

DOI: <https://doi.org/10.57231/j.ao.2024.7.1.011>

УДК: УДК 617.713-007.64

ВОЗМОЖНОСТИ ДИАГНОСТИКИ РОГОВИЦЫ ПРИ КЕРАТОКОНУСЕ МЕТОДОМ ОПТИЧЕСКОЙ КОГЕРЕНТНОЙ ТОМОГРАФИИ

Туйчибаева Д.М.¹, Ким А.А.²

1. Доктор медицинских наук, доцент кафедры Офтальмологии, Ташкентский государственный стоматологический институт, dilya.tuychibaeva@gmail.com, +998(90)930-07-80, <https://orcid.org/0000-0002-9462-2622>

2. Базовый докторант кафедры Офтальмологии, Ташкентский государственный стоматологический институт, kim.alexey87@gmail.com, +998(77)014-45-50, <https://orcid.org/0000-0003-0557-687X>

Аннотация. Актуальность. Оптическая когерентная томография (ОКТ) стала широко распространенным инструментом в офтальмологии [9,10], особенно, где ее высокое разрешение и неинвазивность позволили многократно использовать ее на сетчатке и переднем отрезке глаза [11–17]. **Цель исследования.** Оценить точность оптической когерентной томографии (ОКТ) (RTVue XR, Optovue, USA) в диагностике кератоконуса путем измерения центральной толщины роговицы и центрального радиуса кривизны. **Материалы и методы.** В исследовании 48 пациентам с кератоконусом была выполнена топография роговицы, ультразвуковая пахиметрия, визуализация Шаймпфлюга и оптическая когерентная томография переднего сегмента (AS-OCT). **Результаты и заключение.** Средняя оптическая сила роговицы, измеренная с помощью AS-OCT, составила $51,65 \pm 0,78$ Д, измеренная с топографией роговицы, составила $50,19 \pm 0,64$ Д, а с камерой Scheimpflug составила $50,78 \pm 0,82$ Д. Средняя толщина роговицы в центре, измеренная с помощью ОКТ, составила 486 ± 73 мкм, с помощью ультразвука - 475 ± 49 мкм, а с использованием камеры Scheimpflug Oculyzer II - 481 ± 66 мкм. Таким образом, RTVue XR может быть полезной альтернативой для измерения передней силы роговицы и центральной толщины роговицы в глазах с кератоконусом. Показатели толщины эпителия роговицы возможны только при измерении с помощью ОКТ (47 ± 5 мкм), диагностическим признаком кератоконуса является истончение эпителия роговицы в нижней парацентральной зоне [34].

Ключевые слова: кератоконус, ОКТ переднего отрезка, диагностика кератоконуса, Шеймпфлюг-кератотопографии.

Для цитирования:

Туйчибаева Д.М., Ким А.А. Возможности диагностики роговицы при кератоконусе методом оптической когерентной томографии. Передовая офтальмология. 2024;7(1):64-70.

POSSIBILITIES FOR DIAGNOSIS OF THE CORNEA IN KERATOCONUS BY OPTICAL COHERENCE TOMOGRAPHY METHOD

Tuychibaeva D.M.¹, Kim A.A.²

1. Doctor of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Ophthalmology, Tashkent State Dental Institute, dilya.tuychibaeva@gmail.com, +998(90)930-07-80, <https://orcid.org/0000-0002-9462-2622>

2. Basic doctoral student of the Department of Ophthalmology, Tashkent State Dental Institute, kim.alexey87@gmail.com, +998(77)014-45-50, <https://orcid.org/0000-0003-0557-687X>

Annotation. Relevance. Optical coherence tomography (OCT) has become widespread in ophthalmology [9,10], especially where its high resolution and non-invasiveness allow for repeated use on the retina and anterior segment of the eye [11–17]. **Purpose of the study.** To evaluate the accuracy of optical coherence tomography (OCT) (RTVue XR, Optovue, USA) in diagnosing keratoconus by measuring the central angle distance and the central radius of curvature. **Materials and methods.** Corneal topography, ultrasound pachymetry, Scheimpflug imaging, and anterior segment optical coherence tomography (AS-OCT) were performed in 48 patients with keratoconus. **Results and conclusion.** The mean optical power, effective with AS-OCT, composite 51.65 ± 0.78 D, dependent on rotor topography, total 50.19 ± 0.64 D, and with the Scheimpflug camera consolidated 50.78 ± 0.82 D. The mean central corneal thickness measured by OCT was $486 \pm 73 \mu\text{m}$, that measured by ultrasound was - $475 \pm 49 \mu\text{m}$, using the Scheimpflug Oculyzer II camera - $481 \pm 66 \mu\text{m}$. RTVue XR may be a useful alternative for measuring frontal corneas and central corneal thickness in eyes with keratoconus. Indicators of the thickness of the corneal epithelium are possible only when carried out using OCT ($47 \pm 5 \mu\text{m}$); a diagnostic sign of keratoconus is thinning of the corneal epithelium in the lower paracentral zone [34].

Key words: keratoconus, anterior segment OCT, diagnosis of keratoconus, Scheimpflug keratotopography.

For citation:

Tuychibaeva D.M., Kim A.A. Possibilities of surgical diagnosis of keratoconus using optical coherence tomography. Advanced ophthalmology. 2024;7(1):64-70.

ОПТИК КОГЕРЕНТ ТОМОГРАФИЯ УСУЛИ БИЛАН КЕРАТОКОНУСДА ШОХ ПАРДАНИ ТАШХИСЛАШ ИМКОНИЯТЛАРИ

Аннотация. Долзарблиги. Оптик когерент томография (ОКТ) офтальмологияда кенг тарқалди [9,10], айниқса унинг юқори аниқлиги ва ноинвазивлиги кўзнинг тўр пардаси ва олд сегментида қайта-қайта фойдаланиш имкони-ни беради [11-17]. **Тадқиқот мақсади.** Марказий бурчак масофаси ва егриликнинг марказий радиусини ўлчаш орқа-ли кератоконусни ташхислашда оптик когерент томография (ОСТ) (RTVue XR, Optovue, USA) тўғрилигини баҳолаш. Материаллар ва усуллар. Кератоконусли 48 беморда шох парда топографияси, ултратовуш пахиметрияси, Scheimpflug тасвири ва олдинги сегмент оптик когерент томографияси (АС-ОСТ) ўтказилди. **Натижа ва хулосалар.** Ўртача оптик қувват, АС-ОСТ билан самарали, композит $51,65 \pm 0,78$ Д, ротор топографиясига боғлиқ, жами $50,19 \pm 0,64$ Д ва Scheimpflug камераси билан бирлаштирилган $50,78 \pm 0,82$ Д. Ўртача марказий шох парда қалинлиги Ўртача 46 ± 3 мкм билан ўлчанди. 73 мкм, ултратовуш ёрдамида ўлчанган - 475 ± 49 мкм, Scheimpflug Oculyzer II камераси ёрдамида - 481 ± 66 мкм. RTVue XR кератоконусли кўзларда фронтал шох парда ва марказий шох парда қалинлигини ўлчаш учун фойдали муқобил бўлиши мумкин. Шох парда эпителийсининг қалинлиги кўрсаткичлари фақат ОКТ (47 ± 5 мкм) ёрдамида амалга оширилганда мумкин; кератоконуснинг диагностик белгиси пастки парасентрал зонада шох парда эпителийсининг юпқалашиши ҳисобланади [34].

Калит сўзлар: кератоконус, олдинги сегмент ОКТ, кератоконус диагностикаси, Scheimpflug кератотопографияси.

Иқтибос учун:

Туйчибоева Д.М., Ким А.А. Оптик когерент томография ёрдамида кератоконуснинг жарроҳлик диагностикаси имкони-яатлари. Илғор офтальмология. 2024;7(1):64-70.

Актуальность. Кератоконус — это двустороннее асимметричное хроническое заболевание глаз, вызванное ослаблением роговицы, с распространенностью один на 2000 населения. [1] Он характеризуется прогрессирующим истончением и утолщением роговицы, в результате чего роговица приобретает конусообразную форму, что приводит к усилению астигматизма и аберрациям высокого порядка [2] и потере качества зрения [3].

За последние годы исследователи обнаружили, что распространенность и частота случаев кератоконуса в популяции представляют собой высокую вариабельность [32]. Существуют различные объяснения этой изменчивости, включая неоднородность эпидемиологических исследований и отсутствие определенных критериев определения и классификации кератоконуса [33]. На эти критерии в основном повлияли новые устройства диагностической визуализации для оценки различных параметров роговицы и алгоритмы искусственного интеллекта [32].

На ранних стадиях заболевания использование очков или контактных линз может обеспечить пациенту достаточно функциональное качество зрения.[4] Однако прогрессирующее истончение и утолщение роговицы обычно приводит к необходимости трансплантации роговицы на поздних стадиях [5,6].

Диагностика распространенного кератоконуса не сложна из-за типичных биомикроскопических и топографических данных, но выявление субклинических случаев или случаев с forme fruste может представлять трудности [7].

Особенно важно выявлять заболевание среди кандидатов на рефракционную операцию, поскольку кераторефракционные процедуры могут ухудшить их состояние [8, 35, 36].

Оптическая когерентная томография (ОКТ)

стала широко распространенным инструментом в различных областях медицины [9,10], особенно в офтальмологии, где ее высокое разрешение и неинвазивность позволили многократно использовать ее на сетчатке и переднем отрезке глаза [11–17].

Хотя топография роговицы является стандартным методом ранней диагностики и оценки терапевтического контроля, она имеет существенные ограничения, главным образом потому, что требует ровной поверхности роговицы и не дает трехмерной информации о глубине роговицы и всего переднего сегмента. Другие методы визуализации, такие как ультразвуковая биомикроскопия или системы камер Scheimpflug (WaveLight Oculyzer II), были разработаны для оценки количественных параметров, включая глубину передней камеры и толщину роговицы [18–20].

ОКТ переднего сегмента была клинически проверена при различных состояниях роговицы и переднего сегмента глаза и недавно оптимизирована для визуализации всего переднего сегмента, включая части хрусталика и угол камеры [19–22].

В этом исследовании точность ОКТ (RTVue XR, Optovue, USA) в диагностике кератоконуса оценивалась путем измерения центральной толщины роговицы и центрального радиуса кривизны.

Цель исследования. Оценить точность оптической когерентной томографии (ОКТ) (RTVue XR, Optovue, USA) в диагностике кератоконуса путем измерения центральной толщины роговицы и центрального радиуса кривизны.

Материалы и методы. Для исследования были привлечены 50 глаз 48 пациентов с кератоконусом (26 мужчин и 22 женщины) на базе Ташкентского государственного стоматологического института на кафедре офтальмологии, клиническая база «Консультативная поликлиника» Медицинского

национального центра и на базе «КОРД Клиники» (РФ, г. Казань). Это исследование получило письменное информированное согласие всех пациентов.

Критериями включения в это исследование были возраст 18 лет и старше, в том числе один клинический признак кератоконуса, такие как симптом Мансона, обнаруженный на щелевой лампе, водянка, стрии Фогта, кольца Флейшера, апикальный рубец, апикальное истончение или симптом Рицутти, а также топографические признаки кератоконуса.

Критерии исключения из этого исследования включали признаки или историю других

заболеваний роговицы (например, помутнения или дистрофии роговицы), перенесенные ранее операции на роговице (например, кросслинкинг роговицы) и использование контактных линз.

В исследовании использовался коммерчески доступный ОКТ (RTVue XR, Optovue, USA). Для визуализации сетчатки система имеет осевое разрешение в ткани 5 мкм. Для получения изображения роговицы к сканеру сетчатки был прикреплен модуль адаптера роговицы. Осевое разрешение для визуализации роговицы также составляло 5 мкм, поскольку оно определяется длиной когерентности источника света.

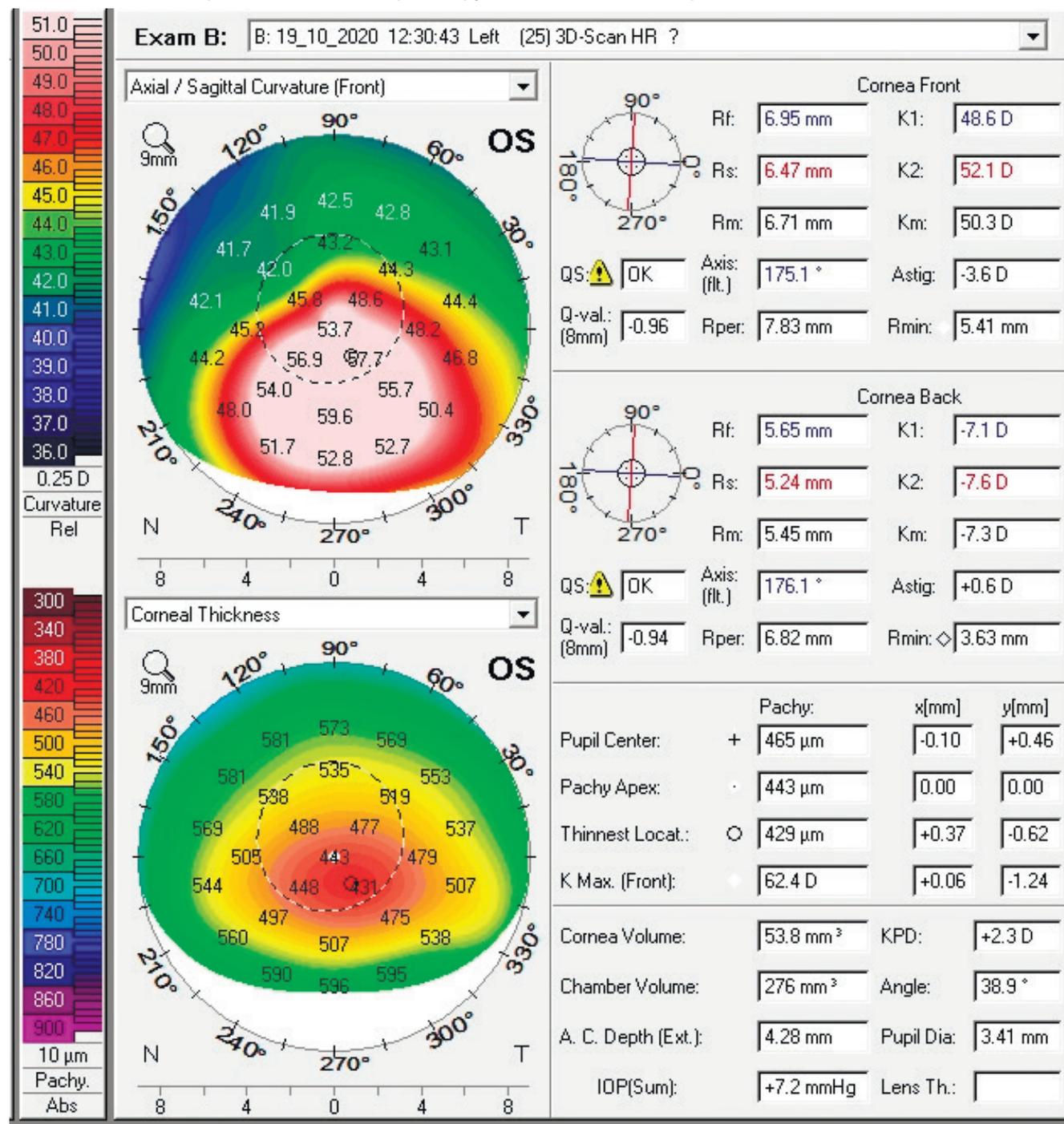


Рис. 1. Изображение Scheimpflug камеры (обратите внимание на показания K1 48,6 и K2 52,1 D и толщину центральной роговицы 443 мкм и самое тонкое место 431 мкм).

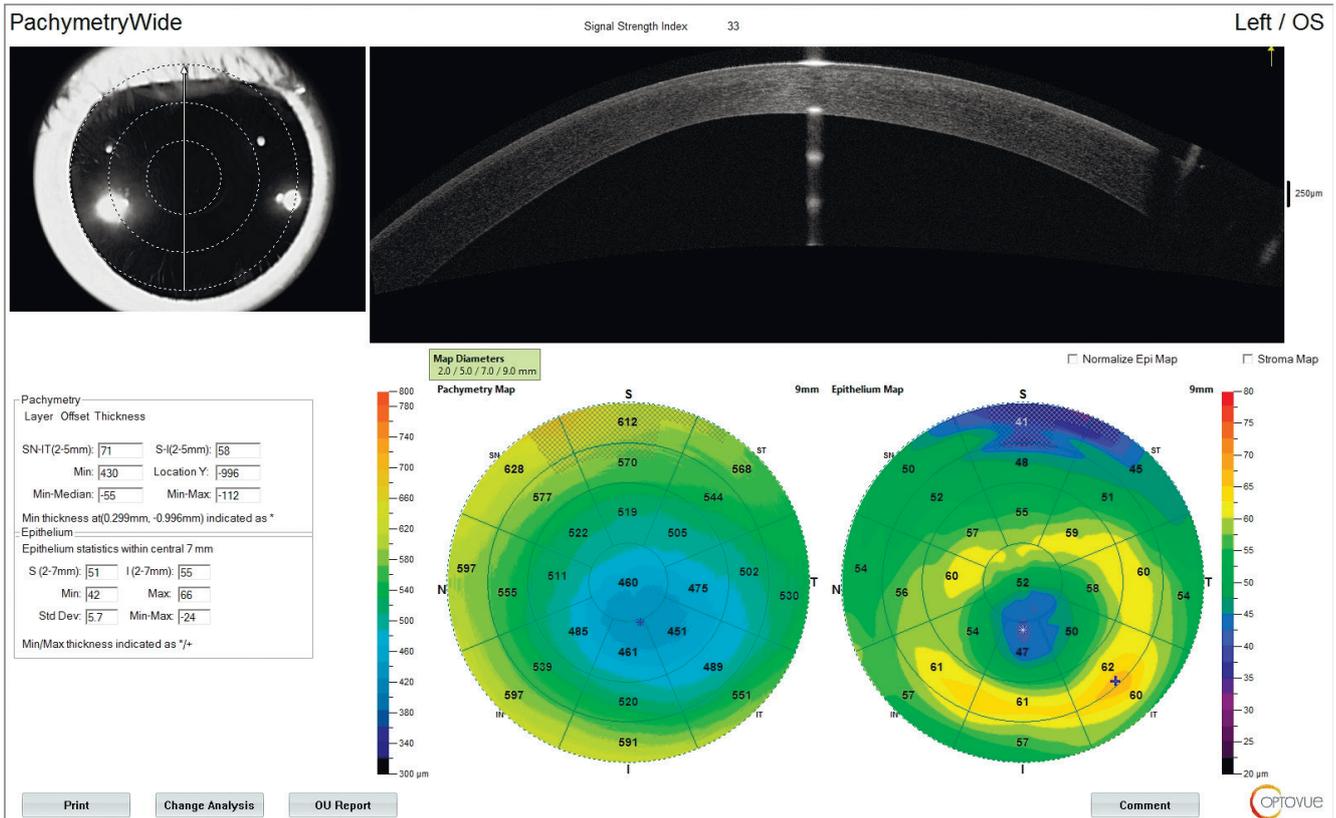


Рис. 2. Оптическая когерентная томография переднего сегмента того же пациента что и на рисунке 1 (обратите внимание на показания К 48,7 и 52,2D и центральную толщину роговицы 460 мкм). А также истончение эпителия роговицы 42 мкм

Пациентов просили смотреть прямо перед собой и фиксировать взгляд на зеленом свете, который служит внутренней мишенью фиксации системы ОКТ. Свет коаксиален оптической оси системы ОКТ и в этом исследовании проецировался через линзу адаптера роговицы. Схема картирования роговицы повторялась три раза для каждого глаза во время одного и того же визита и учитывался усредненный результат.

На каждом меридиональном сканировании передняя сила роговицы рассчитывалась как $K_a = (n_1 - 1) / R_a$, где n_1 – показатель преломления роговицы (1,376), а R_a – передний радиус кривизны в пределах центральной области размером 3,0 мм. Заднюю силу роговицы рассчитывали как $K_p = (n_2 - n_1) / R_p$, где n_2 – показатель преломления водной жидкости (1,333), а R_p – задний радиус кривизны в пределах центральной области размером 3,0 мм. Конечная сила роговицы рассчитывалась как $K = K_a + K_p \cdot D \cdot K_a \cdot K_p / n_1$, где D – центральная толщина роговицы (Central corneal thickness, CCT). Общую переднюю, заднюю и конечную силу роговицы получали путем усреднения по всем меридианам.

Силу роговицы, измеренную с помощью ОКТ, сравнивали со стандартной кератометрией. В качестве стандарта использовалось смоделированное значение К по топографии колец Плачидо и системе Scheimpflug камеры (рис. 1–2).

Центральная толщина роговицы (Central corneal thickness, CCT), измеренную с помощью ОКТ, сравнивали с CCT, измеренной с помощью ультразвука и системы Scheimpflug WaveLight Oculyzer II.

Статистический анализ. Данные пациента были записаны в листах сбора данных. Статистический анализ проводился с использованием доступного программного обеспечения (SPSS 16,0 для Windows; SPSS Inc., США). Количественные данные были представлены в виде среднего значения, стандартного отклонения и доверительного интервала.

Парный t-критерий использовался для оценки соответствия между измерениями ОКТ и стандартными измерениями. Значения P менее 0,05 считались статистически значимыми.

Результаты исследования. Анализ исследования показал, что из 48 пациентов с кератоконусом (50 глаз) на 11 глазах был апикальный рубец, у 6 глаз были стрии Фогта, а у остальных (33 глаза) роговица была чистой.

Средняя сила роговицы, измеренная с помощью ОКТ (в среднем: $51,65 \pm 0,78$ Д), была эквивалентна стандартным значениям К, измеренным с помощью топографии роговицы (в среднем: $50,19 \pm 0,64$ Д) и камеры Scheimpflug WaveLight Oculyzer II ($50,78 \pm 0,82$ Д), как показано в Таблице 1.

Таблица 1. Средние значения кератометрии, центральной толщины роговицы и толщины эпителия роговицы выполненной с оптической когерентной томографии переднего сегмента, топографии роговицы и Scheimpflug камеры

Исследование	Сила роговицы (D)	Центральная толщина роговицы (мкм)	Толщина эпителия роговицы (мкм)
AS-OCT	51,65 ± 0,78	486 ± 73	47±5
Топография роговицы	50,19 ± 0,64	475 ± 49	отсут
Scheimpflug камера	50,78 ± 0,82	481 ± 66	отсут

Кроме того, среднее значение центральной толщины роговицы (Central corneal thickness, CCT), измеренное с помощью ОКТ (486 ± 73 мкм), было аналогично значению, измеренному с помощью ультразвука (475 ± 49 мкм) и камеры Scheimpflug WaveLight Oculyzer II (481 ± 66 мкм), как показано в Таблице 1. Показатели толщины эпителия роговицы возможны только при измерении с помощью ОКТ (47±5 мкм), диагностическим признаком кератоконуса является истончение эпителия роговицы в нижней парацентральной зоне [34].

Обсуждение. ОКТ — не единственный инструмент, который может напрямую измерять кривизну как передней, так и задней поверхности роговицы. Инструменты щелевого сканирования, такие как Orbscan II, Pentacam и двойная камера Galilei Scheimpflug (Ziemer Group), также обладают такой возможностью. Однако система ОКТ работает быстрее и имеет более высокое разрешение [34].

Согласно формуле Маннерлина [23] ошибка осевого провисания на 10 мкм в пределах центрального диаметра 3,0 мм может привести к ошибке расчета передней силы роговицы ~3,0 Д. Это была основная причина плохой повторяемости измерений силы роговицы с помощью низкоскоростной системы ОКТ во временной области [24].

Оптическая когерентная томография переднего сегмента (AS-OCT) является достаточно быстрой для получения прямых измерений мощности роговицы с приемлемой повторяемостью. Поскольку эта технология не опирается на предполагаемое фиксированное геометрическое соотношение между передней и задней поверхностями, она может быть более надежным методом измерения силы роговицы после хирургических вмешательств на глазах (например, после LASIK) и патологически измененных глазах (например, кератоконус).

Поскольку ОКТ измеряет как переднюю, так и заднюю кривизну роговицы, она может быть более надежным инструментом для использования в глазах с кератоконусом, которые имеют более низкие, чем обычно, коэффициенты передне-задней кривизны. Кроме того, ОКТ в сочетании с видеокератографией может быть более полезной для дифференциации легких форм кератоконуса, чем сама видеокератография [25].

Стандартная кератометрия измеряет наклон роговицы на кольцевой области (или ее части) с центром в вершине, тогда как ОКТ измеряет кривизну роговицы на круглой области с центром на зрачке. Эти два метода должны давать одинаковые результаты, если роговица имеет идеально сферическую форму; однако любое отклонение от сферичности может привести к различиям в измерениях.

В этом исследовании сравнивалась точность ОКТ и стандартной кератометрии при измерении формы передней части роговицы в кератоконических глазах. Измерения мощности роговицы двумя методами в среднем хорошо согласовались (P=0,03). Между этими двумя методами для отдельных глаз все еще существовал значительный диапазон различий, что могло быть связано с некоторыми базовыми различиями между двумя методами.

На разумном рабочем расстоянии разрешение 5-мкм устройства ОКТ намного выше, чем возможное при щелевом сканировании. Таким образом, система ОКТ дает более точные измерения толщины роговицы, чем Oculyzer II, при наличии помутнения или помутнения роговицы [26].

Толщина роговицы, полученная с помощью метода ОКТ, основана на показателе преломления (RI) границы раздела. Для нормальной роговицы RI стромальных слоев роговицы предполагается постоянным. Однако в глазах с кератоконусом смещение Боуменовой мембраны кзади или рубцевание стромы приводит к аномальной отражательной способности ОКТ-изображений [27].

Wang et al. [28] обнаружили хорошую корреляцию между значениями CCT, полученными с помощью RTVue-OCT и Visante-OCT в кератоконических глазах. Однако между двумя системами ОКТ наблюдались небольшие систематические различия, и поэтому данные двух инструментов не могут использоваться взаимозаменяемо [28].

В текущем исследовании была отмечена высокая корреляция между ОКТ и ультразвуковой пахиметрией, а также системой Scheimpflug при измерениях CCT (P = 0,01). Измерение проводится по передней и задней границам роговицы на очерченном изображении поперечного сечения.

В отличие от ОКТ, контактный ультразвуковой датчик смещает слезную пленку и сдавливает поверхность роговицы, при этом точное место

заднего отражения роговицы неизвестно; возможно, он находится между десцеметовой мембраной и передней камерой [29]. Кроме того, неправильное размещение датчика могло привести к значительным ошибкам измерений, хотя было проведено пять измерений и усреднено при ультразвуковой пахиметрии.

Что касается сравнения измерений ССТ с использованием ОКТ и системы Scheimpflug, эти два метода тесно коррелировали. Doors et al. [30] показали, что Pentacam значительно переоценил измерения ССТ по сравнению с Visante AS-OCT в среднем на 19,2 мм. Наш результат отличается от их. Однако Prospero Ponce et al. сообщили о других результатах. [31], которые продемонстрировали отсутствие существенной разницы между Pentacam

и Visante AS-OCT по сравнению с измерениями ССТ.

Ограничения этого исследования включают небольшое количество случаев, отсутствие классификации случаев кератоконуса по степени тяжести и отсутствие данных о надежности AS-OCT (RTVue XR) при визуализации кератоконуса.

В заключение следует отметить, что не было статистически значимой разницы между AS-OCT и стандартными тестами в отношении средней силы роговицы и ССТ у пациентов с кератоконусом. Следовательно, RTVue XR может быть полезной альтернативой для измерения передней силы роговицы и ССТ у этих пациентов.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Rabinowitz YS. Keratoconus. *Surv. Ophthalmol.* 1998;42(4):297–319. [https://doi.org/10.1016/S0039-6257\(97\)00119-7](https://doi.org/10.1016/S0039-6257(97)00119-7)
- Barbero S, Marcos S, Merayo-Llodes J, Moreno-Barriuso E. Validation of the estimation of corneal aberrations from videokeratography in keratoconus. *J Refract Surg* 2002; 18:263–270. <https://doi.org/10.3928/1081-597X-20020501-09>
- Kymes SM, Walline JJ, Zadnik K, Sterling J, Gordon MO. Changes in the quality-of-life of people with keratoconus. *Am J Ophthalmol* 2008; 145:611–617. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2007.11.017>
- Научно-практический журнал «Современные технологии в офтальмологии». – 2023. - №2(48). – С.217-223. DOI: <https://doi.org/10.25276/2312-4911-2023-1-217-223>
- Mamalis N, Anderson CW, Kreisler KR, Lundergan MK, Olson RJ. Changing trends in the indications for penetrating keratoplasty. *Arch Ophthalmol* 1992; 110:1409–1411. doi:10.1001/archophth.1992.01080220071023
- Javadi MA, Motlagh BF, Jafarinasab MR, Rabbanikhah Z, Anissian A, Souri H, Yazdani S. Outcomes of penetrating keratoplasty in keratoconus. *Cornea* 2005; 24:941–946. DOI: 10.1097/01.icc.0000159730.45177.cd
- Rabinowitz YS, Rasheed K, Yang H, Elashoff J. Accuracy of ultrasonic pachymetry and videokeratography in detecting keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 1998; 24:196–201. DOI: 10.1016/S0886-3350(98)80200-9
- Siganos CS, Kymionis GD, Kartakis N, Theodorakis MA, Astyrakakis N, Pallikaris IG. Management of keratoconus with Intacs. *Am J Ophthalmol* 2003; 135:64–70. [https://doi.org/10.1016/S0002-9394\(02\)01824-X](https://doi.org/10.1016/S0002-9394(02)01824-X)
- Zysk AM, Nguyen FT, Oldenburg AL, Marks DL, Boppart SA. Optical coherence tomography: a review of clinical development from bench to bedside. *J Biomed Opt* 2007; 12:051403. <https://doi.org/10.1117/1.2793736>
- Fercher AF, Drexler W, Hitzenberger CK, Lasser T. Optical coherence tomography – principles and applications. *Rep Prog Phys* 2003; 66:239–303. DOI:10.1088/0034-4885/66/2/204
- Unterhuber A, Povazay B, Hermann B, Sattmann H, Chavez-Pirson A, Drexler W. In vivo retinal optical coherence tomography at 1040 nm enhanced penetration into the choroid. *Opt Express* 2005; 13:3252–3258. <https://doi.org/10.1364/OPEX.13.003252>
- Jaffe GJ, Caprioli J. Optical coherence tomography to detect and manage retinal disease and glaucoma. *Am J Ophthalmol* 2004; 137:156–169. [https://doi.org/10.1016/S0002-9394\(03\)00792-X](https://doi.org/10.1016/S0002-9394(03)00792-X)
- Costa RA, Skaf M, Melo LA Jr, Calucci D, Cardillo JA, Castro JC, et al. Retinal assessment using optical coherence tomography. *Prog Retin Eye Res* 2006; 25:325–353. <https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2006.03.001>
- Simpson T, Fonn D. Optical coherence tomography of the anterior segment. *Ocul Surf* 2008; 6:117–127. [https://doi.org/10.1016/S1542-0124\(12\)70280-X](https://doi.org/10.1016/S1542-0124(12)70280-X)
- Radhakrishnan S, Rollins AM, Roth JE, Yazdanfar S, Westphal V, Bardenstein DS, Izatt JA. Real-time optical coherence tomography of the anterior segment at 1310nm. *Arch Ophthalmol* 2001; 119:1179–1185. doi:10.1001/archophth.119.8.1179
- Gora M, Karnowski K, Szkulmowski M, Kaluzny BJ, Huber R, Kowalczyk A, Wojtkowski M. Ultra high-speed swept source OCT imaging of the anterior segment of human eye at 200kHz with adjustable imaging range. *Opt Express* 2009; 17:14880–14894. <https://doi.org/10.1364/OE.17.014880>
- Grulkowski I, Gora M, Szkulmowski M, Gorczynska I, Szigal D, Marcos S, et al. Anterior segment imaging with Spectral OCT system using a high-speed CMOS camera. *Opt Express* 2009; 17:4842–4858. <https://doi.org/10.1364/OE.17.004842>
- Auffarth GU, Wang L, Völcker HE. Keratoconus evaluation using the Orbscan Topography System. *J Cataract Refract Surg* 2000; 26:222–228. DOI: 10.1016/S0886-3350(99)00355-7
- Haque S, Simpson T, Jones L. Corneal and epithelial thickness in keratoconus: a comparison of ultrasonic pachymetry, Orbscan II, and optical coherence tomography. *J Refract Surg* 2006; 22:486–493. <https://doi.org/10.3928/1081-597X-20060501-11>
- Swartz T, Marten L, Wang M. Measuring the cornea: the latest developments in corneal topography. *Curr Opin Ophthalmol* 2007; 18:325–333. DOI: 10.1097/ICU.0b013e3281ca7121
- Wirbelauer C, Gochmann R, Pham DT. Imaging of the anterior eye chamber with optical coherence tomography. *Klin Monbl Augenheilkd* 2005; 222:856–862. DOI: 10.1055/s-2005-858797
- Wirbelauer C, Scholz C, Hoerauf H, Pham DT, Laqua H, Birngruber R. Noncontact corneal pachymetry with slit lamp-adapted optical coherence tomography. *Am J Ophthalmol* 2002; 133:444–450. [https://doi.org/10.1016/S0002-9394\(01\)01425-8](https://doi.org/10.1016/S0002-9394(01)01425-8)
- Munnerlyn CR, Koons SJ, Marshall J. Photorefractive keratectomy: a technique for laser refractive surgery. *J Cataract Refract Surg* 1988; 14:46–52. DOI: 10.1016/s0886-3350(88)80063-4
- Tang M, Li Y, Avila M, Huang D. Measuring total corneal power before and after laser in situ keratomileusis with high-speed optical coherence tomography. *J Cataract Refract Surg* 2006; 32:1843–1850. DOI: 10.1016/j.jcrs.2006.04.046
- Rabinowitz YS, Li X, Canedo AL, Ambrósio RJr, Bykhovskaya Y. Optical coherence tomography combined with videokeratography to differentiate mild keratoconus subtypes. *J Refract Surg* 2014;

- 30:80–87. Diagnosis of keratoconus with OCT Abozaid and Mohammed 45. <https://doi.org/10.3928/1081597X-20140120-02>
26. Khurana RN, Li Y, Tang M, Lai MM, Huang D. High-speed optical coherence tomography of corneal opacities. *Ophthalmology* 2007; 114:1278–1285. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2006.10.033>
27. Sandali O, El Sanharawi M, Temstet C, Hamiche T, Galan A, Ghouali W, et al. Fourier-domain optical coherence tomography imaging in keratoconus: a corneal structural classification. *Ophthalmology* 2013; 120:2403–2412. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2013.05.027>
28. Wang C, Xia X, Tian B, Zhou S. Comparison of Fourier-domain and timedomain optical coherence tomography in the measurement of thinnest corneal thickness in keratoconus. *J Ophthalmol* 2015; 2015:402925. <https://doi.org/10.1155/2015/402925>
29. Kawana K, Tokunaga T, Miyata K, Okamoto F, Kiuchi T, Oshika T. Comparison of corneal thickness measurements using Orbscan II, non-contact specular microscopy, and ultrasonic pachymetry in eyes after laser in situ keratomileusis. *Br J Ophthalmol* 2004; 88:466–468. <https://doi.org/10.1136/bjo.2003.030361>
30. Doors M, Cruysberg LP, Berendschot TT, de Brabander J, Verbakel F, Webers CA, Nuijts RM. Comparison of central corneal thickness and anterior chamber depth measurements using 3 imaging technologies in normal eyes and after phakic intraocular lens implantation. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2009; 247:1139–1146. <https://doi.org/10.1007/s00417-009-1086-6>
31. Prospero Ponce CM, Rocha KM, Smith SD, Krueger RR. Central and peripheral corneal thickness measured with optical coherence tomography, Scheimpflug imaging, and ultrasound pachymetry in normal, keratoconussuspect, and post-laser in situ keratomileusis eyes. *J Cataract Refract Surg* 2009; 35:1055–1062. DOI: 10.1016/j.jcrs.2009.01.022
32. Туйчибаева Д. М., Ким А. А. Эпидемиологические аспекты кератоконуса: обзор литературы. *Передовая Офтальмология*. 2023;1(1):147-151. <https://doi.org/10.57231/j.ao.2023.1.1.035>
33. Туйчибаева Д. М., Ким А. А. Распространенность и факторы риска кератоконуса (обзор литературы). *Med Union*. 2023;2(1):106-114.
34. Wang, H., Zhu, LS., Pang, CJ. et al. Repeatability assessment of anterior segment measurements in myopic patients using an anterior segment OCT with placido corneal topography and agreement with a swept-source OCT. *BMC Ophthalmol* 24, 182 (2024). <https://doi.org/10.1186/s12886-024-03448-z>
35. Туйчибаева Д. М., Ким А. А. Совершенствование лечения кератоконуса методом имплантации интрастромальных роговичных сегментов. *Передовая офтальмология*. 2023; 2(2):79-83. <https://doi.org/10.57231/j.ao.2023.2.2.014>
36. Туйчибаева Д. М., Ким А. А. Совершенствование лечения кератоконуса методом имплантации интрастромальных роговичных сегментов. *Передовая офтальмология*. 2023; 4(4):44-50 <https://doi.org/10.57231/j.ao.2023.4.4.007>