

Взаимосвязь индивидуальных биомеханических особенностей глаза со значениями офтальмотонуса при использовании современных методов офтальмотонометрии

М.Д. Кац^{1,2}

¹ГБУЗ «ГКБ № 15 им. О.М. Филатова ДЗМ», Москва, Россия

²РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Тщательная оценка результатов измерения уровня внутриглазного давления (ВГД) имеет решающее значение для диагностики и принятия решений относительно методов лечения пациентов с глаукомой. Вместе с тем существует широкая индивидуальная вариабельность анатомо-физиологических параметров глаза, влияющих на показатели данного параметра. ВГД было определено как потенциальный независимый фактор риска прогрессирования глаукомы, однако в клинической практике не всегда удается точно провести его количественную оценку. В настоящее время доступен целый ряд современных приборов для определения показателей офтальмотонуса и биомеханических параметров глаза. Помимо этого, были предложены и различные клинические алгоритмы коррекции этих показателей для правильной интерпретации результатов измерения уровня ВГД. Однако четких рекомендаций по применению поправочных коэффициентов до сих пор нет. В свою очередь, интерпретация результатов измерений, учитывающих новые (биомеханические) характеристики каркаса глаза, требует проведения детального анализа полученных данных для обнаружения корреляционных взаимоотношений между нестандартными параметрами и особенностями прогрессирования глаукомы. В данном обзоре рассмотрены и проанализированы актуальные методы офтальмотонометрии и их индивидуальные особенности с учетом имеющегося клинического опыта.

Ключевые слова: офтальмотонометрия, биомеханические особенности глаза, внутриглазное давление, глаукома.

Для цитирования: Кац М.Д. Взаимосвязь индивидуальных биомеханических особенностей глаза со значениями офтальмотонуса при использовании современных методов офтальмотонометрии. Клиническая офтальмология. 2023;23(2):86–93. DOI: 10.32364/2311-7729-2023-23-2-86-93.

The relationship between the individual biomechanical properties of the eye and the intraocular pressure measurements based on modern methods of ocular tonometry

M.D. Kats^{1,2}

¹O.M. Filatov City Clinical Hospital No. 15, Moscow, Russian Federation

²Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

A thorough analysis of the intraocular pressure (IOP) measurements is crucial for making diagnosis and decisions concerning the management of glaucoma patients. At the same time, there is a large inter-individual variability of ocular anatomical and physiological parameters impacting such measurements. IOP has been identified as a potential independent risk factor for the glaucoma progression. However, in clinical practice it is not always possible to achieve its accurate quantitative evaluation. Currently, multiple modern devices are available to determine IOP indicators and biomechanical properties of the eye. In addition, various clinical algorithms have been proposed for adjusting these indicators and thus to ensure an adequate interpretation of IOP measurements. However, there are still no clear guidelines on how to use the correction factors. In turn, the interpretation of measurement results with consideration of new (biomechanical) characteristics of the eye's support structure, requires a detailed analysis of the received data to establish correlations between non-standard parameters and specific characteristics of the glaucoma progression. This review presents an assessment of the latest ophthalmotometry methods and their individual characteristics based on the available clinical experience.

Keywords: ophthalmotometry, biomechanical properties of the eye, intraocular pressure, glaucoma.

For citation: Kats M.D. The relationship between the individual biomechanical properties of the eye and the intraocular pressure measurements based on modern methods of ocular tonometry. Russian Journal of Clinical Ophthalmology. 2023;23(2):86–93 (in Russ.). DOI: 10.32364/2311-7729-2023-23-2-86-93.

ВВЕДЕНИЕ

Орган зрения — это сложная анатомическая структура, функцией которой является «специализация на преобра-

зовании фотонов в электрохимические сигналы». Биомеханические особенности глаза играют важнейшую роль в нормальном функционировании зрительного анализа-

тора. Наружная оболочка глаза образована двумя соединительнотканными структурами — склерой и роговицей. Корнеосклеральная оболочка является замкнутой системой с достаточным запасом прочности и высоким модулем упругости. Склера преимущественно состоит из окружно ориентированных коллагеновых волокон, поэтому в окружном направлении ее модуль упругости выше, чем в радиальном [1]. Роговица представляет собой многослойную ткань, прозрачность и плотность которой обусловлены высокоорганизованной структурой стромы.

Внутриглазное давление (ВГД) — параметр, позволяющий поддерживать объем глазного яблока, расправлять его оболочки и задавать нормальное расположение анатомических структур. Важную роль в поддержании давления играет цилиарное тело, которое в своем составе имеет внутренний слой, называемый цилиарными отростками, отвечающий за продукцию водянистой влаги и тем самым создающий положительное ВГД. Кроме того, объем сосудистого русла изменяется в глазу на протяжении всего сердечного цикла, создавая изменяющийся во времени компонент ВГД в эффекте, известном как глазной пульс. Дисбаланс в регуляции офтальмотонуса приводит к таким необратимым изменениям, как потеря зрения. Различные методики тонометрии позволяют количественно оценить величину офтальмотонуса. Однако данные методики в настоящее время далеко не совершенны, и утверждение проф. С.Ю. Кальфы (1928), что «если мы обратимся к методике исследования ВГД, то мы должны признать, что наши тонометрические определения не столько дают нам заключение о внутриглазном давлении, сколько о реакции глазных оболочек на приложение к глазу тонометра» [2], актуально до сих пор. Методы неинвазивной тонометрии основаны на действии упругих сил, возникающих в противодействие деформации глаза и его растяжению. Знание упругих свойств фиброзной оболочки глаза важно для повышения точности методов определения уровня ВГД.

Глаукома — заболевание, сопровождающееся прогрессирующей оптической нейропатией. Принято считать, что так называемый «интолерантный» уровень ВГД является основным фактором развития заболевания и прогрессирования глаукомной оптической нейропатии (ГОН). Поскольку уровень ВГД — главный управляемый фактор, воздействие на который позволяет замедлить прогрессирование глаукомного процесса, его точная оценка имеет большое значение в диагностике и принятии решения о тактике лечения у пациентов с глаукомой [3]. В клинической практике промедление с диагностикой повышенного уровня ВГД и адекватным его снижением приводит к необратимым повреждениям зрительного нерва и потере зрения.

Актуальность исследований биомеханической составляющей фиброзной оболочки глаза

Достижение целевых значений уровня ВГД для сохранения зрительных функций у больных глаукомой до сих пор остается актуальной проблемой. Данный процесс осложняется необходимостью руководствоваться не общепринятыми нормами показателей ВГД, а определением индивидуальных его значений, несовершенством при-

борно-инструментальной составляющей и недостатками системы диспансеризации, которые не позволяют фиксировать и оценивать показатели офтальмотонуса у здоровых лиц в полном объеме на протяжении продолжительного периода времени. По состоянию на сегодняшний день в офтальмологии доступно множество инструментов для оценки уровня офтальмотонуса, что лишь подчеркивает их несовершенство. В связи с этим и для достижения наилучших результатов компенсации уровня ВГД у пациентов с диагнозом «глаукома» возникает необходимость проведения детального анализа полученных данных с использованием различных методов тонометрии и с учетом индивидуальных особенностей.

Идеальный тонометр в клинических условиях должен быть точным при измерении стандартных и нестандартных глаз (например, «толстая», «тонкая», «твердая» или «рыхлая» роговица, ее состояния после кераторефракционных вмешательств или после других глазных операций, а также с учетом характеристик артериального давления, положения тела пациента и др.), минимально инвазивным и максимально простым в использовании. К сожалению, ни один из используемых в настоящее время тонометров не обладает всеми этими свойствами, и порой для достижения наилучшего результата необходимо выполнить измерения с помощью целого ряда устройств [4].

Несмотря на ключевую роль офтальмотонуса в развитии и прогрессировании ГОН, на практике его измерение не всегда бывает точным. На ошибки в измерении и интерпретации результатов значений офтальмотонуса может оказывать влияние ряд технических и клинических причин. В дополнение к возможным проблемам калибровки аппаратуры, ошибкам считывания, нервозности пациента, закрытию век, влиянию индивидуальных биомеханических параметров фиброзной оболочки глаза может вызвать значительное искажение результатов измерений. Некоторые работы указывают, что на результаты измерений влияют такие обстоятельства, как прием жидкости [5], изменение (от 2 до 14%) толщины роговой оболочки в течение суток за счет изменения гидратации ее стромы [6]. Ряд авторов сообщает, что длительное использование антиглаукомных препаратов (например, аналогов простагландинов или местных ингибиторов карбоангидразы) может влиять на толщину центральной зоны роговицы [7], в то время как другие придерживаются противоположного мнения [8]. Не исключено, что влияние совокупности этих факторов — одна из важнейших причин того, что частота слепоты пациентов с глаукомой, находящихся под вроде бы пристальным наблюдением офтальмолога, все еще высока [9].

Большинство современных методов тонометрии основаны на контроле реакции роговицы на механическое воздействие. Соответственно, все они в той или иной степени подвержены влиянию сопротивления роговицы на деформацию.

Аппланационная тонометрия по Гольдману

Аппланационная тонометрия по Гольдману (англ. Goldmann applanation tonometry, GAT) является эталонным стандартом в зарубежных странах¹. Различные исследования конца XX в. выявили, что на показатели тонометрии влияют индивидуальные параметры роговицы, в первую

¹ ISO 8612:2009. Ophthalmic instruments — Tonometers (Electronic resource.) URL: <https://www.iso.org/standard/44536.html> (access date: 25.04.2023).

очередь центральная толщина роговицы (ЦТР) в оптической зоне. Это происходит из-за того, что врач использует силу при регуляции головки тонометра на центральной поверхности роговицы для выравнивания двух полукругов, образованных на границе раздела. Таким образом, измерение зависит от жесткости роговицы, поскольку для выравнивания толстой роговицы потребуется больше усилий, независимо от фактического ВГД [10].

N. Ehlers et al. [11] обнаружили, что увеличение ЦТР на каждые 10 мкм увеличивает показатели GAT на 0,71 мм рт. ст. M. Shimmyo et al. [12] сообщили об увеличении уровня ВГД на 0,16 мм рт. ст., связанном с увеличением ЦТР на 10 мкм. В последующих работах было высказано предположение, что не сам показатель ЦТР, а именно жесткость (упругость) роговицы, или сопротивление деформации, приводит к ошибкам интерпретации результатов измерений уровня офтальмотонуса. В работе J. Liu et al. [13] говорится, что более «жесткие» роговицы имеют более сильную связь с ЦТР и ошибкой результатов измерения уровня ВГД, в то время как в более «мягких» роговицах сила этой связи уменьшается. L.W. Herndon et al. [14] обследовали 28 пациентов (51 глаз) с офтальмогипертензией и 33 здоровых пациента (59 глаз). Используя полученные средние значения ЦТР здоровых лиц (0,561 мм), авторы внесли поправки в полученные характеристики офтальмотонуса и обнаружили, что 65% пациентов с офтальмогипертензией, у которых уровень ВГД оказался более 21 мм рт. ст., на самом деле имеют скорректированное значение меньше этих цифр.

Во многих исследованиях предлагались поправочные коэффициенты, основанные на ЦТР, однако влияние кривизны роговицы на результаты измерения уровня ВГД остается неопределенным [15]. В работе [16] обсуждалась деформация центральной части роговицы, уплощенной давлением призмы и выпуклой наружу от середины к периферии из-за внутреннего давления глаза. Однако другие исследования не смогли найти сколько-нибудь значимой корреляции между кривизной роговицы и уровнем ВГД. Влияние биомеханических свойств роговицы, выявленных в экспериментах *in vitro*, также было признано значительным, но практическое применение данного открытия ограничено неспособностью в настоящее время измерить свойства роговицы *in vivo* [17].

ПНЕВМОТОНОМЕТРИЯ

Пневмотонометрия — распространенный бесконтактный метод тонометрии в силу своей быстроты, простоты, удобства и хорошей переносимости пациентами. Однако, по данным различных авторов, этот метод показывает наибольшую зависимость от упругих свойств роговицы. При сравнении результатов пневмотонометрии на «тонких» и «толстых» роговицах А.Б. Качанов и соавт. [18] получили разброс значений от 12,1±2,0 до 23,1±3,3 мм рт. ст. По данным Q.K. Farhood [19], показатели ВГД, полученные с использованием пневмотонометра, обычно выше, чем при GAT. Результаты тонометрии, выполненной на 196 глазах, показали, что у 74% пациентов показатели офтальмотонуса были выше при использовании пневмотонометра, чем при использовании GAT, особенно когда результаты классической тонометрии превышали 24 мм рт. ст. В среднем разница между показателями приборов составляла 2,72±2,35 мм рт. ст.

Принято считать, что использование пневмотонометрии целесообразно при различных воспалительных или дегенеративных заболеваниях глаза, когда необходимо исключить контакт с поверхностью глазного яблока. Согласно данным различных исследований этот метод может быть эффективным, быстрым и простым при проведении скрининговых исследований с целью обследования больших групп населения [20].

ДИНАМИЧЕСКАЯ КОНТУРНАЯ ТОНОМЕТРИЯ

Динамическая контурная тонометрия (ДКТ) PASCAL (SMT Swiss Microtechnology AG, Швейцария) позволяет измерять уровень ВГД без аппланации роговицы, благодаря чему результаты становятся менее зависимыми от биомеханики роговицы. Ряд независимых и немногочисленных исследований подтверждает данное заявление производителей. В частности, установлено снижение влияния состояния роговицы (например, ее толщина или наличие рубцов) на результаты измерений [21]. Глазное яблоко подобно сфере под давлением, которая подвергается воздействию сил расширения, создаваемых ритмичным заполнением внутриглазных кровеносных сосудов во время сердечного цикла. Пульсация кровяного потока приводит к колебательному изменению ВГД, которое уравнивается сопротивлением растяжению наружной оболочки глаза [22]. Эти колебания представлены амплитудой глазного пульса (АГП) и отображаются в виде глазной пульсовой волны. Регистрируя пульсирующую составляющую глазного кровотока за определенный момент времени, по АГП можно косвенно судить об изменении объема увеальной крови во время сердечного цикла, поскольку сосудистая оболочка представляет основную часть объема глазной крови и получает 80–90% местного кровяного потока. Исходя из этого, АГП была предложена в качестве показателя глазной гемодинамики [23]. Кроме того, данный показатель можно использовать в качестве непрямого оценки экстраокулярной гемодинамики, исходя из объяснения, что помехи глазной перфузии, вероятно, окажут влияние и на показатели АГП. Это включает в себя местные факторы, а также такие заболевания, как, например, стеноз сонной артерии [24].

Если измерение уровня ВГД при помощи GAT значительно зависит от ЦТР, то при использовании ДКТ, не требующей аппланации, ее показатели будут играть меньшую роль в оценке измерений. Другие факторы, не связанные с ЦТР, такие как толщина склеры, эластичность глаза и осевая длина, могут влиять на измерения АГП [25]. Учитывая, что аппланационные методы тонометрии значительно зависят от ЦТР, ДКТ все более широко используется в клинической практике. Хотя ее использование может иметь свои недостатки, такие как, например, воспроизводимость результатов. В частности, в ряде исследований сообщалось о более высоких значениях уровня офтальмотонуса при использовании ДКТ по сравнению с GAT, в то время как в других было обнаружено, что это закономерно только у пациентов с малой ЦТР [26]. Фактически не было обнаружено статистически значимого влияния параметров переднего сегмента глаза на показатели уровня ВГД, оцениваемые с помощью ДКТ. Более того, измерения ДКТ показали высокое сходство с манометрией передней камеры, в отличие от значений ВГД, полученных с помощью GAT [27]. Исследования также показали важность сосудистой дисрегуляции у пациентов с глаукомой, поскольку данная группа

пациентов более склонна к снижению глазного перфузионного давления, более частым спазмам периферических сосудов и мигреням, низким скоростям ретробульбарного кровотока и снижению АГП. Исходя из представленных наблюдений, пациенты с глаукомой имеют более низкие значения АГП по сравнению со здоровыми лицами соответствующего возраста. Кроме того, показатели АГП также коррелировали с более серьезными дефектами у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой (ПОУГ). Более низкие показатели АГП могут указывать на уменьшение хориоидального кровотока, уже предполагаемого при глаукоме [28]. Важным фактором, влияющим на АГП, является аксиальная длина глаза. Это иллюстрируется наблюдением, что определенное изменение объема крови в сосудистой оболочке приводит к меньшему относительному изменению давления в миопических глазах, чем в более коротких эметропических. Кроме того, снижение ригидности склеры при миопии приводит к меньшему сопротивлению пульсирующему объему [29]. Более высокие значения аксиальной длины глаза подразумевают большее расстояние для пульсовой волны, что может привести к ее ослаблению при прохождении через различные ткани. Оперативное хирургическое вмешательство, в свою очередь, также может оказывать влияние на показатели, фиксируемые ДКТ. Помимо снижения уровня ВГД после трабекулэктомии, изменения фиброзного каркаса и ригидности глаза могут повлиять на показатели АГП. E.T. Detorakis et al. [30] сообщили о большой разнице между измерениями ВГД при помощи GAT и ДКТ при сравнении глаз после проведенной трабекулэктомии и глаз, не подвергавшихся хирургическому вмешательству. После изменения формы склеры при хирургическом лечении по поводу отслойки сетчатки показатель АГП также значительно уменьшился [31]. Помимо свойств глазной оболочки содержимое глазного яблока также, вероятно, должно играть определенную роль при оценке показателей ДКТ, поскольку пульсовая волна проходит от заднего полюса к роговице. Однако различные исследования не обнаружили различий в показателях АГП после катарактальной хирургии [32]. Таким образом, ДКТ может одновременно измерять уровни АГП и ВГД. На основании опубликованных данных было высказано предположение, что АГП может повысить эффективность диагностики и последующего наблюдения за пациентами с глаукомой. Низкие значения АГП обнаруживаются у лиц с данным диагнозом, особенно у лиц с глаукомой с нормальным давлением (ГНД), и коррелируют с более серьезными дефектами поля зрения. Кроме того, как сообщалось ранее, имеются данные, что уровень АГП зависит от ригидности глазной оболочки. Будущие исследования необходимы как для улучшения понимания влияния офтальмологических и системных переменных на показатели АГП, так и для определения ее клинической значимости в ежедневном лечении и мониторинге глаукомы.

Точечная контактная тонометрия

Линейка тонометров Icare (ICARE, Финляндия) — современные высокотехнологичные тонометры, которые работают на принципе упругого отскока от роговицы и не нуждаются в дополнительном назначении анестезии из-за очень быстрого времени измерения, что является технической особенностью прибора. Тем не менее нельзя исключать, что этот прибор также показывает зависимость

показателей ВГД от биомеханических параметров глаза. На данный момент в клинической практике доступно несколько модификаций данного прибора, в частности Icare TA01i, Icare PRO (TA03), Icare HOME и Icare ic100. Icare TA01i — первый портативный тонометр компании, основанный на принципе упругого отскока, доступный с 2003 г. Измерения проводятся путем удара одноразового зонда по центральной части роговицы. Средний результат шести измерений, полученных устройством, отражает значение уровня ВГД. Однако при всей простоте и удобстве использования аппарата присутствуют определенные нюансы правильной интерпретации значений, выдаваемых устройством. Результаты исследования A. Roostchi et al. [33] показывают статистически значимую связь между ЦТР и результатами тонометрии прибором Icare TA01i. Увеличение показателя ЦТР на 10% приводило к увеличению показателя уровня ВГД на 9,9%. При сравнении показателей тонометрии Icare с GAT Icare имел тенденцию к завышению показателей уровня ВГД (средняя разница между измерениями 3,36 мм рт. ст.). В работе Y. Kato et al. [34] были получены противоположные результаты. Уровень ВГД, измеренный Icare, был статистически значимо ($p < 0,05$) ниже, чем данные GAT (средняя разница составила 2,46 мм рт. ст.). В данном приборе отсутствует датчик положения, поэтому, если корпус прибора наклонен, показатели офтальмотонуса будут неверны. M. Otsuka et al. [35] обнаружили, что значения измерений, выполненных с вертикальным наклоном -30° и -15° , были достоверно ($p < 0,0001$) выше, чем в горизонтальном положении тонометра. Уровень офтальмотонуса, измеренный с вертикальным наклоном прибора $+10^\circ$, был статистически ниже, чем при его горизонтальном расположении. Также в данном приборе возможно измерение давления только в положении пациента сидя.

Icare PRO — обновленная версия тонометра TA01i. В этой модификации используется более короткий зонд, и измерение уровня ВГД возможно уже в положении лежа. При сравнении показателей данного прибора с показателями GAT исследования демонстрируют высокую согласованность. Так, M. Guler et al. [36] получили разницу уровня ВГД в 0,38 мм рт. ст. При анализе результатов измерений в различных положениях M. Otsuka et al. [35] отметили разницу результатов значений уровня ВГД в $1,9 \pm 2,6$ мм рт. ст. между последовательными замерами в положении пациента лежа на спине и лежа на боку. Уровень ВГД, измеренный при наклоне прибора 90° у пациентов в положении сидя, достоверно ($p = 0,00058$) отличался от измерений при наклоне 0° . Разница между измерениями Icare TA01i и Icare PRO в стандартном положении пациента (в положении сидя с наклоном прибора 0°) составила порядка 3 мм рт. ст.

Icare ic100 — самая актуальная версия тонометров линейки Icare. В данном устройстве имеется автоматический режим измерения уровня ВГД (шесть последовательных измерений одним нажатием кнопки) или ручной режим (при однократном нажатии кнопки спуска проводится одно измерение), а также присутствует датчик положения. По данным S. Nakakura et al. [37], Icare ic100 продемонстрировал значения уровня офтальмотонуса ниже, чем при GAT (разница составила 4,24 мм рт. ст.), но не выше по сравнению с первой версией прибора TA01i (различия составило 0,46 мм рт. ст.). Также имелась умеренная значимая корреляция с показателем ЦТР и слабая значимая корреляция с кривизной роговицы. Итак, на сегодняшний день выявлена определенная зависимость измерений тонометров Icare

от биомеханических параметров глаза, в частности от ЦТР и корнеального гистерезиса (КГ). Однако для получения более детальной информации и выводов требуются дальнейшие исследования.

АНАЛИЗАТОР БИОМЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГЛАЗА

Ocular response analyzer (ORA, Reichert Inc., США) — бесконтактный тонометр, который позволяет проводить оценку биомеханических свойств роговицы. Используя полученные результаты о вязко-эластических свойствах роговицы, прибор может определять давление, аналогичное тонометрии по Гольдману (IOPg Goldman Correlated Intraocular Pressure) и скорректированное так называемое роговично-компенсированное давление, которое не должно зависеть от толщины роговицы. С.Э. Аветисов и соавт. [38] отметили, что показатель IOPg увеличивается при увеличении толщины роговицы (в среднем на 4,5 мм рт. ст. при сравнении групп с «тонкой» и «толстой» роговицей). Наличие в анамнезе кератоконуса также оказывает влияние на IOPg. Полученные данные свидетельствуют о достоверном ($p < 0,05$) снижении IOPg по сравнению с условно «нормальной» толщиной роговицы ($11,19 \pm 2,5$ и $14,1 \pm 2,7$ мм рт. ст. соответственно). Такой показатель уровня ВГД снижался и после проведения эксимерлазерной кератэктомии с $16,0 \pm 3,09$ до $10,9 \pm 2,37$ мм рт. ст. [39]. Прибор ORA позволяет точно измерять КГ и делает его параметром повторяемого измерения, тем самым ускоряя применение биомеханических показателей роговицы при изучении глаукомы. КГ отражает способность ткани роговицы поглощать и высвобождать энергию во время двунаправленного уплощения, и это важный биомеханический параметр роговицы. Он определяется формой роговицы индивидуума и не имеет существенной корреляции с другими общими показателями роговицы, такими как кривизна роговицы, астигматизм, степень ее преломляемости. Исследование L. Sun et al. [40] показало, что показатель КГ может меняться при изменении уровня ВГД. В частности, отмечалось увеличение КГ при снижении офтальмотонуса, и наоборот — при высоком показателе КГ снижалась. При анализе значений КГ у пациентов с ПОУГ и здоровых лиц N.G. Congdon et al. [10] пришли к выводу, что средние показатели КГ оказались исходно ниже в группе обследуемых с глаукомой. Н.И. Курышева и соавт. [41] считают, что КГ может использоваться как маркер так называемой «препериметрической» стадии глаукомы, а также в качестве предиктора прогрессирования ГОН. Вместе с тем в проведенном авторами исследовании низкий показатель КГ изначально уже был связан с прогрессированием ГОН.

Еще одним биомеханическим параметром, измеряемым прибором ORA, является фактор резистентности роговицы (ФРП). Считается, что данная величина в первую очередь отражает эластичность роговицы. Вязкоупругость — это биомеханическое свойство, характеризующееся зависимой от времени реакцией на приложенную силу. Таким образом, для вязкоупругих материалов величина сопротивления приложенной силе возрастает с увеличением скорости приложенной силы. И наоборот, упругость характеризуется реакцией на приложенную силу, которая не зависит от времени. Стало быть, для чисто упругих материалов быстрые и медленные скорости приложенной силы встречают равное сопротивление. КГ и ФРП по-

зволяют оценить сложную вязкоупругую структуру ткани роговицы человека. Более низкие их значения были продемонстрированы в глазах с кератоконусом и после рефракционных вмешательств, например LASIK (Laser Assisted in Situ Keratomileusis), что может отражать стромальную дезорганизацию коллагеновых пластинок [42]. Также низкий КГ был выявлен на глазах с ПОУГ и ГНД, что подтверждает гипотезу о том, что патологию в решетчатой пластинке можно выявить по изменениям биомеханики роговицы [41]. По этим причинам измерения КГ и ФРП могут оказаться полезными при диагностике таких заболеваний, как глаукома и ранний кератоконус.

СУТОЧНЫЙ МОНИТОРИНГ ВГД

Помимо традиционных методов офтальмотонометрии, которые позволяют выполнить одно или несколько измерений уровня ВГД в клинике, в настоящее время доступно устройство Triggerfish CLS, предназначенное для непрерывного 24-часового мониторинга офтальмотонуса (Sensimed AG, Швейцария). Данный прибор представляет собой мягкую контактную линзу с встроенными тензотрическими датчиками, микропроцессором и антенной (contact lens sensor — CLS). Triggerfish CLS выдает выходной сигнал, генерируемый из изменения размеров роговицы в милливольтных эквивалентах (mVeq). Изменения кривизны роговицы связаны с вариациями уровня ВГД и поэтому считаются репрезентативными для его изменений. Прямое преобразование выходного сигнала в фактическое значение уровня ВГД в настоящее время невозможно, однако это не отменяет ценность данного исследования. Так же, как и большинство измерений, выполненных с использованием современных методов тонометрии, полученные с использованием CLS показатели отражают суррогатные значения офтальмотонуса, в частности флуктуацию выходного сигнала. Факторы, которые могут влиять на выходной сигнал датчика, включают биомеханические свойства роговицы и чувствительность датчика контактной линзы при обнаружении изменений кривизны роговицы. Важность непрерывного исследования показателей ВГД объясняется тем, что в течение дня ВГД непостоянно. При однократном измерении в клинике часто недооценивается пиковое значение ВГД в неклинической среде, так как стандартные методы тонометрии не способны задокументировать непрерывные суточные колебания во время нормальной повседневной деятельности пациента. Ряд работ свидетельствует, что большие краткосрочные колебания ВГД могут быть независимым фактором риска прогрессирования глаукомы [43]. Пилотное исследование А.В. Куроедова и соавт. [44] показывает значимость непрерывного суточного мониторинга ВГД для определения тактики лечения больных с глаукомой. По данным рутинной тонометрии, средние значения офтальмотонуса в группе из 17 пациентов (17 глаз) с установленным прогрессированием глаукомного процесса находились в диапазоне 13,5–20,4 мм рт. ст. при измерении прибором ORA (роговично-компенсированное ВГД) и 17–22 мм рт. ст. при тонометрии по Маклакову с пересчетом по измерительной линейке Нестерова — Егорова. Однако использование системы Triggerfish CLS позволило выявить пиковые значения офтальмотонуса, выходящие за пределы зоны компенсации, — 24,43 мм рт. ст. Также стало возможным применение таких понятий, как сред-

няя скорость изменения офтальмотонуса в течение суток, скорость «подъема» и «спуска» офтальмотонуса, продолжительность «плато» в точке минимального снижения офтальмотонуса и количество патологических «пиков колебаний». В зарубежных исследованиях также проводилась оценка эффективности применения CLS, в частности, как устройства для изучения циркадных паттернов ВГД. К. Mansouri et al. [45] обнаружили высокую корреляцию между данными CLS и ВГД, измеренным с помощью пневмотонометрии на парном глазу. Кроме этого, производительность CLS оценивалась в их исследовании путем измерения частоты сердечных сокращений в течение непрерывных 30-секундных периодов мониторинга. Вышеуказанные авторы проанализировали соответствие между частотой глазных импульсов, зарегистрированной CLS, и частотой сердечных сокращений за тот же интервал. Среди градуируемых кривых точность устройства в определении частоты глазных импульсов составила 86,5%, при этом многие кривые не могли быть оценены из-за движений глаз и миганий, которые маскировали частоту глазных импульсов. Коллеги предположили, что, хотя датчик может обладать способностью точно определять частоту глазных импульсов, текущее программное обеспечение, связанное с устройством, не очень хорошо подходит для корректной обработки данной информации. G. Hollo et al. [46] провели 24-часовой мониторинг с помощью CLS наряду с GAT у 9 пациентов с офтальмогипертензией и ПОУГ. Они измеряли ВГД посредством GAT непосредственно перед установкой CLS и сразу после удаления линзы. Уровень ВГД до установки CLS вычитали из значений уровня ВГД после снятия CLS, и средние различия между двумя измерениями существенно не отличались ни в исходном состоянии без лечения (средняя разница составила $-0,722$ мм рт. ст.), ни в условиях монотерапии с использованием группы аналогов простагландинов (АПГ) — средняя разница составила $0,111$ мм рт. ст. Вместе с тем, когда средние значения показателей CLS за первые 50 мин применения CLS вычили из среднего значения последних 50 мин измерений, была отмечена значительная средняя разница между показателями как в состоянии без лечения ($233,56$ усл. ед.), так и при терапии с применением АПГ ($203,34$ усл. ед.). В последние 50 мин использования CLS обычно наблюдались более высокие выходные значения устройства, чем в первый час измерений.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ОФТАЛЬМОТОНОМЕТРИИ

Достоинством являются решения по применению имплантируемых датчиков, имеющих возможность определения значений ВГД. Но, к сожалению, пока их использование ограничивается лишь экспериментальными работами. Так, о внедрении датчика измерения уровня ВГД в интраокулярную линзу (ИОЛ), которая может быть имплантирована в глаз во время экстракции катаракты, впервые сообщил В. Svedbergh в 1992 г. [47]. Автором сообщалось только об исследованиях *in vitro* в небиологической установке, и, хотя намерения провести испытания на животных с помощью устройства также упоминались, тем не менее результаты исследований *in vivo* до сих пор не были опубликованы. С тех пор было предпринято множество попыток создания ИОЛ с встроенным микрочипом, способным определять ВГД. Р. Walter [48] сообщил о соз-

дании миниатюрного электронного емкостного датчика давления в капсуле, который интегрирован с электронной на одном чипе. Устройство полностью заключено в биосовместимый силикон, аналогичный тому, который используется в традиционных ИОЛ. Имплантированные в энуклеированные глаза кроликов датчики давали те же данные ВГД, что и пневмотонометрия, как *in vitro*, так и *in vivo*. Однако никаких долгосрочных исследований на животных *in vivo* провести не удалось, так как это устройство было слишком большим для длительной имплантации кроликам и не помещалось в капсулярный мешок. К. Hille et al. [49] сообщили о другой конструкции датчика, встроенного в ИОЛ. Эта конструкция представляет собой силиконовый чип с мембраной толщиной 1 мкм, состоящий из двух компонентов: непосредственно датчика и имплантированного компонента телеметрии, который отвечает за обработку сигналов и передачу данных. К сожалению, никаких исследований *in vivo* с использованием этой конструкции ИОЛ также не проводилось. Несмотря на то, что эти разработки еще не были применены на людях, интеграция датчика, измеряющего уровень ВГД, в ИОЛ позволяет осуществлять непрерывный мониторинг ВГД у пациентов с глаукомой, которым предстоит экстракция катаракты с имплантацией ИОЛ, без необходимости в дополнительных процедурах.

ВЛИЯНИЕ ФИСТУЛИЗИРУЮЩЕЙ АНТИГЛАУКОМНОЙ ХИРУРГИИ НА БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФИБРОЗНОГО КАРКАСА ГЛАЗА

Кроме анатомических особенностей, на биомеханические характеристики оболочки глаза некоторое влияние оказывает и наличие в анамнезе антиглаукомных операций. Так, при фистулизирующих операциях нарушается целостность фиброзной оболочки глаза, что, в свою очередь, может приводить к изменению характеристик склеры и роговицы и, как следствие, к увеличению вероятности возникновения ошибки при трактовке результатов тонометрии. А.А. Антонов и соавт. [50] выявили значимые изменения параметров фиброзной оболочки после антиглаукомных операций — наблюдалось достоверное ($p < 0,05$) снижение ФРР (с $10,7 \pm 2,3$ до $9,4 \pm 1,8$) и увеличение КГ (с $8,2 \pm 1,7$ до $9,5 \pm 1,3$). В исследовании участвовали 50 пациентов (50 глаз), которым по показаниям было проведено хирургическое лечение в объеме синусотрабекулэктомии (СТЭ) с базальной иридэктомией. В работе Д.Ф. Белова и соавт. [51] выявлено статистически значимое ($p < 0,001$) уменьшение переднезадней оси глаза (ПЗО) после проведения СТЭ и имплантации антиглаукомного шунта Ex-PRESS. Среди пациентов, перенесших СТЭ, показатели ПЗО через 1 мес. в среднем снизились на $0,11$ мм, через 6 мес. — на $0,09$ мм по сравнению с данными до операции. У группы пациентов, которым имплантировали Ex-PRESS, показатели ПЗО через 1 мес. уменьшились на $0,1$ мм, через 6 мес. — на $0,08$ мм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В повседневной клинической практике уровень ВГД является ключевым параметром не только в диагностике, но и в последующем наблюдении за глаукомным процессом. В арсенале современного офтальмолога имеется большой выбор приборов для измерения данного

показателя. Однако нередко возникает ситуация, когда при использовании разных методов тонометрии значения ВГД разнятся, особенно на нестандартных глазах. Учитывая разнообразие зарегистрированных приборов, предназначенных для измерения уровня офтальмотонуса, а также для более точного определения изменений, происходящих у пациентов на фоне лечения (при динамическом наблюдении, с учетом прогрессивного течения заболевания) вообще и после выполнения операции в частности, следует проводить дальнейший мониторинг как в ближайшем послеоперационном периоде, так и в отдаленные сроки. Необходимо и построение модели, объединяющей совокупность глазных и иных показателей, с целью обнаружения корреляционных взаимоотношений между указанными параметрами и характеристиками прогрессирования глаукомы.

Литература / References

- Battaglioli J.L., Kamm R.D. Measurements of the compressive properties of scleral tissue. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1984;25(1):59–65. PMID: 669873.
- Кальфа С.Ю. Эластометрия глаза. *Русский офтальмологический журнал.* 1928;8(2):62–250.
- [Kalfa S.Yu. Elastometry of the eye. *Russkiy Oftalmologicheskij Zhurnal.* 1928;8(2):62–250 (in Russ.).]
- Еричев В.П. Патогенез, диагностика и лечение первичной открытоугольной глаукомы. *Российский медицинский журнал.* 1998;4:35–38.
- [Erichew V.P. Pathogenesis, diagnosis and treatment of primary open-angle glaucoma. *Rossiyski Meditsinski Zhurnal.* 1998;4:35–38 (in Russ.).]
- Intraocular Pressure. Consensus Series — 4. Weinreb R.N., Brandt J.D., Garway-Heath D., Medeiros F., eds. Amsterdam: Kugler Publications. 2007.
- Najmanova E., Pluhacek F., Botek M. Intraocular pressure response to maximal exercise test during recovery. *Optometry Vis Sci.* 2018;95(2):136–142. DOI: 10.1097/OPX.0000000000001168.
- Sudesh S., Moseley M. J., Thompson J.R. Accuracy of Goldmann tonometry in clinical practice. *Acta Ophthalmol (Copenh).* 1993;71(2):185–188. DOI: 10.1111/j.1755-3768.1993.tb04988.x.
- Stefan C., Dumitrica D.M., Tebeanu E. et al. Prostaglandin analogues and central corneal thickness. *Oftalmologia.* 2007;51(4):95–99 (in Romanian). PMID: 18543683.
- Iester M. Brinzolamide. *Expert Opin Pharmacother.* 2008;9(4):653–662. DOI: 10.1517/14656566.9.4.653.
- Tham Y.C., Li X., Wong T.Y. et al. Global prevalence of glaucoma and projections of glaucoma burden through 2040: a systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology.* 2014;121(11):2081–2090. DOI: 10.1016/j.ophtha.2014.05.013.
- Congdon N.G., Broman A. T., Bandeen-Roche K. et al. Central Corneal Thickness and Corneal Hysteresis Associated With Glaucoma Damage. *Am J Ophthalmol.* 2006;141(5):868–875. DOI: 10.1016/j.ajo.2005.12.007.
- Ehlers N., Bramsen T., Sperling S. Applanation Tonometry And Central Corneal Thickness. *Acta Ophthalmol (Copenh).* 1975;53(1):34–43. DOI: 10.1111/j.1755-3768.1975.tb01135.x.
- 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. DOI: 10.1016/S0002-9394(03)00424-0.
- Liu J., Roberts C.J. Influence of corneal biomechanical properties on intraocular pressure measurement: Quantitative analysis. *J Cataract Refract Surg.* 2005;31(1):146–155. DOI: 10.1016/j.jcrs.2004.09.031.
- Hemdon L.V., Choudhri S.A., Cox T. et al. Central corneal thickness in normal, glaucomatous, and ocular hypertensive eyes. *Arch Ophthalmol.* 1997;115(9):1137–1141. DOI: 10.1001/archophth.1997.01100160307007.
- Schneider E., Grehn F. Intraocular pressure measurement — Comparison of dynamic contour tonometry and Goldmann applanation tonometry. *J Glaucoma.* 2006;15(1):2–6. DOI: 10.1097/OJG.0000196655.85460.d6.
- Orsengo G.J., Pye D.C. Determination of the true intraocular pressure and modulus of elasticity of the human cornea in vivo. *Bull Math Biol.* 1999;61(3):551–572. DOI: 10.1006/bulm.1999.0102.
- Hamilton K.E., Pye D.C. Young's modulus in normal corneas and the effect on applanation tonometry. *Optom Vis Sci.* 2008;85(6):445–450. DOI: 10.1097/OPX.0b013e3181783a70.
- 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.
- [Kachanov A.B., Balashevich L.I., Novak Ya.N. et al. About influence of keratopathy and metrics on tonometric IOP. *Vestnik TGU.* 2015;20(3):606–609 (in Russ.).]
- Farhood Q.K. Comparative evaluation of intraocular pressure with an air-puff tonometer versus a Goldmann applanation tonometer. *Clin Ophthalmol.* 2012;7(1):23–27. DOI: 10.2147/OPTH.S38418.
- Diagnosis of Primary Open Angle Glaucoma. Consensus Series — 10. Weinreb R.N., Garway-Heath D., Leung C. et al., eds. Amsterdam: Kugler Publications, 2017.
- Andreanos K., Koutsandrea C., Papaconstantinou D. et al. Comparison of goldmann applanation tonometry and pascal dynamic contour tonometry in relation to central corneal thickness and corneal curvature. *Clin Ophthalmol.* 2016;10:2477–2484. DOI: 10.2147/OPTH.S115203.
- Punjabi O.S., Kniestedt C., Stamper R.L., Lin S.C. Dynamic contour tonometry: Principle and use. *Clin Exp Ophthalmol.* 2006;34(9):837–840. DOI: 10.1111/j.1442-9071.2006.01389.x.
- Grieshaber M.C., Katamay R., Gugleta K. et al. Relationship between ocular pulse amplitude and systemic blood pressure measurements. *Acta Ophthalmol.* 2009;87(3):329–334. DOI: 10.1111/j.1755-3768.2008.01217.x.
- Knecht P.B., Menghini M., Bachmann L.M. et al. The ocular pulse amplitude as a noninvasive parameter for carotid artery stenosis screening: A test accuracy study. *Ophthalmology.* 2012;119(6):1244–1249. DOI: 10.1016/j.ophtha.2011.12.040.
- Kirstein E.M., Elsheikh A., Gunvant P. Tonometry — Past, Present and Future. In: *Glaucoma — Current Clinical and Research Aspects.* Davey P., ed. Western University of Health Sciences, USA; 2011:85–108. DOI: 10.5772/37393.
- Ozcara F., Yildirim N., Sahin A., Colak E. Comparison of Goldmann applanation tonometry, rebound tonometry and dynamic contour tonometry in normal and glaucomatous eyes. *Int J Ophthalmol.* 2015;8(2):299–304. DOI: 10.3980/j.issn.2222-3959.2015.02.15.
- Boehm A.G., Weber A., Pillunat L.E. et al. Dynamic contour tonometry in comparison to intracameral IOP measurements. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2008;49(6):2472–2477. DOI: 10.1167/iov.07-1366.
- Samra W.A., Pournaras C., Riva C., Emarah M. Choroidal hemodynamic in myopic patients with and without primary open-angle glaucoma. *Acta Ophthalmol.* 2013;91(4):371–375. DOI: 10.1111/j.1755-3768.2012.02386.x.
- McBrien N.A., Jobling A.I., Gentle A. Biomechanics of the sclera in myopia: extracellular and cellular factors. *Optom Vis Sci.* 2009;86(1):23–30. DOI: 10.1097/OPX.0b013e3181940669.
- Detorakis E.T., Grammenandi E., Pallikaris I. G., Tsimbaris M.K. Differences between Goldmann Applanation Tonometry and Dynamic Contour Tonometry following Trabeculectomy. *J Ophthalmol.* 2010;2010:357387. DOI: 10.1155/2010/357387.
- Katsimpris J.M., Petropoulos I.K., Pournaras C.J. Ocular pulse amplitude measurement after retinal detachment surgery. *Klin Monbl Augenheilkd.* 2003;220(3):127–130. DOI: 10.1055/s-2003-38190.
- Turk A., Mollamehmetoglu S., Imamoglu H.I. et al. Effects of phacoemulsification surgery on ocular hemodynamics. *Int J Ophthalmol.* 2013;6(4):537–541. DOI: 10.3980/j.issn.2222-3959.2013.04.24.
- Poostchi A., Mitchell R., Nicholas S. et al. The iCare rebound tonometer: Comparisons with Goldmann tonometry, and influence of central corneal thickness. *Clin Exp Ophthalmol.* 2009;37(7):687–691. DOI: 10.1111/j.1442-9071.2009.02109.x.
- Kato Y., Nakakura S., Matsuo N. et al. Agreement among Goldmann applanation tonometer, iCare, and iCare PRO rebound tonometers; non-contact tonometer; and Tonopen XL in healthy elderly subjects. *Int Ophthalmol.* 2018;38(2):687–696. DOI: 10.1007/s10792-017-0518-2.
- Otsuka M., Tojo N., Hayashi A. Error in measurement of intraocular pressure with the iCare and iCarePRO. *Int Ophthalmol.* 2020;40(2):439–445. DOI: 10.1007/s10792-019-01204-7.
- Guler M., Bilak S., Bilgin B. et al. Comparison of intraocular pressure measurements obtained by iCare pro rebound tonometer, toney FT-1000 noncontact tonometer, and Goldmann applanation tonometer in healthy subjects. *J Glaucoma.* 2015;24(8):613–618. DOI: 10.1097/IJG.0000000000000132.
- Nakakura S., Mori E., Fujio Y. et al. Comparison of the Intraocular Pressure Measured Using the New Rebound Tonometer iCare ic100 and iCare TA01i or Goldmann Applanation Tonometer. *J Glaucoma.* 2019;28(2):172–177. DOI: 10.1097/IJG.0000000000001138.
- Аветисов С.Э., Бубнова И.А., Антонов А.А. Исследование влияния биомеханических свойств роговицы на показатели тонометрии. *Бюллетень СО РАМН.* 2009;29(4):30–33.
- [Avetisov S.E., Bubnova I.A., Antonov A.A. The study of the effect of the corneal biomechanical properties on the intraocular pressure measurement. *Byulleten' SO RAMN.* 2009;29(4):30–33 (in Russ.).]
- Бубнова И.А., Антонов А.А., Новиков И.А. и др. Сравнение различных показателей ВГД у пациентов с измененными биомеханическими свойствами роговицы. *Национальный журнал глаукома.* 2011;1:12–16.
- [Bubnova I.A., Antonov A.A., Novikov I.A. Comparison of some iop indices by patients with changed biomechanical properties of cornea. *National Journal glaucoma.* 2011;1:12–16 (in Russ.).]
- Sun L., Shen M., Wang J. et al. Recovery of Corneal Hysteresis After Reduction of Intraocular Pressure in Chronic Primary Angle-Closure Glaucoma. *Am J Ophthalmol.* 2009;147(6):1061–1066. DOI: 10.1016/j.ajo.2009.01.008.
- Kuryshva N.I., Parshunina O.A., Shatalova E.O. et al. Value of Structural and Hemodynamic Parameters for the Early Detection of Primary Open-Angle Glaucoma. *Cur Eye Res.* 2017;42(3):411–417. DOI: 10.1080/02713683.2016.1184281.
- Ortiz D., Pinero D., Shabayek M.H. et al. Corneal biomechanical properties in normal, post-laser in situ keratomileusis, and keratoconic eyes. *J Cataract Refract Surg.* 2007;33(8):1371–1375. DOI: 10.1016/j.jcrs.2007.04.021.
- Wilensky J.T. The role of diurnal pressure measurements in the management of open angle glaucoma. *Cur Opin Ophthalmol.* 2004;15(2):90–92. DOI: 10.1097/0005735-200404000-00005.

44. Куроедов А.В., Брежнев А.Ю., Егоров Е.А. и др. Производные характеристики офтальмотонуса у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой до и после оперативного лечения при круглосуточном мониторинге с применением современных технологий (пилотное исследование). РМЖ. Клиническая офтальмология. 2016;16(3):65–74. DOI: 10.21689/2311-7729-2016-16-2-65-74. [Kuroyedov A.V., Brezhnev A.Yu., Egorov E.A. et al. New characteristics of intraocular pressure level in primary open-angle glaucoma patients before and after surgery on the background of round-the-clock monitoring with the use of modern technology (pilot study). RMJ. Clinical ophthalmology. 2016;16(3):65–74 (in Russ.). DOI: 10.21689/2311-7729-2016-16-2-65-74.

45. Mansouri K., Weinreb R.N., Liu J.H. Efficacy of a contact lens sensor for monitoring 24-H intraocular pressure related patterns. PLoS ONE. 2015;10(5):e0125530. DOI: 10.1371/journal.pone.0125530.

46. Hollo G., Kothy P., Vargha P. Evaluation of continuous 24-hour intraocular pressure monitoring for assessment of prostaglandin-induced pressure reduction in Glaucoma. J Glaucoma. 2014;23(1):6–12. DOI: 10.1097/IJG.0b013e31829e5635.

47. Svedbergh B., Backlund Y., Hok B., Rosengren L. The IOP-IOL: A probe into the eye. Acta Ophthalmol (Copenh). 1992;70(2):266–268. DOI: 10.1111/j.1755-3768.1992.tb04135.x.

48. Walter P., Schnakenberg U., Vom Boge G. et al. Development of a completely encapsulated intraocular pressure sensor. Ophthalmic Res. 2000;32(6):278–284. DOI: 10.1159/000055626.

49. Hille K., Draeger J., Eggers T., Stegmaier P. [Technical construction, calibration and results with a new intraocular pressure sensor with telemetric transmission]. Klin Monbl Augenheilkd. 2001;218(5):376–380 (in German). DOI: 10.1055/s-2001-15905.

50. 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. DOI: 10.15372/ssmj20180508. [Antonov A.A., Agadzhanian T.M. Dynamics of the corneal-compensated intraocular pressure in different terms after fistulizing glaucoma surgery. Sibirski Nauchni Meditsinski Zhurnal. 2018;38(5):49–54 (in Russ.). DOI: 10.15372/ssmj20180508.

51. Белов Д.Ф., Николаенко В.П. Изменение биометрических параметров глаза после гипотензивных операций. Национальный журнал глаукома. 2020;19(3):35–41. DOI: 10.25700/NJG.2020.03.04. [Belov D.F., Nikolaenko V.P. Changes in biometric parameters of the eye following glaucoma surgery. National Journal glaucoma. 2020;19(3):35–41 (in Russ.). DOI: 10.25700/NJG.2020.03.04.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Кац Михаил Дмитриевич — врач-офтальмолог отделения микрохирургии глаза ГБУЗ «ГКБ № 15 им. О.М. Филатова ДЗМ»; 111539, Россия, г. Москва, ул. Вешняковская, д. 23; аспирант кафедры офтальмологии им А.П. Нестерова лечебного факультета РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России; 117997, Россия, г. Москва, ул. Островитянова, д. 1; ORCID iD 0000-0001-9019-9882.

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

Прозрачность финансовой деятельности: автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Конфликт интересов отсутствует.

Статья поступила 16.05.2022.

Поступила после рецензирования 08.06.2022.

Принята в печать 04.07.2022.

ABOUT THE AUTHOR:

Mikhail D. Kats — ophthalmologist of the Department of Eye Microsurgery, O.M. Filatov City Clinical Hospital No. 15; 23, Veshnyakovskaya str., Moscow, 111539, Russian Federation; postgraduate student of A.P. Nesterov Department of Ophthalmology, Medical Faculty, Pirogov Russian National Research Medical University; 1, Ostrovityanov str., Moscow, 117997, Russian Federation; ORCID iD 0000-0001-9019-9882.

Contact information: Mikhail D. Kats, e-mail: katzm@mail.ru.

Financial Disclosure: the author has no a financial or property interest in any material or method mentioned.

There is no conflict of interests.

Received 16.05.2022.

Revised 08.06.2022.

Accepted 04.07.2022.