

БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДУЖНОЙ ОБОЛОЧКИ И ТРАБЕКУЛЯРНОГО АППАРАТА

© С. Ю. Петров¹, Н. Н. Подгорная², А. Э. Асламазова², Д. М. Сафонова¹

¹ФГБНУ «НИИ глазных болезней», Москва;

²МГМУ И.М. Сеченова Минздравсоцразвития России, Москва

✧ Статья представляет собой обзор современных исследований в области биомеханики глаза с акцентом на значение изменения биомеханических свойств анатомических структур в развитии офтальмопатологий. Основное внимание уделяется биомеханике радужки, исследованию её структуры и функционирования у представителей различных рас, а также её роли в закрытии угла передней камеры и патогенезе закрытоугольной глаукомы. Описаны экспериментальные и клинические исследования биомеханики трабекулярной сети, современные взгляды на особенности её строения. Приведена информация о теоретических разработках и практических предпосылках применения нового класса местных гипотензивных препаратов, влияющих на тонус трабекулы (ингибиторы Rho-киназы).

✧ **Ключевые слова:** биомеханика глаза; радужка; трабекула; ингибиторы Rho-киназы.

BIOMECHANICAL STUDIES OF THE IRIS AND THE TRABECULAR MESHWORK

© S. Yu. Petrov¹, N. N. Podgornaya², A. E. Aslamazova², D. M. Safonova¹

¹ I. M. Sechenov First Moscow State Medical University;

² Scientific-research institute of eye diseases of Russian Academy of Medical Sciences

✧ The article presents a literature review of the latest research in the field of ocular biomechanics with an accent on the role of biomechanical properties of anatomical structures in the development of ocular pathologies. Close attention is paid to biomechanical properties of the iris, the study of its structure and functioning in representatives of different races, as well as its role in anterior eye chamber angle closure and the pathogenesis of angle-closure glaucoma. Experimental and clinical researches of trabecular meshwork biomechanics and modern outlooks on its structure characteristics are described. The review provides information on theoretical developments and practical implications of the development of a new class of local hypotensive drugs that influence the trabecular meshwork tonus (Rho-kinase inhibitors).

✧ **Key words:** ocular biomechanics; iris; trabecular meshwork; Rho-kinase inhibitors.

Биомеханика изучает происхождение и приложение сил, действующих внутри и вне живого организма на молекулярном, клеточном, тканевом и органном уровне, а также в организме в целом [42]. В офтальмологии достижения биомеханики пока находят ограниченное применение и, в основном, касаются исследований фиброзной оболочки глаза и структур диска зрительного

нерва. Для большинства офтальмологов понятие биомеханических свойств глаза ассоциируется, в первую очередь, с роговицей. Серии исследований позволили приоткрыть тайны взаимосвязи её свойств с результатами тонометрии, этиологией и терапией кератоконуса, а также кераторефракционной хирургии [37, 38, 53]. Помимо зарубежных исследований, следует отметить работы

отечественных коллективов под руководством С. Э. Аветисова [1–8, 12–14, 32], Ю. С. Астахова [17, 18, 48], Е. А. Егорова [20–23] и В. В. Страхова [25–27]. В последние годы внимание офтальмологов также направлено на особенности строения решетчатой пластинки, зачастую рассматриваемой как «слабое место» заднего полюса глаза, что объясняется разреженностью соединительной ткани в этой зоне по сравнению со склерой [62]. Изменению её биомеханики под влиянием офтальмотонуса посвящён целый ряд исследований с несколько противоречивыми результатами, лишь подчёркивающими необходимость в дальнейшей работе [19, 24, 31, 43, 44, 46, 59, 61, 70]. Хрусталик, как хирургический объект, издавна интересовал офтальмологов, однако, именно научно-технический прогресс последних десятилетий позволил взглянуть на него как на динамический объект с изменяющейся во времени эластичностью как в центре, так и в кортикальных слоях, с определённым влиянием на аккомодативный процесс [9–11, 15, 16, 28, 33, 36, 39, 51, 56, 67].

Глаз принято воспринимать как единую биомеханическую систему, что означает тесную взаимосвязь всех его отделов и происходящих процессов. Это непосредственно относится и к сосудистой оболочке, а именно к *радужке*, интерес к изучению биомеханики которой существенно возрос в последние годы. Отчасти это может быть обусловлено переоценкой её роли в закрытии угла передней камеры [57] и существенным увеличением частоты закрытоугольной глаукомы, которое связывают со старением населения стран Азии. Исследователи предлагают задуматься, почему на 10 пациентов с узким углом передней камеры в среднем только у 1 возникает его закрытие. Согласно D. Friedman, для развития закрытоугольной глаукомы необходимо сочетание короткой передне-задней оси с особой динамической подвижностью внутриглазных структур [41]. Исследование Н. Quigley, изучившего структуру радужки у лиц с предрасположенностью к закрытию угла при мидриазе с помощью УВМ и AS-OCT, разделило пациентов на группу с растущим объёмом периферии радужки и группу с её не меняющимися её размерами. Авторы предположили возможность различий губчатой структуры радужной оболочки, что позволяет объяснить феномен отсутствия закрытия угла при мидриазе в так называемых коротких глазах освобождением радужки от излишней влаги. В этом случае расширение зрачка

с 3 до 7 мм сопровождалось потерей половины объёма радужки, предположительно, за счёт выхода внеклеточной жидкости в переднюю камеру. У пациентов с закрытоугольной глаукомой жидкость не покидает корень радужки, что приводит к её утолщению [58]. Позже эта теория была подтверждена работой F. Aptel, показавшего корреляцию между диаметром зрачка в мидриазе и объёмом радужки [30]. Исследование было проведено среди представителей европейской расы, что поднимает вопрос о необходимости дальнейшего изучения губчатого механизма у лиц других рас, ведь, как известно, радужки даже разного цвета, могут существенно различаться по структуре. R. Lee было установлено различие в толщине радужки у представителей различных национальностей, а увеличение её толщины также было ассоциировано с закрытием угла передней камеры [50]. В группах с открыто- и закрытоугольной глаукомами наиболее толстые радужки были отмечены у лиц монгольской расы. Исследование В. Wang подтвердило наличие более толстой радужки у пациентов с закрытоугольной формой глаукомы [65].

При расширении зрачка у лиц с узкоугольной формой глаукомы изменение положения радужки играет более существенную роль в повышении офтальмотонуса, чем при открытоугольной форме. Однако в ряде работ акцент в понимании механизма закрытия угла делается на необходимости исследования особенностей взаимоотношений между радужкой, хрусталиком и трабекулярной сетью. Результаты исследования С. Zheng китайской популяции, с применением современных методов клинической визуализации структур передней поверхности глаза, свидетельствуют о необходимости пересмотра роли корреляции между амплитудой растяжения радужки при мидриазе и изменением её периферической толщины и кривизны в развитии хронического и острого закрытия угла камеры [73].

Возможности экспериментальных исследований биомеханики радужки в настоящее время ограничены сложными условиями эксперимента и разрешающими возможностями визуализирующей аппаратуры. Н. Wyatt предложил математическую модель нелинейного растяжения радужной оболочки, описывающую нагрузку на её ткани в момент расширения зрачка [69] и обеспечивающую длительную сохранность структуры при достаточно выраженной нагрузке.

J. Whitcomb исследовал свиные радужки с применением методики микровдавления. В ре-

зультате было установлено, что задние слои радужки (пигментный эпителий, сфинктер и дилататор зрачка) существенно жестче передней стромы, что свидетельствует о неоднородности её биомеханических свойств [68].

Возможности визуализации и компьютерной обработки информации позволяют получить трехмерное изображение радужки *in vivo* [29]. Наблюдается существенный прогресс в увеличении как разрешающей способности, так и глубины сканирования современной диагностической аппаратуры, что должно дать возможность количественной оценки биомеханики радужки в клинике. Это может иметь практическое значение для понимания механизмов развития блокады угла передней камеры и, в том числе, повлиять на будущее конструктивных особенностей и материалов имплантатов радужки.

Интерес к биомеханике *трабекулярной сети* отчасти продиктован появлением большого количества модификаций хирургических вмешательств на структурах угла передней камеры в рамках т. н. микроинвазивной хирургии глаукомы, а также разработкой нового класса местных гипотензивных препаратов, влияющих на тонус трабекулярного аппарата (ингибиторы Rho-киназы). Высоко значение роли трабекулярной ретенции, обусловленной накоплением гликозаминогликанов во внеклеточном матриксе и утолщением трабекул с утратой трабекулярных пространств в сочетании с элементами хронического воспаления [63].

Изменения трабекулярного цитоскелета могут повлиять на биомеханические свойства трабекулярной сети. Исследования J. Last с одноосным растяжением трабекулярной ткани свидетельствуют о существенном повышении её ригидности при глаукоме [49]. Нарушение биофизических характеристик трабекулярной сети напрямую коррелирует со снижением легкости оттока внутриглазной жидкости, а, следовательно, с возникновением и прогрессированием глаукомы [52].

C. Ethier, изучая архитектуру F-актина эндотелиоцитов шлеммова канала, установил, что наличие данного белка, зависящее от т. н. напряжения сдвига тока водянистой влаги, влияет на состояние просвета канала. Это подразумевает необходимость детального изучения сил напряжения сдвига, чтобы объяснить развивающиеся патологические процессы и иметь возможность влиять на них фармакологическим или хирургическим методами [40].

D. Zeng определил модуль продольной упругости Юнга в культуре клеток шлеммова канала методом магнитной цитометрии, сравнивая полученную величину с результатами исследований с применением технологий визуализации и нагрузки давлением на клетки шлеммова канала у приматов. Авторами был сделан вывод об увеличении величины модуля при повышении офтальмотонуса [71]. Измерение этих характеристик *in vivo* может оказать помощь в оценке легкости оттока и разработке терапевтических стратегий при глаукоме. Указанные параметры могут выступать в качестве клинических биомаркеров патологических процессов и прогноза тяжести заболевания.

Ограничения в исследованиях биомеханики переднего отрезка обусловлены сложностью в точном дозировании нагрузки для стрессового воздействия на ткани-мишени *in vivo* и пока еще недостаточным разрешением современной визуализационной аппаратуры.

Также из-за анатомической близости радужки и трабекулярной сети затруднительно дифференцировать их биомеханические характеристики. В решении этой проблемы могут помочь методы моделирования. В настоящее время вновь поднят вопрос о возможности применения офтальмодинамометрии и ультразвука в качестве нагрузочных методик. В будущем станет возможным и увеличение разрешающей способности технологий когерентной томографии. В 2012 L. Kagemann продемонстрировал возможность ОСТ-визуализации путей оттока внутриглазной жидкости, включающих шлеммов канал, а уже спустя 2 года им были продемонстрированы первые результаты оценки влияния на морфологию данных путей резких перепадов ВГД [47].

Согласно ряду гистологических исследований, трабекулярный аппарат глаза содержит элементы, сходные с гладкомышечной тканью [34, 72]. В клетках трабекулярной сети и шлеммова канала обнаружена высокоорганизованная актин-миозиновая система, отвечающая за сократительные процессы в гладкомышечной ткани. Динамика актин-миозиновой системы играет важную роль в изменениях формы клеток, их объёма и связей с соседними клетками и внеклеточным матриксом [55, 60].

Также у пациентов с глаукомой было выявлено повышение уровня эндотелина-1 и трансформирующего фактора роста (ТФР)- β 2, влияющих на сокращение тканей, во внутриглазной жидкости по сравнению с нормой, что позволило пред-

положить важную роль сократительной способности тканей дренажной системы и обновления внеклеточного матрикса в регуляции резистентности оттоку ВГЖ [35].

Согласно исследованиям, препараты, влияющие на форму клеток, их сократимость, межклеточные контакты, адгезию клеток и структуру внеклеточного матрикса, также влияют и на отток внутриглазной жидкости [54]. Сокращение и расслабление трабекулярной сети, согласно последним данным, является одним из основных факторов, обеспечивающих регуляцию оттока внутриглазной жидкости по шлеммову каналу. Сокращение трабекулы ведет к понижению внутриглазного оттока, и наоборот, её расслабление увеличивает отток внутриглазной жидкости. Расслабление трабекулярной сети вследствие напрямую действующих на актомиозиновую систему препаратов дополняется их действием на актиновый цитоскелет, при котором, предположительно, расширяются не только пространства между клетками внутренней стенки шлеммова канала и остальными отделами трабекулы, но и сами межклеточные пространства [64].

Rho-ассоциированная протеин-киназа (ROCK) является эффектором гуанозинтрифосфатаз Rho-семейства, играющим важную роль в вышеперечисленных процессах посредством влияния на актиновый цитоскелет клетки. Селективные ингибиторы Rho-киназы оказывают расслабляющее действие на трабекулярную сеть, которое может сопровождаться улучшением основной части оттока внутриглазной жидкости [66]. Задачей разработки новых лекарств стало синтезирование селективно действующего вещества, не влияющего на другие виды протеинкиназ, сходных с ROCK по строению, но радикально отличающихся по действию [45]. На сегодняшний день разработкой нового класса лекарств занимается несколько крупных фармакологических компаний. Некоторые из ингибиторов ROCK находятся на стадии успешных клинических исследований: RhoPressa™ (фаза III, Aerie Pharmaceuticals, США), Roclatan™ (фаза II, Aerie Pharmaceuticals, США), K-115 (фаза III, Kowa Pharmaceutical, Япония) и AMA0076 (фаза II, Amakem Therapeutics, Бельгия).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение биомеханических свойств структур глаза способствует лучшему пониманию процессов патогенеза различных офтальмологиче-

ских патологий, что, в свою очередь, призвано помочь в разработке новых путей их терапевтического и хирургического лечения. Технологический прогресс в биохимических, морфологических и цифровых методах позволяет сделать новые шаги в исследованиях строения, функционирования и взаимодействия отделов глаза, влияющих, в том числе, на транспортировку и отток внутриглазной жидкости. Исследования радужной оболочки смогут пролить свет на патогенез закрытия угла передней камеры, что может оказаться ключевым фактором, влияющим на профилактику и терапию закрытоугольной глаукомы. Выявление механизмов развития трабекулярной ретенции и путей её преодоления поможет приоткрыть завесу одной из основных загадок глаукомы, а также подтолкнуть исследователей к разработке новых препаратов и технологий нормализации офтальмотонуса. Таким образом, понимание биомеханических процессов продолжает играть одну из ключевых ролей не только в науке, но и в практической офтальмологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аветисов С. Э. Современные аспекты коррекции рефракционных нарушений. Вестник офтальмологии. 2004; 120 (1): 19.
2. Аветисов С. Э. Современные подходы к коррекции рефракционных нарушений. Вестник офтальмологии. 2006; 1: 3.
3. 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.
4. 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): 14–6.
5. 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): 30–3.
6. Аветисов С. Э., Воронин Г. В. Экспериментальное исследование механических характеристик роговицы после эксимерлазерной фотоабляции. РМЖ Клиническая офтальмология. 2001; 3: 83.
7. 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.
8. 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.

9. Аветисов С. Э., Казарян Э. Э., Мамиконян В. Р., Шелудченко В. М. и др. Результаты комплексной оценки accommodative asthenopia при работе с видеомониторами различной конструкции. Вестник офтальмологии. 2004; 120 (3): 38.
10. Аветисов С. Э., Липатов Д. В. Функциональные результаты различных методов коррекции афакии. Вестник офтальмологии. 2000; 116 (4): 12–5.
11. Аветисов С. Э., Липатов Д. В., Федоров А. А. Морфологические изменения при несостоятельности связочно-капсулярного аппарата хрусталика. Вестник офтальмологии. 2002; 118 (4): 22–3.
12. Аветисов С. Э., Мамиконян В. Р. Кераторефракционная хирургия. М.: Полигран; 1993. 120 с.
13. Аветисов С. Э., Петров С. Ю., Бубнова И. А., Аветисов К. С. Возможное влияние толщины роговицы на показатель внутриглазного давления. В сборнике: Современные методы диагностики и лечения заболеваний роговицы и склеры Сборник научных статей Российской академии медицинских наук, ММА им Сеченова, ГУ Научно-исследовательский институт глазных болезней. 2007; 240–2.
14. 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.
15. Аветисов С. Э., Полуниин Г. С., Шеремет Н. Л., Макаров И. А. и др. Поиск шапероноподобных антикатарактальных препаратов-антиагрегантов кристаллинов хрусталика глаза. Сообщение 4. Изучение воздействия смеси диитетрапептидов на «продолгованной» модели уф-индуцированной катаракты у крыс. Вестник офтальмологии. 2008; 124 (2): 12–16.
16. Аветисов С. Э., Полуниин Г. С., Шеремет Н. Л., Муранов К. О. и др. Поиск шапероноподобных антикатарактальных препаратов-антиагрегантов кристаллинов хрусталика глаза. Сообщение 3. Изучение воздействия смеси ди-итетрапептидов на «продолгованной» модели уф-индуцированной катаракты у крыс. Вестник офтальмологии. 2008; 124 (2): 8–12.
17. Астахов Ю. С., Акопов Е. Л., Потемкин В. В. Аппланационная и динамическая контурная тонометрия: сравнительный анализ. Офтальмологические ведомости. 2008; 1 (1): 4–10.
18. Астахов Ю. С., Акопов Е. Л., Потемкин В. В. Сравнительная характеристика современных методов тонометрии. Вестник офтальмологии. 2008; 124 (5): 11–4.
19. Астахов Ю. С., Даль Н. Ю., Акопов Е. Л. Оценка изменений диска зрительного нерва при вакуумно-компрессионной нагрузке при помощи гейдельбергского ретинального томографа HRTII. РМЖ Клиническая офтальмология. 2003; 4 (2): 70.
20. Егоров Е. А., Васина М. В. Значение исследования биомеханических свойств роговой оболочки в оценке офтальмотонуса. РМЖ Клиническая офтальмология. 2004; (2): 25.
21. Егоров Е. А., Васина М. В. Значение исследования биомеханических свойств роговой оболочки в оценке офтальмотонуса. РМЖ Клиническая офтальмология. 2008; 9 (1): 1.
22. Егоров Е. А., М. В. В. Влияние толщины роговицы на уровень внутриглазного давления среди различных групп пациентов. РМЖ Клиническая офтальмология. 2006; (1): 16.
23. Егоров Е. А., М. В. В. Внутриглазное давление и толщина роговицы. Глаукома. 2006; (2): 34–6.
24. Страхов В. В., Алексеев В. В., Ермакова А. В. Информативность биоретинометрических показателей диска зрительного нерва и сетчатки в ранней диагностике первичной глаукомы. Глаукома. 2009; (3): 3–10.
25. Страхов В. В., Алексеев В. В., Ермакова А. В., Корчагин Н. В. и др. Асимметрия тонометрических, гемодинамических и биоретинометрических показателей парных глаз в норме и при первичной глаукоме. Глаукома. 2008; (4): 11–7.
26. Страхов В. В., Алексеев В. В., Ремизов М. С. К вопросу исследования ригидности глаза. Вестник офтальмологии. 1994; 3: 26.
27. Страхов В. В., Гулидова Е. Г. Особенности прогрессирования миопии в зависимости от уровня офтальмотонуса. Российская педиатрическая офтальмология. 2011; 1: 15–19.
28. Страхов В. В., Сулова А. Ю., Бузыкин М. А. Аккомодация и гидродинамика глаза. РМЖ Клиническая офтальмология. 2003; 2: 52.
29. Amini R., Whitcomb J. E., Al-Qaisi M. K., Akkin T., et al. The posterior location of the dilator muscle induces anterior iris bowing during dilation, even in the absence of pupillary block. Investigative ophthalmology & visual science. 2012; 53 (3): 1188–94.
30. Aptel F., Denis P. Optical coherence tomography quantitative analysis of iris volume changes after pharmacologic mydriasis. Ophthalmology. 2010; 117 (1): 3–10.
31. Astakhov Y. S., Akopov E. L. Evaluation of lamina cribrosa tolerance to the increase of intraocular pressure in healthy people and primary open angle glaucoma patients. In: Progress in Biomedical Optics and Imaging — Proceedings of SPIE Optics in Health Care and Biomedical Optics: Diagnostics and Treatment II. Сер. «Optics in Health Care and Biomedical Optics: Diagnostics and Treatment II» sponsors: SPIE, Chinese Optical Society, COS; editors: B. Chance, M. Chen, A. E. T. Chiou, Q. Luo, University of Pennsylvania, United States. Beijing, 2005. С. 544–52.
32. Avetisov S. E., Novikov I. A., Bubnova I. A., Antonov A. A., et al. Determination of corneal elasticity coefficient using the ORA database. Journal of refractive surgery. 2010; 26 (7): 520–4.
33. Baradia H., Nikahd N., Glasser A. Mouse lens stiffness measurements. Exp Eye Res. 2010; 91 (2): 300–7.
34. Challa P., Arnold J. J. Rho-kinase inhibitors offer a new approach in the treatment of glaucoma. Expert opinion on investigational drugs. 2014; 23 (1): 81–95.
35. Choritz L., Machert M., Thieme H. Correlation of endothelin-1 concentration in aqueous humor with intraocular pressure in primary open angle and pseudoexfoliation glaucoma. Investigative ophthalmology & visual science. 2012; 53 (11): 7336–42.

36. Danysh B. P., Duncan M. K. The lens capsule. *Exp Eye Res.* 2009; 88 (2): 151–64.
37. Dupps W. J., Jr., Roberts C. Effect of acute biomechanical changes on corneal curvature after photokeratectomy. *J Refract Surg.* 2001; 17 (6): 658–69.
38. Edmund C. Corneal topography and elasticity in normal and keratoconic eyes. A methodological study concerning the pathogenesis of keratoconus. *Acta Ophthalmol Suppl.* 1989; 193: 1–36.
39. Erpelding T. N., Hollman K. W., O'Donnell M. Mapping age-related elasticity changes in porcine lenses using bubble-based acoustic radiation force. *Exp Eye Res.* 2007; 84 (2): 332–41.
40. Ethier C. R., Read A. T., Chan D. Biomechanics of Schlemm's canal endothelial cells: influence on F-actin architecture. *Biophys J.* 2004; 87 (4): 2828–37.
41. Friedman D. S., Gazzard G., Foster P., Devereux J., et al. Ultrasonographic biomicroscopy, Scheimpflug photography, and novel provocative tests in contralateral eyes of Chinese patients initially seen with acute angle closure. *Archives of ophthalmology.* 2003; 121 (5): 633–42.
42. Fung Y. C. *Biomechanics: Mechanical properties of living tissues.* 2, editor. New York: Springer-Verlag; 1993.
43. Girard M. J., Suh J. K., Bottlang M., Burgoyne C. F., Downs J. C. Scleral biomechanics in the aging monkey eye. *Investigative ophthalmology & visual science.* 2009; 50 (11): 5226–37.
44. Grytz R., Sigal I. A., Ruberti J. W., Meschke G., Downs J. C. Lamina Cribrosa Thickening in Early Glaucoma Predicted by a Microstructure Motivated Growth and Remodeling Approach. *Mech Mater.* 2012; 44: 99–109.
45. Honjo M., Tanihara H., Inatani M., Kido N., et al. Effects of rho-associated protein kinase inhibitor Y-27632 on intraocular pressure and outflow facility. *Investigative ophthalmology & visual science.* 2001; 42 (1): 137–44.
46. Jonas J. B., Berenshtein E., Holbach L. Lamina cribrosa thickness and spatial relationships between intraocular space and cerebrospinal fluid space in highly myopic eyes. *Investigative ophthalmology & visual science.* 2004; 45 (8): 2660–5.
47. Kagemann L., Wang B., Wollstein G., Ishikawa H., et al. IOP elevation reduces Schlemm's canal cross-sectional area. *Investigative ophthalmology & visual science.* 2014; 55 (3): 1805–9.
48. Konstas A. G., Irkec M. T., Teus M. A., Cvenkel B., et al. Mean intraocular pressure and progression based on corneal thickness in patients with ocular hypertension. *Eye.* 2009; 23 (1): 73–8.
49. Last J. A., Pan T., Ding Y., Reilly C. M., et al. Elastic modulus determination of normal and glaucomatous human trabecular meshwork. *Investigative ophthalmology & visual science.* 2011; 52 (5): 2147–52.
50. Lee R. Y., Huang G., Porco T. C., Chen Y. C., He M., Lin S. C. Differences in iris thickness among African Americans, Caucasian Americans, Hispanic Americans, Chinese Americans, and Filipino-Americans. *Journal of glaucoma.* 2013; 22 (9): 673–8.
51. Manns F., Parel J. M., Denham D., Billotte C., et al. Optomechanical response of human and monkey lenses in a lens stretcher. *Investigative ophthalmology & visual science.* 2007; 48 (7): 3260–8.
52. McKee C. T., Wood J. A., Shah N. M., Fischer M. E., et al. The effect of biophysical attributes of the ocular trabecular meshwork associated with glaucoma on the cell response to therapeutic agents. *Biomaterials.* 2011; 32 (9): 2417–23.
53. Meek K. M., Tuft S. J., Huang Y., Gill P. S., et al. Changes in collagen orientation and distribution in keratoconus corneas. *Investigative ophthalmology & visual science.* 2005; 46 (6): 1948–56.
54. Murphy K. C., Morgan J. T., Wood J. A., Sadeli A., Murphy C. J., Russell P. The formation of cortical actin arrays in human trabecular meshwork cells in response to cytoskeletal disruption. *Experimental cell research.* 2014; 328 (1): 164–171.
55. Nakajima E., Nakajima T., Minagawa Y., Shearer T. R., Azuma M. Contribution of ROCK in contraction of trabecular meshwork: proposed mechanism for regulating aqueous outflow in monkey and human eyes. *Journal of pharmaceutical sciences.* 2005; 94 (4): 701–8.
56. Ostrin L. A., Glasser A. Edinger-Westphal and pharmacologically stimulated accommodative refractive changes and lens and ciliary process movements in rhesus monkeys. *Exp Eye Res.* 2007; 84 (2): 302–13.
57. Quigley H. A. The iris is a sponge: a cause of angle closure. *Ophthalmology.* 2010; 117 (1): 1–2.
58. Quigley H. A., Silver D. M., Friedman D. S., He M., et al. Iris cross-sectional area decreases with pupil dilation and its dynamic behavior is a risk factor in angle closure. *Journal of glaucoma.* 2009; 18 (3): 173–9.
59. Roberts M. D., Liang Y., Sigal I. A., Grimm J., et al. Correlation between local stress and strain and lamina cribrosa connective tissue volume fraction in normal monkey eyes. *Investigative ophthalmology & visual science.* 2010; 51 (1): 295–307.
60. Shimizu Y., Thumkeo D., Keel J., Ishizaki T., et al. ROCK-I regulates closure of the eyelids and ventral body wall by inducing assembly of actomyosin bundles. *The Journal of cell biology.* 2005; 168 (6): 941–53.
61. Sigal I. A. Interactions between geometry and mechanical properties on the optic nerve head. *Investigative ophthalmology & visual science.* 2009; 50 (6): 2785–95.
62. Sigal I. A., Ethier C. R. Biomechanics of the optic nerve head. *Exp Eye Res.* 2009; 88 (4): 799–807.
63. Sihota R., Goyal A., Kaur J., Gupta V., Nag T. C. Scanning electron microscopy of the trabecular meshwork: understanding the pathogenesis of primary angle closure glaucoma. *Indian J Ophthalmol.* 2012; 60 (3): 183–8.
64. Tamm E. R. Functional morphology of the outflow pathways of aqueous humor and their changes in open angle glaucoma. *Der Ophthalmologe: Zeitschrift der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft.* 2013; 110 (11): 1026–35.
65. Wang B. S., Narayanaswamy A., Amerasinghe N., Zheng C., et al. Increased iris thickness and association with primary angle closure glaucoma. *Br J Ophthalmol.* 2011; 95 (1): 46–50.

66. Wang J., Liu X., Zhong Y. Rho/Rho-associated kinase pathway in glaucoma (Review). *International journal of oncology*. 2013; 43 (5): 1357–67.
67. Weeber H.A., Eckert G., Pechhold W., van der Heijde R.G. Stiffness gradient in the crystalline lens. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2007; 245 (9): 1357–66.
68. Whitcomb J.E., Amini R., Simha N.K., Barocas V.H. Anterior-posterior asymmetry in iris mechanics measured by indentation. *Exp Eye Res*. 2011; 93 (4): 475–81.
69. Wyatt H.J. A 'minimum-wear-and-tear' meshwork for the iris. *Vision Res*. 2000; 40 (16): 2167–76.
70. Yan D.B., Coloma F.M., Metheerairut A., Trope G.E., Heathcote J.G., Ethier C.R. Deformation of the lamina cribrosa by elevated intraocular pressure. *Br J Ophthalmol*. 1994; 78 (8): 643–8.
71. Zeng D., Juzkiw T., Read A.T., Chan D.W., et al. Young's modulus of elasticity of Schlemm's canal endothelial cells. *Biomech Model Mechanobiol*. 2010; 9 (1): 19–33.
72. Zhang M., Maddala R., Rao P.V. Novel molecular insights into RhoA GTPase-induced resistance to aqueous humor outflow through the trabecular meshwork. *American journal of physiology Cell physiology*. 2008; 295 (5): 1057–70.
73. Zheng C., Cheung C.Y., Aung T., Narayanaswamy A., et al. In vivo analysis of vectors involved in pupil constriction in Chinese subjects with angle closure. *Investigative ophthalmology & visual science*. 2012; 53 (11): 6756–62.
74. toablyatsii [Experimental study of the mechanical properties of the cornea after excimer laser of photoablation]. *RMZh Klinicheskaya oftal'mologiya*. 2001; 3: 83.
75. Avetisov S.E., Egorova G.B., Fedorov A.A., Bobrovskikh N.V. Konfokal'naya mikroskopiya rogovitsy [Confocal microscopy of the cornea]. *Soobshchenie 1. Osobennosti normal'noy morfologicheskoy kartiny. Vestnik oftal'mologii*. 2008; 124 (3): 3–5.
76. Avetisov S.E., Egorova G.B., Fedorov A.A., Bobrovskikh N.V. Konfokal'naya mikroskopiya rogovitsy [Confocal microscopy of the cornea]. *Soobshchenie 2. Morfologicheskie izmeneniya pri keratokonuse. Vestnik oftal'mologii*. 2008; 124 (3): 6–9.
77. Avetisov S.E., Kazaryan E.E., Mamikonyan V.R., Sheludchenko V.M. i dr. Rezul'taty kompleksnoy otsenki akkomodativnoy astenopii pri rabote s videomonitorami razlichnoy konstruksii [The results of the comprehensive assessment of accommodative asthenopia when working with monitors various designs]. *Vestnik oftal'mologii*. 2004; 120 (3): 38.
78. Avetisov S.E., Lipatov D.V. Funktsional'nye rezul'taty razlichnykh metodov korrektsii afakii [Functional results of different methods of correction afakii]. *Vestnik oftal'mologii*. 2000; 116 (4): 12–5.
79. Avetisov S.E., Lipatov D.V., Fedorov A.A. Morfologicheskie izmeneniya pri nesostoyatel'nosti svyazochno-kapsulyarnogo apparata khrustalika [Morphological changes in insolventy ligament-capsular lens apparatus]. *Vestnik oftal'mologii*. 2002; 118 (4): 22–3.
80. Avetisov S.E., Mamikonyan V.R. Keratorefraktsionnaya khirurgiya [Keratorefractive surgery]. M.: Poligran; 1993. 120 c.
81. Avetisov S.E., Petrov S.Yu., Bubnova I.A., Avetisov K.S. Vozmozhnoe vliyaniye tolshchiny rogovitsy na pokazatel' vnutriglaznogo davleniya [The possible influence of corneal thickness on the rate of intraocular pressure]. V sbornike: *Sovremennyye metody diagnostiki i lecheniya zabolevaniy rogovitsy i sklery* Sbornik nauchnykh statey Rossiyskaya akademiya meditsinskikh nauk, MMA im Sechenova, GU Nauchno-issledovatel'skiy institut glaznykh bolezney. 2007; 240–2.
82. Avetisov S.E., Petrov S.Yu., Bubnova I.A., Antonov A.A., Avetisov K.S. Vliyaniye tsentral'noy tolshchiny rogovitsy na rezul'taty tonometrii (obzor literatury) [The influence of Central corneal thickness on the results tonometry (literature review)]. *Vestnik oftal'mologii*. 2008; 124 (5): 1–7.
83. Avetisov S.E., Polunin G.S., Sheremet N.L., Makarov I.A. i dr. Poisk shaperonopodobnykh antikataraktal'nykh preparatov-antiagregantov kristallinov khrustalika glaza []. *Soobshchenie 4. Izuchenie vozdeystviya smesi diitrapeptidov na «prolongirovannoy» modeli uf-indutsirovannoy katarakty u krys. Vestnik oftal'mologii*. 2008; 124 (2): 12–6.
84. Avetisov S.E., Polunin G.S., Sheremet N.L., Muranov K.O. i dr. Poisk shaperonopodobnykh antikataraktal'nykh preparatov-antiagregantov kristallinov khrustalika glaza [Search superanabolon anticataractal drugs antiplatelet agents crystalline eye lens]. *Soobshchenie 3. Izuchenie vozdeystviya smesi di-*

REFERENCES

1. Avetisov S.E. Sovremennyye aspekty korrektsii refraktsionnykh narusheniy [Modern aspects of the correction of refractive disorders]. *Vestnik oftal'mologii*. 2004; 120 (1): 19.
2. Avetisov S.E. Sovremennyye podkhody k korrektsii refraktsionnykh narusheniy [Modern approaches to the correction of refractive disorders]. *Vestnik oftal'mologii*. 2006; 1: 3.
3. Avetisov S.E., Bubnova I.A., Antonov A.A. Biomekhanicheskie svoystva rogovitsy: klinicheskoe znachenie, metody issledovaniya, vozmozhnosti sistematizatsii podkhodov k izucheniyu [Biomechanical properties of the cornea: clinical significance, research methods, the possibility of systematic approaches to the study]. *Vestnik oftal'mologii*. 2010; 126 (6): 3–7.
4. Avetisov S.E., Bubnova I.A., Antonov A.A. Issledovanie biomekhanicheskikh svoystv rogovitsy u patsientov s normotenzivnoy i pervichnoy otkrytougol'noy glaukomoy [The study of biomechanical properties of the cornea in patients with normotensive and primary open-angle glaucoma]. *Vestnik oftal'mologii*. 2008; 124 (5): 14–6.
5. Avetisov S.E., Bubnova I.A., Antonov A.A. Issledovanie vliyaniya biomekhanicheskikh svoystv rogovitsy na pokazateli tonometrii [Investigation of the influence of biomechanical properties of the cornea on the indicators tonometry]. *Byulleten' Sibirskogo otdeleniya Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk*. 2009; 29 (4): 30–3.
6. Avetisov S.E., Voronin G.V. Eksperimental'noe issledovanie mekhanicheskikh kharakteristik rogovitsy posle eksimerlazernoy fo-

- itetrapeptidov na» prolongirovannoy» modeli uf-indutsirovannoy katarakty u kryс. Vestnik oftal'mologii. 2008; 124 (2): 8–12.
17. Astakhov Yu. S., Akopov E. L., Potemkin V. V. Applanatsionnaya i dinamicheskaya konturnaya tonometriya: sravnitel'nyy analiz [Applanation and dynamic contour tonometry: a comparative analysis]. Oftal'mologicheskie vedomosti. 2008; 1 (1): 4–10.
 18. Astakhov Yu. S., Akopov E. L., Potemkin V. V. Sravnitel'naya kharakteristika sovremennykh metodov tonometrii [Comparative characteristics of modern methods of tonometry]. Vestnik oftal'mologii. 2008; 124 (5): 11–4.
 19. Astakhov Yu. S., Dal' N. Yu., Akopov E. L. Otsenka izmeneniy diska zritel'nogo nerva pri vakuumno-kompressionnoy nagruzke pri pomoshchi geydel'bergskogo retinal'nogo tomografa HRTII [Evaluation of changes in the optic disk in the vacuum-compression load using the Heidelberg retinal tomograph HRTII]. RMZh Klinicheskaya oftal'mologiya. 2003; 4 (2): 70.
 20. Egorov E. A., Vasina M. V. Znachenie issledovaniya biomekhanicheskikh svoystv rogovoy obolochki v otsenke oftal'motonusa [The value of the study of biomechanical properties of the cornea in the assessment of intraocular pressure]. RMZh Klinicheskaya oftal'mologiya. 2004; (2): 25.
 21. Egorov E. A., Vasina M. V. Znachenie issledovaniya biomekhanicheskikh svoystv rogovoy obolochki v otsenke oftal'motonusa. RMZh Klinicheskaya oftal'mologiya [The value of the study of biomechanical properties of the cornea in the assessment of intraocular pressure]. 2008; 9 (1): 1.
 22. Egorov E. A., M. V. V. Vliyaniye tolshchiny rogovitsy na uroven' vnutriglaznogo davleniya sredi razlichnykh grupp patsientov [Influence of corneal thickness on the level of intraocular pressure among different groups of patients]. RMZh Klinicheskaya oftal'mologiya. 2006; (1): 16.
 23. Egorov E. A., M. V. V. Vnutriglaznoye davlenie i tolshchina rogovitsy [Intraocular pressure and corneal thickness]. Glaukoma. 2006; (2): 34–6.
 24. Strakhov V. V., Alekseev V. V., Ermakova A. V. Informativnost' bioretinometricheskikh pokazateley diska zritel'nogo nerva i setchatki v ranney diagnostike pervichnoy glaukomy [Informative biorefineries indicators of the optic nerve and retina in the early diagnosis of primary glaucoma]. Glaukoma. 2009; (3): 3–10.
 25. Strakhov V. V., Alekseev V. V., Ermakova A. V., Korchagin N. V. i dr. Asimetriya tonometricheskikh, gemodinamicheskikh i bioretinometricheskikh pokazateley parnykh glaz v norme i pri pervichnoy glaukome [The asymmetry of the tonometry, hemodynamic and biorefineries indicators pair of normal eyes and in primary glaucoma]. Glaukoma. 2008; (4): 11–7.
 26. Strakhov V. V., Alekseev V. V., Remizov M. S. K voprosu issledovaniya rigidnosti glaza [The research question rigidity eyes]. Vestnik oftal'mologii. 1994; 3: 26.
 27. Strakhov V. V., Gulidova E. G. Osobennosti progressirovaniya miopii v zavisimosti ot urovnya oftal'motonusa [Features of the progression of myopia, depending on the level of intraocular pressure]. Rossiyskaya pediatricheskaya oftal'mologiya. 2011; 1: 15–19.
 28. Strakhov V. V., Suslova A. Yu., Buzykin M. A. Akkomodatsiya i gidrodinamika glaza [Аккомодация и гидродинамика глаза]. RMZh Klinicheskaya oftal'mologiya. 2003; 2: 52.
 29. Amini R., Whitcomb J. E., Al-Qaisi M. K., Akkin T., et al. The posterior location of the dilator muscle induces anterior iris bowing during dilation, even in the absence of pupillary block. Investigative ophthalmology & visual science. 2012; 53 (3): 1188–94.
 30. Aptel F., Denis P. Optical coherence tomography quantitative analysis of iris volume changes after pharmacologic mydriasis. Ophthalmology. 2010; 117 (1): 3–10.
 31. Astakhov Y. S., Akopov E. L. Evaluation of lamina cribrosa tolerance to the increase of intraocular pressure in healthy people and primary open angle glaucoma patients. In: Progress in Biomedical Optics and Imaging — Proceedings of SPIE Optics in Health Care and Biomedical Optics: Diagnostics and Treatment II. Ser. «Optics in Health Care and Biomedical Optics: Diagnostics and Treatment II» sponsors: SPIE, Chinese Optical Society, COS; editors: B. Chance, M. Chen, A. E. T. Chiou, Q. Luo, University of Pennsylvania, United States. Beijing, 2005. С. 544–52.
 32. Avetisov S. E., Novikov I. A., Bubnova I. A., Antonov A. A., et al. Determination of corneal elasticity coefficient using the ORA database. Journal of refractive surgery. 2010; 26 (7): 520–4.
 33. Baradia H., Nikahd N., Glasser A. Mouse lens stiffness measurements. Exp Eye Res. 2010; 91 (2): 300–7.
 34. Challa P., Arnold J. J. Rho-kinase inhibitors offer a new approach in the treatment of glaucoma. Expert opinion on investigational drugs. 2014; 23 (1): 81–95.
 35. Choritz L., Machert M., Thieme H. Correlation of endothelin-1 concentration in aqueous humor with intraocular pressure in primary open angle and pseudoexfoliation glaucoma. Investigative ophthalmology & visual science. 2012; 53 (11): 7336–42.
 36. Danysh B. P., Duncan M. K. The lens capsule. Exp Eye Res. 2009; 88 (2): 151–64.
 37. Dupps W. J., Jr., Roberts C. Effect of acute biomechanical changes on corneal curvature after photokeratectomy. J Refract Surg. 2001; 17 (6): 658–69.
 38. Edmund C. Corneal topography and elasticity in normal and keratoconic eyes. A methodological study concerning the pathogenesis of keratoconus. Acta Ophthalmol Suppl. 1989; 193: 1–36.
 39. Erpelding T. N., Hollman K. W., O'Donnell M. Mapping age-related elasticity changes in porcine lenses using bubble-based acoustic radiation force. Exp Eye Res. 2007; 84 (2): 332–41.
 40. Ethier C. R., Read A. T., Chan D. Biomechanics of Schlemm's canal endothelial cells: influence on F-actin architecture. Biophys J. 2004; 87 (4): 2828–37.
 41. Friedman D. S., Gazzard G., Foster P., Devereux J., et al. Ultrasoundographic biomicroscopy, Scheimpflug photography, and novel provocative tests in contralateral eyes of Chinese patients initially

- seen with acute angle closure. *Archives of ophthalmology*. 2003; 121 (5): 633–42.
42. Fung Y. C. *Biomechanics: Mechanical properties of living tissues*. 2, editor. New York: Springer-Verlag; 1993.
 43. Girard M. J., Suh J. K., Bottlang M., Burgoyne C. F., Downs J. C. Scleral biomechanics in the aging monkey eye. *Investigative ophthalmology & visual science*. 2009; 50 (11): 5226–37.
 44. Grytz R., Sigal I. A., Ruberti J. W., Meschke G., Downs J. C. Lamina Cribrosa Thickening in Early Glaucoma Predicted by a Microstructure Motivated Growth and Remodeling Approach. *Mech Mater*. 2012; 44: 99–109.
 45. Honjo M., Tanihara H., Inatani M., Kido N., et al. Effects of rho-associated protein kinase inhibitor Y-27632 on intraocular pressure and outflow facility. *Investigative ophthalmology & visual science*. 2001; 42 (1): 137–44.
 46. Jonas J. B., Berenshtein E., Holbach L. Lamina cribrosa thickness and spatial relationships between intraocular space and cerebrospinal fluid space in highly myopic eyes. *Investigative ophthalmology & visual science*. 2004; 45 (8): 2660–5.
 47. Kagemann L., Wang B., Wollstein G., Ishikawa H., et al. IOP elevation reduces Schlemm's canal cross-sectional area. *Investigative ophthalmology & visual science*. 2014; 55 (3): 1805–9.
 48. Konstas A. G., Irkek M. T., Teus M. A., Cvenkel B., et al. Mean intraocular pressure and progression based on corneal thickness in patients with ocular hypertension. *Eye*. 2009; 23 (1): 73–8.
 49. Last J. A., Pan T., Ding Y., Reilly C. M., et al. Elastic modulus determination of normal and glaucomatous human trabecular meshwork. *Investigative ophthalmology & visual science*. 2011; 52 (5): 2147–52.
 50. Lee R. Y., Huang G., Porco T. C., Chen Y. C., He M., Lin S. C. Differences in iris thickness among African Americans, Caucasian Americans, Hispanic Americans, Chinese Americans, and Filipino-Americans. *Journal of glaucoma*. 2013; 22 (9): 673–8.
 51. Manns F., Parel J. M., Denham D., Billotte C., et al. Optomechanical response of human and monkey lenses in a lens stretcher. *Investigative ophthalmology & visual science*. 2007; 48 (7): 3260–8.
 52. McKee C. T., Wood J. A., Shah N. M., Fischer M. E., et al. The effect of biophysical attributes of the ocular trabecular meshwork associated with glaucoma on the cell response to therapeutic agents. *Biomaterials*. 2011; 32 (9): 2417–23.
 53. Meek K. M., Tuft S. J., Huang Y., Gill P. S., et al. Changes in collagen orientation and distribution in keratoconus corneas. *Investigative ophthalmology & visual science*. 2005; 46 (6): 1948–56.
 54. Murphy K. C., Morgan J. T., Wood J. A., Sadeli A., Murphy C. J., Russell P. The formation of cortical actin arrays in human trabecular meshwork cells in response to cytoskeletal disruption. *Experimental cell research*. 2014; 328 (1): 164–171.
 55. Nakajima E., Nakajima T., Minagawa Y., Shearer T. R., Azuma M. Contribution of ROCK in contraction of trabecular meshwork: proposed mechanism for regulating aqueous outflow in monkey and human eyes. *Journal of pharmaceutical sciences*. 2005; 94 (4): 701–8.
 56. Ostrin L. A., Glasser A. Edinger-Westphal and pharmacologically stimulated accommodative refractive changes and lens and ciliary process movements in rhesus monkeys. *Exp Eye Res*. 2007; 84 (2): 302–13.
 57. Quigley H. A. The iris is a sponge: a cause of angle closure. *Ophthalmology*. 2010; 117 (1): 1–2.
 58. Quigley H. A., Silver D. M., Friedman D. S., He M., et al. Iris cross-sectional area decreases with pupil dilation and its dynamic behavior is a risk factor in angle closure. *Journal of glaucoma*. 2009; 18 (3): 173–9.
 59. Roberts M. D., Liang Y., Sigal I. A., Grimm J., et al. Correlation between local stress and strain and lamina cribrosa connective tissue volume fraction in normal monkey eyes. *Investigative ophthalmology & visual science*. 2010; 51 (1): 295–307.
 60. Shimizu Y., Thumkeo D., Keel J., Ishizaki T., et al. ROCK-I regulates closure of the eyelids and ventral body wall by inducing assembly of actomyosin bundles. *The Journal of cell biology*. 2005; 168 (6): 941–53.
 61. Sigal I. A. Interactions between geometry and mechanical properties on the optic nerve head. *Investigative ophthalmology & visual science*. 2009; 50 (6): 2785–95.
 62. Sigal I. A., Ethier C. R. Biomechanics of the optic nerve head. *Exp Eye Res*. 2009; 88 (4): 799–807.
 63. Sihota R., Goyal A., Kaur J., Gupta V., Nag T. C. Scanning electron microscopy of the trabecular meshwork: understanding the pathogenesis of primary angle closure glaucoma. *Indian J Ophthalmol*. 2012; 60 (3): 183–8.
 64. Tamm E. R. Functional morphology of the outflow pathways of aqueous humor and their changes in open angle glaucoma. *Der Ophthalmologe: Zeitschrift der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft*. 2013; 110 (11): 1026–35.
 65. Wang B. S., Narayanaswamy A., Amerasinghe N., Zheng C., et al. Increased iris thickness and association with primary angle closure glaucoma. *Br J Ophthalmol*. 2011; 95 (1): 46–50.
 66. Wang J., Liu X., Zhong Y. Rho/Rho-associated kinase pathway in glaucoma (Review). *International journal of oncology*. 2013; 43 (5): 1357–67.
 67. Weeber H. A., Eckert G., Pechhold W., van der Heijde R. G. Stiffness gradient in the crystalline lens. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2007; 245 (9): 1357–66.
 68. Whitcomb J. E., Amini R., Simha N. K., Barocas V. H. Anterior-posterior asymmetry in iris mechanics measured by indentation. *Exp Eye Res*. 2011; 93 (4): 475–81.
 69. Wyatt H. J. A 'minimum-wear-and-tear' meshwork for the iris. *Vision Res*. 2000; 40 (16): 2167–76.
 70. Yan D. B., Coloma F. M., Metheerairut A., Trope G. E., Heathcote J. G., Ethier C. R. Deformation of the lamina cribrosa by elevated intraocular pressure. *Br J Ophthalmol*. 1994; 78 (8): 643–8.
 71. Zeng D., Juzkiw T., Read A. T., Chan D. W., et al. Young's modulus of elasticity of Schlemm's canal endothelial cells. *Biomech Model Mechanobiol*. 2010; 9 (1): 19–33.

72. Zhang M., Maddala R., Rao P.V. Novel molecular insights into RhoA GTPase-induced resistance to aqueous humor outflow through the trabecular meshwork. *American journal of physiology Cell physiology*. 2008; 295 (5): 1057–70.
73. Zheng C., Cheung C. Y., Aung T., Narayanaswamy A., et al. In vivo analysis of vectors involved in pupil constriction in Chinese subjects with angle closure. *Investigative ophthalmology & visual science*. 2012; 53 (11): 6756–62.

Сведения об авторах:

Петров Сергей Юрьевич — к. м. н., старший научный сотрудник отдела глаукомы. ФГБНУ «НИИ глазных болезней». 119021, Москва, ул. Россолимо, д. 11 а.
E-mail: post@glaucomajournal.ru.

Подгорная Наталия Николаевна — к. м. н., доцент, кафедра глазных болезней. ГОУ ВПО Первый МГМУ И. М. Сеченова Минздравсоцразвития России. 119991, Москва, ул. Трубецкая, 8. E-mail: info@eyeacademy.ru.

Асламазова Анна Эдуардовна — к. м. н., доцент, кафедра глазных болезней. ГОУ ВПО Первый МГМУ И. М. Сеченова Минздравсоцразвития России. 119991, Москва, ул. Трубецкая, 8. E-mail: info@eyeacademy.ru.

Сафонова Дарья Максимовна — врач-офтальмолог, аспирант. ФГБНУ «НИИ глазных болезней». 119021, Москва, ул. Россолимо, д. 11 а. E-mail: dmsafonova@gmail.com.

Petrov Sergey Yur'yevich — candidate of medical science, senior scientific researcher. Glaucoma department. Scientific-research institute of eye diseases of Russian Academy of Medical Sciences. 119021, Moscow, Rossolimo St., 11 a.
E-mail: post@glaucomajournal.ru.

Podgornaya Nataliya Nikolaevna — candidate of medical science, assistant professor. Ophthalmology department. I. M. Sechenov First Moscow State Medical University. 119991, Moscow, Trubetskaya st., 8.
E-mail: info@eyeacademy.ru.

Aslamazova Anna Eduardovna — candidate of medical science, assistant professor. Ophthalmology department. I. M. Sechenov First Moscow State Medical University. 119991, Moscow, Trubetskaya st., 8.
E-mail: info@eyeacademy.ru.

Safonova Dar'ya Maksimovna — ophthalmologist, aspirant. Scientific-research institute of eye diseases of Russian Academy of Medical Sciences. 119021, Moscow, Rossolimo St., 11 a.
E-mail: dmsafonova@gmail.com.