

Изменения «целевых» значений уровня офтальмотонуса у пациентов с глаукомой в зависимости от количества выполненных оперативных вмешательств

Кац М.Д., врач-офтальмолог¹; <https://orcid.org/0000-0001-9019-9882>

Куроедов А.В., д.м.н., начальник офтальмологического центра², профессор кафедры офтальмологии³; <https://orcid.org/0000-0001-9606-0566>

Архаров М.А., студент 5-го курса⁴. <https://orcid.org/0000-0002-4262-8569>

¹ГБУЗ ГКБ №15 им. О.М. Филатова ДЗМ, 111539, Российская Федерация, Москва, ул. Вешняковская, 23;

²ФКУ «ЦВКГ им. П.В. Мандрыка» Минобороны РФ, 107014, Российская Федерация, Москва, ул. Большая Оленья, 8А;

³ФГАОУ ВО «РНИМУ им. Н.И. Пирогова» Минздрава РФ, 117997, Российская Федерация, Москва, ул. Островитянова, 1;

⁴МГТУ им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), 105005, Российская Федерация, Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1.

Финансирование: авторы не получали финансирование при проведении исследования и написании статьи.

Конфликт интересов: отсутствует.

Для цитирования: Кац М.Д., Куроедов А.В., Архаров М.А. Изменения «целевых» значений уровня офтальмотонуса у пациентов с глаукомой в зависимости от количества выполненных оперативных вмешательств. Национальный журнал глаукома. 2023; 22(1):55-65.

Резюме

ЦЕЛЬ. Определить оптимальные характеристики показателей уровня внутриглазного давления (ВГД), способствующие стабилизации течения заболевания у пациентов с разными стадиями первичной открытоугольной глаукомы (ПОУГ) до и после проведенного оперативного вмешательства в зависимости от текущего состояния биомеханических параметров глазного яблока.

МЕТОДЫ. Аналитическое комбинированное научно-клиническое описательное исследование, основанное на анализе результатов диагностических исследований, проведенных в период с 2019 по 2022 гг. В итоговый протокол были включены 137 пациентов (209 глаз) с различными стадиями ПОУГ. Были выделены 2 группы пациентов: основная (105 пациентов с различными стадиями ПОУГ, 156 глаз) и контрольная (32 пациента, 53 глаза — здоровые лица и пациенты с катарактой). Всем пациентам проводилось офтальмологическое обследование, включающее рутинные и специальные методы, в т.ч. офтальмотонометрию шестью разными способами, двунаправленную пневмо-аппланацию роговицы и исследование толщины роговицы в центральной оптической зоне (ЦТР). Показатели дополнительного уровня понижения офтальмотонуса, в зависимости от характеристик фиброзной оболочки глаза, рассчитывались с использованием простой регрессии с последующей оценкой качества построенной модели согласно вычисленным коэффициентам детерминации (r^2).

РЕЗУЛЬТАТЫ. Проведен анализ значений показателей уровня ВГД и биомеханических параметров фиброзной оболочки глаза в зависимости от стадии глаукомного

процесса и отсутствия или наличия в анамнезе однократного или многократного хирургического вмешательства по поводу глаукомы. Выявлены достоверные различия в вязкоэластических параметрах фиброзной оболочки глаза между пациентами, не подвергавшимися хирургическому лечению, и оперированными как однократно, так и многократно. Сформированы алгоритмы для выработки собственных поправочных коэффициентов с целью правильной трактовки результатов тонометрии с учетом биомеханических характеристик оболочек глаза и определены различия в «целевых» значениях офтальмотонуса для групп пациентов с разными стадиями ПОУГ до и после проведенного оперативного лечения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Меняющиеся характеристики фиброзной оболочки глаза у пациентов с глаукомой, связанные с проведенным ранее оперативным лечением, могут оказывать достоверно значимое искажение при интерпретации данных, полученных при использовании базового метода офтальмотонометрии. При выборе «безопасного» диапазона уровня ВГД у пациентов с ПОУГ необходимо принимать во внимание и наличие в анамнезе проникающих хирургических вмешательств. Так, у однократно оперированных пациентов требуется дополнительное понижение уровня ВГД, в среднем на 1,7 мм рт.ст., а у многократно оперированных — практически на 3 мм рт.ст.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: «целевой» уровень ВГД, индивидуальное значение уровня ВГД, биомеханические характеристики фиброзной оболочки глаза, тонометрия, глаукома.

Для контактов:

Кац Михаил Дмитриевич, e-mail: katzm@mail.ru

Статья поступила: 20.10.2022

Принята в печать: 07.11.2022

Article received: 20.10.2022

Accepted for printing: 07.11.2022

ORIGINAL ARTICLE

Changes in target IOP values in glaucoma patients depending on the number of surgical interventions they underwent

KATS M.D., ophthalmologist¹; <https://orcid.org/0000-0001-9019-9882>

KUROYEDOV A.V., Dr. Sci. (Med.), Head of the Ophthalmology Centre², Professor at the Academic Department of Ophthalmology³; <https://orcid.org/0000-0001-9606-0566>

ARKHAROV M.A., fifth-year student⁴. <https://orcid.org/0000-0002-4262-8569>

¹State Clinical Hospital No. 15, 23 Veshnyakovskaya St., Moscow, Russian Federation, 111539;

²Mandryka Central Clinical Military Hospital, 8A Bolshaya Olenya St., Moscow, Russian Federation, 107014;

³Pirogov Russian National Research Medical University, 1 Ostrovityanova St., Moscow, Russian Federation, 117997;

⁴Bauman Moscow State Technical University, 5 bld. 1 on 2-ya Baumanskaya St., Moscow, Russian Federation, 105005.

Funding: the authors received no specific funding for this work.

Conflicts of Interest: none declared.

For citations: Kats M.D., Kuroyedov A.V., Arkharov M.A. Changes in target IOP values in glaucoma patients depending on the number of surgical interventions they underwent. *Natsional'nyi zhurnal glaukoma*. 2023; 22(1):55-65.

Abstract

PURPOSE. To determine the optimal intraocular pressure (IOP) values that contribute to stabilization of the course of the disease in patients with different stages of primary open-angle glaucoma (POAG) before and after surgery, depending on the current state of ocular biomechanical parameters.

METHODS. This analytical descriptive scientific-clinical study analyzes the results of diagnostic studies conducted in the period from 2019 to 2022. The final protocol included 137 patients (209 eyes) with different stages of POAG. Two groups of patients were identified: the main group (105 patients, 156 eyes) with POAG, and the control group (32 patients, 53 eyes) — healthy individuals and patients with an established diagnosis of cataract. All patients underwent a thorough ophthalmological examination, including routine as well as special methods such as ophthalmotonometry in six different ways, bi-directional pneumatic applanation of the cornea, measurement of central corneal thickness (CCT). Additional decrease of the IOP level depending on the characteristics of the fibrous membrane of the eye was calculated using a simple regression followed by an assessment of the quality of the constructed model according to the calculated coefficients of determination (r^2).

RESULTS. The IOP values and biomechanical parameters of the fibrous membrane of the eye were analyzed depending on the stage of glaucoma process and the absence

or presence of a history of surgical interventions for glaucoma in patient's anamnesis. Significant differences in the viscoelastic parameters of the fibrous membrane of the eye were revealed between patients who had not undergone surgical treatment and those who had undergone one or two surgeries. Algorithms were developed to determine specific correction coefficients in order to correctly interpret the results of tonometry, taking into account the biomechanical characteristics of the membranes of the eye, and differences in target IOP were determined for groups of patients with different stages of POAG before and after surgical treatment.

CONCLUSION. The results of this study demonstrate that the changing characteristics of the fibrous membrane of the eye in patients with glaucoma associated with previous surgical treatment can significantly distort the interpretation of data obtained using the basic ophthalmic tonometry. The study also shows that when choosing a «safe» range of IOP levels in patients with POAG, it is necessary to take into account patient's history of penetrating surgical interventions. Thus, in single-operated patients, an additional decrease in IOP is required, on average by 1.7 mm Hg, while in repeatedly operated patients — by almost 3 mm Hg.

KEYWORDS: target IOP, individual IOP, biomechanical characteristics of the fibrous membrane of the eye, tonometry, glaucoma.

Несмотря на доказанную предопределяющую роль повышенного уровня офтальмотонуса в развитии и прогрессировании глаукомной оптической нейропатии (ГОН), измерение его точных показателей в клинической практике составляет значительную проблему. Работы последних десятилетий показывают, что для повышения

точности трактовки результатов измерений внутриглазного давления (ВГД) необходимо учитывать многочисленные составляющие, например, состояние толщины роговицы и/или вязкоэластические свойства фиброзной оболочки глаза. Кроме анатомических особенностей, на биомеханические характеристики оболочки глаза опосредованное влияние

оказывает и наличие в анамнезе антиглаукомных операций (включая их количество). Так, при фистулизирующих операциях у лиц с ПОУГ происходит нарушение целостности фиброзной оболочки глаза, что, в свою очередь, может приводить к изменению характеристик склеры и роговицы и, как следствие, увеличению вероятности возникновения ошибки при трактовке результатов тонометрии [1, 2]. Помимо этого, методы современной офтальмотонометрии имеют определенную степень погрешности при измерении уровня ВГД, связанную как с особенностями самих приборов, так и с индивидуальными особенностями биомеханических параметров глаза, что обсуждается коллегами в ряде публикаций [3–6]. Учитывая, что промедление с выявлением недопустимого («инtolерантного») уровня ВГД приводит к необратимым повреждениям зрительного нерва и потере зрения, точная интерпретация значений уровня офтальмотонуса играет важнейшую роль в диагностике и мониторинге глаукомного процесса [7–9]. Современная клиническая действительность предлагает достаточный выбор различных апробированных методик офтальмотонометрии. Однако нередко возникает ситуация, когда при использовании разных методов тонометрии установленные значения уровня ВГД значительно отличаются, особенно на т.н. «нестандартных» глазах (например, высокая миопия или гиперметропия, «толстая» или «тонкая» роговица). На сегодняшний день диапазон допустимых отклонений результатов тонометрии до сих пор не имеет четко обозначенных границ. Отсутствуют и конкретные рекомендации по определению алгоритма поправочных коэффициентов для коррекции результатов тонометрии. Косвенно на это указывает объективная разница показателей уровня ВГД, представленная в одном из типов автоматических тонометрических приборов, однако, такая градуировка опирается на неизвестную нормативную базу, что не позволяет в полной мере использовать эти данные в лечебно-диагностическом процессе.

В настоящее время доступно множество концепций по достижению т.н. «безопасного» уровня ВГД — от существующих «стандартных» алгоритмов с применением абсолютных значений ВГД до максимально персонализированного подхода по установлению «целевого» уровня офтальмотонуса с применением большого массива данных, включающих в себя формулы для расчета ВГД, а также различные офтальмологические и не офтальмологические факторы. В современной литературе присутствует множество доказательств в пользу той или иной стратегии. В частности, доказано, что методы на основе алгоритмов позволяют быстро и просто использовать их в рутинной клинической практике, но их эффективность базируется, в основном, на среднестатистических данных [10, 11]. Персонализированные методики [12] дают возможность

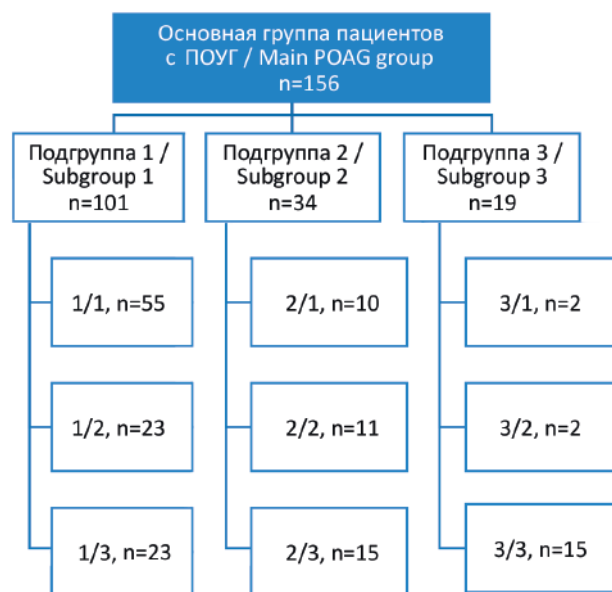
более индивидуально подходить к каждому пациенту, однако, их применение более затратное, требует больших усилий не только от врача, но и от пациента, и гораздо менее привлекательно в ежедневной деятельности. Таким образом, сохраняется актуальность определения точных «целевых» значений уровня офтальмотонуса у пациентов с ПОУГ при использовании различных методов тонометрии с учетом индивидуальных особенностей (в том числе оперированных, и оперированных неоднократно) [10, 13].

По этой причине задачей текущего этапа является создание связующего звена между данными подходами, что позволило сформулировать цель исследования — определить оптимальные характеристики показателей уровня ВГД, способствующие стабилизации течения заболевания у пациентов с различными стадиями ПОУГ до и после проведенного оперативного вмешательства, в зависимости от текущего состояния биомеханических параметров глазного яблока.

Материалы и методы

Работа была проведена в офтальмологическом отделении ФКУ Центральный военный клинический госпиталь им. П.В. Мандрыка Минобороны РФ и основывалась на анализе результатов диагностических исследований, проведенных в период с 2019 по 2022 гг. В итоговый протокол аналитического комбинированного научно-клинического описательного исследования были включены 137 пациентов (35 [25,5%] женщин и 101 [74,5%] мужчина), 209 глаз с разными стадиями ПОУГ. Все пациенты письменно подтверждали свое согласие об участии. Были выделены две группы пациентов: основная (105 пациентов, 156 глаз) — с ПОУГ и контрольная (32 пациента, 53 глаза) — здоровые добровольцы и пациенты с установленным диагнозом катаракты. В дальнейшем основная группа была разделена на 3 подгруппы: подгруппа 1 — пациенты с верифицированным диагнозом ПОУГ и с отсутствием в анамнезе антиглаукомной хирургии (82 пациента, 101 глаз); подгруппа 2 — однократно оперированные пациенты с ПОУГ (35 пациентов, 36 глаз) и подгруппа 3 — многократно (≥ 2 раз) оперированные пациенты с ПОУГ (16 пациентов, 19 глаз). В свою очередь, каждая из этих подгрупп была разделена в зависимости от стадии глаукомного процесса (начальная, развитая и далекозашедшая стадии глаукомы). Один пациент мог быть размещен в две разные подгруппы (например, один глаз не оперирован, второй оперирован по поводу глаукомы), поэтому общее число пациентов и суммарное количество в подгруппах отличаются (рис. 1).

У пациентов основной группы все исследования выполнялись не менее, чем через 6 месяцев после проведения хирургического вмешательства. Основными критериями для верификации диагноза



Контрольная группа /
Control group
n=53

Рис. 1. Схематическое распределение пациентов по группам и подгруппам, n=209.

Fig. 1. Schematic distribution of patients by groups and subgroups, n=209.

Примечание: 1/1, 2/1, 3/1 — пациенты с начальной стадией ПОУГ; 1/2, 2/2, 3/2 — пациенты с развитой стадией ПОУГ; 1/3, 2/3, 3/3 — пациенты с далекозашедшей стадией ПОУГ.

Note: 1/1, 2/1, 3/1 — patients with initial POAG; 1/2, 2/2, 3/2 — patients with moderate POAG; 1/3, 2/3, 3/3 — patients with advanced POAG.

ПОУГ являлись уровень ВГД (P_0) >21 мм рт.ст., типичные повреждения диска зрительного нерва (ДЗН), специфические дефекты поля зрения (ПЗ) и открытый угол передней камеры (УПК). Всем пациентам проводилось полное офтальмологическое обследование, включающее рутинные и специальные методы, в т.ч. пневмотонометрию (приборы — СТ-80, Торсон, Япония; NT-4000, Nidek, Япония); тонометрию по Маклакову (груз 10 гр.); тонометрию с использованием контурного динамического тонометра Pascal (SMT Swiss Microtechnology AG, Швейцария), точечную контактную тонометрию iCare TA01i (Icare Finland Oy, Финляндия) и двуправленную пневмоаппланацию роговицы (Ocular Response Analyzer [ORA], Reichert Inc., США); статическую компьютерную периметрию (САП) с применением программы SITA Threshold, 24-2, на аппарате Humphrey 750i (Carl Zeiss-Meditec Inc., США); исследование толщины роговицы в центральной оптической зоне (ЦТЗ) с использованием технологии ОКТ (Visante OCT, Zeiss, Германия); оптическую когерентную томографию с использованием прибора Spectralis (версия программного обеспечения Glaucoma Module Premium Edition 6.0, Heidelberg Engineering, Германия), сканирование зрительного нерва с помощью Гейдельбергского ретинального томографа (Heidelberg Engineering, Германия). При использовании ORA оценивались стандартные показатели протокола исследования (определяемые в мм рт.ст.) — роговично-компенсированные значения уровня ВГД; тонометрия, аналогичная тонометрии по Гольдману; показатели корнеального гистерезиса (КГ) и фактора резистентности роговицы (ФРП). Полученные результаты использовались при значениях индекса качества (графическое изображение волнового сигнала Waveform Score, WS), величины более 7,0 (среднее значение составило $7,8 \pm 0,6$).

Вязкоэластические свойства фиброзной оболочки глаза оценивались после проведения четырех измерений с разницей между измерениями не более 2,4 мм рт.ст. (согласно рекомендациям, указанным в инструкции производителя). С целью уменьшения погрешности и увеличения воспроизводимости результатов при проведении офтальмотонометрии все пациенты обследовались в период времени с 10 до 12 часов. Определение уровня ВГД производилось в определенной последовательности: вначале применялись бесконтактные методы, затем — контактные с ограниченным временным промежутком между измерениями.

Критерии включения и исключения

В исследование были включены лица обоих полов с сохраненными зрительными функциями в возрасте от 60 до 75 лет с клинической рефракцией в пределах ± 6 диоптрий и астигматизмом ± 3 диоптрий с начальной, развитой, далекозашедшей стадиями ПОУГ с псевдоэкзофалиативным синдромом или без него, с разной степенью открытия УПК; пациенты с установленным диагнозом возрастная макулодегенерация (ВМД), сухая форма 1 стадии (по классификации AREDS, 2001); пациенты с установленным диагнозом катаракта; здоровые лица.

Критериями исключения стали: пациенты с любой другой формой глаукомы и клинической рефракцией, нежели указано выше; выраженные помутнения оптических сред, затрудняющие использование морфометрических или периметрических методов исследования, или приводящие к неправильной трактовке их результатов; наличие иной патологии зрительного нерва; пациенты с любыми другими заболеваниями сетчатки (например, ВМД, сухая форма — начиная со второй стадии по классификации AREDS, 2001), состояния после окклюзий

Таблица 1. Возрастные характеристики обследуемых лиц и продолжительность заболевания пациентов с ПОУГ, n=209.

Table 1. Age characteristics of the examined individuals and the duration of the disease in patients with POAG, n=209.

Показатели Characteristics	Подгруппа 1, n=101 Group 1, n=101	Подгруппа 2, n=36 Group 2, n=36	Подгруппа 3, n=19 Group 3, n=19	Контроль n=53 Control group, n=53	Статистическая достоверность Statistical significance
Возраст на момент обследования, лет Age at the time of examination, years	72 (68; 75)	71,5 (67; 75)	73 (69; 74)	69 (65; 73)	$p_{K/1}=0,011$ $p_{K/2}=0,130$ $p_{K/3}=0,075$ $p_{1/2}=0,824$ $p_{1/3}=0,954$ $p_{2/3}=0,951$
Анамнез заболевания глаукомой, лет Anamnesis of glaucoma, years	5 (3; 7)	8 (6; 10)	14 (12; 20)	—	$p_{1/2}=0,001$ $p_{1/3}=0,001$ $p_{2/3}=0,001$

и осложнений диабетической ретинопатии, наличие воспалительной патологии глазного яблока острого или хронического характера, при которых было невозможно применение контактных методов исследования; пациенты с травмами и заболеваниями органа зрения и/или перенесенными кераторефракционными операциями в анамнезе, затрудняющие проведение тонометрии; пациенты после проведенной интракапсулярной экстракции катаракты, «классической» экстракапсулярной экстракции катаракты или факэмульсификации, прошедших с осложнениями (например, частичная потеря стекловидного тела, и в случае послеоперационного астигматизма более ± 3 диоптрий); пациенты с любой формой отслойки сетчатки (оперированная или неоперированная); пациенты с общими (системными) заболеваниями, требующими гормональной терапии; любые другие состояния, затрудняющие, по мнению врача-исследователя, участие в клиническом исследовании.

Методы статистического анализа

Статистическая обработка полученных данных проводилась с использованием лицензионного программного обеспечения Statistica (версии 8.0, StatSoftInc., США) и Microsoft Excel 2016 с последующей системной проверкой полученных результатов. Исследуемые параметры, имеющие распределение отличное от нормального, представлены в формате Me (Q25%; Q75%), где Me — медиана, а Q25% и Q75% — верхний и нижний квартили. Для попарного сравнения двух независимых выборок использовалась Z-аппроксимация U-критерия Манна-Уитни. Для повторных внутригрупповых сравнений — Z-аппроксимация T-критерия Вилкоксона. Статистическая оценка связей определялась с применением коэффициента ранговой корреляции Спирмена.

Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез принимался меньшим 0,05. Для прогнозирования зависимости между показателями вязко-эластических свойств фиброзной оболочки глаза (КГ и ФРР) и показателями результатов тонометрии, расчета дополнительного уровня понижения офтальмотонуса использовался простой регрессионный анализ. Оценка качества полученных регрессионных моделей и возможность использования КГ и ФРР в качестве параметров, применяемых при расчете поправочных коэффициентов, производилась с учетом полученных коэффициентов детерминации (r^2). Значение r^2 до 0,3 оценивалось, как слабая корреляционная взаимосвязь, 0,3–0,7 — средняя, более 0,7 — высокая корреляционная взаимосвязь в построенных математических уравнениях [14].

Результаты и обсуждение

Средний возраст обследуемых лиц в основной группе составил 72,5 (68; 75) года, при этом в подгруппе 1 он был 72 (68; 75) года, в подгруппе 2 — 71,5 (67; 75) лет, и в подгруппе 3 — 73 (69; 74) года. Средний возраст пациентов в группе контроля составил 69 (65; 73) лет. Продолжительность заболевания глаукомой в основной группе составила 6 (3; 10) лет, в подгруппе 1 — 5 (3; 7) лет, в подгруппе 2 — 8 (6; 10) лет, в подгруппе 3 — 14 (12; 20) лет. Эти данные представлены в табл. 1.

Возрастные характеристики пациентов имели достоверное отличие только между подгруппой 1 и контрольной группой. Данные анамнеза заболевания глаукомой имели ожидаемые результаты, в частности, было подтверждено, что с прогрессированием глаукомного процесса увеличивается и анамнез заболевания ПОУГ.

Таблица 2. Средние показатели уровня ВГД и вязко-эластических свойств фиброзной оболочки глаза (КГ, ФРР, ЦТР), n=209.

Table 2. Average values of IOP and biomechanical indicators of the fibrous membrane of the eye (CH, CRF, CCT), n=209.

Показатели Characteristics	Подгруппа 1, n=101 / Subgroup 1, n=101			Подгруппа 2, n=36 / Subgroup 2, n=36			Подгруппа 3, n=19 / Subgroup 3, n=19			Контроль, n=53 Control group, n=53	Статистическая достоверность Statistical significance
	1/1, n=55	1/2, n=23	1/3, n=23	2/1, n=10	2/2, n=11	2/3, n=15	3/1, n=2	3/2, n=2	3/3, n=15		
Уровень ВГД (Рт), мм рт.ст. IOP (Pt), mm Hg	19,0 (17,0; 22,0)			19,5 (17,5; 24,0)			18,0 (16,0; 22,0)			18,0 (16,0; 19,0)	p _{K/1} =0,006 p _{K/2} =0,008 p _{K/3} =0,578 p _{1/2} =0,444 p _{1/3} =0,231 p _{2/3} =0,124
	18,0 (17,0; 21,0)	18,0 (17,0; 22,0)	21,0 (18,0; 27,0)	18,5 (18,0; 20,0)	23,0 (18,0; 26,0)	20,0 (17,0; 24,0)	н/д	н/д	19,0 (17,0; 22,0)		
Уровень ВГД _{ПНЕВМО} , мм рт.ст. IOP _{ПНЕВМО} , mm Hg	19,0 (17,0; 22,0)			19,0 (15,5; 23,5)			18,0 (15,0; 21,0)			18,0 (17,0; 20,0)	p _{K/1} =0,061 p _{K/2} =0,318 p _{K/3} =0,788 p _{1/2} =0,818 p _{1/3} =0,123 p _{2/3} =0,305
	20,0 (18,0; 21,0)	18,0 (16,0; 20,0)	21,0 (16,0; 27,0)	17,0 (14,0; 19,0)	20,0 (15,0; 25,0)	20,0 (17,0; 26,0)	н/д	н/д	18,0 (15,0; 21,0)		
Уровень ВГД _{ДКТ} , мм рт.ст. IOP _{ДКТ} , mm Hg	15,7 (13,7; 18,6)			18,6 (14,8; 21,3)			14,6 (12,7; 18,2)			14,4 (13,1; 16,5)	p _{K/1} =0,028 p _{K/2} =0,001 p _{K/3} =0,435 p _{1/2} =0,018 p _{1/3} =0,593 p _{2/3} =0,065
	14,8 (13,5; 17,6)	15,4 (12,6; 17,9)	19,2 (15,7 23,2)	15,6 (14,6; 17,7)	19,4 (13,5; 23,2)	19,3 (17,6; 22,8)	н/д	н/д	15,3 (13,0; 18,5)		
Уровень ВГД _{ТКТ} , мм рт.ст. IOP _{РЕВБОНД} , mm Hg	15,0 (12,0; 17,0)			16,0 (12,5; 20,5)			11,0 (10,0; 16,0)			14,0 (11,0; 18,0)	p _{K/1} =0,414 p _{K/2} =0,176 p _{K/3} =0,223 p _{1/2} =0,387 p _{1/3} =0,093 p _{2/3} =0,094
	15,0 (12,0; 17,0)	14,0 (12,0; 16,0)	17,0 (13,0; 27,0)	14,5 (12,0; 17,0)	18,0 (13,0; 23,0)	16,0 (10,0; 21,0)	н/д	н/д	13,0 (11,0; 16,0)		
Уровень ВГД _{РК} , мм рт.ст. IOP _{РК} , mm Hg	17,8 (15,7; 21,3)			20,6 (16,5; 24,4)			16,3 (15,4; 24,1)			16,3 (13,9; 17,8)	p _{K/1} =0,006 p _{K/2} =0,001 p _{K/3} =0,031 p _{1/2} =0,083 p _{1/3} =0,682 p _{2/3} =0,565
	17,4 (15,8; 19,9)	16,1 (13,7; 18,4)	23,0 (18,2 28,0)	18,9 (15,8; 21,0)	21,2 (17,9; 28,8)	21,8 (17,0; 24,0)	н/д	н/д	19,5 (15,4; 24,1)		
Уровень ВГД (Р ₀), мм рт.ст. IOP (P ₀), mm Hg	16,0 (13,9; 19,3)			17,7 (15,4; 22,9)			13,9 (11,6; 20,7)			14,6 (12,4; 17,9)	p _{K/1} =0,071 p _{K/2} =0,020 p _{K/3} =0,828 p _{1/2} =0,172 p _{1/3} =0,408 p _{2/3} =0,353
	15,7 (13,9; 18,6)	14,2 (12,5; 16,8)	22,3 (16,2; 27,2)	16,5 (15,3; 19,1)	18,7 (15,4; 24,8)	17,9 (10,6; 23,9)	н/д	н/д	16,6 (12,0; 20,7)		
КГ, мм рт.ст. CH, mm Hg	9,0 (8,0; 10,1)			8,6 (7,2; 9,3)			7,6 (6,6; 7,9)			9,8 (8,5; 10,8)	p _{K/1} =0,012 p _{K/2} =0,001 p _{K/3} =0,001 p _{1/2} =0,030 p _{1/3} =0,001 p _{2/3} =0,049
	9,1 (8,3; 10,2)	9,6 (8,5; 10,2)	8,3 (7,1; 9,0)	9,1 (8,2; 10,8)	8,5 (7,7; 9,1)	7,7 (6,0; 8,9)	н/д	н/д	7,6 (6,6; 8,4)		
ФРР, мм рт.ст. CRF, mm Hg	9,5 (8,5; 11,0)			9,1 (8,0; 11,2)			8,6 (6,8; 9,9)			9,6 (8,3; 11,2)	p _{K/1} =0,974 p _{K/2} =0,634 p _{K/3} =0,010 p _{1/2} =0,549 p _{1/3} =0,004 p _{2/3} =0,040
	9,5 (8,2; 11,0)	9,3 (8,4; 10,2)	9,8 (8,9; 12,4)	9,2 (8,6; 10,9)	10,2 (8,8; 12,3)	8,2 (7,1; 11,6)	н/д	н/д	8,8 (7,0; 9,9)		
ЦТР, мкм Central Corneal Thickness, mkm	533 (514; 550)			536 (512; 554)			537 (523; 545)			545 (520; 560)	p _{K/1} =0,114 p _{K/2} =0,444 p _{K/3} =0,548 p _{1/2} =0,741 p _{1/3} =0,703 p _{2/3} =0,873
	533 (514; 554)	534 (515; 563)	530 (509; 548)	542 (520; 566)	539 (536; 550)	514 (499; 588)	н/д	н/д	536 (523; 543)		

Примечание: подгруппа 1 — пациенты с верифицированным диагнозом ПОУГ и с отсутствием в анамнезе фистулизирующей антиглаукомной хирургии; подгруппа 2 — однократно оперированные пациенты с ПОУГ; подгруппа 3 — многократно оперированные пациенты с ПОУГ. 1/1, 2/1, 3/1 — пациенты с начальной стадией ПОУГ; 1/2, 2/2, 3/2 — пациенты с развитой стадией ПОУГ; 1/3, 2/3, 3/3 — пациенты с далеко зашедшей стадией ПОУГ; н/д — недостаточно данных для анализа.

Note: subgroup 1 — patients with verified POAG diagnosis and no history of fistulizing glaucoma surgery; subgroup 2 — POAG patients who had undergone one surgery; subgroup 3 — POAG patients who had undergone multiple surgeries; 1/2, 2/2, 3/2 — patients with moderate POAG; 1/3, 2/3, 3/3 — patients with advanced POAG; н/д — insufficient data for analysis.

Таблица 3. Показатели корреляции между различными методами тонометрии, $p < 0,05$.Table 3. Correlation indicators between different tonometry methods, $p < 0.05$.

	ВГД (Pt) IOP (Pt)	ВГД _{ПНЕВМО} IOP _{PNEUMO}	ВГД _{РК} IOP _{CC}	ВГД (P ₀) IOP (P ₀)	ВГД _{ДКТ} IOP _{DCT}	ВГД _{ТКТ} IOP _{REBOUND}
ВГД (Pt) IOP (Pt)	1,000	0,533 ¹ 0,675 ² 0,557 ³ 0,400 ^к	0,608 ¹ 0,809 ² 0,654 ³ 0,478 ^к	0,644 ¹ 0,844 ² 0,681 ³ 0,579 ^к	0,583 ¹ 0,823 ² 0,586 ³ 0,691 ^к	0,679 ¹ 0,895 ² 0,660 ³ 0,675 ^к
ВГД _{ПНЕВМО} IOP _{PNEUMO}	0,533 ¹ 0,675 ² 0,557 ³ 0,400 ^к	1,000	0,576 ¹ 0,621 ² 0,762 ³ 0,427 ^к	0,707 ¹ 0,698 ² 0,857 ³ 0,610 ^к	0,545 ¹ 0,640 ² 0,740 ³ 0,400 ^к	0,686 ¹ 0,753 ² 0,785 ³ 0,589 ^к
ВГД _{РК} IOP _{CC}	0,608 ¹ 0,809 ² 0,654 ³ 0,478 ^к	0,576 ¹ 0,621 ² 0,762 ³ 0,427 ^к	1,000	0,917 ¹ 0,914 ² 0,833 ³ 0,862 ^к	0,748 ¹ 0,848 ² 0,732 ³ 0,485 ^к	0,722 ¹ 0,834 ² 0,688 ³ 0,547 ^к
ВГД (P ₀) IOP (P ₀)	0,644 ¹ 0,844 ² 0,681 ³ 0,579 ^к	0,707 ¹ 0,698 ² 0,857 ³ 0,610 ^к	0,917 ¹ 0,914 ² 0,833 ³ 0,862 ^к	1,000	0,713 ¹ 0,808 ² 0,782 ³ 0,599 ^к	0,787 ¹ 0,914 ² 0,779 ³ 0,767 ^к
ВГД _{ДКТ} IOP _{DCT}	0,583 ¹ 0,823 ² 0,586 ³ 0,691 ^к	0,545 ¹ 0,640 ² 0,740 ³ 0,400 ^к	0,748 ¹ 0,848 ² 0,732 ³ 0,485 ^к	0,713 ¹ 0,808 ² 0,782 ³ 0,599 ^к	1,000	0,658 ¹ 0,823 ² 0,597 ³ 0,648 ^к
ВГД _{ТКТ} IOP _{REBOUND}	0,679 ¹ 0,895 ² 0,660 ³ 0,675 ^к	0,686 ¹ 0,753 ² 0,785 ³ 0,589 ^к	0,722 ¹ 0,834 ² 0,688 ³ 0,547 ^к	0,787 ¹ 0,914 ² 0,779 ³ 0,767 ^к	0,658 ¹ 0,823 ² 0,597 ³ 0,648 ^к	1,000

Примечание: подгруппа 1 — пациенты с верифицированным диагнозом ПОУГ и с отсутствием в анамнезе фистулизирующей антиглаукомной хирургии; подгруппа 2 — однократно оперированные пациенты с ПОУГ; подгруппа 3 — многократно оперированные пациенты с ПОУГ; к — контрольная группа.

Note: subgroup 1 — patients with verified POAG diagnosis and no history of fistulizing glaucoma surgery; subgroup 2 — POAG patients who had undergone one surgery; subgroup 3 — POAG patients who had undergone multiple surgeries; к — control group.

В данной работе были получены средние значения уровня ВГД с применением различных методов тонометрии — тонометрии по Маклакову (Pt), пневмотонометрии (ВГД_{ПНЕВМО}), динамической контурной тонометрии (ВГД_{ДКТ}), точечной контактной тонометрии iCare (ВГД_{ТКТ}) и ORA (ВГД_{РК} — роговично-компенсированный уровень ВГД и ВГД (P₀) — тонометрия, аналогичная тонометрии по Гольдману), а также данные ЦТР и вязкоэластических свойств фиброзной оболочки глаза (табл. 2).

Следующим этапом была определена корреляционная взаимосвязь между различными методами тонометрии в подгруппах пациентов с ПОУГ, а также контрольной группы (табл. 3).

Корреляционная взаимосвязь между методами тонометрии находилась в диапазоне от средней до высокой (0,4–0,9). Наименьшая (и ожидаемая) степень корреляции отмечалась при сравнении других методов измерения уровня ВГД с показателями, полученными при выполнении пневмотонометрии. Учитывая данные, представленные в табл. 3, и для

дальнейшей демонстрации полученных результатов, основным методом измерения ВГД была выбрана тонометрия по Маклакову (Pt). Данный метод был использован вследствие исторически сложившегося распространения на территории нашей страны, а также исходя из многолетних клинических исследований, подтверждающих, что тонометрия по Маклакову считается «золотым» стандартом измерения уровня ВГД [15–18].

В группе пациентов с ПОУГ средний уровень ВГД (Pt) составил 19,0 (17,0; 22,0) мм рт.ст., в подгруппе 1 — 19,0 (17,0; 22,0) мм рт.ст., в подгруппе 2 — 19,5 (17,5; 24,0), в подгруппе 3 — 18,0 (16,0; 22,0) мм рт.ст., в контрольной группе — 18,0 (16,0; 19,0) мм рт.ст. Значения уровня офтальмотонуса достоверно не отличались между подгруппами неоперированных и оперированных пациентов ($p_{1/2}=0,444$, $p_{1/3}=0,231$). Контрольная группа имела достоверные различия в показателях уровня ВГД при их сравнении с данными подгруппы неоперированных лиц, а также с подгруппой

Таблица 4. Показатели дополнительной корректировки уровня офтальмотонуса для наиболее часто встречающихся значений КГ и ФРР в группах неоперированных (n=101), однократно оперированных (n=36) и многократно оперированных (n=19) пациентов с ПОУГ, в зависимости от стадии глаукомного процесса.

Table 4. Indicators of additional adjustment of the IOP level for the most common values of CH and CRF in the groups of non-operated (n=101), once operated (n=36) and multiply operated (n=19) patients with POAG, depending on the stage of the glaucoma process.

ФРР/CRF	КГ/CH																													
	7,5			8			8,5			9			9,5			10			10,5			11			11,5			12		
	Гр.1 G1	Гр.2 G2	Гр.3 G3	Гр.1 G1	Гр.2 G2	Гр.3 G3	Гр.1 G1	Гр.2 G2	Гр.3 G3	Гр.1 G1	Гр.2 G2	Гр.3 G3	Гр.1 G1	Гр.2 G2	Гр.3 G3	Гр.1 G1	Гр.2 G2	Гр.3 G3	Гр.1 G1	Гр.2 G2	Гр.3 G3	Гр.1 G1	Гр.2 G2	Гр.3 G3	Гр.1 G1	Гр.2 G2	Гр.3 G3	Гр.1 G1	Гр.2 G2	Гр.3 G3
7,5	0,7 ¹	-0,6	н/д	0,1	0,8	н/д	-0,5	н/д	-1,1	-1,1	н/д	-1,2	Г1	Г2	Г3	-2,4	-1,4	н/д	-3,0	-1,5	н/д	-3,6	-1,7	н/д	-4,2	-1,8	н/д	-4,8	-2,0	н/д
	-0,2 ²	0,6	н/д	-0,9	-0,3	н/д	-1,7	-1,2	н/д	-2,4	-2,1	н/д	-3,1	-3,0	н/д	-3,9	-3,9	н/д	-4,6	-4,8	н/д	-5,3	-5,7	н/д	-6,1	-6,6	н/д	-6,8	-7,5	н/д
	-0,2 ³	0,2	1,7	-0,9	-0,8	0,7	-1,7	-1,7	-0,2	-2,4	-2,7	-1,1	-3,1	-3,6	-2,1	-3,9	-4,6	-3,0	-4,6	-5,5	-3,9	-5,3	-6,5	-4,9	-6,1	-7,4	-5,8	-6,8	-8,4	-6,7
8	1,3	-0,3	н/д	0,7	-0,4	н/д	0,1	-0,6	н/д	-0,5	-0,7	н/д	-1,2	-0,9	н/д	-1,8	-1,0	н/д	-2,4	-1,2	н/д	-3,0	-1,3	н/д	-3,6	-1,5	н/д	-4,2	-1,6	н/д
	0,8	1,5	н/д	0,0	0,7	н/д	-0,7	-0,2	н/д	-1,4	-1,1	н/д	-2,2	-2,0	н/д	-2,9	-2,9	н/д	-3,6	-3,8	н/д	-4,4	-4,7	н/д	-5,1	-5,6	н/д	-5,8	-6,5	н/д
	0,7	1,3	2,4	0,0	0,4	1,5	-0,7	-0,6	0,6	-1,4	-1,5	-0,4	-2,2	-2,5	-1,3	-2,9	-3,4	-2,2	-3,6	-4,4	-3,2	-4,4	-5,3	-4,1	-5,1	-6,3	-5,0	-5,8	-7,2	-6,0
8,5	1,9	0,1	н/д	1,3	-0,1	н/д	0,7	-0,2	н/д	0,0	-0,4	н/д	-0,6	-0,5	н/д	-1,2	-0,7	н/д	-1,8	-0,8	н/д	-2,4	-1,0	н/д	-3,0	-1,1	н/д	-3,6	-1,3	н/д
	1,7	2,5	н/д	1,0	1,6	н/д	0,3	0,7	н/д	-0,5	-0,2	н/д	-1,2	-1,1	н/д	-1,9	-1,9	н/д	-2,7	-2,8	н/д	-3,4	-3,7	н/д	-4,1	-4,6	н/д	-4,9	-5,5	н/д
	1,7	2,5	3,2	1,0	1,5	2,2	0,3	0,6	1,3	-0,5	-0,4	0,4	-1,2	-1,3	-0,6	-1,9	-2,3	-1,5	-2,7	-3,2	-2,4	-3,4	-4,2	-3,4	-4,1	-5,1	-4,3	-4,9	-6,1	-5,2
9	2,5	0,4	н/д	1,9	0,2	н/д	1,2	0,1	н/д	0,6	0,0	н/д	0,0	-0,2	н/д	-0,6	-0,3	н/д	-1,2	-0,5	н/д	-1,8	-0,6	н/д	-2,4	-0,8	н/д	-3,0	-0,9	н/д
	2,7	3,5	н/д	2,0	2,6	н/д	1,2	1,7	н/д	0,5	0,8	н/д	-0,2	-0,1	н/д	-1,0	-1,0	н/д	-1,7	-1,9	н/д	-2,4	-2,8	н/д	-3,2	-3,7	н/д	-3,9	-4,6	н/д
	2,7	3,6	3,9	2,0	2,7	3,0	1,2	1,7	2,1	0,5	0,8	1,1	-0,2	-0,2	0,2	-1,0	-1,1	-0,7	-1,7	-2,1	-1,7	-2,4	-3,0	-2,6	-3,2	-4,0	-3,5	-3,9	-5,0	-4,5
9,5	3,1	0,7	н/д	2,4	0,6	н/д	1,8	0,4	н/д	1,2	0,3	н/д	0,6	0,1	н/д	0,0	0,0	н/д	-0,6	-0,1	н/д	-1,2	-0,3	н/д	-1,8	-0,4	н/д	-2,4	-0,6	н/д
	3,7	4,5	н/д	2,9	3,6	н/д	2,2	2,7	н/д	1,5	1,8	н/д	0,7	0,9	н/д	0,0	0,0	н/д	-0,7	-0,9	н/д	-1,5	-1,8	н/д	-2,2	-2,7	н/д	-2,9	-3,6	н/д
	3,6	4,8	4,7	2,9	3,8	3,7	2,2	2,9	2,8	1,5	1,9	1,9	0,7	1,0	0,9	0,0	0,0	0,0	-0,7	-1,0	-0,9	-1,5	-1,9	-1,9	-2,2	-2,9	-2,8	-2,9	-3,8	-3,7
10	3,6	1,1	н/д	3,0	0,9	н/д	2,4	0,8	н/д	1,8	0,6	н/д	1,2	0,5	н/д	0,6	0,3	н/д	0,0	0,2	н/д	-0,6	0,0	н/д	-1,2	-0,1	н/д	-1,9	-0,2	н/д
	4,6	5,4	н/д	3,9	4,6	н/д	3,2	3,7	н/д	2,4	2,8	н/д	1,7	1,9	н/д	1,0	1,0	н/д	0,2	0,1	н/д	-0,5	-0,8	н/д	-1,2	-1,7	н/д	-2,0	-2,6	н/д
	4,6	5,9	5,4	3,9	5,0	4,5	3,2	4,0	3,5	2,4	3,0	2,6	1,7	2,1	1,7	1,0	1,1	0,7	0,2	0,2	-0,2	-0,5	-0,8	-1,1	-1,2	-1,7	-2,1	-2,0	-2,7	-3,0
10,5	4,2	1,4	н/д	3,6	1,3	н/д	3,0	1,1	н/д	2,4	1,0	н/д	1,8	0,8	н/д	1,2	0,7	н/д	0,6	0,5	н/д	0,0	0,4	н/д	-0,7	0,2	н/д	-1,3	0,1	н/д
	5,6	6,4	н/д	4,9	5,5	н/д	4,1	4,6	н/д	3,4	3,7	н/д	2,7	2,8	н/д	1,9	1,9	н/д	1,2	1,1	н/д	0,5	0,2	н/д	-0,3	-0,7	н/д	-1,0	-1,6	н/д
	5,6	7,0	6,2	4,9	6,1	5,2	4,1	5,1	4,3	3,4	4,2	3,4	2,7	3,2	2,4	1,9	2,3	1,5	1,2	1,3	0,6	0,5	0,4	-0,4	-0,3	-0,6	-1,3	-1,0	-1,5	-2,2
11	4,8	1,8	н/д	4,2	1,6	н/д	3,6	1,5	н/д	3,0	1,3	н/д	2,4	1,2	н/д	1,8	1,0	н/д	1,2	0,9	н/д	0,5	0,7	н/д	-0,1	0,6	н/д	-0,7	0,4	н/д
	6,6	7,4	н/д	5,8	6,5	н/д	5,1	5,6	н/д	4,4	4,7	н/д	3,6	3,8	н/д	2,9	2,9	н/д	2,2	2,0	н/д	1,4	1,1	н/д	0,7	0,2	н/д	0,0	-0,7	н/д
	6,6	8,2	6,9	5,8	7,2	6,0	5,1	6,3	5,0	4,4	5,3	4,1	3,6	4,4	3,2	2,9	3,4	2,2	2,2	2,5	1,3	1,4	1,5	0,4	0,7	0,6	-0,6	0,0	-0,4	-1,5
11,5	5,4	2,1	н/д	4,8	2,0	н/д	4,2	1,8	н/д	3,6	1,7	н/д	3,0	1,5	н/д	2,4	1,4	н/д	1,7	1,2	н/д	1,1	1,1	н/д	0,5	0,9	н/д	-0,1	0,8	н/д
	7,5	8,4	н/д	6,8	7,5	н/д	6,1	6,6	н/д	5,3	5,7	н/д	4,6	4,8	н/д	3,9	3,9	н/д	3,1	3,0	н/д	2,4	2,1	н/д	1,7	1,2	н/д	0,9	0,3	н/д
	7,5	9,3	7,7	6,8	8,4	6,7	6,1	7,4	5,8	5,3	6,5	4,9	4,6	5,5	3,9	3,9	4,6	3,0	3,1	3,6	2,1	2,4	2,7	1,1	1,7	1,7	0,2	0,9	0,8	-0,7
12	6,0	2,4	н/д	5,4	2,3	н/д	4,8	2,2	н/д	4,2	2,0	н/д	3,6	1,9	н/д	2,9	1,7	н/д	2,3	1,6	н/д	1,7	1,4	н/д	1,1	1,3	н/д	0,5	1,1	н/д
	8,5	9,3	н/д	7,8	8,4	н/д	7,0	7,6	н/д	6,3	6,7	н/д	5,6	5,8	н/д	4,8	4,9	н/д	4,1	4,0	н/д	3,4	3,1	н/д	2,6	2,2	н/д	1,9	1,3	н/д
	8,5	10,5	8,4	7,8	9,5	7,5	7,0	8,6	6,5	6,3	7,6	5,6	5,6	6,7	4,7	4,8	5,7	3,7	4,1	4,8	2,8	3,4	3,8	1,9	2,6	2,9	0,9	1,9	0,0	

Примечание: Гр.1 — пациенты с верифицированным диагнозом ПОУГ и с отсутствием в анамнезе фистулизирующей антиглаукомной хирургии; Гр.2 — однократно оперированные пациенты с ПОУГ; Гр.3 — многократно оперированные пациенты с ПОУГ. 1 — пациенты с начальной стадией ПОУГ, 2 — пациенты с развитой стадией ПОУГ, 3 — пациенты с далеко зашедшей стадией ПОУГ. Низкая статистическая значимость определяется в Гр.2 у пациентов с начальной стадией глаукомы ($r^2=0,18$), средняя — в Гр.1 с начальной ($r^2=0,37$) и развитой ($r^2=0,44$) стадиями, высокая — у пациентов с далеко зашедшей стадией ($r^2=0,72$; 0,88; 0,60 для Гр.1, Гр.2, Гр.3, соответственно), а также в Гр.2 с развитой стадией ($r^2=0,88$).

Note: G1 — patients with verified POAG diagnosis and no history of fistulizing glaucoma surgery; G2 — POAG patients who had undergone one surgery; G3 — POAG patients who had undergone multiple surgeries. 1 — patients with initial POAG, 2 — patients with moderate POAG, 3 — patients with advanced POAG.

Low statistical significance for G2 with initial POAG ($r^2=0,18$), moderate significance — in G1 with initial ($r^2=0,37$) and moderate stage POAG ($r^2=0,44$), high significance — in patients with advanced POAG ($r^2=0,72$; 0,88; 0,60 for G1, G2, G3, respectively), as well as in G2 with moderate POAG ($r^2=0,88$).

единожды оперированных пациентов с глаукомой ($p_{к/1}=0,006$ и $p_{к/2}=0,008$).

При анализе КГ были получены следующие данные: в группе пациентов с ПОУГ КГ составил 8,8 (7,7; 9,8) мм рт.ст., в подгруппе 1 — 9,0 (8,0; 10,1) мм рт.ст., подгруппе 2 — 8,6 (7,2; 9,3) мм рт.ст., подгруппе 3 — 7,6 (6,6; 7,9), в группе контроля — 9,8 (8,5; 10,8) мм рт.ст. Значения КГ достоверно отличались между собой во всех подгруппах

($p_{к/1}=0,012$, $p_{к/2}=0,001$, $p_{к/3}=0,001$, $p_{1/2}=0,030$, $p_{1/3}=0,001$, $p_{2/3}=0,049$). Показатели ФРР в подгруппе 3 достоверно отличались от контрольной группы ($p=0,010$), подгруппы 1 ($p=0,004$) и подгруппы 2 ($p=0,040$). Значения ЦТР при сравнении всех групп между собой не имели достоверного различия ($p_{к/1}=0,114$, $p_{к/2}=0,444$, $p_{к/3}=0,548$, $p_{1/2}=0,741$, $p_{1/3}=0,703$, $p_{2/3}=0,873$). Эти данные приведены в табл. 2.

Таким образом, уровень ВГД достоверно не отличался между подгруппами основной группы. При этом показатель КГ был достоверно снижен у оперированных лиц. Причем у многократно оперированных пациентов наблюдалось еще большее снижение данного показателя по сравнению с однократно оперированными (подгруппа 1 — 9,0 (8,0;10,1) мм рт.ст.; подгруппа 2 — 8,6 (7,2; 9,3) мм рт.ст.; подгруппа 3 — 8,6 (6,8; 9,9) мм рт.ст.; $p_{1/2}=0,030$, $p_{1/3}=0,001$, $p_{2/3}=0,049$). Значения показателя ФРР также имели тенденцию к снижению в группе многократно оперированных лиц. Таким образом было определено, что наличие в анамнезе фистулизирующей антиглаукомной операции оказывает значимое влияние на состояние фиброзного каркаса глаза. Данное обстоятельство предполагает, что при интерпретации результатов уровня ВГД целесообразно использовать специальные поправочные коэффициенты для более точной трактовки результатов тонометрии у пациентов с измененными вязко-эластическими свойствами фиброзной оболочки глаза. В одной из работ доктора Антонова А.А. с соавт. (2018) уже проводилась оценка влияния фистулизирующей антиглаукомной операции на состояние фиброзного каркаса глаза при помощи метода двунаправленной аппланации роговицы [19]. В частности, авторы отметили, что необходимо учитывать возможное занижение показателей уровня ВГД у пациентов после проведения оперативного лечения. Было установлено, что через небольшой промежуток времени после выполнения оперативного лечения (1–2 месяца) определяется значимое снижение показателя ФРР (с $10,7 \pm 2,3$ до $9,4 \pm 1,8$ мм рт.ст.), однако, показатели КГ имели обратную тенденцию — к увеличению (с $8,2 \pm 1,7$ до $9,5 \pm 1,3$ мм рт.ст.).

Исходя из полученных нами результатов предыдущего анализа, был произведен расчет поправочных коэффициентов и дополнительного уровня понижения ВГД для тонометрии по Маклакову (Рт). За «нормальные» значения показателей КГ и ФРР были приняты средние значения, полученные при анализе данных контрольной группы (10 мм рт.ст. и 9,5 мм рт.ст. соответственно; эти данные выделены в табл. 4 цветом). Полученные значения частично согласуются с данными, опубликованными в одной из работ академика РАН С.Э. Аветисова и соавт. (2019), где в выборке здоровых пациентов 60–74 года средний показатель КГ составил $10,6 \pm 1,4$ мм рт.ст., ФРР — $11,1 \pm 1,9$ мм рт.ст. при ЦТР 562 ± 36 мкм [20].

В табл. 4 представлен рассчитанный уровень необходимой дополнительной коррективы уровня ВГД для наиболее часто встречающихся значений КГ и ФРР (7,5–12,0 мм рт.ст.) у пациентов с отсутствием в анамнезе хирургического лечения глаукомы, а также однократно и многократно оперированных, в зависимости от стадии глаукомного процесса.

На этом этапе исследования, учитывая небольшое число пациентов с начальной и развитой стадиями глаукомы в подгруппах оперированных пациентов, было принято решение объединить часть данных с целью проведения дальнейшего анализа составляющих. Таким образом, также был рассчитан уровень дополнительной коррективы уровня ВГД в общих подгруппах неоперированных, однократно и многократно оперированных пациентов с ПОУГ для наиболее часто встречающихся значений КГ и ФРР. В подгруппе неоперированных лиц показатели коррективы находились в диапазоне от 6,3 до 7,9 мм рт.ст. ($r^2=0,59$). Исходя из полученных данных, рассчитанный «целевой» уровень ВГД у данной подгруппы, с учетом особенностей вязко-эластических свойств фиброзной капсулы (КГ — 9,0 мм рт.ст.; ФРР — 9,5 мм рт.ст.), должен находиться ниже на 1,5 мм рт.ст. от измеренного при помощи тонометрии по Маклакову. Средние показатели коррективы уровня ВГД в общей подгруппе однократно оперированных лиц находились в диапазоне от -7,9 до 9,9 ($r^2=0,83$), а скорректированный «целевой» уровень ВГД у данной подгруппы (при КГ 8,6 мм рт.ст. и ФРР 9,1 мм рт.ст.) должен находиться ниже на 1,7 мм рт.ст. по сравнению с измеренным. Показатели коррективы уровня ВГД в общей подгруппе многократно оперированных лиц располагались в диапазоне от -5,3 до 6,6 ($r^2=0,67$). Соответственно, в данной подгруппе «целевой» уровень ВГД (при КГ 7,6 мм рт.ст. и ФРР 8,6 мм рт.ст.) должен быть на 2,8 мм рт.ст. ниже измеренного.

Таким образом, согласно полученным результатам, большее отклонение от стандартных параметров вязко-эластических свойств фиброзной оболочки глаза дает большую погрешность в результатах измерения ВГД. Изменение биомеханических параметров корнеосклеральной капсулы при развитии глаукомного процесса [21, 22] и хирургического вмешательства по поводу глаукомы требуют проведения дополнительной коррективы значений, полученных при офтальмотонометрии. Расчетные данные показывают, что в подгруппе пациентов без оперативного лечения ПОУГ требуется дополнительное понижение уровня ВГД, в среднем, на 1,5 мм рт.ст. по сравнению с контрольной группой, в подгруппе однократно оперированных — на 1,7 мм рт.ст., многократно оперированных — на 2,8 мм рт.ст.

Ограничение исследования

Исследование имеет ряд ограничений. Во-первых, недостаточное количество наблюдений в отдельных подгруппах отразилось на качестве статистического анализа при получении показателей дополнительной коррективы уровня офтальмотонуса в зависимости от состояния фиброзной оболочки глаза.

Данная ситуация носит объективный характер, определяющийся сложной клинико-эпидемиологической ситуацией в России и мире в период проведения исследования. Во-вторых, на практике не всегда возможно использование такого большого количества различных методик офтальмотонометрии.

Заключение

На сегодняшний день единственным подтвержденным способом замедления прогрессирования ГОН является понижение уровня ВГД. Тем не менее, как показывает практика, нормализация уровня ВГД не всегда приводит к стабилизации глаукомного процесса, несмотря на, казалось бы, полученный безопасный «диапазон» общепринятых значений. И хотя на данный момент существует большое разнообразие концепций по достижению «целевых» значений офтальмотонуса, определение давления «цели» до сих пор остается актуальной проблемой. Связано это с тем, что на практике не всегда удается успешно применить ту или иную стратегию к конкретному пациенту. Очевидно, что рекомендуемые для каждой стадии глаукомы значения уровня ВГД должны быть проанализированы с применением персонализированных методик в общепринятой лечебно-диагностической тактике. Тем не менее, в ежедневной практике далеко не всегда удается использовать индивидуальный подход. Задачей данного исследования является поиск некоего (понятного)

компромисса между существующими алгоритмами и персонализированной тактикой при выборе оптимального значения офтальмотонуса для определенного пациента. Результаты работы демонстрируют, что меняющиеся характеристики фиброзной оболочки глаза у пациентов с глаукомой, связанные с проведенным ранее оперативным лечением, могут оказывать достоверно значимое искажение при интерпретации данных, полученных при использовании базового метода офтальмотонометрии. Результаты исследования показывают, что при выборе «безопасного» диапазона уровня ВГД у пациентов с ПОУГ необходимо принимать во внимание и наличие в анамнезе проникающих хирургических вмешательств. Так, у однократно оперированных пациентов требуется дополнительное понижение уровня ВГД, в среднем на 1,7 мм рт.ст., а у многократно оперированных — практически на 3 мм рт.ст. Данное исследование будет продолжено, учитывая разнообразие официально зарегистрированных методов офтальмотонометрии, а также в связи необходимостью увеличения количества анализируемых данных и возможностью дальнейшей детализации групп исследования.

Участие авторов:

Концепция и дизайн исследования: Куроедов А.В.

Сбор и обработка материала: Кац М.Д.

Статистическая обработка: Кац М.Д., Архаров М.А.

Написание статьи: Кац М.Д.

Редактирование: Куроедов А.В.

Литература

1. Silva D., Lopes A.S., Henriques S. et al. Changes in choroidal thickness following trabeculectomy and its correlation with the decline in intraocular pressure. *Int Ophthalmol* 2019; 39(5):1097–1104. <https://doi.org/10.1007/s10792-018-0918-y>.
2. Белов Д.Ф., Николаенко В.П. Изменение биометрических параметров глаза после гипотензивных операций. *Национальный журнал глаукома* 2020; 19(3): 35–41. <https://doi.org/10.25700/NJG.2020.03.04>.
3. Shimmyo M., Ross A.J., Moy A., Mostafavi R. Intraocular pressure, Goldmann applanation tension, corneal thickness, and corneal curvature in Caucasians, Asians, Hispanics, and African Americans. *Am J Ophthalmol* 2003; 136(4):603–613. [https://doi.org/10.1016/S0002-9394\(03\)00424-0](https://doi.org/10.1016/S0002-9394(03)00424-0).
4. Качанов А.Б., Балашевич Л.И., Новак Я.Н. и др. О влиянии кератопахиметрических показателей на тонометрическое внутриглазное давление. *Вестник ТГУ* 2015; 20(3):606–609.
5. Detorakis E.T., Grammenandi E., Pallikaris I.G., Tsilimbaris M.K. Differences between Goldmann Applanation Tonometry and Dynamic Contour Tonometry following Trabeculectomy. *J Ophthalmol* 2010; 2010:357387. <https://doi.org/10.1155/2010/357387>.
6. Bao F. J., Huang Z. X., Huang J. H. et al. Clinical evaluation of methods to correct intraocular pressure measurements by the Goldmann Applanation Tonometer, ocular response analyzer, and Corvis ST Tonometer for the effects of corneal stiffness parameters. *J Glaucoma* 2016; 25(6):510–519. <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000000359>.
7. Ryskulova A., Turczyn K., Makuc D.M. et al. Self-reported age-related eye diseases and visual impairment in the United States: Results of the 2002 National Health Interview Survey. *Am J Public Health* 2008; 98(3):454–461. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2006.098202>

References

1. Silva D., Lopes A.S., Henriques S. et al. Changes in choroidal thickness following trabeculectomy and its correlation with the decline in intraocular pressure. *Int Ophthalmol* 2019; 39(5):1097–1104. <https://doi.org/10.1007/s10792-018-0918-y>.
2. Belov D.F., Nikolaenko V.P. Changes in biometric parameters of the eye following glaucoma surgery. *Natsionalnyi Zhurnal Glaucoma* 2020; 19(3):35–41. <https://doi.org/10.25700/NJG.2020.03.04>.
3. Shimmyo M., Ross A.J., Moy A., Mostafavi R. Intraocular pressure, Goldmann applanation tension, corneal thickness, and corneal curvature in Caucasians, Asians, Hispanics, and African Americans. *Am J Ophthalmol* 2003; 136(4):603–613. [https://doi.org/10.1016/S0002-9394\(03\)00424-0](https://doi.org/10.1016/S0002-9394(03)00424-0).
4. Kachanov A. B., Balashevich L. I., Novak Ya. N. et al. About influence of keratopah and metrics on tonometric IOP. *Vestnik TGU* 2015; 20(3):606–609.
5. Detorakis E.T., Grammenandi E., Pallikaris I.G., Tsilimbaris M.K. Differences between Goldmann Applanation Tonometry and Dynamic Contour Tonometry following Trabeculectomy. *J Ophthalmol* 2010; 2010:357387. <https://doi.org/10.1155/2010/357387>.
6. Bao F. J., Huang Z. X., Huang J. H. et al. Clinical evaluation of methods to correct intraocular pressure measurements by the Goldmann Applanation Tonometer, ocular response analyzer, and Corvis ST Tonometer for the effects of corneal stiffness parameters. *J Glaucoma* 2016; 25(6):510–519. <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000000359>.
7. Ryskulova A., Turczyn K., Makuc D.M. et al. Self-reported age-related eye diseases and visual impairment in the United States: Results of the 2002 National Health Interview Survey. *Am J Public Health* 2008; 98(3):454–461. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2006.098202>

8. Страхов В.В., Корчагин Н.В., Попова А.А. Биомеханический аспект формирования глаукомной экскавации. *Национальный журнал глаукома* 2015; 3(14):58-71.
9. Водовозов А.М. Толерантное и интолерантное внутриглазное давление при глаукоме. Волгоград, БИ; 1991: 160.
10. European Glaucoma Society Terminology and Guidelines for Glaucoma, 5th Edition. *Br J Ophthalmol* 2021; 105(Suppl 1):1-169. <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2021-egsguidelines>
11. Caprioli J., de Leon J.M., Azarbod P. et al. Trabeculectomy Can Improve Long-Term Visual Function in Glaucoma. *Ophthalmology* 2016; 123(1):117-128. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2015.09.027>.
12. Клинические рекомендации «Глаукома первичная открытоугольная». https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/96_1 (Дата обращения: 15.10.2022).
13. Vinciguerra R., Rehman S., Vallabh N.A. et al. Corneal biomechanics and biomechanically corrected intraocular pressure in primary open-angle glaucoma, ocular hypertension and controls. *Br J Ophthalmol* 2020; 104(1):121-126. <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2018-313493>.
14. Ланг Т.А., Сесик М. Как описать статистику в медицине. Аннотированное руководство для авторов, редакторов и рецензентов. Пер. с англ. под ред. В.П. Леонова. М.: Практическая медицина 2011; 480.
15. Нестеров А.П., Вургафт М.Б. Калибровочные таблицы для эластонометра Филатова-Кальфа. *Вестник офтальмологии* 1972; 88(2):20-25.
16. Антонов А.А. Офтальмотонометрия: пособие для врачей, интернов, клинический ординаторов. Под ред. В.П. Еричева. М., 2009: 30.
17. Егорова И.В., Шамшинова А.М., Еричев В.П. и др. Функциональные методы исследования в диагностике глаукомы. *Вестник офтальмологии* 2001; 117(6):38-40.
18. Национальное руководство по глаукоме для практикующих врачей. Под ред. Е.А. Егорова, Ю.С. Астахова, В.П. Еричева. М: ГЭОТАР-Медиа 2019: 187-243.
19. Антонов А.А., Агаджанян Т.М. Динамика роговично-компенсированного внутриглазного давления в разные сроки после фистулизирующей антиглаукоматозной операции. *Сибирский научный медицинский журнал* 2018; 38(5):49-54. <https://doi.org/10.15372/ssmj20180508>.
20. Аветисов С.Э., Бубнова И.А., Антонов А.А. К вопросу о нормальных значениях биомеханических параметров фиброзной оболочки глаза. *Национальный журнал глаукома* 2012; 3:5-11.
21. Арутюнян Л.Л. Взаимоотношения структурно-функциональных параметров и уровня поперечной связанности коллагена склеры глаукомных глаз. *Национальный журнал глаукома* 2015; 14(4):5-12.
22. Иомдина Е.Н., Игнатиева Н.Ю., Данилов Н.А. и др. Биохимические и структурно-биомеханические особенности матрикса склеры человека при первичной открытоугольной глаукоме. *Вестник офтальмологии* 2011; 6:10-14.
8. Strakhov V.V., Korchagin N.V., Popova A.A. The biomechanical aspect of the pathological optic disc cupping development in glaucoma. *Natsional'nyi zhurnal glaucoma* 2015; 3(14):58-71.
9. Vodovozov A.M. Tolerant and intolerant intraocular pressure in glaucoma. Volgograd, BI; 1991: 160.
10. European Glaucoma Society Terminology and Guidelines for Glaucoma, 5th Edition. *Br J Ophthalmol* 2021; 105(Suppl 1):1-169. <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2021-egsguidelines>
11. Caprioli J., de Leon J.M., Azarbod P. et al. Trabeculectomy Can Improve Long-Term Visual Function in Glaucoma. *Ophthalmology* 2016; 123(1):117-128. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2015.09.027>.
12. Ministry of Health of the Russian Federation. Clinical guidelines «Primary open-angle glaucoma» https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/96_1 (Access date: 15.10.2021)
13. Vinciguerra R., Rehman S., Vallabh N.A. et al. Corneal biomechanics and biomechanically corrected intraocular pressure in primary open-angle glaucoma, ocular hypertension and controls. *Br J Ophthalmol* 2020; 104(1):121-126. <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2018-313493>.
14. Lang T.A., Sesik M. How to describe statistics in medicine. Annotated guidelines for authors, editors and reviewers. Translated from English. Ed. V.P. Leonov. Moscow, Practical Medicine Publ., 2011. 480 p.
15. Nesterov A.P., Vurgaft M.B. Calibration tables for the Filatov-Kalf elastometer. *Vestnik oftal'mologii* 1972; 88(2):20-25.
16. Antonov A.A. Ophthalmotonometry: a manual for doctors, interns, clinical residents. Ed. Eriчев V.P. M., 2009: 30.
17. Egorova I.V., Shamshinova A.M., Eriчев V.P. et al. Functional methods of research in diagnosing glaucoma. *Vestnik oftal'mologii* 2001; 117(6):38-40.
18. National Glaucoma Guidelines for Medical Practitioners. Ed. Egorov E.A., Astahov Yu.S., Eriчев V.P. Moscow, GEOTAR-Media Publ., 2019. pp. 187-243.
19. Antonov A.A., Agadzhanian T.M. Dynamics of the corneal-compensated intraocular pressure in different terms after fistulizing glaucoma surgery. *Sibirskiy Nauchniy Meditsinskiy Zhurnal* 2018; 38(5): 49-54. <https://doi.org/10.15372/ssmj20180508>.
20. Avetisov S. E., Bubnova I.A., Antonov A.A. Standard indices of the biomechanical properties of corneoscleral capsule of the eye. *Natsional'nyi zhurnal glaucoma* 2012; 3:5-11.
21. Arutyunyan L.L. The relationship between structural functional parameters and scleral collagen cross-linking level in glaucoma eyes. *Natsional'nyi zhurnal glaucoma* 2015; 14(4):5-12.
22. Iomdina E.N., Ignatieva N.U., Danilov N.A. et al. Biochemical, structural and biomechanical features of human scleral matrix in primary open-angle glaucoma. *Vestnik oftal'mologii* 2011; 6:10-14.