

Вязко-пластические свойства радужной оболочки при различных формах глаукомы

Г.В. Воронин^{1,2}, gr32@mail.ru

А.А. Эль-Сангаха², ORCID: 0000-0002-9661-2081, dr_a_awad@mail.ru

В.Д. Ярцев¹, ORCID: 0000-0003-2990-8111, v.yartsev@niigb.ru

З.В. Сурнина¹✉, ORCID: 0000-0001-5692-1800, MEDZOE@yandex.ru

М.Н. Нарбут¹, ORCID: 0000-0002-2931-0796, narbutmarija@rambler.ru

¹ Научно-исследовательский институт глазных болезней; 119021, Россия, Москва, ул. Россолимо, 11а, б

² Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет); 119991, Россия, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2

Резюме

Введение. Являясь одним из элементов угла передней камеры глаза, радужная оболочка участвует в поддержании гидродинамического гомеостаза глаза. Таким образом, радужная оболочка – одна из частей его дренажной зоны. Строение угла передней камеры может предрасполагать к повышению внутриглазного давления и провоцировать тем самым развитие первичной закрытоугольной глаукомы – заболевания, сопровождающегося блокадой дренажной зоны глаза и, соответственно, повышением внутриглазного давления.

Цель. Проанализировать вязко-эластические свойства радужной оболочки при первичной закрытоугольной глаукоме и первичной открытоугольной глаукоме.

Материалы и методы. Материалом в исследовании служил фрагмент радужной оболочки, полученный при иридэктомии, проведенной в ходе оперативного лечения по поводу глаукомы – синустрабекулэктомии. Всего было получено и проанализировано 43 образца (43 пациента), при этом 20 образцов получено у пациентов с первичной закрытоугольной глаукомой (1-я группа), а 23 образца – у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой (2-я группа). Проводили стандартное офтальмологическое обследование, включавшее в себя визометрию, авторефрактометрию, тонометрию, биомикроскопию, непрямую офтальмоскопию. Специальное обследование включало в себя статическую периметрию, гониоскопию, ультразвуковую биомикроскопию или оптическую когерентную томографию области угла передней камеры, оптическую когерентную томографию диска зрительного нерва.

Результаты и обсуждение. Наиболее жесткой частью радужки, согласно исследованию, является бессосудистая часть стромы (обозначенная нами как S). Она характеризуется наибольшими усилиями вязкого динамического сопротивления индентору ($0,4\text{--}2,0\text{ гс/мм}^2 \times \text{с}$), а также максимальным интегральным усилием на разрыв (до $4,9 \times 10^{-2}\text{ Н}$). Наименьшей динамической вязкостью, по данным настоящего исследования, обладает внутренняя (сосудистая) часть стромы.

Выводы. Образцы сильно разнятся как по биомеханическим характеристикам этого слоя, так и по его относительной толщине. Было отмечено, что при частичной дегидратации образца эта биомеханически несостоятельная структура полностью спадает и перестает себя проявлять.

Ключевые слова: глаукома, радужка, закрытоугольная глаукома, открытоугольная глаукома, синустрабекулэктомия

Для цитирования: Воронин Г.В., Эль-Сангаха А.А., Ярцев В.Д., Сурнина З.В., Нарбут М.Н. Вязко-пластические свойства радужной оболочки при различных формах глаукомы. *Медицинский совет.* 2021;(12):379–383. <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2021-12-379-383>.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Viscoelastic properties of the iris in different types of glaucoma

Grigoriy V. Voronin^{1,2}, gr32@mail.ru

Ahmed El Sangahawi², ORCID: 0000-0002-9661-2081, dr_a_awad@mail.ru

Vasily D. Yartsev¹, ORCID: 0000-0003-2990-8111, v.yartsev@niigb.ru

Zoya V. Surnina¹✉, ORCID: 0000-0001-5692-1800, MEDZOE@yandex.ru, MEDZOE@yandex.ru

Maria N. Narbut¹, ORCID: 0000-0002-2931-0796, narbutmarija@rambler.ru

¹ Research Institute of Eye Disease; 11 A, B, Rossolimo St., Moscow, 119021, Russia

² Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University); 8, Bldg. 2, Trubetskaya St., Moscow, 119991, Russia

Abstract

Introduction. The iris is involved in maintaining the ocular hydrodynamic homeostasis as one of the elements of the anterior chamber angle of the eye. From there, the iris is one of the parts of its drainage area. The anterior chamber angle's structure can

predispose to an increase in intraocular pressure and thereby provoke the development of primary angle-closure glaucoma, a disease accompanied by clogging of the drainage area of the eye and, accordingly, an increase in intraocular pressure.

Objective. To analyse the viscoelastic properties of the iris in primary angle-closure glaucoma and primary open-angle glaucoma.

Materials and methods. The study material was a fragment of the iris obtained through iridectomy in the course of sinus trabeculectomy, which is considered the treatment for glaucoma surgery. A total of 43 samples (43 patients) were obtained and analysed, with 20 samples obtained from patients with primary angle-closure glaucoma (group 1), and 23 samples from patients with primary open-angle glaucoma (group 2). A standard ophthalmological examination, which included visometry, autorefractometry, tonometry, biomicroscopy, and indirect ophthalmoscopy, was carried out. The special examination included static perimetry, gonioscopy, ultrasound biomicroscopy or optical coherence tomography of the anterior chamber angle, optical coherence tomography of the disk of optic nerve.

Results and discussion. The avascular part of the stroma (designated by us as S) is the most rigid part of the iris, according to the study. It is characterized by the greatest efforts of the viscous dynamic resistance to the indenter ($0.4\text{--}2.0\text{ gf/mm}^2 \times S$), as well as the maximum integral tensile strength (up to $4.9 \times 10^{-2}\text{ N}$). The inner (vascular) part of the stroma has the lowest dynamic viscosity, according to this study.

Conclusion. The samples vary enormously both in the biomechanical characteristics and relative thickness of this layer. It was observed that this biomechanically incompetent structure completely collapses and ceases to exist in partial dehydration of the sample.

Keywords: glaucoma, iris, angle-closure glaucoma, open-angle glaucoma, sinus trabeculectomy

For citation: Viscoelastic properties of the iris in different types of glaucoma. *Meditinskiy sovet = Medical Council.* 2021;(12):379–383. (In Russ.) <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2021-12-379-383>.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Радужная оболочка принимает участие в поддержании гидродинамического гомеостаза глаза, являясь одним из элементов угла передней камеры (УПК) глаза и, следовательно, одним из компонентов его дренажной зоны. Конфигурация УПК может predispose к офтальмогипертензии и непосредственно вызывать развитие первичной закрытоугольной глаукомы (ПЗУГ) – состояния, связанного с блокадой дренажной зоны глаза и, соответственно, повышением внутриглазного давления (ВГД) [1–3].

Отклонение формы радужки от условно нормальной играет важную роль в развитии определенных видов глауком [4]. Логично, что при этом важное значение имеют физические свойства радужной оболочки, поэтому изучению этих свойств посвящен ряд работ [5–8]. Все они выполнены на животных моделях. Эти эксперименты связаны с измерением степени деформации радужки при контролируемом воздействии, чаще всего – при одностороннем растяжении. Эти исследования подтвердили, что радужная оболочка может различаться по своим механическим свойствам, однако результаты исследований на животных, как известно, не всегда могут напрямую переноситься в клиническую практику. Кроме того, методология проведенных исследований не позволяла определить роли изменения биомеханических свойств радужной оболочки в патогенезе ПЗУГ.

Цель исследования – провести сравнительный анализ вязко-эластических свойств радужной оболочки при первичной закрытоугольной глаукоме и первичной открытоугольной глаукоме (ПОУГ).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В процессе эксперимента исследованы фрагменты радужной оболочки, полученные у пациентов во время иридэктомии, проведенной в ходе хирургического вмешательства по поводу глаукомы – синустрабекулэктомии.

Было отобрано и проанализировано 43 образца 43 пациентов. Из них 20 образцов получено у пациентов с ПЗУГ (1-я группа), а 23 образца – у пациентов с ПОУГ (2-я группа).

Перед вмешательством были проведены стандартные офтальмологические диагностические процедуры, включавшие визометрию, авторефрактометрию, тонометрию, биомикроскопию, непрямую офтальмоскопию. Кроме того, всем пациентам была проведена гониоскопия, статическая периметрия, ультразвуковая биомикроскопия или оптическая когерентная томография области УПК, оптическая когерентная томография диска зрительного нерва. Анализ клинико-демографических характеристик клинического материала показал, что сформированные для исследования группы были идентичны по полу, возрасту, а также клинической стадии глаукомного процесса, а следовательно, сравнение полученных образцов в рамках исследования было корректным.

Удаленный во время операции фрагмент радужки погружали в специальный контейнер, заполненный 5 мл стерильного сбалансированного солевого раствора BVI Aqueo Premium (BVI, США), содержащего натрия хлорид, кальция хлорид дигидрат, калия хлорид, магния хлорид гексагидрат, фосфат натрия, натрия бикарбонат, глутатиона дисульфид, декстрозу и натрия гидроксид и имеющего кислотность 7,4, осмолярность 305 мОсм. В течение 1 ч образцы передавали для исследования в лабораторию, где они были подвергнуты анализу по разработанной ранее методике.

Исследование механических свойств биоплатов проводили с помощью специально подготовленного микро-твердомера. Испытательный прибор оказывал разрушающее действие на образец, осуществляя поступательное проникновение индентора в исследуемую ткань. Перед проведением исследования биомеханических свойств изучаемый образец ткани механически расправляли в капле физиологического раствора и размещали его на поверхности, покрытой воском. Прокол совершали со стороны передней поверхности радужки.

Для проведения механического теста использовали сапфировый индентор односторонне скошенной клиновидной формы диаметром 0,5652 мм с программируемой постоянной скоростью подачи ($4 \text{ мл} \times \text{час}^{-1}$). Использовали цифровую систему оценки усилия, передаваемого через образец на датчик. Частота регистрации составляла 5 значений $\times \text{с}^{-1}$; разрешение по усилию составляло 0,02 гс.

После проведения исследования при помощи разработанного программного обеспечения были вычислены значения разрушающего усилия плунжера по мере его прохождения через структуры радужки с равной скоростью. Таким образом, была определена динамическая вязкость биоплатов, а также интегральное вязкое сопротивление каждого из слоев при заданной скорости вдавливания.

Поскольку каждый из исследованных образцов характеризовался наличием трех зон жесткости, которые последовательно сменяли друг друга по мере прохождения индентора через них, было принято решение с методологическими целями условно разделить каждый образец на зоны S, V и M, которые, по всей видимости, соответствовали таким анатомическим слоям радужки, как бессосудистая часть стромы (S), обильно васкуляризованная рыхлая часть стромы (V) и структурный комплекс, включающий мышечные волокна и пигментный листок с базальной мембраной (M).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты, полученные при исследовании механических свойств радужки, представлены на *рисунке*. Цветом показаны диапазоны глубин, относящиеся к условно выделенным зонам S, V и M.

При анализе полученных результатов, полученных при изучении образцов обеих групп, было отмечено, что первая и вторая биомеханические зоны (обозначенные нами как S и V) составляют по глубине большую часть радужной оболочки. С учетом их расположения можно предположить, что анатомически они соответствуют строме радужки.

Наиболее жесткой частью радужки, согласно исследованию, является бессосудистая часть стромы (обозначенная нами как S). Она характеризуется наибольшими усилиями вязкого динамического сопротивления индентору ($0,4\text{--}2,0 \text{ гс/мм}^2 \times \text{с}$), а также максимальным интегральным усилием на разрыв (до $4,9 \times 10^{-2} \text{ Н}$).

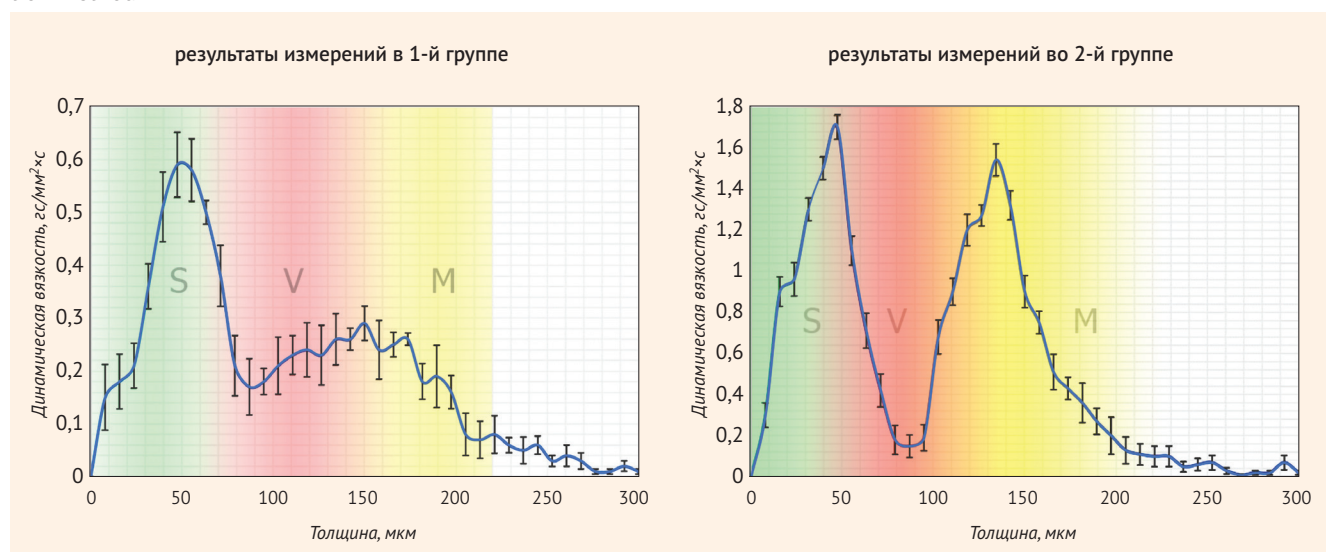
Наименьшей динамической вязкостью, по данным настоящего исследования, обладает внутренняя (сосудистая) часть стромы. При этом образцы сильно разнятся как по биомеханическим характеристикам этого слоя, так и по его относительной толщине. Было отмечено, что при частичной дегидратации образца эта биомеханически несостоятельная структура полностью спадается и перестает себя проявлять.

Третья структура (обозначенная нами как слой M) имеет толщину 70–120 мкм, иногда проявляет двугорбое строение. Динамические вязко-пластические характеристики слагающих ее тканей ниже, чем у передней бессосудистой стромы радужки ($0,4\text{--}1,8 \text{ гс/мм}^2 \times \text{с}$). Однако интегральное сопротивление индентору может быть наибольшим среди всех рассматриваемых «слоев» (до $9,9 \times 10^{-2} \text{ Н}$).

Сравнение полученных результатов в группах с образцами радужек, полученных у пациентов с ПЗУГ и ПОУГ, показало, что средние значения динамической вязкости

● **Рисунок.** Результаты послойного измерения динамических вязко-эластических свойств тканей методом индентирования с постоянной скоростью

● **Figure.** Results of layer-by-layer measurement of the dynamic viscoelastic properties of tissues using the constant-rate indentation method



статистически достоверно различались. Кроме числовых различий, обращала на себя внимание и разница в конфигурации кривых. В образцах 1-й группы кривая изменчивости динамической вязкости носила двугорбый характер, при этом пики значений динамической вязкости были выше, чем в образцах радужки, полученных во 2-й группе. Таким образом, возможно заключить, что стромальные отделы радужки, причем как в бессосудистой части, так и в васкуляризированной центральной части, у пациентов с ПЗУГ имеют большую жесткость.

В контексте известных гипотез, объясняющих механизм закрытия УПК у пациентов с ПЗУГ механическими характеристиками радужной оболочки, этот результат возможно рассматривать как поддерживающий эти гипотезы [9–12]. Вероятно, что большая жесткость радужки в меньшей степени позволяет внеклеточной жидкости, находящейся в ее веществе, вытесняться при расширении зрачка, что приводит к нарушению физиологического уменьшения объема радужки и способствует сдавлению УПК корнем радужки, объясняя нарушение дренажа внутриглазной жидкости.

Наши наблюдения показали, что жесткие стромальные отделы радужки у пациентов с ПЗУГ не только численно превосходят образцы, полученные у пациентов с ПОУГ, по значениям динамической вязкости, но и имеют более протяженные глубинные характеристики. При анализе обнаружено, что глубина зон S и V в образцах 1-й группы больше, чем таковые в образцах 2-й группы. Преобладание жестких отделов радужки по глубине может способство-

вать и конфигурационным изменениям радужки, в частности происходящим при расширении зрачка [13–15].

ВЫВОДЫ

Дополняя имеющиеся сведения, позволяющие считать радужную оболочку анизотропной в плане механических свойств в различных меридианах и в зависимости от направления воздействия [16–18], можно заключить, что радужка анизотропна в своей динамической вязкости и по глубине. Нами было обнаружено наличие относительно рыхлого слоя между передней бессосудистой стромой радужки, обладающей максимально выраженными вязко-пластическими свойствами, и структурным комплексом, включающим в себя мышцу и задний пигментный листок. Эта структура наличествовала во всех образцах вне зависимости от принадлежности к группе, однако в радужках, полученных у пациентов с ПЗУГ, эта ткань, как и вообще строма, была более жесткой.

Обнаруженное нами в нескольких случаях резкое падение динамической вязкости в зоне V мы связываем со спадением сосудистой ткани, а с учетом феномена почти полного отсутствия жесткости этих слоев в дегидратированных образцах можно считать эту зону потенциальным местом накопления жидкости, которая, возможно, покидает вещество радужки при расширении зрачка. 

Поступила / Received 29.06.2021

Поступила после рецензирования / Revised 14.07.2021

Принята в печать / Accepted 14.07.2021

Список литературы

- Ozkan Aksoy N., Cakir B., Dogan E., Alagoz G. Evaluation of Anterior Segment Parameters in Pseudoexfoliative Glaucoma, Primary Angle-Closure Glaucoma, and Healthy Eyes. *Turk J Ophthalmol*. 2018;48(5): 227–231. <https://doi.org/10.4274/tjo.03271>.
- Ritch R., Lowe R.F. Angle Closure Glaucoma. In: Ritch R., Shields M.B., Krupin T. (eds.), *The Glaucomas*. St. Louis: Mosby; 1996, pp. 801–840.
- Zhang Y., Li S.Z., Li L., He M.G., Thomas R., Wang N.L. Dynamic Iris Changes as a Risk Factor in Primary Angle Closure Disease. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2016;57(1):218–226. <https://doi.org/10.1167/iovs.15-17651>.
- Epstein D.L., Hashimoto J.M., Anderson P.J., Grant W.M. Experimental perfusions through the anterior and vitreous chambers with possible relationships to malignant glaucoma. *Am J Ophthalmol*. 1979;88(6):1078–1086. [https://doi.org/10.1016/0002-9394\(79\)90420-3](https://doi.org/10.1016/0002-9394(79)90420-3).
- Heys J., Barocas V.H. Mechanical characterization of the bovine iris. *J Biomech*. 1999;32(9):999–1003. [https://doi.org/10.1016/S0021-9290\(99\)00075-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9290(99)00075-5).
- Tiedeman J.S. A physical analysis of the factors that determine the contour of the iris. *Am J Ophthalmol*. 1991;111(3):338–343. [https://doi.org/10.1016/S0002-9394\(14\)72319-0](https://doi.org/10.1016/S0002-9394(14)72319-0).
- Weinreb R.N., Friedman D.S. (eds.). *Angle Closure and Angle Closure Glaucoma: Consensus Series – 3*. The Hague: SPB Academic Publishing BV; 2006. 113 p. Available at: <https://www.oculist.net/download/502/prof/ebook/glaucoma/AIGAngleClosureandAngleClosureGlaucoma.pdf>.
- 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):475–481. <https://doi.org/10.1016/j.exer.2011.06.009>.
- He M., Lu Y., Liu X., Ye T., Foster P.J. Histologic changes of the iris in the development of angle closure in Chinese eyes. *J Glaucoma*. 2008;17(5):386–392. <https://doi.org/10.1097/IJG.0b013e31815c5f69>.
- Huang E.C., Barocas V.H. Active iris mechanics and pupillary block: steady-state analysis and comparison with anatomical risk factors. *Ann Biomed Eng*. 2004;32(9):1276–1285. <https://doi.org/10.1114/b:abme.0000039361.17029.da>.
- Narayanaswamy A., Nai M.H., Nongpiur M.E., Htoon H.M., Thomas A., Sangtam T. et al. Young's Modulus Determination of Normal and Glaucomatous Human Iris. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2019;60(7):2690–2695. <https://doi.org/10.1167/iovs.18-26455>.
- Tello C., Tran H.V., Liebmann J., Ritch R. Angle closure: classification, concepts, and the role of ultrasound biomicroscopy in diagnosis and treatment. *Semin Ophthalmol*. 2002;17(2):69–78. <https://doi.org/10.1076/soph.17.2.69.14722>.
- Аветисов С.Э., Еричев В.П., Будзинская М.В., Карпилова М.А., Гурова И.В., Щеголева И.В., Е.А. Ч. Возрастная макулярная дегенерация и глаукома: мониторинг внутриглазного давления после интравитреальных инъекций. *Вестник офтальмологии*. 2012(6):3–5. Режим доступа: <https://www.mediasphera.ru/issues/vestnik-ofthalmologii/2012/6/030042-465X201261>.
- Аветисов С.Э., Мамиконян В.Р., Казарян Э.Э., Шмелева-Демир О.А., Галоян Н.С., Мазурова Ю.В. и др. Результаты клинической оценки нового скринингового метода определения индивидуальной нормы внутриглазного давления. *Вестник офтальмологии*. 2010;(2):5–7. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=14749586>.
- Набиев А.М., Егоров Е.А. О целесообразности иммунотерапии больных закрытоугольной глаукомой. *РМЖ. Клиническая офтальмология*. 2005(4):156–158. Режим доступа: https://www.rmj.ru/articles/ofthalmologiya/O_celesoobraznosti_immunoterapii_bolnyh_zakrytougolynoy_glaukomoy/
- Нестеров А.П., Егоров Е.А., Новодерёжкин В.В. Лазерные способы гидродинамической активации оттока ВГЖ. *РМЖ. Клиническая офтальмология*. 2005;(1):16–17. Режим доступа: https://www.rmj.ru/articles/ofthalmologiya/Lazernye_sposoby_gidrodinamicheskoy_aktivacii_otтока_VGZh.
- Ермолаев А.П. О связи первичных проявлений закрытоугольной глаукомы с возникновением задней отслойки стекловидного тела. *Вестник офтальмологии*. 2013;(2):24–28. Режим доступа: <https://www.mediasphera.ru/issues/vestnik-ofthalmologii/2013/2/030042-465X201325>
- Tham Y.C., Li X., Wong T.Y., Quigley H.A., Aung T., Cheng C.Y. Global prevalence of glaucoma and projections of glaucoma burden through 2040: a systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology*. 2014;121(11):2081–2090. <https://doi.org/10.1016/j.optha.2014.05.013>.

References

- Ozkan Aksoy N., Cakir B., Dogan E., Alagoz G. Evaluation of Anterior Segment Parameters in Pseudoexfoliative Glaucoma, Primary Angle-Closure Glaucoma, and Healthy Eyes. *Türk J Ophthalmol.* 2018;48(5): 227–231. <https://doi.org/10.4274/tjo.03271>.
- Ritch R., Lowe R.F. Angle Closure Glaucoma. In: Ritch R., Shields M.B., Krupin T. (eds.). *The Glaucomas*. St. Louis: Mosby; 1996, pp. 801–840.
- Zhang Y., Li S.Z., Li L., He M.G., Thomas R., Wang N.L. Dynamic Iris Changes as a Risk Factor in Primary Angle Closure Disease. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2016;57(1):218–226. <https://doi.org/10.1167/iov.15-17651>.
- Epstein D.L., Hashimoto J.M., Anderson P.J., Grant W.M. Experimental perfusions through the anterior and vitreous chambers with possible relationships to malignant glaucoma. *Am J Ophthalmol.* 1979;88(6):1078–1086. [https://doi.org/10.1016/0002-9394\(79\)90420-3](https://doi.org/10.1016/0002-9394(79)90420-3).
- Heys J., Barocas V.H. Mechanical characterization of the bovine iris. *J Biomech.* 1999;32(9):999–1003. [https://doi.org/10.1016/s0021-9290\(99\)00075-5](https://doi.org/10.1016/s0021-9290(99)00075-5).
- Tiedeman J.S. A physical analysis of the factors that determine the contour of the iris. *Am J Ophthalmol.* 1991;111(3):338–343. [https://doi.org/10.1016/s0002-9394\(14\)72319-0](https://doi.org/10.1016/s0002-9394(14)72319-0).
- Weinreb R.N., Friedman D.S. (eds.). *Angle Closure and Angle Closure Glaucoma: Consensus Series – 3*. The Hague: SPB Academic Publishing BV; 2006. 113 p. Available at: <https://www.oculist.net/download/502/prof/ebook/glaucoma/AIGS/AngleClosureandAngleClosureGlaucoma.pdf>.
- Whitcomb J.E., Amiri R., Simha N.K., Barocas V.H. Anterior-posterior asymmetry in iris mechanics measured by indentation. *Exp Eye Res.* 2011;93(4):475–481. <https://doi.org/10.1016/j.exer.2011.06.009>.
- He M., Lu Y., Liu X., Ye T., Foster P.J. Histologic changes of the iris in the development of angle closure in Chinese eyes. *J Glaucoma.* 2008;17(5):386–392. <https://doi.org/10.1097/JIG.0b013e31815c5f69>.
- Huang E.C., Barocas V.H. Active iris mechanics and pupillary block: steady-state analysis and comparison with anatomical risk factors. *Ann Biomed Eng.* 2004;32(9):1276–1285. <https://doi.org/10.1114/babme.0000039361.17029.da>.
- Narayanawamy A., Nai M.H., Nongpiur M.E., Htoon H.M., Thomas A., Sangtam T. et al. Young's Modulus Determination of Normal and Glaucomatous Human Iris. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2019;60(7):2690–2695. <https://doi.org/10.1167/iov.18-26455>.
- Tello C., Tran H.V., Liebmann J., Ritch R. Angle closure: classification, concepts, and the role of ultrasound biomicroscopy in diagnosis and treatment. *Semin Ophthalmol.* 2002;17(2):69–78. <https://doi.org/10.1076/soph.17.2.69.14722>.
- Avetisov S.E., Erichev V.P., Boudzinskaya M.V., Karpilova M.A., Gurova I.V., Shchegoleva I.V., Chikoun E.A. Age-related Macular Degeneration and Glaucoma: Intraocular Pressure Monitoring after Intravitreal Injections. *Vestnik Oftalmologii = The Russian Annals of Ophthalmology.* 2012;(6):3–5. (In Russ.) Available at: <https://www.mediasphera.ru/issues/vestnik-oftalmologii/2012/6/030042-465X201261>.
- Avetisov S.E., Mamikonyan V.R., Kazaryan E.E., Shmeleva-Demir O.A., Galoyan N.S., Maruzova Yu. V., Tatevosyan A.A., Ryzhkova E.G. Results of clinical evaluation of a new screening method for determining the individual normal level of intraocular pressure. *Vestnik Oftalmologii = The Russian Annals of Ophthalmology.* 2010;(2):5–7. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=14749586>.
- Nabiev A.M., Egorov E.A. On expediency of immunotherapy of patients with angle-closure glaucoma. *RMZh. Klinicheskaya oftalmologiya = RMJ. Russian Journal of Clinical Ophthalmology.* 2005;(4):156–158. (In Russ.) Available at: https://www.rmj.ru/articles/oftalmologiya/O_celestoobraznosti_immunoterapii_bolnykh_zakrytoougolnykh_glaukomoy.
- Nesterov A.P., Egorov E.A., Novoderezhkin V.V. Laser methods of hydrodynamic activation of intraocular fluid outflow. *RMZh. Klinicheskaya oftalmologiya = RMJ. Russian Journal of Clinical Ophthalmology.* 2005;(1):16–17. (In Russ.) Available at: https://www.rmj.ru/articles/oftalmologiya/Lazernye_sposoby_gidrodinamicheskoy_aktivatsii_ottoka_VGZh.
- Yermolaev A.P. On a connection of early manifestations of angle closure glaucoma and development of posterior vitreous detachment. *Vestnik Oftalmologii = The Russian Annals of Ophthalmology.* 2013;(2):24–28. (In Russ.) Available at: <https://www.mediasphera.ru/issues/vestnik-oftalmologii/2013/2/030042-465X201325>.
- Tham Y.C., Li X., Wong T.Y., Quigley H.A., Aung T., Cheng C.Y. Global prevalence of glaucoma and projections of glaucoma burden through 2040: a systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology.* 2014;121(11):2081–2090. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2014.05.013>.

Информация об авторах:

Воронин Григорий Викторович, д.м.н., профессор кафедры глазных болезней, Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет); 119991, Россия, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2; заведующий отделом рефракционных нарушений, Научно-исследовательский институт глазных болезней; 119021, Россия, Москва, ул. Россолимо, 11а, б; gr32@mail.ru

Эль-Сангахави Ахмед Авад, врач-офтальмолог, аспирант кафедры глазных болезней Института клинической медицины имени Н.В. Склифосовского, Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет); 119991, Россия, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2; dr_a_awad@mail.ru

Ярцев Василий Дмитриевич, к.м.н., старший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт глазных болезней; 119021, Россия, Москва, ул. Россолимо, 11а, б; vyartsev@niigb.ru

Сурнина Зоя Васильевна, к.м.н., старший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт глазных болезней; 119021, Россия, Москва, ул. Россолимо, 11а, б; MEDZOE@yandex.ru

Нарбут Мария Николаевна, младший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт глазных болезней; 119021, Россия, Москва, ул. Россолимо, 11а, б; narbutmarija@rambler.ru

Information about the authors:

Grigoriy V. Voronin, Dr. Sci. (Med.), Professor of the Department of Eye Diseases, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University); 8, Bldg. 2, Trubetskaya St., Moscow, 119991, Russia; Head of the Department of Refractive Disorders, Research Institute of Eye Disease; 11 A, B, Rossolimo St., Moscow, 119021, Russia; gr32@mail.ru

Ahmed El Sangahawi, Ophthalmologist, Postgraduate Student of the Department of Eye Diseases of the Institute of Clinical Medicine named after N.V. Sklifosovsky, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University); 8, Bldg. 2, Trubetskaya St., Moscow, 119991, Russia; dr_a_awad@mail.ru

Vasily D. Yartsev, Cand. Sci. (Med.), Senior Researcher, Research Institute of Eye Disease; 11 A, B, Rossolimo St., Moscow, 119021, Russia; MEDZOE@yandex.ru; vyartsev@niigb.ru

Zoya V. Surnina, Cand. Sci. (Med.), Senior Researcher, Research Institute of Eye Disease; 11 A, B, Rossolimo St., Moscow, 119021, Russia; MEDZOE@yandex.ru

Maria N. Narbut, Junior Researcher, Research Institute of Eye Disease; 11 A, B, Rossolimo St., Moscow, 119021, Russia; narbutmarija@rambler.ru