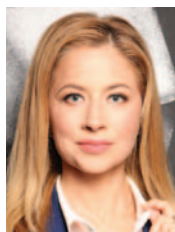
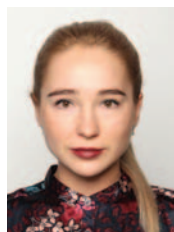


# Взаимосвязи между биомеханическими свойствами корнеосклеральной оболочки и морфометрическими показателями глаза у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой

Б.М. Азнабаев<sup>1</sup>А.Ш. Загидуллина<sup>1</sup>И.А. Лакман<sup>2</sup>Р.Р. Исламова<sup>2</sup>Р.Р. Саттарова<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет»  
ул. Ленина, 3, Уфа, 450000, Башкортостан, Российская Федерация

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»  
ул. К. Маркса, 12, Уфа, 450000, Башкортостан, Российская Федерация

<sup>3</sup> Центр лазерного восстановления зрения «Оптимед»  
ул. 50 лет СССР, 8, Уфа, 450059, Башкортостан, Российская Федерация

## РЕЗЮМЕ

Офтальмология. 2019;16(3):335–343

**Цель:** изучение взаимосвязи морфометрических показателей глаза и данных тонометрии с учетом вязкоэластических свойств роговицы у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой (ПОУГ), а также у практически здоровых лиц при использовании различных методов тонометрии. **Пациенты и методы.** Изучены взаимосвязи морфометрических показателей глаза и данных тонометрии с учетом вязкоэластических свойств роговицы у 51 пациента с ПОУГ (99 глаз), а также у практически здоровых 31 (62 глаза) лица. Были использованы различные методы тонометрии: тонометрия по Маклакову, бесконтактная тонометрия, тонометрия с помощью анализатора биомеханических свойств глаза Ocular Response Analyzer (ORA, Reichert Inc., США), а также ультразвуковая эхобиометрия, пахиметрия. **Результаты.** Показатели корнеального гистерезиса (НГ) и фактора резистентности роговицы (ФРП), отражающие биомеханические свойства корнеосклеральной оболочки глаза, были близки по значению между собой с высокой степенью положительной корреляции в группе контроля ( $\rho = 0,783$ ,  $p < 0,001$ ), со средней — в группе пациентов с ПОУГ ( $\rho = 0,545$ ,  $p < 0,001$ ). На глазах с ПОУГ установлена отрицательная средней силы связь НГ с роговично-компенсированным ВГД ( $\rho = -0,572$ ,  $p < 0,001$ ), отрицательная умеренной силы связь ФРП с ВГД по методу Маклакова ( $\rho = -0,346$ ,  $p < 0,001$ ) и роговично-компенсированным ВГД при динамической двунаправленной аппланационной тонометрии ( $\rho = -0,327$ ,  $p = 0,001$ ), низкая — с ВГД при бесконтактной тонометрии ( $\rho = 0,243$ ,  $p < 0,015$ ). В группе пациентов с ПОУГ установлена средней силы положительная корреляция центральной толщины роговицы с ФРП ( $\rho = 0,398$ ,  $p < 0,001$ ), с НГ ( $\rho = 0,368$ ,  $p < 0,001$ ), низкая — с ВГД при бесконтактной тонометрии ( $\rho = 0,266$ ,  $p = 0,008$ ). **Заключение.** Выявлены корреляционные взаимосвязи биомеханических свойств корнеосклеральной оболочки и морфометрических показателей глаза у пациентов с ПОУГ при использовании различных методов тонометрии. В группе пациентов с ПОУГ и у лиц контрольной группы определены положительные корреляции центральной толщины роговицы с уровнем ВГД при тонометрии бесконтактным методом, а также с основными параметрами ORA, отражающими вязкоэластические свойства фиброзной оболочки глаза — фактором резистентности роговицы, корнеальным гистерезисом.

**Ключевые слова:** первичная открытоугольная глаукома, тонометрия по Маклакову, бесконтактная тонометрия, динамическая двунаправленная аппланационная тонометрия, Ocular Response Analyzer, центральная толщина роговицы

**Для цитирования:** Азнабаев Б.М., Загидуллина А.Ш., Лакман И.А., Исламова Р.Р., Саттарова Р.Р. Взаимосвязи между биомеханическими свойствами корнеосклеральной оболочки и морфометрическими показателями глаза у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой. *Офтальмология*. 2019;16(3):335–343. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2019-3-335-343>

**Прозрачность финансовой деятельности:** Никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах

**Конфликт интересов отсутствует**



# Correlation of Corneoscleral Membrane Biomechanical Properties and Eye Morphometric Parameters in Patients with Primary Open-Angle Glaucoma

B.M. Aznabaev<sup>1</sup>, A.Sh. Zagidullina<sup>1</sup>, I.A. Lakman<sup>3</sup>, R.R. Islamova<sup>3</sup>, R.R. Sattarova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bashkir Federal State Medical University  
Lenin str., 3, Ufa, 450000, Russia

<sup>2</sup> Ufa Federal State Aviation Technical University  
K. Marx str., 12, Ufa, 450000, Russia

<sup>3</sup> ZAO "Optimedservis"  
50 let SSSR str., 8, Ufa, 450059, Russia

## ABSTRACT

**Ophthalmology in Russia. 2019;16(3):335–343**

**Purpose:** to study a correlation between morphometric parameters of the eye and tonometry data, taking into account viscoelastic properties of the cornea in patients with primary open-angle glaucoma (POAG), as well as in practically healthy individuals using different methods of tonometry. **Patients and Methods.** Correlations between morphometric parameters of the eye and tonometry data were studied in view of viscoelastic properties of the cornea in 51 patients with POAG who were observed at the "Optimed" Laser Vision Recovery Center in Ufa (99 eyes) and in 31 practically healthy individuals (62 eyes). Various methods of tonometry were used: tonometry according to Maklakov, contactless tonometry, tonometry with the Ocular Response Analyzer (ORA, Reichert Inc., USA), as well as ultrasound echobiometry, pachymetry. **Results.** The CH and CRF parameters reflecting the biomechanical properties of the corneoscleral membrane of the eye were close in value to each other with a high degree of positive correlation in the control group ( $\rho = 0.783$ ,  $p < 0.001$ ), with an average correlation in the group with POAG ( $\rho = 0.545$ ,  $p < 0.001$ ). In eyes with POAG, a negative CH correlation of average degree with corneal-compensated IOP ( $\rho = -0.572$ ,  $p < 0.001$ ), a negative CRF correlation of moderate degree with IOP by the Maklakov method ( $\rho = -0.346$ ,  $p < 0.001$ ) and corneal-compensated IOP with dynamic bi-directional applanation tonometry ( $\rho = -0.327$ ,  $p = 0.001$ ), low correlation with IOP using contactless tonometry ( $\rho = 0.243$ ,  $p < 0.015$ ) were observed. In the group of patients with POAG, a positive average correlation was found between the central thickness of the cornea and CRF ( $\rho = 0.398$ ,  $p < 0.001$ ), and CH ( $\rho = 0.368$ ,  $p < 0.001$ ), low correlation with IOP using contactless tonometry ( $\rho = 0.266$ ,  $p = 0.008$ ). **Conclusion.** Correlations of biomechanical properties of the corneoscleral membrane and morphometric parameters of the eye in patients with POAG were revealed using different methods of tonometry. In the group of patients with POAG and in the control group, positive correlations of the central thickness of the cornea with the IOP level in tonometry were determined by the contactless method, as well as with the main ORA parameters reflecting the visco-elastic properties of the fibrous membrane of the eye — the corneal resistance factor, corneal hysteresis.

**Keywords:** primary open-angle glaucoma, Maklakov tonometry, contactless tonometry, dynamic bi-directional applanation tonometry, Ocular Response Analyzer, central corneal thickness.

**For citation:** Aznabaev B.M., Zagidullina A.Sh., Lakman I.A., Islamova R.R., Sattarova R.R. Correlation of Corneoscleral Membrane Biomechanical Properties and Eye Morphometric Parameters in Patients with Primary Open-Angle Glaucoma. *Ophthalmology in Russia*. 2019;16(3):335–343. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2019-3-335-343>

**Financial Disclosure:** No author has a financial or property interest in any material or method mentioned

**There is no conflict of interests**

## АКТУАЛЬНОСТЬ

Известно, что состояние корнеосклеральной оболочки глаза играет немаловажную роль в возникновении и течении глаукомного процесса. Биомеханические свойства склеры влияют на деформацию решетчатой пластинки, формирование глаукомной экскавации диска зрительного нерва и скорость прогрессирующего ухудшения зрительных функций [1].

Параметры, характеризующие биомеханические свойства роговицы и склеры: состояние соединительной ткани глаза, гидратация роговицы, биоупругость, кривизна и центральная толщина роговицы (ЦТР), оказывают влияние на точность измерения ВГД [2]. Кроме того, важными источниками ошибок при тонометрии могут быть такие факторы, как астигматизм, направление взгляда обследуемого, компетентность и точность манипуляций обследующего, толщина слезной пленки [3, 4].

Появление нового метода исследования биомеханических свойств роговицы — динамической двунаправленной аппланационной тонометрии с помощью Ocular Response Analyzer (ORA, Reichert Inc., США) — позволяет определять важные показатели: корнеальный гистерезис (КГ) и фактор резистентности роговицы (ФРП), характеризующие вязкоупругие свойства роговицы, ВГД по Гольдману (ВГДг), а также роговично-компенсированное ВГД (ВГДрк), которое рассчитывается на основании полученных данных клинических измерений и в значительно меньшей степени зависит от свойств роговицы.

Актуальным является изучение основных показателей, характеризующих биомеханические свойства корнеосклеральной оболочки глаза в комплексе со значениями ЦТР и других морфометрических показателей глаза при первичной открытоугольной глаукоме (ПОУГ).

**Б.М. Азнабаев, А.Ш. Загидуллина, И.А. Лакман, Р.Р. Исламова, Р.Р. Саттарова**

Контактная информация: Загидуллина Айгуль Шамилевна [aigul.zagidullina@gmail.com](mailto:aigul.zagidullina@gmail.com)

**Взаимосвязи между биомеханическими свойствами корнеосклеральной оболочки и ...**

**Цель** исследования — изучение взаимосвязи морфометрических показателей глаза и данных тонометрии с учетом вязкоэластических свойств роговицы у пациентов с ПОУГ, а также у практически здоровых лиц при использовании различных методов тонометрии.

## ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

Под нашим наблюдением в Центре лазерного восстановления зрения «Оптимед», г. Уфа, находился 51 пациент с ПОУГ начальной и развитой стадии (99 глаз) в возрасте от 48 до 82 лет (в среднем 64,31 года). Женщины составили 60,8 %, мужчины — 39,2 %. Глаукома начальной стадии диагностирована на 45 (45,5 %) глазах, развитой — на 57 (57,6 %). Из сопутствующих глазных заболеваний незрелая возрастная катаракта диагностирована на 56 (56,6 %), миопия слабой степени — на 18 (18,2 %), гиперметропия слабой степени — на 19 (19,2 %) глазах.

Контрольную группу составило 31 (62 глаза) соматически здоровое лицо без офтальмопатологии, из них 67,7 % женщин и 32,2 % мужчин в возрасте от 47 до 83 лет (в среднем 63,5 года). Незрелая возрастная катаракта диагностирована на 34 (54,8 %), миопия слабой степени — на 11 (17,7 %), гиперметропия слабой степени — на 13 (22,5 %) глазах. Контрольная группа была сопоставима по возрасту и полу с группой ПОУГ.

В исследование не вошли пациенты с аномалиями рефракции: астигматизм выше 2,0Д, миопия и гиперметропия средней и высокой степени, аметропия высокой степени (более 6 дптр, астигматизм более 2,5 дптр, острота зрения менее 0,1), выраженным помутнением оптических сред глаза, в том числе с патологическими изменениями роговицы, патологией зрительного нерва не глаукомного генеза, а также лица с хроническими аутоиммунными заболеваниями, сахарным диабетом, системными заболеваниями, острыми нарушениями мозгового кровообращения в анамнезе. Всем лицам, находящимся под нашим наблюдением, хирургические или лазерные вмешательства

на глазах ранее не проводились. Во всех случаях диагноз ПОУГ был установлен впервые.

У обследуемых лиц были выполнены стандартные офтальмологические исследования: визометрия, тонометрия по Маклакову (ВГДм), бесконтактная тонометрия (ВГДбк), рефрактометрия, биомикроскопия, офтальмоскопия, гониоскопия, стандартная автоматическая периметрия. В комплекс специальных методов исследования были включены ультразвуковая эхобиометрия для измерения передне-задней оси глаза (ПЗО), пахиметрия для определения центральной толщины роговицы (ЦТР), а также тонометрия с помощью анализатора биомеханических свойств глаза Ocular Response Analyzer (ORA, Reichert Inc., США), с помощью которого определяли: ВГД по Гольдману (ВГДг), роговично-компенсированное ВГД (ВГДрк), корнеальный гистерезис (КГ), фактор резистентности роговицы (ФРР). Участие пациентов в исследовании было подтверждено их письменным согласием.

Статистическая обработка полученного материала была проведена при помощи программы IBM SPSS Statistics v.21. с применением стандартных методов описательной статистики с вычислением критерия достоверности, уровня значимости отклонения нулевой гипотезы и критерия  $\rho$  Спирмена ранговой корреляции. Использовали критерий равенства средних для независимых выборок при отсутствии предположения о равенстве дисперсий, что подтверждалось критерием Ливиня при уровне значимости  $p < 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Средние значения клинических и тонометрических показателей основной и контрольной группы приведены в таблице 1.

Средние значения тонометрических показателей (при бесконтактной тонометрии, тонометрии по Маклакову и тонометрии с помощью анализатора биомеханических свойств глаза ORA) в группе пациентов с ПОУГ

**Таблица 1.** Характеристика лиц с ПОУГ и без глаукомы,  $M \pm \sigma$

**Table 1.** Characteristics of individuals with POAG and without glaucoma,  $M \pm \sigma$

Показатели/Parameters	ПОУГ/POAG (n = 99)	Контроль (n = 62) / Control group	Достоверность различий в сравнении с контролем, p
Возраст, лет / Age	64,510 ± 0,976	63,530 ± 1,067	p > 0,05
Острота зрения с коррекцией / Visual acuity with correction	0,793 ± 0,024**	0,920 ± 0,021	p < 0,001
ВГДбк, мм рт. ст. / NCT, mmHg	22,000 ± 0,351**	16,606 ± 0,361	p < 0,001
ВГДм, мм рт. ст. / IOPm, mmHg	27,120 ± 0,366**	20,859 ± 0,304	p < 0,001
ЦТР, мкм / CCT, $\mu$ m	546,980 ± 3,783	549,730 ± 3,394	p > 0,05
ПЗО, мм / Ant-post distance, mm	23,643 ± 0,115	23,503 ± 0,103	p > 0,05
ВГДг, мм рт. ст. / IOP-ORAg, mmHg	22,566 ± 0,419**	15,994 ± 0,299	p < 0,001
ВГДрк, мм рт. ст. / IOP-ORAcc, mmHg	24,080 ± 0,449**	17,484 ± 0,272	p < 0,001
КГ / CH	8,786 ± 0,151**	10,431 ± 0,162	p < 0,001
ФРР / CRF	9,166 ± 0,156**	10,827 ± 0,217	p < 0,001

Примечания: \* — достоверность различий по сравнению с контролем ( $p < 0,05$ ); \*\* — достоверность различий по сравнению с контролем ( $p < 0,001$ ).  
Notes: \* — reliability of differences in comparison with the control group ( $p < 0,05$ ); \*\* — reliability of differences compared to the control group ( $p < 0,001$ )

достоверно отличались от показателей контрольной группы ( $p < 0,001$ ). По параметрам центральной толщины роговицы и ПЗО разница не была достоверной, хотя в среднем ЦТР и размер глаза в группе контроля превышали значения в группе с ПОУГ. В группах пациентов с ПОУГ и лиц без глаукомы установлены достоверные различия параметров КГ и ФРР, отражающих вязкоэластические свойства фиброзной оболочки глаза.

Корреляционные связи средних значений клинических и тонометрических показателей у лиц контрольной группы (на глазах без глаукомы) приведены в таблице 2.

У пациентов без глаукомы прослеживалась достоверная положительная связь умеренной силы уровня роговично-компенсированного ВГД с возрастом ( $p = 0,413$ ,  $p = 0,001$ ). Обратная связь низкой силы установлена между возрастом и показателями КГ и ФРР ( $p = -0,261$ ,  $p = 0,038$  и  $p = -0,340$ ,  $p = 0,006$  соответственно).

Кроме того, на глазах без глаукомы определена достоверная положительная умеренной силы корреляционная ранговая зависимость между ВГД при бесконтактной тонометрии и показателями: КГ ( $p = 0,474$ ,  $p < 0,001$ ), роговично-компенсированным ВГД ( $p = 0,422$ ,  $p < 0,001$ ), а также положительная связь средней силы с ВГД по Гольдману ( $p = 0,667$ ,  $p < 0,001$ ), сильная — с ФРР ( $p = 0,718$ ,  $p < 0,001$ ), а также с уровнем ВГД по Маклакову ( $p = 0,896$ ,  $p < 0,001$ ).

Достоверная положительная умеренной силы связь установлена между ВГД по Маклакову и показателями: КГ ( $p = 0,354$ ,  $p < 0,001$ ), роговично-компенсированным ВГД ( $p = 0,391$ ,  $p < 0,001$ ), а также положительная сред-

ней силы связь с уровнем ВГД по Гольдману ( $p = 0,565$ ,  $p < 0,001$ ), ФРР ( $p = 0,573$ ,  $p < 0,001$ ).

Между ФРР и ВГД по Гольдману установлена достоверная положительная умеренной силы корреляционная ранговая зависимость ( $p = 0,494$ ,  $p < 0,001$ ). Сильная положительная связь отмечена между КГ и ФРР ( $p = 0,783$ ,  $p < 0,001$ ), а также между ВГД по Гольдману и роговично-компенсированным ВГД ( $p = 0,786$ ,  $p < 0,001$ ).

Выявлена достоверная положительная умеренной силы корреляционная ранговая зависимость между ЦТР и показателями ВГД по Гольдману ( $p = 0,373$ ,  $p = 0,002$ ), КГ ( $p = 0,375$ ,  $p = 0,002$ ), с уровнем ВГД при бесконтактной тонометрии ( $p = 0,409$ ,  $p = 0,001$ ), показателями ВГД по Маклакову ( $p = 0,313$ ,  $p = 0,012$ ), а также положительная средней силы связь ЦТР с ВГД по Гольдману ( $p = 0,545$ ,  $p < 0,001$ ).

Корреляционные связи средних значений клинических и тонометрических показателей пациентов с ПОУГ приведены в таблице 3.

В данном исследовании так же, как и в контрольной группе, выявлена обратная зависимость показателей КГ и ФРР с возрастом у лиц с ПОУГ ( $p = -0,308$ ,  $p = 0,002$  и  $p = -0,293$ ,  $p = 0,003$  соответственно).

На глазах с ПОУГ определена сильная положительная корреляционная ранговая зависимость ВГД при бесконтактной тонометрии с тонометрией по Маклакову ( $p = 0,792$ ,  $p < 0,001$ ), умеренная — с роговично-компенсированным ВГД ( $p = 0,312$ ,  $p = 0,002$ ).

Достоверная средней силы связь установлена для ВГД, измеренного при тонометрии по методу Маклакова,

**Таблица 2.** Корреляционные связи средних значений клинических и тонометрических показателей на глазах без глаукомы,  $\rho$

**Table 2.** Correlation of mean values of clinical and tonometric parameters in eyes without glaucoma,  $\rho$

Показатели / Parameters	МКОЗ / Visual acuity	ВГДбк / NCT, mmHg	ВГДм / IOPm, mmHg	ЦТР / CCT, $\mu$ m	Показатели ORA / Data ORA			
					ВГДг / IOP-ORAg, mmHg	ВГДрк / IOP-ORAcc, mmHg	КГ/СН	ФРР/CRF
Возраст, лет / Age	-0,011	0,111	0,038	-0,156	0,146	0,413** $p = 0,001$	-0,222	-0,60
ПЗО, мм / Ant-post distance, mm	-0,240	-0,193	-0,228	-0,100	-0,109	0,101	-0,261* $p = 0,038$	-0,340** $p = 0,006$
ВГДбк, мм рт. ст. / NCT, mmHg	0,118	-	0,896** $p < 0,001$	0,409** $p = 0,001$	0,667** $p < 0,001$	0,422** $p = 0,001$	0,474** $p < 0,001$	0,718** $p < 0,001$
ВГДм, мм рт. ст. / IOPm, mmHg	0,079	0,896** $p < 0,001$	-	0,313* $p = 0,012$	0,565** $p < 0,001$	0,354* $p = 0,004$	0,391** $p = 0,001$	0,573** $p < 0,001$
ЦТР, мкм / CCT, $\mu$ m	-0,009	0,409** $p = 0,001$	0,313* $p = 0,012$	-	0,373* $p = 0,002$	0,165	0,375* $p = 0,002$	0,545** $p < 0,001$
ВГДг, мм рт. ст. / IOP-ORAg, mmHg	0,106	0,667** $p < 0,001$	0,565** $p < 0,001$	0,373* $p = 0,002$	-	0,786** $p < 0,001$	0,067	0,494** $p < 0,001$
ВГДрк, мм рт. ст. / IOP-ORAcc, mmHg	-0,018	0,422** $p = 0,001$	0,354* $p = 0,004$	0,165	0,786** $p < 0,001$	-	-0,298* $p = 0,017$	0,138
КГ/СН	0,107	0,474** $p < 0,001$	0,391* $p = 0,001$	0,375* $p = 0,002$	0,067	-0,298* $p = 0,017$	-	0,783** $p < 0,001$
ФРР/CRF	0,186	0,718** $p < 0,001$	0,573** $p < 0,001$	0,545** $p < 0,001$	0,494** $p < 0,001$	0,138	0,783** $p < 0,001$	-

Примечания: \* корреляция статистически значима на уровне  $p < 0,05$ ; \*\* корреляция статистически значима на уровне  $p < 0,001$ .

Notes: \* the correlation is statistically significant at the level of  $p < 0,05$ ; \*\* the correlation is statistically significant at the level of  $p < 0,001$ .



**Таблица 3.** Корреляционные связи средних значений клинических и тонометрических показателей у пациентов ПОУГ,  $\rho$ **Table 3.** Correlation of mean values of clinical and tonometric parameters in patients with POAG,  $\rho$ 

Показатели / Parameters	МКОЗ / Visual acuity	ВГДбк / NCT, mmHg	ВГДм / IOPm, mmHg	ЦТР / CST, $\mu$ m	Показатели ORA / Data ORA			
					ВГДр / IOP-ORAg, mmHg	ВГДрк / IOP-ORAcc, mmHg	КГ/СН	ФПП/CRF
Возраст, лет / Age	-0,356** $p < 0,001$	-0,007	0,081	-0,069	-0,116	0,122	-0,308* $p = 0,002$	-0,293* $p = 0,003$
ПЗО, мм / Ant-post distance, mm	0,026	0,053	0,138	0,08	0,038	0,008	0,16	0,159
ВГДбк, мм рт. ст. / NCT, mmHg	0,024	-	0,792** $p < 0,001$	0,266* $p = 0,008$	0,294* $p = 0,003$	0,312* $p = 0,002$	-0,074	-0,243* $p = 0,015$
ВГДм, мм рт. ст. / IOPm, mmHg	0,00	0,792** $p < 0,001$	-	0,027	0,243* $p = 0,015$	0,315* $p = 0,002$	-0,162	-0,346* $p < 0,001$
ЦТР, мкм / CST, $\mu$ m	0,151	0,266* $p = 0,008$	0,027	-	0,161	-0,34	0,368** $p < 0,001$	0,398** $p < 0,001$
ВГДр, мм рт. ст. / IOP-ORAg, mmHg	0,01	0,294* $p = 0,003$	0,243* $p = 0,015$	0,161	-	0,766** $p < 0,001$	-0,256* $p = 0,011$	-0,095
ВГДрк, мм рт. ст. / IOP-ORAcc, mmHg	0,016	0,312* $p = 0,002$	0,315* $p = 0,002$	-0,034	0,766** $p < 0,001$	-	-0,572** $p < 0,001$	-0,327** $p = 0,001$
КГ/СН	0,024	-0,074	-0,162	0,368** $p < 0,001$	-0,256* $p = 0,011$	-0,572** $p < 0,001$	-	0,545** $p < 0,001$
ФПП/CRF	-0,229* $p = 0,023$	-0,243* $p = 0,015$	-0,346* $p < 0,001$	0,398** $p < 0,001$	-0,095	-0,327** $p = 0,001$	0,545** $p < 0,001$	-

Примечания: \* корреляция статистически значима на уровне  $p < 0,05$ ; \*\* корреляция статистически значима на уровне  $p < 0,001$ .

Notes: \* The correlation is statistically significant at the level of  $p < 0,05$ ; \*\* The correlation is statistically significant at the level of  $p < 0,001$ .

с роговично-компенсированным ВГД ( $\rho = 0,315$ ,  $p = 0,002$ ) и отрицательная — с ФПП ( $\rho = -0,346$ ,  $p < 0,001$ ).

Высокая положительная связь получена также между роговично-компенсированным ВГД и ВГД по Гольдману ( $\rho = 0,766$ ,  $p < 0,001$ ), умеренная и средней силы отрицательная связь с КГ и ФПП ( $\rho = -0,572$ ,  $p < 0,001$  и  $\rho = -0,327$ ,  $p = 0,001$  соответственно). Между КГ и ФПП отмечена положительная средней силы корреляционная ранговая зависимость ( $\rho = 0,545$ ,  $p < 0,001$ ). Выявлена достоверная положительная умеренной силы связь между ЦТР и показателями КГ ( $\rho = 0,368$ ,  $p < 0,001$ ) и ФПП ( $\rho = 0,398$ ,  $p < 0,001$ ).

## ОБСУЖДЕНИЕ

Средние значения ЦТР и уровня ВГД при различных методах тонометрии у здоровых лиц и пациентов с ПОУГ в данном исследовании были сопоставимы со значениями, полученными другими авторами [5–10].

Основные параметры ORA-тонометрии — КГ и ФПП — были достоверно ниже у пациентов по сравнению с соответствующими показателями лиц контрольной группы и находились в пределах значений, упомянутых в других литературных источниках, и были близки между собой со средней и высокой степенью корреляции соответственно.

В группе лиц без глаукомы установлена связь КГ и ФПП с ВГД, измеренным с помощью бесконтактной тонометрии и по методу Маклакова. Отрицательного характера корреляционная связь КГ с роговично-компенсированным ВГД (ORA) у здоровых лиц была аналогична выявленной в исследовании Oncel B. и соавт. ( $p = 0,017$ )

[7]. В. Kouchaki и соавт. при обследовании пациентов с ПОУГ также установили связи КГ, ФПП с ВГД, измеренным с помощью бесконтактной тонометрии, по Гольдману и роговично-компенсированным ВГД (ORA). Как и в результатах, полученных нами, корреляция КГ и ФПП с бесконтактной тонометрией была положительной ( $\rho = 0,96$ ,  $p < 0,001$  и  $\rho = 1,25$ ,  $p < 0,001$  соответственно), а корреляция КГ с роговично-компенсированным ВГД — отрицательной ( $\rho = -0,29$ ,  $p < 0,001$ ) [9].

Иная картина наблюдалась при анализе данных пациентов с ПОУГ. Нами выявлены отрицательная корреляционная связь слабой силы ФПП и ВГДбк, умеренной — с роговично-компенсированным и ВГД по Маклакову. Определены связи между КГ и основными показателями ORA-тонометрии — отрицательная средней силы связь КГ с роговично-компенсированным ВГД, слабая — с ВГД по Гольдману (ORA) и положительная средней силы — с ФПП. В исследовании J. Martinez-de-la-Casa и соавт. установлена значимая корреляция между показателями ORA-тонометрии у лиц с глаукомой: ВГД по Гольдману и роговично-компенсированным ВГД ( $\rho = 0,909$ ,  $p < 0,0001$ ) [10]. При этом КГ (в среднем  $8,8 \pm 2,1$ , диапазон значений 3,9–14,7) и ФПП (в среднем  $11,5 \pm 2,1$ , диапазон значений 5,7–18,5) сильно коррелировали между собой ( $\rho = 0,698$ ,  $p < 0,0001$ ). В пользу метода ORA свидетельствовала значительная корреляция между роговично-компенсированным ВГД и КГ ( $\rho = -0,572$ ,  $p < 0,001$ ), которая не была обнаружена при всех других методах тонометрии, что указывает на изменения уровня ВГД в зависимости от гистерезиса роговицы. Это согласуется с данными литературы относительно динамики показателя гистерезиса

при глаукоме. Имеются данные об изменении корнеального гистерезиса при колебаниях ВГД: при повышении ВГД гистерезис снижался, и наоборот, гипотензивное лечение приводило к его увеличению [11, 12].

В исследовании Jorge J. и соавт. были выявлены корреляционные связи ВГД при бесконтактной тонометрии (Reichert, R7) с КГ на уровне  $\rho = 0,72$  ( $p < 0,001$ ) при отсутствии корреляций с другими параметрами ОРА-тонометрии и морфометрическими показателями (кривизна роговицы, глубина передней камеры, диаметр роговицы и длина оси глаза) [13].

В работе Н.В. Волковой и соавт. установлено, что у пациентов с ПОУГ коэффициент корреляции между значениями роговично-компенсированного ВГД и ВГД по Гольдману имел слабую положительную связь несмотря на то, что находится в диапазоне до «1» ( $p > 0,05$ ). В отличие от лиц контрольной группы, взаимное влияние между КГ и ФРП не было определено [14].

В ряде публикаций о степени взаимосвязи между показателями КГ, ФРП, ркВГД и гВГД при глаукоме и у здоровых лиц получены различные и порой противоречивые результаты [15–17]. В нашем исследовании определена сильная положительная связь между показателями гВГД (ORA) и ркВГД как у пациентов с ПОУГ, так и без данного заболевания.

Гистерезис роговицы представляет собой компонент динамического сопротивления роговицы [18]. Более эластичные или растяжимые глазные структуры могут быть связаны с прогрессированием глаукомных поражений и, согласно этой гипотезе, биомеханический статус роговицы может отражать слабость решетчатой пластинки склеры. Этот вывод также указывает на то, что более низкий КГ может быть маркером возможной восприимчивости зрительного нерва к глаукомному повреждению [19].

ФРП характеризует сопротивление собственно роговичной ткани. Кроме того, коэффициент устойчивости роговицы (CRF) отражает упругие свойства роговицы, то есть его способность деформироваться обратимо под действием стресса и, по-видимому, так же как и КГ, является показателем устойчивости роговицы к внешнему воздействию.

В ряде публикаций представлены результаты с более высокими показателями глаукомного прогрессирования у пациентов с более низким КГ, в частности по данным периметрии [11, 18].

В обеих группах нами выявлена умеренная положительная связь ВГД, измеренного по методу Маклакова, и роговично-компенсированным ВГД. Такая же картина наблюдалась при сравнении ВГД, измеренного бесконтактным методом, с ркВГД. Эти факты можно объяснить высокой степенью корреляции между уровнем ВГД по Маклакову и ВГД при бесконтактной тонометрии.

В литературных источниках в отношении вклада ЦТР в оценку клинически измеримых биомеханических свойств роговицы встречаются противоречивые мнени-

ния. В нашем исследовании в группе лиц без глаукомы выявлена положительная умеренная связь ЦТР с ВГД при тонометрии бесконтактным методом, по Маклакову и по Гольдману (ORA). Наряду с этим не выявлено зависимости ЦТР от роговично-компенсированного ВГД. На глазах с ПОУГ установлена средняя и умеренная положительная корреляция между ФРП и КГ, соответственно, с ЦТР. Это предполагает тот факт, что большая толщина роговицы может быть связана с пониженной восприимчивостью к высокому уровню ВГД, а также то, что наличие более толстой роговицы может приводить к ложно повышенным измерениям ВГД.

В исследовании M. Detry-Morel и соавт. была обнаружена положительная корреляция между ФРП и КГ с ЦТР у пациентов с ПОУГ и глазной гипертензией [20]. N.H. Youmí и соавт. также сообщили о корреляции между ЦТР и КГ, ФРП [21]. W. Lau и соавт. выявили положительную связь КГ и ФРП с ЦТР ( $\rho = 0,252$  и  $0,290$  соответственно) [18]. По данным D. Pencyl и соавт., КГ и ЦТР умеренно коррелировали в группе пациентов с ПОУГ ( $\rho = 0,37$ ,  $p < 0,001$ ) и в группе с офтальмогипертензией ( $\rho = 0,35$ ,  $p < 0,001$ ) [22].

Похожая тенденция по показателям ЦТР и тонометрии ОРА отражена в работе M.L. Murphy и соавт., определявших связь ЦТР и КГ у пациентов с подозрением на глаукому, с офтальмогипертензией и глаукомой [23]. ЦТР, КГ были ниже у пациентов с ПОУГ. Предполагается, что вязкоупругие свойства роговицы, а значит и КГ, находятся в зависимости от ее толщины [23, 24]. При более тонкой роговице (<542 мкм) среднее значение КГ составило 7,0 мм рт. ст. для группы ПОУГ и 8,3 мм рт. ст. для группы лиц с офтальмогипертензией, тогда как среднее значение КГ в группе со средними значениями роговицы (542–572 мкм) увеличилось до 7,9 мм рт. ст. для ПОУГ и 9,2 мм рт. ст. для офтальмогипертензии. Для глаз с более толстой роговицей (>572 мкм) средние значения КГ повышались до 8,3 и 9,6 мм рт. ст. для ПОУГ и офтальмогипертензии соответственно.

Эти данные свидетельствуют о том, что только на основании значения КГ без учета толщины роговицы можно ошибочно предполагать или скрывать риск возникновения глаукомы. Например, при значении КГ 8,0 мм рт. ст. нужно предположить ПОУГ в глазу с большой величиной ЦТР, но склониться к диагнозу «отальмогипертензия» в глазу с меньшей ЦТР. Кроме того, в том же исследовании офтальмогипертензия была определена реже при КГ ниже 7,0 мм рт. ст., но, если такой диагноз и был поставлен, он был связан с более тонкой роговицей. Наоборот, ПОУГ диагностировали реже при КГ выше 10,0, но, если ПОУГ имела место, она была связана с более толстой роговицей. Большая значимость КГ по сравнению с ЦТР описана в работе M. Deol и соавт. [25].

В нашем исследовании выявлена обратная зависимость показателей КГ и ФРП с возрастом у лиц с ПОУГ ( $\rho = -0,308$ ,  $p = 0,002$  и  $\rho = -0,293$ ,  $p = 0,003$  соответственно) наряду со слабой отрицательной корреляцией между

КГ и возрастом в группе здоровых лиц. В работе К. Камиуа также была обнаружена слабая, но значительная отрицательная корреляция между возрастом и КГ (коэффициент корреляции Пирсона  $\rho = -0,17$ ,  $p = 0,02$ ) и ФРП ( $\rho = -0,18$ ,  $p = 0,01$ ) [26]. Старение связано с общим снижением эластичности в тканях [27]. Считается, что этот процесс представляет собой комбинацию окислительного стресса, вызванного реакционноспособными видами кислорода, и образованием продвинутого конечных продуктов гликозилирования, вызванных неферментативной гликацией белков [28]. В результате происходит случайное сшивание белков, изменение структуры тканей и уменьшение эластичности. Снижение механического сопротивления в соответствии с возрастом было продемонстрировано в роговице, решетчатой пластинке, склере, цилиарной мышце и хрусталике [26–28].

Описанные в нашей работе различия показателей ОРА-тонометрии на здоровых глазах и глазах с ПОУГ и их корреляций можно объяснить тем, что вследствие патологического процесса, а именно, снижения эластичности роговичной ткани, наблюдаются различия в биомеханических свойствах фиброзной оболочки в здоровых глазах и у пациентов с ПОУГ. Есть мнение, что у пациентов с ПОУГ роговица является более податливой к воздействиям, более эластичной, «мягкой», по сравнению с роговицей здоровых индивидуумов [19, 29]. Доказано, что в таких глазах наблюдаются специфические нарушения состояния соединительнотканых структур корнеосклеральной оболочки и вязкоэластических свойств [29] глаукомного генеза. Данная особенность приводит к расхождению в показателях корреляционных связей основных тонометрических показателей между группами пациентов с глаукомой и без таковой, а также к снижению значимости показателя ЦТР в глазах с ПОУГ.

Полученные результаты могут свидетельствовать об определенной недооценке уровня ВГД при бесконтактной тонометрии и по Маклакову в случае ПОУГ, в отличие от того, что имеется на здоровых глазах. Этот факт, в свою очередь, может влиять на диагностику и оценку результатов лечения глаукомы в динамике.

Проведенное исследование показало, что индивидуальные свойства роговицы, включая ЦТР, КГ, ФРП, являются важными факторами, коррелирующими с уровнем ВГД и влияющими на эффективность изучаемых методов тонометрии. Несмотря на то что разница средних измерений ВГД используемыми тонометрами является клинически приемлемой, слишком велик список влияющих факторов, в связи с этим необходимы дополнительные исследования для оценки влияния свойств роговицы с различными характеристиками, а также изучение их клинической значимости в отношении измерения ВГД.

Таким образом, клиническая оценка механических свойств корнеосклеральной оболочки и значения ЦТР при различных методах тонометрии при глаукоме имеет несомненную диагностическую значимость. Вместе

с тем, опираться только на значения ЦТР недостаточно. Результаты наших исследований подчеркивают важность изучения биомеханических свойств роговицы для интерпретации уровня ВГД при использовании различных методов тонометрии.

## Выводы

1. При сравнении основных тонометрических показателей ОРА: роговично-компенсированного внутриглазного давления, корнеального гистерезиса и фактора резистентности роговицы на начальной и развитой стадии ПОУГ получены достоверные различия с этими показателями у здоровых лиц. Отмечено отсутствие достоверной разницы в отношении центральной толщины роговицы между контрольной группой и основной общей исследуемой группой с ПОУГ. Установлены различия в показателях толщины роговицы при наличии разницы в тонометрических показателях у больных с I и II стадией заболевания.

2. Выявлены корреляционные взаимосвязи биомеханических свойств корнеосклеральной оболочки и морфометрических показателей глаза у пациентов с ПОУГ при использовании различных методов тонометрии. Показатели КГ и ФРП, отражающие биомеханические свойства корнеосклеральной оболочки глаза, близки по значению между собой с высокой степенью положительной корреляции в группе контроля ( $\rho = 0,783$ ,  $p < 0,001$ ), со средней — в группе пациентов с ПОУГ ( $\rho = 0,545$ ,  $p < 0,001$ ).

3. На глазах без глаукомы выявлена достоверная умеренная положительная связь между КГ и показателями ВГД при бесконтактной тонометрии ( $\rho = 0,474$ ,  $p < 0,001$ ), по методу Маклакова ( $\rho = 0,391$ ,  $p < 0,001$ ), низкая отрицательная — с роговично-компенсированным ВГД при динамической двунаправленной аппланационной тонометрии с помощью Ocular Response Analyzer ( $\rho = -0,298$ ,  $p = 0,017$ ). На глазах с ПОУГ установлена отрицательная средней силы связь КГ с роговично-компенсированным ВГД ( $\rho = -0,572$ ,  $p < 0,001$ ).

4. На глазах без глаукомы ФРП находится в прямой корреляции высокой силы с показателем ВГД при бесконтактной тонометрии ( $\rho = 0,718$ ,  $p < 0,001$ ), по методу Маклакова ( $\rho = 0,573$ ,  $p < 0,001$ ), с ВГД по Гольдману при ОРА-тонометрии ( $\rho = 0,494$ ,  $p < 0,001$ ). На глазах с ПОУГ установлена отрицательная умеренной силы связь ФРП с ВГД по методу Маклакова ( $\rho = -0,346$ ,  $p < 0,001$ ) и роговично-компенсированным ВГД при динамической двунаправленной аппланационной тонометрии ( $\rho = -0,327$ ,  $p = 0,001$ ), низкая — с ВГД при бесконтактной тонометрии ( $\rho = 0,243$ ,  $p < 0,015$ ).

5. В группе пациентов без глаукомы выявлена средней силы положительная корреляция центральной толщины роговицы с ФРП ( $\rho = 0,545$ ,  $p < 0,001$ ), умеренной — с КГ ( $\rho = 0,375$ ,  $p < 0,001$ ), с уровнем ВГД при тонометрии бесконтактным методом ( $\rho = 0,409$ ,  $p = 0,001$ ) и по Маклакову ( $\rho = 0,313$ ,  $p < 0,012$ ); а также с уровнем



ВГД по Гольдману (по методике ORA) ( $\rho = 0,373$ ,  $p < 0,002$ ). В группе пациентов с ПОУГ установлена средней силы положительная корреляция центральной толщины роговицы с ФРП ( $\rho = 0,398$ ,  $p < 0,001$ ), с КГ ( $\rho = 0,368$ ,  $p < 0,001$ ), низкая — с ВГД при бесконтактной тонометрии ( $\rho = 0,266$ ,  $p = 0,008$ ).

## УЧАСТИЕ АВТОРОВ:

Азнабаев Б.М. — концепция и дизайн исследования, редакция текста;  
Загидуллина А.Ш. — сбор и обработка материала, написание текста, статистическая обработка результатов;  
Лакман И.А. — статистическая обработка результатов;  
Исламова Р.Р. — статистическая обработка результатов;  
Саттарова Р.Р. — сбор материала.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Eilaghi A., Flanagan J.G., Simmons C.A., Ethier C.R. Effects of scleral stiffness properties on optic nerve head biomechanics. *Ann Biomed Eng.* 2010;38(4):1586–92. DOI: 10.1007/s10439-009-9879-7
- Журавлева А.Н., Нероев В.В., Теплинская Л.Е., Андреева Л.Д. Изучение тканевого и плазменного фибронектина при первичной открытоугольной глаукоме. *Офтальмология.* 2009;6(3):15–9. [Zhuravleva A.N., Neroev V.V., Teplynskaya L.E., Andreeva L.D. Study of tissue and plasma fibronectin in primary open-angle glaucoma. *Ophthalmology in Russia = Oftalmologiya.* 2009;6(3):15–9 (In Russ.).]
- Yaoeda K., Fukushima A., Shirakashi M., Fukuchi T. Comparison of intraocular pressure adjusted by central corneal thickness or corneal biomechanical properties as measured in glaucomatous eyes using noncontact tonometers and the Goldmann applanation tonometer. *Clin Ophthalmol.* 2016;10:829–34. DOI: 10.2147/OPHT.S106836
- Hong Y., Shoji N., Morita T., Hirasawa K., Matsumura K., Kasahara M., Shimizu K. Comparison of corneal biomechanical properties in normal tension glaucoma patients with different visual field progression speed. *International J Ophthalmol.* 2016;9(7):973–8. DOI:10.18240/ijo.2016.07.06
- Егоров Е.А., Васина М.В. Значение исследования биомеханических свойств роговой оболочки в оценке офтальмотонуса. *РМЖ «Клиническая Офтальмология».* 2008;1:1–3. [Egorov E.A., Vasina M.V. The value of the study of the biomechanical properties of the cornea in the assessment of the ophthalmotonus. *Russian Medical Journal. Clinical Ophthalmology = Rossijskij medicinskij zhurnal. Klinicheskaya oftalmologiya.* 2008;1:1–3 (In Russ.).]
- Страхов В.В., Алексеев В.В., Аль-Моррани А.М. Межукулярная асимметрия корнеального гистерезиса в норме и при первичной открытоугольной глаукоме. *Практическая медицина.* 2012;59(4):244–7. [Strakhov V.V., Alekseev V.V., Al-Morrani A.M. Intercocular asymmetry of corneal hysteresis in norm and with primary open-angle glaucoma. *Practical Medicine = Prakticheskaya meditsina.* 2012;59(4):244–7 (In Russ.).]
- Oncel B., Dinc U., Orge F., Yalvac B. Comparison of IOP measurement by ocular response analyzer, dynamic contour, Goldmann applanation, and non-contact tonometry. *Eur J Ophthalmol.* 2009 Nov-Dec;19(6):936–41. DOI: 10.1177/112067210901900607
- Jorge J., González-Méjome J.M., Queirós A., Fernandes P., Diaz-Rey J.A. A comparison of the NCT Reichert R7 with Goldmann applanation tonometry and the Reichert ocular response analyzer. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2011;31(2):174–9. DOI: 10.1111/j.1475-1313.2010.00817.x
- Kouchaki B., Hashemi H., Yekta A., Khabazkhoob M. Comparison of current tonometry techniques in measurement of intraocular pressure. *Journal of Current Ophthalmology.* 2017;29(2):92–7. DOI: 10.1016/j.joco.2016.08.010
- Martinez-de-la-Casa J., Garcia-Feijoo J., Fernandez-Vidal A., Mendez-Hernandez C., Garcia-Sanchez J. Ocular Response Analyzer versus Goldmann Applanation Tonometry for Intraocular Pressure Measurements. *Investigative Ophthalmology & Visual Science October.* 2006;47:4410–4. DOI: 10.1167/iovs.06-0158
- De Moraes C.V., Hill V., Tello C., Liebmann J.M., Ritch R. Lower corneal hysteresis is associated with more rapid glaucomatous visual field progression. *J Glaucoma.* 2012;21(4):209–13. DOI: 10.1097/ijg.0b013e3182071b92
- Medeiros F.A., Meira-Freitas D., Lisboa R., Kuang T.M., Zangwill L.M., Weinreb R.N. Corneal hysteresis as a risk factor for glaucoma progression: a prospective longitudinal study. *Ophthalmology.* 2013;120(8):1533–40. DOI: 10.1016/j.ophtha.2013.01.032
- Jorge J., González-Méjome J.M., Queirós A., Fernandes P., Diaz-Rey J.A. A comparison of the NCT Reichert R7 with Goldmann applanation tonometry and the Reichert ocular response analyzer. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2011;31(2):174–9. DOI: 10.1111/j.1475-1313.2010.00817.x
- Волкова Н.В., Юрѳева Т.Н., Гришук А.С., Михалевиѳ И.М. Корреляции и поправочные коэффициенты при различных видах тонометрии. Биомеханика и биогеометрия фиброзной оболочки глаза. Сообщение 2. *Национальный журнал глаукома.* 2016;15(1):37–45. [Volkova N.V., Yurѳeva T.N., Grishchuk A.S., Mikhalevich I.M. Correlations and correction factors for different types of tonometry. Biomechanics and biogeometry of the fibrous membrane of the eye. Message 2. *National Journal of Glaucoma = Natsional'nyi zhurnal glaukoma.* 2016;15(1):37–45 (In Russ.).]
- Lau W., Pye D. A clinical description of ocular response analyzer measurements. *IOVS.* 2011;52(6):2911–6. DOI: 10.1167/iovs.10-6763
- Kamiya K., Shimizu K., Ohmoto F. Effect of aging on corneal biomechanical parameters using the ocular response analyzer. *J Refract Surg.* 2009;25:888–93. DOI: 10.3928/1081597x-20090917-10
- Shah S., Laiquzzaman M., Cunliffe I., Mantry S. The use of the Reichert ocular response analyser to establish the relationship between ocular hysteresis, corneal resistance factor and central corneal thickness in normal eyes. *Cont Lens Anterior Eye.* 2006;29(5):257–62. DOI: 10.1016/j.clae.2006.09.006
- Lau W., Pye D. Changes in corneal biomechanics and applanation tonometry with induced corneal swelling. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2011;16;52(6):3207–14. DOI: 10.1167/iovs.10-6754
- Congdon N.G., Broman A.T., Bandeen-Roche K., Grover D., Quigley H.A. Central corneal thickness and corneal hysteresis associated with glaucoma damage. *Am J Ophthalmol.* 2006;141:868–75. DOI: 10.1016/j.ajo.2005.12.007
- Detry-Morel M., Jamart J., Pourjavan S. Evaluation of corneal biomechanical properties with the reichert ocular response analyzer. *Eur J Ophthalmol.* 2010;21(2):138–48. DOI: 10.5301/ejo.2010.2150
- Bayoumi N.H., Bessa A.S., El Massry A.A. Ocular response analyzer and goldmann applanation tonometry: a comparative study of findings. *J Glaucoma.* 2010;19(9):627–31. DOI: 10.1097/ijg.0b013e3181ca7e01
- Pensyl D., Sullivan-Mee M., Torres-Monte M., Halverson K., Qualls C. Combining corneal hysteresis with central corneal thickness and intraocular pressure for glaucoma risk assessment. *Eye (Lond).* 2012;26(10):1349–1356. DOI: 10.1038/eye.2012.164
- Murphy M.L., Pokrovskaya O., Galligan M., O'Brien C. Corneal hysteresis in patients with glaucoma-like optic discs, ocular hypertension and glaucoma. *BMC Ophthalmology.* 2017;17:1. DOI: 10.1186/s12886-016-0396-9
- Touboul D., Roberts C., Keratret J., Garra C., Maurice-Tison S., Saubusse E., Colin J. Correlations between corneal hysteresis, intraocular pressure, and corneal central pachymetry. *J Cataract Refract Surg.* 2008;34(4):616–22. DOI: 10.1016/j.jcrs.2007.11.051
- Deol M., Taylor D., Radcliffe N. Corneal hysteresis and its relevance to glaucoma. *Curr Opin Ophthalmol.* 2015;26(2):96–102. DOI: 10.1097/ICU.0000000000000130
- Kamiya K., Shimizu K., Ohmoto F. Effect of aging on corneal biomechanical parameters using the ocular response analyzer. *J Refract Surg.* 2009;25:888–93. DOI: 10.3928/1081597x-20090917-10
- Coudrillier B., Tian J., Alexander S., Myers K.M., Quigley H.A., Nguyen T.D. Biomechanics of the human posterior sclera: age-and glaucoma-related changes measured using inflation testing. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2012;53:1714–28. DOI: 10.1167/iovs.11-8009
- Cartwright N.E.K., Tyrer J.R., Marshall J. Age-related differences in the elasticity of the human cornea. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2011;52:4324–9. DOI: 10.1167/iovs.09-4798
- Петров С.Ю., Рещикова В.С., Вострухин С.В., Агаджанян Т.М., Подгорная Н.Н. Исследование биомеханических свойств различных структур глаза: настоящее и перспективы. *Офтальмология.* 2015;12(1):8–14. [Petrov S.Y., Reschikova V.S., Vostukhin S.V., Agadzhanian T.M., Podgornaya N.N. Ocular biomechanics study: current state and perspectives. *Ophthalmology in Russia = Oftalmologiya.* 2015;12(1):8–14 (In Russ.).] DOI: 10.18008/1816-5095-2015-1-8-14
- Арутюнян Л.Л. Взаимоотношения структурно-функциональных параметров и уровня поперечной связанности коллагена склеры глаукомных глаз. *Национальный журнал глаукома.* 2015;14(4):5–12. [Arutunyan L.L. Relations between structural and functional parameters and levels of transverse collagen coupling of sclera of glaucoma eyes. *National Journal of Glaucoma = Natsional'nyi zhurnal glaukoma.* 2015;14(4):5–12 (In Russ.).]



**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации  
 Азнабаев Булат Маратович  
 доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой офтальмологии с курсом ИДПО  
 ул. Ленина, 3, Уфа, 450000, Российская Федерация  
 ORCID ID: 0000-0003-1796-8248

ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации  
 Загидуллина Айгуль Шамилевна  
 кандидат медицинских наук, доцент кафедры офтальмологии с курсом ИДПО  
 ул. Ленина, 3, Уфа, 450000, Российская Федерация  
 ORCID ID: 0000-0003-4576-3709

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»  
 Лакман Ирина Александровна  
 кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной математики и кибернетики  
 ул. К. Маркса, 12, Уфа, 450000, Российская Федерация  
 ORCID ID: 0000-0001-9876-9202

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»  
 Исламова Регина Радиковна  
 аспирант  
 ул. К. Маркса, 12, Уфа, 450000, Российская Федерация  
 ORCID ID: 0000-0003-4813-430X

ЗАО «Оптимедсервис»  
 Саттарова Рима Разяновна  
 врач-офтальмолог  
 ул. 50 лет СССР, 8, Уфа, 450059, Российская Федерация

**ABOUT THE AUTHORS**

Bashkir Federal State Medical University  
 Aznabaev Bulat M.  
 MD. Professor  
 Lenin str., 3, Ufa, 450000, Russia

Bashkir Federal State Medical University  
 Zagidullina Aigul' Sh.  
 Ph.D. Associate Professor  
 Lenin str., 3, Ufa, 450000, Russia

Ufa Federal State Aviation Technical University  
 Lakman Irina A.  
 PhD. Associate Professor  
 K. Marx str., 12, Ufa, 450000, Russia

Ufa Federal State Aviation Technical University  
 Islamova Regina R.  
 Postgraduate  
 K. Marx str., 12, Ufa, 450000, Russia

ZAO "Optimedservis"  
 Sattarova Rima R.  
 Ophthalmologist  
 50 let SSSR str., 8, Ufa, 450059, Russia