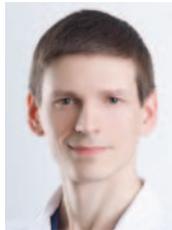


## Визуализация решетчатой пластинки склеры с помощью оптической когерентной томографии. Возможности и перспективы диагностики. Обзор

В.В. Куренков<sup>1</sup>

В.С. Ключанов



Н.В. Кузнецова



К.В. Чиненова

М.Е. Коновалов<sup>2</sup>, М.Д. Пожарицкий<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Офтальмологическая клиника доктора Куренкова  
Рублевское шоссе, 48/1, Москва, 121609, Российская Федерация

<sup>2</sup> Офтальмологический центр Коновалова  
ул. 3-я Тверская-Ямская, 56/6, Москва, 125047, Российская Федерация

<sup>3</sup> Академия постдипломного образования ФГБУ ФНКЦ ФМБА России  
Волоколамское ш., 91, Москва, 125371, Российская Федерация

### РЕЗЮМЕ

Офтальмология. 2019;16(2):159–162

Решетчатая пластинка склеры представляет собой многослойную дифференцированную структуру, состоящую из слоев соединительной ткани, представленной коллагеном различного типа. Соотношение коллагеновых волокон I, II и IV типов, а также белка эластина обеспечивает опорные и эластические свойства решетчатой пластинки, имеющей ограниченную резистентность. Повышенное внутриглазное давление на фоне инволюционных изменений состава соединительной ткани решетчатой пластинки приводит к ее деформации, компрессии нервных волокон, проходящих через отверстия в решетчатой пластинке и, как следствие, к нарушению аксоплазматического тока. Современные оптические когерентные томографы высокого разрешения позволяют визуализировать границы решетчатой пластинки, а стандартное программное обеспечение, интегрированное в каждый прибор, дает возможность измерять параметры решетчатой пластинки. Проблемой остается визуализация решетчатой пластинки на ранних стадиях глаукомы из-за выраженности преламинарной ткани и экранирования поверхности решетчатой пластинки. Обзор содержит результаты ряда исследований различных офтальмологов. Обнаружена зависимость таких показателей решетчатой пластинки, как глубина, толщина, угол наклона и кривизна, от колебаний внутриглазного давления и стадии глаукомного процесса. Данные исследования подтверждают возможность визуализации решетчатой пластинки, открывают перспективы для изучения патогенеза глаукомы и расширяют возможности поиска новых методов лечения глаукомной оптической нейропатии, основываясь на патогенетических аспектах. Однако малое количество статей по данной тематике, встречаемое в литературе, небольшая выборка исследуемых групп в большинстве работ требуют дальнейшего изучения вопроса визуализации решетчатой пластинки при помощи оптической когерентной томографии для последующего внедрения в практическую офтальмологию.

**Ключевые слова:** решетчатая пластинка, оптическая когерентная томография, внутриглазное давление, глаукомная оптическая нейропатия

**Для цитирования:** Куренков В.В., Ключанов В.С., Кузнецова Н.В., Чиненова К.В., Коновалов М.Е., Пожарицкий М.Д. Визуализация решетчатой пластинки склеры с помощью оптической когерентной томографии. Возможности и перспективы диагностики. *Офтальмология*. 2019;16(2):159–162. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2019-2-159-162>

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

**Конфликт интересов отсутствует**

## Visualization of the Lamina Cribrosa of Sclera Using Optical Coherence Tomography. The Opportunities and Prospects for Diagnostics (Review)



V.V. Kurenkov, V.S. Klyuganov, N.V. Kuznetsova, K.V. Chinenova, M.E. Konovalov, M.D. Pozharitsky

Contact information: Klyuganov Vitaliy S. [kluger3@yandex.ru](mailto:kluger3@yandex.ru)

159

Visualization of the Lamina Cribrosa of Sclera Using Optical Coherence Tomography. The Opportunities...

V.V. Kurenkov<sup>1</sup>, V.S. Klyuganov<sup>1</sup>, N.V. Kuznetsova<sup>1</sup>, K.V. Chinenova<sup>1</sup>, M.E. Kononov<sup>2</sup>, M.D. Pozharitsky<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ophthalmology Clinic of Dr. Kurenkov  
Rublevskoe highway, 48, Moscow, 121609, Russia

<sup>2</sup> Kononov eye center  
Tverskaya-Yamskaya str., 56/6, Moscow, 125047, Russia

<sup>3</sup> Academy of postgraduate education under FSBU FSCC of FMBA of Russia  
Volokolamskoye highway, 91, Moscow, 125371, Russia

## ABSTRACT

## Ophthalmology in Russia. 2019;16(2):159–162

The lamina cribrosa of the sclera is a multilayer structure consisting of layers of connective tissue represented by collagen of various types. The ratio of collagen fibers I, II and IV types, as well as elastin protein provide support and elastic properties of the lamina cribrosa. Increased intraocular pressure on the background of involuntional changes in the composition of the connective tissue of the lamina cribrosa leads to deformation of the latter, compression of nerve fibers passing through the holes in the lamina cribrosa and violation of the axoplasmic current. Modern high-resolution optical coherence tomographs allow to visualize the confines of the lamina cribrosa, and the standard software integrated into each device allows to measure the parameters of the lamina cribrosa. The visualization of the lamina cribrosa in the early stages of glaucoma due to the severity of the pre-laminar tissue and the screening of the surface of the lamina cribrosa is still a problem. The presented review contains the results of studies of various ophthalmologists from different countries. The dependence of such parameters of the lamina cribrosa as depth, thickness, angle of inclination and curvature on the increased of intraocular pressure and the stage of glaucoma process was found. These studies confirm the possibility of visualization of the lamina cribrosa, open prospects in the study of the pathogenesis of glaucoma and expand the possibilities in the search for new methods of treatment of glaucoma optical neuropathy based on pathogenetic aspects. However, a small number of articles on this subject, found in the literature, and a small sample of the study groups in most works require further study of the visualization of the lamina cribrosa using optical coherence tomography.

**Keywords:** lamina cribrosa, optical coherence tomography, intraocular pressure, glaucoma optical neuropathy

For citation: Kurenkov V.V., Klyuganov V.S., Kuznetsova N.V., Chinenova K.V., Kononov M.E., Pozharitsky M.D. Visualization of the Lamina Cribrosa of Sclera Using Optical Coherence Tomography. The Opportunities and Prospects for Diagnostics (Review). *Ophthalmology in Russia*. 2019;16(2):159–162. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2019-2-159-162>

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

**There is no conflict of interests**

Проблема глаукомы является одной из наиболее актуальных и важных в офтальмологии и имеет большое медико-социальное значение из-за высокой распространенности и тяжести исходов заболевания, нередко ведущих к слепоте и инвалидности. Результаты эпидемиологических исследований, проведенных в разных странах в ряде офтальмологических клиник, подтверждают сведения о значительном росте заболеваемости глаукомой. В 2013 году больных глаукомой в мире насчитывалось 64,3 млн человек, но к 2020 году их количество может возрасти до 76 млн. По расчетным данным к 2040 году число больных глаукомой может увеличиться до 111 млн [1]. Медико-социальное значение глаукомы определяется ее ведущей ролью в формировании необратимой слепоты. Число пациентов, потерявших зрение вследствие глаукомы, в мире, по данным отдельных авторов, варьирует от 4,5 до 14,0 млн человек [2, 3].

Одним из важнейших критериев оценки состояния здоровья населения являются данные об инвалидности. В России за последние годы глаукома повсеместно занимает первое место в нозологической структуре причин инвалидности вследствие болезней глаз. Усугубилась и тяжесть первичной инвалидности, в групповой структуре которой контингент инвалидов I–II группы увеличился с 60 до 85 % из-за преимущественного наличия у пациентов с глаукомой, впервые направленных на медико-социальную экспертизу, III–IV стадии заболевания [4].

Сложившаяся картина объясняется рядом факторов: относительной трудностью ранней диагностики, отсут-

ствием надлежащей диспансеризации и поздней обращаемостью пациентов за квалифицированной медицинской помощью, а также необратимостью органических изменений зрительного нерва. Современная диагностическая аппаратура позволяет врачу выявлять глаукому на самых ранних стадиях развития, еще до появления функциональных изменений. Совершенствование методов хирургического лечения, развитие лазерных технологий, появление новых видов и комбинаций гипотензивных препаратов обеспечивает возможность в настоящее время достигнуть компенсации внутриглазного давления и тем самым добиться стабилизации глаукомного процесса. Однако зачастую, несмотря на достигнутое снижение внутриглазного давления, у пациента наблюдается снижение зрительных функций, связанное с прогрессирующей атрофией зрительного нерва [5–7]. Помочь в решении данной проблемы может изучение биомеханических свойств решетчатой пластинки у пациентов с глаукомой. Согласно одной из теорий патогенеза, альтерация ганглиозных клеток сетчатки и их аксонов при глаукоме происходит на уровне решетчатой пластинки при ее деформации, которая, как полагают, способствует блокаде аксоплазматического тока в аксонах сетчатки ганглиозных клеток, что в итоге приводит к апоптозу и последующей гибели ганглиозных клеток сетчатки [8–11]. Изменения решетчатой пластинки также ведут к компрессии капилляров, в результате возникает ишемический инсульт аксонов [12, 13]. Известно, что решетчатая пластинка подвергается ремодуляции: с возрастом факторы, обе-

спечивающие эластичность (коллаген II и белок эластин), постепенно замещаются факторами прочности мембраны (коллаген I и IV). Офтальмогипертензия играет важную роль в данном процессе, активируя астроциты и запуская процесс синтеза коллагена IV типа и тенасцина, формирующего крупный экстрацеллюлярный матрикс решетчатой пластинки. Увеличение прочности решетчатой пластинки не повышает ее сопротивляемости к биомеханическим деформациям, которые с возрастом становятся необратимыми [14–20]. Таким образом, исследование параметров решетчатой пластинки является перспективным в отношении прогноза течения глаукомы.

До недавнего времени исследовать решетчатую пластинку можно было только при гистологическом исследовании. Последние разработки в области оптической когерентной томографии сделали возможным не только визуализацию решетчатой пластинки склеры, но и измерение многих ее параметров. Разработанная технология ОКТ с режимом увеличения глубины визуализации позволяет получать изображение решетчатой пластинки и фиксировать такие параметры, как глубина, толщина решетчатой пластинки и преламинарной ткани, угол наклона решетчатой пластинки.

Получены первые результаты исследований, проведенных с помощью ОКТ с режимом увеличения глубины визуализации. Так, группа испанских авторов выявила зависимость толщины решетчатой пластинки от суточного колебания внутриглазного давления. Толщина решетчатой пластинки значительно увеличивалась в течение дневного периода и снижалась в течение ночного периода, эти изменения совпадали с суточными колебаниями ВГД. При этом прямой зависимости толщины преламинарной ткани от уровня ВГД показано не было [21]. Выявляя зависимость биомеханических свойств роговицы (корнеальный гистерезис и фактор резистентности роговицы) и анатомо-топографических особенностей решетчатой пластинки от экспериментально вызванного повышения внутриглазного давления методом офтальмодинамометрии, итальянские специалисты обнаружили корреляционную взаимосвязь корнеального гистерезиса, фактора резистентности роговицы и деформации решетчатой пластинки при повышении ВГД. Авторы упоминают о кодировке одним геном компонентов экстрацеллюлярного матрикса роговицы, склерального перипапиллярного кольца и решетчатой пластинки и делают выводы о возможности получения косвенной информации об особенностях опорных структур диска зрительного нерва, основываясь на данных биомеханических свойств роговицы [22]. Изучая угол наклона решетчатой пластинки, офтальмологи из Японии обнаружили зависимость угла наклона в нижневисочном направлении от стадии глаукомы. Выявлена прямая зависимость величины угла наклона решетчатой пластинки в нижневисочном направлении от стадии глаукомы. Таким образом, были подтверждены данные о существовании максимально уязвимой зоны при глаукоме [23].

Специалисты из Кореи нашли зависимость параметров решетчатой пластинки (глубина решетчатой пластинки, кривизна решетчатой пластинки) от уровня ВГД при глаукоме. Результаты исследований показали увеличение глубины и радиуса кривизны решетчатой пластинки по вертикальной оси при компенсированной глаукоме по сравнению со здоровыми людьми, а также и по вертикальной и горизонтальной оси при декомпенсации ВГД у лиц с глаукомой [24]. Другие офтальмологи из Кореи в ходе исследования обнаружили прямую зависимость скорости прогрессирования глаукомной оптической нейропатии от параметров решетчатой пластинки (глубины и толщины) [25]. Польские авторы выявили статистически значимое уменьшение глубины расположения решетчатой пластинки после выполнения хирургической антиглаукомной операции. При этом статистически достоверной разницы в степени смещения решетчатой пластинки после выполнения трабекулэктомии и непроникающей склерэктомии не было показано [26].

Во всех приведенных выше работах прослеживается ряд общих проблем, с которыми сталкиваются исследователи. Авторы отмечают, что визуализация решетчатой пластинки на ранних стадиях глаукомы затруднена в связи с выраженной толщиной преламинарной ткани, экранирующей глубже лежащие структуры. Во всех работах отмечается малая выборка наблюдаемых пациентов. Лишь в одной работе анализ проведен на 169 глазах [23], в остальных исследованиях группы наблюдения были небольшими (от 24 до 48 глаз). Разметка и измерение параметров решетчатой пластинки осуществляются вручную, что не может не влиять на получаемые результаты.

Подавляющее большинство встречаемых в литературе исследований решетчатой пластинки выполнено с использованием оптической когерентной томографии (SD-OCT) с расширенной глубиной технологии обработки изображений. Ввиду недостаточного распространения спектральной оптической когерентной томографии с возможностью использования режима увеличения глубины визуализации возникает потребность в изучении возможностей современных оптических когерентных томографов без наличия режимов улучшения визуализации решетчатой пластинки. На примере SOCT Corepicus REVO планируется провести ряд исследований для оценки возможности визуализации и исследования решетчатой пластинки.

## Выводы

Таким образом, изучение параметров решетчатой пластинки с помощью спектральной оптической когерентной томографии открывает новые возможности в понимании патогенеза глаукомы, в том числе и глаукомы нормального давления, что позволяет прогнозировать течение глаукомного процесса при достижении компенсации ВГД. Исследование биометрических показателей решетчатой пластинки в динамике даст возможность инструментально оценить эффективность

существующих консервативных и хирургических методов лечения глаукомной оптической нейропатии. Визуализация решетчатой пластинки в последующем станет важным критерием оценки применения регенеративной медицины в терапии глаукомных поражений.

## УЧАСТИЕ АВТОРОВ:

Куренков В.В. — научное редактирование;  
Клюганов В.С. — написание текста;  
Кузнецова Н.В. — техническое редактирование;  
Чиненова К.В. — оформление библиографии;  
Коновалов М.Е. — редактирование;  
Пожарицкий М.Д. — написание текста.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. 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. *J Ophthalmology*. 2014 Nov; 121(11):2081–2090. DOI: 10.1016/j.ophtha.2014.05.013
2. Heijl A., Aspberg J., Bengtsson B. The effect of different criteria on the number of patients blind from open-angle glaucoma. *BMC Ophthalmol*. 2011;11:31. DOI: 10.1186/1471-2415-11-31
3. Resnikoff S., Pascolini D., Etya'ale D., Cocur I., Pararajasegaram R., Pokharel G.P., Mariotti S.P. Global data on visual impairment in the year 2002. *Bull World Health Organ*. 2004 Nov; 82(11):844–851. DOI: /S0042-96862004001100009
4. Ермолаев В.Г., Ермолаев А.В., Ермолаев С.В. Социальные параметры инвалидности больных с глаукомой. *Современные наукоемкие технологии*. 2010;2:90–91. [Ermolaev V.G., Ermolaev A.V., Ermolaev S.V. Social parameters of disability in patients with glaucoma. Modern high technologies = *Sovremennyye naukoemkie tekhnologii*. 2010;2:90–91 (In Russ.)].
5. Алексеев В.Н., Газизова И.Р. Нейродегенеративные изменения у больных первичной открытоугольной глаукомой. *Практическая медицина*. 2012;4:154–156. [Alexeev V.N., Gazizova I.R. Neurodegenerative changes in patient with primary open-angle glaucoma. Practical medicine = *Prakticheskaya meditsina*. 2012;4:154–156 (In Russ.)].
6. Волков В.В. Глаукома при псевдонормальном давлении. М.: Медицина; 2001:352. [Volkov V.V. Glaucoma with pseudonormal pressure. Moscow: Meditsina; 2001:352 (In Russ.)].
7. Нестеров А.П. Глаукома. М.: Медицина; 2008:360. [Nesterov A.P. Glaucoma. Moscow: Meditsina; 2008:360 (In Russ.)].
8. Roberts M.D., Sigal I.A., Liang Y., Burgoyne C.F., Downs J.C. Changes in the biomechanical response of the optic nerve head in early experimental glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2010;51(11):5675–5684. DOI: 10.1167/iovs.10-5411
9. Quigley H.A., Addicks E.M., Green W.R., Maumenee A.E. Optic nerve damage in human glaucoma. II. The site of injury and susceptibility to damage. *Arch Ophthalmol*. 1981;99(4):635–649.
10. Quigley H.A., Addicks E.M. Regional differences in the structure of the lamina cribrosa and their relation to glaucomatous optic nerve damage. *Arch Ophthalmol*. 1981;99(1):137–143.
11. Quigley H.A. Glaucoma: Macrocosm to microcosm. *The Friedenwald Lecture. Investigative Ophthalmology and visual Science*. 2005;2663–2670. DOI: 10.1167/iovs.04-1070
12. Morgan J.E. Circulation and axonal transport in the optic nerve. *Eye (Lond)*. 2004;18:1089–1095. DOI: 10.1038/sj.eye.6701574
13. Nayreh S.S. Pathogenesis of cupping of the optic disc. *Br J Ophthalmol*. 1974;58:863–876.
14. 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;24:39–73. DOI: 10.1016/j.preteyeres.2004.06.001
15. Hernandez M.R., Pena J.D., Selvidge J.A., Salvador-Silva M., Yang P. Hydrostatic pressure stimulates synthesis of elastin in cultured optic nerve head astrocytes. *Glia*. 2000;32(2):122–136.
16. Morgan J., Waldo A. Retinal nerve fiber layer polarimetry histological and clinical comparison. *Br J Ophthalmol*. 1998;82:684–690.
17. Pena J.D., Netland P.A., Vidal I. Elastosis of the lamina cribrosa in glaucomatous optic neuropathy. *Exp. Eye Res*. 1998;67(5):517–524.
18. Pena J.D., Agapova O., Gabelt B.T., Levin L.A., Lucarelli M.J., Kaufman P.L., Hernandez M.R. Increased elastin expression in astrocytes of the lamina cribrosa in response to elevated intraocular pressure. *Invest. Ophthalmol*. 2001;42(10):2302–2314.
19. Spoerl E., Goehm A., Pillunat L. The influence of various substances on the biomechanical behavior of lamina cribrosa and peripapillary sclera. *Invest. Ophthalmol*. 2005;46:1286–1290.
20. Wax M., Baret D., Pestronk A. Increased incidence of paraproteinemia and outoantibodies in patients with glaucoma. *Invest. Ophthalmol*. 1994;117:561–568.
21. Naranjo-Bonilla P., Giménez-Gómez R., Ríos-Jiménez D., Varas-Fabra M.L., Muñoz-Villanueva M.D., García-Catalán R., Font-Ugalde P., Poblador-Fernández M.S., Lancho-Alonso J.L., Gallardo-Galera J.M. Enhanced depth OCT imaging of the lamina cribrosa for 24 hours. *J Ophthalmol*. 2017;18.10(2):306–309 DOI: 10.18240 / jjo.2017.02.20
22. Gizzi C., Cellini M., Campos E.C. In vivo assessment of changes in corneal hysteresis and lamina cribrosa position during acute intraocular pressure elevation in eyes with markedly asymmetrical glaucoma. *Clin Ophthalmol*. 2018;12:481–492. DOI: 10.2147/OPHTH.S151532
23. Shoji T., Kuroda H., Suzuki M., Ibuki H., Araie M., Yoneya S. Vertical asymmetry of lamina cribrosa tilt angles using wide bandwidth, femtosecond mode-locked laser OCT; effect of myopia and glaucoma. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2017 Jan; 255(1):197–205. DOI: 10.1007/s00417-016-3524-6
24. Kim Y.W., Jeoung J.W., Girard M.J., Mari J.M., Park K.H. Positional and Curvature Difference of Lamina Cribrosa According to the Baseline Intraocular Pressure in Primary Open-Angle Glaucoma: A Swept-Source Optical Coherence Tomography (SS-OCT) Study. *Send to PLoS One*. 2016 Sep;11(9):e0162182. DOI: 10.1371/journal.pone.0162182
25. Park H.L., Kim S.L., Park C.K. Influence of the lamina cribrosa on the rate of global and localized retinal nerve fiber layer thinning in open-angle glaucoma. *Medicine (Baltimore)*. 2017 Apr;96(14):e6295. DOI: 10.1097/MD.0000000000006295
26. Krzyzanowska-Berkowska P., Melińska A., Helemejko I., Iskander R. Evaluating displacement of lamina cribrosa following glaucoma surgery. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2018;256(4):791–800. DOI: 10.1007/s00417-018-3920-1

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Клиника доктора Куренкова  
Куренков Вячеслав Владимирович  
доктор медицинских наук, профессор  
Рублевское шоссе, 48/1, Москва, 121609, Российская Федерация

Клиника доктора Куренкова  
Клюганов Виталий Сергеевич  
врач-офтальмолог  
Рублевское шоссе, 48/1, Москва, 121609, Российская Федерация

Клиника доктора Куренкова  
Кузнецова Наталья Владимировна  
врач-офтальмолог  
Рублевское шоссе, 48/1, Москва, 121609, Российская Федерация

Клиника доктора Куренкова  
Чиненова Ксения Владимировна  
врач-офтальмолог  
Рублевское шоссе, 48/1, Москва, 121609, Российская Федерация

Офтальмологический центр Коновалов  
Коновалов Михаил Егорович  
доктор медицинских наук, профессор, руководитель Центра  
ул. 3-я Тверская-Ямская, 56/6, Москва, 125047, Российская Федерация

Академия постдипломного образования ФГБУ ФНКЦ ФМБА России  
Пожарицкий Михаил Дмитриевич  
доктор медицинских наук, профессор, заведующий анестезиологическим отделением  
Волоколамское ш., 91, Москва, 125371, Российская Федерация

## ABOUT THE AUTHORS

Ophthalmology Clinic of Dr. Kurenkov  
Kurenkov Vyacheslav V.  
MD, professor  
Rublyovskoye highway, 48, Moscow, 121609, Russia

Ophthalmology Clinic of Dr. Kurenkov  
Klyuganov Vitaliy S.  
Ophthalmologist  
Rublyovskoye highway, 48, Moscow, 121609, Russia

Ophthalmology Clinic of Dr. Kurenkov  
Kuznetsova Nataliya V.  
Ophthalmologist  
Rublyovskoye highway, 48, Moscow, 121609, Russia

Ophthalmology Clinic of Dr. Kurenkov  
Chinenova Kseniya V.  
Ophthalmologist  
Rublyovskoye highway, 48, Moscow, 121609, Russia

Konovalev eye center  
Konovalev Michail E.  
MD, professor, Head of Konovalev eye center  
Tverskaya-Yamskaya str., 56/6, Moscow, 125047, Russia

Academy of postgraduate education under FSBU FSCC of FMBA of Russia  
Pozharitsky Michail D.  
MD, professor,  
Volokolamskoye highway, 91, Moscow, 125371, Russia