

<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2022-15-3-163-167>



Оптическая когерентная томография и микропериметрия в ранней диагностике глаукомы

У.С. Пляскина ✉, В.В. Бирюков, М.А. Фролов

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», ул. Миклухо-Маклая, д. 6, Москва, 117198, Россия

В обзоре представлены современные возможности раннего выявления глаукомы с помощью оптической когерентной томографии (ОКТ), ОКТ-ангиографии (ОКТА) и микропериметрии. Проанализированы данные литературы за последние 10 лет, посвященные исследованию пациентов с подозрением на глаукому или с диагнозом «глаукома», в том числе на разных ее стадиях, подтверждающие преимущества ОКТ, ОКТА и микропериметрии, а именно возможность быстрого обследования, неинвазивность, высокую информативность, чувствительность и специфичность, а также реальную возможность раннего выявления глаукомы, особенно при их комплексном применении.

Ключевые слова: глаукома; ранняя диагностика; ОКТ; ОКТ-ангиография; микропериметрия

Конфликт интересов: отсутствует.

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

Для цитирования: Пляскина У.С., Бирюков В.В., Фролов М.А. Оптическая когерентная томография и микропериметрия в ранней диагностике глаукомы. Российский офтальмологический журнал. 2022; 15 (3):163-7. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2022-15-3-163-167>

Optical coherence tomography and microperimetry in the early diagnosis of glaucoma

Ulyana S. Plyaskina ✉, Vladimir V. Biryukov, Mikhail A. Frolov

Peoples' Friendship University of Russia, 6, Miklukho-Maklaya St., Moscow, 117198, Russia

ulyana1stan@gmail.com

The review presents modern possibilities of early diagnosis of glaucoma using optical coherence tomography (OCT), angio-OCT and microperimetry. We analyzed literature data for the last decade, focused on testing patients with suspected glaucoma or diagnosed with glaucoma, including its various stages. The data confirm the advantages of OCT, angio-OCT and microperimetry, such as fast testing procedures, non-invasiveness, high informativeness, sensitivity and specificity of the methods, as well as real possibilities of early detection of glaucoma, which are especially promising if a combination of methods is used.

Keywords: glaucoma; early diagnosis; OCT; OCT Angio; microperimetry

Conflict of interests: there is no conflict of interests.

Financial disclosure: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

For citation: Plyaskina U.S., Biryukov V.V., Frolov M.A. Optical coherence tomography and microperimetry in the early diagnosis of glaucoma. Russian ophthalmological journal; 2022; 15 (3): 163-7 (In Russian). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2022-15-3-163-167>

Глаукома — это заболевание, представляющее собой прогрессирующую оптическую нейропатию, развивающуюся на фоне стойкого повышения внутриглазного давления (ВГД) или низкой толерантности нервных волокон к значениям ВГД, находящимся в окне референсных значений. Необратимые сосудистые изменения, дегенерация нервных волокон диска зрительного нерва (ДЗН), перипапиллярной сетчатки и сетчатки макулярной области ведут к постепенному сужению полей зрения, вплоть до полной слепоты. Известны различные методы диагностики глаукомы: базовые, активно применяемые в практике врача-офтальмолога, такие как визометрия, пневмотонометрия аппланационным или бесконтактным методом, офтальмоскопия, гониоскопия, а также периметрия, и дополнительные методы, такие как микропериметрия и оптическая когерентная томография (ОКТ). Последние имеют существенное значение не только для ранней постановки диагноза, но и для понимания самого глаукоматозного процесса, его патогенеза, зависимости между областью поражения и результатами периметрии.

Согласно данным литературы, заболеваемость глаукомой в России неуклонно растет: по состоянию на 2009 г. она составляла 104,9, а на 2019 г. уже 112,9 на 100 тыс. человек, т. е. увеличилась почти на 8 %. По прогнозам к 2034 г. этот показатель увеличится на 6 % и будет составлять 119,9 случаев на 100 тыс. человек [1].

ЦЕЛЬ работы — проанализировать результаты научных исследований, использующих ОКТ, ангио-ОКТ (ОКТА) и микропериметрию у пациентов с подозрением на глаукому или с подтвержденным диагнозом «глаукома», для обоснования важности применения методов в качестве рутинных исследований, необходимых для раннего выявления пациентов с глаукомой.

Материалами для обзора послужили данные российских и зарубежных авторов. Проведена выборка среди научных источников: статей медицинских журналов, авторефератов диссертаций, а также учебных пособий по следующим критериям.

1. ОКТ, ОКТА и микропериметрия были проведены пациентам за последние 10 лет.
2. В научных публикациях содержатся выводы, сделанные на основании анализа достоверных результатов исследований пациентов с подозрением на глаукому или подтвержденным диагнозом «глаукома», в том числе на разных ее стадиях.
3. В публикациях имеются конкретные данные и заключения, отражающие преимущества ОКТ, ОКТА и микропериметрии.

ОКТ — метод визуализации и анализа морфологических изменений сетчатки и зрительного нерва, основанный на световой интерферометрии. Использование инфракрасного излучения с длиной волны 820 нм позволяет получить множество показателей, характеризующих структуру макулы, ДЗН, нервных волокон, их толщины [2]. При использовании ОКТА возможна оценка кровотока в поверхностных, наружных и глубоких сосудистых сплетениях сетчатки [3]. Метод отличается высокой точностью и способностью определять ранние изменения тканей заднего полюса глаза в препериметрической стадии глаукомы.

Структурная ОКТ. В научных работах, выполненных с помощью ОКТ, было выявлено, что такие показатели, как толщина комплекса ганглиозных клеток (GCC), индексы фокальной (FLV) и глобальной потери объема (GLV), у пациентов с глаукомой демонстрируют отрицательную динамику в сравнении с группой контроля. Так, например, GCC в группе с диагностированной глаукомой составляет

$71,62 \pm 10,22$ мкм, в то время как в контрольной группе — $92,59 \pm 7,49$ мкм, FLV в группе глаукомы равен $39,00 \pm 2,03$ %, а в группе нормы — $0,79 \pm 1,11$ %, GLV в группе глаукомы равен $18,31 \pm 8,23$ %, а в группе контроля — $5,94 \pm 5,43$ % [4, 5]. В других публикациях показано истончение слоя ганглиозных клеток (GCL) по 4 секторам: толщина GCL superior, inferior, nasal, temporalis в группе контроля равна 80 ± 5 , 83 ± 3 , 82 ± 5 , 76 ± 4 мкм соответственно, а в группе с I стадией первичной открытоугольной глаукомы (ПОУГ) перечисленные показатели ниже: 79 ± 4 , 80 ± 1 , 85 ± 2 , 78 ± 5 мкм, потеря в этой группе составляет 1, 4, 3, 0 %. А в группе с III стадией ПОУГ процент истончения GCL значительно выше, чем при I стадии: 38, 39, 43 и 40 %. Необратимое истончение макулы, в которой сосредоточено наибольшее число ганглиозных клеток, ведет при ПОУГ к дефектам центрального зрения [6–8]. Происходит также истончение слоя нервных волокон сетчатки (RNFL), чаще в верхних и нижних секторах [4, 5, 9–12]. Анализ групп пациентов с I–III стадией ПОУГ и контрольных групп позволяет выявить закономерность: чем выше стадия глаукомы, тем более значительно изменяется толщина RNFL. В работе Л.Л. Арутюнян и соавт. [13] показано истончение RNFL по 4 секторам: верхнему (S), нижнему (I), назальному (N), темпоральному (T). В группе контроля RNFL в S, I, N и T составляет 120 ± 20 , 125 ± 16 , 76 ± 22 и 67 ± 8 мкм соответственно. При I стадии ПОУГ эти показатели снижаются до 108 ± 26 , 113 ± 13 , 73 ± 18 и 64 ± 19 мкм соответственно. По сравнению с группой контроля RNFL уменьшается на 10 % в верхнем и нижнем сегменте и на 4 % в назальном и темпоральном. В группах с II и III стадиями ПОУГ процент потери толщины волокон закономерно увеличивается: в сравнении с группой контроля в группе III стадии ПОУГ потеря толщины RNFL S, I, N и T составляет 33, 41, 4 и 10 % [13]. Как правило, истончение нервных волокон сопровождается изменениями в полях зрения, что исключает диагностику глаукомы в препериметрической стадии.

Переходя к описанию ДЗН, важно отметить, что объем нейроретинального пояса ДЗН по данным спектральной ОКТ уменьшается: в группе контроля он равен $2,106 \pm 0,300$ мм², а при ПОУГ — $1,26 \pm 0,29$ мм² [14]. Соотношение размеров экскавации и площади ДЗН (Cup/disk area ratio) в группе контроля и патологии соответствует $0,266 \pm 0,160$ и $0,401 \pm 0,150$. Как было отмечено выше, показатели GCC, FLV и GLV меняются в сторону ухудшения [13].

ОКТА. Многие авторы при исследовании пациентов с глаукомой применяли именно этот метод, поскольку он обладает рядом преимуществ, которые заключаются в высококачественной визуализации сосудов сетчатки без введения контрастного вещества. С помощью указанного метода возможна оценка как структурности сосудистого рисунка, так и его функциональности [15, 16]. На сегодняшний день исследования с помощью ОКТА уже доказали, что у пациентов с ПОУГ наблюдается ослабление микрососудистого рисунка ДЗН. Индекс кровотока у данной группы пациентов снижен и составляет в среднем $0,135 \pm 0,017$ при норме $0,156 \pm 0,014$. Иными словами, можно говорить о существующей ишемии ДЗН [2, 3, 17, 18]. Среднее снижение индекса кровотока при I стадии ПОУГ составляет 16,4 %, в то время как при II стадии оно более выражено: 32,8 % [12] — и становится еще заметнее по мере прогрессирования заболевания. По данным Б.М. Азнабаева и соавт. [19], индекс кровотока в слое сплетения нервных волокон (RPC) ДЗН при глаукоме равен $0,072 \pm 0,030$ (при $0,082 \pm 0,100$ в группе контроля), плотность полнослойного сосудистого рисунка ДЗН составляет $97,518 \pm 7,710$ % (контроль — $98,654 \pm 1,28$ %), плотность

сосудистого рисунка в RPC — $65,947 \pm 11,010$ % (контроль — $68,010 \pm 9,230$ %). Площадь неперфузируемых зон ДЗН при глаукоме составляет $0,308 \pm 0,520$ % (контроль — $0,071 \pm 0,080$ %, а площадь неперфузируемых зон RPC ДЗН равна $0,674 \pm 0,720$ % (контроль — $0,250 \pm 0,200$ %) [19].

Наиболее подробные данные были опубликованы Н.И. Курышевой и соавт. [4, 6, 10]: определены показатели систолического и диастолического кровотока у здоровых пациентов и пациентов с глаукомой в диапазоне от начальной до далеко зашедшей стадии; оценен кровоток в задних коротких цилиарных артериях — латеральной и медиальной, центральной вене и артерии сетчатки, в глазничной артерии, а также определены индексы кровотока поверхностных и глубоких парафовеолярных и перифовеолярных сплетений. Проведен сравнительный анализ, из которого следует, что чем выше стадия глаукомы, тем более выраженные изменения мы получаем на ОКТА, соответственно обширнее площадь ишемии в зрительно важных структурах [4, 6, 10]. Следует также отметить, что площадь аваскулярной зоны увеличивается уже на I стадии глаукомы и составляет более 10,7 %, в центральной области плотность кровотока снижается на 10,5 %. Плотность кровотока верхнего и нижнего сегментов снижается на 6,6 % и 4,2 % соответственно, внутренний сегмент теряет свою плотность на 6,1 %, а наружный — на 7,3 %. Общая плотность кровотока снижается на 6,1 % [20, 21].

Полученные данные свидетельствуют о преимуществах ОКТ, поскольку множество показателей, получаемых при проведении всего лишь одного исследования, помогают не только в диагностике глаукомы, но и в определении ее стадии.

Кроме того, во многих работах подтверждается возможность ранней диагностики глаукомы на основе данных ОКТ. Есть основания полагать, что чувствительность и специфичность диагностики ПОУГ могут быть улучшены благодаря микропериметрии, особенно при совместном применении этих новейших и высокоточных методов.

Микропериметрия. Метод диагностики, позволяющий оценивать порог светочувствительности сетчатки, выраженный в децибелах (дБ) и выявлять центральные дефекты поля зрения, сочетает в себе цифровую фундус-камеру, компьютерный периметр и окулограф. При микропериметрии постоянно в режиме реального времени в каждой контрольной точке отслеживается положение глаза, в результате чего происходит автоматическое наложение данных на изображение глазного дна, тем самым мы получаем единую, цельную карту светочувствительности сетчатки [22]. В настоящее время это единственный метод диагностики, позволяющий интерполировать результаты функционального исследования центральной зоны сетчатки на корреспондирующий участок глазного дна, учитывая его морфологические характеристики [7, 23–25]. Данный метод обладает гораздо более высокой чувствительностью, чем компьютерная периметрия Humphrey и Octopus, и позволяет проводить раннюю диагностику патологий глазного дна [18, 26–28].

Микропериметр MAIA. Использование этого микропериметра позволяет провести качественное исследование макулярной области [29]. Так, Б.М. Азнабаев и соавт. [30] с помощью данного устройства определили уровень снижения порогов светочувствительности — macular integrity (MI) и непосредственно снижение среднего порога светочувствительности центральной зоны сетчатки — average threshold (AvThr) у пациентов с диагностированной ПОУГ в сравнении с группой контроля. В исследование включали только данные пациентов со стабильной фиксацией взора при индексах устойчивости фиксации (fixation stability indexes) в пределах

95–100 %. При исследовании были использованы следующие настройки: полный пороговый тест 4–2, количество стимулов — 61, размер стимулов — Goldman III (26 дуговых минут), длительность стимулов — 200 мс, фоновая освещенность — 4 асб, периметрическая область сканирования — $20 \times 20^\circ$, цель фиксации — круг в центре диаметром 1° . Каждый глаз за одну процедуру обследовали 2 раза [30]. Установлено существенное статистическое достоверное отличие показателей MI ($29,68 \pm 23,18$) и AvThr ($27,63 \pm 3,38$ дБ) у пациентов с начальной стадией ПОУГ от таковых в группе контроля — $32,05 \pm 2,75$ ($p < 0,01$) [30, 31]. Самые высокие корреляции морфометрических показателей и показателей микропериметрии были определены для MI пациентов с ПОУГ с объемом фокальных потерь ганглиозных клеток сетчатки (ГКС) ($p = 0,642$, $p < 0,01$). Достоверная положительная связь средней силы обнаружена между микропериметрическим показателем MI и объемом фокальных потерь ГКС ($p = 0,346$, $p < 0,01$), выявлена отрицательная связь средней силы показателя MI со средней толщиной ГКС ($p = -0,378$, $p < 0,01$) и средней толщиной слоя нервных волокон сетчатки (СНВС) ($p = -0,355$, $p < 0,01$). У больных ПОУГ выявлена достоверная положительная связь средней силы показателя AvThr с максимально скорректированной остротой зрения (МКОЗ) ($p = 0,324$, $p < 0,01$) и AvThr с возрастом ($p = -0,401$, $p < 0,01$) [30]. По данным другого исследования, AvThr у пациентов с ПОУГ равен 20 (диапазон — 4,8–23,3), а в группе контроля — 28,0 (диапазон — 26,4–29,3) [7, 32–34]. Отсюда следует, что уже при начальной стадии глаукомы происходит снижение AvThr центральной зоны сетчатки, и это, в свою очередь, позволяет проводить диагностику глаукомы до появления существенных изменений полей зрения.

Микропериметр MP-1. Отличительной чертой данного микропериметра является возможность исследования перипапиллярной зоны сетчатки [28, 35]. В работах, проведенных с его использованием, установлено снижение светочувствительности в перипапиллярной зоне сетчатки у пациентов с диагностированной ПОУГ II–III стадии до 6 дБ (при норме 13–14 дБ) и до 9,8 дБ у пациентов с подозрением на глаукому [7, 25, 33, 36–41]. В группе контроля средний уровень светочувствительности был равен 11,3 дБ. Небольшое снижение светочувствительности связано с относительной субъективностью метода микропериметрии. В качестве яркого примера приведен случай диагностики юношеской глаукомы: с помощью микропериметрии была выявлена отрицательная динамика, что позволило своевременно назначить гипотензивную терапию и получить значительные улучшения при повторном исследовании [36, 42–48]. Полученные результаты показывают, что микропериметрия дает возможность выявить снижение светочувствительности перипапиллярной области сетчатки у пациентов с начальной глаукомой, назначить необходимую терапию, способствующую замедлению прогрессирования глаукомного процесса на самых ранних стадиях его развития, и тем самым значительно снизить риск существенного сужения полей зрения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обзор научных исследований, проведенных с использованием ОКТ, ОКТА и микропериметрии у пациентов с глаукомой, показывает, что уже на начальных стадиях ее развития наблюдаются изменения в тканях сетчатки, приводящие к появлению дефектов центрального зрения (ОКТ), к формированию и прогрессированию ишемии ДЗН (ОКТА) и снижению светочувствительности центральной и перипапиллярной зон сетчатки (микропериметрия). На основании этих данных можно с уверенностью говорить о необходимости

включения в раннюю диагностику глаукомы так называемой диагностической комбинации: ОКТ, ОКТА и микропериметрии — как наиболее точных и чувствительных методов исследования глазного дна и функционального состояния микроструктур сетчатки. Преимуществами данного диагностического комплекса является быстрота, высокая специфичность и чувствительность, неинвазивность, возможность наблюдения пациентов в динамике даже при субъективной визуальной стабильности состояния глазного дна, а также раннего выявления микроизменений в перепериметрическую стадию глаукомы, что позволяет начать своевременную антиглаукомную терапию и отдалить неблагоприятные исходы с помощью адекватно подобранного гипотензивного режима.

Литература/References

1. Мовсисян А.Б., Куроедов А.В., Архаров М.А., Прохоренко В.В., Чепурнов И.А. Эпидемиологический анализ заболеваемости и распространенности первичной открытоугольной глаукомы в Российской Федерации. РМЖ. Клиническая офтальмология. 2022; 22 (1): 3–10. [Movsisiyan A.B., Kuroedov A.V., Arkharov M.A., Prokhorenko V.V., Chepurnov I.A. Epidemiological analysis of the incidence and prevalence of primary open-angle glaucoma in the Russian Federation. RMJ. Clinical ophthalmology. 2022; 22 (1): 3–10 (in Russian)]. doi: 10.32364/2311-7729-2022-22-1-3-10
2. Александров А.А., Азнабаев Б.М., Мухамедеев Т.Р., Загидуллина А.Ш., Дибав Т.И. Первый опыт применения ОКТ-ангиографии в диагностике глаукомы. Современные технологии в офтальмологии. 2015; 3: 9–10. [Aleksandrov A.A., Aznabae B.M., Mukhamadeev T.R., Zagidullina A.Sh., Dibaev T.I. The first experience of using OCT-angiography in the diagnosis of glaucoma. Modern technologies in ophthalmology. 2015; 3: 9–10 (in Russian)].
3. Курышева Н.И., Маслова Е.В., Трубилина А.В., Арджевнишвили Т.Д., Фомин А.В. Особенности макулярного кровотока при глаукоме. Вестник офтальмологии. 2017; 133 (2): 29–38. [Kuryшева N.I., Maslova E.V., Trubilina A.V., Ardzhvishvili T.D., Fomin A.V. Features of macular blood flow in glaucoma. Vestnik oftal'mologii. 2017; 133 (2): 29–38 (in Russian)]. doi: 10.17116/oftalma2017133229-37
4. Курышева Н.И. Оптическая когерентная томография в диагностике глаукомной оптиконеуропатии. Часть 2. Национальный журнал глаукома. 2016; 15 (3): 60–70. [Kuryшева N.I. Optical coherence tomography in the diagnosis of glaucoma optic neuropathy. Part 2. National Journal of Glaucoma. 2016; 15 (3): 60–70 (in Russian)].
5. Курышева Н.И., Паршунина О.А. Оптическая когерентная томография в диагностике глаукомной оптиконеуропатии. Часть 1. Национальный журнал глаукома. 2016; 15 (1): 86–9. [Kuryшева N.I., Parshunina O.A. Optical coherence tomography in the diagnosis of glaucoma optic neuropathy. Part 1. National Journal of Glaucoma. 2016; 15 (1): 86–9 (in Russian)].
6. Курышева Н.И., Маслова Е.В., Трубилина А.В., Лепешкина Л.В. Цветовое доплеровское картирование и ОКТ-ангиография в диагностике глаукомы. Современные технологии в офтальмологии. 2016; 3 (11): 256–9. [Kuryшева N.I., Maslova E.V., Trubilina A.V., Lepeshkina L.V. Color Doppler mapping and OCT-angiography in the diagnosis of glaucoma. Modern technologies in ophthalmology. 2016; 3 (11): 256–9 (in Russian)]. doi:10.18008/1816-5095-2016-2-102-110
7. Sato S., Hirooka K., Baba T., et al. Correlation between the ganglion cell-inner plexiform layer thickness measured with cirrus HD-OCT and macular visual field sensitivity measured with microperimetry. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 2013; 54 (4): 3046–51. doi: 10.1167/iov.12-11173
8. Wang Y., Fawzi A.A., Varma R., et al. Pilot study of optical coherence tomography measurement of retinal blood flow in retinal and optic nerve diseases. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 2015; 52 (2): 840–5. doi:10.1167/iov.10-5985
9. Курышева Н.И., Трубилина А.В., Маслова Е.В., Арджевнишвили Т.Д., Лепешкина Л.В. ОКТ-ангиография макулярной области при глаукоме. Точка зрения. Восток — Запад. 2016; 1: 86–8. [Kuryшева N.I., Trubilina A.V., Maslova E.V., Ardzhvishvili T.D., Lepeshkina L.V. OCT-angiography of the macular region in glaucoma. Point of view. East-West. 2016; 1: 86–8 (in Russian)].
10. Курышева Н.И., Маслова Е.В., Трубилина А.В., Фомин А.В. ОКТ-ангиография и цветовое доплеровское картирование в исследовании гемоперфузии сетчатки и зрительного нерва при глаукоме. Офтальмология. 2016; 13 (2): 102–10. [Kuryшева N.I., Maslova E.V., Trubilina A.V., Fomin A.V. OCT angiography and color Doppler mapping in the study of hemoperfusion of the retina and optic nerve in glaucoma. Ophthalmology. 2016; 13 (2): 102–10 (in Russian)]. doi: 10.18008/1816-5095-2016-2-102-110
11. WuDunn D., Takusagawa H.L., Sit A.J., et al. OCT Angiography for the diagnosis of glaucoma: A report by the American Academy of Ophthalmology. Ophthalmology. 2021; 128 (8): 1222–35. doi: 10.1016/j.opthta.2020.12.027
12. Ratanawongphaibu K., Tsikata E., Zemplenyi M., et al. Earlier detection of glaucoma progression using High-Density 3-Dimensional Spectral-Domain OCT optic nerve volume scans. Ophthalmology Glaucoma. 2021; 4 (6): 604–16. doi: 10.1016/j.ogla.2021.03.010
13. Арутюнян Л.Л., Анисимова С.Ю., Морозова Ю.С., Анисимов С.И. Биометрические и морфометрические параметры решетчатой пластинки у пациентов с разными стадиями первичной открытоугольной глаукомы. Национальный журнал глаукома. 2021; 20 (3): 11–9. [Arutyunyan L.L., Anisimova S.Yu., Morozova Yu.S., Anisimov S.I. Biometric and morphometric parameters of the lamina cribrosa in patients with different stages of primary open-angle glaucoma. National Journal of Glaucoma. 2021; 20 (3): 11–9 (in Russian)]. doi: 10.25700/2078-4104-2021-20-3-11-19
14. Гапонко О.В., Куроедов А.В., Гордничий В.В. и др. Новые морфометрические маркеры диагностики глаукомы. РМЖ. Клиническая офтальмология. 2016; 1: 1–6. [Gaponko O.V., Kuroedov A.V., Gorodnichiy V.V., et al. New morphometric markers for diagnosing glaucoma. RMJ. Clinical ophthalmology. 2016; 1: 1–6 (in Russian)].
15. Киселева Т.Н., Аджемян Н.А. Методы оценки глазного кровотока при сосудистой патологии глаза. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2015; 14 (4 (56)): 4–10. [Kiseleva T.N., Adzhemyan N.A. Methods for assessing ocular blood flow in vascular diseases. Regional circulation and microcirculation. 2015; 14 (4 (56)): 4–10 (in Russian)]. doi: 10.24884/1682-6655-2015-14-4-4-10
16. Sehi M., Goharian I., Ranjith Konduru R., et al. Retinal blood flow in glaucomatous eyes with single-hemifield damage. Ophthalmology. 2014; 121 (3): 750–8. doi: 10.1016/j.opht.2013.10.022
17. Александров А.А., Азнабаев Б.М., Мухамедеев Т.Р., Загидуллина А.Ш., Дибав Т.И. ОКТ-ангиография: количественная и качественная оценка микрососудистого русла заднего сегмента глаза. Катарактальная и рефракционная хирургия. 2015; 15 (3): 4–9. [Alexandrov A.A., Aznabae B.M., Mukhamadeev T.R., Zagidullina A.Sh., Dibaev T.I. OCT angiography: quantitative and qualitative assessment of the microvascular bed of the posterior segment of the eye. Cataract and Refractive Surgery. 2015; 15 (3): 4–9 (in Russian)].
18. Шпак А.А., Качалина Г.Ф., Педанова Е.К. Сравнительный анализ результатов микропериметрии и традиционной компьютерной периметрии в норме. Вестник офтальмологии. 2009; 125 (3): 31–3. [Shpak A.A., Kachalina G.F., Pedanova E.K. Comparative analysis of the results of microperimetry and traditional computerized perimetry in the norm. Vestnik Oftal'mologii. 2009; 125 (3): 31–3 (in Russian)].
19. Азнабаев Б.М., Загидуллина А.Ш., Александров А.А. и др. Особенности микроциркуляции и морфометрии диска зрительного нерва у больных глаукомой нормального давления. РМЖ. Клиническая офтальмология. 2017; 18 (1): 17–20. [Aznabae B.M., Zagidullina A.Sh., Aleksandrov A.A. Peculiarities of microcirculation and morphometry of the optic disc in patients with normal pressure glaucoma. RMJ. Clinical ophthalmology. 2017; 18 (1): 17–20 (in Russian)]. doi:10.21689/2311-7729-2017-17-1-17-20
20. Ковеленова И.В., Бударина С.И., Салихова И.Р., Салихов Л.А., Библаев П.В. ОКТ-ангиография: опыт исследования макулярного кровотока на уровне поверхностного сосудистого сплетения у пациентов с начальной стадией глаукомы. Современные технологии в офтальмологии. 2020; 4 (35): 151. [Kovelonova I.V., Budarina S.I., Salikhova I.R., Salikhov L.A., Biblaev P.V. OCT-angiography experience in the study of macular blood flow at the level of the superficial vascular plexus in patients with the initial stage of glaucoma. Modern technologies in ophthalmology. 2020. 4 (35): 151 (in Russian)]. doi: https://doi.org/10.25276/2312-4911-2020-4-131-132
21. Hervás A., García-Delpech S., Udaondo P. Analysis of the perfusion of the optic nerve using angio-OCT in glaucoma. Arch. Soc. Esp. Oftalmol. 2021. 96 (4): 214–8. doi: 10.1016/j.oftale.2020.05.029
22. Maddess T. Modeling the relative influence of fixation and sampling errors on retest variability in perimetry. Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol. 2014; 252 (10): 1611–9. doi: 10.1007/s00417-014-2751-y
23. Дoga А.В., Качалина Г.Ф., Касмынина Т.А., Клепинина О.Б. Диагностическая ценность неинвазивных методов исследования глазного дна в выборе тактики лечения больных с центральной серозной хореоретинопатией. Современные технологии в офтальмологии. 2014; 1: 37–9. [Doga A.V., Kachalina G.F., Kasmyнина T.A., Klepinina O.B. Diagnostic value of non-invasive methods of examination of the fundus in the choice of tactics for the treatment of patients with central serous choroeretinopathy. Modern technologies in ophthalmology. 2014; 1: 37–9 (in Russian)].
24. Кошелев Д.И., Сироткина И.В., Лебедев И.В. Положение области фиксации и значимые характеристики движений глаза при нарушении центрального зрения. Вестник ОГУ. 2009; 12: 74–7. [Koshelev D.I., Sirotkina I.V., Lebedev I.V. The position of the fixation area and significant characteristics of eye movements in violation of central vision. Vestnik OGU. 2009; 12: 74–7 (in Russian)].
25. Sawa M., Gomi F., Toyoda A., et al. A microperimeter that provides fixation pattern and retinal sensitivity measurement. Jpn. J. Ophthalmol. 2006; 50 (2): 111–5. doi: 10.1007/s10384-005-0292-y

26. Лисочкина А.Б., Нечипоренко П.А. Микропериметрия — преимущества метода и возможности практического применения. Офтальмологические ведомости. 2009; 2 (1): 18–22. [Lisochkina A.B., Nechiporenko P.A. Microperimetry — the advantages of the method and its practical capabilities. Ophthalmology journal. 2009; 2 (1): 18–22 (in Russian)].
27. Mori S., Hangai M., Sakamoto A., Yoshimura N. Spectral domain optical coherence tomography measurement of macular volume for diagnosing glaucoma. J. Glaucoma. 2010; 19 (8): 528–53. doi:10.1097/IJG.0b013e3181ca7acf
28. Wu Z., Guymier R.H., Finger R.P. Fundus-driven perimetry (microperimetry) compared to conventional static automated perimetry: similarities, differences and clinical applications. Can. J. Ophthalmol. 2013; 48 (5): 358–63. doi: 10.1016/j.cjco.2013.03.021
29. Wu Z., Cimetta R., Caruso E., Guymier R.H. Performance of a defect-mapping microperimetry approach for characterizing progressive changes in deep Scotomas. Transl. Vis. Sci. Technol. 2019; 8 (4): 16. doi:10.1038/s41598-019-47565-y
30. Азнабаев Б.М., Загидуллина А.Ш., Александров А.А. Микропериметрия и морфометрические показатели диска зрительного нерва и макулярной области у больных первичной открытоугольной глаукомой. Офтальмология. 2017; 14 (4): 341–6. [Aznaabev B.M., Zagidullina A.Sh., Aleksandrov A.A. Microperimetry and morphometric parameters of the optic nerve head and macular area in patients with primary open-angle glaucoma. Ophthalmology. 2017; 14 (4): 341–6 (in Russian)]. doi:10.18008/1816-5095-2017-4-341-346
31. Горбунова Н.Ю., Павлова А.Ю., Шленская О.В. Возможности микропериметрии в диагностике глаукомы. Практическая медицина. 2012; 4–1 (59): 186–9. [Gorbunova N.Yu., Pavlova A.Yu., Shlenskaya O.V. Possibilities of microperimetry in the diagnosis of glaucoma. Practical medicine. 2012; 4–1 (59): 186–9 (in Russian)].
32. Казеннова И.А., Чупров А.Д., Воронина А.Е., Казеннов А.Н. Микропериметрия в диагностике глаукомы на ранних стадиях. Современные технологии в офтальмологии. 2021; 37 (2): 170–6. [Kazennova I.A., Chuprov A.D., Voronina A.E., Kazennov A.N. Microperimetry in the diagnosis of glaucoma in the early stages. Modern technologies in ophthalmology. 2021; 37 (2): 170–6 (in Russian)]. doi:10.25276/2312-4911-2021-2-170-176
33. Hirooka K., Misaki K., Nitta E., et al. Comparison of Macular Integrity Assessment (MAIA™), MP-3, and the Humphrey Field Analyzer in the evaluation of the relationship between the structure and function of the macula. PLoS ONE. 2016; 11 (3): e0151000. doi:10.1371/journal.pone.0151000
34. Seol B.R., Jeoung J.W., Park K.H. Glaucoma detection ability of macular ganglion cell-inner plexiform layer thickness in myopic preperimetric. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 2015; 56 (13): 8306–13. doi: 10.1167/iovs.15-18141Investigative18141
35. Oli A.D., Joshi D. Can ganglion cell complex assessment on cirrus HD OCT aid in detection of early glaucoma? Saudi J. Ophthalmol. 2015; 29 (3): 201–4. doi: 10.1016/j.sjopt.2015.02.007
36. Иойлева Е.Э., Кривошеева М.С. Микропериметрия при оптическом неврите вследствие рассеянного склероза. Офтальмохирургия. 2016; 3: 33–8. [Ioleva E.E., Krivosheeva M.S. Microperimetry in optic neuritis due to multiple sclerosis. Ophthalmosurgery. 2016; 3: 33–8 (in Russian)]. doi: 10.25276/0235-4160-2016-3-33-38
37. Moghimi S., Hosseini H., Riddle J., et al. Measurement of optic disc size and rim area with spectral-domain OCT and scanning laser ophthalmoscopy. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 2012; 53 (8): 4519–30. doi: 10.1167/iovs.11-8362
38. Resch H., Deak G., Pereira I., Vass C. Comparison of optic disc parameters using spectral domain Cirrus high-definition optical coherence tomography and confocal scanning laser ophthalmoscopy in normal eyes. Acta Ophthalmol. 2012; 90 (3): e 225–9. doi: 10.1111/j.1755-3768.2012.02385.x
39. Sato S., Hirooka K., Baba T., Shiraga F. Comparison of optic nerve head parameters using Heidelberg Retina Tomograph 3 and spectral-domain optical coherence tomography. Clin. Experiment. Ophthalmol. 2012; 40 (7): 721–6. doi:10.1111/j.1442-9071.2012.02782.x
40. Abe R.Y., Gracitelli C.P.B., Medeiros F.A. The use of spectral-domain optical coherence tomography to detect glaucoma progression. Open Ophthalmol. J. 2015; 9: 78–88. doi:10.2174/1874364101509010078
41. Sung K.R., Na J.H., Lee Y. Glaucoma diagnostic capabilities of optic nerve head parameters as determined by cirrus HD optical coherence tomography. J. Glaucoma. 2012; 21 (7): 498–504. doi:10.1097/jgg.0b013e318220dbb7
42. Kreft D., Doblhammer G., Guthoff R.F., Frech S. Prevalence, incidence, and risk factors of primary open-angle glaucoma — a cohort study based on longitudinal data from a German public health insurance. BMC Public Health. 2019; 19 (1): 851. doi: 10.1186/s12889-019-6935-6
43. Lima V.C., Prata T.S., De Moraes C.G., et al. A comparison between microperimetry and standard achromatic perimetry of the central visual field in eyes with glaucomatous paracentral visual-field defects. Br. J. Ophthalmol. 2010; 94 (1): 64–7. doi: 10.1136/bjo.2009.159772
44. Tepelus T.C., Song S., Nittala M.G., et al. Comparison and correlation of retinal sensitivity between microperimetry and standard automated perimetry in low-tension glaucoma. J. Glaucoma. 2020; 29 (10): 975–80. doi: 10.1097/IJG.0000000000001599
45. Arintawati P., Sone T., Akita T., Tanaka J., Kiuchi Y. The applicability of ganglion cell complex parameters determined from SD-OCT images to detect glaucomatous eyes. J. Glaucoma. 2013; 22 (9): 713–8. doi: 10.1097/IJG.0b013e318259b2e1
46. Lo J., Poon L.Y., Chen Y.H., et al. Patchy scotoma observed in chorioretinal patchy atrophy of myopic macular degeneration. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 2020; 61 (2): 15. doi: 10.1167/iovs.61.2.15
47. Ruminski D., Palczewska G., Nowakowski M., et al. Two-photon microperimetry: sensitivity of human photoreceptors to infrared light. Biomed. Opt. Express. 2019; 10 (9): 4551–67. doi: 10.1364/BOE.10.004551
48. Begum V.U., Addepalli U.K., Yadav Ravi K., et al. Ganglion cell-inner plexiform layer thickness of high definition optical coherence tomography in perimetric and preperimetric glaucoma. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 2014; 55 (8): 4768–75. doi: 10.1167/iovs.14-14598

Вклад авторов в работу: У.С. Пляскина — сбор данных, их статистическая обработка и интерпретация; В.В. Бирюков — написание текста статьи, финальная подготовка статьи к публикации; М.А. Фролов — разработка концепции и дизайна исследования.

Author's contribution: U.S. Plyaskina — data collection, processing and interpretation; V.V. Biryukov — writing of the article, final preparation of the article for publication; M.A. Frolov — concept and design of the study.

Поступила: 12.04.2022. Переработана: 03.05.2022. Принята к печати: 06.05.2022

Originally received: 12.04.2022. Final revision: 03.05.2022. Accepted: 06.05.2022

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», ул. Миклухо-Маклая, д. 6, Москва, 117198, Россия

Ульяна Сергеевна Пляскина — аспирант кафедры глазных болезней

Владимир Васильевич Бирюков — аспирант кафедры глазных болезней

Михаил Александрович Фролов — д-р мед. наук, профессор, зав. кафедрой глазных болезней

Для контактов: Ульяна Сергеевна Пляскина,
ulyana1stan@gmail.com

Peoples' Friendship University of Russia, 6, Miklukho-Maklaya St., Moscow, 117198, Russia

Ulyana S. Plyaskina — PhD student, chair of eye diseases

Vladimir V. Biryukov — PhD student, chair of eye diseases

Mikhail A. Frolov — Dr. of Med. Sci., professor, head of chair of eye diseases

Contact information: Ulyana S. Plyaskina,
ulyana1stan@gmail.com