

Научная статья
УДК 617.713-007
doi: 10.25276/0235-4160-2023-2-62-69

Возможности оптической когерентной томографии переднего отрезка в режиме ангио (AS-OCTA) в диагностике и тактике хирургического лечения заболеваний роговицы

Б.Э. Малюгин^{1, 2}, С.Ю. Калининкова¹, Р.С. Исабеков¹, О.П. Антонова¹, А.В. Фомин³

¹НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Москва

²Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова, Москва

³«Трейдомед-Инвест», Москва

РЕФЕРАТ

Актуальность. В последние годы появилась необходимость в поиске неинвазивного метода диагностики и визуализации сосудов роговицы, позволяющего качественно и количественно их оценить; все больший интерес представляет оптическая когерентная томография с функцией ангиографии переднего отрезка глаза (AS-OCTA), в особенности при исследовании состояния микроциркуляторного русла. AS-OCTA позволяет проводить бесконтактное прицельное наблюдение за сосудами в определенной области роговицы, объективный мониторинг прогрессирования и регресса васкуляризации до и после лечения. **Цель.** Оценить возможности использования AS-OCTA в диагностике и выборе тактики хирургического лечения заболеваний роговицы, а также предоставить протокол выполнения исследования. **Материал и методы.** Впервые на базе МНТК «Микрохирургия глаза» (Москва) была проведена AS-OCTA у пациентов с патологией роговицы. Представлены клинические случаи трех пациентов с постгерпетической неоваскуляризацией, поверхностной фиброплазией эпителия роговицы и синдромом лимбальной недостаточности. Сканирование выполнялось на оптическом когерентном томографе Avanti xR (Optovue Inc., США) в режимах «ОКТ» и «Ангио-ОКТ» с использованием программы AngioVue и алгоритма SSADA. **Результаты.** В описан-

ных клинических случаях использование метода AS-OCTA позволило достаточно точно оценить глубину залегания сосудов, их площадь и ангиоархитектонику, а также помогло выбрать тактику хирургического лечения при выборе метода кератопластики. Однако к недостаткам данной методики стоит отнести относительную сложность, появление большого количества артефактов даже при минимальном движении глаз пациентов и определенные временные затраты для ручной коррекции границ слоев в режиме EnFace. В то же время при наличии квалифицированного оператора и при должном сотрудничестве со стороны пациента возможно получение ценных диагностических данных. **Заключение.** Наше исследование является первым в РФ, показывающим использование AS-OCTA для визуализации сосудистой сети роговицы и предоставляющим протокол выполнения на оптическом когерентном томографе Avanti xR. В данном предварительном исследовании с участием пациентов с неоваскуляризацией роговицы мы расцениваем полученные результаты использования AS-OCTA как многообещающие и перспективные для неинвазивной визуализации сосудов, в частности, до и после лечения различных состояний с неоваскуляризацией роговицы.

Ключевые слова: роговица, неоваскуляризация, оптическая когерентная томография, синдром лимбальной недостаточности, сосудистая сеть лимба роговицы ■

Для цитирования: Малюгин Б.Э., Калининкова С.Ю., Исабеков Р.С., Антонова О.П., Фомин А.В. Возможности оптической когерентной томографии переднего отрезка в режиме ангио (AS-OCTA) в диагностике и тактике хирургического лечения заболеваний роговицы. Офтальмохирургия. 2023;2: 62–69. doi: 10.25276/0235-4160-2023-2-62-69

Автор, ответственный за переписку: Светлана Юрьевна Калининкова, svkalinnikova@gmail.com

ABSTRACT

Original article

The possibilities of optical coherence tomography of the anterior segment in the angio mode (AS-OCTA) in the diagnosis and tactics of surgical treatment of corneal diseases

B.E. Malyugin^{1, 2}, S.Yu. Kalinnikova¹, R.S. Isabekov¹, O.P. Antonova¹, A.V. Fomin³

¹S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Moscow, Russian Federation

²A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, Russian Federation

³«Tradomed-Invest», Moscow, Russian Federation

© Малюгин Б.Э., Калининкова С.Ю., Исабеков Р.С., Антонова О.П., Фомин А.В., 2023



Purpose. To describe three clinical cases of corneal vascularization of different etiologies, to evaluate the possibilities of the method of optical coherence tomography of anterior segment in the mode of angiography (AS-OCTA) in diagnostic and selection of treatment strategies of corneal diseases, as well as to provide diagnostic protocol. **Material and methods.** For the first time AS-OCTA was performed at the S. Fyodorov Eye Microsurgery (Moscow). The presented clinical cases included three patients with different pathologies of the anterior segment of the eye: postherpetic neovascularization, superficial epithelial fibroplasia and limbal stem cell deficiency syndrome (LSCD). The scan was performed on an Avanti xR optical coherence tomography device (Optovue Inc. Fremont, California, USA) in the «OCT» and «Angio OCT» modes using the AngioVue program and the SSADA algorithm. **Results.** In the presented clinical cases, the use of AS-OCTA makes possible to accurately assess the depth, area and architectonics of the vessels, and helps to determine the tactics of surgical treatment and type of keratoplasty. However, the

disadvantages of this technique include the complexity and long time required for its implementation, as well as the appearance of a large number of artifacts even with minimal eye movement of patients. At the same time, in the presence of a qualified operator and with proper compliance with the patient, it is possible to obtain valuable diagnostic data. **Conclusion.** Our study is the first in the Russian Federation to demonstrate the use of anterior segment OCT angiography to visualize the corneal vasculature and provide a protocol for performing it on an Avanti xR optical coherence tomograph. In this preliminary study of patients with corneal neovascularization, we regard the results obtained using AS-OCTA as promising for non-invasive vascular imaging, in particular, before and after the treatment of various conditions with corneal neovascularization.

Key words: cornea, neovascularization, limbal stem cell deficiency, anterior segment optical coherence tomography, angiography, corneal limbal vasculature ■

For citation: Malyugin B.E., Kalinnikova S.Yu., Isabekov R.S., Antonova O.P., Fomin A.V. The possibilities of optical coherence tomography of the anterior segment in the angio mode (AS-OCTA) in the diagnosis and tactics of surgical treatment of corneal diseases. Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery. 2023;2: 62–69. doi: 10.25276/0235-4160-2023-2-62-69

Corresponding author: Svetlana Yu. Kalinnikova, svkalinnikova@gmail.com

АКТУАЛЬНОСТЬ

Прозрачность роговицы – результат ее сложной высокоорганизованной ультраструктуры, характеризующейся отсутствием кровеносных и лимфатических сосудов [1]. Неоваскуляризация роговицы – патологическое проникновение кровеносных сосудов в роговицу из-за нарушения баланса между проангиогенными и антиангиогенными факторами роста [2].

Неоваскуляризация роговицы является угрожающим для зрения состоянием, которое приводит к помутнению роговицы и прогрессирующей потере зрительных функций. В исследовании Р. Lee и соавт. сообщалось о предполагаемом уровне заболеваемости в 1,4 млн человек в год, 12% из которых впоследствии понесли потерю зрения [3]. Наиболее распространенными причинами неоваскуляризации роговицы являются: врожденные (аниридия) и приобретенные, к которым относятся воспалительные (синдром Стивена – Джонсона, отторжение трансплантата и др.), инфекционные (вирусные, бактериальные, грибковые, паразитарные), дегенеративные (краевая дегенерация Терье, птеригиум и др.), гипоксические (использование контактных линз), травматические (ожоги и др.) [4].

Васкуляризация роговицы ухудшает результаты приживления трансплантата после пересадки роговицы. По данным ряда авторов, наличие неоваскуляризации роговицы перед операцией на 30% повышает вероятность отторжения трансплантата [5]. Наличие сосудов в ложе реципиента в 2 и более квадрантах, особенно с глубоко расположенными сосудами, заходящими, по край-

ней мере, на 2 мм в строму, является фактором риска, связанным с высокой вероятностью развития реакции тканевой несовместимости [6], наличие сосудов в четырех квадрантах удваивает риск отторжения, увеличивая тяжесть иммунной реакции [5]. По данным отчета Австралийского реестра трансплантации роговицы (ACGR), в 2012 г. в 31% случаев сквозной кератопластики (СКП) исследователи наблюдали васкуляризацию ложа реципиента [6].

Наиболее простым и доступным способом диагностики васкуляризации переднего отрезка глаза является биомикроскопия при помощи щелевой лампы. Однако данный способ имеет существенные недостатки, включая отсутствие количественной оценки сосудистой сети, сложность визуализации при наличии помутнений, неточность при определении глубины залегания сосудов [7].

Ангиография роговицы при помощи индоцианинового зеленого и флуоресцеина позволяет детально визуализировать множественные сосуды и оценить кровоток даже при наличии множественных рубцов. Однако для выполнения ангиографии необходимо внутривенное введение красителей, которые могут спровоцировать ряд нежелательных реакций, а также имеют противопоказания у лиц с болезнями почек, системными заболеваниями и у беременных [7–11].

В связи с вышеперечисленными недостатками появилась необходимость в поиске неинвазивного метода диагностики и визуализации сосудов роговицы, позволяющего качественно и количественно их оценить. В последние годы все больший интерес представляет оптическая когерентная томография (ОКТ) с функцией ангио-

графии переднего отрезка глаза (AS-OCTA), в особенности при исследовании состояния микроциркуляторного русла [12–16]. AS-OCTA позволяет проводить бесконтактное прицельное наблюдение за сосудами в определенной области роговицы, объективный мониторинг прогрессирования и регресса васкуляризации до и после лечения [17, 18]. Кроме того, при помощи AS-OCTA возможно выявление мелких коллатеральных сосудов, которые в случаях диффузного и тотального помутнения роговицы не визуализируются другими неинвазивными методами диагностики [12].

ЦЕЛЬ

Оценить возможности использования AS-OCTA в диагностике и выборе тактики хирургического лечения заболеваний роговицы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование роговицы выполнялось на оптическом когерентном томографе Avanti XR (Optovue Inc., США) с применением сканов Cornea Line и Cornea Cross Line с длиной скана до 8 мм и аксиальным разрешением 5 мкм. Сканирование центральной части роговицы и лимбальной области выполнялось с применением модуля роговицы и передней камеры. Также с помощью EnFace-изображений анализировались 3D-сканы роговицы с размером зоны сканирования до 8×8 мм. Толщина EnFace-слоя обычно выбиралась в диапазоне от 30 до 50 мкм для обеспечения оптимальной контрастности и детализации изображения. Перемещение EnFace-слоя в аксиальном направлении позволяло детализировать структуры с разной глубиной расположения.

Визуализация новообразованных сосудов роговицы выполнялась в режимах «ОКТ» и «Ангио-ОКТ» с использованием программы AngioVue (версия ПО SW 2018.1.1.63) и алгоритма SSADA. Сканирование центральной части роговицы и лимбальной области в режиме «Ангио-ОКТ» выполнялось без применения модуля роговицы и передней камеры. Использовался скан AngioRetina с размером зоны сканирования на сетчатке 3×3 мм. Разрешение скана составляло 304×304 пикселей. Скорость сканирования томографа – 70 000 А-сканов/сек. Сканирование осуществлялось с выключенными автоматическими настройками, в ручном режиме. Регулировки Z-Motor и Focus устанавливались в крайнее правое положение на 15 делений и на –20D соответственно, поляризация (P-Motor) – на 100 делений. Фокусировка реализовывалась изменением расстояния сканирующей головки томографа относительно глаза пациента. На расстоянии оптимальной фокусировки при значении параметра Focus, равном –20D, рабочая 3×3 мм зона скана AngioRetina соответствовала зоне 7×7 мм на роговице.

Пациенты инструктировались фиксировать взгляд прямо и неподвижно. Последовательно выполнялось перекрестное сканирование в X- и Y-направлениях в режиме MCT (Motion Correction Technology). Для послойной визуализации патологических сосудов применялась ручная регулировка положения и толщины слоя EnFace в настройке Custom. Используя функцию редактирования (Edit Bnd), проводили ручную коррекцию границ слоя EnFace для обеспечения конгруэнтности его границ с передней поверхностью роговицы. Также проводилась регулировка его толщины с целью получения максимально контрастного и информативного изображения. Перемещение EnFace-слоя в аксиальном направлении позволяло детализировать сосуды с разной глубиной расположения. Положение (Offset) слоя EnFace относительно передней поверхности роговицы и его толщина определялись имеющимися в программе AngioRetina стандартными опциями.

Клинический случай № 1

В клинику обратился мужчина 35 лет с жалобами на снижение остроты зрения левого глаза (OS) в течение 3 лет. Из анамнеза известно, что ухудшение появилось после перенесенной герпесвирусной инфекции и длительного системного применения ацикловира. При биомикроскопии роговицы левого глаза отмечался ее утолщенный срез, по всей площади задних слоев роговицы, визуализировалась дистрофия по типу «изломанных линий» или напоминала запустевшие кровеносные сосуды. На 7 часах отмечалось врастание единичного сосуда, распространяющегося до парацентральной части роговицы в ее центральных слоях (рис. 1а). По результатам обследования максимальная корригированная острота зрения (МКОЗ) OS была равна 0,3. Первоначально перед хирургом стоял выбор между выполнением передней послойной кератопластики или СКП. Для уточнения тактики была выполнена AS-OCTA. Полученные сканы были обработаны – проведена коррекция границ слоев EnFace и проведен EnFace-анализ с «шагом» в 30 мкм (рис. 1б).

По данным сканов AS-OCTA, в глубоких слоях стромы на глубине 510–600 мкм визуализируется сосуд стволового типа с множественными разветвлениями на 7 часах, который частично затрагивает десцеметову мембрану. Исходя из полученных данных диагностики, стало ясно, что проведение послойной кератопластики будет нецелесообразным, в связи с чем пациенту была выполнена СКП.

В послеоперационном периоде на 5-е сутки эпителизация полная, трансплантат прозрачный, адаптирован, круговой обвивной шов состоятелен. На 7 часах на границе трансплантата и роговицы реципиента визуализируется выход элементов крови из сосудистого русла (рис. 1в).

Через 3 недели после СКП МКОЗ OS составила 0,05 sph +2,25 = 0,1.

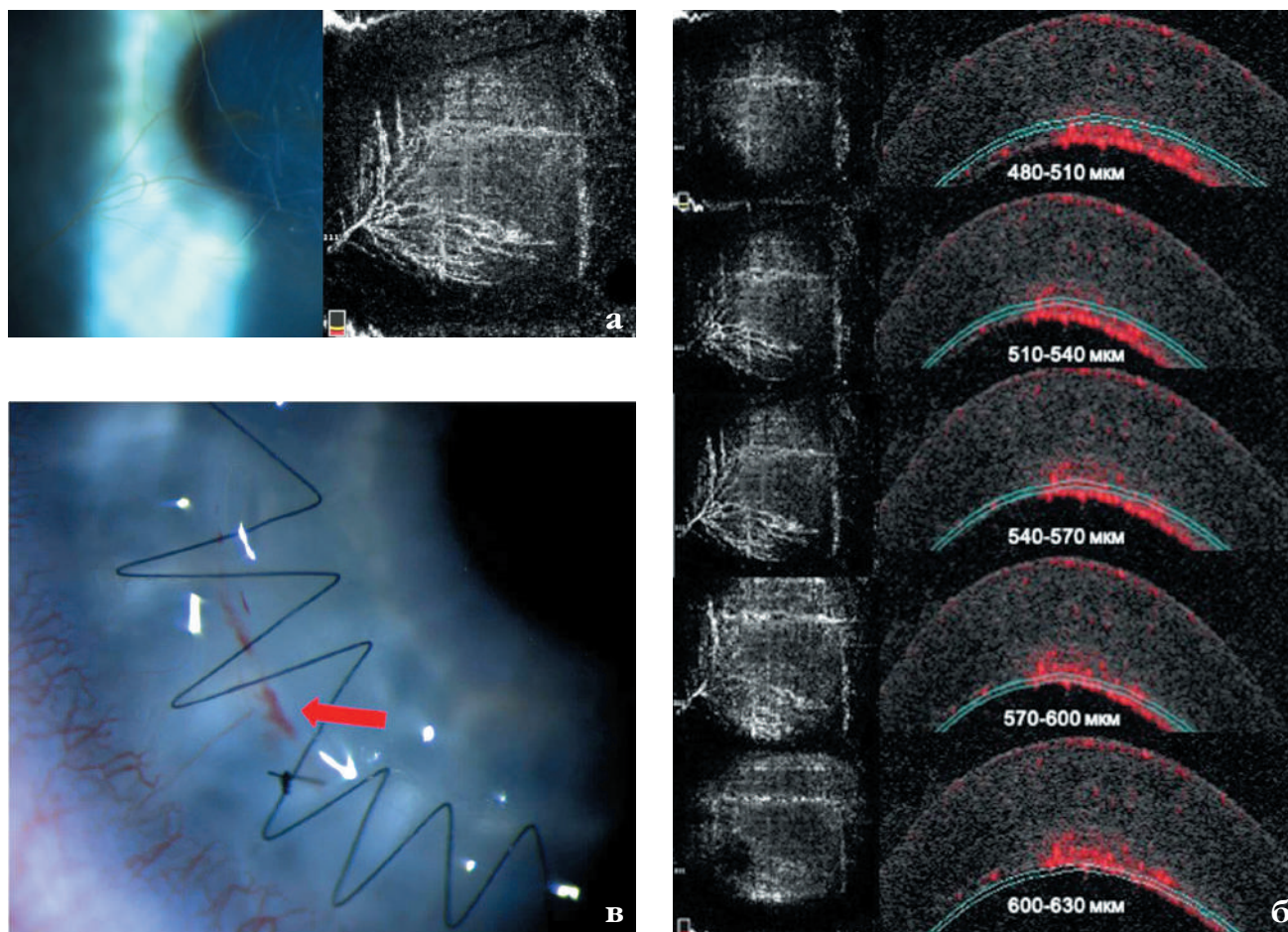


Рис. 1. Клинический случай применения AS-OCTA у пациента с глубоким врастанием сосуда после герпесвирусной инфекции: а) биомикроскопия роговицы; множественные запустевшие сосуды с врастанием полнокровного сосуда на 7 часах (слева); ОКТ-ангиограмма переднего отрезка аналогичного участка (справа); б) послойные (EnFace) данные ОКТ-ангиографии переднего отрезка глаза (глубина 480–630 мкм); в) биомикроскопия роговицы после сквозной кератопластики. Просачивание форменных элементов крови из сосуда на границе донор-реципиент

Fig. 1. The clinical case of using AS-OCTA in the patient with deep vascular ingrowth after herpes virus infection: а) biomicroscopy of the cornea; multiple neglected vessels with ingrowth of a full-blooded vessel at 7 o'clock (left photo); AS-OCTA of a similar section (right photo); б) in layer-by-layer (EnFace) data AS-OCTA (depth 480–630 microns); в) biomicroscopy of the cornea after penetrating keratoplasty. Leakage of shaped blood elements from a vessel at the donor-recipient border

Спустя 5 месяцев после СКП: трансплантат адаптирован, прозрачный, швы адаптированы. Неоваскуляризация роговицы отсутствует. МКОЗ OS: 0,3 sph +3,0 = 0,6.

Клинический случай № 2

Пациент, мужчина 65 лет, обратился в клинику с жалобами на стойкое снижение остроты зрения правого глаза (OD) за последние несколько лет. Из анамнеза известно, что на оба глаза в 1991 г. была выполнена радиальная кератотомия по поводу миопии высокой степени, а в 2017 г. – факэмульсификация катаракты с имплантацией интраокулярной линзы (ФЭК + ИОЛ) совместно с фоторефракционной кератэктомией. Через год после операции на OD пациент заметил помутнение в центральной части роговицы и отметил ухудше-

ние остроты зрения. При биомикроскопии OD визуализируются 8 радиальных кератотомических гипертрофических рубцов, роговица уплощена в центральной части. В центральной оптической зоне – фиброплазия эпителия с локальным помутнением, с врастанием сосуда из лимбальной области на 13 часах (рис. 2а). ИОЛ центрирована в просвете зрачка. МКОЗ до операции: 0,5 cyl +1,5 ax 10 = 0,7 Для оценки глубины и архитектоники новообразованных сосудов роговицы была также использована AS-OCTA. Анализировались полученные с «шагом» в 50 мкм EnFace-изображения (рис. 2б). По данным ОКТ в режиме Cornea Cross Line, толщина роговицы в зоне фиброплазии существенно увеличена (рис. 2в).

По полученным данным, большая часть сосудов располагалась на глубине 100–300 мкм. Стоит также отме-

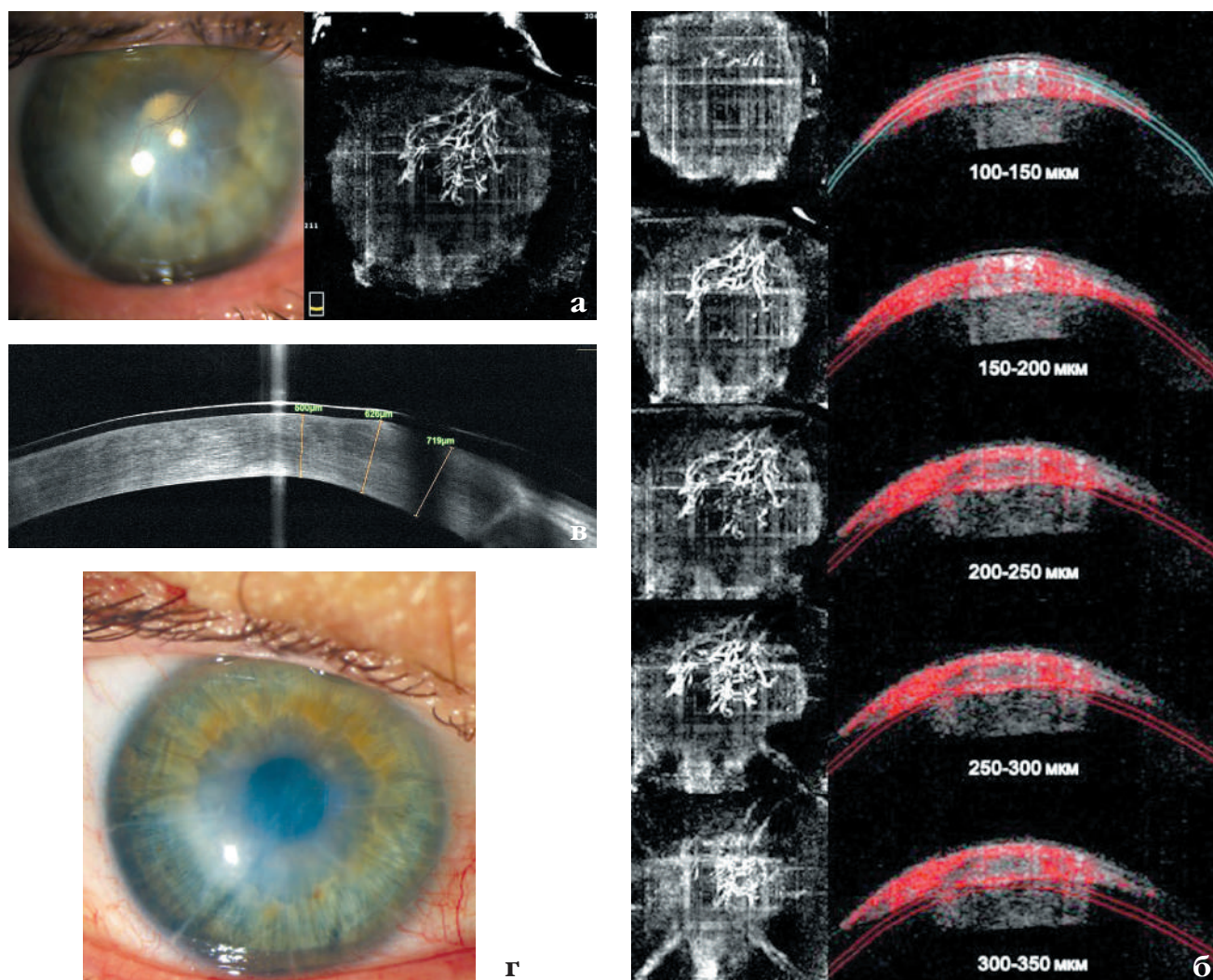


Рис. 2. Клинический случай применения AS-OCT у пациента с фиброплазией эпителия: а) в центральной оптической зоне фиброплазия эпителия с локальным помутнением, в которую с 2 часов врастает новообразованный сосуд из лимбальной области (слева); ОКТ-ангиограмма переднего отрезка аналогичного участка (справа); б) слева – послойные ОКТ-ангиограммы переднего отрезка глаза (глубина 100–350 мкм, толщина слоя 50 мкм), справа – иллюстрация положения соответствующего слоя EnFace (красным цветом отображен ангио-ОКТ-сигнал от патологически измененных сосудов); в) снимок ОКТ-участка фиброплазии роговицы в режиме «Cornea Cross Line»; г) повторная фиброплазия роговицы (без неоваскуляризации) спустя 8 месяцев после операции

Fig. 2. The clinical case of using AS-OCT in the patient with epithelium fibroplasia: а) in the central optical zone epithelial fibroplasia with local opacity with grows of the newly formed vessel at 2 o'clock (left photo); AS-OCT of a similar section (right photo); б) in the left side are layered AS-OCT (depth 100–350 microns, layer thickness 50 microns), on the right is an illustration of the position of the corresponding layer of the EnFace (the Angio-OCT signal from pathologically altered vessels is displayed in red); в) OCT image of the corneal fibroplasia site in the «Cornea Cross Line» mode; г) recurrence of corneal fibroplasia (without neovascularization) at the stage 8 months after surgery

тить, что при биомикроскопии уверенно визуализировались только единичные сосуды, в то время как после проведения AS-OCTA удалось рассмотреть целую сосудистую сеть. Первоначально рассматривалось проведение СКП, но в связи с поверхностным расположением большинства сосудов было принято решение о поверхностной скарификации фиброваскулярной ткани. Через 3 недели после операции МКОЗ OD: 0,7 cyl +1,0 ax 10 =

0,8. Спустя 6 месяцев МКОЗ OD: 0,7 sph –0,5 cyl +1,25 ax 80 = 0,9. При этом новообразованных сосудов роговицы отмечено не было.

Однако через год после операции пациент вновь отметил снижение остроты зрения, был выявлен рецидив фиброплазии и помутнения в оптической зоне роговицы без неоваскуляризации (рис. 2г). Рекомендовано выполнение сквозной кератопластики.

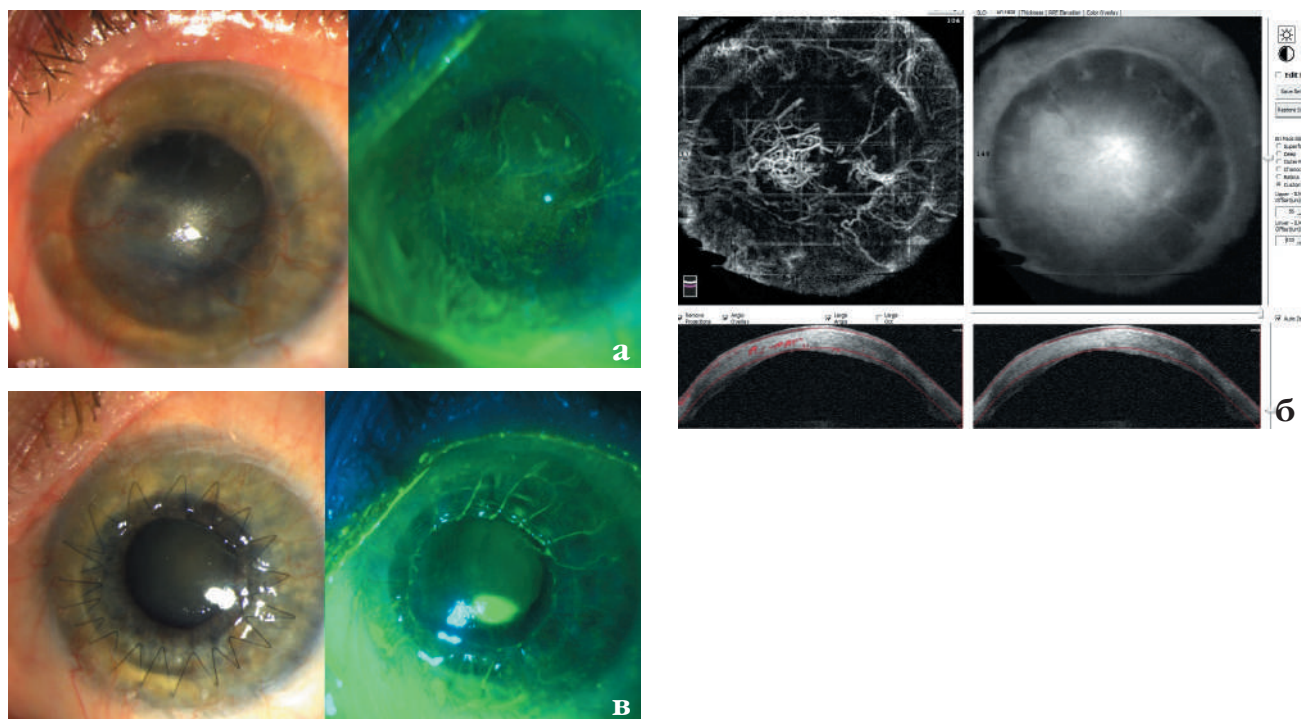


Рис. 3. Клинический случай применения AS-OCTA у пациентки с помутнением трансплантата и неоваскуляризацией роговицы: а) биомикроскопия роговицы с множественными новообразованными сосудами и диффузным помутнением трансплантата при синдроме лимбальной недостаточности (СЛН) (слева); окрашивание роговицы тест полосками низкомолекулярным флуоресцеином с характерным паттерном воронкообразной эпителиопатии (справа); б) AS-OCTA с захватом всей толщины роговицы; в) результаты сквозной кератопластики у пациентки с СЛН

Fig. 3. The clinical case of using AS-OCTA in the patient with transplant opacity and corneal neovascularization: a) biomicroscopy of the cornea with multiple neovascularization and diffuse opacity of transplant in a patient with limbal stem cell deficiency (LSCD) (left photo); corneal staining with test strips of low molecular fluorescein with a pattern whorl-like epitheliopathy (right photo); б) AS-OCTA with the capture of the entire thickness of the cornea; в) results of the penetrating keratoplasty in a patient with LSCD

Клинический случай № 3

Пациентка, 38 лет, обратилась в клинику в 2018 г. с жалобами на снижение остроты зрения, слезотечение, периодически возникающую светобоязнь на OS. Из анамнеза известно, что в 1997 г. на OS был ожог соляной кислотой, после чего пациентка неоднократно проходила курсы консервативного лечения, которые давали временное улучшение. По месту жительства в 2013 г. была выполнена СКП OS. В послеоперационном периоде отмечалась замедленная эпителизация, а через год пациентка отметила вновь снижение остроты зрения и возобновление симптомов. Из системных заболеваний известно, что у пациентки имеется сахарный диабет 2-го типа (компенсированный), выставленный в 2010 г. по месту жительства. В 2018 г. пациентке была выполнена бесклеевая простая лимбальная эпителиальная трансплантация с биологическим покрытием роговицы криоконсервированной человеческой амниотической мембраной (GSLET) [19]. В течение года после операции наблюдалась стойкая эпителизация роговицы, однако в 2020 г. при биомикроскопии OS (рис. 3а) трансплантат диффуз-

но помутнен, эпителий рыхлый, имеется множественная поверхностная и глубокая васкуляризация. При окраске низкомолекулярным флуоресцеином (нмФЛ) выявлялся смешанный паттерн окрашивания по типу завитка или вихря («vortex pattern staining») с местами точечной эпителиопатии. Радужка субатрофична, хрусталик помутнен во всех слоях. Острота зрения: счет пальцев у лица. Для объективной оценки неоваскуляризации роговицы использовали AS-OCTA. С целью максимально полной визуализации новообразованных сосудов толщину слоя EnFace выбрали близкой к толщине роговицы (рис. 3б).

По данным предоперационной AS-OCTA, отчетливо визуализируется множественное вращение сосудов в трансплантат. Их глубина расположения – от 120 до 400 мкм. В 2021 г. пациентке выполнили повторную СКП OS. В послеоперационном периоде эпителизация роговицы наступила к 12-му дню. Были назначены длительная инстилляционная увлажняющих средств и кортикостероидная терапия. Через 6 месяцев при биомикроскопии видна полная эпителизация роговицы, прозрачный трансплантат адаптирован, швы состоятельны, новоо-

бразованные сосуды отсутствуют (рис. 3в). Через год после операции швы пациентке были сняты. Планируется ФЭК + ИОЛ на OS.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В описанных клинических случаях использование AS-OCTA позволяет достаточно точно оценить глубину залегания сосудов, их площадь и ангиоархитектонику, а также помогает определить тактику хирургического лечения при выборе метода кератопластики. Однако к недостаткам данной методики стоит отнести относительную сложность, появление большого количества артефактов даже при минимальном движении глаз пациентов и определенные временные затраты для ручной коррекции границ слоев в режиме EnFace. В то же время, при наличии квалифицированного оператора и при должном взаимодействии с пациентом, возможно получение ценных диагностических данных.

ОБСУЖДЕНИЕ

На сегодняшний день в клинической практике при оценке васкуляризации важно определить глубину залегания сосудов, что позволит оценить дальнейшую тактику ведения и планирования хирургического вмешательства. А. Nanji и соавт. провели исследование, в котором использовали AS-OCTA для точной оценки глубины залегания сосудов при различных патологиях роговицы и разделили васкуляризацию на поверхностную (в передних 25% толщины роговицы), срединную (в 25–75% толщины роговицы) и глубокую (в 75–100% толщины роговицы). В результате исследования авторы при помощи AS-OCTA выявили наиболее частую глубину залегания сосудов при кератитах (от 16 до 60% от толщины роговицы в зависимости от этиологии), при отторжении трансплантата (в среднем 41% от толщины роговицы), птеригиуме (в среднем 19% от толщины роговицы), нейротрофической язве (в среднем 78% от глубины) и других видах патологий [13]. При использовании AS-OCTA возможен подсчет площади васкуляризации и плотности сосудов, путем конвертации цветных сканов в черно-белые, дальнейшей обработки и математических расчетов, которые позволяют оценивать степень васкуляризации у пациентов с течением времени [20].

Однако сложности при выполнении AS-OCTA заключаются в ограниченном поле сканирования (7×7 мм), которое не захватывает всю поверхность роговицы, а также в появлении артефактов изображений при движении глаз пациента в момент исследования. Для сканирования всей поверхности появляется необходимость в повторном выполнении данной методики в различных квадрантах [21].

Таким образом, AS-OCTA имеет потенциал стать важным методом оценки сосудистой сети переднего сег-

мента, а именно в диагностике васкуляризации роговицы различного генеза и в предоперационном хирургическом планировании, например для определения глубины питающего сосуда перед диатермокоагуляцией, выбора оптимального вида кератопластики, оценки эффективности терапевтических методов лечения васкуляризации роговицы а также прогнозирования, например, раннего дефицита лимбальных стволовых клеток [12, 21, 22].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наше исследование является первым в РФ, показывающим возможности применения AS-OCTA для визуализации сосудистой сети роговицы и предоставляющим алгоритм выполнения AS-OCTA на оптическом когерентном томографе Avanti xR. В данном предварительном исследовании мы расцениваем полученные результаты использования AS-OCTA перспективными для неинвазивной визуализации сосудов и определения тактики хирургического лечения.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Chang JH, Garg NK, Lunde E, Han KY, Jain S, Azar DT. Corneal neovascularization: an anti-VEGF therapy review. *Surv Ophthalmol.* 2012;57(5): 415–429. doi: 10.1016/j.survophthal.2012.01.007
2. Chang JH, Gabison EE, Kato T, Azar DT. Corneal neovascularization. *Curr Opin Ophthalmol.* 2001;12(4): 242–249. doi: 10.1097/00055735-200108000-00002
3. Lee P, Wang CC, Adamis AP. Ocular neovascularization: an epidemiologic review. *Surv Ophthalmol.* 1998;43(3): 245–269. doi: 10.1016/s0039-6257(98)00035-6
4. Abdelfattah NS, Amgad M, Zayed AA, et al. Clinical correlates of common corneal neovascular diseases: a literature review. *Int J Ophthalmol.* 2015;8(1): 182–193. doi: 10.3980/j.issn.2222-3959.2015.01.32
5. Bachmann B, Taylor RS, Cursiefen C. Corneal neovascularization as a risk factor for graft failure and rejection after keratoplasty: an evidence-based meta-analysis. *Ophthalmology.* 2010;117(7): 1300–1305.e7. doi: 10.1016/j.opthta.2010.01.039
6. Maguire MG, Stark WJ, Gottsch JD, et al. Risk factors for corneal graft failure and rejection in the collaborative corneal transplantation studies. Collaborative corneal transplantation studies research group. *Ophthalmology.* 1994;101(9): 1536–1547. doi: 10.1016/s0161-6420(94)31138-9
7. Bock F, Onderka J, Hos D, Horn F, Martus P, Cursiefen C. Improved semiautomatic method for morphometry of angiogenesis and lymphangiogenesis in corneal flatmounts. *Exp Eye Res.* 2008;87(5): 462–470. doi: 10.1016/j.exer.2008.08.007
8. Conrad TJ, Chandler DB, Corless JM, Klintworth GK. In vivo measurement of corneal angiogenesis with video data acquisition and computerized image analysis. *Lab Invest.* 1994;70(3): 426–434.
9. Spiteri N, Romano V, Zheng Y, et al. Corneal angiography for guiding and evaluating fine-needle diathermy treatment of corneal neovascularization. *Ophthalmology.* 2015;122(6): 1079–1084. doi: 10.1016/j.opthta.2015.02.012
10. Steger B, Romano V, Kaye SB. Corneal indocyanine green angiography to guide medical and surgical management of corneal neovascularization. *Cornea.* 2016;35(1): 41–45. doi: 10.1097/ICO.0000000000000683
11. Kirwan RP, Zheng Y, Tey A, Anijeet D, Sueke H, Kaye SB. Quantifying changes in corneal neovascularization using fluorescein and indocyanine green angiography. *Am J Ophthalmol.* 2012;154(5): 850–858.e2. doi: 10.1016/j.ajao.2012.04.021
12. Ang M, Sim DA, Keane PA, et al. Optical coherence tomography angiography for anterior segment vasculature imaging. *Ophthalmology.* 2015;122(9): 1740–1747. doi: 10.1016/j.opthta.2015.05.017

13. Nanji A, Redd T, Chamberlain W, et al. Application of corneal optical coherence tomography angiography for assessment of vessel depth in corneal neovascularization. *Cornea*. 2020;39(5): 598–604. doi: 10.1097/ICO.0000000000002232

14. Ang M, Devarajan K, Das S, et al. Comparison of anterior segment optical coherence tomography angiography systems for corneal vascularisation. *Br J Ophthalmol*. 2018;102(7): 873–877. doi: 10.1136/bjophthalmol-2017-311072

15. Oie Y, Nishida K. Evaluation of corneal neovascularization using optical coherence tomography angiography in patients with limbal stem cell deficiency. *Cornea*. 2017;36(Suppl 1): S72–S75. doi: 10.1097/ICO.0000000000001382

16. Chan SY, Pan CT, Feng Y. Localization of corneal neovascularization using optical coherence tomography angiography. *Cornea*. 2019;38(7): 888–895. doi: 10.1097/ICO.0000000000001931

17. Ang M, Cai Y, Shahipasand S, et al. En face optical coherence tomography angiography for corneal neovascularisation. *Br J Ophthalmol*. 2016;100(5): 616–621. doi: 10.1136/bjophthalmol-2015-307338

18. Cai Y, Alio Del Barrio JL, Wilkins MR, Ang M. Serial optical coherence tomography angiography for corneal vascularization. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2017;255(1): 135–139. doi: 10.1007/s00417-016-3505-9

19. Malyugin BE, Gerasimov MY, Borzenok SA. Glueless simple limbal epithelial transplantation: The report of the first 2 cases. *Cornea*. 2020;39(12): 1588–1591. doi: 10.1097/ICO.0000000000002467

20. Stanzel TP, Devarajan K, Lwin NC, et al. Comparison of optical coherence tomography angiography to indocyanine green angiography and slit lamp photography for corneal vascularization in an animal Model. *Sci Rep*. 2018;8(1): 11493. doi: 10.1038/s41598-018-29752-5

21. Brunner M, Romano V, Steger B, et al. Imaging of corneal neovascularization: optical coherence tomography angiography and fluorescence angiography. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2018;59(3): 1263–1269. doi: 10.1167/iops.17-22035

22. Ang M, Tan ACS, Cheung CMG, et al. Optical coherence tomography angiography: a review of current and future clinical applications. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2018;256(2): 237–245. doi: 10.1007/s00417-017-3896-2

Информация об авторах

Борис Эдуардович Малиугин, д.м.н., профессор, boris.malyugin@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5666-3493>

Светлана Юрьевна Калининкова, врач-офтальмолог, аспирант, svkalinnikova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9109-2400>

Руслан Сражудинович Исабеков, врач-офтальмолог, аспирант, isabekov-99@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9918-0459>

Ольга Павловна Антонова, к.м.н., врач-офтальмолог, antonova.mntk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7414-0511>

Алексей Валентинович Фомин, директор по клиническим испытаниям, favlaser@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7302-9574>

Information about the authors

Boris E. Malyugin, Doctor of Sciences in Medicine, Professor, boris.malyugin@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5666-3493>

Svetlana Yu. Kalinnikova, Ophthalmologist, PhD Student, svkalinnikova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9109-2400>

Ruslan S. Isabekov, Ophthalmologist, PhD Student, isabekov-99@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9918-0459>

Olga P. Antonova, Ophthalmologist, PhD, antonova.mntk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7414-0511>

Alexey V. Fomin, Director of Clinical Trials, favlaser@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7302-9574>

Вклад авторов в работу:

Б.Э. Малиугин: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

С.Ю. Калининкова: сбор, анализ и обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста.

Р.С. Исабеков: сбор, анализ и обработка материала, написание текста.

О.П. Антонова: сбор, анализ и обработка материала, написание текста.

А.В. Фомин: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

Authors' contribution:

B.E. Malyugin: significant contribution to the concept and design of the work, final approval of the version to be published.

S.Yu. Kalinnikova: collection, analysis and processing of material, statistical data processing, writing.

R.S. Isabekov: collection, analysis and processing of material, writing.

O.P. Antonova: collection, analysis and processing of material, writing.

A.V. Fomin: significant contribution to the concept and design of the work, editing, final approval of the version to be published.

Финансирование: Авторы не получали конкретный грант на это исследование от какого-либо финансирующего агентства в государственном, коммерческом и некоммерческом секторах.

Согласие пациента на публикацию: Письменного согласия на публикацию этого материала получено не было. Он не содержит никакой личной идентифицирующей информации.

Конфликт интересов: Отсутствует.

Funding: The authors have not declared a specific grant for this research from any funding agency in the public, commercial or not-for-profit sectors.

Patient consent for publication: No written consent was obtained for the publication of this material. It does not contain any personally identifying information.

Conflict of interest: There is no conflict of interest.

Поступила: 25.03.2023

Переработана: 17.04.2023

Принята к печати: 15.05.2023

Originally received: 25.03.2023

Final revision: 17.04.2023

Accepted: 15.05.2023