

Клинические исследования

<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2019-12-2-12-17>

Преимущества применения динамической двунаправленной аппланационной тонометрии в диагностике первичной открытоугольной глаукомы

А.Ш. Загидуллина — канд. мед. наук, доцент, доцент кафедры офтальмологии с курсом ИДПО¹
Б.М. Азнабаев — д-р. мед. наук, профессор, зав. кафедрой офтальмологии с курсом ИДПО^{1, 2}
И.А. Лакман — канд. техн. наук, доцент кафедры вычислительной математики и кибернетики³
Р.Р. Исламова — аспирант кафедры вычислительной математики и кибернетики³
Р.Р. Саттарова — врач-офтальмолог²

¹ ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Минздрава России, 450008, Уфа, ул. Ленина, д. 3

² ЗАО «Оптимедсервис», 450059, Уфа, ул. 50 лет СССР, д. 8

³ ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», 450007, Уфа, ул. К. Маркса, д. 12

Цель работы — изучить особенности тонометрических показателей, измеренных с помощью различных методов, с учетом индивидуальных морфометрических показателей глаза и биомеханических свойств корнеосклеральной оболочки у пациентов с начальной и развитой стадиями первичной открытоугольной глаукомы (ПОУГ). **Материал и методы.** Обследован 51 пациент (99 глаз) в возрасте от 48 до 82 лет с начальной (45 глаз) и развитой (54 глаза) стадиями ПОУГ. В контрольную группу вошел 31 (62 глаза) человек в возрасте от 47 до 83 лет без офтальмопатологии. Кроме стандартного офтальмологического обследования проведена тонометрия с помощью анализатора биомеханических свойств глаза (Ocular Response Analyzer, ORA, Reichert Inc., США). **Результаты.** Получены достоверные различия основных тонометрических показателей ORA пациентов с ПОУГ и группы контроля. Отмечено отсутствие достоверной разницы центральной толщины роговицы (ЦТР) между исследуемой группой с ПОУГ и контрольной группой. При сравнении показателей больных с I и II стадиями ПОУГ отдельно установлены различия в показателях ЦТР при наличии разницы в тонометрических показателях. **Заключение.** Применение динамической двунаправленной аппланационной тонометрии, позволяющей учитывать вязкоэластические свойства корнеосклеральной оболочки глаза, имеет несомненную диагностическую значимость при обследовании пациентов с различными стадиями ПОУГ.

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

Для цитирования: Загидуллина А.Ш., Азнабаев Б.М., Лакман И.А., Исламова Р.Р., Саттарова Р.Р. Преимущества применения динамической двунаправленной аппланационной тонометрии в диагностике первичной открытоугольной глаукомы. Российский офтальмологический журнал. 2019; 12 (2): 12-7. doi: 10.21516/2072-0076-2019-12-2-12-17

Конфликт интересов: отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Advantages of dynamic bi-directional applanation tonometry in primary open-angle glaucoma diagnostics

A.Sh. Zagidullina — Cand. Med. Sci., associate professor, department of ophthalmology¹

B.M. Aznabaev — Dr. Med. Sci., Professor, head of the department of ophthalmology^{1, 2}

I.A. Lakman — Cand. Tech. Sci., associate professor, department of computational mathematics and cybernetics³

R.R. Islamova — postgraduate student, department of computational mathematics and cybernetics³

R.R. Sattarova — ophthalmologist²

¹ Bashkir State Medical University, 3, Lenin St., Ufa, 450008, Russia

² Optimedservis, 8, 50 let SSSR St., Ufa, 450059, Russia

³ Ufa State Aviation Technical University, 12, K. Marx St., Ufa, 450007, Russia

aigul.zagidullina@gmail.com

Purpose. To study tonometry parameters features, measured by different methods, taking into account individual morphometric eye parameters and biomechanical properties of the corneoscleral shell in patients with the initial and the advanced stages of primary open angle glaucoma (POAG). **Material and methods.** 51 patients (99 eyes) aged 48–82, with the initial (45 eyes) and advanced stages (54 eyes) of POAG were examined. The control group consisted of 31 patients (62 eyes) aged 47–83 without ophthalmic pathology. In addition to standard ophthalmologic examination, tonometry was performed using the Ocular Response Analyzer (ORA, Reichert Inc., the USA). **Results.** The main tonometry parameters of ORA revealed significant differences between POAG patients and the control group. No significant difference in the central corneal thickness (CCT) was found between the POAG and the control group. Patients with I and II stages of glaucoma taken separately showed differences in CCT and tonometry parameters. **Conclusion.** Dynamic bi-directional applanation tonometry enables to take into account the changes in viscoelastic properties of the corneoscleral eye shell, and definitely has diagnostic advantages in examining patients with various stages of POAG.

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

For citation: Zagidullina A.Sh., Aznabaev B.M., Lakman I.A., Islamova R.R., Sattarova R.R. Advantages of dynamic bi-directional applanation tonometry in primary open-angle glaucoma diagnostics. Russian ophthalmological journal. 2019; 12 (2): 12–7 (In Russian). doi: 10.21516/2072-0076-2019-12-2-12-17

Conflict of interests: there is no conflict of interests.

Financial disclosure: No author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

Регистрация повышенного уровня внутриглазного давления (ВГД) является важнейшим показателем при диагностике глаукомы и мониторинге глаукомного процесса, а снижение уровня офтальмотонуса является единственным доказанным способом профилактики и замедления прогрессирования глаукомной оптической нейропатии [1–4].

В связи с этим измерение ВГД в динамике и правильная интерпретация показателей тонометрии весьма важны как для ранней диагностики, так и для определения тактики лечения заболевания.

Центральная толщина роговицы (ЦТР), как индивидуальный анатомический параметр, в ряде исследований признана независимым фактором риска развития первичной открытоугольной глаукомы (ПОУГ) [5–7].

Показано, что пациенты с тонкой роговицей имеют высокий риск прогрессирования глаукомы. В исследовании Ocular Hypertension Treatment Study (OHTS) выявлено, что ЦТР является одним из важных показателей, который необходимо учитывать при проведении тонометрии [5, 7]. В результате 5-летнего наблюдения [4] установлено двукратное повышение риска прогрессирования глаукомы при истончении центральной зоны роговицы на каждые 40 мкм. В то же время в 5-летнем исследовании Early Manifest Glaucoma Trial (EMGT) ЦТР признана значимым прогностическим фактором прогрессирования не для всех форм глаукомы, а только для группы пациентов с исходно высоким уровнем ВГД [4]. В работах, посвященных изучению факторов риска

возникновения ПОУГ, связь между ЦТР и развитием глаукомы не обнаружена [8].

С появлением нового метода исследования биомеханических свойств роговицы — динамической двунаправленной аппланационной тонометрии с помощью Ocular Response Analyzer (ORA, Reichert Inc., США) появилась возможность определять такие важные параметры, как корнеальный гистерезис (КГ) и фактор резистентности роговицы (ФРП), характеризующие ее вязкоупругие свойства, ВГД по Гольдману (ВГДг), а также роговично-компенсированное ВГД (ВГДрк), которое в значительно меньшей степени зависит от свойств роговицы.

ЦЕЛЬЮ работы явилось изучение особенностей тонометрических показателей у пациентов с начальной и развитой стадиями ПОУГ, измеренных с помощью различных методов тонометрии, с учетом индивидуальных морфометрических показателей глаза и биомеханических свойств корнеосклеральной оболочки.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

На базе Центра лазерного восстановления зрения «Оптимед» (Уфа) обследован 51 пациент (99 глаз), в том числе 60,8 % женщин и 39,2 % мужчин, с ПОУГ (основная группа) в возрасте от 48 до 82 лет (средний возраст — 64,31 года), из них 20 (39,2 %) были в возрасте до 60 лет, 31 (60,8 %) пациент — в возрасте 61–82 лет. 18 (18,2 %) глаз были с миопией слабой степени, 19 (19,2 %) — с гиперметропией слабой степени. Начальная стадия ПОУГ диагностирована на 45 (45,5 %) глазах (I подгруппа), развитая — на 54 (54,5 %) (II подгруппа).

В контрольную группу вошли сопоставимые по возрасту и полу с больными ПОУГ соматически здоровые лица без офтальмопатологии — 31 человек (62 глаза), в том числе 67,7 % женщин и 32,3 % мужчин, в возрасте от 47 до 83 лет (средний возраст — 63,5 года), из них в возрасте до 60 лет — 12 (38,7 %), от 61 до 83 лет — 19 (61,3 %) человек. Миопию слабой степени диагностировали на 11 (17,7 %), гиперметропию слабой степени — на 13 (22,5 %) глазах.

Критериями исключения пациентов из проводимого исследования явились значительные аномалии рефракции (миопия и гиперметропия средней и высокой степеней, астигматизм выше 2,0 Д), неглаукомная патология зрительного нерва, выраженное помутнение оптических сред глаза, а также наличие хронических аутоиммунных заболеваний, сахарного диабета, системных заболеваний, острых нарушений мозгового кровообращения в анамнезе. Всем лицам, включенным в исследование, хирургические или лазерные вмешательства на глазах ранее не проводились, глаукома была выявлена впервые.

Пациентам с ПОУГ и лицам контрольной группы было проведено комплексное офтальмологическое обследование, включающее визометрию, бесконтактную тонометрию для измерения уровня ВГД (ВГДбк), тонометрию по Маклакову (ВГДм),

рефрактометрию, офтальмоскопию, биомикроскопию, гониоскопию, стандартную автоматическую периметрию. В комплекс специальных методов исследования была включена пахиметрия для определения ЦТР, ультразвуковая эхобиометрия для измерения передне-задней оси глаза (ПЗО), а также тонометрия с помощью анализатора биомеханических свойств глаза Ocular Response Analyzer (ORA, Reichert Inc., США). Участие пациентов в исследовании было регламентировано их информированным письменным согласием.

Статистическая обработка данных проводилась с помощью программы IBM SPSS Statistics v.21. с применением стандартных методов описательной статистики для независимых выборок с вычислением t-критерия достоверности различий, корреляционного критерия р Спирмена. Использовали критерий равенства средних для независимых выборок при отсутствии предположения о равенстве дисперсий, что подтверждалось критерием Ливиня при уровне значимости $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Клинические и тонометрические показатели основной и контрольной групп приведены в таблице.

Средние значения тонометрических показателей (при бесконтактной тонометрии, тонометрии по Маклакову и тонометрии с помощью ORA) в группах пациентов с I и II стадиями ПОУГ достоверно отличались от показателей контрольной группы ($p < 0,001$). По параметру ЦТР разница была достоверной лишь в сравнении глаз пациентов с развитой стадией ПОУГ и контролем ($p < 0,05$). По показателям ПЗО не выявлено достоверных различий в группах ПОУГ в сравнении и по стадиям между собой и с контролем, что можно объяснить сравнимостью групп по наличию аномалий рефракции.

При сравнении средних значений между подгруппами пациентов с I и II стадиями ПОУГ по параметру ВГД, измеренному бесконтактным методом, не было выявлено достоверной разницы. В то же время получены достоверные различия основных тонометрических показателей ORA: ВГДрк, КГ и ФРП ($p < 0,05$), а также уровня ВГД по Маклакову ($p < 0,001$).

Определена достоверная положительная корреляционная связь умеренной силы между КГ ($\rho = 0,368$, $p < 0,001$) и ЦТР как в группе пациентов с ПОУГ, так и в контрольной группе на глазах без глаукомы ($\rho = 0,375$, $p = 0,002$). В глазах с начальной стадией ПОУГ связь была более выраженной — средней силы ($\rho = 0,539$, $p < 0,001$), в глазах с развитой стадией — не являлась значимой.

ОБСУЖДЕНИЕ

Основными показателями, определяемыми при ORA-тонометрии, являются КГ и ФРП, которые отражают вязкоупругость корнеосклеральной

Таблица. Исследованные параметры пациентов с ПОУГ и контрольной группы, $M \pm \sigma$
Table. Parameters measured in POAG and control groups included in the study, $M \pm \sigma$

Показатели Indicators	ПОУГ POAG		Достоверность различий показателей I и II стадий Significance of the difference between I and II stages	ПОУГ POAG n = 99	Контроль Control group n = 62
	I стадия I stage n = 45	II стадия II stage n = 54			
Возраст, лет Age, years	61,40 ± 1,017	64,930 ± 1,122	p < 0,001	64,51 ± 0,98	63,53 ± 1,067
Острота зрения с коррекцией Best corrected visual acuity	0,893 ± 0,018	0,709 ± 0,038**	p < 0,001	0,793 ± 0,024**	0,920 ± 0,021
ВГДбк, мм рт. ст. Contactless tonometry IOP mm Hg	21,767 ± 0,362**	22,194 ± 0,570**	p > 0,05	22,0 ± 0,351**	16,606 ± 0,361
ВГДм, мм рт. ст. Maklakov tonometry IOP, mm Hg	26,556 ± 0,407**	27,591 ± 0,576**	p < 0,001	27,12 ± 0,366**	20,859 ± 0,304
ЦТР, мкм ССТ, μm	548,16 ± 6,096	537,63 ± 4,382*	p = 0,006	546,98 ± 3,783	549,73 ± 3,394
ПЗО, мм Axial length, mm	23,878 ± 0,204	23,447 ± 0,122	p > 0,05	23,643 ± 0,115	23,503 ± 0,103
ВГДг, мм рт. ст. IOP-ORA Goldman, mm Hg	22,1 ± 0,558**	22,956 ± 0,611**	p > 0,05	22,566 ± 0,419**	15,994 ± 0,299
ВГДрк, мм рт. ст. Corneal compensated IOP, mm Hg	23,022 ± 0,525**	24,965 ± 0,679**	p = 0,031	24,08 ± 0,449**	17,484 ± 0,272
КГ, мм рт. ст. Corneal hysteresis, mm Hg	9,336 ± 0,236**	8,382 ± 0,174**	p = 0,001	8,786 ± 0,151**	10,431 ± 0,162
ФРР, мм рт. ст. Corneal resistance factor, mm Hg	9,726 ± 0,219**	8,7 ± 0,202**	p = 0,001	9,166 ± 0,156**	10,827 ± 0,217

Примечание. n — количество глаз, * — достоверность различий по сравнению с контролем (p < 0,05), ** — достоверность различий по сравнению с контролем (p < 0,001).

Note. n — number of eyes, * — difference as compared to the control group is significant (p < 0.05), ** — difference as compared to the control group is significant (p < 0.001).

оболочки и способность смягчать флуктуации ВГД [9, 10]. Значения КГ и ФРР были достоверно ниже при начальной и развитой стадии ПОУГ, чем соответствующие показатели контрольной группы, и находились в пределах значений, полученных другими авторами. Так, Е.А. Егоров, М.В. Васина [11] выявили, что в норме КГ и ФРР имеют значительную индивидуальную вариабельность без значимых различий значений между правым и левым глазом (КГ = 10,6 ± 1,5 мм рт. ст., ФРР = 11,5 ± 1,7 мм рт. ст.), причем среднее значение ФРР, его разброс и распределение в норме были очень близки к параметрам, полученным для КГ. В наших наблюдениях, как в здоровых глазах, так и в глазах с I и II стадиями ПОУГ, значения показатели КГ и ФРР были близки между собой с высокой степенью корреляции.

Показано, что значения КГ и ФРР, отражающих вязкоэластические свойства фиброзной оболочки глаза, у пациентов с ПОУГ и лиц без глаукомы различаются. Учитывая отсутствие достоверной разницы по морфометрическим показателям между данными группами, можно предположить, что на фоне глаукомы при прочих равных условиях происходят изменения биохимического состава роговично-склеральной

оболочки. Специфические нарушения состояния соединительнотканых структур корнеосклеральной оболочки и их вязкоэластических свойств при глаукоме описаны в работах других авторов [12, 13].

Гистерезис роговицы представляет собой компонент ее динамического сопротивления. Более эластичные, или растяжимые, глазные структуры могут быть связаны с прогрессированием глаукоматозного процесса, а биомеханический статус роговицы может отражать слабость решетчатой пластинки склеры, что свидетельствует о том, что более низкий КГ может быть маркером предрасположенности зрительного нерва к глаукоматозному повреждению [14, 15]. Высказано предположение о том, что низкий КГ может увеличить риск развития глаукоматозной оптической нейропатии, вероятно, из-за сниженной способности структур зрительного нерва адекватно реагировать на флуктуации ВГД [16, 17]. Данная гипотеза подтверждена несколькими исследованиями, которые показали, что глаза с ПОУГ демонстрировали более низкий КГ по сравнению со здоровыми глазами [18–21] и глазами с офтальмогипертензией [18, 19].

Интересно, что в проведенном нами исследовании не наблюдалось достоверной разницы между

показателями бесконтактной тонометрии в подгруппах с начальной и развитой стадиями глаукомы, при наличии таковой при тонометрии по Маклакову, признанной в нашей стране золотым стандартом тонометрии. Показано, что при бесконтактной тонометрии, являющейся больше скрининговым методом, наблюдается большая погрешность в измерении и зависимость показателей от толщины роговицы. В то же время опираться только на значения ЦТР недостаточно, необходимо при комплексной диагностике ПОУГ учитывать данные тонометрических и морфометрических показателей.

В соответствии с многими другими исследованиями [18–19, 22–24] предполагается, что вязкоупругие свойства роговицы, в том числе и КГ, находятся в зависимости от ее толщины. При более тонких роговицах (< 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 с нормальными значениями толщины роговицы ($542–572$ мкм) увеличилось до $7,9$ мм рт. ст. при ПОУГ и до $9,2$ мм рт. ст. — при офтальмогипертензии. Для глаз с более толстыми роговицами (> 572 мкм) средние значения КГ повышались до $8,3$ мм рт. ст. и $9,6$ мм рт. ст. — для ПОУГ и офтальмогипертензии соответственно. Эти данные свидетельствуют о том, что только значение КГ без учета толщины роговицы может ошибочно предполагать или, наоборот, скрывать риск возникновения глаукомы.

В проведенном нами исследовании ЦТР имела тенденцию к снижению в общей группе пациентов с глаукомой. При рассмотрении ее значений по стадиям ПОУГ данный показатель в глаукоматозных глазах в подгруппе с развитой стадией заболевания достоверно отличался от контрольной группы. По данным Н.И. Курышевой и соавт. [25], КГ у здоровых составил в среднем $11,20 \pm 1,70$ мм рт. ст., у больных с глаукомой — $10,10 \pm 1,60$ мм рт. ст. при значениях ЦТР в среднем $549,30 \pm 30,80$ и $548,10 \pm 31,30$ мкм соответственно. J. Shin и соавт. [26] определили значения КГ, равными $10,59 \pm 1,71$ мм рт. ст. у здоровых лиц и $9,90 \pm 1,66$ мм рт. ст. у пациентов с ПОУГ, ЦТР в среднем $558,77 \pm 31,19$ и $548,30 \pm 34,82$ мкм соответственно. В исследовании K. Pillupat и соавт. [27] КГ здоровых глаз составлял в среднем $10,49 \pm 1,67$ мм рт. ст., при ПОУГ — $8,54 \pm 1,86$ мм рт. ст., ЦТР — $556,20 \pm 37,00$ и $530,60 \pm 38,40$ мкм соответственно. Значительное снижение КГ в группе глаукомы по сравнению с контролем ($MD = -1,54$ мм рт. ст., 95% ДИ $[-1,68, -1,41]$, $p < 0,0001$) отмечено в результате обобщенного анализа R. Gaspar и соавт. [28]. В этом же исследовании ЦТР была значительно ниже в группе глаукомы, чем в контрольной группе ($MD = -8,49$ мкм, 95% ДИ $[-11,36, -5,62]$, $p < 0,001$).

Отмечено отсутствие достоверной разницы ЦТР между общей исследуемой группой с ПОУГ и контрольной группой. При сравнении показателей

отдельно I и II стадий заболевания установлены достоверные различия в показателях ЦТР в глазах со II стадией при наличии разницы в тонометрических показателях. В то же время получены достоверные различия основных тонометрических показателей ORA — ВГДрк, КГ и ФРР ($p < 0,05$) между этими подгруппами. Полученные данные могут свидетельствовать о значимых изменениях вязкоэластических свойств роговично-склеральной оболочки в глазах со II стадией ПОУГ. На основании полученных данных можно заключить, что измерение уровня ВГД с помощью ORA является более точным и патогенетически оправданным как на здоровых глазах, так и на глазах с различными стадиями заболевания, в отличие от других представленных методов тонометрии.

Наши результаты согласуются с данными других авторов. Так, в исследовании В. Costin и соавт. [29] не выявлено различий в показателях ЦТР между больными с I и II стадиями ПОУГ и лицами группы контроля. Наряду с этим, отмечены достоверные различия в показателях тонометрии с использованием ORA, а также других методов (тонометрии по Гольдману, динамической контурной тонометрии Паскаля), а также в показателе КГ между группами пациентов с ПОУГ и здоровыми лицами.

Результаты проведенных наблюдений подтверждают важность изучения морфометрических и биомеханических свойств фиброзной оболочки глаза на различных стадиях глаукоматозного процесса, учитывая тот факт, что индивидуальные структурные изменения этих тканей могут лежать в основе предрасположенности у отдельных пациентов к возникновению и прогрессированию болезни. Таким образом, значения ЦТР и показатели механических свойств корнеосклеральной оболочки, получаемые с помощью ORA-тонометрии, имеют при глаукоме несомненную диагностическую значимость.

ВЫВОДЫ

1. Метод динамической двунаправленной аппланационной тонометрии, в отличие от других методов тонометрии, дает информацию о механических свойствах корнеосклеральной оболочки глаза. При сравнении основных тонометрических показателей ORA: ВГДрк, КГ и ФРР — на начальной и развитой стадиях ПОУГ получены достоверные различия с показателями глаз без глаукомы, что отражает разницу вязкоэластических свойств фиброзной оболочки глаза у пациентов с ПОУГ и лиц без глаукомы.

2. Отмечено отсутствие достоверной разницы значений ЦТР между контрольной группой и основной исследуемой группой с ПОУГ. Установлены различия в показателях толщины роговицы при наличии разницы в тонометрических показателях у больных с I и II стадиями заболевания.

3. Установлена разница параметров КГ и ФРР, отражающих вязкоэластические свойства фиброзной

оболочки глаза, между группами пациентов с ПОУГ и лиц без глаукомы. Определена достоверная положительная связь умеренной силы между КГ и ЦТР ($\rho = 0,368$, $p < 0,001$) как в группе пациентов с ПОУГ, так и в контрольной группе ($\rho = 0,375$, $p = 0,002$).

4. Применение динамической двунаправленной аппланационной тонометрии, позволяющей учитывать вязкоэластические свойства корнеосклеральной оболочки глаза, имеет несомненную диагностическую значимость при обследовании пациентов с различными стадиями ПОУГ.

Литература/References

1. Волков В.В. Глаукома открытоугольная. Москва: МИА; 2008. Volkov V.V. Open angle glaucoma. Moscow: MIA; 2008 (in Russian).
2. Еричев В.П. Патогенез, диагностика и лечение первичной открытоугольной глаукомы. Российский медицинский журнал. 1998; 4: 35–8. Eriчев V.P. The pathogenesis, diagnosis, and treatment of primary open-angle glaucoma. Rossijskij medicinskij zhurnal. 1998; 4: 35–8 (in Russian).
3. Нестеров А.П. Патогенез и проблемы патогенетического лечения глаукомы. Клиническая офтальмология. 2003; 4 (2): 47–9. Nesterov A.P. Pathogenesis and problems of the pathogenetic treatment of glaucoma. Klinicheskaya oftal'mologiya. 2003; 4 (2): 47–9 (in Russian).
4. Краснов М.М. О целевом внутриглазном давлении. Клиническая офтальмология. 2003; 4 (2): 49–51. Krasnov M.M. About target intraocular pressure. Klinicheskaya oftal'mologiya. 2003; 4 (2): 49–51 (in Russian).
5. Iester M., Mete M., Figus M., Frezzotti P. Incorporating corneal pachymetry into the management of glaucoma. J. Cataract Refract. Surg. 2009; 35 (9): 1623–8. doi: 10.1016/j.jcrs.2009.05.015
6. Brandt J. Central corneal thickness, tonometry, and glaucoma risk – a guide for the perplexed. Can. J. Ophthalmol. 2007; 42 (4): 562–6. doi:10.3129/can.j.ophtalmol.i07-095
7. Brandt J.D., Gordon M.O., Beiser J.A., et al. Ocular Hypertension Treatment Study Group. Changes in central corneal thickness over time. The ocular hypertension treatment study. Ophthalmology. 2008; 115 (9): 1550–6. doi: 10.1016/j.ophtha.2008.02.001
8. Deol M., Taylor D.A., Radcliffe N.M. Corneal hysteresis and its relevance to glaucoma. Cur. Opin. Ophthalmol. 2015; 26 (2): 96–102. doi:10.1097/ICU.0000000000000130
9. Sullivan-Mee M., Billingsley S.C., Patel A.D., et al. Ocular Response Analyzer in subjects with and without glaucoma. Optom. Vis. Sci. 2008; 85 (6): 463–70. doi: 10.1097/OPX.0b013e3181784673
10. Johnson C.S., Mian S.I., Moroi S., et al. Role of corneal elasticity in damping of intraocular pressure. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 2007; 48 (6): 2540–4. doi: 10.1167/iovs.06-0719
11. 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 importance of studying the biomechanical properties of the cornea in the assessment of the ophthalmotonus. RMZh "Klinicheskaja Oftal'mologija". 2008; 1: 1–3 (in Russian).
12. Арутюнян Л.Л. Взаимоотношения структурно-функциональных параметров и уровня поперечной связанности коллагена склеры глаукомных глаз. Национальный журнал глаукома. 2015; 14 (4): 5–12. Arutyunyan L.L. The relationship between the structural and functional parameters and the level of sclera collagen crosslinking of the glaucoma eyes. Nacional'nyj zhurnal glaucoma. 2015; 14 (4): 5–12 (in Russian).
13. Журавлева А.Н., Андреева Л.Д., Нероев В.В. Коллагеновая теория старения и генетический код в патогенезе глаукомы. Клиническая геронтология. 2009; 15 (8–9): 78. Zhuravleva A.N., Andreeva L.D., Neroyev V.V. Collagen theory of aging and genetic code in the pathogenesis of glaucoma. Klinicheskaja gerontologija. 2009; 15 (8–9): 78 (in Russian).
14. Арутюнян Л.Л. Роль биомеханических свойств глаза в определении целевого давления. Глаукома. 2007; 6 (3): 60–7. Arutyunyan L.L. Role of the eye biomechanical properties in determination of target pressure. Glaukoma. 2007; 6 (3): 60–7 (in Russian).
15. Иомдина Е.Н., Арутюнян Л.Л., Катаргина Л.А., Киселева О.А., Филиппова О.М. Взаимосвязь корнеального гистерезиса и структурно-функциональных параметров зрительного нерва при разных стадиях первичной открытоугольной глаукомы. Российский офтальмологический журнал. 2009; 2 (3): 17–23. Iomdina E.N., Arutyunyan L.L., Katargina L.A., Kiseleva O.A., Filip-pova O.M. Interrelation between corneal hysteresis and structural functional parameters of the optic nerve in different stages of primary open angle glaucoma. Russian ophthalmological journal. 2009; 2 (3): 17–23 (in Russian).
16. Burgoyne C.F., Downs J.C., Bellezza A.J., Suh J.K., Hart R.T. The optic nerve head as a biomechanical structure: a new paradigm for understanding the role of IOP-related stress and strain in the pathophysiology of glaucomatous optic nerve head damage. Prog Retin Eye Res. 2005; 24 (1): 39–73. doi:10.1016/j.preteyeres.2004.06.001
17. Sigal I.A., Flanagan J.G., Ethier C.R. Factors influencing optic nerve head biomechanics. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 2005; 46(11): 4189–99. doi:10.1167/iovs.05-0541
18. Sullivan-Mee M., Billingsley S.C., Patel A.D., et al. Ocular Response Analyzer in subjects with and without glaucoma. Optom. Vis. Sci. 2008; 85 (6): 463–70.
19. Detry-Morel M., Jamart J., Pourjavan S. Evaluation of corneal biomechanical properties with the Reichert Ocular Response Analyzer. Eur. J. Ophthalmol. 2011; 21 (2): 138–48. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20853262
20. Abitbol O., Bouden J., Doan S., Hoang-Xuan T., Gatinel D. Corneal hysteresis measured with the Ocular Response Analyzer in normal and glaucomatous eyes. Acta Ophthalmol. 2010; 88 (1): 116–9. doi: 10.1111/j.1755-3768.2009.01554.x
21. Mangouritas G., Morphis G., Mourtzoukos S., Feretis E. Association between corneal hysteresis and central corneal thickness in glaucomatous and non-glaucomatous eyes. Acta Ophthalmol. 2009; 87 (8): 901–5. doi: 10.1111/j.1755-3768.2008.01370.x
22. Kamiya K., Hagishima M., Fujimura F., Shimizu K. Factors affecting corneal hysteresis in normal eyes. Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol. 2008; 246: 1491–4. doi: 10.1007/s00417-008-0864-x
23. Touboul D., Roberts C., Kerautret J., et al. 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
24. Broman A.T., Congdon N.G., Bandeen-Roche K., Quigley H.A. Influence of corneal structure, corneal responsiveness, and other ocular parameters on tonometric measurement of intraocular pressure. J. Glaucoma. 2007; 16 (7): 581–8. doi:10.1097/IJG.0b013e3180640f40
25. Kurysheva N.I., Parshunina O.A., Shatalova E.O., et al. Value of structural and hemodynamic parameters for the early detection of primary open-angle glaucoma. Cur. Eye Res. 2016; 3683: 1–7. doi: 10.1080/02713683.2016.1184281
26. Shin J., Lee J.W., Kim E.A., Caprioli J. The effect of corneal biomechanical properties on rebound tonometer in patients with normal-tension glaucoma. Am. J. Ophthalmol. 2015; 159 (1): 144–54. doi: 10.1016/j.ajo.2014.10.007
27. Pillunat K.R., Hermann C., Spoerl E., Pillunat L.E. Analyzing biomechanical parameters of the cornea with glaucoma severity in open-angle glaucoma. Graefe's Arch. Clin. Exp. Ophthalmol. 2016; 254 (7): 1345–51. doi: 10.1007/s00417-016-3365-3
28. Gaspar R., Pinto L.A., Sousa D.C. Corneal properties and glaucoma: a review of the literature and meta-analysis. Arq. Bras. Oftalmol. 2017; 80 (3): 202–6. doi: 10.5935/0004-2749.20170050
29. Costin B.R., Fleming G.P., Weber P.A., Mahmoud A.M., Roberts C.J. Corneal biomechanical properties affect Goldmann applanation tonometry in primary open-angle glaucoma. J. Glaucoma. 2014; 23 (2): 69–74. doi: 10.1097/IJG.0b013e318269804b

Поступила: 09.11.2018

Принята к печати: 04.04.2019

Для контактов: Айгуль Шамилевна Загидулина
E-mail: aigul.zagidullina@gmail.com