

Оценка показателей кровотока макулярной области и диска зрительного нерва у пациентов с сочетанием глаукомы и осевой миопии

Э.Н. Эскина^{1,2}А.В. Белогурова²В.С. Зинина²А.А. Гветадзе²В.Б. Смирнова-Сотмари²

¹ Академия постдипломного образования ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий» Федерального медико-биологического агентства
Волоколамское шоссе, 91, Москва, 125371, Российская Федерация

² Офтальмологическая клиника «Сфера»
ул. Старокачаловская, 10, Москва, 117628, Российская Федерация

РЕЗЮМЕ

Офтальмология. 2022;19(3):638–646

Цель: проанализировать показатели кровотока макулярной области и зрительного нерва у пациентов с сочетанием глаукомы и осевой миопии. **Пациенты и методы.** В работе проанализированы результаты исследования 186 пациентов (343 глаза): 51 пациент (92 глаза) с осевой близорукостью (среднее ПЗО $26,3 \pm 1,9$ мм) и диагностированной первичной открытоугольной глаукомой различной стадии (группа Глаукома + Миопия), 42 пациента (78 глаз) с осевой близорукостью (среднее ПЗО $26,5 \pm 1,8$ мм) без иной офтальмопатологии (группа Миопия), 48 пациентов (86 глаз) с рефракцией, близкой к эметропической, и первичной открытоугольной глаукомой различной стадии (группа Глаукома), 45 пациентов (87 глаз) без какой-либо офтальмопатологии и рефракцией, близкой к эметропической (группа Эметропия). **Результаты.** При развитии глаукомы выявлено снижение плотности капиллярной перфузии и плотности сосудов поверхностного сплетения в макулярной области с преимущественным снижением параметра в нижнем секторе и с прогрессивным снижением при увеличении стадии глаукомы. Более выраженные отклонения от показателей контрольных групп зафиксированы в группе сочетанной патологии глаукомы с осевой миопией. В перипапиллярной области пациентов с глаукомой зафиксировано снижение плотности капиллярной перфузии и индекса капиллярного потока в верхнем и особенно в нижнем секторе с более выраженными изменениями при сочетании заболевания с осевой миопией. **Заключение.** Определенные в ходе данного исследования томографические показатели кровотока макулярной и перипапиллярной области позволяют получать более полное представление о течении глаукомного процесса у пациентов с различной рефракцией, а также проводить дифференциальную диагностику и определять стадию данного заболевания у пациентов с различной степенью миопии.

Ключевые слова: глаукома, миопия, оптическая когерентная томография ангиография, плотность сосудов, плотность капиллярной перфузии

Для цитирования: Эскина Э.Н., Белогурова А.В., Зинина В.С., Гветадзе А.А., Смирнова-Сотмари В.Б. Оценка показателей кровотока макулярной области и диска зрительного нерва у пациентов с сочетанием глаукомы и осевой миопии. *Офтальмология*. 2022;19(3):638–646. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2022-3-638-646>

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

Конфликт интересов отсутствует

Evaluation of Blood Flow Parameters of the Macular Area and Optic Disc in Patients with Combination of Glaucoma and Axial Myopia

E.N. Eskina^{1,2}, A.V. Belogurova², V.S. Zinina², A.A. Gvetadze², V.B. Smirnova-Sotmari²

¹ Academy of Postgraduate Education of Federal Scientific and Clinical Center for Specialized Medical Assistance and Medical Technologies of Federal Medical-Biological Agency
Volokolamskoe highway, 91, Moscow, 125371, Russian Federation

² Ophthalmological Clinic "Sphere"
Starokachalovskaya str., 10, Moscow, 117628, Russian Federation

ABSTRACT

Ophthalmology in Russia. 2022;19(3):638–646

Purpose. To analyze the indicators of blood flow in the macular region and the peripapillary region in patients with a combination of glaucoma and axial myopia. **Patients and methods.** The paper analyzes the results of a study of 186 patients (343 eyes): 51 patients (92 eyes) with axial myopia (mean AVR 26.3 ± 1.9 mm) and diagnosed with primary open-angle glaucoma of various stages (Glaucoma + Myopia group), 42 patients (78 eyes) with axial myopia (mean AVR 26.5 ± 1.8 mm) without other ophthalmopathology (Myopia group), 48 patients (86 eyes) with refraction close to emmetropic and primary open-angle glaucoma of various stages (Glaucoma group), 45 patients (87 eyes) without any ophthalmopathology and refraction close to emmetropic (Emmetropia group). **Results.** With the development of glaucoma, a decrease in the density of capillary perfusion and the density of vessels of the superficial plexus in the macular region was revealed, with a predominant decrease in the parameter in the lower sector; with a progressive decrease with the glaucoma severity. More pronounced deviations from the indicators of the control groups were recorded in the group of combined glaucoma and axial myopia. In the peripapillary region of patients with glaucoma, a decrease in capillary perfusion density and capillary flow index in the upper and especially in the lower sector was recorded, with more pronounced changes in the combination of the disease with axial myopia. **Conclusion.** The tomographic indicators of blood flow in the macular and peripapillary areas from this study can be used to obtain the most complete picture of the course of the glaucoma process in patients with different types of refraction, as well as for differential diagnosis and staging of glaucoma in high myopic eyes.

Keywords: glaucoma, myopia, optical coherence tomography angiography, vascular density, capillary perfusion density

For citation: Eskina E.N., Belogurova A.V., Zinina V.S., Gvetadze A.A., Smirnova-Sotmari V.B. Evaluation of Blood Flow Parameters of the Macular Area and Optic Disc in Patients with Combination of Glaucoma and Axial Myopia. *Ophthalmology in Russia*. 2022;19(3):638–646. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2022-3-638-646>

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

There is no conflict of interests

ВВЕДЕНИЕ

Глаукома является основной причиной глобальной необратимой слепоты во всем мире. Распространенность глаукомы среди населения 40–80 лет составляет 3,54 % [1]. В 2020 году в мире число пациентов данного возраста с диагностированной глаукомой достигло 76 млн, а к 2040 году прогнозируется увеличение заболеваемости до 111,8 млн случаев [1].

Другим серьезным офтальмологическим заболеванием в современном мире является осевая миопия, распространенность которой настолько велика, что по прогнозам к 2050 году каждый второй житель планеты может страдать близорукостью [2]. При этом сочетание осевой миопии с глаукомой утяжеляет течение последней. В литературе неоднократно подтверждаются данные об увеличении частоты формирования глаукомной оптической нейропатии при увеличении переднезадней оси глаза у пациентов с близорукостью [3], а также о прогрессировании дефектов полей зрения, связанных с глаукомой в сочетании с миопией [4]. В связи с этим немаловажным представляется своевременная, максимально ранняя диагностика глаукомы. Однако при интерпретации глаукомных признаков в глазах с близорукостью возникают

определенные сложности ввиду их маскирования в глаукомных глазах, касающиеся офтальмоскопической картины ДЗН [5, 6], тонометрических [7] и периметрических данных [8].

Оптическая когерентная томография (ОКТ) — метод, который занял прочную лидирующую позицию в диагностике глаукомы. Анализ ОКТ-параметров при данном заболевании посвящено большое количество работ, исследователями во всем мире сделаны определенные выводы. При этом для выявления наиболее чувствительных анатомических критериев глаукомы при близорукости многими авторами проводилась оценка томографических параметров глаукомы при осевой миопии и у близоруких пациентов без глаукомы. Так, было показано, что толщина комплекса ганглиозных клеток с внутренним плексиформным слоем при миопии снижена незначительно, что делает данный показатель особенно ценным для диагностики глаукомы при миопии [9], что и было подтверждено в исследовании диагностической чувствительности для глаукомы таких параметров, как показатель общего объема потерь КГК и толщина комплекса ганглиозных клеток в нижнем секторе макулярной зоны [10, 11].

E.N. Eskina, A.V. Belogurova, V.S. Zinina, A.A. Gvetadze, V.B. Smirnova-Sotmari

Contact information: Belogurova Alyona V. alyona.belogurova@sfe.ru

Evaluation of Blood Flow Parameters of the Macular Area and Optic Disc in Patients with Combination...

Показатель перипапиллярной толщины слоя нервных волокон снижен при осевой миопии по сравнению с эметропией преимущественно в верхнем и нижнем секторе [12, 13] с более прогрессивным снижением в случаях сочетания глаукомы с осевой миопией [8]. Если оценивать показатель толщины хориоидеи при глаукоме и миопии, то нужно анализировать следующие подтвержденные факты: толщина хориоидеи измеряется в основном мануально, снижается с увеличением возраста, уменьшается при росте осевой длины глаза с височно-носовой асимметрией, истончается при первичной открытоугольной глаукоме и значительно снижена при сочетании глаукомы с осевой миопией [14–18].

При активном внедрении в практику врачей-офтальмологов томографии с функцией ангиографии (ОКТ-А) были изучены показатели кровотока в макулярной и перипапиллярной области сетчатки при глаукоме. Были описаны особенности нарушения макулярного кровотока при разных стадиях глаукомы [19] и ухудшения секторальных перипапиллярных ангиографических показателей при данном заболевании [20, 21].

При этом описания крайне актуального вопроса исследования ангиографических показателей сетчатки при глаукоме в сочетании с осевой миопией носят единственный характер [22, 23] и не демонстрируют детальный сравнительный анализ параметров макулярного и перипапиллярного кровотока у пациентов с разной рефракцией и стадией глаукомы.

Оценка ангиографических показателей сетчатки у пациентов с глаукомой и осевой миопией является, на наш взгляд, нерешенной актуальной задачей офтальмологии.

Цель: проанализировать показатели кровотока макулярной области и зрительного нерва у пациентов с сочетанием глаукомы и осевой миопии.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи.

1. Исследовать ангиографические показатели макулярной и перипапиллярной областей сетчатки у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой и без таковой в сочетании с осевой миопией или эметропией.

2. Изучить сравнительные отличия показателей кровотока макулярной и перипапиллярной зон у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой и без таковой в сочетании с осевой миопией или эметропией.

3. Выявить наиболее информативный параметр макулярного и перипапиллярного кровотока для диагностики пациентов с сочетанием первичной открытоугольной глаукомы и миопии.

ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

В работе проанализированы результаты исследования 186 пациентов (343 глаза): 51 пациент (92 глаза) с осевой близорукостью (среднее ПЗО $26,3 \pm 1,9$ мм) и диагностированной первичной открытоугольной глаукомой различной стадии (группа Глаукома + Миопия), 42 пациента (78 глаз) с осевой близорукостью (среднее ПЗО $26,5 \pm 1,8$ мм) без иной офтальмопатологии (группа Миопия), 48 пациентов (86 глаз) с рефракцией, близкой к эметропической, и первичной открытоугольной глаукомой различной стадии (группа Глаукома), 45 пациентов (87 глаз) без какой-либо офтальмопатологии и рефракцией, близкой к эметропической (группа Эметропия) (табл. 1).

Всем пациентам проводилось стандартное офтальмологическое обследование (включающее авторефрактометрию, визометрию, пневмотонометрию, тонометрию по Маклакову и аппланационную тонометрию по Гольдману, гониоскопию, эхобиометрию, биомикроскопию переднего отрезка, непрямую офтальмоскопию с помощью линзы 60D). Дополнительно каждому пациенту для верификации глаукомы, а также ее стадии была выполнена компьютерная периметрия с помощью анализатора поля зрения Humphrey Field Analyzer 3, модель 860 (Carl Zeiss Meditec, США) с оценкой периметрических индексов (среднее отклонение (MD) и паттерн стандартное отклонение (PSD). Программа периметрии — Sita Standard 24-2 с коррекцией аметропии с помощью мягких контактных линз и пресбиопии. А также была выполнена ОКТ сетчатки и зрительного нерва с помощью прибора Cirrus HD-OCT 5000 AngioPlex™ (Carl Zeiss Meditec, США) с функцией ангиографии — ОКТ-А на фоне медикаментозного мидриаза.

С целью точного постадийного определения глаукомы у обследуемых пациентов изучали показатель средней толщины перипапиллярного слоя нервных волокон (CHV) сетчатки и показатели толщины CHV по 4 секторам с использованием программы Optic Nerve Head and Retinal Nerve Fiber Layer по протоколу Optic Disc Cube

Таблица 1. Сравнительная характеристика исследуемых групп

Table 1. Comparative characteristics of studied groups

		Глаукома + Миопия / Glaucoma + Myopia group	Миопия / Myopia group	Глаукома / Glaucoma group	Эметропия / Emmetropia group
Количество пациентов (глаз) / Number of patients (eyes)		51 (92)	42 (78)	48 (86)	45 (87)
Стадия глаукомы, число глаз / Glaucoma stages (eyes)	I	32		36	
	II	42		36	
	III	18		14	
Средний возраст, лет / Average age, years		$68,6 \pm 9,7$	$57,3 \pm 9,0$	$64,6 \pm 8,3$	$68,6 \pm 10,4$
Средняя длина ПЗО, мм / Average axial length, mm		$26,3 \pm 1,9$	$26,5 \pm 1,8$	$23,0 \pm 0,6$	$22,8 \pm 0,8$

200×200, и показатели толщины комплекса ганглиозных клеток с внутренним плексиформным слоем (КГК) по 6 секторам с использованием программы Ganglion Cell Analysis по протоколу Macular Cube 512×128. Результаты анализа СНВ и КГК не представлены в настоящей статье.

Для анализа ОКТ-А поверхностного капиллярного сплетения в макулярной области был использован протокол Angiography 6×6 mm (рис. 1). Были определены следующие показатели: плотность сосудов (superficial vascular density, SVD), плотность поверхностной капиллярной перфузии (superficial perfusion, SP). Оценивали общее значение показателей SVD и SP, их значения для центральной зоны, зон внутреннего и внешнего кольца и по секторам по сетке ETDRS в зоне перифовеа и парафовеа. Анализ ОКТ-А радиальных перипапиллярных капилляров проводили с использованием протокола ONH Angiography 4,5×4,5 mm (рис. 2) с определением показателей: плотность капиллярной перфузии (vessel perfusion density, VPD) и капиллярный индекс потока (capillary flux index, CFI). Определяли значения показателей по 4 секторам для кольца с центром на диске зрительного нерва (диаметры внутреннего и внешнего кругов, формирующих кольцо, составляют 2 и 6 мм соответственно).

Глаукому диагностировали на основании характерных изменений в диске зрительного нерва (ДЗН), выявляемых при офтальмоскопии, с соответствующими функциональными изменениями в полях зрения и сдвигами периметрических индексов [24], изменений в дренажной системе глаза, патологическими колебаниями

или повышенным ВГД. Стадийность глаукомы определялась на основании данных офтальмоскопии ДЗН, периметрических дефектов, а также с возможностью опираться на результаты ОКТ параметров головки ДЗН, слоя КГК и СНВ.

В анализ были включены пациенты, которым не проводили антиглаукомные операции и не использовали лазерные методы лечения. В контрольную группу (эметропия) вошли здоровые лица, не имеющие родственников, страдающих глаукомой, с внутриглазным давлением <19,0 мм рт. ст., нормальным ДЗН, с сохранным состоянием СНВ и КГК, отсутствием дефектов поля зрения либо снижения периметрических индексов. Толщина роговицы у всех пациентов в каждой группе была не ниже 500 и не выше 600 мкм.

Статистическая обработка данных была проведена с помощью программы Statistica 7.0. Описательная статистика количественных признаков представлена средним значением и стандартным отклонением $M \pm SD$. Проверка гипотез при сравнении групп количественных признаков проводилась с использованием непараметрических тестов: при сравнении несвязанных групп попарно — с использованием теста Mann–Whitney U test, при сравнении трех и более несвязанных групп — теста Kruskal–Wallis ANOVA. Критическим уровнем статистической значимости считался $p = 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты анализа параметров кровотока в поверхностном капиллярном сплетении в макулярной области

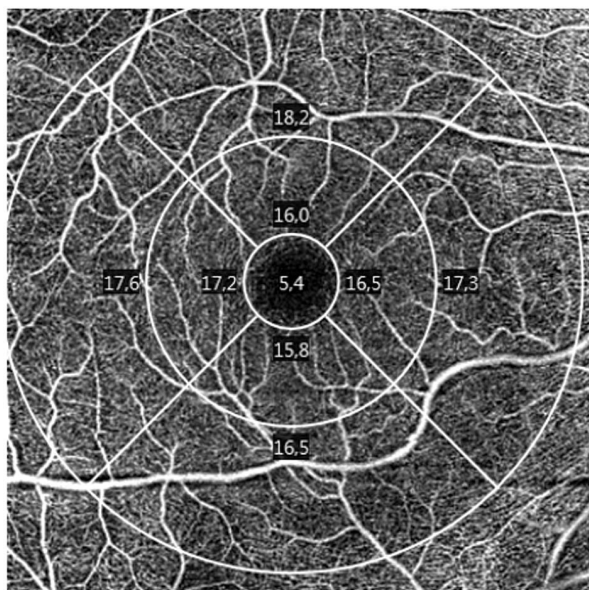


Рис. 1. Плотность сосудов в макулярной области по секторам по сетке ETDRS в зоне перифовеа и парафовеа при использовании протокола Angiography 6×6 mm

Fig. 1. Superficial vascular density in the macular area by sectors according to ETDRS in perifovea and parafovea with Angiography 6×6 mm protocol

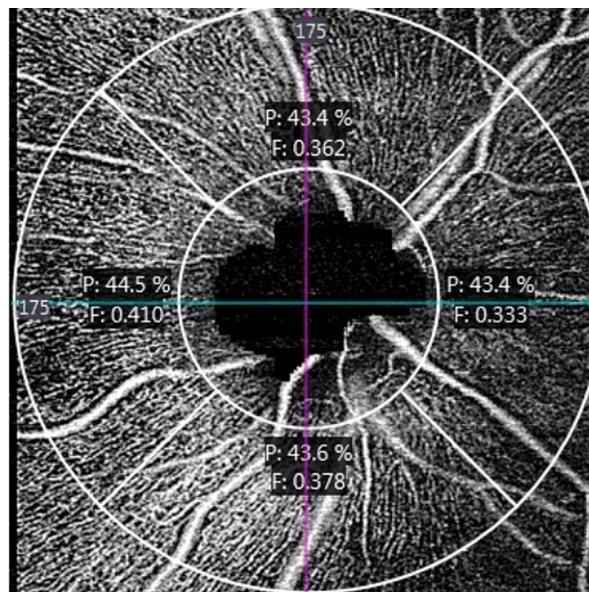


Рис. 2. Плотность капиллярной перфузии и капиллярный индекс потока по 4 секторам перипапиллярной области при использовании протокола ONH Angiography 4,5×4,5 mm

Fig. 2. Vessel perfusion density and capillary flux index in the peripapillary area with ONH Angiography 4,5×4,5 mm protocol

представлены в таблицах 2 и 3. Выявлены определенные закономерности в плотности сосудов и плотности капиллярной перфузии при миопии, глаукоме, а также сочетании данных заболеваний, сформулированные в разделе «Обсуждение и выводы».

По результатам анализа ОКТ-А в перипапиллярной зоне у всех пациентов с диагностированной глаукомой выявлены определенные тенденции, касающиеся снижения показателя плотности капиллярной перфузии и индекса капиллярного потока, что зафиксировано в таблицах 4 и 5, сформулировано в разделе «Обсуждение и выводы».

Таблица 2. Плотность сосудов в макулярной области

Table 2. Superficial vascular density in the macular area

SVD, мм/мм ²	Глаукома + Миопия, стадийно / Glaucoma + Myopia group, stages		Миопия / Myopia group	Глаукома, стадийно / Glaucoma group, stages		Эмметропия / Emmetropia group
Центральная зона / Central zone	I	8,7 ± 3,4	8,7 ± 4,6	I	9,8 ± 3,4	9,4 ± 3,7
	II	7,0 ± 1,9		II	8,4 ± 3,2	
	III	6,1 ± 4,8		III	7,7 ± 2,6	
Зона внутреннего кольца / Inner ring zone	I	17,0 ± 1,5	16,3 ± 4,9	I	17,4 ± 1,8	16,8 ± 3,7
	II	14,8 ± 3,8*		II	17,2 ± 1,7	
	III	12,7 ± 5,8*		III	15,9 ± 1,5	
Зона внешнего кольца / Outer ring zone	I	15,8 ± 3,6	15,7 ± 4,2	I	18,1 ± 1,4	16,6 ± 3,5
	II	15,6 ± 2,4		II	16,7 ± 0,8	
	III	13,2 ± 5,1*		III	15,2 ± 2,1	
Верхний сектор перифовеа / Upper sector of perifovea	I	16,1 ± 2,3	16,1 ± 4,1	I	18,3 ± 1,4	16,9 ± 3,9
	II	15,3 ± 4,9		II	16,9 ± 0,6	
	III	13,6 ± 5,6*		III	15,5 ± 2,0	
Височный сектор перифовеа / Temporal sector of perifovea	I	16,2 ± 2,2	16,3 ± 4,3	I	17,3 ± 1,7	16,0 ± 4,5
	II	13,9 ± 4,3*		II	15,1 ± 2,8	
	III	12,0 ± 5,4*		III	13,9 ± 1,6	
Нижний сектор перифовеа / Lower sector of perifovea	I	16,1 ± 2,6	15,5 ± 4,4*	I	17,7 ± 1,4	17,1 ± 3,8
	II	13,6 ± 4,1*		II	16,7 ± 1,2	
	III	12,4 ± 5,3*		III	13,6 ± 1,9	
Носовой сектор перифовеа / Nasal sector of perifovea	I	17,8 ± 3,6	17,8 ± 4,4	I	19,3 ± 1,4	19,3 ± 3,5
	II	16,4 ± 2,3		II	18,3 ± 2,5	
	III	15,0 ± 5,0		III	17,7 ± 2,3	
Верхний сектор парафовеа / Upper sector of parafovea	I	17,2 ± 1,6	16,5 ± 4,9	I	18,9 ± 2,0	17,2 ± 3,9
	II	14,4 ± 4,9*		II	17,6 ± 2,1	
	III	13,1 ± 6,1*		III	16,2 ± 2,3	
Височный сектор парафовеа / Temporal sector of parafovea	I	17,7 ± 2,0	15,9 ± 5,1	I	17,9 ± 1,6	17,6 ± 4,6
	II	14,5 ± 4,5		II	15,7 ± 2,2	
	III	13,2 ± 6,5*		III	15,1 ± 2,3	
Нижний сектор парафовеа / Lower sector of parafovea	I	15,8 ± 2,6	15,7 ± 4,8	I	17,1 ± 1,9	17,9 ± 3,7
	II	15,3 ± 3,0		II	16,3 ± 1,6	
	III	12,0 ± 5,5*		III	15,9 ± 2,0	
Носовой сектор парафовеа / Nasal sector of parafovea	I	17,6 ± 1,3	16,4 ± 5,5	I	18,8 ± 2,9	18,9 ± 3,8
	II	15,3 ± 3,6		II	17,0 ± 2,3	
	III	12,4 ± 5,7*		III	15,4 ± 1,8	

Примечание: * $p < 0,05$.

Note: * $p < 0.05$.

ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

При анализе существующей литературы по данной проблеме не было выявлено ни одного аналогичного по дизайну исследования с проведением ОКТ-А анализа при сравнении всех четырех групп, включенных в настоящую работу.

По итогам оценки плотности сосудов поверхностного сплетения макулярной области, исследованное с помощью ОКТ-А, выявлены следующие тенденции:

1) у пациентов без глаукомы с любой рефракцией секторальное распределение сосудистой

Таблица 3. Плотность капиллярной перфузии в макулярной области**Table 3.** Superficial perfusion in the macular area

SP, %	Глаукома + Миопия, постадийно / Glaucoma + Myopia group, stages		Миопия / Myopia group	Глаукома, постадийно / Glaucoma group, stages		Эмметропия / Emmetropia group
Центральная зона / Central zone	I	19,6 ± 8,5	19,4 ± 9,8	I	20,8 ± 5,6	20,5 ± 8,4
	II	15,1 ± 4,9*		II	19,1 ± 9,6	
	III	13,3 ± 11,0*		III	17,8 ± 5,3*	
Зона внутреннего кольца / Inner ring zone	I	41,4 ± 3,0	40,0 ± 11,8	I	41,5 ± 4,7	41,0 ± 9,3
	II	35,0 ± 9,7		II	41,4 ± 6,4	
	III	30,0 ± 14,5		III	38,8 ± 2,2	
Зона внешнего кольца / Outer ring zone	I	39,1 ± 5,8	38,4 ± 10,5	I	40,6 ± 3,4	41,1 ± 8,9
	II	38,6 ± 9,5		II	40,5 ± 4,7	
	III	32,2 ± 13,3*		III	37,1 ± 8,2*	
Верхний сектор перифовеа / Upper sector of perifovea	I	41,1 ± 5,8	40,7 ± 10,4	I	42,7 ± 3,6	42,2 ± 9,8
	II	37,5 ± 12,2		II	42,2 ± 1,5	
	III	33,4 ± 14,9*		III	37,1 ± 7,6*	
Височный сектор перифовеа / Temporal sector of perifovea	I	40,4 ± 5,7	39,6 ± 11,2	I	39,8 ± 4,0	39,3 ± 11,4
	II	34,1 ± 11,4*		II	35,1 ± 6,8*	
	III	29,2 ± 14,0*		III	32,8 ± 5,4*	
Нижний сектор перифовеа / Lower sector of perifovea	I	39,5 ± 6,9	39,1 ± 11,3	I	40,5 ± 3,3	40,2 ± 9,8
	II	34,1 ± 10,5*		II	39,5 ± 3,3	
	III	*30,4 ± 13,5		III	*34,7 ± 7,2	
Носовой сектор перифовеа / Nasal sector of perifovea	I	43,3 ± 9,7	42,1 ± 14,6	I	44,3 ± 3,6	44,2 ± 9,1
	II	40,3 ± 7,5		II	42,8 ± 6,7	
	III	36,0 ± 12,8*		III	39,7 ± 4,8*	
Верхний сектор парафовеа / Upper sector of parafovea	I	38,0 ± 3,5	38,0 ± 12,2	I	39,4 ± 5,0	39,2 ± 9,7
	II	34,6 ± 12,5		II	36,8 ± 7,1	
	III	31,6 ± 15,6*		III	34,5 ± 5,2*	
Височный сектор парафовеа / Temporal sector of parafovea	I	39,8 ± 4,7	37,1 ± 12,4	I	38,8 ± 8,1	37,2 ± 11,4
	II	34,1 ± 11,2*		II	36,5 ± 7,6	
	III	31,3 ± 16,1*		III	32,9 ± 5,9*	
Нижний сектор парафовеа / Lower sector of parafovea	I	39,1 ± 4,8	38,6 ± 11,9	I	39,5 ± 7,7	38,4 ± 9,2
	II	36,5 ± 8,1		II	37,9 ± 5,2	
	III	28,7 ± 13,9*		III	34,6 ± 5,9*	
Носовой сектор парафовеа / Nasal sector of parafovea	I	37,8 ± 3,2	37,4 ± 13,1	I	38,1 ± 7,0	37,3 ± 9,4
	II	34,9 ± 9,3*		II	37,8 ± 4,3	
	III	28,4 ± 13,6*		III	36,7 ± 4,9*	

Примечание: * $p < 0,05$.Note: * $p < 0.05$.

плотности относительно равномерное внутри каждой из групп;

2) при осевой миопии все оцениваемые параметры плотности сосудов снижены по сравнению с эмметропией со статистически значимым уменьшением сосудистой плотности в нижнем секторе перифовеа и в нижнем, височном и носовом секторе парафовеа;

3) при развитии у пациента глаукомной оптической нейропатии с увеличением стадии глаукомы отмечено уменьшение исследуемого показателя в области внутреннего кольца вне зависимости от стадии заболевания

и в области внешнего кольца при далекозашедшей глаукоме, а также во всех секторах макулярной области, с преимущественными изменениями в нижнем и височном секторе пара- и перифовеа;

4) при сочетании глаукомы с осевой миопией исследуемый показатель в описанных локализациях статистически значимо более низкий, чем при глаукоме без близорукости.

Плотность капиллярной перфузии определяется как общая площадь перфузируемой сосудистой сети на единицу площади в области измерения. При ее анализе выявлено:

Таблица 4. Плотность капиллярной перфузии в перипапиллярной области**Table 4.** Vessel perfusion density in the peripapillary area

VPD, %	Глаукома + Миопия, постадийно / Glaucoma + Myopia group, stages		Миопия / Myopia group	Глаукома, постадийно / Glaucoma group, stages		Эмметропия / Emmetropia group
Верхний сектор / Upper sector	I	42,0 ± 1,3*	42,5 ± 2,3	I	40,8 ± 3,3*	44,0 ± 1,2
	II	38,2 ± 1,3*		II	38,2 ± 1,8*	
	III	34,3 ± 1,6*		III	34,6 ± 3,2*	
Височный сектор / Temporal sector	I	47,8 ± 0,6	48,1 ± 2,0	I	46,5 ± 2,1	47,4 ± 2,7
	II	45,7 ± 0,8*		II	45,3 ± 1,4	
	III	41,9 ± 1,1*		III	43,3 ± 1,8	
Нижний сектор / Lower sector	I	42,3 ± 1,3°	44,6 ± 1,9	I	41,2 ± 1,9°	45,1 ± 1,8
	II	38,0 ± 0,8°		II	39,4 ± 1,0°	
	III	32,3 ± 1,3°		III	34,0 ± 5,0°	
Носовой сектор / Nasal sector	I	43,4 ± 1,1	43,6 ± 3,2	I	44,8 ± 1,0	44,0 ± 1,9
	II	40,7 ± 0,4*		II	39,9 ± 0,7	
	III	35,8 ± 1,6*		III	39,1 ± 0,4	

Примечание: * $p < 0,05$, ° $p < 0,001$.Note: * $p < 0,05$, ° $p < 0,001$.**Таблица 5.** Индекс капиллярного потока в перипапиллярной области**Table 5.** Capillary flux index in the peripapillary area

Индекс капиллярного потока / CFA	Глаукома + Миопия, постадийно / Glaucoma + Myopia group, stages		Миопия / Myopia group	Глаукома, постадийно / Glaucoma group, stages		Эмметропия / Emmetropia group
Верхний сектор / Upper sector	I	0,375 ± 0,040*	0,408 ± 0,030	I	0,405 ± 0,030*	0,432 ± 0,020
	II	0,340 ± 0,030*		II	0,400 ± 0,010*	
	III	0,306 ± 0,030*		III	0,399 ± 0,010*	
Височный сектор / Temporal sector	I	0,403 ± 0,070*	0,429 ± 0,040	I	0,421 ± 0,030*	0,454 ± 0,040
	II	0,368 ± 0,040*		II	0,414 ± 0,040*	
	III	0,342 ± 0,050*		III	0,411 ± 0,040*	
Нижний сектор / Lower sector	I	0,386 ± 0,030°	0,411 ± 0,030	I	0,401 ± 0,030°	0,430 ± 0,020
	II	0,329 ± 0,060°		II	0,399 ± 0,030°	
	III	0,308 ± 0,020°		III	0,394 ± 0,020°	
Носовой сектор / Nasal sector	I	0,375 ± 0,040*	0,405 ± 0,040	I	0,385 ± 0,030*	0,433 ± 0,030
	II	0,338 ± 0,050*		II	0,420 ± 0,020*	
	III	0,302 ± 0,020*		III	0,411 ± 0,020*	

Примечание: * $p < 0,05$, ° $p < 0,001$.Note: * $p < 0,05$, ° $p < 0,001$.

1) в группе с миопией не было найдено статистически значимых изменений по сравнению с группой без близорукости, что демонстрирует отсутствие влияния рефракции на данный показатель у здоровых испытуемых;

2) на начальных стадиях глаукомы значимого изменения данного параметра выявлено не было ни в одной из глаукомных групп. При этом с увеличением стадии глаукомы зафиксировано прогрессивное снижение показателя, более выраженное при сочетании глаукомы с осевой миопией в центральной зоне, в области внешнего кольца, а также во всех секторах пара- и перифовеоа.

В перипапиллярной области плотность капиллярной сети сосудов определяется как доля площади, занимаемой

сосудами в области измерения. Индекс капиллярного потока рассчитывается как средний сигнал кровотока в интересующей области. Индекс предоставляет информацию как о площади сосудов, так и о скорости крови. Известно, что индекс кровотока более чувствителен к обнаружению метаболических и физиологических изменений ткани сетчатки [25]. А плотность сосудов может быть ценным показателем для объективной оценки заболеваний, характеризующихся нарушением сосудистой перфузии, к которым относится, в том числе, и глаукома [26].

В исследуемых в работе группах по результатам анализа ОКТ-А в перипапиллярной зоне в отношении показателя плотности капиллярной сети сосудов выявлено:

1) в группе с миопией не было найдено статистически значимых изменений по сравнению с группой без близорукости;

2) у пациентов с глаукомой и эметропией достоверное снижение показателя плотности капиллярной перфузии в нижнем и верхнем секторе с прогрессивным снижением при увеличении стадийности глаукомы;

3) у пациентов с сочетанием глаукомы и осевой миопии отмечено снижение данного показателя во всех отделах перипапиллярной зоны, с преимущественными изменениями в нижнем и верхнем секторе, также со снижением при увеличении стадии глаукомы.

При анализе индекса капиллярного потока у пациентов исследуемых групп обнаружено:

1) у здоровых пациентов с разной рефракцией отмечено небольшое снижение индекса капиллярного потока в верхнем и нижнем секторе, при этом более низкие показатели были зафиксированы в группе с осевой миопией;

2) при глаукоме, в том числе при сочетании с осевой миопией, выявлено снижение индекса капиллярного потока во всех секторах перипапиллярной области с преимущественными изменениями в верхнем секторе и в нижнем, в котором числовые значения показателя были минимальными.

Выявленное в исследовании снижение плотности сосудов поверхностного сплетения макулярной области при осевой миопии сопоставимо с результатами многих исследований [27–30], в том числе продемонстрировавших снижение данного параметра в нижней парафовеальной зоне [31]. Однако изменение плотности сосудов в перипапиллярной области отличаются от таковых, описанных ранее [30, 32].

Прогрессивное снижение показателей кровотока перипапиллярной и макулярной областей при прогрессировании глаукомы, описанное в настоящей работе,

согласуется с мировыми исследованиями по данному вопросу и подтверждает уменьшение плотности сосудов, капиллярной перфузии и индекса кровотока в перипапиллярной и макулярной областях с прогрессированием глаукомы [33–35]. При этом перипапиллярные изменения демонстрируют лучший потенциал в дифференциальной диагностике стадии глаукомы, чем макулярные сосудистые изменения, в том числе при сочетании глаукомы с осевой миопией.

Оценка и интерпретация данных макулярного и перипапиллярного кровотока представляется крайне важной при диагностике и мониторинге глаукомы у пациентов с различной рефракцией, поскольку, согласно сосудистой теории глаукомы, потеря ганглиозных клеток является, в том числе, следствием ухудшения глазного кровотока [36, 37]. Выявленные в ходе данного исследования томографические показатели кровотока, а именно: уменьшение плотности капиллярной перфузии и индекса капиллярного потока в верхнем и нижнем секторе перипапиллярной зоны, а также снижение по мере увеличения стадии глаукомы плотности сосудов в области внутреннего кольца макулярной области, нижнего и височного сектора пара- и перифовеа, снижение плотности капиллярной перфузии во всех секторах пара- и перифовеа могут быть использованы для получения наиболее полного представления о течении глаукомного процесса у пациентов с различной рефракцией, а также для дифференциальной диагностики и определения стадии данного заболевания.

УЧАСТИЕ АВТОРОВ:

Эскина Э.Н. — подготовка статьи, существенный вклад в замысел и дизайн исследования, анализ и интерпретация данных;
Белогурова А.В. — подготовка статьи, существенный вклад в замысел и дизайн исследования, анализ и интерпретация данных;
Зинина В.С. — подготовка статьи, сбор, анализ и интерпретация данных;
Гветадзе А.А. — сбор, анализ и интерпретация данных;
Смирнова-Сотмари В.Б. — сбор, анализ данных.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Tham Y.C., Li X., Wong T.Y. Global prevalence of glaucoma and projections of glaucoma burden through 2040: a systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology*. 2014;121(11):2081–2090. DOI: 10.1016/j.ophtha.2014.05.013
- Holden B.A., Fricke T.R., Wilson D.A. Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050. *Ophthalmology*. 2016;123(5):1036–1042. DOI: 10.1016/j.ophtha.2016.01.006
- Jonas J.B., Weber P., Nagaoka N., Ohno-Matsui K. Glaucoma in high myopia and parapapillary delta zone. *PLoS One*. 2017;12(4):e0175120. DOI: 10.1371/journal.pone.0175120
- Haarman A.E.G., Enthoven C.A., Tidelman J.W.L. The complications of myopia: a review and meta-analysis. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2020;61(4):49. DOI: 10.1167/iov.61.4.49
- Miki A., Ikuno Y., Weinreb R.N. Measurements of the parapapillary atrophy zones in en face optical coherence tomography images. *PLoS One*. 2017;12(4):e0175347. DOI: 10.1371/journal.pone.0175347
- Jonas J.B., Weber P., Nagaoka N., Ohno-Matsui K. Glaucoma in high myopia and parapapillary delta zone. *PLoS One*. 2017;12(4):e0175120. DOI: 10.1371/journal.pone.0175120
- Казакова А.В., Эскина Э.Н. Диагностика глаукомы при осевой миопии. *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2015;12(173):152–155. [Kazakova A.V., Eskin E.N. Glaucoma diagnostics in axial myopia. *Annals of Orenburg State University = Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2015;12(173):152–155 (In Russ.).]
- Казакова А.В., Эскина Э.Н. Диагностика глаукомы у пациентов с близорукостью. *Национальный журнал глаукома*. 2015;14(3):87–100. [Kazakova A.V., Eskin E.N. Glaucoma diagnostics in myopic patients. *Russian journal of glaucoma = Natsional'nyi zhurnal glaukoma*. 2015;14(3):87–100 (In Russ.).]
- Шпак А.А., Коробкова М.В. Оптическая когерентная томография у пациентов с аномалиями рефракции. Сообщение 3: Толщина слоя ганглиозных клеток сетчатки. *Офтальмохирургия*. 2018;2:58–62. [Shpak A.A., Korobkova M.V. Optical coherence tomography in patients with refractive errors. Message 3: Thickness of the retinal ganglion cell layer. *Ophthalmosurgery = Oftalmokhirurgiya*. 2018;2:58–62 (In Russ.).]
- Wang W.W., Wang H.Z., Liu J.R. Diagnostic ability of ganglion cell complex thickness to detect glaucoma in high myopia eyes by Fourier domain optical coherence tomography. *Int J Ophthalmol*. 2018;11(5):791–796. DOI: 10.18240/ijo.2018.05.12
- Rolle T., Bonetti B., Mazzucco A., Dallorto L. Diagnostic ability of OCT parameters and retinal ganglion cells count in identification of glaucoma in myopic preperimetric eyes. *BMC Ophthalmol*. 2020;20(1):373. DOI: 10.1186/s12886-020-01616-5
- Malakar M., Askari S.N., Ashraf H. Optical coherence tomography assisted retinal nerve fibre layer thickness profile in high myopia. *J Clin Diagn Res*. 2015;9(2):NC01-3. DOI: 10.7860/JCDR/2015/9054.5565
- Singh D., Mishra S.K., Agarwal E. Assessment of Retinal Nerve Fiber Layer Changes by Cirrus High-definition Optical Coherence Tomography in Myopia. *J Curr Glaucoma Pract*. 2017;11(2):52–57. DOI: 10.5005/jp-journals-10028-1223
- Harb E., Hyman L., Gwiazda J. Choroidal thickness profiles in myopic eyes of young adults in the correction of myopia evaluation trial cohort. *Am J Ophthalmol*. 2015;160(1):62–71. DOI: 10.1016/j.ajo.2015.04.018
- Курышева Н.И., Ардзевнишвили Т.Д., Киселева Т.Н., Фомин А.В. Хориоидея при глаукоме: результаты исследования методом оптической когерентной томографии. *Глаукома*. 2013;3:73–83. [Kuryshva N.I., Ardzhvishvili T.D., Kiseleva T.N., Fomin A.V. Choroid in glaucoma: results of an optical coherence tomography study. *Glaucoma = Glaukoma*. 2013;3:73–83 (In Russ.).]

16. Курышева Н.И., Ардзевнишвили Т.Д., Фомин А.В. Хориоидея при глаукоме. *Национальный журнал Глаукома*. 2014;13(1):60–67. [Kuryshcheva N.I., Ardzhvishvili T.D., Fomin A.V. The choroid and glaucoma. *National Journal glaucoma = Natsional'nyi zhurnal glaukoma*. 2014;13(1):60–67 (In Russ.).]
17. Usui S., Ikuno Y., Miki A. Evaluation of the choroidal thickness using high-penetration optical coherence tomography with long wavelength in highly myopic normal-tension glaucoma. *Am J Ophthalmol*. 2012; 153(1):10–6.e1. DOI: 10.1016/j.ajo.2011.05.037
18. Эскина Э.Н., Зыкова А.В. Морфометрический анализ параметров сетчатки и зрительного нерва у пациентов с осевой миопией. *Российская детская офтальмология*. 2014;1:21–24. [Eskina E.N., Zyкова A.V. Morphometric analysis of retinal and optic nerve parameters in patients with axial myopia. *Russian pediatric ophthalmology = Rossiiskaya pediatricheskaya oftalmologiya*. 2014;1:21–24 (In Russ.).]
19. Курышева Н.И., Маслова Е.В., Трубилина А.В. Особенности макулярного кровотока при глаукоме. *Вестник офтальмологии*. 2017;2:29–37. [Kuryshcheva N.I., Maslova E.V., Trubulina A.V. Features of macular blood flow in glaucoma. *Annals of Ophthalmology = Vestnik oftalmologii*. 2017;2:29–37 (In Russ.).] DOI: 10.17116/oftalma2017133229-37
20. Rao H.L., Pradhan Z.S., Suh M.H. Optical Coherence Tomography Angiography in Glaucoma. *Glaucoma*. 2020;29(4):312–321. DOI: 10.1097/IJG.0000000000001463
21. Курышева Н.И., Маслова Е.В., Трубилина А.В. Снижение перипапиллярного кровотока как фактор развития и прогрессирования первичной открытоугольной глаукомы. *Российский офтальмологический журнал*. 2016;9(3):34–41. [Kuryshcheva N.I., Maslova E.V., Trubulina A.V. Decreased peripapillary blood flow as a factor in the development and progression of primary open-angle glaucoma. *Russian ophthalmological journal = Rossiyskiy oftalmologicheskii zhurnal*. 2016;9(3):34–41 (In Russ.).] DOI: 10.21516/2072-0076-2016-9-3-34-41
22. Lee K., Maeng K.J., Kim J.Y. Diagnostic ability of vessel density measured by spectral-domain optical coherence tomography angiography for glaucoma in patients with high myopia. *Sci Rep*. 2020;10(1):3027. DOI: 10.1038/s41598-020-60051-0
23. Chang P.Y., Wang J.Y., Wang J.K. Optical coherence tomography angiography compared with optical coherence tomography for detection of early glaucoma with high myopia. *Front Med (Lausanne)*. 2022;8:793786. DOI: 10.3389/fmed.2021.793786
24. Национальное руководство по глаукоме / Под ред. проф. Е.А. Егорова, проф. Ю.С. Астахова, проф. В.П. Еричева. М.: Гэотар-медиа, 2015. 456 с. [National guidelines for glaucoma / Ed. prof. E.A. Egorova, prof. Yu.S. Astakhova, prof. V.P. Ericheva. Moscow: Geotar media, 2015. 456 p. (In Russ.).]
25. Pechauer A.D., Jia Y., Liu L. Optical coherence tomography angiography of peripapillary retinal blood flow response to hyperoxia. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci*. 2015;56(5):3287–3291. DOI: 10.1167/iovs.15-16655
26. Liu L., Jia Y., Takusagawa H.L. Optical coherence tomography angiography of the peripapillary retina in glaucoma. *JAMA Ophthalmol*. 2015;133:1045–1052. DOI: 10.1001/jamaophthalmol.2015.2225
27. Ucak T., Icel E., Yilmaz H. Alterations in optical coherence tomography angiography findings in patients with high myopia. *Eye (Lond.)* 2020;34:1129–1135. DOI: 10.1038/s41433-020-0824-1
28. Yang Y., Wang J., Jiang H., Yang X., Feng L., Hu L., Wang L., Lü F., Shen M. Retinal Microvasculature Alteration in High Myopia. *Investig. Ophthalmol. Vis. Sci*. 2016;57:6020–6030. DOI: 10.1167/iovs.16-19542
29. Milani P., Montesano G., Rossetti L., Bergamini F., Pece A. Vessel density, retinal thickness, and choriocapillaris vascular flow in myopic eyes on OCT angiography. *Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol*. 2018;256:1419–1427. DOI: 10.1007/s00417-018-4012-y
30. Min C.H., Al-Qattan H.M., Lee J.Y., Kim J.-G., Yoon Y.H., Kim Y.J. Macular Microvasculature in High Myopia without Pathologic Changes: An Optical Coherence Tomography Angiography Study. *Korean J. Ophthalmol*. 2020;34:106–112. DOI: 10.3341/kjo.2019.0113
31. Zhu Q., Chen C., Yao J. Vessel Density and Retinal Thickness from Optical Coherence Tomography Angiography as New Indexes in Adolescent Myopia. *J Ophthalmol*. 2021;6069833. DOI: 10.1155/2021/6069833
32. Sung M.S., Lee T.H., Heo H., Park S.W. Clinical features of superficial and deep peripapillary microvascular density in healthy myopic eyes. *PLoS ONE*. 2017;12:e0187160. DOI: 10.1371/journal.pone.0187160
33. Rao H.L., Pradhan Z.S., Weinreb R.N. Regional Comparisons of Optical Coherence Tomography Angiography Vessel Density in Primary Open-Angle Glaucoma. *Am J Ophthalmol* 2016;171:75–83. DOI: 10.1016/j.ajo.2016.08.030
34. Rao H.L., Pradhan Z.S., Weinreb R.N. A comparison of the diagnostic ability of vessel density and structural measurements of optical coherence tomography in primary open angle glaucoma. *PLoS One* 2017;12:e0173930. DOI: 10.1371/journal.pone.0173930
35. Takusagawa H.L., Liu L., Ma K.N. Projection-Resolved Optical Coherence Tomography Angiography of Macular Retinal Circulation in Glaucoma. *Ophthalmology* 2017;124:1589–1599. DOI: 10.1016/j.ophtha.2017.06.002
36. Flammer J., Orgül S., Costa V.P. The impact of ocular blood flow in glaucoma. *Prog. Retin. Eye Res*. 2002;21:359–393. DOI: 10.1016/S1350-9462(02)00008-3
37. Mansouri K. Optical coherence tomography angiography and glaucoma: Searching for the missing link. *Expert Rev. Med. Devices*. 2016;13:879–880. DOI: 10.1080/17434440.2016.1230014

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Академия постдипломного образования ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий» Федерального медико-биологического агентства
Офтальмологическая клиника «Сфера» профессора Эскиной
Эскина Эрика Наумовна
доктор медицинских наук, профессор кафедры офтальмологии
Волоколамское шоссе, 91, Москва, 125371, Российская Федерация
ул. Старокачаловская, 6, Москва, 117628, Российская Федерация
<https://orcid.org/0000-0001-7714-6196>

Офтальмологическая клиника «Сфера» профессора Эскиной
Белогурова Алёна Вячеславовна
кандидат медицинских наук, главный врач
ул. Старокачаловская, 6, Москва, 117628, Российская Федерация
<https://orcid.org/0000-0003-4434-7404>

Офтальмологическая клиника «Сфера» профессора Эскиной
Зинина Валерия Сергеевна
врач-офтальмолог
ул. Старокачаловская, 6, Москва, 117628, Российская Федерация

Офтальмологическая клиника «Сфера» профессора Эскиной
Гветадзе Анна Анзоровна
кандидат медицинских наук, врач-офтальмолог, лазерный хирург
ул. Старокачаловская, 6, Москва, 117628, Российская Федерация

Офтальмологическая клиника «Сфера» профессора Эскиной
Смирнова-Сотмари Влада Борисовна
процедурная медсестра
ул. Старокачаловская, 6, Москва, 117628, Российская Федерация

ABOUT THE AUTHORS

Academy of Postgraduate Education of the Federal Scientific and Clinical Center for Specialized Medical Assistance and Medical Technologies of Federal Medical-Biological Agency
Ophthalmological Clinic “Sphere”
Eskina Erika N.
MD, Professor of the Ophthalmology department, head of clinic
Vologolamskoe shosse, 91, Moscow, 125371, Russian Federation
Starokachalovskaya str., 10, Moscow, 117628, Russian Federation
<https://orcid.org/0000-0001-7714-6196>

Ophthalmological Clinic “Sphere”
Belogurova Alyona V.
PhD, chief doctor
Starokachalovskaya str., 10, Moscow, 117628, Russian Federation
<https://orcid.org/0000-0003-4434-7404>

Ophthalmological Clinic “Sphere”
Zinina Valeriya S.
ophthalmologist
Starokachalovskaya str., 10, Moscow, 117628, Russian Federation

Ophthalmological Clinic “Sphere”
Gvetadze Anna A.
PhD, ophthalmologist
Starokachalovskaya str., 10, Moscow, 117628, Russian Federation

Ophthalmological Clinic “Sphere”
Smirnova-Sotmari Vlada B.
nurse
Starokachalovskaya str., 10, Moscow, 117628, Russian Federation