

возрастной макулярной дегенерации. Офтальмологические ведомости. 2010; (2): 41–7).

3. Libman ES, Tolmachev RA, Shakhova EV. Epidemiological characteristics of disability due to the main forms of maculopathy. In: Macula 2006. Rostov n/D, 2006; p. 15–22. Russian (Либман Е.С., Толмачев Р.А., Шахова Е.В. Эпидемиологическая характеристика инвалидности вследствие основных форм макулопатий. В сб.: 2-й Всероссийский семинар «Макула 2006». Ростов н/Д, 2006; с. 15–22).

4. World Report on Aging and Health. Geneva: World Health Organization, 2015 [Electronic resource]. URL: <https://www.who.int/ageing/events/world-report-2015-launch/en/>

5. Lim LS, Mitchell P, Seddon JM, et al. Age-related macular degeneration. Lancet 2012; 379 (9827): 1728–38. URL: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)60282-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)60282-7).

6. Rosenfeld PJ, Brown DM, Heier JS, et al. Ranibizumab for neovascular age-related macular degeneration/MARINA Study Group. N Engl J Med 2006; 355 (14): 1419–31. DOI: 10.1056/NEJMoa054481.

7. Brown DM, Kaiser PK, Michels M, et al. Ranibizumab versus verteporfin for neovascular age-related macular degeneration/ANCHOR Study Group. N Engl J Med 2006; 355 (14): 1432–44. DOI: 10.1056/NEJMoa062655.

8. Heier JS, Brown DM, Chong V, et al. Intravitreal Aflibercept (VEGF Trap-Eye) in Wet Age-related Macular Degeneration. Ophthalmology 2012; 119 (12): 2537–48.

9. Zhang K, Zhang L, Weinreb RN. Ophthalmic drug discovery: novel targets and mechanisms for retinal diseases and glaucoma. Nat Rev Drug Discov 2012; 11 (7): 541–59.

УДК 617.732

Оригинальная статья

## ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОПТИЧЕСКОЙ КОГЕРЕНТНОЙ ТОМОГРАФИИ С ФУНКЦИЕЙ АНГИОГРАФИИ У БОЛЬНЫХ С ПЕРВИЧНОЙ ОТКРЫТОУГОЛЬНОЙ ГЛАУКОМОЙ

**Д.А. Тихонов** — ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского» Минздрава России, аспирант кафедры глазных болезней; Университетская клиническая больница №2 (Клиника глазных болезней), врач-офтальмолог; **Т.Г. Каменских** — ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского» Минздрава России, заведующая кафедрой глазных болезней, доктор медицинских наук; **И.О. Колбнев** — ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского» Минздрава России, доцент кафедры глазных болезней, кандидат медицинских наук; **Е.В. Веселова** — ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского» Минздрава России, доцент кафедры глазных болезней, кандидат медицинских наук.

## DIAGNOSTIC CAPABILITIES OF OPTICAL COHERENCE TOMOGRAPHY ANGIOGRAPHY IN PATIENTS WITH PRIMARY OPEN-ANGLE GLAUCOMA

**D.A. Tikhonov** — Saratov State Medical University n. a. V.I. Razumovsky, Postgraduate Student at the Department of Ophthalmology; University Clinical Hospital №2 (Clinic of Eye Diseases), Ophthalmologist; **T.G. Kamenskikh** — Saratov State Medical University n. a. V.I. Razumovsky, Head of the Department of Ophthalmology, DSc; **I.O. Kolbenev** — Saratov State Medical University n. a. V.I. Razumovsky, Associate Professor at the Department of Ophthalmology, PhD; **E.V. Veselova** — Saratov State Medical University n. a. V.I. Razumovsky, Associate Professor at the Department of Ophthalmology, PhD.

Дата поступления — 23.08.2021 г.

Дата принятия в печать — 10.09.2021 г.

**Тихонов Д.А., Каменских Т.Г., Колбнев И.О., Веселова Е.В.** Диагностические возможности оптической когерентной томографии с функцией ангиографии у больных с первичной открытоугольной глаукомой. Саратовский научно-медицинский журнал 2021; 17 (3): 662–665.

**Цель:** оценить состояние внутриглазной микроциркуляции у больных первичной открытоугольной глаукомой (ПОУГ) до и после хирургического лечения с использованием оптической когерентной томографии с функцией ангиографии (Ангио-ОКТ). **Материал и методы.** В исследовании участвовало 30 больных (30 глаз) с диагнозом ПОУГ Ib стадии (группа 1) и 25 человек (31 глаз) без офтальмологической патологии (группа 2, или контрольная группа). Всем пациентам с ПОУГ проведена синустрабекуlectомия. **Результаты.** У больных ПОУГ выявлено снижение плотности сосудов (до  $18,10 \pm 0,53$ ) и плотности кровотока диска зрительного нерва (ДЗН) (до  $33,77 \pm 0,65$ ). После оперативного лечения плотность сосудов увеличилась до  $19,06 \pm 0,32$ , плотность кровотока до  $37,74 \pm 0,32$ . Через 6 месяцев гемодинамические и морфофункциональные показатели ДЗН оставались прежними по сравнению с данными, полученными после операции. **Заключение.** После проведенной антиглаукомной операции наблюдалось значимое улучшение гемодинамики ДЗН, сохранявшееся в течение шести месяцев и сопровождавшееся стабилизацией морфофункциональных показателей ДЗН. Результаты Ангио-ОКТ ДЗН могут использоваться в качестве дополнительного критерия стабилизации глаукомного процесса.

**Ключевые слова:** Ангио-ОКТ, плотность сосудов, плотность кровотока, первичная открытоугольная глаукома.

**Tikhonov DA, Kamenskikh TG, Kolbenev IO, Veselova EV.** Diagnostic capabilities of optical coherence tomography angiography in patients with primary open-angle glaucoma. Saratov Journal of Medical Scientific Research 2021; 17 (3): 662–665.

**Purpose:** to assess the state of intraocular microcirculation in patients with primary open-angle glaucoma (POAG) before and after surgical treatment using optical coherence tomography angiography (Angio-OCT). **Material and Methods.** The study involved 30 patients (30 eyes) diagnosed with POAG stage Ib (group 1) and 25 people (31 eyes) without ophthalmic pathology (group 2, control group). All patients with POAG underwent sinustrabeculectomy. **Results.** Patients with POAG revealed a decrease in the density of blood vessels (up to  $18.10 \pm 0.53$ ) and blood flow density of the optic nerve disc (up to  $33.77 \pm 0.65$ ). After surgical treatment, the vascular density increased to  $19.06 \pm 0.32$ , the blood flow density to  $37.74 \pm 0.32$ . After 6 months, the hemodynamic and morphofunctional parameters of the optic nerve disc head remained the same in comparison with the data obtained after the operation. **Conclusion.** After antiglaucoma operation, a significant increase in the hemodynamics of the optic nerve disc was observed, which lasted for 6 months and was accompanied by the stabilization of the morphofunctional indices of the optic nerve disc. The results of the optic nerve disc Angio-OCT can be used as an additional criterion for the stabilization of the glaucomatous process.

**Key words:** Angio-OCT, vascular density, blood flow density, primary open-angle glaucoma.

**Введение.** Диагностика и лечение глаукомы находятся в числе приоритетных проблем современной офтальмологии. Несмотря на существенные успехи в лечении этого заболевания, процент слепых и слабовидящих в результате глаукомы остается высоким. Удельный вес первичной инвалидности по зрению вследствие глаукомы колеблется в пределах 10–20% [1]. По данным ВОЗ, сейчас в мире 105 млн человек больны глаукомой, из них 5,2 млн имеют слепоту на оба глаза, что составляет 13,5% от всех случаев слепоты в мире. В России насчитывается более 1,3 млн больных глаукомой. Количество впервые выявляемых пациентов увеличивается на 3–4% в год. По данным Министерства здравоохранения РФ, за 5 лет (2013–2018) в России зарегистрированные случаи заболеваний глаукомой выросли на 10,5%: с 823,8 до 909,9 на 100 тыс. населения.

У больных с первичной открытоугольной глаукомой (ПОУГ) потеря нервных волокон сетчатки и рост глаукомной экскавации зависят не только от внутриглазного давления (ВГД), но и от сосудистых факторов, в том числе изменений местного кровотока. При нарушении кровоснабжения зоны диска зрительного нерва (ДЗН) происходит гибель его волокон. Кровообращение заднего отрезка глаза в значительной степени зависит от состояния внутриглазных сосудов, в первую очередь питающих ДЗН [2].

В настоящее время, особенно при тенденции к увеличению глаукомы, очень важна оценка состояния микрогемодинамики глаза и морфометрических изменений ДЗН [3]. Существующие методы исследования не позволяют детально оценить состояние кровотока в глазной артерии, центральной артерии сетчатки, задних коротких цилиарных артериях, они сложны в применении как для пациента, так и для ис-

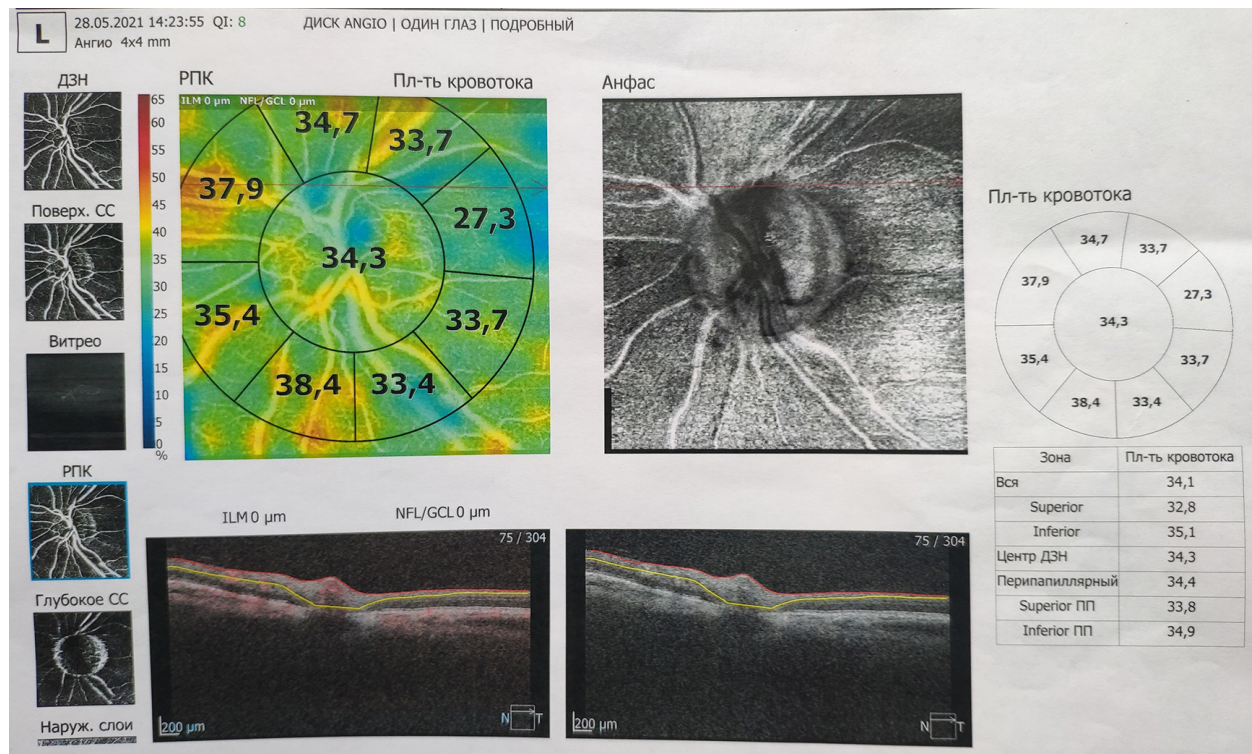
следователя. Этим и объясняется необходимость внедрения новых методик, которые позволят детально исследовать сосудистое русло глаза и выявить взаимосвязь между изменением кровотока и динамикой прогрессирования глаукомной нейропатии.

Одной из наиболее перспективных методик является бесконтактное исследование внутриглазной микроциркуляции с помощью оптического когерентного томографа REVO NX (Optopol) с функцией ангиографии. ОКТ-ангиография (Ангио-ОКТ) — это неинвазивная, не требующая красителей методика, обеспечивающая послойное отображение кровотока сосудов сетчатки и ДЗН. В программном обеспечении данного прибора имеется модуль картирования кровотока, обеспечивающий количественную оценку сосудистых сплетений всей анализируемой области вместе с численными значениями в конкретных зонах и секторах [4]. Данные представляются в виде цветной карты со шкалой соответствия (рисунок).

Прибор дает возможность количественного описания плотности сосудов (отношение суммы длин сосудов скелетизированной ангиограммы к площади анализируемой области) и плотности кровотока (отношение площади сосудов бинаризированной ангиограммы к площади анализируемой области) на глазном дне, что повышает чувствительность методики при специфических заболеваниях [5].

**Цель:** оценить состояние внутриглазной микроциркуляции у больных ПОУГ до и после хирургического лечения с использованием оптической когерентной томографии с функцией ангиографии.

**Материал и методы.** Исследование выполнялось на кафедре глазных болезней и в Клинике глазных болезней ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет имени В. И. Разумовского»



Пример результата оптической когерентной ангиотомографии диска зрительного нерва

**Ответственный автор** — Тихонов Дмитрий Александрович  
Тел.: +7 (902) 0483697  
E-mail: datsar87@mail.ru

Министерства здравоохранения РФ. В исследовании участвовало 30 больных (30 глаз) в возрасте от 50 до 60 лет (средний возраст  $59,3 \pm 5,14$  года) с диагнозом ПОУГ Ib стадии (группа 1) и 25 человек (31 глаз) в возрасте от 50 до 60 лет (средний возраст  $52,8 \pm 5,21$  года) без офтальмологической патологии (группа 2, или контрольная группа).

Критерии включения: возраст не старше 65 лет, не младше 45 лет, наличие установленного диагноза ПОУГ. Критерием исключения местного характера являлось наличие у пациентов помутнений оптических сред, не позволяющих выполнить Ангио-ОКТ.

Комплексное обследование проводили до и после операции через 7 дней, 1 и 6 месяцев. Всем пациентам выполняли визометрию, тонометрию, биомикроскопию, гониоскопию, обратную офтальмоскопию, пороговую компьютерную периметрию (с оценкой показателей MS и MD), а также обследование на оптическом когерентном томографе с функцией ангиографии REVO NX фирмы OPTOPOL.

Оценку поля зрения проводили с помощью компьютерного статического периметра Oculus twinfield-2 (Германия). Использовался пороговый тест Glaucoma threshold 30–2, который является стандартным при исследовании поля зрения при глаукоме. Оценивали состояние центрального поля зрения, индексы MS (светочувствительность сетчатки) и MD (среднее отклонение светочувствительности сетчатки от нормы).

Всем пациентам с ПОУГ проведена синустрабекулэктомия — фистулизирующая антиглаукомная операция, позволяющая снизить ВГД путем увеличения оттока водянистой влаги из передней камеры по вновь сформированным путям оттока.

Данные, полученные в результате исследования, обрабатывали с использованием программ Microsoft Excel и Statistica 10,0. Так как все исследуемые показатели имели нормальное распределение, использовались параметрические методы статистики. Определяли среднее арифметическое значение (M) и стандартное отклонение ( $\pm\sigma$ ). Значимость различий вариационных рядов оценивали с помощью критерия Стьюдента (t). Статистически значимыми признавались различия, при которых уровень значимости (p) составлял более 95,0% ( $p < 0,05$ ), в остальных случаях различия признавались статистически незначимыми ( $p \geq 0,05$ ).

**Результаты.** Острота зрения у пациентов группы 1 (ПОУГ Ib) составила  $0,66 \pm 0,1$ ; ВГД  $29,3 \pm 0,6$  мм рт. ст. Все пациенты этой группы получали местную

гипотензивную терапию в виде инстилляций глазных капель различных групп препаратов (ингибиторы карбоангидразы, аналоги простагландинов, селективные  $\beta$ -блокаторы). Гониоскопически у всех пациентов угол передней камеры был открыт, профиль средних, склеротические изменения в трабекулах, пигментация смешанная с преобладанием экзогенной. С помощью компьютерной статической периметрии у пациентов данной группы обнаружены типичные глаукомные изменения (скотома в зоне Бьеррума, снижение индекса MS и повышение индекса MD).

При проведении Ангио-ОКТ у больных с ПОУГ выявлены изменения в виде снижения плотности сосудов и плотности кровотока ДЗН по всем зонам (табл. 1, 2).

Между показателями больных группы 1 до лечения и лиц из группы 2 (контрольной) выявлены значимые различия показателя плотности сосудов ( $p = 0,02 - 0,04$ ). Между показателями плотности сосудов больных группы 1 после лечения и лиц из группы 2 выявлены значимые различия ( $p = 0,01 - 0,03$ ) по всем зонам, кроме перипапиллярной ( $p = 0,07$ ).

Между показателями больных группы 1 до лечения и лиц из группы 2 (контрольной) выявлены значимые различия показателя плотности кровотока ( $p = 0,01 - 0,04$ ). Между показателями плотности кровотока больных группы 1 после лечения и лиц из группы 2 выявлены также значимые различия ( $p = 0,02 - 0,03$ ) по всем зонам, кроме перипапиллярной ( $p = 0,09$ ).

У всех пациентов группы 1, находившихся под наблюдением, операция и послеоперационный период протекали без осложнений. Через 7 дней после оперативного лечения ВГД составило  $18,9 \pm 0,5$  мм рт. ст. Объем нейроретинального ободка у всех пациентов не уменьшался по сравнению с исходными данными. Плотность сосудов и плотность кровотока на глазном дне у больных с ПОУГ после оперативного лечения значительно увеличились (см. табл. 1 и 2). При контрольном обследовании пациентов через 6 месяцев основные морфофункциональные показатели (острота зрения, индексы полей зрения, объем нейроретинального ободка, глубина экскавации) оставались прежними по сравнению с исходными данными.

**Обсуждение.** Исследование глазного кровотока при глаукоме с помощью методики Ангио-ОКТ позволило выявить достоверное снижение гемодинамических показателей ДЗН (плотности сосудов и плотности кровотока) у больных с глаукомой по сравнению со здоровыми обследуемыми, что подтверждается

Таблица 1

**Плотность сосудов диска зрительного нерва у пациентов контрольной группы и у больных с первичной открытоугольной глаукомой до и после оперативного лечения ( $M \pm \sigma$ )**

Зона	Группа 1 (больные ПОУГ) до оперативного лечения (n=30 глаз)	Группа 1 (больные ПОУГ) после оперативного лечения (n=30 глаз)	Группа 2 (контрольная группа) (n=31 глаз)	Значимость различий между показателями в группе 1 до и после оперативного лечения (p)
Вся	$18,10 \pm 0,53^*$	$19,06 \pm 0,32^*$	$21,62 \pm 0,47$	0,01
Superior	$17,50 \pm 0,85^*$	$18,9 \pm 0,24^*$	$22,34 \pm 0,71$	0,02
Inferior	$18,36 \pm 0,51^*$	$18,8 \pm 0,20^*$	$21,34 \pm 0,11$	0,02
Центр ДЗН	$13,64 \pm 0,23^*$	$14,38 \pm 0,19^*$	$16,22 \pm 0,72$	0,01
Перипапиллярная	$18,64 \pm 0,57^*$	$21,78 \pm 0,27^*$	$22,92 \pm 0,42$	0,01
Superior ПП	$18,42 \pm 0,28^*$	$19,64 \pm 0,10^*$	$23,38 \pm 0,23$	0,03
Inferior ПП	$19,78 \pm 0,20^*$	$21,73 \pm 0,18^*$	$23,24 \pm 0,40$	0,01

Примечание: ПОУГ — первичная открытоугольная глаукома; ДЗН — диск зрительного нерва; ПП — перипапиллярная зона; \* — различия показателей в группе 1 до и после оперативного лечения значимы,  $p < 0,05$ .



Таблица 2

**Плотность кровотока диска зрительного нерва у пациентов контрольной группы и у больных с первичной открытоугольной глаукомой до и после оперативного лечения (M±σ)**

Зона	Группа 1 (больные ПОУГ) до оперативного лечения (n=30 глаз)	Группа 1 (больные ПОУГ) после оперативного лечения (n=30 глаз)	Группа 2 (контрольная группа) (n=31 глаз)	Значимость различий между показателями в группе 1 до и после оперативного лечения (p)
Вся	33,77±0,65*	37,74±0,32*	39,94±0,46	0,01
Superior	33,12±0,50*	35,22±0,15*	39,73±0,30	0,03
Inferior,	33,12±0,72*	35,94±0,35*	39,4±1,07	0,02
Центр ДЗН	33,1±1,0*	28,1±1,00*	29,84±0,89	0,01
Перипапиллярная	35,2±0,55*	40,62±0,27*	42,04±0,62	0,02
Superior ПП	34,84±0,33*	39,42±0,13*	41,96±0,50	0,03
Inferior ПП	35,82±0,17*	40,06±0,20*	42,37±0,43	0,01

Примечание: ПОУГ — первичная открытоугольная глаукома; ДЗН — диск зрительного нерва; ПП — перипапиллярная зона; \* — различия показателей в группе 1 до и после оперативного лечения значимы, p<0,05.

и литературными данными [7, 8]. Возможное использование Ангио-ОКТ в мониторинге глаукомного процесса показали в своем исследовании Y. Wang и соавт. [7], обнаружив корреляцию степени гемодинамических нарушений ДЗН со стадией ПОУГ. Авторы предположили, что снижение показателей кровотока ДЗН может служить прогностическим критерием последующей гибели ганглиозных клеток сетчатки. В то же время остается открытым вопрос о том, что является первичным: сосудистые или морфологические изменения ДЗН. В литературе отсутствует также информация о долгосрочных исследованиях, в которых мониторинг глаукомы осуществлялся бы только на основе данных Ангио-ОКТ.

Полученные нами результаты показывают, что после проведенного оперативного лечения по крайней мере в течение шести месяцев наблюдалась стабилизация гемодинамических и морфофункциональных показателей ДЗН. Для дальнейшего изучения возможности использования Ангио-ОКТ в мониторинге глаукомного процесса необходимо исследовать гемодинамические и морфофункциональные показатели ДЗН в более отдаленные сроки.

#### Выводы:

1. С помощью Ангио-ОКТ проведена оценка состояния внутриглазной микроциркуляции у больных ПОУГ, выявлено статистически значимое снижение плотности сосудов и плотности кровотока в капиллярной сети ДЗН.

2. После проведенной антиглаукомной операции наблюдалось статистически значимое увеличение плотности сосудов и плотности кровотока ДЗН, сохранявшееся в течение шести месяцев и сопровождавшееся стабилизацией морфологических показателей ДЗН.

3. Показатели плотности кровотока и плотности сосудов ДЗН могут использоваться в качестве дополнительного критерия определения стабилизации глаукомного процесса.

**Конфликт интересов** отсутствует.

#### References (Литература)

- Egorov EA, Alekseev VN, Martynova EB, Kharkovsky AO. Pathogenetic aspects of treatment of primary open-angle glaucoma. Moscow, 2001; 19 p. Russian (Егоров Е.А., Алексеев В.Н., Мартынова Е.Б., Харьковский А.О. Патогенетические аспекты лечения первичной открытоугольной глаукомы. М., 2001; 19 с.).
- Nesterov AP, Alyabyeva ZhYu. Normotensive glaucoma: a modern view of pathogenesis, diagnostics, clinic and treatment. Part I. Glaucoma 2005; (3): 66–74. Russian (Нестеров А.П., Алябьева Ж.Ю. Нормотензивная глаукома: современный взгляд на патогенез, диагностику, клинику и лечение. Ч. I. Глаукома 2005; (3): 66–74).
- Egorov EA, Nesterov AP. Primary open-angle glaucoma. In: Avetisov SE, ed. Ophthalmology: National Leadership. Moscow: GEOTAR-Media, 2008; p. 713–26. Russian (Егоров Е.А., Нестеров А.П. Первичная открытоугольная глаукома. В кн.: Офтальмология: нац. рук-во/под ред. С.Э. Аветисова и др. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008; с. 713–26).
- Liebman ES. Disability due to pathology of the visual organ. In: Avetisov SE, ed. Ophthalmology: National Leadership. Moscow: GEOTAR-Media, 2008; p. 19–25. Russian (Либман Е.С. Инвалидность вследствие патологии органа зрения. В кн.: Офтальмология: нац. рук-во/под ред. С.Э. Аветисова и др. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008; с. 19–25).
- Quigley HA. The number of people with glaucoma worldwide. Br J Ophthalmol 1996; 80 (5): 389–93.
- Solmaz N, Yaya O, Onder F. Optic Nerve Head and Retinal Nerve Fiber Layer Analysis in Ocular Hypertension and Early-Stage Glaucoma Using Spectral-Domain Optical Coherence Tomography Copernicus. Turk J Ophthalmol 2014; 44: 35–41.
- Kuryshva NI, Maslova EV. Optical coherence tomography angiography in glaucoma diagnosis. Bulletin of Ophthalmology 2016; 132 (5): 98–102. Russian (Курышева Н.И., Маслова Е.В. Оптическая когерентная томография с функцией ангиографии в диагностике глаукомы. Вестник офтальмологии 2016; 132 (5): 98–102).
- Zhang M, Wang J, Pechauer AD, et al. Advanced image processing for optical coherence tomographic angiography of macular diseases. Biomedical Optics Express 2015; 12 (6): 4661–75.