

УДК 617.753-089: 617.7-073.178

# Влияние кераторефракционных операций на показатели офтальмотонометрии

Вострухин С.В., аспирант.

ФГБНУ «НИИ глазных болезней», 119021, Российская Федерация, Москва, ул. Россолимо, 11А.

Авторы не получали финансирование при проведении исследования и написании статьи.  
Конфликт интересов: отсутствует.

## Резюме

Принцип измерения большинства офтальмотонометров основан на механическом воздействии на роговицу с регистрацией ответа, который зависит не только от давления жидкости внутри глаза, но и от свойств фиброзной оболочки глаза.

В последние десятилетия заметное развитие получила рефракционная хирургия. Кераторефракционные операции индуцируют выраженные в различной степени изменения структуры, толщины и радиуса кривизны передней и задней поверхности роговицы. Наиболее существенные изменения связаны с распространенной в 80-90-х годах XX века операцией радиальной кератотомией. Данное вмешательство выполняли на глазах с рефракционными нарушениями, при которых изначально имеются особенности в строении и структуре фиброзной оболочки глаза, а миопию считают фактором риска развития глаукомы.

В настоящее время эти пациенты достигли зрелого и пожилого возраста, когда увеличивается риск развития глаукомы. Такие же проблемы возможны через

некоторое время у пациентов, перенесших операции, выполненные с помощью современных методик.

Внутриглазное давление (ВГД) является фактором риска, единственной мишенью лечения и важным элементом мониторинга глаукомы. Это обуславливает актуальность детальной оценки влияния кераторефракционных операций на показатели офтальмотонометрии.

Перспективы повышения информативности измерения ВГД после кераторефракционных операций связаны с применением современных методов тонометрии: неапланационных (динамической контурной, точечной контактной тонометрии) и учитывающих биомеханические особенности фиброзной оболочки глаза (двунаправленной пневмоаппланации роговицы с определением роговично-компенсированного ВГД). После радиальной кератотомии предпочтительны неапланационные методики.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** кераторефракционные операции, радиальная кератотомия, фоторефракционная кератэктомия, ФПК, лазерный субэпителиальный кератомилез, LASEK, лазерный кератомилез, LASIK, показатели офтальмотонометрии.

## ENGLISH

# The effect of keratorefractive surgery on the intraocular pressure measurement

VOSTRUKHIN S.V., M.D., post-graduate student.

Scientific Research Institute of Eye Diseases, 11A Rossolimo st., Moscow, Russian Federation, 119021.

Conflicts of Interest and Source of Funding: none declared.

## Для контактов:

Вострухин Сергей Викторович, e-mail: Amphitriion198@mail.ru

## Abstract

The operating principle of most tonometers is based on producing a physical impact on the cornea and measuring the response, which depends not only on the intraocular fluid pressure, but also the properties of the fibrous tunic of the eye.

Over the last few decades refractive surgery has gained a discernible progress. Keratorefractive surgery induces expressed to various extents alterations in corneal structure, thickness and curvature radius of the anterior and posterior corneal surfaces. The most substantial of such changes are often associated with radial keratotomy — a widespread operation in the 1980-90s. It was performed on eyes with refractive abnormalities that were already associated with certain deviations in the fibrous tunic structure, while myopia itself is considered to be a risk factor for the development of glaucoma.

In the present day most patients who underwent radial keratotomy have reached mature or elderly age, when the risk of glaucoma development is increased. Patients who

undergo modern keratorefractive surgery nowadays might face the same problems in the future.

Intraocular pressure (IOP) in glaucoma is equally a risk factor, the sole treatment target and an essential monitoring element. This determines the actuality of a detailed evaluation of how keratorefractive surgery influences the ocular tonometry measurements. The perspectives of increasing the informative value of IOP measurement after keratorefractive surgery pertain to the appliance of modern tonometry methods: non-applanation tonometry (dynamic contour and rebound tonometry) and the methods that take into account biomechanical specifics of the fibrous tunic (bidirectional applanation tonometry with the definition of the corneal-compensated IOP). Non-applanation methods should be preferred after the radial keratotomy.

**KEYWORDS:** keratorefractive surgery, intraocular pressure measurement, Photorefractive keratectomy, PRK, Laser Epithelial Keratomileusis, LASEK, Laser-Assisted in Situ Keratomileusis, LASIK.

В последние десятилетия заметное развитие получила рефракционная хирургия. Местом приложения большинства операций, влияющих на оптические свойства глаза, является роговица (т. н. кераторефракционные вмешательства) [1, 2]. Независимо от принципа хирургического воздействия на роговицу (нанесения надрезов, абляция и т. д.) такие операции в различной степени изменяют биомеханические свойства роговицы — существенный компонент, влияющий на показатели различных методов определения внутриглазного давления (ВГД).

Принцип измерения большинства офтальмотонометров основан на механическом воздействии на роговицу с регистрацией ответа, который зависит не только от давления жидкости внутри глаза, но и от свойств фиброзной оболочки глаза [3-7]. Калибровка наиболее распространенных приборов для определения ВГД не учитывает даже «нормальные» колебания показателей биомеханических свойств фиброзной оболочки глаза и таким образом не исключает возможности погрешности измерения при отклонении этих показателей от средних значений [8-12]. Кераторефракционные операции индуцируют выраженные в различной степени изменения структуры, толщины и радиуса кривизны передней и задней поверхностей роговицы [13-15]. При этом надо учитывать и возможность исходных (дооперационных) структурных и биомеханических изменений фиброзной оболочки, обусловленных существенными отклонениями размеров переднезадней оси глаза от «нормальных». Кроме того, данные вмешательства выполняют на глазах с рефракционными нарушениями, при которых изначально имеются особенности в строении и структуре фиброзной оболочки глаза, а миопию считают фактором риска развития глаукомы.

Учитывая стойкую тенденцию к увеличению общего количества кераторефракционных вмешательств, достоверное определение ВГД после их проведения становится существенной проблемой. Причем с диагностической точки зрения особенно «опасными» являются ошибки измерения ВГД, связанные с т. н. занижением показателей тонометрии, учитывая социальную значимость глаукомы и актуальность точности определения офтальмотонуса [16-25]. Именно подобный тип погрешностей возможен после кераторефракционных операций, предполагающих ослабление биомеханических свойств роговицы [26]. После радиальной кератотомии такие изменения происходят в результате нанесения на роговицу радиальных надрезов [27], а после эксимерлазерных вмешательств — вследствие уменьшения толщины роговицы [14, 28].

Скрининговая функция тонометрических методик обуславливает актуальность детальной оценки влияния кераторефракционных операций на показатели офтальмотонометрии.

## Эволюция кераторефракционных вмешательств

Первые попытки клинического применения операций на роговице с целью изменения клинической рефракции глаза связаны с исследованиями Sato, который в 1950 г. для коррекции миопии предложил комбинировать передние и задние надрезы роговицы [29]. Именно с этого момента начало формироваться новое направление в офтальмохирургии — кераторефракционная хирургия глаза. В дальнейшем для изменения рефракции роговицы были апробированы различные вмешательства [28, 30-40], однако первой кераторефракционной операцией, получившей широкое распространение

в клинической практике, стала передняя радиальная кератотомия (РК). Точное общее количество выполненных операций РК неизвестно. Однако только в МНТК «Микрохирургия глаза» с 1976 по 2000 гг. было проведено более 600 000 таких операций, а в США — более 1 млн [41].

Операция РК направлена на ослабление рефракции роговицы, которое происходит за счет нанесения на прозрачную часть фиброзной оболочки надрезов, направление которых совпадает с воображаемыми радиусами условной окружности роговицы, при этом ее центральная зона (диаметром 2,5-3,0 мм) остается интактной. Операция приводит к ослаблению клинической рефракции глаза в результате существенного изменения топографии роговицы: увеличение радиуса кривизны (уплощение) ее центральной части сопровождается уменьшением радиуса кривизны (укручением) участков на средней периферии [27]. К основным недостаткам РК следует отнести неудовлетворительную прогнозируемость и стабильность эффекта, а также высокую вероятность побочных симптомов (флюктуация остроты зрения и т. д.) [42-46].

На рубеже столетий этот вид кераторефракционной хирургии был полностью вытеснен эксимерлазерными технологиями: поверхностной фоторефракционной кератэктомией (ФПК), лазерным субэпителиальным кератомилезом — LASEK (Laser Epithelial Keratomileusis) [42-46] и интрастромальными методиками: лазерным кератомилезом — LASIK (Laser-Assisted in Situ Keratomileusis) [47-56].

Принципиальная возможность применения эксимерного лазера для кераторефракционной хирургии была доказана работами Trokel [40, 57]. Предложенная им операция ФПК предполагала удаление (абляцию) поверхностных слоев стромы в центральной зоне роговицы с целью ее уплощения и, как следствие, ослабления клинической рефракции. Технология LASIK основана на фотоабляции глубоких слоев стромы после предварительного формирования роговичного лоскута (*англ.* — *flap*), включающего эпителий, боуменову мембрану и передние слои стромы. Основные преимущества LASIK заключаются в снижении интенсивности послеоперационного болевого синдрома и практически немедленном достижении стабильного функционального результата. В модификации LASEK абляцию стромы производят после предварительного отслаивания переднего эпителия роговицы. В отличие от РК эксимерлазерные методы коррекции рефракционных нарушений, как правило, существенно не влияют на регулярность рефракции роговицы, однако значимо (особенно в случаях коррекции миопии средней и высокой степени) уменьшают ее толщину в центральной зоне.

Дальнейшее совершенствование лазерных методов коррекции рефракционных нарушений связано с комбинированным применением эксимерных и фемтосекундных лазеров (технологии femtoLASIK, FLEX и SMILE) [58-62].

## Методы измерения внутриглазного давления

Методы измерения ВГД условно разделяют на аппланационные (предполагающие уплощение контактируемой поверхности) и импрессионные (основанные на вдавлении поверхности в зоне контакта). Как правило, измерение проводят путем контакта с фиброзной оболочкой глаза. Исторически первые приборы для определения ВГД были склеральными, но отошли на второй план после создания роговичных аналогов. В настоящее время измерение путем механического контакта со склерой проводят только с помощью т. н. транспальпебральной тонометрии [63]. «Роговичные» методики тонометрии предполагают контакт тонометра с центральной, наиболее регулярной по форме зоной роговицы. При воздействии на периферические участки биомеханический ответ менее стабилен и в большей степени зависит от индивидуальных свойств роговицы и удаленности от центральной зоны [64, 65].

При аппланационной тонометрии возможны два подхода к оценке взаимодействия тонометра с роговицей: использование постоянной массы с измерением зоны аппланации (тонометр Маклакова) или определение силы воздействия, необходимой для достижения определенной (заданной) формы поверхности (тонометр Гольдмана, бесконтактный тонометр).

В России для измерения ВГД наибольшее распространение получил тонометр Маклакова. Основной частью тонометра являются грузики различной массы (5,0; 7,5; 10,0 и 15,0 г), которые закреплены на поддерживающей ручке. Как правило, измерение ВГД происходит посредством аппланации роговицы площадкой грузика массой 10,0 г, на которую предварительно наносят красящее вещество для получения отиска пятна аппланации при регистрации результатов на бумаге [66-68].

Тонометрия по Гольдману основана на достижении уплощения роговицы фиксированного диаметра (3,06 мм) при приложении груза увеличиваемой массы. В зарубежной офтальмологической практике данный метод тонометрии является «золотым стандартом», однако доказано, что точность прибора адекватна только при «средних» биомеханических свойствах роговицы [69, 70].

При бесконтактной пневмотонометрии аппланацию роговицы обеспечивают кратковременным воздушным импульсом, а оптические датчики регистрируют изменение формы роговицы. Показатель ВГД фиксируют на фоне максимальной яркости отраженного сигнала, которая имеет место при уплощении роговицы в зоне диаметром 3,06 мм (аналогично тонометрии по Гольдману) [71, 72].

Принципиально новые методы тонометрии позволяют уменьшить влияние биомеханических свойств фиброзной оболочки глаза на измеряемые

показатели. В динамической контурной тонометрии используют принцип регистрации тангенциальных напряжений, возникающих в роговице при действии ВГД и его колебаний в соответствии с фазами сердечного цикла. Данный принцип реализован в приборе «Pascal» («Zeimer», Швейцария), в котором измерения ВГД проводят с помощью пьезодатчика, исключающего существенное механическое воздействие на фиброзную оболочку. Одновременно регистрируют пульсовую кривую офтальмотонуса и амплитуду глазного пульса [73-75].

В основу т.н. двунаправленной пневмоаппланации роговицы (приборы «Ocular Response Analyzer» – ORA и «Reichert 7CR», США) заложен принцип бесконтактной пневмотонометрии. Роговица, прогибаясь кзади под воздействием воздушной струи и возвращаясь к первоначальному положению, дважды проходит стадию относительного уплощения — при этом регистрируют величину ВГД в обеих точках аппланации. На основании этих данных рассчитывают показатель ВГД, близкий к таковому при тонометрии по Гольдману (Goldmann Correlated Intraocular Pressure, IOPg), и роговично-компенсированное, то есть не зависящее от биомеханических свойств роговицы ВГД (Corneal Compensated Intraocular Pressure, IOPcc). С помощью прибора ORA также измеряют два параметра, отражающих биомеханические свойства роговицы: фактор резистентности роговицы (Corneal Resistance Factor, CRF), характеризующий ее упругие свойства и прямо коррелирующий с ее толщиной, и роговичный гистерезис (Corneal Hysteresis, CH), который отражает способность роговицы поглощать энергию воздушного импульса, то есть ее вязко-эластические свойства. Роговично-компенсированное ВГД практически не зависит от свойств фиброзной оболочки глаза и является, по последним данным, наиболее достоверным прогностическим критерием течения глаукомной оптической нейропатии (ГОН) [76-78].

Точечная контактная тонометрия (прибор «Icare», «Tiolat», Финляндия) предполагает уменьшение механического воздействия на роговицу за счет быстрого «отскока» миниатюрного наконечника от роговицы. Перемещение наконечника и регистрация его движения основаны на принципе магнитной индукции. Взаимодействие измерительного наконечника с роговицей происходит через слезную пленку и не требует местного применения анестетиков. Малая масса (26,5 мг) и скорость перемещения (0,25-0,30 м/с) наконечника позволяют определять уровень ВГД практически без изменения формы фиброзной оболочки [79, 80]. Измерение ВГД данным прибором возможно как в центральной, так и парацентральной зонах роговицы [64, 81-83]. В ряде исследований выявлена независимость показателей тонометрии, определяемых указанным методом, от центральной толщины роговицы [84-86].

## Измерение внутриглазного давления после кераторефракционных операций

Причины погрешностей измерения ВГД после РК могут быть обусловлены значительными изменениями топографии роговицы и биомеханических свойств роговицы вследствие не только нанесения надрезов, но и особенностей их заживления [1, 2, 27, 87-90]. Сообщения о возможном влиянии перенесенной РК на показатели тонометрии носят единичный характер.

Sastry в своем исследовании не совсем корректно сравнивал показатели тонометрии по Гольдману в группе пациентов, перенесших РК (через год после операции), с данными, полученными у неоперированных пациентов [91]. Не было выявлено статистически значимой разницы, а средняя величина ВГД составила 14,6 мм рт.ст. в обеих группах.

Kohlhaas пришел к тому же выводу, что и Sastry: согласно полученным данным показатели тонометрии по Гольдману не зависели от перенесенной ранее РК [92].

В ретроспективном исследовании были использованы результаты обследования 824 пациентов, перенесших РК, и отмечено снижение показателей тонометрии по Гольдману и их зависимость от количества надрезов [93]. Среднее снижение измеряемого ВГД составила  $1,0 \pm 3,1$  мм рт.ст.

Ряд исследований (достаточно разнородных по полученным результатам) посвящен вопросам тонометрии после различных методик эксимерлазерной коррекции рефракционных нарушений.

Sadigh изучал точность тонометрии по Гольдману после ФРК. Погрешность измерения, которая выражалась в снижении показателей, оказалась линейно зависима от толщины абляции и составила 0,03 мм рт.ст. на 1 мкм абляции стромы роговицы. Данная закономерность отмечена и в других исследованиях [94-97].

Следует отметить и известный факт зависимости показателей тонометрии по Гольдману от кривизны роговицы. Так, при измерении ВГД офтальмотонометром Гольдмана в группе здоровых пациентов было выявлено, что при ослаблении рефракции роговицы на 3,0 дптр показатель ВГД уменьшается на 1,0 мм рт.ст. [98]. Сопоставив эти данные с результатами измерения ВГД после ФРК, можно теоретически прийти к выводу, что на каждые 10 мкм абляции погрешность аппланационных методов измерения ВГД составляет 0,33 мм рт.ст.

Munger сообщает о возможности значительной варибельности показателей ВГД после ФРК, которые могут изменяться после операции до 5 мм рт.ст. как в сторону уменьшения, так и увеличения. Среднее снижение ВГД составило 0,021 мм рт.ст. на 1 мкм абляции [99].

Средняя величина «занижения» показателей ВГД, измеренного различными методами через 12 мес. после эксимерлазерной коррекции миопии,  $M \pm m$ , мм рт.ст.

Степень миопии, дптр	Тонометрия по Гольдману		Бесконтактная тонометрия	
	ФРК	LASIK	ФРК	LASIK
-2,5	2,3±1,6	1,5±1,5	2,2±2,0	1,3±1,2
-5,0	4,7±2,1	3,2±1,2	3,9±1,2	3,0±1,0
-7,5	5,8±2,0	4,6±1,8	5,4±1,7	4,1±1,3
-10,0	6,9±1,8	5,4±1,7	6,2±1,9	5,0±1,1

Таблица 2

Средняя величина ВГД, измеренная в различных участках роговицы до и после ФРК,  $M \pm m$ , мм рт.ст.

	Тонометрия по Гольдману		Бесконтактная пневмотонометрия	
	центральная зона роговицы	периферия роговицы	центральная зона роговицы	периферия роговицы
До ФРК	13,3±3,36	14,01±3,23	15,30±3,72	15,03±3,75
Через 3-7 дней после ФРК	12,63±3,02	15,03±3,02	15,73±2,87	15,05±2,25

По данным Rosa, снижение регистрируемого офтальмотонометром Гольдмана ВГД больше прогнозируемого: при среднем уменьшении миопии на 7,6 дптр погрешность апланационной тонометрии составила 5,8 мм рт.ст. [100].

Giropo провел исследование в группе из 53 пациентов и выявил отсутствие статистически значимого снижения измеряемого тонометром Гольдмана ВГД после ФРК при коррекции миопии менее 5,0 дптр [101].

Â. MonteÂs-Mico и N. Charman обследовали 100 пациентов, которым были выполнены ФРК (54 пациента) и LASIK (46 пациентов), и сравнили полученные данные. Различия в результатах тонометрии по Гольдману и бесконтактной тонометрии были минимальными и статистически не достоверными. Непосредственно после ФРК ложное снижение ВГД было более выраженным, а при увеличении объема абляции средняя погрешность измерения возрастала с 0,7 до 1,5 мм рт.ст. (при коррекции миопии -2,5 и -10,0 дптр соответственно). Через 12 мес. после операции отмечено дополнительное снижение показателя ВГД в пределах 0,2-0,7 мм рт.ст. [102].

Полученные в данном исследовании результаты обобщены в табл. 1.

Гипотеза о возможной зависимости погрешности измерения ВГД после эксимерлазерной коррекции миопии от исходной (дооперационной) толщины роговицы подтверждения не получила [94, 96, 103, 104].

После проведения ФРК показатели бесконтактной пневмотонометрии ВГД существенно варьировали и не зависели ни от степени ослабления оптической силы роговицы, ни от объема абляции [105].

Дальнейшие исследования были направлены на регистрацию ВГД с помощью апланации роговицы в парацентральных участках. Abbasog проводил измерение ВГД тонометром Гольдмана и бесконтактным пневмотонометром в центральных и периферических участках роговицы [106]. До ФРК статистически достоверного различия между показателями ВГД в обеих зонах выявлено не было. После операции уровень измеряемого тонометром Гольдмана ВГД в центральной зоне был ниже, чем аналогичный показатель, определяемый на периферии, на  $2,3 \pm 1,25$  мм рт.ст., а показатели пневмотонометрии не изменились [106] (табл. 2).

Garzozzi проводил измерение ВГД с помощью ручного офтальмотонометра «Топо-Реп» на периферии роговицы — показатели тонометра после проведения ФРК не изменились [107].

Исследования, направленные на определение погрешности динамической контурной тонометрии после ФРК, свидетельствуют об отсутствии статистически значимого изменения показателей данного тонометра после операции [96, 97, 104]. Аналогичный вывод был сделан в отношении «отскокового» метода измерения ВГД (прибор «Icare») [104].

Таблица 3

**Изменения СН и CRF после выполнения LASIK по данным двунаправленной пневмоаппланации роговицы, М±m, мм рт.ст.**

Показатель	До операции	После операции
СН	9,7±1,8	8,0±1,6
CRF	9,5±1,9	6,7±1,7

Таблица 4

**Средняя величина ВГД, полученная при применении различных методов тонометрии до и после проведения LASIK, М±m, мм рт.ст.**

Метод тонометрии	До операции	После операции
Динамическая контурная тонометрия	17,1±3,3	16,5±2,2
Двунаправленная пневмоаппланация роговицы (IOPg)	15,2±3,4	10,6±2,6
Двунаправленная пневмоаппланация роговицы (IOPсс)	15,4±3,2	13,1±2,0
Тонометрия по Гольдману	13,8±3,3	12,0±2,7

В ряде исследований были проанализированы возможности различных методов тонометрии после проведения эксимерлазерной процедуры LASIK [65, 93, 101, 108-113].

При тонометрии по Гольдману разница ВГД до и после коррекции миопии составила от 2,0 до 5,0 мм рт.ст. при среднем уменьшении толщины роговой оболочки на 100 мкм (т. е. 0,3-0,5 мм рт.ст. на каждую диоптрию ослабления рефракции или на каждые 10 мкм уменьшения толщины роговицы) [65, 75, 95, 99, 112, 114].

При уменьшении рефракции роговицы в результате выполнения LASIK более чем на 6,0 дптр возможно ложное снижение ВГД от 4 до 6 мм рт.ст. [102]. Данную ошибку объясняют не только уменьшением толщины роговицы, но и изменением топографии центральной зоны роговицы и ее вязко-эластических свойств [115]. При этом возможность погрешности не зависит от метода измерения ВГД (тонометрии по Гольдману или бесконтактной пневмотонометрии) [75, 102, 105].

Нивелировать влияние кераторефракционных операций на показатели офтальмотонометрии предлагают и с помощью коррекции полученных данных математическими формулами [95, 116, 117]. Так, Lee et al. апробировали программу Orbscan II, которая направлена на коррекцию ошибок бесконтактной пневмотонометрии на основе анализа биомеханических свойств роговицы, толщины и топографии центральной зоны роговицы [118]. В исследование были включены 62 пациента (123 глаза), которым был выполнен LASIK по поводу миопии слабой степени. До операции ВГД по данным бесконтактной офтальмотонометрии в среднем составило 16,3±2,9 мм рт.ст. После операции отмечено достоверное снижение показателей тонометрии до 10,0±2,8 мм рт.ст., однако при корректировке результатов по апробированной программе были получены данные (16,2±2,2 мм рт.ст.), близкие к дооперационным.

При измерении ВГД после проведения LASIK доказана высокая информативность показателя IOPсс, определяемого с помощью двунаправленной пневмоаппланации роговицы [65, 108, 112]. Помимо этого, выявлено существенное снижение таких показателей, как СН и CRF (табл. 3), что свидетельствует о снижении жесткости фиброзной оболочки глаза [108]. Другие авторы для оценки уровня ВГД после выполнения LASIK рекомендуют использовать динамическую контурную тонометрию [74, 119].

В табл. 4 представлены результаты тонометрии с помощью различных методов после проведения LASIK при средней глубине абляции 100 мкм [108, 112]. Исходя из полученных данных, минимальная разница показателей ВГД до и после операции оказалась у динамической контурной тонометрии, а самая большая — у двунаправленной пневмоаппланации (IOPg).

Группой российских ученых было проведено исследование влияния LASIK на показатели аппланационной тонометрии, в том числе полученные с помощью тонометра Маклакова. При измерении ВГД грузиком весом 10 г ошибка составила 1,7 мм рт.ст. при среднем уменьшении толщины роговицы на 70 мкм (0,2 мм рт.ст. на каждые 10 мкм) [120].

После эксимерлазерной коррекции миопии в варианте LASEK при среднем уменьшении центральной толщины роговицы на 100 мкм результаты динамической контурной тонометрии и роговично-компенсированного показателя ВГД, полученного с помощью двунаправленной пневмоаппланации, практически не изменились. В то же время данные тонометрии по Гольдману и двунаправленной пневмоаппланации (показатель, аналогичный тонометру Гольдмана — IOPg) после операции статистически значимо снизились [121, 122].

Svedberg et al. провели сравнительное исследование влияния эксимерлазерных операций (LASIK и LASEK) на показатели аппланационной тонометрии. Среднее снижение показателей ВГД после LASIK и LASEK при одинаковой глубине абляции (в среднем 80,5 мкм) составило 4,4±2,0 и 1,9±2,8 мм рт.ст. соответственно [123]. Аналогичные результаты были получены и в другом исследовании [124].

Johannesson выявил снижение показателей тонометрии по Гольдману и динамической контурной тонометрии на  $1,9 \pm 1,7$  и  $0,9 \pm 1,3$  мм рт.ст. соответственно спустя два года после операции LASEK при средней глубине абляции  $47,0 \pm 19,0$  мкм. В аналогичном исследовании при глубине абляции 100 мкм отмечена более выраженная разница показателя тонометра Гольдмана (3,0 мм рт.ст.) и практическое отсутствие изменений в результатах динамической контурной тонометрии (0,2 мм рт.ст.) [125].

## Заключение

Суммируя представленные в настоящем обзоре данные, можно сделать следующие основные выводы.

1. Изменение анатомо-функционального состояния роговицы после кераторефракционных операций в той или иной степени влияет на показатели тонометрии с тенденцией к их занижению.

2. Погрешности измерения ВГД, с одной стороны, зависят от послеоперационных изменений биомеханики роговицы (при применении эксимерлазерных методик — от объема абляции), а с другой, — от методики тонометрии.

3. Перспективы повышения информативности измерения ВГД после кераторефракционных операций связаны с применением современных методов тонометрии (динамической контурной, точечной контактной тонометрии), а также учитывающих биомеханические особенности фиброзной оболочки глаза (двунаправленной пневмоаппланации роговицы с определением роговично-компенсированного ВГД).

## Литература/References

1. Аветисов С.Э., Егорова Г.Б., Федоров А.А., Бобровских Н.В. Конфокальная микроскопия роговицы. Сообщение 1. Особенности нормальной морфологической картины. *Вестник офтальмологии* 2008; 124(3):3-5. [Avetisov S.E., Egorova G.B., Fedorov A.A., Bobrovskikh N.V. Confocal microscopy of the cornea. Communication 1. The normal morphological pattern. *Vestn Oftalmol* 2008; 124(3):3-5. (In Russ.)].
2. Аветисов С.Э., Егорова Г.Б., Федоров А.А., Бобровских Н.В. Конфокальная микроскопия роговицы. Сообщение 2. Морфологические изменения при кератоконусе. *Вестник офтальмологии* 2008; 124(3):6-9. [Avetisov S.E., Egorova G.B., Fedorov A.A., Bobrovskikh N.V. Confocal microscopy of the cornea. Communication 2. Morphological changes in keratoconus. *Vestn Oftalmol* 2008; 124(3):6-9. (In Russ.)].
3. Avetisov S.E., Novikov I.A., Bubnova I.A., Antonov A.A., Sipliviy V.I. Determination of corneal elasticity coefficient using the ORA database. *J Refract Surg* 2010; 26(7):520-524.
4. Аветисов С.Э., Бубнова И.А., Антонов А.А. Биомеханические свойства роговицы: клиническое значение, методы исследования, возможности систематизации подходов к изучению. *Вестник офтальмологии* 2010; 126(6):3-7. [Avetisov S.E., Bubnova I.A., Antonov A.A. Corneal biomechanics: clinical importance, evaluation, possibilities of systematization of examination approaches. *Vestn Oftalmol* 2010; 126(6):3-7. (In Russ.)].
5. Аветисов С.Э., Киселева Т.Н., Лагутина Ю.М., Кравчук Е.А. Влияние вазоактивных препаратов на зрительные функции и глазной кровоток у больных с ранними проявлениями возрастной макулярной дегенерации. *Вестник офтальмологии* 2007; 123(3):26-28. [Avetisov S.E., Kiseleva T.N., Lagutina Yu.M., Kravchuk Ye.A. Effect of vasoactive agents on visual functions and ocular blood flow in patients with early manifestations of age-related macular degeneration. *Vestn Oftalmol* 2007; 123(3):26-28. (In Russ.)].
6. Аветисов С.Э., Бубнова И.А., Антонов А.А. Исследование биомеханических свойств роговицы у пациентов с нормотензивной и первичной открытоугольной глаукомой. *Вестник офтальмологии* 2008; 124(5):14-16. [Avetisov S.E., Bubnova I.A., Antonov A.A. Investigation of the biomechanical properties of the cornea in patients with normotensive and primary open-angle glaucoma. *Vestn Oftalmol* 2008; 124(5):14-16. (In Russ.)].
7. Аветисов С.Э., Бубнова И.А., Антонов А.А. Исследование влияния биомеханических свойств роговицы на показатели тонометрии. *Бюллетень Сибирского отделения Российской академии медицинских наук* 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. *Bulletin of the Siberian Branch of the Russian Academy of Medical Sciences* 2009; 29(4):30-33. (In Russ.)].
8. Нестеров А.П., Вургафт М.Б. Калибровочные таблицы для эластотонометра Филатова-Кальфа. *Вестник офтальмологии* 1972; 88(2):20-25. [Nesterov A.P., Vurgaft M.B. Calibration tables for Filatov-Kalfa elastotonometer. *Vestn Oftalmol* 1972; 88(2):20-25. (In Russ.)].
9. Кальфа С.Ф., Вургафт М.Б., Грудский А.З. Пути развития и современное состояние эластотонометрии глаза. *Русский офтальмологический журнал* 1959; 8:451-462. [Kalfa S.F., Vurgaft M.B., Grudsky A.Z. Ways of development and a modern condition of an eye elastotonometry. *Russian Ophthalmological J* 1959; 8:451-462. (In Russ.)].
10. Ehlers N., Bramsen T., Sperling S. Applanation tonometry and central corneal thickness. *Acta ophthalmol* 1975; 53(1):34-43.
11. Bhan A., Browning A.C., Shah S., Hamilton R., Dave D., Dua H.S. Effect of corneal thickness on intraocular pressure measurements with the pneumotonometer, Goldmann applanation tonometer, and Tono-Pen. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2002; 43(5):1389-1392.
12. Алексеев В.В. Оценка влияния параметров роговой оболочки на результаты тонометрии в здоровой популяции. *Клиническая офтальмология* 2008; 9(4):128-130. [Alexeev V.V. Evaluation of influence of corneal parameters on tonometric results in normal subjects. *RMJ Clinical Ophthalmology* 2008; 9(4):128-130. (In Russ.)].
13. Perez-Gomez I., Efron N. Change to corneal morphology after refractive surgery (myopic laser in situ keratomileusis) as viewed with a confocal microscope. *Optom Vis Sci* 2003; 80(10):690-697.
14. Barraquer J.I. Queratomileusis para la correccion de la miopia. *Arch Soc Arn Oha Optom* 1964; 5:27-48.
15. Trokel S.L., Srinivasan R., Braren B. Excimer laser surgery of the cornea. *Am J Ophthalmol* 1983; 96(6):710-715.
16. Киселева О.А., Робустова О.В., Бессмертный А.М., Захарова Е.К., Авдеев Р.В. Распространенность первичной глаукомы у представителей разных рас и этнических групп в России и странах СНГ. *Офтальмология* 2013; 10(4):11-15. [Kiseleva O.A., Robustova O.V., Bessmertny A.M., Zakharova E.K., Avdeev R.V. Prevalence of primary glaucoma in representatives of different races and ethnic groups in Russia and in CIS. *Ophthalmology* 2013; 10(4):11-15. (In Russ.)].

17. Киселева О.А., Робустова О.В., Бессмертный А.М., Захарова Е.К., Авдеев Р.В. Распространенность первичной глаукомы у представителей разных рас и этнических групп в мире. *Офтальмология* 2013; 10(3):5-8. [Kiseleva O.A., Robustova O.V., Bessmertny A.M., Zakharova E.K., Avdeev R.V. Prevalence of primary glaucoma in representatives of different races and ethnic groups in the world. *Ophthalmology* 2013; 10(3):5-8. (In Russ.)].
18. Онищенко А.Л., Колбаско А.В., Жилина Н.М., Захарова А.В., Власенко А.Е. Заболеваемость первичной глаукомой, ее гендерные особенности среди жителей крупного промышленного города Сибири. *Офтальмология* 2014; 11(4):59-66. [Onischenko A.L., Kolbasko A.V., Zhilina N.M., Zacharova A.V., Vlasenko A.E. Morbidity from primary glaucoma and its gender-specific aspects amongst the population of Siberian industrial town. *Ophthalmology* 2014; 11(4):59-66. (In Russ.)].
19. Петров С.Ю. Целевой уровень внутриглазного давления в оценке гипотензивной эффективности антиглаукомных операций. *Офтальмология* 2014; 11(4):4-9. [Petrov S.Yu. Target IOP as a measure of glaucoma surgery efficacy. *Ophthalmology* 2014; 11(4):4-9. (In Russ.)].
20. Куроедов А.В., Авдеев Р.В., Александров А.С., Бакунина Н.А., Басинский А.С., Блюм Е.А., Брежнев А.Ю. и др. Первичная открытоугольная глаукома: в каком возрасте пациента и при какой длительности заболевания может наступить слепота. *Медико-биологические проблемы жизнедеятельности* 2014; 12(2):74-84. [Kuroyedov A.V., Avdeev R.V., Alexandrov A.S., Bakunina N.A., Basinsky A.S., Blyum E.A., Brezhnev A.Yu. et al. Primary open-angle glaucoma: at what age and at what disease duration blindness can occur. *Medical and biological problems of life activity* 2014; 2(12):74-84. (In Russ.)].
21. Авдеев Р.В., Александров А.С., Бакунина Н.А., Басинский А.С., Блюм Е.А., Брежнев А.Ю. и др. Прогнозирование продолжительности сроков заболевания и возраста пациентов с разными стадиями первичной открытоугольной глаукомы. *Национальный журнал глаукома* 2014; 13(2):60-69. [Avdeev R.V., Alexandrov A.S., Bakunina N.A., Basinsky A.S., Blyum E.A., Brezhnev A.Yu. et al. Prediction of disease duration and age of patients with different primary open-angle glaucoma changes. *Natsional'nyi zhurnal glaucoma* 2014; 13(2):60-69. (In Russ.)].
22. Куроедов А.В., Авдеев Р.В., Александров А.С., Бакунина Н.А., Басинский А.С., Блюм Е.А., Брежнев А.Ю. и др. Предполагаемый возраст пациентов и период болезни для проведения интенсивных лечебно-профилактических манипуляций при первичной глаукоме. *Офтальмология Востока Европа* 2014; 22(3):60-71. [Kuroyedov A.V., Avdeev R.V., Alexandrov A.S., Bakunina N.A., Basinsky A.S., Blyum E.A., Brezhnev A.Yu. et al. Projected age of patients and disease duration for intensive therapeutic and prophylactic actions in primary glaucoma. *Oftalmologia Vostochnaya Evropa* 2014; 3(22):60-71. (In Russ.)].
23. Авдеев Р.В., Александров А.С., Бакунина Н.А., Басинский А.С., Блюм Е.А., Брежнев А.Ю. и др. Модель манифестирования и исходов первичной открытоугольной глаукомы. *Клиническая медицина* 2014; 92(12):64-72. [Avdeev R.V., Alexandrov A.S., Bakunina N.A., Basinsky A.S., Blyum E.A., Brezhnev A.Yu. et al. A model of primary open-angle glaucoma: manifestations and outcomes. *Klinicheskaya meditsina* 2014; 92(12):64-72. (In Russ.)].
24. Куроедов А.В., Брежнев А.Ю., Александров А.С. Как понизить уровень внутриглазного давления на 30% у пациентов с глаукомой (обзор литературы). *Военно-медицинский журнал* 2009; 330(6):40-46. [Kuroyedov A.V., Brezhnev A.Yu., Alexandrov A.S. Principles of reduction of ophthalmotonous pressure by 30% in patients with glaucoma (Review of literature). *Voen Med Zh* 2009; 330(6):40-46. (In Russ.)].
25. Куроедов А.В., Брежнев А.Ю., Александров А.С., Огородникова В.Ю. Принципы лечения начальной стадии глаукомы: хирургия против терапии (обзор литературы). *Военно-медицинский журнал* 2011; 332(5):28-35. [Kuroyedov A.V., Brezhnev A.Yu., Alexandrov A.S., Ogorodnikova V.Yu. Principles of mild glaucoma treatment: Surgery vs. Therapy (Review of literature). *Voen Med Zh* 2011; 332(5):28-35. (In Russ.)].
26. Бубнова И.А., Антонов А.А., Новиков И.А., Суханова Е.В., Петров С.Ю., Аветисов К.С. Сравнение различных показателей ВГД у пациентов с измененными биомеханическими свойствами роговицы. *Глаукома* 2011; 10(1):12-16. [Bubnova I.A., Antonov A.A., Novikov I.A., Suhanova E.V., Petrov S.Y., Avetisov K.S. Comparison of some IOP indices in patients with changed biomechanical properties of cornea. *Glaucoma* 2011; 10(1):12-16. (In Russ.)].
27. Аветисов С.Э., Мамиконян В.Р. Кераторефракционная хирургия. М.: Полигран, 1993; 120 с. [Avetisov S.E., Mamikonyan V.R. Keratorefrakcionnaja hirurgija [Keratorefractive surgery]. Moscow, Poligran Publ., 1993; 120 p. (In Russ.)].
28. Pallikaris I. G., Papatzanaki M.E., Stathi E., Frenschock O., Georgiadis A. Laser In Situ Keratomileusis. *Lasers Surg Med* 1990; 10:463-468.
29. Sato T. Posterior incision of cornea; surgical treatment for conical cornea and astigmatism. *Am J Ophthalmol* 1950; 33(6): 943-948.
30. Barraquer J.I. Keratomileusis. *International surgery* 1967; 48(2):103-117.
31. Swinger C.A., Cassiday K.J., Cassiday D. Planar lamellar refractive keratoplasty. *J Refract Surg* 1986; 2:17-24.
32. Krwawicz T. Lamellar corneal stromectomy for the operative treatment of myopia. A Preliminary Report. *Am J Ophthalmol* 1964; 57:828-833.
33. Беляев В.С. Использование роговицы плода для рефракционной кератопластики. *Вестник офтальмологии* 1972; 6:47-51. [Belaev V.S. The use of fetal cornea for refractive keratoplasty. *Vestn Oftalmol* 1972; 6:47-51. (In Russ.)].
34. Животовский Д.С. Изменение рефракции глаза в результате имплантации внутрироговичных пластмассовых линз в эксперименте и в клинике. *Вестник офтальмологии* 1972(2). [Givotovskiy D.S. Changing the eye refraction as a result of intracorneal plastic lenses implantation in the experiment and in the clinic. *Vestn Oftalmol* 1972(2). (In Russ.)].
35. Pur S., Sefcikova, F., Prispivek K. Operativni lecbe kratkozakosti. *Ces ophthalmol* 1957; 1:69-74.
36. Burratto L., Ferrari M., Rama P. Excimer laser intrastromal keratomileusis. *Am J Ophthalmol* 1992; 114:51-54.
37. Краснов М.М., Мамиконян В.Р. Кератоэпителиомилез — новый способ хирургической коррекции миопии. *Вестник офтальмологии* 1990; 3:14-15. [Krasnov M.M., Mamikonyan V.R. Keratoepiteliomileusis — a new method of surgical correction of myopia. *Vestn Oftalmol* 1990; 3:14-15. (In Russ.)].
38. Ehrlich M.I., Nordan L.T. Epikeratophakia for the treatment of hyperopia. *J Cataract Res* 1990(149).
39. Shah S., Sebai Sarhan A.R., Doyle S.J. The epithelial flap for photorefractive keratotomy. *Br J Ophthalmol* 2001; 85: 393-396.
40. Marchall J. T.S., Rothery S., Kruger R. Phothorefractive Keratectomy. *Laser in Ophthalmology* 1986.
41. Minarik K.R. Correction vision after RK. *Optom Manage* 1995; 6(30):34-36.
42. Аветисов С.Э., Будзинская М.В., Казарян Э.Э., Гурова И.В. Диагностическое значение прижизненной морфометрии сетчатки у пациентов с субретинальной неоваскуляризацией. *Вестник офтальмологии* 2007; 123(1):3-7. [Avetisov S.E.,

- Budzinskaia M.V., Kazarian E.E., Gurova I.V. Diagnostic value of lifetime retinal morphometry in patients with subretinal neovascularization. *Vestn Oftalmol* 2007; 123(3):26-28. (In Russ.).
43. Аветисов С.Э., Липатов Д.В., Федоров А.А. Морфологические изменения при несостоятельности связочного аппарата хрусталика. *Вестник офтальмологии* 2002; 118(4): 22-23. [Avetisov S.E., Lipatov D.V., Fedorov A.A. Morphological changes in failure of the lenticular ligamentous-capsular system. *Vestn Oftalmol* 2002; 118(4):22-23. (In Russ.)].
  44. Володин Н.Н., Дегтярев Д.Н., Байбарина Е.Н., Аветисов С.Э., Сидоренко Е.И., Сдобникова С.В., Асташева И.Б., Кафарская К.О. Принципы профилактики, диагностики и лечения ретинопатии недоношенных детей. *Вопросы гинекологии, акушерства и перинатологии* 2003; 2(4):43-48. [Avetisov S.E., Degtjarev D.N., Bajbarina E.N., Avetisov S.Je., Sidorenko E.I., Sdobnikova S.V., Astasheva I.B., Kafarskaja K.O. The principles of prevention, diagnostics and treatment of retinopathy of prematurity. *Questions on Obstetrics, Gynecology and Perinatology* 2003; 2(4):43-48. (In Russ.)].
  45. Аветисов С.Э., Харлап С.И., Насникова И.Ю., Круглова Е.В., Акопян В.С., Харлап Г.В. Трехмерная компьютерная сонография в определении сосудистой системы глаза и орбиты. Сообщение 1. Методический подход и принципы анализа результатов исследования. *Вестник офтальмологии* 2003; 119(4):39-42. [Avetisov S.E., Kharlap S.I., Nasnikova I.Iu., Kruglova E.V., Akopian V.S., Kharlap G.V. Three-dimensional computerized sonography in evaluation of the vascular system of the eye and orbit. I. Methodological approach and principles of analysis of results. *Vestn Oftalmol* 2003; 119(4):39-42. (In Russ.)].
  46. Аветисов С.Э., Харлап С.И. Ультразвуковой пространственный анализ состояния глаза и орбиты. *Российский офтальмологический журнал* 2008; 1(1):10-16. [Avetisov S.E., Kharlap S.I. Ultrasound dimensional analysis of the state of the eye and orbit. *Russian Ophthalmological J* 2008; 1(1):10-16. (In Russ.)].
  47. Barraquer J.I. Method for cutting lamellar grafts in frozen corneas: new orientations for refractive surgery. *Arch Soc Am Ophthalmol* 1958; 1:237.
  48. Trockel S.L. Evolution of excimer laser corneal surgery. *J Cataract Refract Surg* 1989; 15:373-381.
  49. Gartry D.S., Kerr Muir M.G., Marshall J. Photorefractive keratectomy with an argon fluoride excimer laser: a clinical study. *Refract Corneal Surg* 1991; 7(6):420-435.
  50. Pallikaris I.G., Papatzanaki M.E., Siganos D.S., Tsilimbaris M.K. A corneal flap technique for laser in situ keratomileusis. Human studies. *Arch Ophthalmol* 1991; 109(12):1699-1702.
  51. Camellin M. LASEK may offer the advantages of both LASIK and PRK. *Ocul Surg News Int* 1999; 3:14-15.
  52. Azar D.T., Ang R.T., Lee J.B., Kato T. et al. Laser subepithelial keratomileusis: electron microscopy and visual outcomes of flap photorefractive keratectomy. *Curr Opin Ophthalmol* 2001; 12(4):323-328.
  53. Taneri S., Zieske J.D., Azar D.T. Evolution, techniques, clinical outcomes, and pathophysiology of LASEK: review of the literature. *Surv Ophthalmol* 2004; 49(6):576-602. doi:10.1016/j.survophthal.2004.08.003.
  54. Аветисов С.Э., Казарян Э.Э., Мамиконян В.Р., Шелудченко В.М., Литвак И.И., Богачев К.А. и др. Результаты комплексной оценки аккомодативной астенопатии при работе с видеомониторами различной конструкции. *Вестник офтальмологии* 2004; 120(3):38-40. [Avetisov S.E., Kazarian E.E., Mamikonian V.R., Sheludchenko V.M., Litvak I.I., Volachev K.A. et al. Results of a complex evaluation of accommodative asthenopia in using different-design video monitors. *Vestn Oftalmol* 2004; 120(3):38-40. (In Russ.)].
  55. Аветисов С.Э. Современные аспекты коррекции рефракционных нарушений. *Вестник офтальмологии* 2004; 120(1): 19-22. [Avetisov S.E. Current aspects of refractive disorders correction. *Vestn Oftalmol* 2004; 120(1):19-22. (In Russ.)].
  56. Аветисов С.Э. Современные подходы к коррекции рефракционных нарушений. *Вестник офтальмологии* 2006; 122(1):3-8. [Avetisov S.E. Current approaches to correcting refractive disorders. *Vestn Oftalmol* 2006; 122(1):3-8. (In Russ.)].
  57. Trokel S.L. S.R., Braren B.A. Excimer laser surgery of cornea. *Am J Ophthalmol* 1983 (96):710-715.
  58. Au J.D., Krueger R.R. Optimized femto-LASIK maintains pre-existing spherical aberration independent of refractive error. *J Refract Surg* 2012; 28(11 Suppl):S821-825.
  59. Nordan L.T., Slade S.G., Baker R.N., Suarez C., Juhasz T., Kurtz R. Femtosecond laser flap creation for laser in situ keratomileusis: six-month follow-up of initial U.S. clinical series. *J Refract Surg* 2003; 19(1):8-14.
  60. Ang M., Tan D., Mehta J.S. Small incision lenticule extraction (SMILE) versus laser in-situ keratomileusis (LASIK): study protocol for a randomized, non-inferiority trial. *Trials* 2012; 13:75. doi:10.1186/1745-6215-13-75.
  61. Sekundo W., Kunert K., Russmann C., Gille A. et al. First efficacy and safety study of femtosecond lenticule extraction for the correction of myopia: six-month results. *J Cataract Refract Surg* 2008; 34(9):1513-1520. doi:10.1016/j.jcrs.2008.05.033.
  62. Blum M., Kunert K., Schroder M., Sekundo W. Femtosecond lenticule extraction for the correction of myopia: preliminary 6-month results. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2010; 248(7):1019-1027. doi:10.1007/s00417-009-1293-1.
  63. Аветисов С.Э., Еричев В.П., Антонов А.А. Транспальпебральная тонометрия: сравнительная оценка. *Глаукома* 2010 (3):42-45. [Avetisov S.E., Erichev V.P., Antonov A.A. Transpalpebral tonometry: comparative assessment. *Glaucoma* 2010; 3:42-45. (In Russ.)].
  64. Queiros A., Gonzalez-Mejjome J.M., Fernandes P., Jorge J. et al. Technical note: a comparison of central and peripheral intraocular pressure using rebound tonometry. *Ophthalmic Physiol Opt* 2007; 27(5):506-511. doi:10.1111/j.1475-1313.2007.00508.x.
  65. Zadok D., Tran D.B., Twa M., Carpenter M., Schanzlin D.J. Pneumotonometry versus Goldmann tonometry after laser in situ keratomileusis for myopia. *J Cataract Refract Surg* 1999; 25(10):1344-1348.
  66. Маклаков А.Н. Офтальмология. Медицинское обозрение. 1884; 22(24):1092-1096. [Maklavov. A.N. *Ophthalmology. Meditsinskoe obozrenie* 1884; 22(24):1092-1096. (In Russ.)].
  67. Inglima R. Maklavov applanation tonometry: the use of a measuring magnifier to increase the accuracy of measurement. *Eye, ear, nose & throat monthly* 1963; 42:62-65.
  68. Posner A. An evaluation of the Maklavov applanation tonometer. *Eye, ear, nose & throat monthly* 1962; 41:377-378.
  69. Goldmann H., Schmidt T. Applanation tonometry. *International J Ophthalmol* 1957; 134(4):221-242.
  70. Previte L.R., Burriss J.E., Jr., Carter V., Jr., Carol B. Halberg Hand Applanation Tonometer: statistical analysis of tonometry with Goldmann, Halberg and Schiottz tonometers on 2,000 eyes. *Ann Ophthalmol* 1974; 6(6):567-570.
  71. Lavalley R., Grolman B. Non-contact tonometer. United States Patent 3756073. 1971.
  72. Sagan W., Schwaderer K. Non-contact tonometry by assistants. *Am J Optometry Physiol Optics* 1975; 52(4):288-290.
  73. Kanngiesser H.E., Robert Y.C. Dynamic contour tonometry. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2002; 43:301.
  74. Kanngiesser H.E., Kniestedt C., Robert Y.C. Dynamic contour tonometry: presentation of a new tonometer. *J Glaucoma* 2005; 14(5):344-350.

75. Siganos D.S., Papastergiou G.I., Moedas C. Assessment of the Pascal dynamic contour tonometer in monitoring intraocular pressure in unoperated eyes and eyes after LASIK. *J Cataract Refract Surg* 2004; 30(4):746-751. doi:10.1016/j.jcrs.2003.12.033.
76. Detry-Morel M., Jamart J., Pourjavan S. Evaluation of corneal biomechanical properties with the Reichert Ocular Response Analyzer. *Eur J Ophthalmol* 2011; 21(2):138-148.
77. Luce D.A. Determining in vivo biomechanical properties of the cornea with an ocular response analyzer. *J Cataract Refract Surg* 2005; 31(1):156-162. doi:10.1016/j.jcrs.2004.10.044.
78. Sullivan-Mee M., Billingsley S.C., Patel A.D., Halverson K.D., Alldredge B.R., Qualls C. Ocular Response Analyzer in subjects with and without glaucoma. *Optom Vis Sci* 2008; 85(6):463-470. doi:10.1097/OPX.0b013e3181784673.
79. Kontiola A.I., Goldblum D., Mittag T., Danias J. The induction/impact tonometer: a new instrument to measure intraocular pressure in the rat. *Exp Eye Res* 2001; 73(6):781-785. doi:10.1006/exer.2001.1088.
80. Kontiola A.I. A new induction-based impact method for measuring intraocular pressure. *Acta Ophthalmol Scand* 2000; 78(2):142-145.
81. Muttuvelu D.V., Baggesen K., Ehlers N. Precision and accuracy of the ICare tonometer — peripheral and central IOP measurements by rebound tonometry. *Acta Ophthalmol* 2012; 90(4):322-326. doi:10.1111/j.1755-3768.2010.01987.x.
82. Gonzalez-Mejome J.M., Jorge J., Queiros A., Fernandes P. et al. Age differences in central and peripheral intraocular pressure using a rebound tonometer. *Br J Ophthalmol* 2006; 90(12):1495-1500. doi:10.1136/bjo.2006.103044.
83. Yamashita T., Miki A., Ieki Y., Kiryu J., Yaoeda K., Shirakashi M. Central and peripheral intraocular pressure measured by a rebound tonometer. *Clin Ophthalmol* 2011; 5:1113-1118. doi:10.2147/OPHT.S23143.
84. Abraham L.M., Epasinghe N.C., Selva D., Casson R. Comparison of the ICare rebound tonometer with the Goldmann applanation tonometer by experienced and inexperienced tonometrists. *Eye (Lond)* 2008; 22(4):503-506. doi:10.1038/sj.eye.6702669.
85. Guler M., Bilak S., Bilgin B., Simsek A., Capkin M., Hakim Reyhan A. Comparison of intraocular pressure measurements obtained by Icare PRO Rebound Tonometer, Tomey FT-1000 Noncontact Tonometer, and Goldmann Applanation Tonometer in healthy subjects. *J Glaucoma* 2014. doi:10.1097/IJG.0000000000000132.
86. Vandewalle E., Vandebroek S., Stalmans I., Zeyen T. Comparison of ICare, dynamic contour tonometer, and ocular response analyzer with Goldmann applanation tonometer in patients with glaucoma. *Eur J Ophthalmol* 2009; 19(5):783-789.
87. Shivitz I.A., Arrowsmith P.N., Russell B.M. Contact lenses in the treatment of patients with overcorrected radial keratotomy. *Ophthalmology* 1987; 94(8):899-903.
88. Lindstrom R.L. Surgical correction of postoperative astigmatism. *Indian J Ophthalmol* 1990; 38(3):114-123.
89. Waring G.O., Carter J.T. Recent developments in radial keratotomy. *The Western J Medicine* 1990; 153(2):186.
90. Lindquist T.D., Williams P.A., Lindstrom R.L. Surgical treatment of overcorrection following radial keratotomy: evaluation of clinical effectiveness. *Ophthalmic Surg* 1991; 22(1):12-15.
91. Sastry S.M., Spurduto R.D., Waring G.O., 3rd, Remaley N.A. et al. Radial keratotomy does not affect intraocular pressure. *Refract Corneal Surg* 1993; 9(6):459-464.
92. Kohlhaas M., Lerche R., Draeger J., Klemm M., Ehlers M., Kohlhaas R-Ch. The influence of corneal thickness and corneal curvature on tonometry readings after corneal refractive surgery. *J Implant Ref Surg* 1995 (7):84-88.
93. Faucher A., Gregoire J., Blondeau P. Accuracy of Goldmann tonometry after refractive surgery. *J Cataract Refract Surg* 1997; 23(6):832-838.
94. Sadigh A.L., Fouladi R.F., Hashemi H., Beheshtnejad A.H. A comparison between Goldmann applanation tonometry and dynamic contour tonometry after photorefractive keratectomy. *Graefe's Arch Clin Exp Ophthalmol* 2013; 251(2):603-608. doi:10.1007/s00417-012-2142-1.
95. Emara B., Probst L.E., Tingey D.P., Kennedy D.W., Willms L.J., Machat J. Correlation of intraocular pressure and central corneal thickness in normal myopic eyes and after laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg* 1998; 24(10):1320-1325.
96. Faucher A., Gregoire J., Blondeau P. Accuracy of Goldmann tonometry after refractive surgery. *J Cataract Refract Surg* 1997(23):832-838.
97. Aristeidou A.P., Labiris G., Katsanos A., Fanariotis M., Foudoulakis N.C., Kozobolis V.P. Comparison between Pascal dynamic contour tonometer and Goldmann applanation tonometer after different types of refractive surgery. *Graefe's Arch Clin Exp Ophthalmol* 2011; 249(5):767-773. doi:10.1007/s00417-010-1431-9.
98. Mark H.H. Corneal curvature in applanation tonometry. *Am J Ophthalmol* 1973; 76(2):223-224.
99. Munger R., Hodge W.G., Mintsoulis G., Agapitos P.J., Jackson W.B., Damji K.F. Correction of intraocular pressure for changes in central corneal thickness following photorefractive keratectomy. *Can J Ophthalmol* 1998; 33(3):159-165.
100. Rosa N., Cennamo G., Breve M.A., La Rana A. Goldmann applanation tonometry after myopic photorefractive keratectomy. *Acta Ophthalmol Scand* 1998; 76(5):550-554.
101. Gimeno J.A., Munoz L.A., Valenzuela L.A., Molto F.J., Rahhal M.S. Influence of refraction on tonometric readings after photorefractive keratectomy and laser assisted in situ keratomileusis. *Cornea* 2000; 19(4):512-516.
102. Montes-Mico R., Charman W.N. Intraocular pressure after excimer laser myopic refractive surgery. *Ophthalmic Physiological Optics* 2001; 21(3):228-235.
103. Tamburrelli C., Giudiceandrea A., Vaiano A.S., Caputo C.G., Gulla F., Salgarello T. Underestimate of tonometric readings after photorefractive keratectomy increases at higher intraocular pressure levels. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2005; 46(9):3208-3213. doi:10.1167/iovs.04.1240.
104. Michele V., Anna M., Paolo F., Giuseppina C. Intraocular pressure measurement after photorefractive keratectomy: does contact area matter? *J Clin Exper Ophthalmol* 2010; 1(1):1-5.
105. Cennamo G., Rosa N., La Rana A., Bianco S., Sebastiani A. Non-contact tonometry in patients that underwent photorefractive keratectomy. *Ophthalmologica J International* 1997; 211(6):341-343.
106. Abbasoglu O.E., Bowman R.W., Cavanagh H.D., McCulley J.P. Reliability of intraocular pressure measurements after myopic excimer photorefractive keratectomy. *Ophthalmology* 1998; 105(12):2193-2196. doi:10.1016/S0161-6420(98)91215-5.
107. Garzosi H.J., Chung H.S., Lang Y., Kagemann L., Harris A. Intraocular pressure and photorefractive keratectomy: a comparison of three different tonometers. *Cornea* 2001; 20(1):33-36.
108. Pepose J.S., Feigenbaum S.K., Qazi M.A., Sanderson J.P., Roberts C.J. Changes in corneal biomechanics and intraocular pressure following LASIK using static, dynamic, and non-contact tonometry. *Am J Ophthalmol* 2007; 143(1):39-47. doi:10.1016/j.ajo.2006.09.036.
109. Schipper I., Senn P., Thomann U., Suppiger M. Intraocular pressure after excimer laser photorefractive keratectomy for myopia. *J Refract Surg* 1995; 11(5):366-370.

110. Chatterjee A., Shah S., Bessant D.A., Naroo S.A., Doyle S.J. Reduction in intraocular pressure after excimer laser photorefractive keratectomy. Correlation with pretreatment myopia. *Ophthalmology* 1997; 104(3):355-359.
111. Mardelli P.G., Piebenga L.W., Whitacre M.M., Siegmund K.D. The effect of excimer laser photorefractive keratectomy on intraocular pressure measurements using the Goldmann applanation tonometer. *Ophthalmology* 1997; 104(6):945-948; discussion 949.
112. Fournier A.V., Podtetenev M., Lemire J., Thompson P. et al. Intraocular pressure change measured by Goldmann tonometry after laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg* 1998; 24(7):905-910.
113. Аветисов С.Э., Петров С.Ю., Бубнова И.А., Аветисов К.С. Возможное влияние толщины роговицы на показатель внутриглазного давления. В сб.: Современные методы диагностики и лечения заболеваний роговицы и склеры. М.; 2007: 240-242. [Avetisov S.E., Petrov S.Yu., Bubnova I.A., Avetisov K.S. Possible influence of corneal thickness on intraocular pressure measurement. In: Modern methods of diagnosis and treatment of diseases of the cornea and sclera]. Moscow; 2007: 240-242. (In Russ).]
114. Hornova J., Sedlak P., Hlouskova B. Refractive procedures — LASIK and intraocular pressure in myopic eyes. *Ceska a slovenska oftalmologie* 2000; 56(2):98-103.
115. 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.
116. Gunvant P., O'Leary D.J., Baskaran M., Broadway D.C., Watkins R.J., Vijaya L. Evaluation of tonometric correction factors. *J Glaucoma* 2005; 14(5):337-343.
117. Kohlhaas M., Spoerl E., Boehm A.G., Pollack K. A correction formula for the real intraocular pressure after LASIK for the correction of myopic astigmatism. *J Refract Surg* 2006; 22(3):263-267.
118. Lee D.H., Seo S., Shin S.C., Chung E.H., Turner T.T. Accuracy and predictability of the compensatory function of Orbscan II in intraocular pressure measurements after laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg* 2002; 28(2):259-264.
119. Kniestedt C., Kanngiesser H., Stamper R.L. Assessment of Pascal dynamic contour tonometer in monitoring IOP after LASIK. *J Cataract Refract Surg* 2005; 31(3):458-459. doi:10.1016/j.jcrs.2005.02.021.
120. Аветисов С.Э., Петров С.Ю., Бубнова И.А., Антонов А.А., Аветисов К.С. Влияние центральной толщины роговицы на результаты тонометрии (обзор литературы). *Вестник офтальмологии* 2008; 124(5):1-7. [Avetisov S.E., Petrov S.Yu., Bubnova I.A., Antonov A.A. Avetisov K.S. Impact of the central thickness of the cornea on the results of tonometry (a review of literature). *Vestn Ophthalmol* 2008; 124(5):1-7. (In Russ.)].
121. Qazi M.A., Sanderson J.P., Mahmoud A.M., Yoon E.Y., Roberts C.J., Pepose J.S. Postoperative changes in intraocular pressure and corneal biomechanical metrics Laser in situ keratomileusis versus laser-assisted subepithelial keratectomy. *J Cataract Refract Surg* 2009; 35(10):1774-1788. doi:10.1016/j.jcrs.2009.05.041.
122. Han K.E., Kim H., Kim N.R., Jun I., Kim E.K., Kim T.I. Comparison of intraocular pressures after myopic laser-assisted subepithelial keratectomy: tonometry-pachymetry, Goldmann applanation tonometry, dynamic contour tonometry, and noncontact tonometry. *J Cataract Refract Surg* 2013; 39(6):888-897. doi:10.1016/j.jcrs.2013.01.035.
123. Svedberg H., Chen E., Hamberg-Nystrom H. Changes in corneal thickness and curvature after different excimer laser photorefractive procedures and their impact on intraocular pressure measurements. *Graefe's Arch Clin Exp Ophthalmol* 2005; 243(12):1218-1220. doi:10.1007/s00417-005-0072-x.
124. Kirwan C., O'Keefe M. Measurement of intraocular pressure in LASIK and LASEK patients using the Reichert Ocular Response Analyzer and Goldmann applanation tonometry. *J Refract Surg* 2008; 24(4):366-370.
125. Shemesh G., Soiberman U., Kurtz S. Intraocular pressure measurements with Goldmann applanation tonometry and dynamic contour tonometry in eyes after IntraLASIK or LASEK. *Clin Ophthalmol* 2012; 6:1967-1970. doi:10.2147/OPTH.S38094.

Поступила 17.03.2015