующие термины с соответствующими определениями:

*Пневмотонометрия* – метод бесконтактного измерения внутриглазного давления с использованием автоматического тонометра. Используется в программах скрининга благодаря быстрой, неинвазивности и простоте выполнения.

*Внутриглазное давление (ВГД)* – давление, создаваемое внутриглазной жидкостью внутри глазного яблока. Является важным фактором в патогенезе глаукомы. Измеряется в миллиметрах ртутного столба (мм рт.ст.).

*Глаукома* – хроническое прогрессирующее заболевание зрительного нерва, которое характеризуется специфическими структурными изменениями диска зрительного нерва и соответствующими дефектами поля зрения, часто, но не всегда, ассоциированное с повышением внутриглазного давления.

*Группа риска* – контингент пациентов с повышенной вероятностью развития заболевания; в данном исследовании – лица с ранее выявленным повышением внутриглазного давления.

*Диск зрительного нерва (ДЗН)* – анатомическая структура, которая представляет собой место выхода зрительного нерва из глазного яблока. Изменения его формы и структуры имеют диагностическое значение при глаукоме.

*Комбинированный метод скрининга* – подход, основанный на одновременном использовании нескольких диагностических методов (в данном исследовании – пневмотонометрии и фотографирования глазного дна) с целью повышения эффективности выявления заболевания.

*Критерий Мак-Немара* – непараметрический статистический метод, который применяется для анализа различий между двумя связанными выборками при бинарных исходах.

*Критерий Манна–Уитни* – непараметрический статистический метод, используемый для сравнения количественных показателей между двумя независимыми группами при отсутствии нормального распределения.

*Ложноотрицательный результат* – результат диагностического теста, при котором заболевание не выявляется у пациента, фактически имеющего данную патологию.

*Ложноположительный результат* – результат диагностического теста, при котором заболевание диагностируется у пациента, не имеющего данной патологии.

*Немидриатическая фундус-камера* – диагностическое устройство, которое позволяет получать изображения глазного дна без предварительного медикаментозного расширения зрачка.

*Оптическая когерентная томография (ОКТ)* – современный неинвазивный метод визуализации структур глаза, который основан на использовании низкокогерентного инфракрасного излучения. Позволяет получать

высокоточные изображения сетчатки и диска зрительного нерва послойно, а также количественно оценивать толщину слоя нервных волокон.

*Периметрия* – метод исследования поля зрения, направленный на выявление функциональных нарушений зрительного анализатора. При глаукоме позволяет обнаруживать характерные дефекты поля зрения.

*Портативная фундус-камера* – компактное устройство для получения изображений глазного дна, предназначенное для использования в условиях мобильного и выездного скрининга.

*Прогностическая ценность положительного результата (PPV)* – вероятность наличия заболевания у пациента при положительном результате диагностического теста.

*Скрининг глаукомы* – комплекс диагностических мероприятий, направленных на раннее выявление глаукомы у лиц без выраженных клинических симптомов.

*Специфичность* – показатель диагностической эффективности, который отражает способность метода правильно выявлять пациентов без заболевания.

*Телемедицина* – форма оказания медицинской помощи с использованием информационно-коммуникационных технологий, дающая возможность осуществлять дистанционную интерпретацию диагностических данных.

*Фотографирование глазного дна (фундус-фотография)* – метод визуализации структур глазного дна с использованием фундус-камеры, позволяющий оценивать состояние диска зрительного нерва, макулы и остальной поверхности глаза и выявлять признаки глаукомы.

*Чувствительность* – показатель диагностической эффективности, который отражает способность метода правильно выявлять пациентов с заболеванием.

*Эккавация диска зрительного нерва* – углубление в центральной части диска зрительного нерва, которое формируется по причине утраты нервных волокон и является одним из характерных признаков глаукомы.

*Отношение экскавации к диску (ЭД)* – количественный показатель, отражающий соотношение диаметра экскавации к диаметру диска зрительного нерва и используемый для оценки выраженности глаукомных изменений.

*Офтальмогипертензия* – состояние, которое характеризуется повышением внутриглазного давления выше статистической нормы при отсутствии клинических признаков глаукомного поражения зрительного нерва и дефектов поля зрения. Рассматривается как фактор риска развития глаукомы и требует динамического наблюдения.

## ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В настоящей диссертации применяют следующие термины с соответствующими определениями:

ВГД – внутриглазное давление

ДЗН – диск зрительного нерва

ЭД – экскавация диска зрительного нерва

ОКТ – оптическая когерентная томография

OD – правый глаз (oculus dexter)

OS – левый глаз (oculus sinister)

OU – оба глаза (oculi uterque)

$LR^+$  – Отношение правдоподобия положительного результата – показатель, отражающий вероятность заболевания при положительном тесте.

$LR^-$  – Отношение правдоподобия отрицательного результата – показатель, отражающий вероятность отсутствия заболевания при отрицательном тесте.

PPV (Positive Predictive Value) – Прогностическая ценность положительного результата.

ROC (Receiver Operating Characteristic) – Метод статистической оценки точности диагностического теста.

SD (Standard Deviation) – Стандартное отклонение.

Se (Sensitivity) – Чувствительность теста, способность выявлять больных пациентов.

Sp (Specificity) – Специфичность теста, способность определять здоровых пациентов.

$\alpha$  – Уровень значимости. Вероятность ошибки I рода (ложноположительный результат).

$\beta$  – Вероятность ошибки II рода. Вероятность не выявить существующий эффект.

WHO (World Health Organization) – Всемирная организация здравоохранения.

## СПИСОК ТАБЛИЦ И РИСУНКОВ

|           |                                                                                                                                 |    |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Таблица 1 | Международный опыт скрининга глаукомы.....                                                                                      | 23 |
| Таблица 2 | Результаты исследований без учета наличия глаукомы.....                                                                         | 39 |
| Таблица 3 | Критерий Манна-Уитни.....                                                                                                       | 42 |
| Таблица 4 | Сравнительная характеристика диагностических показателей пневмотонометрии и фотографирования глазного дна на фундус-камеру..... | 48 |
| Рисунок 1 | Дизайн исследования – поперечное описательное исследование.....                                                                 | 32 |
| Рисунок 2 | Пневмотонометрия. Механизм диагностического метода.....                                                                         | 34 |
| Рисунок 3 | Размеры экскавации ДЗН при различных стадиях глаукомы.....                                                                      | 35 |
| Рисунок 4 | Оптическая когерентная томография ДЗН.....                                                                                      | 36 |
| Рисунок 5 | Результаты компьютерной периметрии.....                                                                                         | 37 |
| Рисунок 6 | Интерфейс программы IBM SPSS Statistics, используемой для статистической обработки данных исследования.....                     | 38 |
| Рисунок 7 | Критерий Шапиро-Уилка.....                                                                                                      | 39 |
| Рисунок 8 | Показатели внутриглазного давления (ВГД) в зависимости от наличия глаукомы.....                                                 | 40 |
| Рисунок 9 | Показатели экскавации ДЗН в зависимости от наличия глаукомы..                                                                   | 41 |

## Введение

### Актуальность темы исследования

Глаукома относится к числу наиболее распространённых хронических заболеваний органа зрения и представляет серьёзную медико-социальную проблему вследствие высокого риска развития необратимой слепоты. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения, данная патология занимает одно из ведущих мест среди причин потери зрения в мире, уступая лишь катаракте. По современным оценкам, количество пациентов, страдающих глаукомой, превышает 60 миллионов человек [1,2]. В основе заболевания лежит прогрессирующее поражение зрительного нерва, которое нередко сопровождается повышением внутриглазного давления и приводит к постепенному снижению зрительных функций вплоть до полной утраты зрения при отсутствии своевременной диагностики и лечения [3]. Существенной особенностью глаукомы является длительное бессимптомное течение на начальных этапах заболевания, вследствие чего патология часто выявляется уже на поздних стадиях, когда изменения со стороны зрительного нерва носят необратимый характер [4].

Актуальной задачей современной офтальмологии остаётся совершенствование методов раннего выявления глаукомы. Широко применяемые в клинической практике диагностические методы, включая тонометрию и офтальмоскопию, обладают определёнными ограничениями. А именно, показатели внутриглазного давления не всегда позволяют объективно оценить наличие глаукомного поражения, поскольку могут зависеть от индивидуальных анатомо-физиологических особенностей глаза, включая толщину роговицы [5]. К тому же, у части пациентов заболевание может развиваться при нормальных значениях внутриглазного давления, что снижает диагностическую ценность изолированного применения тонометрии. В этой связи возрастает необходимость поиска и внедрения более информативных, доступных и пригодных для массового применения методов скрининга, обеспечивающих выявление глаукомы на ранних, доклинических стадиях.

Перспективным направлением современной диагностики глаукомы считается использование фундус-камер для визуализации глазного дна. Данная технология позволяет получать качественные изображения диска зрительного нерва и объективно оценивать изменения, характерные для глаукомного процесса, в том числе увеличение экскавации диска зрительного нерва и истончение нейроретинального пояса [6]. Применение современных немидриатических фундус-камер дает возможность проводить исследования без медикаментозного расширения зрачка, что существенно упрощает процедуру обследования, сокращает время его выполнения и повышает удобство для пациентов [7]. Это создаёт предпосылки для более широкого использования метода в программах массового офтальмологического скрининга.

Особого внимания заслуживают портативные фундус-камеры, применение которых позволяет проводить обследование не только в специализированных



офтальмологических центрах, но и в учреждениях первичного звена здравоохранения. Использование подобных устройств способствует повышению доступности офтальмологической помощи, уменьшению финансовых затрат на проведение скрининга и расширению охвата населения профилактическими обследованиями [8]. Еще одним преимуществом является возможность интеграции телемедицинских технологий, при которых полученные изображения могут дистанционно оцениваться специалистами-офтальмологами. Данный подход особенно актуален для Республики Казахстан, учитывая значительную территорию страны и неравномерное распределение специализированной медицинской помощи между регионами [9]. В условиях удалённых населённых пунктов применение портативных технологий визуализации способствует более своевременному выявлению пациентов с подозрением на глаукому и их направлению на дальнейшее специализированное обследование.

Подводя итог, разработка и внедрение комбинированных подходов к скринингу глаукомы, основанных на сочетании традиционных методов оценки внутриглазного давления и современных технологий визуализации глазного дна, представляет значительный научный и практический интерес. Использование портативных немидриатических фундус-камер в составе скрининговых программ может способствовать повышению эффективности ранней диагностики глаукомы, снижению уровня инвалидизации вследствие необратимой потери зрения и улучшению качества жизни пациентов.

#### **Цель исследования:**

Изучение диагностических возможностей комбинированного метода, включающего пневмотонометрию в комплексе с фотографированием глазного дна на немидриатическую портативную фундус-камеру, как метода скрининга глаукомы.

#### **Объект исследования:**

Пациенты, подлежащие скринингу на глаукому в рамках первичной медико-санитарной помощи.

#### **Предмет исследования:**

Сравнительная диагностическая эффективность и целесообразность применения пневмотонометрии и фотографирования глазного дна в рамках комбинированного скрининга глаукомы.

#### **Задачи исследования:**

1. Провести анализ эффективности выявления глаукомы с применением пневмотонометрии.
2. Провести анализ эффективности выявления глаукомы с применением фотографирования глазного дна.

### 3. Проанализировать диагностическую ценность комбинированного метода скрининга глаукомы.

#### **Методы исследования**

Настоящее исследование посвящено оценке эффективности различных методов скрининга глаукомы. Работа выполнена в формате сравнительного клинического исследования с анализом диагностической ценности двух подходов: пневмотонометрии и комбинированного метода (пневмотонометрия в сочетании с фотографированием глазного дна).

Исследование включало несколько последовательных этапов: библиографический анализ, клинический этап (офтальмологическое обследование), статистическую обработку полученных данных и их последующий аналитический разбор.

**1) Библиографический метод** – на первом этапе исследования был проведён систематический анализ научной литературы, посвящённой проблеме глаукомы, её ранней диагностики и скрининга. В ходе работы были изучены:

- публикации отечественных и зарубежных авторов;
- данные международных рекомендаций и клинических протоколов;
- результаты эпидемиологических и клинических исследований;
- материалы, посвящённые современным методам диагностики глаукомы (оптическая когерентная томография, периметрия, тонометрия, фотографирование глазного дна).

Анализ литературы позволил:

- определить актуальность темы;
- обосновать выбор методов скрининга;
- сформировать цель и задачи исследования;
- выбрать оптимальный дизайн исследования.

#### **2) Клинический этап (офтальмологическое исследование)**

**а) Организация исследования** – клинический этап исследования проводился с участием пациентов, прошедших скрининговое офтальмологическое обследование. Все исследования выполнялись в стандартных условиях: в затемнённом помещении, отдельно для каждого глаза.

Каждому пациенту проводилось комплексное обследование, включающее два метода скрининга:

1. пневмотонометрия;
2. комбинированный метод (пневмотонометрия + фотографирование глазного дна).

**б) Пневмотонометрия** проводилась с использованием бесконтактного тонометра. Метод основан на измерении внутриглазного давления (ВГД) за счёт реакции роговицы на поток воздуха. Исследование выполнялось в стандартных условиях без контакта с поверхностью глаза, отдельно для каждого глаза. Результаты фиксировались в мм рт. ст.

*Критерии оценки:* нормальные значения ВГД (до 21 мм.рт.ст включительно) расценивались как отрицательный результат (значение 0); повышенное

внутриглазное давление (22 мм.рт.ст и выше) – как положительный результат (значение 1) [10].

**в) Фотографирование глазного дна** проводилось с использованием немидриатической портативной фундус-камеры. Исследование выполнялось в затемнённой комнате без медикаментозного расширения зрачка отдельно для каждого глаза. В ходе анализа изображений оценивалось состояние диска зрительного нерва, в частности экскавация диска зрительного нерва (ЭД ДЗН).

Оценка проводилась по соотношению диаметра экскавации к диаметру диска.

*Критерии оценки:*

- $ЭД < 0,4$  – отрицательный результат (значение 0);
- $ЭД \geq 0,4$  – положительный результат (значение 1) [11].

**г) Комбинированный метод** включал данные внутриглазного давления + фотографирование глазного дна. Метод считался положительным при наличии хотя бы одного патологического признака:

- повышенного ВГД;
- увеличенной экскавации ДЗН.

**д) Подтверждение диагноза.** Всем пациентам для подтверждения результатов диагностики проводилось дополнительное обследование, включающее:

- **Оптическую когерентную томографию (ОКТ)** позволяет оценить толщину слоя нервных волокон сетчатки и структуру диска зрительного нерва.
- **Периметрию** - используется для оценки полей зрения и выявления характерных дефектов.

При наличии характерных изменений по данным ОКТ и периметрии устанавливался предварительный диагноз глаукомы: диагноз подтверждён – значение 1; диагноз не подтверждён – значение 0. После этого пациентам назначалось соответствующее лечение и дальнейшее динамическое наблюдение.

### **3) Статистический анализ**

Статистическая обработка полученных данных проводилась с использованием методов медицинской статистики. На первом этапе выполнялся описательный анализ данных, включающий расчёт абсолютных значений и определение относительных показателей (%). Результаты скрининговых методов (пневмотонометрии и комбинированного метода) представлялись в виде дихотомических переменных: 0 – отрицательный результат; 1 – положительный результат.

Для оценки диагностической эффективности методов скрининга рассчитывались следующие показатели:

- чувствительность (Sensitivity);
- специфичность (Specificity);
- диагностическая точность (Accuracy);
- прогностическая ценность положительного результата (PPV);

Сравнительный анализ эффективности пневмотонометрии и комбинированного метода проводился с использованием критерия Мак-Немара. Выбор данного критерия обусловлен тем, что в исследовании анализировались связанные (парные) выборки, так как оба метода применялись к одним и тем же пациентам. Переменные носили дихотомический характер, что соответствует условиям применения критерия Мак-Немара. Для проведения анализа формировалась таблица сопряжённости  $2 \times 2$ , отражающая распределение результатов двух методов. Основное внимание уделялось дискордантным парам, то есть случаям расхождения результатов между методами (когда один метод выявлял патологию, а другой – нет). Критерий Мак-Немара позволял оценить статистическую значимость различий между методами по частоте выявления подозрительных случаев глаукомы. Статистически значимыми считались различия при уровне значимости  $p < 0,05$ .

### **Научная новизна**

Научная новизна настоящего исследования заключается в оценке диагностической эффективности комбинированного подхода, включающего пневмотонометрию и фотографирование глазного дна. Впервые данный метод был адаптирован для проведения массового скрининга в условиях системы здравоохранения Республики Казахстан. Полученные результаты позволяют обосновать целесообразность внедрения комбинированного скрининга на уровне первичной медико-санитарной помощи.

### **Практическая значимость**

Применение сочетания пневмотонометрии и фотографирования глазного дна способствует более эффективному выявлению заболевания на ранних стадиях по сравнению с использованием каждого из методов отдельно. Предлагаемый подход может применяться на уровне первичной медико-санитарной помощи, что позволяет увеличить охват населения профилактическими обследованиями. Использование портативных немидриатических фундус-камер повышает доступность офтальмологической диагностики для жителей отдалённых и сельских регионов. Уменьшение продолжительности обследования и упрощение процедуры создают условия для оптимизации работы медицинского персонала и повышения эффективности скрининговых программ. Результаты проведённого исследования могут быть использованы при разработке и совершенствовании национальных программ, направленных на раннее выявление глаукомы. Внедрение комбинированного метода скрининга способствует снижению частоты поздней диагностики заболевания, уменьшению уровня инвалидизации и профилактике слепоты среди населения.

### **Основные положения, выносимые на защиту**

1. Пневмотонометрия как самостоятельный метод скрининга глаукомы обладает ограниченной диагностической эффективностью и не обеспечивает достаточной выявляемости заболевания на ранних стадиях.
2. Фотографирование глазного дна с использованием немидриатической фундус-камеры позволяет выявлять структурные изменения диска зрительного нерва и повышает качество ранней диагностики глаукомы.
3. Комбинированное применение пневмотонометрии и фотографирования глазного дна достоверно повышает диагностическую эффективность скрининга глаукомы по сравнению с использованием каждого метода в отдельности (по результатам критерия Мак-Немара).
4. Внедрение комбинированного метода скрининга на уровне первичной медико-санитарной помощи является обоснованным и целесообразным, особенно в условиях ограниченной доступности специализированной офтальмологической помощи.

### **Объем и структура диссертации**

Диссертация состоит из введения, 4 разделов, заключения включающего выводы, списка использованных литературных источников. Работа изложена на 60 страницах компьютерного текста, содержит 4 таблицы и 9 рисунков. Список литературы включает 55 источников.

### **Апробация диссертации**

По материалам диссертации опубликован научный тезис на республиканской научно-практической конференции с международным участием в рамках Дней Науки «Цифровые технологии и аналитика в здравоохранении и образовании: инновации и перспективы» на тему «Glaucoma screening analysis in Kazakhstan based on city polyclinic No. 8 of Astana»

## 1 Обзор литературы

Целью данного литературного обзора является анализ и обобщение данных по методикам скрининга и ранней диагностики глаукомы в Республике Казахстан и других странах. Обзор направлен на обоснование выбора методов исследования и определение их места в современной клинической практике.

### 1.1 Введение

Глаукома – это хроническое заболевание глаза, которое постепенно ухудшает зрение. Глаукома поражает зрительный нерв и медленно сужает поле зрения. При глаукоме происходят структурные изменения диска зрительного нерва и нервные волокна сетчатки, и эти изменения в итоге приводят к необратимому ухудшению зрительных функций. Поэтому глаукома считается одним из самых важных глазных заболеваний и одной из главных причин необратимой слепоты в мире [2].

World Health Organization сообщает, что глаукома – одна из главных причин постоянной слепоты. Глаукома занимает второе место после катаракты. Проблема в том, что при глаукоме потеря зрения происходит навсегда, ведь зрительный нерв не восстанавливается. Поэтому существует необходимость ранней диагностики глаукомы, и быстрое начало лечения, которое замедлит прогресс болезни. Ранняя диагностика и своевременное лечение спасают зрение [1].

Глаукома часто протекает тихо, без явных симптомов. Пациенты обычно не жалуются, пока не случится серьёзный урон зрительному нерву и пока не появятся чёткие нарушения полей зрения. Вот почему болезнь часто обнаруживают уже на поздних стадиях, когда спасти зрение почти невозможно. Исследования показывают, что много случаев глаукомы остаются незамеченными, особенно в тех регионах, где нет доступа к офтальмологической помощи [3].

Повышение давления внутри глаза является важным фактором риска развития глаукомы. Современные исследования показывают, что повышенное внутриглазное давление не единственная причина болезни. У части пациентов появляется так называемая нормотензивная глаукома: зрительный нерв повреждается, хотя давление в глазу в норме. Это сильно усложняет раннее обнаружение болезни и делает невозможным полагаться только на один тест, чтобы выявить глаукому [3].

Глаукома встречается часто, а её первые годы часто проходят без признаков. Поэтому скрининг важен. Скрининг – это плановая проверка определенных групп населения, направленная на раннее выявление глаукомы до появления симптомов. Тесты в скрининге направлены на диагностику признаков глаукомы. То, как хорошо работает скрининг, зависит от нескольких вещей. Точность тестов, правильность результатов, наличие нужного оборудования, цена проверки и возможность включить проверку в обычный приём у врача – всё

это влияет на эффективность скрининга. Без этих условий скрининг не спасёт зрение.

Самый частый способ первичной проверки глаукомы – измерение внутриглазного давления. Мы в практике часто делаем тонометрию, часто выбираем бесконтактную, её называют пневмотонометрией. Эта пневмотонометрия проста, быстра, её удобно ставить в массовые программы скрининга. Но вот исследования показывают, что только измерять внутриглазное давление недостаточно. У многих пациентов глаукома начинается, когда внутриглазное давление в норме, а у некоторых давление повышено, но признаков глаукомной оптической нейропатии нет. Поэтому полагаться лишь на измерение внутриглазного давления нельзя [3].

В последние годы всё больше внимания уделяют морфологическим методам, которые помогают оценить состояние зрительного нерва. Одним из самых простых методов является фотографирование глазного дна камерой без мидриаза, и это действительно работает. Эта камера сразу показывает диск зрительного нерва, даёт возможность измерить соотношение экскавации и диаметра диска, увидеть атрофию, заметить асимметрию между глазами и другие признаки глаукомы. Фундус-фото в скрининговых программах позволяет находить структурные изменения зрительного нерва, которые могут появиться раньше, чем появятся функциональные нарушения [12].

Современные исследования показывают, что скрининг глаукомы работает лучше, когда используются несколько методов диагностики одновременно. Комбинация разных обследований повышает чувствительность к заболеванию и уменьшает количество ошибок – ложноположительных и отрицательных результатов. Например, измерение давления в глазу и осмотр диска зрительного нерва по фотографии дна глаза дают более точный результат, помогают выявить подозрение на глаукому и делают программы скрининга более эффективными. [10].

Важна возможность использования современных портативных диагностических устройств в первичной медицинской помощи и в отдалённых регионах. Развитие телемедицинских технологий и развитие цифровых методов визуализации позволяет передавать изображения глазного дна специалистами-офтальмологами. Развитие телемедицинских технологий и развитие цифровых методов визуализации расширяет возможности скрининга и повышает доступность офтальмологической помощи для населения [1].

В Республике Казахстан раннее выявление глаукомы – также является важной задачей. Сейчас в рамках государственной программы здравоохранения проводят скрининг, выявляют глаукому и другие социально значимые болезни. Главная цель программы – поймать глаукому своевременно, назначить правильную терапию и уменьшить количество людей, которые теряют зрение.

Скрининговые программы уже развиваются, но всё равно остаётся проблема: какой метод диагностики выбрать для массового обследования людей? У системы здравоохранения ограничены ресурсы, и нам нужно, чтобы обследования были точными и доступными. Поэтому я считаю, что нужно искать

самые эффективные и дешевые методы скрининга. Мы ищем такие методы, которые дают точный результат и не требуют больших затрат. Цель – найти методику скрининга, которая будет работать эффективно и не будет стоить дорого.

В современных условиях особую значимость приобретает оценка эффективности различных методов скрининга глаукома. В рамках данного исследования рассматривается пневмотонометрия как самостоятельный метод, а также в составе комбинированного подхода, включающего измерение внутриглазного давления и фотографирование глазного дна.

Сравнительная оценка диагностической эффективности указанных методов направлена на определение их информативности и целесообразности применения в программах массового скрининга. Полученные результаты позволяют выявить наиболее эффективный подход к ранней диагностике глаукомы, что имеет важное значение для своевременного начала лечения и предупреждения прогрессирования заболевания.

Кроме того, результаты исследования могут быть использованы для оптимизации существующих программ раннего выявления глаукомы и повышения эффективности профилактических мероприятий в системе здравоохранения.

## **1.2 Эпидемиология глаукомы**

Глаукома – это распространенное хроническое заболевание глаз, которое является значимой проблемой для общественного здравоохранения. Глаукома медленно разрушает зрительный нерв. Глаукома постепенно ухудшает зрение, зрение падает, и в итоге это приводит к необратимой слепоте. Поэтому глаукома считается одной из главных причин инвалидизации по зрению в мире [3,12].

Согласно крупному метаанализу под руководством Yih-Chung Tham, глобальная распространённость глаукомы у людей 40-80 лет составляет около 3,54 %. Исследование показало, что в 2013 году в мире было примерно 64,3 млн человек с глаукомой. К 2040 году их число может вырасти до 111,8 млн из-за старения населения и более долгой жизни. Это значит, что проблема будет расти [2].

Проект Global Burden of Disease собирает данные о распространенности глаукомы в мире. Он собирает данные о том, сколько людей страдает от разных болезней и как это сказывается на здоровье. По результатам Global Burden of Disease Study 2019 число случаев глаукомы продолжает расти. В 1990-м году было 3,88 млн зарегистрированных случаев глаукомы, а в 2019-м уже 7,47 млн, что говорит о существенном росте заболеваемости [13].

Глаукома же одна из главных причин потери зрения. По исследованиям, в 2020 году около 3,6 млн человек в мире потеряли зрение вследствие глаукомы, а ещё более 4 млн людей отмечали значительное снижение зрения из-за глаукомы [14].



Согласно отчёту World Health Organization World Report on Vision, глаукома – одна из главных причин постоянной слепоты в мире. Другие глазные болезни могут лечиться, а при глаукоме зрение уходит навсегда, потому что глаукома повреждает нерв, который передаёт зрение, и нерв не восстанавливается. Поэтому важно выявлять глаукому как можно раньше и сразу начинать лечение, которое замедлит её развитие [1].

### **1.3 Патогенез глаукомы и значение ранней диагностики**

Важно понимать, как развивается глаукома и почему важно диагностировать глаукому рано.

Глаукома развивается из множества связанных факторов. Самый главный и доказанный риск – повышение внутриглазного давления (ВГД). Когда ВГД растёт, он давит на структуры зрительного нерва, особенно на область решетчатой пластинки (*lamina cribrosa*), через которую проходят аксоны ганглиозных клеток сетчатки. Под действием повышенного внутриглазного давления эти структуры деформируются, транспорт внутри нервов зрительного нерва нарушается, волокна повреждаются. В итоге зрительный нерв атрофируется, и диск зрительного нерва меняется [15,16]. Зачастую именно повышение внутриглазного давления задаёт ход всему процессу.

Высокое внутриглазное давление также приводит к проблемам с кровообращением в тканях зрительного нерва. Когда кровоснабжение падает, в клетках сетчатки не хватает кислорода и энергии. При нехватке кислорода включаются процессы, которые вредят клеткам: образуются свободные радикалы, ломаются митохондрии, усиливается окислительный стресс. Всё это приводит к смерти клеток сетчатки и к постепенному повреждению зрительного нерва [16,17].

Глаукома – это нейродегенеративное заболевание согласно современным исследованиям. В этой патологии главную роль играет гибель ганглиозных клеток сетчатки. Эти клетки – первая цель болезни. Когда они умирают, волокно зрительного нерва тоже разрушается. В итоге расширяется экскавация диска зрительного нерва, а в поле зрения появляются дефекты [16,18].

Помимо механических и сосудистых факторов, в развитии глаукомы работают молекулярные механизмы. Молекулярные механизмы включают воспаление нервов, проблемы с транспортом нейротрофических факторов, скопление вредных метаболитов и токсическое действие глутамата. Молекулярные механизмы вызывают нарушение метаболизма у ганглиозных клеток сетчатки и гибель ганглиозных клеток сетчатки [19].

Однако глаукомный процесс может развиваться даже при нормальном внутриглазном давлении. Это свидетельствует о том, что повышение ВГД не является единственным фактором патогенеза заболевания. Глаукомная оптическая нейропатия может возникнуть из-за взаимодействия механических, сосудистых, генетических и метаболических факторов [19].

Глаукома часто длительно проходит без симптомов, и на начальных стадиях пациенту ничего не заметно. На ранних этапах глаукома медленно убивает ганглиозные клетки сетчатки, но клинических признаков нет. Глаукома вызывает нарушения поля зрения только после большой потери нервных волокон зрительного нерва, когда уже становится необратимым [19].

Все это приводит нас к выводу, что ранняя диагностика глаукомы важна, потому что только это может спасти зрительные функции. Раннее обнаружение даёт шанс. Если обнаружить болезнь вовремя, то можно сразу начать лечение, а лечение на ранних стадиях помогает остановить дальнейшее прогрессирование глаукомной оптической нейропатии. Главный способ лечения – снижение внутриглазного давления; на сегодняшний день снижение внутриглазного давления остаётся единственным проверенным способом замедлить прогрессирование заболевания [17].

Поскольку при глаукоме зрительный нерв повреждается навсегда, надо ловить болезнь как можно раньше. Скрининг – наш главный способ не дать слепоте победить. Эффективный скрининг уже сейчас выявляет заболевание у пациентов, у которых может быть глаукома, ещё до того, как зрение начнёт явно падать. Мы сразу же направляем таких людей к офтальмологу, чтобы он проверил глаз и начал лечение.

#### **1.4 Возрастные и генетические факторы риска**

Глаукома развивается при наличии ряда факторов риска. Самые важные из них это возраст, наследственность, повышенное внутриглазное давление и анатомические особенности глаза. Исследования показывают: чем старше человек, тем чаще у него появляется глаукома.

Систематический обзор показывает, что болезнь появляется всё чаще после сорока лет и дальше растёт с возрастом. Болезнь, особенно глаукома, становится частой. Стоит помнить о росте риска. Глаукома, к примеру, встречается у людей 40-44 лет примерно в 5,5 случая на 10 000 человеко-лет, а у тех, кому уже за семьдесят пять, её количество подскакивает до более чем 60 случаев на 10 000 человеко-лет [13]. Поэтому почти все программы скрининга глаукомы сосредоточены на людях старше сорока лет.

Наследственная предрасположенность сильно влияет на развитие глаукомы. Наличие глаукомы у близких родственников резко повышает риск развития глаукомы. По результатам исследований, риск развития глаукомы у людей, у которых в семье была глаукома, больше, чем в два раза, по сравнению с общей популяцией [3].

К дополнительным факторам риска относятся миопия, сахарный диабет, сосудистые нарушения и повышенное внутриглазное давление. Повышенное внутриглазное давление – один из главных изменяемых факторов риска развития глаукомы [12]. Повышенное внутриглазное давление также является главной целью лечения.

Существенные региональные различия наблюдаются в распространённости различных форм глаукомы. В разных регионах распространённость разных форм глаукомы сильно меняется. Например, открытоугольная глаукома часто встречается у людей из Европы и Африки. А закрытоугольная глаукома чаще встречается в странах Восточной и Юго-Восточной Азии. По результатам большого анализа популяционных исследований, частота закрытоугольной глаукомы в азиатских странах достигает 1,09 %, и это намного выше, чем в других частях мира [2].

Близость населения Центральной Азии к азиатским популяциям имеет значение. Данные исследований из азиатских стран необходимы для понимания рисков и распространённости глаукомы в этом регионе.

### **1.5 Обоснование скрининга глаукомы**

Как нам известно, глаукома часто долго проходит без симптомов в самом начале. Пациенты обычно не предъявляют жалоб, пока не появляется серьёзный урон зрительному нерву и пока не возникают заметные проблемы со зрением. Согласно данным эпидемиологических исследований, значительная доля случаев глаукомы остаётся недиагностированной до развития поздних стадий заболевания [3].

Из-за этого важны программы скрининга, которые выявляют болезнь на ранних стадиях. Программа скрининга помогает найти людей, у которых может быть глаукома, и сразу же отправить их на подробное дообследование глаз. Раннее обнаружение болезни даёт шанс начать лечение вовремя и замедлить ухудшение зрительного нерва.

Эффективность скрининговых программ зависит от ряда критериев. Главные показатели эффективности диагностики – чувствительность (sensitivity) и специфичность (specificity) метода. Чувствительность показывает, насколько тест умеет правильно выявлять болезнь у людей, у которых она действительно есть. Специфичность показывает, насколько тест умеет правильно определять, что болезни нет у здоровых людей [18].

Для диагностических тестов важны два показателя: положительная прогностическая ценность (positive predictive value) и отрицательная прогностическая ценность (negative predictive value). Положительная прогностическая ценность показывает, как часто болезнь действительно есть, когда тест даёт положительный результат. Отрицательная прогностическая ценность показывает, как часто болезни нет, когда тест даёт отрицательный результат.

Не только точность диагностики важна. Когда проверяем, насколько скрининг работает, берём в расчёт организационные и экономические аспекты. Учитывается стоимость оборудования, насколько легко достать оборудование, можно ли использовать методы в обычных поликлиниках и удобно ли обследование населению. Эти факторы особенно важны, когда вводят

программы скрининга в регионах, где в системе здравоохранения имеется дефицит ресурсов [1].

Совершенствование методов скрининга и внедрение эффективных диагностических подходов являются важным направлением профилактики слепоты и снижения инвалидности по зрению.

## **1.6 Методы скрининга глаукомы**

Ранняя диагностика глаукомы – одна из самых сложных задач современной офтальмологии. Глаукома длительно протекает без симптомов, и её часто замечают уже на поздних стадиях, когда зрительный нерв уже повреждён и восстановить его нельзя. Поэтому в разных странах создают программы скрининга, чтобы выявлять глаукому на ранних стадиях. В рамках этих программ используют различные диагностические методы, которые позволяют оценить, как работает зрительная система, и увидеть морфологические изменения в структуре глаза.

Программы скрининга глаукомы включают несколько диагностических методов. К ним относятся: измерение внутриглазного давления, исследование зрительного поля, оценка состояния диска зрительного нерва через офтальмоскоп или фотографирование глазного дна, также можно визуализировать сетчатку и зрительный нерв, например с помощью ОКТ – оптической когерентной томографии. Каждый способ имеет свои плюсы и минусы. Поэтому, нужен совместный подход, когда сразу применяют комбинирование нескольких способов для уточнения диагноза глаукомы.

### **1.6.1 Тонометрия**

Офтальмологи в первую очередь измеряют внутриглазное давление у пациентов, когда подозревают глаукому. Если внутриглазное давление повышено, это сразу указывает на высокий риск развития глаукомы. На приёме часто используются разные методы тонометрии – апланационная тонометрия и бесконтактная тонометрия, которую иногда называют пневмотониметрией.

Измерение внутриглазного давления часто применяют, но исследования показывают, что измерение внутриглазного давления недостаточно чувствительно, если измерение внутриглазного давления использовать как единственный способ скрининга. По популяционным исследованиям, у значительной части пациентов с первичной открытоугольной глаукомой внутриглазное давление находится в пределах нормы. Поэтому, если использовать только измерение внутриглазного давления, можно пропустить много случаев заболевания [21,22]. Важно помнить, что полагаться лишь на измерение внутриглазного давления рискованно.

Повышение давления в глазу не всегда приводит к глаукоме. Иногда давление поднимается, а глаукома не появляется. Из-за этого обследование может дать ложный положительный результат. Поэтому использовать только

тонометрию, чтобы искать глаукому у большого количества населения, нельзя. Тонометрия одна не даёт надёжных результатов в массовом скрининге.

### **1.6.2 Периметрия**

Исследование поля зрения – это важный метод диагностики глаукомы. В большинстве используют автоматизированную статическую периметрию. Она помогает увидеть характерные дефекты поля зрения, которые появляются из-за повреждения зрительного нерва.

Автоматизированная периметрия даёт очень точный диагноз. Автоматизированная периметрия считается одним из главных способов подтвердить диагноз глаукомы, а исследования показывают, что чувствительность автоматизированной периметрии достигает примерно 97 %, а специфичность – около 84 % [21].

Однако периметрия как метод массового скрининга имеет несколько ограничений. Она требует много времени, чтобы провести исследование, от пациента требуется высокая концентрация, а от персонала – особая подготовка. Кроме того, результаты периметрии могут зависеть от того, насколько быстро пациент учится, и от ошибок фиксации. По этим причинам снижаются воспроизводимость результатов, когда проводятся массовые обследования населения [23].

Вот почему, из-за этих ограничений, периметрию чаще используют, чтобы подтвердить диагноз глаукомы, а не как основной способ скрининга. Периметрия теперь служит подтверждением, а не первым методом поиска.

### **1.6.3 Фотографирование глазного дна**

Один из самых перспективных способов проверки глаукомы – фотографировать глазное дно с использованием немидриатических фундус-камер. Мы берём камеру, делаем фото глазного дна, сразу видим диск зрительного нерва. Фотографирование глазного дна позволяет увидеть диск зрительного нерва и оценить изменения. Можно визуализировать увеличение экскавации, разницу между правым и левым глазом и повреждения нервных волокон сетчатки. Такой метод считается простым, быстрым и надёжным.

Систематические обзоры показывают, что если взять фундус-фотографию и измерить соотношение экскавации к диаметру диска, то можно получить чувствительность около 73 % и специфичность около 89 % при выявлении глаукомы [23]. В целом, такие цифры выглядят убедительно.

Вот ещё один плюс: можно сохранить изображения и анализировать их дистанционно. Поэтому фундус-фотография также удобна для телемедицинских программ скрининга. На мой взгляд, такой подход упрощает работу врачей. В международных исследованиях показано, что цифровые снимки глазного дна помогают находить пациентов с подозрением на глаукому и отправлять таких пациентов в специализированные центры на детальное обследование [24].

Однако, точность метода, почти всегда зависит от качества картинки и от опыта специалиста, который проводит интерпретацию снимков.

#### **1.6.4 Оптическая когерентная томография**

Оптическая когерентная томография (ОСТ) – это современный способ визуализировать сетчатку и зрительный нерв. ОСТ измеряет толщину нервных волокон в сетчатке. С помощью ОСТ врач сразу видит ранние изменения, которые обычно указывают на глаукому.

Современные исследования показывают, что ОСТ имеет очень высокую точность диагностики. В нескольких работах, в разных статьях, авторы пишут, что чувствительность ОСТ может достигать примерно 89 %, а специфичность ОСТ – до 95 % при выявлении глаукомы [23]. Эти цифры подтверждают, что ОСТ действительно полезен.

ОСТ является одним из самых точных методов диагностики, но в массовых проверках ОСТ почти не используют, потому что оборудование очень дорогостоящее и нужны специальные офтальмологические центры. Вот почему ОСТ чаще ставят в узких клиниках, которые направлены на подтверждение диагноза и наблюдение за течением заболевания.

#### **1.6.5 Комбинированные методы скрининга**

В последние годы всё больше внимания уделяют комбинированным методам скрининга глаукомы, когда одновременно используются несколько тестов. Комбинированный скрининг действительно повышает точность обнаружения болезни, потому что сразу оценивают разные её стороны. Комбинированный скрининг реально помогает врачам быстрее выявить диагноз.

Исследования показывают, что комбинация двух методов визуализации (например, фундус-фотография и ОСТ) и функциональных тестов делает скрининг точнее. В одном большом популяционном исследовании, где участвовало более тысячи человек, проверили эту комбинацию. Они использовали ОСТ вместе с фундус-фотографией. Комбинация ОСТ и фундус-фотографии дала чувствительность от 69 % до 86 % и специфичность от 82 % до 97 % при выявлении глаукомы [24].

Другие исследования также показывают, что добавление ОСТ к фундус-фотографии повышает чувствительность диагностики с 55 % до 80 %. Это сильно улучшает эффективность скрининга [23].

Комбинированные методы нужны при массовом скрининге, потому что ни один отдельный тест сам по себе не дает нужной точности. Комбинированный подход же позволяет сразу увидеть разные признаки болезни. Он же показывает, да, повышение давления внутри глаза, изменения в зрительном нерве и проблемы в работе зрительной системы. Такой подход помогает поймать болезнь раньше.

В связи с этим многие современные исследования и программы скрининга рассматривают комбинированные методы обследования как наиболее перспективное направление раннего выявления глаукомы. Такой подход позволяет повысить чувствительность скрининга, снизить вероятность ложноположительных результатов и более эффективно выявлять пациентов с ранними стадиями заболевания.

### 1.7 Международный опыт скрининга глаукомы

Таблица 1 – Международный опыт скрининга глаукомы

| Страна                 | Наличие национально го скрининга          | Модель скрининга                                   | Целевая группа                                        | Основные методы                                          |
|------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Великобритания [25,26] | Нет                                       | Оппортунистическое выявление (через оптометристов) | Население, обращающееся за офтальмологической помощью | Тонометрия, периметрия, осмотр диска зрительного нерва   |
| США [27,28]            | Нет                                       | Скрининг групп риска, мобильные программы          | >40 лет, группы риска                                 | Тонометрия, фундус-фотография, оценка зрительных функций |
| Китай [29,30]          | Частично (региональные программы)         | Интеграция в медосмотры, телемедицина              | Взрослое население                                    | Тонометрия, фундус-фотография                            |
| Индия [31,32,33]       | Да (в рамках программ борьбы со слепотой) | Мобильные бригады, популяционный скрининг          | >40 лет, сельское население                           | Тонометрия, периметрия, офтальмоскопия                   |
| Южная Корея [34]       | Частично                                  | Скрининг в рамках регулярных check-up              | Взрослое население                                    | Фундус-фотография, тонометрия                            |
| Япония [35,36]         | Нет (отдельной программы)                 | Скрининг в рамках общих профилактических осмотров  | >40 лет                                               | Тонометрия, фундус-фотография, периметрия                |
| Сингапур [37,38]       | Частично                                  | Скрининг групп риска, поликлиники                  | Взрослое население                                    | Тонометрия, периметрия, оценка ДЗН                       |

|                    |                               |                                  |                    |                                           |
|--------------------|-------------------------------|----------------------------------|--------------------|-------------------------------------------|
| Россия<br>[39,40]  | Да (в рамках диспансеризации) | Популяционный скрининг           | >40 лет            | Тонометрия                                |
| Украина<br>[41]    | Да (профилактические осмотры) | Популяционный скрининг           | >40 лет            | Тонометрия, офтальмоскопия                |
| Узбекистан<br>[42] | Да (в рамках профилактики)    | Популяционный скрининг           | Взрослое население | Тонометрия, офтальмоскопия                |
| Австралия<br>[43]  | Нет                           | Опportunистический скрининг      | Группы риска       | Тонометрия, фундус-фотография, периметрия |
| Нидерланды<br>[44] | Нет                           | Выявление через первичную помощь | Пожилые пациенты   | Периметрия, офтальмоскопия                |

Международный опыт показывает, что только в постсоветском регионе существуют программы массового популяционного скрининга глаукомы, где проводятся скрининги с использованием тонометрии. В большинстве развитых стран не существует национальных программ скрининга, и раннее выявление проводится при обследовании групп риска и опportunистических осмотрах. В азиатских странах наиболее широко используется комбинированный подход, предполагающий использование структурных и функциональных методов исследования и телемедицинских технологий.

### 1.8 Опыт скрининга глаукомы в Республике Казахстан

В Казахстане проведение мероприятий по ранней диагностике глаукомы проводилось и продолжает осуществляться в рамках государственных программ, направленных на развитие здравоохранения и профилактику заболеваний. Так, в 2011 году в составе государственной программы Саламатты Қазақстан был впервые внедрён скрининг выявления глаукомы среди населения старших возрастных групп.

Главной целью программы являлось снижение уровня первичной инвалидности по зрению через повышение выявляемости глаукомы на ранних стадиях.

Согласно официальным данным Министерства здравоохранения Республики Казахстан, за первые годы реализации программы удалось выявить большое количество новых случаев заболевания. Так, проведение скрининговых обследований позволило выявить 24 750 новых случаев глаукомы, что свидетельствовало как о высокой распространённости заболевания, так и о



недостаточной диагностике на ранних стадиях до внедрения регулярных профилактических массовых осмотров [45].

Затем скрининговые мероприятия были продолжены в рамках ряда последующих государственных программ здравоохранения, включая программу Денсаулық.

При проведении профилактических осмотров населения старших возрастных групп предусматривалось скрининговое выявление глаукомы, а также артериальной гипертензии, сахарного диабета и других хронических неинфекционных заболеваний.

По данным Национального отчета системы ПМСП, количество обследуемых каждый год составляет достаточно высокое количество людей. Так, за период с 2019 по 2022 год количество лиц, подлежащих скринингу на глаукому, составляло свыше 1,5–1,7 млн человек в год с показателем охвата обследованием более 90%. При этом за счёт проведения скрининговых обследований каждый год выявляется от 4 700 до 6 300 новых случаев глаукомы [46].

Оценка результатов внедрения скрининговых мероприятий в практику казахстанских медицинских учреждений выявила, что введение специализированных кабинетов тонометрии и профосмотров, проведение работ с пациентами в направлении обучения и профилактики позволило увеличить количество ранних выявляемых случаев глаукомы.

По данным отечественных исследований, после внедрения данных мероприятий ранняя выявляемость увеличилась на 49% [47].

Несмотря на положительную динамику скрининговых программ, глаукома остаётся актуальной проблемой для системы здравоохранения Казахстана. По данным Министерства здравоохранения Республики Казахстан более 60 000 граждан зарегистрированы как пациенты с глаукомой, при этом данное заболевание занимает одно из первых мест в структуре первичной инвалидности граждан по зрению [45].

В настоящее время ведётся работа по совершенствованию системы скрининга глаукомы. Предполагается расширить доступ к профилактическим обследованиям населения и интегрировать скрининговые мероприятия в ГОБМП (гарантированный объём бесплатной медицинской помощи) для дальнейшего увеличения охвата населения обследованиями и повышения эффективности раннего выявления заболевания [48].

По данным казахстанских исследований, глаукома занимает второе место в структуре первичной инвалидности по зрению, при этом около 80% пациентов имеют первую и вторую группы инвалидности, что также говорит о высокой социальной значимости данного заболевания [49].

История формирования системы скрининга глаукомы в Казахстане началась с использования подходов, впервые описанных ещё в советское время. Так, на основании исследования Национальной программы скрининга глаукомы среди населения старших возрастных групп можно было сделать вывод о том, что на момент провозглашения независимости Казахстаном в 1991 году

продолжал действовать порядок проведения скрининговых обследований населения, предусматривающий трехэтапную систему осмотров.

Исходя из этого, на первом этапе проводилось только измерение ВГД (внутриглазного давления) с использованием тонометрии по Маклакову, на втором этапе пациенты с подозрением на наличие глаукомы направлялись на консультацию к офтальмологу, а окончательное клиническое заключение с указанием диагноза и тактики лечения составлялось в ООЛ (офтальмологических отделениях) либо глаукомных кабинетах после стационарного обследования [50].

Также согласно анализируемым нормативным документам того времени, скрининговые обследования проводились среди лиц старше 40 лет, при этом рекомендовалось проводить профилактические обследования лиц один раз в три года [50].

Система скрининга глаукомы была доработана позже. Таким образом, в 2009 году новый порядок проведения скрининговых обследований был утверждён Министерством здравоохранения Республики Казахстан. Из информации изучаемого исследования Национальной программы скрининга следует, что целевой контингент обследованиями были определены лица в возрасте от 40 до 70 лет. При этом периодичность проведения обследований сократилась до одного раза в два года. Также наряду с традиционной тонометрией по Маклакову в программу скрининга включили и методику бесконтактной тонометрии (air-puff), что позволило сделать обследования более доступными для населения и увеличить количество людей, проходящих профилактические осмотры [50].

В настоящее время в Казахстане скрининг глаукомы интегрирован в систему профилактических медицинских осмотров и является частью деятельности МСУ (медицинских организаций уровня первичной медико-санитарной помощи). Финансирование скрининговых осмотров осуществляется из государственного бюджета и при ФОМС (фонд обязательного медицинского страхования). Однако особого бюджета для программы скрининга глаукомы не предусмотрено, так как данные обследования проводятся в рамках основной деятельности медицинских организаций ПМСП [50].

Анализ эпидемиологических показателей заболеваемости глаукомой в Казахстане свидетельствует о постепенном увеличении распространённости данного заболевания. Согласно проведённому исследованию Национальной программы скрининга показатель заболеваемости глаукомой увеличился с 59,1 на 100 000 населения в 2000 году до 135,5 на 100 000 населения в 2022 году. Такой рост показателей может быть обусловлен возрастанием доли лиц пожилого и старческого возраста в общей численности населения Республики Казахстан [50].

Кроме того, исследования также показали высокую распространённость заболевания и наличие выраженной разницы между городскими и сельскими регионами. Так, более высокие уровни заболеваемости глаукомой отмечались в городских регионах Казахстана по сравнению с аналогичными данными

сельских территорий. Это может быть обусловлено как неравномерным распределением офтальмологических услуг по стране, так и методическими различиями в практике ведомственной статистики регистрации случаев заболевания [50].

Популяционные исследования также говорят о высокой распространённости глаукомы среди населения Казахстана. Так, в одном из опросов, целью которого было систематическое скрининговое обследование лиц старше 40 лет, распространённость подтверждённой глаукомы составляла 2,63% (452 случая из 17 183 обследованных) [50].

Несмотря на широкое внедрение программ скрининга на глаукому, эффективность текущей системы раннего выявления глаукомы является предметом дискуссий. Исследования показывают, что выявляемость заболевания при скрининге ниже ожидаемой на основании мировых эпидемиологических данных. Это может быть обусловлено недостаточной чувствительностью методов обследования или недостаточной отработанностью организационных моментов программ скрининга [50].

Одним из недостатков текущей национальной программы скрининга может быть широкое использование тонометрии в качестве метода первичного выявления глаукомы. Однако современные исследования продемонстрировали низкую эффективность использования только измерения внутриглазного давления для раннего выявления глаукомы, поскольку значительное количество пациентов с глаукомой обладают нормальным внутриглазным давлением. Поэтому в литературе обсуждается необходимость доработки текущих программ скрининга и внедрения дополнительных методов диагностики при скрининге [50].

## **1.9 Крупные исследования по изучению эффективности скрининга глаукомы**

### **Сингапур**

Сингапур – одна из стран, в которой проводятся популяционные исследования по выявлению глаукомы с целью создания эффективной модели скрининга. Одно из самых известных исследований – Singapore Epidemiology of Eye Diseases (SEED) Study, в котором приняли участие свыше 10 000 участников трех основных этнических групп Сингапура (китайцев, малайцев и индийцев). В рамках исследования у участников проводились полные офтальмологические обследования, включавшие измерение внутриглазного давления, исследование поля зрения и оптическую диагностику диска зрительного нерва.

Результаты исследования продемонстрировали, что приблизительно 72% случаев первичной глаукомы ранее не были диагностированы, что обосновывает необходимость проведения программ активного скрининга в популяции [51].

Кроме того, в Сингапуре проводятся исследования для определения эффективности различных тестов для скрининга на глаукому. В одном из

исследований [52], в котором участвовало 479 пожилых пациентов, было сравнено несколько тестов: апланационная тонометрия, неапланационная тонометрия (также известная как бесконтактная тонометрия), оценка диска зрительного нерва и поле зрения. Результаты исследования продемонстрировали значительно более высокую чувствительность и специфичность оценки диска зрительного нерва по сравнению с тонометрией.

## **Япония**

Япония является одной из стран, в которой проводились исследования для оценки распространенности глаукомы в популяции и разработки стратегий скрининга глаукомы.

Одним из наиболее известных исследований было Tajimi Study, в котором участвовало более 3 000 жителей старше 40 лет. Участники проходили комплексное офтальмологическое обследование, включавшее измерение ВГД, исследование поля зрения, стереофотографии диска зрительного нерва и гониоскопию. Исследование показало высокую распространенность глаукомы в популяции и необходимость комбинирования различных методов офтальмологического обследования для ее диагностики [35].

Вторым исследованием был Hisayama Study с 3405 участниками. Методы оценки глаукомы в этом исследовании включали стереоскопическую фундус-фотографию и ОКТ. Распространенность глаукомы в исследуемой популяции составила 7,6%, что может быть обусловлено увеличением числа пожилого населения Японии [54].

Важным аспектом данных исследований было то, что на основании их результатов были разработаны рекомендации для скрининга глаукомы среди лиц старше 40 лет, а также подтверждена необходимость структурных методов оценки зрительного нерва в популяционных исследованиях.

## **Южная Корея**

Южная Корея также активно занимается проведением популяционных исследований с изучением факторов риска и разработкой методов раннего выявления глаукомы.

Одно из таких крупных исследований называется Gangnam Eye Cohort Study. В нем приняли участие свыше 75000 человек, проходивших профилактическое медицинское обследование. В рамках исследования использовалась фундус-фотография для массового скрининга на признаки глаукомы.

В результате исследования было установлено, что глаукома была диагностирована у 2093 человек, еще 5378 людей имели подозрение на глаукому. Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности использования фундус-фотографии для массового скрининга населения при проведении профилактических медицинских обследований [54].

## **Австралия**

В Австралии изучение эпидемиологии глаукомы и методов скрининга проводилось в рамках Blue Mountains Eye Study, являющемся одним из крупнейших популяционных офтальмологических исследований.

В ходе исследования проводилось Измерение ВГД, фотографирование глазного дна и полевое исследование у людей старше 49 лет. В результате данного исследования было получено количество случаев глаукомы, которые не были выявлены до обследования, что позволяет утверждать о необходимости программ скрининга для ранней диагностики глаукомы.

Данные исследования широко применяются для разработки стратегии национальной программы профилактики слепоты и скрининга глаукомы [43].

### **1.10 Заключение литературного обзора**

Изучение современных научных публикаций по диагностике глаукомы для целей скрининга помогло сделать несколько важных выводов. Так как глаукома остается одной из ведущих причин необратимой слепоты во всем мире и поражение зрительного нерва при этом заболевании является необратимым, она характеризуется как бессимптомным течением на начальных стадиях, так и поздней диагностикой. Высокая распространенность данного заболевания, наличие большого количества необнаруженных случаев и необратимость изменений в зрительном нерве обуславливают актуальность разработки эффективных методов раннего выявления глаукомы [2,26].

Изучение международного опыта программ скрининга позволило сделать вывод о том, что в большинстве стран мира отсутствуют универсальные программы популяционного скрининга глаукомы, поскольку все доступные методы оказались недостаточно эффективны при массовом применении. Вместо этого для выявления заболевания используются стратегии скрининга среди лиц с повышенным риском заболевания или оппортунистический скрининг при проведении регулярных офтальмологических обследований [25,37].

При анализе литературы об использовании отдельных методов для скрининга на глаукому было выявлено, что традиционно используемые методы скрининга, такие как тонометрия, имеют низкую чувствительность и специфичность для выявления заболевания, особенно в случае нормотензивной формы глаукомы. Структурные методы оценки диска также имеют свои ограничения, как и функциональные методы диагностики глаукомы, и поэтому не могут считаться универсальным скрининговым инструментом в отдельном использовании [27,35].

В современных исследованиях большое внимание уделяется комбинированным методам скрининга глаукомы на основе использования нескольких диагностических методов одновременно. Международные исследования показывают, что комбинированные подходы к скринингу на

глаукому на основе измерения внутриглазного давления и оценки структуры зрительного нерва обеспечивают более эффективное выявление заболевания на ранних стадиях его развития [27,55].

Также появление цифровых технологий, развитие телемедицины и методов автоматической интерпретации фотографий глазного дна дают надежду на то, что в ближайшем будущем будет создан эффективный инструмент скрининга глаукомы для массового применения в условиях с ограниченным доступом к квалифицированной медицинской помощи [30].

Исходя из вышеперечисленного, несмотря на достаточно высокий уровень развития диагностических методов глаукомы в современной медицине, вопрос об оптимальной модели скрининга на глаукому так и остаётся открытым. Отсутствие универсального высокоэффективного метода скрининга для массового применения обуславливает необходимость дальнейших исследований для разработки комбинированных подходов к диагностике глаукомы.

Резюмируя, проведенный анализ литературы подтверждает целесообразность поиска эффективных методов скрининга глаукомы для их использования при раннем выявлении заболевания. В связи с этим актуальным представляется изучение эффективности комбинированного скрининга при помощи пневмотонометрии и фотографирования глазного дна, что и определяет цель нашего исследования.

## **2 Материалы и методы исследования**

### **2.1 Дизайн исследования**

Для достижения поставленной цели и решения запланированных задач диссертационной работы исследование было выполнено в 3 этапа:

1. Этап исследования: на начальном этапе для изучения исследовательского вопроса был проведен анализ литературных источников Казахстана, стран ближнего и дальнего зарубежья (Таблица 1), материалы сети интернет – PubMed, Medscape, UpToDate, Google Scholar. Ключевыми словами для поиска являлись: скрининг глаукомы, тонометрия / пневмотонометрия, фотографирование глазного дна, немидриатическая фундус-камера, комбинированный скрининг, телемедицина в офтальмологии.

2. Этап исследования: наблюдательное диагностическое исследование с поперечным (cross-sectional) дизайном (рисунок 1). В исследование включены 510 пациентов, ранее прошедшие доврачебный скрининг-кабинет и которых была выявлена офтальмогипертензия. Они направлялись на офтальмологическое обследование в рамках скрининга заболеваний органа зрения. Отбор участников осуществлялся последовательным методом среди пациентов, соответствующих критериям включения и исключения. Все участники до начала обследования предоставляли информированное добровольное согласие на участие в исследовании.

Каждому участнику исследования проводилось обследование с использованием двух скрининговых методов. На первом этапе выполнялась пневмотонометрия – бесконтактное измерение внутриглазного давления с использованием автоматического тонометра. Измерение проводилось в стандартных условиях согласно инструкции производителя оборудования. Полученные значения внутриглазного давления фиксировались в базе данных исследования.

На втором этапе применялся комбинированный метод скрининга, включающий пневмотонометрию в сочетании с фотографированием глазного дна с использованием портативной фундус-камеры. Полученные изображения диска зрительного нерва сохранялись в единой базе для дальнейшей оценки врачом-офтальмологом с целью выявления структурных изменений, характерных для глаукомного поражения, включая увеличение экскавации диска зрительного нерва, изменение соотношения экскавации к диаметру диска и другие морфологические признаки.

Полученные данные использовались для сравнительного анализа диагностической эффективности пневмотонометрии и комбинированного метода скрининга с целью оценки различий в выявляемости глаукомы.



Рисунок 1 - Дизайн исследования – поперечное описательное исследование

3. Этап исследования: Статистическая обработка данных проводилась с использованием методов описательной и сравнительной статистики. Для каждого метода определялась доля пациентов с выявленным подозрением на глаукому.

Сравнительный анализ результатов пневмотонометрии и комбинированного метода выполнялся с учетом того, что оба метода применялись у одних и тех же пациентов. Для оценки статистической значимости различий использовался критерий Мак-Немара, предназначенный для анализа парных категориальных данных и позволяющий выявить различия в диагностической эффективности двух методов.

## 2.2 Характеристика выборки

### Количество участников

В исследование включено 510 пациентов, прошедших скрининг на глаукому с использованием пневмотонометрии и фотографирования глазного дна. Обследование проводилось в рамках первичной медико-санитарной помощи.

Размер выборки был предварительно рассчитан по методу В.И. Паниотто и составил 385 человек, с дополнительным увеличением на 20% для компенсации возможных потерь, что определило планируемый объем выборки в 462 пациента. Фактически в исследовании приняли участие и завершили его 510 человек, что превышает расчетный минимум и повышает статистическую надежность полученных результатов.

Увеличение объема выборки способствует снижению вероятности ошибки второго рода ( $\beta$ ) и обеспечивает достаточную статистическую мощность



исследования при уровне значимости  $\alpha = 0,05$ , что позволяет достоверно оценить различия в диагностической эффективности исследуемых методов скрининга.

#### **Распределение по полу**

Гендерное распределение проводилось в одинаковом количестве из учета общего количества пациентов.

#### **Распределение по возрасту**

Были взяты участники от 40 до 70 лет (Приказ и.о. Министра здравоохранения Республики Казахстан от 30 октября 2020 года № ҚР ДСМ-174/2020. Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 2 ноября 2020 года № 21572. «Об утверждении целевых групп лиц, подлежащих скрининговым исследованиям, а также правил, объема и периодичности проведения данных исследований»)

#### **Распределение по национальности (этническая принадлежность)**

Ограничений по расовому и этническому распределению участников не имелось.

#### **Критерии для включения:**

1. Ранее выявленная офтальмогипертензия
2. Возраст от 40 до 70 лет
3. Отсутствие установленного диагноза глаукомы
4. Наличие информированного согласия
5. Общее состояние здоровья, позволяющее участвовать в исследовании.

#### **Критерии для исключения:**

1. Наличие установленного диагноза глаукомы
2. Возраст младше 40 лет и старше 70 лет.
3. Активные инфекционные заболевания глаз
4. Травмы глаз или оперативные вмешательства на глазах в анамнезе
5. Тяжёлые заболевания, влияющие на зрение
6. Беременность и лактация
7. Невозможность выполнить все диагностические процедуры

### **2.3 Методы диагностики**

#### **Пневмотонометрия**

Пневмотонометрия проводилась с использованием автоматического бесконтактного тонометра Topcon ST-800 (производство Topcon Corporation, Япония). Исследование выполнялось в положении пациента сидя, после краткого инструктажа с фиксацией взгляда на световой метке прибора. Измерение внутриглазного давления осуществлялось путем подачи направленного потока воздуха на роговицу с последующей регистрацией степени ее деформации

(Рисунок 2). Для повышения точности проводилось не менее трёх последовательных измерений для каждого глаза с последующим расчетом среднего значения.



Рисунок 2 – Пневмотонометрия. Механизм диагностического метода

При интерпретации результатов отрицательным считался показатель внутриглазного давления менее 22 мм рт. ст. (значение 0), положительным – значение внутриглазного давления 22 мм рт. ст. и выше (значение 1).

### Фотографирование глазного на немидриатическую портативную фундус-камеру

Фотографирование глазного дна проводилось с использованием портативной немидриатической фундус-камеры Hand-Held FC161 (производство Shanghai MediWorks Precision Instruments, Китай) в стандартных условиях без медикаментозного расширения зрачка. Исследование выполнялось в затемнённом помещении для обеспечения физиологического расширения зрачка и улучшения качества изображений. Пациент находился в положении сидя, с фиксацией взгляда на световой метке прибора. Получали цветные изображения глазного дна с визуализацией диска зрительного нерва. Полученные снимки отправлялись напрямую в единую базу данных после чего проводилась их оценка.

Основным анализируемым параметром являлась экскавация диска зрительного нерва (ЭД). Экскавация ДЗН представляет собой физиологическое

углубление в центральной части диска зрительного нерва, отражающее соотношение размеров углубления к общему диаметру диска (cup-to-disc ratio). При глаукоме происходит прогрессирующее увеличение экскавации вследствие утраты нервных волокон, что делает данный показатель важным диагностическим критерием (Рисунок 3).

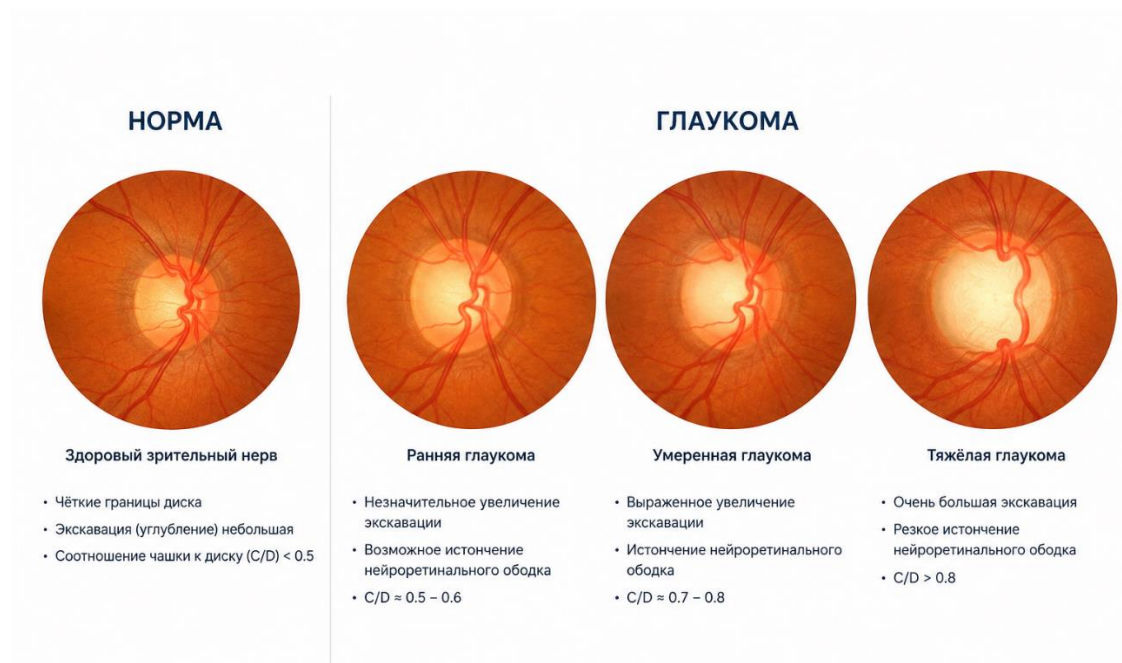


Рисунок 3 – Размеры экскавации ДЗН при различных стадиях глаукомы.

При интерпретации результатов отрицательным считалось значение экскавации ДЗН менее 0,4 (значение 0), положительным – значение 0,4 и выше (значение 1).

### Дополнительное обследование

Для подтверждения или опровержения результатов обследования пациентам проводилось дополнительное комплексное обследование, включающее оптическую когерентную томографию (ОКТ) на аппарате Topcon DRI OCT Triton (производитель Topcon Corporation, Япония) и периметрию на компьютерном периметре Kowa AP-5000C (производитель Kowa Company, Ltd., Япония).

Оптическая когерентная томография выполнялась с использованием специализированного томографа и позволяла получить высокоразрешающие срезы сетчатки и диска зрительного нерва. Исследование проводилось в затемнённом помещении, в положении пациента сидя, с фиксацией взгляда на световой метке прибора. Обследование выполнялось отдельно для каждого глаза. Оценивалась толщина слоя нервных волокон сетчатки (RNFL), параметры диска зрительного нерва и наличие характерных глаукомных изменений, таких как истончение нервных волокон и увеличение экскавации (Рисунок 4).

ID: [REDACTED]

Ethnicity: Asian

Technician:

Triton

Name: [REDACTED]

Gender: Female

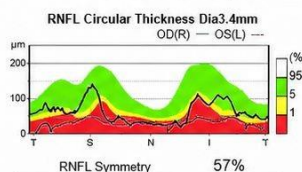
Fixation: Disc / External

DOB: [REDACTED]

Scan: 3D(6.0x6.0mm - 512x256)

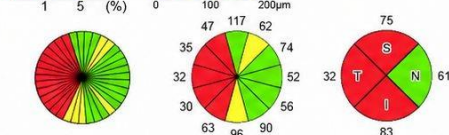
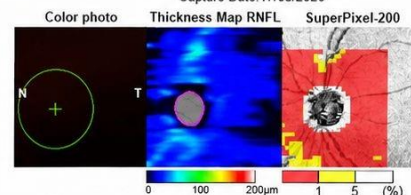
OD(R)

Image Quality: 65 Analysis mode: Fine (2.0.7)  
Capture Date: 17/03/2026



Analysis mode: Fine (2.0.7) Image Quality: 51  
Capture Date: 17/03/2026

OS(L)

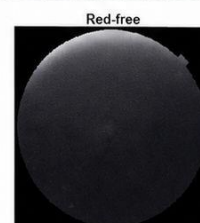
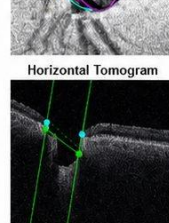
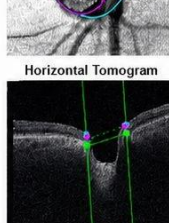
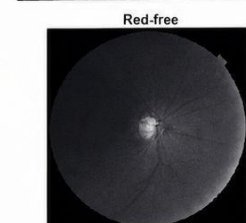
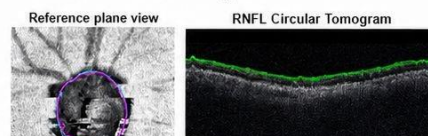
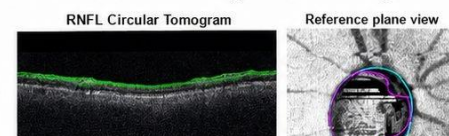
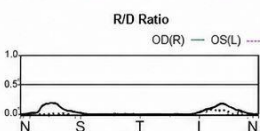


Average thickness RNFL (µm)

|    |                 |    |
|----|-----------------|----|
| 63 | Total Thickness | 31 |
| 75 | Superior        | 38 |
| 83 | Inferior        | 41 |

Disc Topography

|      |                               |      |
|------|-------------------------------|------|
| 1.88 | Disc Area (mm <sup>2</sup> )  | 1.42 |
| 1.57 | Cup Area (mm <sup>2</sup> )   | 1.35 |
| 0.32 | Rim Area (mm <sup>2</sup> )   | 0.06 |
| 0.83 | C/D Area Ratio                | 0.96 |
| 0.91 | Linear CDR                    | 0.98 |
| 0.93 | Vertical CDR                  | 0.99 |
| 0.52 | Cup Volume (mm <sup>3</sup> ) | 0.52 |
| 0.02 | Rim Volume (mm <sup>3</sup> ) | 0.00 |
| 1.46 | Horizontal D.D (mm)           | 1.27 |
| 1.64 | Vertical D.D (mm)             | 1.46 |



Comments

Disc parameters are determined at the reference plane height of (OD(R)120/OS(L)120) microns from the RPE plane in this version.  
Signature:

Print Date: 17/03/2026 08:25:56

## Рисунок 4 – Оптическая когерентная томография ДЗН.

Периметрия проводилась с использованием автоматизированного периметра также в затемнённом помещении. Пациент фиксировал взгляд на центральной точке экрана и реагировал на появление световых стимулов в различных участках поля зрения. Исследование выполнялось отдельно для каждого глаза. В ходе обследования определялись чувствительность сетчатки и наличие дефектов поля зрения, характерных для глаукомы (скотомы, сужение полей зрения) (Рисунок 5).



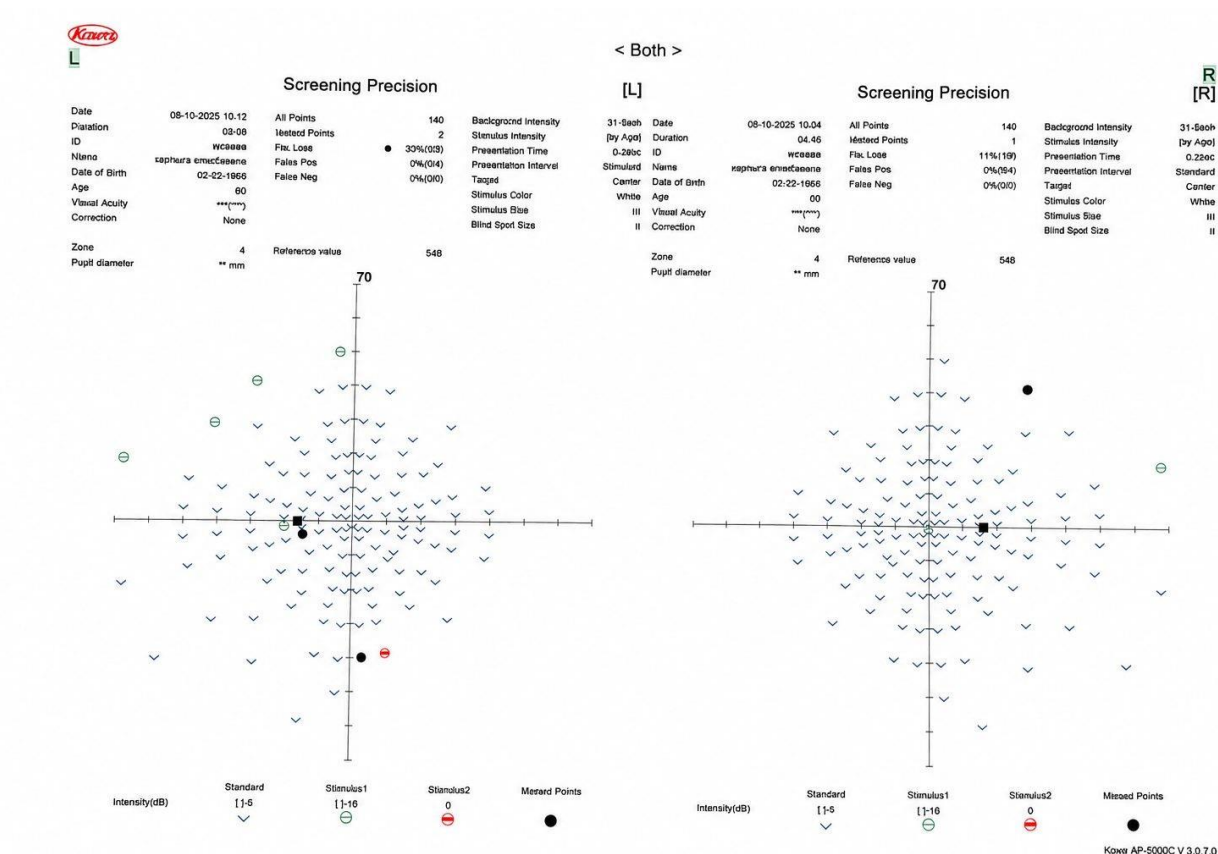


Рисунок 5 – Результаты компьютерной периметрии.

При выявлении признаков глаукомы по данным ОКТ и/или периметрии устанавливался предварительный диагноз глаукомы (значение 1), при отсутствии характерных изменений диагноз считался неподтверждённым (значение 0). Пациентам с установленным диагнозом назначалось соответствующее лечение и рекомендовано дальнейшее динамическое наблюдение.

## 2.4 Методы статистического анализа

Статистический анализ проводился с помощью программы IBM SPSS Statistics (Рисунок 6). Материалы локализовались в программе Excel, первично проводилась верификация на полноту данных.

|    | пациент | вгд<br>од | вгд<br>ос | эдо<br>од | эдо<br>с | автонометрия | фундус | комбинированный<br>метод | подтверждено<br>ридоп. обследо<br>вания | дата      | пер | пер | пер | пер | пер |
|----|---------|-----------|-----------|-----------|----------|--------------|--------|--------------------------|-----------------------------------------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1  | 001     | 14        | 12        | 0,85      | 0,59     | 0            | 1      | 1                        | 1                                       | 06-Jan-25 |     |     |     |     |     |
| 2  | 002     | 9         | 10        | 0,5       | 0,5      | 0            | 1      | 1                        | 0                                       | 17-Jan-25 |     |     |     |     |     |
| 3  | 003     | 12        | 18        | 0,35      | 0,21     | 0            | 0      | 0                        | 0                                       | 17-Jan-25 |     |     |     |     |     |
| 4  | 004     | 12        | 13        | 0,3       | 0,3      | 0            | 0      | 0                        | 0                                       | 22-Jan-25 |     |     |     |     |     |
| 5  | 005     | 18        | 20        | 0,65      | 0,6      | 1            | 1      | 1                        | 1                                       | 23-Jan-25 |     |     |     |     |     |
| 6  | 006     | 18        | 15        | 0,3       | 0,3      | 0            | 0      | 0                        | 0                                       | 29-Jan-25 |     |     |     |     |     |
| 7  | 007     | 12        | 13        | 0,4       | 0,4      | 0            | 0      | 0                        | 0                                       | 04-Feb-25 |     |     |     |     |     |
| 8  | 008     | 19        | 14        | 0,6       | 0,63     | 0            | 1      | 1                        | 1                                       | 11-Feb-25 |     |     |     |     |     |
| 9  | 009     | 16        | 12        | 0,4       | 0,5      | 0            | 0      | 0                        | 0                                       | 12-Feb-25 |     |     |     |     |     |
| 10 | 010     | 11        | 17        | 0,55      | 0,54     | 0            | 1      | 1                        | 0                                       | 14-Feb-25 |     |     |     |     |     |
| 11 | 011     | 29        | 30        | 0,55      | 0,54     | 1            | 1      | 1                        | 1                                       | 14-Feb-25 |     |     |     |     |     |
| 12 | 012     | 22        | 22        | 0,34      | 0,32     | 1            | 0      | 0                        | 1                                       | 17-Feb-25 |     |     |     |     |     |
| 13 | 013     | 18        | 19        | 0,34      | 0,39     | 0            | 0      | 0                        | 0                                       | 17-Feb-25 |     |     |     |     |     |
| 14 | 014     | 18        | 19        | 0,02      | 0,09     | 0            | 0      | 0                        | 0                                       | 17-Feb-25 |     |     |     |     |     |
| 15 | 015     | 23        | 24        | 0,0       | 0,0      | 1            | 0      | 1                        | 1                                       | 17-Feb-25 |     |     |     |     |     |
| 16 | 016     | 16        | 17        | 0,6       | 0,5      | 0            | 1      | 1                        | 0                                       | 18-Feb-25 |     |     |     |     |     |
| 17 | 017     | 20        | 20        | 0,1       | 0,1      | 0            | 0      | 0                        | 0                                       | 18-Feb-25 |     |     |     |     |     |
| 18 | 018     | 17        | 15        | 0,0       | 0,0      | 0            | 0      | 0                        | 0                                       | 19-Feb-25 |     |     |     |     |     |
| 19 | 019     | 19        | 19        | 0,83      | 0,79     | 0            | 1      | 0                        | 1                                       | 21-Feb-25 |     |     |     |     |     |
| 20 | 020     | 21        | 21        | 0,0       | 0,0      | 0            | 0      | 0                        | 0                                       | 21-Feb-25 |     |     |     |     |     |
| 21 | 021     | 19        | 18        | 0,3       | 0,3      | 0            | 0      | 0                        | 0                                       | 26-Feb-25 |     |     |     |     |     |

Рисунок 6 – Интерфейс программы IBM SPSS Statistics, используемой для статистической обработки данных исследования.

## 2.4.1 Выборка

В исследование были включены данные 510 пациентов, прошедших скрининг на глаукому. В анализ были включены следующие переменные: показатели внутриглазного давления (ВГД) правого (OD) и левого (OS) глаза, значения экскавации диска зрительного нерва (ДЗН) правого и левого глаза, а также данные о подтверждении или отсутствии глаукомы, выявленные при дополнительном обследовании, включающие ОКТ ДЗН и периметрию (в качестве «золотого стандарта»).

Количественные переменные (ВГД, экскавация ДЗН) предварительно оценивались на предмет соответствия нормальному распределению с использованием критерия Шапиро–Уилка. Поскольку распределение исследуемых показателей отличалось от нормального ( $p < 0,001$ ), для описания количественных данных использовались медиана (Me) и межквартильный размах (Q1–Q3).

Категориальные переменные представлены в виде абсолютных значений (n) и относительных частот (%).

## 3 Результаты собственных исследований

### 3.1 Описательная статистика

Описательная статистика применялась для характеристики исследуемой выборки в целом, а также отдельно в группах пациентов с подтверждённой глаукомой и без неё.

1) По результатам дополнительного обследования признаки глаукомы были подтверждены у 164 пациентов, что составило 32,2% от общей выборки. У 346 пациентов (67,8%) диагноз глаукомы не был подтверждён. Доля пациентов с подтверждённой глаукомой составила около одной трети обследованной популяции.

2) Проверка нормальности распределения с использованием критерия Шапиро–Уилка показала, что распределение исследуемых показателей отличалось от нормального ( $p < 0,001$ ) (Рисунок 7), в связи с чем для дальнейшего анализа применялись непараметрические методы статистики (Таблица 2).

#### Критерии нормального распределения

|        | Колмогорова-Смирнова <sup>а</sup> |        |       | Критерий Шапиро-Уилка |        |       |
|--------|-----------------------------------|--------|-------|-----------------------|--------|-------|
|        | Статистика                        | ст.св. | знач. | Статистика            | ст.св. | знач. |
| ВГД од | ,124                              | 510    | <,001 | ,888                  | 510    | <,001 |
| ВГД ос | ,105                              | 510    | <,001 | ,983                  | 510    | <,001 |
| ЭД од  | ,072                              | 510    | <,001 | ,970                  | 510    | <,001 |
| ЭД ос  | ,063                              | 510    | <,001 | ,972                  | 510    | <,001 |

а. Коррекция значимости Лиллиефорса

Рисунок 7 – Критерий Шапиро-Уилка.

Таблица 2 – Результаты исследований без учета наличия глаукомы.

| Глаз        | Показатель |             |                |           |
|-------------|------------|-------------|----------------|-----------|
|             | ВГД        |             | Экскавация ДЗН |           |
|             | Me         | $Q_1-Q_3$   | Me             | $Q_1-Q_3$ |
| Правый глаз | 19,0       | 18,47-19,49 | 0,35           | 0,33-0,37 |
| Левый глаз  | 19,0       | 18,56-19,33 | 0,34           | 0,33-0,37 |

3) При сравнении показателей внутриглазного давления (ВГД) в зависимости от наличия глаукомы были выявлены выраженные различия между группами (Рисунок 8).

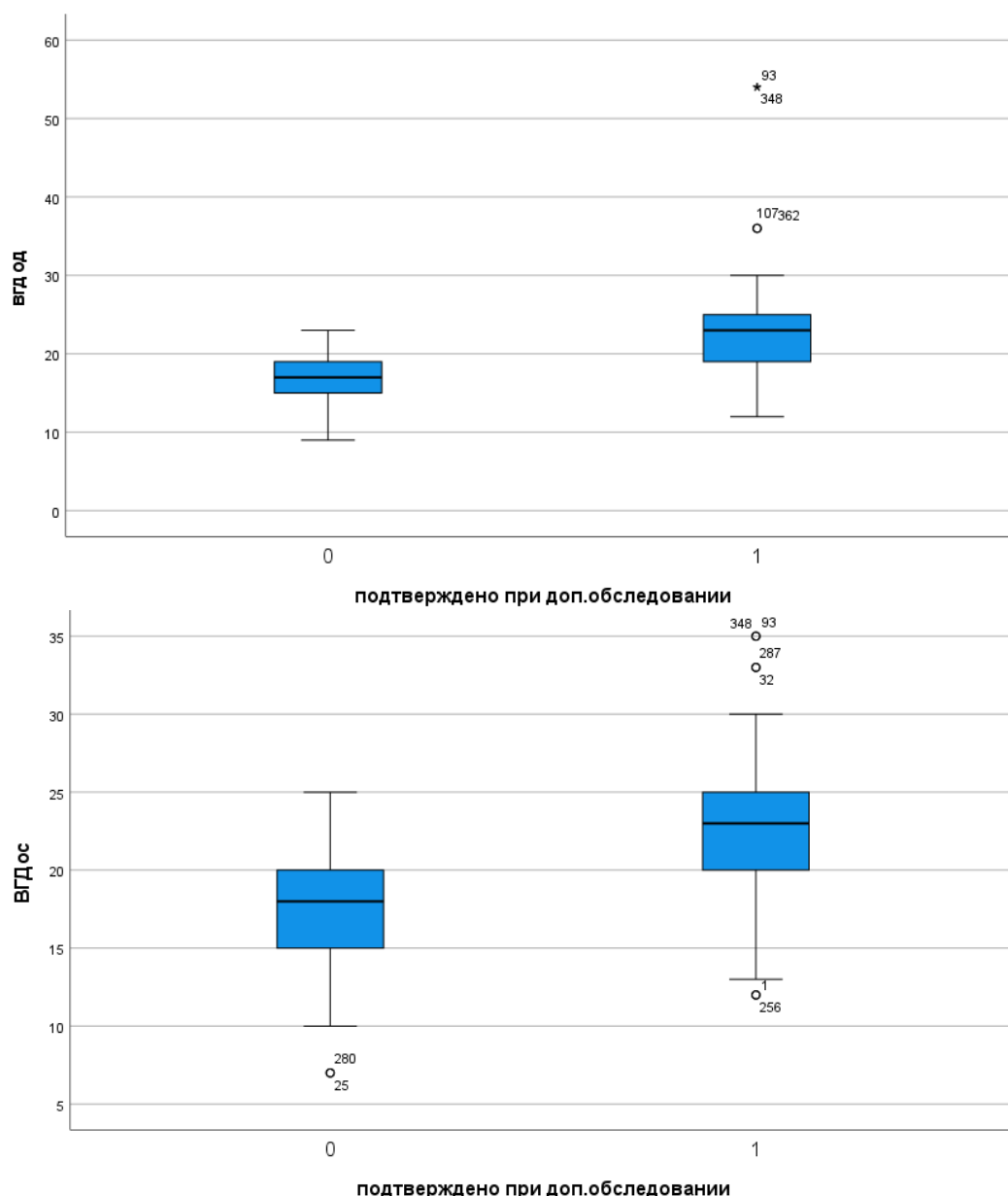


Рисунок 8 – Показатели внутриглазного давления (ВГД) в зависимости от наличия глаукомы.

У пациентов без подтверждённой глаукомы медиана ВГД правого глаза составила 17,0 мм рт.ст., межквартильный размах (IQR) – 4 мм рт.ст. (минимум–максимум: 9-23 мм рт.ст.). Для левого глаза медиана составила 18,0 мм рт.ст., межквартильный размах – 5 мм рт.ст. (7-25 мм рт.ст.).

У пациентов с подтверждённой глаукомой показатели ВГД были существенно выше: медиана ВГД правого глаза составила 23,0 мм рт.ст., межквартильный размах – 6 мм рт.ст. (12-30 мм рт.ст.), тогда как для левого глаза медиана составила 23,0 мм рт.ст., межквартильный размах – 5 мм рт.ст. (12-35 мм рт.ст.).

4) При анализе показателей экскавации диска зрительного нерва (ДЗН) также были выявлены различия между группами пациентов (Рисунок 9).



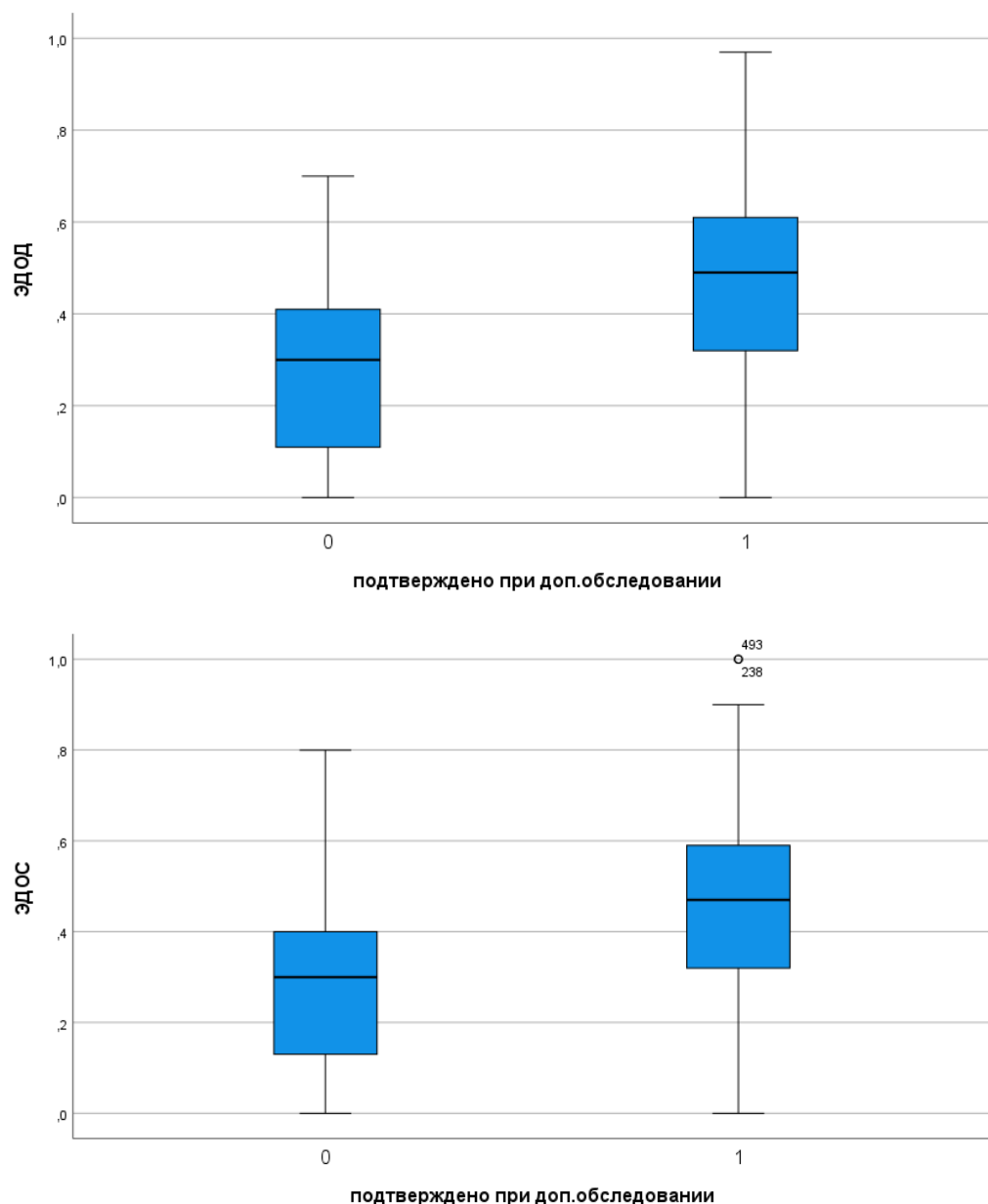


Рисунок 9 – Показатели экскавации ДЗН в зависимости от наличия глаукомы.

У пациентов без подтверждённой глаукомы медиана экскавации ДЗН левого глаза составила 0,30, при этом межквартильный размах был минимальным ( $IQR = 0$ ), что свидетельствует о низкой вариабельности показателя в данной группе.

У пациентов с подтверждённой глаукомой медиана экскавации ДЗН была выше и составила 0,47, также при межквартильном размахе, равном 0.

Таким образом, у пациентов с глаукомой отмечались более высокие значения экскавации ДЗН по сравнению с пациентами без заболевания, что соответствует клиническим представлениям о прогрессировании глаукомного поражения.

Полученные данные указывают на диагностическую значимость оценки экскавации ДЗН при выявлении глаукомы.

### 3.2 Сравнительный анализ

1) Для сравнения количественных показателей между двумя независимыми группами использовали критерий Манна–Уитни, поскольку распределение изучаемых признаков отличалось от нормального по критерию Шапиро–Уилка (Таблица 3).

Таблица 3 – Критерий Манна-Уитни

| Показатель     | Глаз   |                                |       |                                | p      |
|----------------|--------|--------------------------------|-------|--------------------------------|--------|
|                | Правый |                                | Левый |                                |        |
|                | Me     | Q <sub>1</sub> -Q <sub>3</sub> | Me    | Q <sub>1</sub> -Q <sub>3</sub> |        |
| ВГД            | 19,0   | 18,47-19,49                    | 19,0  | 18,56-19,33                    | 0,000  |
| Экскавация ДЗН | 0,35   | 0,33-0,37                      | 0,34  | 0,33-0,37                      | <0,001 |

При анализе внутриглазного давления были выявлены статистически значимые различия между группами. Так, для правого глаза различия оказались значимыми ( $U = 49132$ ,  $p < 0,001$ ), аналогичные результаты получены и для левого глаза ( $p < 0,001$ ).

Анализ показателей экскавации диска зрительного нерва также продемонстрировал статистически значимые различия между группами как для правого, так и для левого глаза ( $p < 0,001$ ).

Таким образом, как показатели внутриглазного давления, так и степень экскавации диска зрительного нерва достоверно различались у пациентов с глаукомой и без неё. Полученные результаты свидетельствуют о высокой диагностической значимости указанных параметров при выявлении глаукомы.

#### 2) Расчет чувствительности и специфичности.

Для сравнения диагностической точности методов пневмотонометрии и фотографирования глазного дна на фундус-камеру для оценки экскавации диска зрительного нерва нами были рассчитаны ключевые параметры диагностической точности: чувствительность, специфичность, распространенность, прогностическая ценность положительного результата, а также диагностическая эффективность.

Основой для этих расчётов служат данные о числе:

ИП – Истинно положительные: пациенты с подтверждённым диагнозом, у которых тест дал положительный результат.

ЛП – Ложно положительные: пациенты без диагноза, у которых тест дал ложноположительный результат.

ЛО – Ложно отрицательные: пациенты с диагнозом, у которых тест не выявил патологию.

ИО – Истинно отрицательные: пациенты без диагноза, у которых тест дал отрицательный результат.

**Пневмотонометрия: ИП – 124 случаев, ЛП – 10 случаев, ЛО – 40 случаев, ИО – 336 случаев.**

*Чувствительность:*

$$Se = ИП / ( ИП + ЛО ) * 100\% = 124 / ( 124 + 40 ) * 100\% = 75,6\%$$

Se 75,6% говорит о том, что в большинстве случаев пневмотонометрия не пропускает пациентов с глаукомой. Однако оставшиеся ~24,4% – это случаи, в которых тест не выявил глаукому у пациентов, у которых она фактически есть (ложно отрицательные результаты), что приводит к недооценке диагноза при использовании только пневмотонометрии.

*Специфичность:*

$$Sp = ИО / ( ИО + ЛП ) * 100\% = 336 / ( 336 + 10 ) * 100\% = 97,1\%$$

Sp 97,1% является высоким показателем, что говорит о низкой возможности ложно-положительных результатов.

*Распространенность:*

$$P = ( ИП + ЛО ) / ( ИП + ЛП + ЛО + ИО ) * 100\% = ( 124 + 40 ) / ( 124 + 10 + 40 + 336 ) * 100\% = 32,1\%$$

Результат P = 32,1% говорит о том, что почти треть обследованных пациентов действительно имеют глаукому, что указывает на высокую долю больных в выборке и подтверждает актуальность использования высокочувствительных диагностических тестов в данной популяции.

*Прогностическая ценность положительного результата:*

$$PPV = ( Se * P ) / ( Se * P + ( 100 - Se ) * ( 100 - P ) ) = ( 75,6 * 32,1 ) / ( 75,6 * 32,1 + ( 100 - 75,6 ) * ( 100 - 32,1 ) ) = 59\%$$

Прогностическая ценность положительного результата (PPV) для пневмотонометрии составляет 59%, что означает – при положительном

результате теста вероятность того, что пациент действительно имеет глаукому, составляет примерно 1 из 2. То есть в каждом втором случае положительный тест может быть ложным. Поэтому результаты пневмотонометрии мы рекомендуем интерпретировать в совокупности с дополнительными методами диагностики.

*Отношение правдоподобия для положительного результата:*

$$LR^+ = Se / ( 100 - Sp ) = 75,6 / ( 100 - 97,1 ) = 26$$

Отношение правдоподобия положительного результата ( $LR^+$ ) для пневмотонометрии составляет 26. Следовательно положительный результат теста в 26 раз более вероятен у пациента с глаукомой, чем у пациента без неё. Показатель  $LR^+ > 1$  подтверждает диагностическую ценность теста. В клинической практике  $LR^+ > 10$  отражает высокую достоверность теста.

*Отношение правдоподобия для отрицательного результата:*

$$LR^- = ( 100 - Se ) / Sp = ( 100 - 75,6 ) / 97,1 = 0,25$$

Отношение правдоподобия отрицательного результата ( $LR^-$ ) для пневмотонометрии составляет 0,25. Это значит, что при отрицательном результате теста вероятность наличия глаукомы уменьшается в 4 раза. Чем ближе  $LR^-$  к 0, тем выше ценность отрицательного результата. Значение 0,25 демонстрирует способность пневмотонометрии исключать глаукому выше средней, то есть отрицательный результат снижает вероятность заболевания, но не исключает его полностью, что подчёркивает необходимость дообследования при интерпретации отрицательных результатов.

*Диагностическая эффективность теста:*

$$ДЭ = ( ИП + ИО ) / ( ИП + ЛП + ИО + ЛО ) = ( 124 + 336 ) / ( 124 + 10 + 40 + 336 ) = 0,9$$

Диагностическая эффективность пневмотонометрии составляет 90%, то есть метод правильно классифицирует 9 из 10 пациентов (как с глаукомой, так и без неё). Значение 90% свидетельствует о высоком уровне диагностической ценности, однако для повышения достоверности результатов пневмотонометрии мы рекомендуем использовать её в комплексе с дополнительными методами диагностики, так как этот метод не дает достоверных результатов для пациентов с глаукомой нормального давления и с большими колебаниям ВГД в течение суток.

**Фотографирование глазного дна на портативную немидриатическую фундус-камеру: ИП – 112 случаев, ЛП – 88 случаев, ЛО – 52 случая, ИО – 258 случаев.**

*Чувствительность:*

$$Se = \text{ИП} / (\text{ИП} + \text{ЛО}) * 100\% = 112 / (112 + 52) * 100\% = 68,2\%$$

Se 68,2% говорит о том, что в большинстве случаев фотографирование глазного дна не фиксирует пациентов с глаукомой. Однако оставшиеся ~31,7% – это случаи, в которых тест не выявил глаукому у пациентов, у которых она фактически есть (ложно отрицательные результаты), что приводит к недооценке диагноза при использовании только фотографирования глазного дна.

*Специфичность:*

$$Sp = \text{ИО} / (\text{ИО} + \text{ЛП}) * 100\% = 258 / (258 + 88) * 100\% = 74,5\%$$

Sp 74,5% соответственно, фотографирование глазного дна правильно исключает глаукому у 74,5% здоровых пациентов. То есть почти 3 из 10 человек без глаукомы могут получить ложноположительный результат, что снижает точность диагностики у пациентов не имеющих глаукому.

*Распространенность:*

$$P = (\text{ИП} + \text{ЛО}) / (\text{ИП} + \text{ЛП} + \text{ЛО} + \text{ИО}) * 100\% = (112 + 52) / (112 + 88 + 52 + 258) * 100\% = 32,1\%$$

Результат  $P = 32,1\%$  говорит о том, что почти треть обследованных пациентов действительно имеют глаукому, что указывает на высокую долю больных в выборке и подтверждает актуальность использования высокочувствительных диагностических тестов в данной популяции.

*Прогностическая ценность положительного результата:*

$$PPV = (Se * P) / (Se * P + (100 - Se) * (100 - P)) = (68,2 * 32,1) / (68,2 * 32,1 + (100 - 68,2) * (100 - 32,1)) = 50\%$$

Прогностическая ценность положительного результата (PPV) для фотографирования глазного дна составляет 50%, что означает – при положительном результате теста вероятность того, что пациент действительно имеет глаукому, составляет 1 из 2. То есть в каждом втором случае положительный тест может быть ложным. Поэтому результаты фотографирования глазного дна мы рекомендуем интерпретировать в совокупности с дополнительными методами диагностики.

*Отношение правдоподобия для положительного результата:*

$$LR^+ = Se / ( 100 - Sp ) = 68,2 / ( 100 - 74,5 ) = 2,67$$

Отношение правдоподобия положительного результата ( $LR^+$ ) для фотографирования глазного дна составляет 2,67. Следовательно положительный результат теста в 2,67 раз более вероятен у пациента с глаукомой, чем у пациента без неё. Показатель  $LR^+$  от 2 до 5 свидетельствуют о ограниченной, но полезной диагностической информации, особенно в сочетании с другими методами.

*Отношение правдоподобия для отрицательного результата:*

$$LR^- = ( 100 - Se ) / Sp = ( 100 - 68,2 ) / 74,5 = 0,42$$

Отношение правдоподобия отрицательного результата ( $LR^-$ ) для фотографирования глазного дна составляет 0,42. Это значит, что при отрицательном результате теста вероятность наличия глаукомы уменьшается примерно в 2 раза. Чем ближе  $LR^-$  к 0, тем выше ценность отрицательного результата. Значение 0,42 демонстрирует умеренную способность фотографирования глазного дна исключать глаукому, то есть отрицательный результат снижает вероятность заболевания, но не исключает его полностью, что подчёркивает необходимость дообследования при интерпретации отрицательных результатов.

*Диагностическая эффективность теста:*

$$ДЭ = ( ИП + ИО ) / ( ИП + ЛП + ИО + ЛО ) = ( 112 + 258 ) / ( 112 + 88 + 52 + 258 ) = 0,72$$

Диагностическая эффективность фотографирования глазного дна составляет 72%, то есть метод правильно классифицирует 7 из 10 пациентов (как с глаукомой, так и без неё). Значение 72% свидетельствует об умеренном уровне диагностической ценности, однако для повышения достоверности результатов фотографирования глазного дна мы рекомендуем использовать его в комплексе с дополнительными методами диагностики.

**Комбинированный метод (пневмотонометрия + фотографирование глазного дна на портативную немидриатическую фундус-камеру): ИП – 162 случая, ЛП – 94 случая, ЛО – 2 случая, ИО – 252 случая.**

*Чувствительность:*

$$Se = ИП / ( ИП + ЛО ) * 100\% = 162 / ( 162 + 2 ) * 100\% = 98,8\%$$

Se 98,8% говорит о том, что почти всегда комбинированный метод не пропускает пациентов с глаукомой. Это очень высокий показатель чувствительности.

*Специфичность:*

$$Sp = \text{ИО} / (\text{ИО} + \text{ЛП}) * 100\% = 252 / (252 + 94) * 100\% = 72,8\%$$

Sp 72,88% говорит нам о том, что комбинированный метод правильно исключает сенсibilизацию у 72,8% здоровых пациентов. То есть почти 3 из 10 человек без глаукомы могут получить ложноположительный результат, что снижает точность диагностики у пациентов не имеющих глаукому.

*Распространенность:*

$$P = (\text{ИП} + \text{ЛО}) / (\text{ИП} + \text{ЛП} + \text{ЛО} + \text{ИО}) * 100\% = (162 + 2) / (162 + 94 + 2 + 252) * 100\% = 32,1\%$$

Результат  $P = 32,1\%$  говорит о том, что почти треть обследованных пациентов действительно имеют глаукому, что указывает на высокую долю больных в выборке и подтверждает актуальность использования высокочувствительных диагностических тестов в данной популяции.

*Прогностическая ценность положительного результата:*

$$PPV = (Se * P) / (Se * P + (100 - Se) * (100 - P)) = (98,8 * 32,1) / (98,8 * 32,1 + (100 - 98,8) * (100 - 32,1)) = 97\%$$

Прогностическая ценность положительного результата (PPV) для комбинированного метода составляет 97%, что означает – при положительном результате теста пациент в 97% случаев действительно имеет глаукому.

*Отношение правдоподобия для положительного результата:*

$$LR^+ = Se / (100 - Sp) = 98,8 / (100 - 72,8) = 3,63$$

Отношение правдоподобия положительного результата ( $LR^+$ ) для комбинированного метода составляет 3,63. Следовательно положительный результат теста в 3,63 раза более вероятен у пациента с глаукомой, чем у пациента без неё. Показатель  $LR^+$  от 2 до 5 свидетельствуют о ограниченной, но полезной диагностической информации.

*Отношение правдоподобия для отрицательного результата:*

$$LR^{-} = ( 100 - Se ) / Sp = ( 100 - 98,8 ) / 72,8 = 0,02$$

Отношение правдоподобия отрицательного результата ( $LR^{-}$ ) для комбинированного метода составляет 0,02. Чем ближе  $LR^{-}$  к 0, тем выше ценность отрицательного результата. Значение 0,02 демонстрирует высокую способность комбинированного метода исключать глаукому.

*Диагностическая эффективность теста:*

$$ДЭ = ( ИП + ИО ) / ( ИП + ЛП + ИО + ЛО ) = ( 162 + 252 ) / ( 162 + 94 + 2 + 252 ) = 0,81$$

Диагностическая эффективность комбинированного метода составляет 81%, то есть метод правильно классифицирует 8 из 10 пациентов (как с глаукомой, так и без неё). Значение 82% свидетельствует о высоком уровне диагностической ценности.

Сравнительный анализ эффективности двух методов диагностики глаукомы (таблица 4) показал, что при использовании комбинированного метода скрининга (пневмотонометрия и фотографирование глазного дна) чувствительность составила 98,8%, специфичность 72,8%. Прогностическая ценность положительного результата (PPV) составила 97%. Общая точность метода составила 81,2%.

Комбинированный метод характеризуется высокой чувствительностью и практически полным отсутствием пропуска случаев глаукомы, что особенно важно для скрининговых программ. Комбинированный метод позволил снизить число пропущенных случаев глаукомы в 20 раз. Вместе с тем отмечается снижение специфичности, обусловленное увеличением числа ложноположительных результатов.

Таблица 4 – Сравнительная характеристика диагностических показателей пневмотонометрии и фотографирования глазного дна на фундус-камеру

| Показатель                                            | Пневмотонометрия | Комбинированный метод |
|-------------------------------------------------------|------------------|-----------------------|
| Истинно положительные (ИП)                            | 124              | 162                   |
| Ложно положительные (ЛП)                              | 10               | 94                    |
| Ложно отрицательные (ЛО)                              | 40               | 2                     |
| Истинно отрицательные (ИО)                            | 336              | 252                   |
| Чувствительность, %                                   | 75,6             | 98,8                  |
| Специфичность, %                                      | 97,1             | 72,8                  |
| Распространенность, %                                 | 32,1             | 32,1                  |
| Прогностическая ценность положительного результата, % | 59               | 97                    |
| Отношение правдоподобия (+)                           | 26               | 3,63                  |
| Отношение правдоподобия (–)                           | 0,25             | 0,02                  |



|                                  |     |      |
|----------------------------------|-----|------|
| Диагностическая эффективность, % | 0,9 | 0,81 |
|----------------------------------|-----|------|

### 3) Критерий МакНемара

Для сравнения диагностических возможностей пневмотонометрии и комбинированного метода был использован критерий Мак-Немара для связанных выборок.

В общей выборке выявлено статистически значимое различие между методами ( $p < 0,001$ ). Комбинированный метод значительно чаще давал положительный результат по сравнению с пневмотонометрией, что свидетельствует о его большей чувствительности.

При анализе в группе пациентов с подтверждённой глаукомой также получены статистически значимые различия ( $p < 0,001$ ). В частности, у 39 пациентов с глаукомой пневмотонометрия давала отрицательный результат, тогда как комбинированный метод позволял выявить заболевание.

Таким образом, комбинированный метод достоверно снижает число ложноотрицательных результатов и повышает выявляемость глаукомы.

## 4 Обсуждение

В настоящем исследовании была проведена комплексная оценка эффективности различных подходов к скринингу глаукомы, включающих пневмотонометрию, фотографирование глазного дна и их комбинированное применение. Актуальность данной темы обусловлена высокой распространённостью глаукомы, её хроническим прогрессирующим течением и значительным вкладом в структуру необратимой слепоты. В связи с этим особое значение приобретает поиск методов, позволяющих выявлять заболевание на максимально ранних стадиях, до развития выраженных нарушений зрения.

Полученные результаты показали, что различные методы скрининга обладают неодинаковыми диагностическими возможностями. Пневмотонометрия, широко используемая в клинической практике, продемонстрировала высокую специфичность (97,1%) и диагностическую эффективность (90,2%). Это свидетельствует о высокой способности метода правильно исключать заболевание у пациентов без глаукомы. Вместе с тем чувствительность пневмотонометрии составила 75,6%, что указывает на наличие значительного числа ложноотрицательных результатов. В рамках настоящего исследования с помощью данного метода не удалось выявить глаукому у 40 пациентов с подтверждённым диагнозом.

Полученные данные подчёркивают ограниченность использования только показателей внутриглазного давления в качестве основного критерия скрининга глаукомы. Повышение ВГД традиционно рассматривается как один из ведущих факторов риска развития заболевания, однако не во всех случаях оно отражает истинное состояние зрительного нерва. Известно, что у части пациентов глаукомный процесс развивается даже при нормальных значениях внутриглазного давления. Такая форма заболевания определяется как глаукома нормального давления или нормотензивная глаукома. В подобных случаях структурные изменения диска зрительного нерва и снижение зрительных функций могут прогрессировать несмотря на отсутствие выраженной офтальмогипертензии.

Проблема нормотензивной глаукомы имеет особенно важное значение в условиях скрининговых программ. При использовании методов, основанных только на измерении внутриглазного давления, такие пациенты могут оставаться невыявленными в течение длительного времени. Это создаёт риск поздней диагностики, когда изменения со стороны зрительного нерва уже становятся необратимыми. Следовательно, применение только пневмотонометрии не позволяет обеспечить достаточную чувствительность скрининга и может приводить к пропуску клинически значимых случаев заболевания.

Следует учитывать и то, что внутриглазное давление не является постоянной величиной. На его показатели могут влиять суточные колебания, психоэмоциональное состояние пациента, толщина роговицы, а также технические особенности проведения исследования. Однократное измерение ВГД не всегда позволяет объективно оценить наличие глаукомного процесса. У

некоторых пациентов давление может находиться в пределах нормальных значений во время обследования, несмотря на наличие структурных изменений зрительного нерва. Именно этим частично объясняется большое количество ложноотрицательных результатов, полученных при использовании пневмотонометрии.

Особую клиническую значимость проблема ложноотрицательных результатов приобретает в связи с бессимптомным течением глаукомы на ранних стадиях. Пациенты часто не предъявляют жалоб до момента выраженного повреждения зрительного нерва. В подобных условиях ошибочное исключение заболевания на этапе скрининга может привести к отсрочке диагностики и начала лечения. Из чего можно сделать вывод, что пропуск случаев глаукомы представляет значительно большую опасность, чем увеличение числа ложноположительных результатов, требующих дополнительного обследования.

Метод фотографирования глазного дна продемонстрировал более умеренные показатели диагностической эффективности: чувствительность составила 68,2%, специфичность – 74,5%, а диагностическая эффективность – 72,5%. Более низкая специфичность по сравнению с пневмотонометрией, вероятно, связана с субъективностью интерпретации изменений диска зрительного нерва, а также зависимостью результатов от качества получаемых изображений и опыта специалиста. Вместе с тем данный метод обладает важным преимуществом. Он позволяет выявлять морфологические изменения, характерные для глаукомы, независимо от уровня внутриглазного давления.

Возможность визуальной оценки диска зрительного нерва имеет большое значение именно для пациентов с нормотензивной формой заболевания. В таких случаях структурные изменения могут быть единственным ранним признаком глаукомного процесса. Фотографирование глазного дна позволяет выявлять увеличение экскавации диска зрительного нерва, истончение нейроретинального пояса и другие характерные изменения даже при отсутствии повышенного ВГД. Это делает метод особенно ценным как дополнение к пневмотонометрии.

Наиболее высокие показатели были получены при использовании комбинированного подхода, объединяющего функциональную оценку внутриглазного давления и морфологическую оценку диска зрительного нерва. Комбинированный метод продемонстрировал чувствительность 98,8%, что свидетельствует о практически полном отсутствии пропуска случаев глаукомы. Количество ложноотрицательных результатов снизилось с 40 при использовании пневмотонометрии до 2 при применении комбинированного подхода. Данный результат имеет принципиальное значение, поскольку показывает, что сочетание методов позволяет компенсировать ограничения каждого из них.

Полученные данные подтверждают, что комбинированный подход особенно эффективен для выявления пациентов с глаукомой нормального давления. Вероятно, именно эта категория пациентов составляла значительную часть случаев, пропущенных при использовании только пневмотонометрии. Включение фотографирования глазного дна позволило выявить дополнительные случаи заболевания за счёт оценки структурных изменений зрительного нерва.

Важно отметить, что повышение чувствительности сопровождалось снижением специфичности комбинированного метода до 72,8% и увеличением числа ложноположительных результатов. Однако подобный результат является ожидаемым для скрининговых исследований. На этапе первичного отбора пациентов основная задача заключается не столько в подтверждении диагноза, сколько в выявлении максимально возможного числа лиц с подозрением на заболевание. В условиях глаукомы такой подход особенно оправдан, поскольку поздняя диагностика может привести к необратимой потере зрения.

Полученные результаты были дополнительно подтверждены с использованием критерия Мак-Немара для связанных выборок. Анализ показал статистически значимые различия между пневмотонометрией и комбинированным методом как в общей выборке, так и среди пациентов с подтверждённой глаукомой ( $p < 0,001$ ). У 39 пациентов заболевание не было выявлено при использовании пневмотонометрии, однако было обнаружено при применении комбинированного подхода. Это подтверждает преимущество комбинированного метода с точки зрения снижения риска ложноотрицательных результатов.

Особенно важно, что дополнительные выявленные случаи, вероятно, включали пациентов с нормотензивной глаукомой. Именно эта группа представляет наибольшую сложность для традиционных скрининговых методов, основанных исключительно на измерении внутриглазного давления. Полученные результаты ещё раз подтверждают необходимость комплексного подхода к диагностике глаукомы.

Следует учитывать и особенности сформированной выборки. В исследование включались пациенты с ранее выявленным повышением внутриглазного давления, что позволяет отнести их к группе повышенного риска развития глаукомы. Это могло повлиять на показатели прогностической ценности методов, особенно на увеличение положительной прогностической ценности, поскольку данный показатель зависит от распространённости заболевания в исследуемой группе. В связи с этим полученные результаты в большей степени отражают эффективность методов в условиях целенаправленного скрининга среди пациентов группы риска.

Несмотря на указанное ограничение, результаты исследования имеют высокую практическую значимость. Именно пациенты группы риска чаще всего становятся основной целевой аудиторией скрининговых программ. Полученные данные могут использоваться при разработке алгоритмов раннего выявления глаукомы и обосновании необходимости внедрения комбинированных подходов в клиническую практику.

В итоге результаты исследования соответствуют современным представлениям о необходимости мультифакторной диагностики глаукомы. Использование только одного показателя, в частности внутриглазного давления, не обеспечивает достаточной чувствительности скрининга. Включение структурной оценки диска зрительного нерва позволяет значительно повысить

выявляемость заболевания и уменьшить риск пропуска пациентов с ранними формами глаукомы.

Одним из наиболее информативных методов диагностики глаукомы в настоящее время считается оптическая когерентная томография диска зрительного нерва (ОКТ ДЗН), позволяющая количественно оценивать толщину слоя нервных волокон и выявлять структурные изменения на ранних стадиях заболевания. Однако применение ОКТ в условиях массового скрининга ограничено высокой стоимостью оборудования, необходимостью специализированной инфраструктуры и участием высококвалифицированного персонала. Эти факторы существенно снижают доступность метода, особенно на уровне первичной медико-санитарной помощи.

В отличие от ОКТ, фотографирование глазного дна с использованием портативных немидриатических фундус-камер является более доступным и экономически оправданным методом. Проведение исследования не требует сложной подготовки и может выполняться средним медицинским персоналом после соответствующего обучения. Дополнительным преимуществом является портативность оборудования, позволяющая использовать его в выездных формах скрининга.

Важную роль играет и возможность интеграции телемедицинских технологий. Полученные изображения могут передаваться для дистанционной оценки врачу-офтальмологу. Это особенно актуально для Республики Казахстан с учётом большой территориальной протяжённости страны и неравномерного распределения специализированной офтальмологической помощи. Использование телемедицины в сочетании с фундус-фотографией дает шанс повысить доступность диагностики и расширить охват населения скрининговыми программами, особенно в отдалённых и сельских регионах.

## 5 Выводы

1. Проведённое исследование показало, что пневмотонометрия характеризуется высокой специфичностью (97,1%) и общей диагностической точностью (90,2%). Вместе с тем чувствительность метода составила 75,6%, что свидетельствует о наличии ложноотрицательных результатов и возможности пропуска части случаев глаукомы при использовании только измерения внутриглазного давления.
2. Установлено, что фотографирование глазного дна обладает умеренными показателями диагностической эффективности (чувствительность – 68,3%, специфичность – 74,6%) и позволяет выявлять морфологические изменения диска зрительного нерва, характерные для глаукомного процесса, включая увеличение экскавации диска зрительного нерва.
3. Комбинированный метод скрининга, включающий пневмотонометрию и фотографирование глазного дна, продемонстрировал наиболее высокую чувствительность (98,8%) и отрицательную прогностическую ценность (99,2%), что указывает на минимальный риск пропуска заболевания. Использование комбинированного подхода позволило существенно сократить количество ложноотрицательных результатов по сравнению с пневмотонометрией – с 40 до 2 случаев. Полученные результаты подтверждают высокую эффективность метода в выявлении глаукомы, в том числе форм заболевания с нормальным уровнем внутриглазного давления.

Результаты сравнительного анализа с применением критерия Мак-Немара продемонстрировали статистически значимое преимущество комбинированного метода по сравнению с пневмотонометрией ( $p < 0,001$ ), что подтверждает его более высокую эффективность в выявлении глаукомы.

## 6 Заключение

В ходе проведённого исследования была выполнена оценка эффективности различных методов скрининга глаукомы, включая пневмотонометрию, фотографирование глазного дна и их комбинированное применение. Полученные результаты позволили выявить различия в диагностических возможностях данных методов и определить наиболее эффективный подход для раннего выявления заболевания.

Установлено, что пневмотонометрия обладает высокой специфичностью и общей диагностической точностью, однако её чувствительность остаётся недостаточно высокой. Это приводит к пропуску части случаев глаукомы и ограничивает возможность использования данного метода в качестве единственного способа скрининга. Особое значение это имеет при формах глаукомы с нормальным уровнем внутриглазного давления, при которых заболевание может длительное время оставаться невыявленным.

Фотографирование глазного дна продемонстрировало умеренные показатели диагностической эффективности. Вместе с тем важным преимуществом данного метода является возможность выявления структурных изменений диска зрительного нерва, характерных для глаукомы. Это позволяет обнаруживать заболевание независимо от показателей внутриглазного давления и снижает вероятность пропуска пациентов с нормотензивной формой глаукомы.

Наиболее высокие показатели были получены при использовании комбинированного метода, включающего пневмотонометрию и фотографирование глазного дна. Применение данного подхода позволило повысить чувствительность до 98,8% и практически исключить пропуск случаев заболевания, что имеет особое значение для своевременной диагностики глаукомы. Несмотря на снижение специфичности и увеличение числа ложноположительных результатов, комбинированный метод является более предпочтительным для скрининговых программ, поскольку основная задача скрининга заключается в максимально полном выявлении пациентов с подозрением на заболевание.

Результаты анализа с использованием критерия Мак-Немара подтвердили статистически значимое преимущество комбинированного метода по сравнению с пневмотонометрией ( $p < 0,001$ ), что свидетельствует о его более высокой эффективности в выявлении глаукомы. Существенное уменьшение количества ложноотрицательных результатов подчёркивает высокую клиническую значимость комбинированного подхода.

Дополнительным преимуществом фотографирования глазного дна является относительная доступность метода, более низкая стоимость по сравнению с высокотехнологичными диагностическими исследованиями и возможность выполнения обследования средним медицинским персоналом после соответствующего обучения. Использование портативных фундус-камер в сочетании с телемедицинскими технологиями позволяет расширить охват скрининговых программ и повысить доступность офтальмологической помощи,

что особенно важно для Республики Казахстан с учётом большой территории страны и неравномерного распределения специализированной медицинской помощи.

Можем сделать вывод, что результаты проведённого исследования подтверждают целесообразность применения комбинированного подхода в скрининге глаукомы. Внедрение данного метода на уровне первичной медико-санитарной помощи может способствовать более раннему выявлению заболевания, снижению риска прогрессирования глаукомы и уменьшению частоты инвалидизации вследствие необратимой потери зрения.



## Список литературы:

1. World Health Organization. World report on vision. Geneva: WHO; 2019.
2. Tham YC, Li X, Wong TY, et al. Global prevalence of glaucoma and projections of glaucoma burden through 2040. *Ophthalmology*. 2014;121(11):2081–2090.
3. Weinreb RN, Aung T, Medeiros FA. The pathophysiology and treatment of glaucoma. *JAMA*. 2014;311(18):1901–1911.
4. Quigley HA. Glaucoma. *The Lancet*. 2011;377(9774):1367–1377.
5. Gordon MO, Beiser JA, Brandt JD, et al. The Ocular Hypertension Treatment Study. *Archives of Ophthalmology*. 2002;120(6):701–713.
6. Jonas JB, Budde WM, Panda-Jonas S. Ophthalmoscopic evaluation of the optic nerve head. *Survey of Ophthalmology*. 1999;43(4):293–320.
7. Silva PS, Cavallerano JD, Aiello LM, Aiello LP. Telemedicine and diabetic retinopathy screening (включает данные о немидриатических камерах). *Ophthalmology*. 2011;118(10):1858–1865.
8. Bastawrous A, Armstrong MJ. Mobile health use in low- and high-income countries. *The Lancet Digital Health*. 2013; (обзор применения портативных устройств в офтальмологии).
9. Министерство здравоохранения Республики Казахстан. Государственная программа развития здравоохранения Республики Казахстан (последняя актуальная редакция).
10. Министерство здравоохранения Республики Казахстан. Протокол диагностики и лечения первичной глаукомы №240 от 23.10.2025 г., утверждённый Министерством здравоохранения Республики Казахстан. – Астана, 2024. – 38 с.
11. Щуко А.Г., Юрьева Т.Н., Дмитренко Д.В., Воскресенская А.А., Горбунова Н.Ю., Жукова С.И., Малов И.В., Ольшанская А.С., Поздеева Н.А., Чешейко Е.Ю., Шнайдер Н.А. Редкие формы глаукомы Монография Иркутск 2021 под ред. проф. А.Г. Щуко и проф. Т.Н. Юрьевой
12. Jonas J.B., Aung T., Bourne R.R.A., et al. Glaucoma. *Lancet*. 2017.
13. Steinmetz J.D., et al. Causes of blindness and vision impairment in 2020 and trends over 30 years. *The Lancet Global Health*. 2021.
14. Flaxman S.R., et al. Global causes of blindness and vision impairment. *The Lancet Global Health*.
15. Wang X., Sun L., Han X. et al. The molecular mechanisms underlying retinal ganglion cell apoptosis and optic nerve regeneration in glaucoma. *International Journal of Molecular Medicine*. 2025.
16. Macanian J., Sharma S.C. Pathogenesis of Glaucoma. *Encyclopedia*. 2022.
17. Antonio Greco MD, Maria Ida Rizzo MD, Armando De Virgilio MD, Andrea Gallo MD, Massimo Fusconi MD, Marco de Vincentiis MD. Emerging Concepts in Glaucoma and Review of the Literature. *The American Journal of Medicine*. 2016

- 18.Si Z., Fan Y., Wang M. et al. The role of retinal ganglion cell degeneration in the pathogenesis of glaucoma. *International Journal of Biological Sciences*. 2025.
- 19.Robert N. Weinreb, Tin Aung, Felipe A. Medeiros. The Pathophysiology and Treatment of Glaucoma: A Review. *JAMA Network*. 2014.
- 20.Altman D.G., Bland J.M. Diagnostic tests 1: sensitivity and specificity. *BMJ*. 1994.
- 21.Thomas, Ravi MD; Parikh, Rajul DO; Paul, Padma MS; Muliyl, Jayprakash MD. Population-based screening versus case detection for glaucoma. *Indian Journal of Ophthalmology*. 2002.
- 22.Beniz, Luiz Arthur F. MD; Campos, Veronica P. MD; Medeiros, Felipe A. MD, PhD. Optical Coherence Tomography Versus Optic Disc Photo Assessment in Glaucoma Screening. *Journal of Glaucoma*. 2024
- 23.Tomoyuki Watanabe, Yoshimune Hiratsuka, Yoshiyuki Kita, Hiroshi Tamura, Ryo Kawasaki, Tetsuji Yokoyama, Motoko Kawashima, Tadashi Nakano and Masakazu Yamada. Combining Optical Coherence Tomography and Fundus Photography to Improve Glaucoma Screening. *MDPI Diagnostics*. 2022
- 24.Alfonso Anton, Karen Nolivos, Marta Pazos, Gianluca Fatti, Miriam Eleonora Ayala, Elena Martínez-Prats, Oscar Peral 8, Vladimir Poposk, Evangelos Tsiroukis, Antonio Morilla-Grasa, Merce Comas, Xavier Castells. Diagnostic Accuracy and xDetection Rate of Glaucoma Screening with Optic Disk Photos, Optical Coherence Tomography Images, and Telemedicine. *Journal of Clinical Medicine*. 2021
- 25.Burr J., Mowatt G., Hernández R., Siddiqui M.A., Cook J., Lourenco T., Ramsay C. The clinical effectiveness and cost-effectiveness of screening for open-angle glaucoma: a systematic review and economic evaluation. *Health Technology Assessment*. 2007;11(41):1–190.
- 26.Hamid S., Desai P., Hysi P.G., et al. Population screening for glaucoma in the UK: current recommendations and future directions. *Eye (London)*. 2022;36(1):5–12
- 27.Wang Q., Nittala M.G., O'Neill E.C., et al. The Manhattan Vision Screening Study: glaucoma detection in an urban population. *Journal of Glaucoma*. 2024.
- 28.American Academy of Ophthalmology. Preferred Practice Pattern® Guidelines. Primary Open-Angle Glaucoma. San Francisco: AAO; 2020.
- 29.Zhang S., Li X., Xu J., et al. Integrating opportunistic glaucoma screening into general health examinations in China. *Clinical & Experimental Ophthalmology*. 2019;47(6):738–746.
- 30.Liang Y.B., Friedman D.S., Zhou Q., et al. Prevalence of primary open-angle glaucoma in a rural adult Chinese population: the Handan Eye Study. *American Journal of Ophthalmology*. 2011;152(5):775–783.
- 31.Thomas R., Parikh R., Paul P., Muliyl J. Five-year risk of progression of ocular hypertension to primary open-angle glaucoma: a population-based study. *Ophthalmology*. 2003;110(1):75–80.

32. Government of India, Ministry of Health and Family Welfare. National Programme for Control of Blindness and Visual Impairment (NPCBVI). New Delhi; обновляемые отчёты (последние редакции – 2017–2020).
33. Vijaya L., George R., Arvind H., et al. Prevalence of primary open-angle glaucoma in an urban South Indian population and comparison with a rural population. *British Journal of Ophthalmology*. 2008;92(4):482–486.
34. Kim Y.K., Yoo B.W., Jeoung J.W., Park K.H. Glaucoma detection using fundus photography in a large population-based cohort (Gangnam Eye Study). *Scientific Reports*. 2025.
35. Iwase A., Suzuki Y., Araie M., et al. The prevalence of primary open-angle glaucoma in Japanese: the Tajimi Study. *Ophthalmology*. 2004;111(9):1641–1648.
36. Yoshida A., Yamamoto S., et al. Prevalence of glaucoma in a Japanese population: the Hisayama Study. *Investigative Ophthalmology & Visual Science / Translational Vision Science & Technology*. 2022.
37. Wong T.Y., Foster P.J., Hee J., et al. Prevalence and risk factors of glaucoma in an adult Chinese population in Singapore: the Tanjong Pagar Study. *Ophthalmology*. 2000;107(10):1827–1833.
38. Tham Y.C., Li X., Wong T.Y., Quigley H.A., Aung T., Cheng C.Y. Global prevalence of glaucoma and projections of glaucoma burden through 2040: a systematic review and meta-analysis (данные SEED Study включены). *Ophthalmology*. 2014;121(11):2081–2090.
39. Егоров Е.А., Алексеев В.Н., Астахов Ю.С. и соавт. Национальное руководство по глаукоме. Москва: ГЭОТАР-Медиа; 2019.
40. Bikbov M.M., Kazakbaeva G.M., Zainullin R.M., et al. Prevalence and associated factors of glaucoma in the Russian population: the Ural Eye and Medical Study. *Acta Ophthalmologica*. 2020;98(4):e511–e520.
41. МОЗ Украины. Клинический протокол оказания медицинской помощи пациентам с глаукомой. Киев; последние редакции (официальные документы).
42. Министерство здравоохранения Республики Узбекистан. Национальные программы профилактики слепоты и офтальмологической помощи населению. Ташкент; официальные отчёты и программы.
43. Mitchell P., Smith W., Attebo K., Healey P.R. Prevalence of open-angle glaucoma in Australia: The Blue Mountains Eye Study. *Ophthalmology*. 1996;103(10):1661–1669.
44. Wolfs R.C.W., Borger P.H., Ramrattan R.S., et al. Changing views on open-angle glaucoma: definitions and prevalence–The Rotterdam Study. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 2000;41(11):3309–3321.
45. Министерство здравоохранения Республики Казахстан. Данные о выявляемости глаукомы и результатах скрининговых программ. Казинформ. 2017.
46. Национальный отчёт системы первичной медико-санитарной помощи Республики Казахстан (2019–2022).

- 47.Ахмедьянова З.У., Баянбаева Ж.С., Хамзина А.А., Аскарова Б.А., Ермекова К.Т. Анализ распространенности глаукомы на территории Республики Казахстан за 2014-2019 гг. Астана медициналық журналы. 2020
- 48.Министерство здравоохранения Республики Казахстан. План развития скрининговых программ. КазТАГ. 2026
- 49.Tashtitova L.B., Botabekova T.K., Aldasheva N.A., Uteuliyev E.S. Effectiveness of public screening for glaucoma in the Republic of Kazakhstan. 2016.
- 50.Urazhanova M., Kadraliyeva E., Dautbayeva Z., Semenova Y. Glaucoma screening in Kazakhstan. Scientific Reports. 2025.
- 51.Chua J, Baskaran M, Ong PG, Zheng Y, Wong TY, Aung T, Cheng CY. Prevalence, Risk Factors, and Visual Features of Undiagnosed Glaucoma: The Singapore Epidemiology of Eye Diseases Study. JAMA Ophthalmol. 2015 Aug;133(8):938-46.
- 52.Sim DH, Goh LG. Screening for glaucoma in the Chinese elderly population in Singapore. Singapore Med J. 1999 Oct;40(10):644-7.
- 53.Fujiwara K, Yasuda M, Hata J, Nakano S, Hashimoto S, Ueda E, Nakamura S, Murakami Y, Nakamuro T, Iwase A, Araie M, Tawara A, Kubota T, Yoshitomi T, Ninomiya T, Sonoda KH. Prevalence of Glaucoma and Its Systemic Risk Factors in a General Japanese Population: The Hisayama Study. Transl Vis Sci Technol. 2022 Nov 1;11(11):11.
- 54.Bak, E., Kim, JS., Ma, D.J. et al. Epidemiology and risk factors of glaucoma in a comprehensive health screening baseline report from the Gangnam Eye Cohort Study. Sci Rep 15, 25982 (2025).
- 55.Detry-Morel M., Zeyen T., Kestelyn P., Collignon J. Screening for glaucoma using non-mydratic fundus photography and frequency-doubling perimetry. European Journal of Ophthalmology. 2004;14(6):438–444.