

<https://doi.org/10.33791/2222-4408-2020-3-43-51>

УДК 617.713-072.1-7

Визуализация и оценка передней поверхности роговицы с помощью видеокератотопографии (часть II)

Андрienко Гульнара В.АНО «Национальный институт миопии»,
125438, Российская Федерация, Москва, Михалковская ул., д. 63Б, стр. 4**Резюме**

Цель. Ознакомить врачей-офтальмологов и оптометристов с основами корнеотопографии – важным методом оценки регулярности поверхности роговицы, нарушение которой приводит к ухудшению преломляющих свойств роговицы и снижению качества зрения. В первой части практикума (The EYE GLAZ. 2020 (22), № 2) были представлены основные типы топографических карт и кератометрические данные. Во второй части предложены рекомендации по приобретению навыков получения качественных снимков,

выбору цветowych карт для анализа, топографические паттерны в норме и при патологии, а также топографические признаки кератоконуса. **Заключение.** Устройства на основе диска Placido – полезный инструмент для оценки передней поверхности роговицы, подбора контактных линз и диагностики кератоконуса. Топографы на основе щелевого сканирования дополнительно дают представление о пахиметрии и задней поверхности роговицы, что позволяет провести экспертную оценку в диагностике кератоконуса на доклинической стадии.

Ключевые слова: роговица, кератометрия, корнеотопография, астигматизм, кератоконус, ортокератология, жесткие контактные линзы

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: автор не получал финансирования при написании статьи.

Для цитирования: Андрienко Г.В. Визуализация и оценка передней поверхности роговицы с помощью видеокератотопографии. The EYE GLAZ. 2020;22(3):43–51. <https://doi.org/10.33791/2222-4408-2020-3-43-51>

Поступила: 26.08.2020

Принята после доработки: 31.08.2020

Опубликована: 30.09.2020

© Андрienко Г.В., 2020.

Visualization and assessment of the anterior surface of the cornea by corneal topography (Part II)

Gulnara V. AndrienkoNational Myopia Institute,
63B, bld. 4, Mikhalkovskaya St., Moscow, 125438, Russian Federation**Abstract**

Goal. To introduce ophthalmologists and optometrists to the basics of corneal topography. Corneal topography is the main method for assessing corneal surface regularity, the violation of which leads to a deterioration in its refractive properties and a decrease in the quality of vision. The first part of the workshop (The EYE GLAZ. 2020 (22), № 2) presented the main types of topography maps and keratometry data. In the second part, considerations are made regarding mastering the skills of capturing

high-quality images and choice of color maps for analysis. Topography patterns as well as topographic signs of keratoconus are also discussed. **Conclusion.** Placido-based corneal topographers are a useful tool for evaluating the anterior corneal surface, fitting contact lenses and diagnosing keratoconus. Slit-scanning topographers, additionally, are capable of corneal pachymetry and analyzing the posterior surface of the cornea, which allows for carrying out a more detailed assessment and diagnosing keratoconus at preclinical stage.

Keywords: cornea, keratometry, corneal topography, astigmatism, keratoconus, orthokeratology, rigid contact lenses

Conflict of interest: the author declares that there is no conflict of interest.

Funding: the author received no specific funding for this work.

For citation: Andrienko G.V. Visualization and assessment of the anterior surface of the cornea by corneal topography (Part II). The EYE GLAZ. 2020;22(3):43–51. <https://doi.org/10.33791/2222-4408-2020-3-43-51>

Received: 26.08.2020

Accepted: 31.08.2020

Published: 30.09.2020

© Andrienko G.V., 2020.

Продолжим изучать визуализацию и оценку передней поверхности роговицы методом видеокератотопографии. При всей кажущейся простоте кератотопографическое исследование с помощью отражающих систем Пласидо имеет ряд особенностей, которые необходимо учитывать. Диагностическая ценность метода зависит не только от достоверного анализа полученной информации, но и от высокого качества полученных изображений. Например, изменение стабильности прекорнеальной слезной пленки может отражаться на качестве топографического изображения сильнее, чем изменения роговичного эпителия [1]. На точность кератотопографических измерений могут влиять даже незначительные на первый взгляд детали – отклонение от точки фиксации, движение глазных яблок и головы.

Наиболее частыми причинами артефактов на корнеотопограммах могут стать:

- а) тень на роговице от ресниц, верхнего века (рис. 1), переносицы или надбровной дуги;
- б) птоз или недостаточное открытие глаза;
- в) неровности слоя слезной пленки (сухой глаз, слизистое отделяемое, избыточное содержание липидов);
- г) слишком близкое рабочее расстояние во время съемки топографом с малым конусом;
- д) грубая деформация изображения колец при выраженной патологии поверхности роговицы.

Правила проведения исследования

Чтобы избежать погрешности в измерении, следует обращать внимание на следующие условия выполнения исследования.

1. Обеспечьте комфортное для пациента положение во время исследования. Проконтролируйте положение подбородка и лба пациента. Попросите сомкнуть зубы.

2. Если нет возможности приблизить прибор и сделать снимок или же видна значительная тень от переносицы – слегка разверните лицо пациента в противоположную измеряемому глазу сторону.

3. Дайте четкую инструкцию, куда пациент должен смотреть. Доступно объясните, как выглядит в приборе центральная метка, на которую он будет смотреть. Попросите два раза моргнуть и максимально широко открыть глаза.

4. В процессе наведения оцените на дисплее прибора, четко ли видны отражающиеся от поверхности роговица кольца мишени, нет ли разрывов, смещения или расплывчатости изображения. Если линии колец деформируются, попросите пациента дополнительно моргнуть или закапайте увлажняющие капли.

5. Перемещая прибор, совместите ориентационные метки на дисплее для осуществления захвата изображения. При соблюдении всех условий захват изображения происходит автоматически.

6. Сделайте не менее 5 снимков и выберите наилучший (отметьте в окне для комментария как исходный снимок, с которым вы будете делать сравнение). Снимки низкого качества удалите.

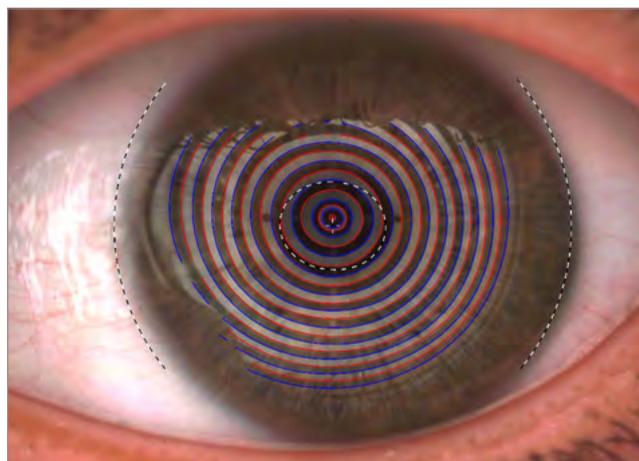


Рис. 1. Необработанное видеокератоскопическое изображение. Сверху видна тень от верхнего века

Fig. 1. Raw keratometry view. In the upper part, the shadow from the upper eyelid is visible

Критериями качественного снимка являются максимальное покрытие, четкие, ровные линии колец без искажений, центральная фиксация взгляда пациента. Вся серия снимков должна быть максимально идентична между собой. В случае обнаружения отличающихся снимков удалите их.

Цветовые карты

В 1996 году Рабинович с соавт. предложили 10 различных топографических схем паттернов видеокератотопографии и количественных показателей, основанных на нормальных роговицах 390 глаз [2]. Сегодня для описания изображения мы используем больше вариантов, которые можно разделить на основные группы: симметричные, асимметричные, изогнутые, специальные и нерегулярные (рис. 2).

Симметричные паттерны являются признаком нормальной роговицы и, по данным Vogau, встречаются примерно в 60% случаев. Асимметричные паттерны, в зависимости от степени выраженности асимметрии, могут свидетельствовать об особенностях нормальной роговицы или являться признаком заболевания. Также выделена группа специальных паттернов, характерных для определенных состоя-

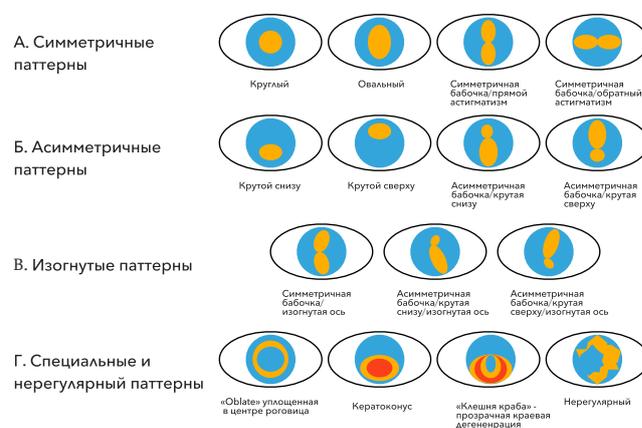


Рис. 2. Топографические паттерны роговицы
Fig. 2. Corneal topography patterns

ний роговицы, таких как кератоконус, прозрачная краевая дегенерация или абляция после рефракционного изменения поверхности роговицы [3, 4].

Умеренно асимметричная роговица может быть особенностью нормальной роговицы или признаком неразвившегося заболевания роговицы, например кератоконуса. Такой пациент нуждается в более глубоком обследовании для того, чтобы отвергнуть или подтвердить наличие у него кератоконуса. Но даже после исключения патологии необычные формы роговицы могут стать причиной затруднений при подборе коррекции зрения у пациента и потребовать от вас большего опыта и знаний.

В зависимости от того, какая информация вам требуется, вы можете выбирать аксиальные, тангенциальные, рефракционные, элевационные карты передней поверхности и дополнительно к ним, при использовании сканирующего топографа, карты задней поверхности роговицы и полной пахиметрии.

Аксиальная карта в некоторых приборах может называться осевой, сагиттальной или стандартной. Эта карта рассчитывается с предположением, что радиус кривизны от каждой точки роговицы имеет начало на сагиттальной оси роговицы (рис. 3а).

Поскольку осевая кривизна напрямую связана с оптической силой роговицы и позволяет соотнести форму передней поверхности с рефракционным статусом пациента, она используется чаще всего. Положительным моментом этой карты является то, что это лучший способ получить быструю оценку оптических качеств роговицы. Однако она мо-

жет вводить в заблуждение при оценке локальных особенностей и периферии роговицы из-за усреднения данных и эффекта «сглаживания» карты. Аксиальные карты идеально подходят для определения центральной кривизны роговицы и выбора параметров контактных линз, поскольку отображается среднее значение центральной кривизны [5].

Тангенциальная карта также может называться моментальной или локальной. Эта карта четко определяет небольшие или «мгновенные» изменения кривизны передней поверхности роговицы. Тангенциальный радиус кривизны рассчитывается в каждой измеренной точке под углом 90° к ее поверхности и не имеет привязки к осевой линии глаза (рис. 3б).

Тангенциальные карты обеспечивают более подробное описание формы роговицы и обеспечивают более четкое представление о деформации роговицы, например у пациента с кератоконусом (рис. 6). Определение размера конуса полезно для выбора идеального дизайна линзы и размера оптической зоны. В рефракционной хирургии и ортокератологии тангенциальные карты определяют положение зоны лечения или эффекта коррекции роговицы. Локализация красного кольца по отношению к зрачку или зрительной оси четко определяет положение зоны рефракционных изменений, поскольку этот дисплей обеспечивает наиболее точные данные о форме роговицы.

Тангенциальная карта может быть успешно использована при подборе бифокальных и мультифокальных контактных линз для оценки центрирования оптики линзы по отношению к зрачку и зрительной оси глаза пациента [6]. Это необходимо для лучшего понимания, как повлияет ношение линзы на качество зрения пациента. Тангенциальная карта также наиболее чувствительна к изменениям кривизны роговицы, вызванным деформацией роговицы в результате ношения контактных линз.

Рефракционная карта позволяет интерпретировать качество зрения. Чем более постоянна или равномерна преломляющая сила в зоне зрачка, тем лучше способность передней поверхности роговицы правильно преломлять свет. На практике рефракционную карту роговицы используют не так часто, поскольку она не предоставляет информацию о кривизне или размере и форме поверхности роговицы. Например, при сравнении результатов до и после изменения формы роговицы рефракционная карта иллюстрирует качественно и количественно изменения поверхности роговицы, как они влияют на качество зрения пациента и положение зоны воздействия по отношению к зрачку. Таким образом, рефракционная карта может помочь вам определить, насколько хорошо пациент видит именно благодаря влиянию поверхности роговицы на остроту зрения.

Элевационная или высотная карта является наиболее подходящим вариантом для понимания истинной формы роговицы. На ней определяется

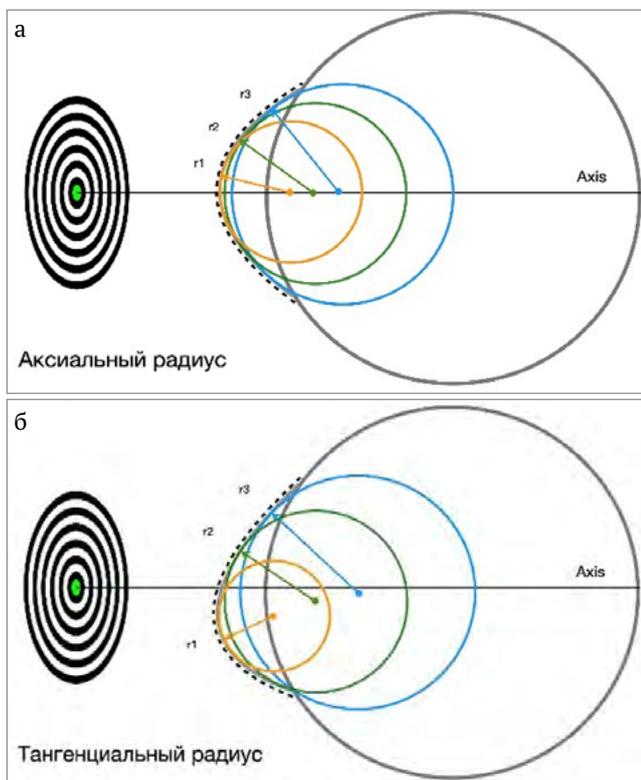


Рис. 3: а. Аксиальный радиус; б. Тангенциальный радиус
Fig. 3: а. Axial radius; б. Tangential radius

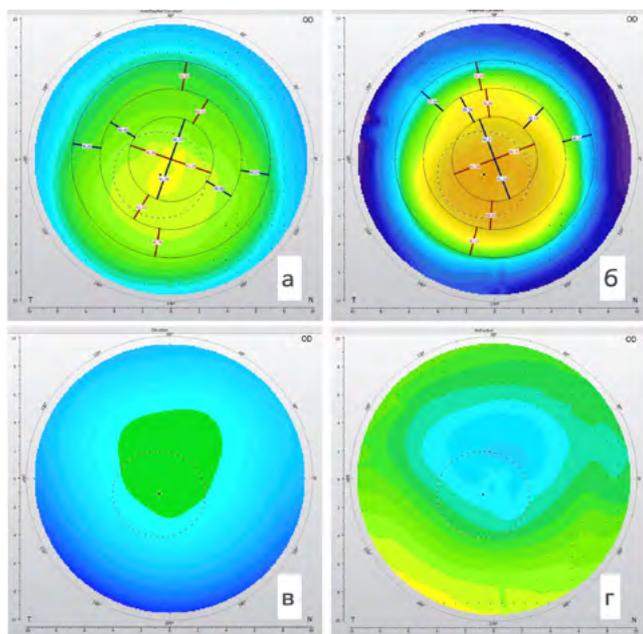


Рис. 4. Нормальная роговица без астигматизма. Цветовые карты: а – аксиальная; б – тангенциальная; в – элевационная; г – рефракционная

Fig. 4. Normal cornea without astigmatism. Color maps: а – axial; б – tangential; в – elevation; г – refractive

высота каждой измеренной точки поверхности роговицы по отношению к «эталонной сфере» или радиусу кривизны, который наилучшим образом соответствует средней кривизне роговицы.

Ниже представлены все 4 вида топографических карт, сделанные с помощью Placido-топографа у пациентов с нормальной роговицей без астигматизма (рис. 4), с астигматизмом (рис. 5) и кератоконусной роговицей (рис. 6).

Важно отметить, что отражающие системы не измеряют фактическую высоту. С помощью фактических измерений кривизны они используют сложные алгоритмы для расчета элевации роговицы, в то время как системы Шаймпфлюга измеряют высоту напрямую, поэтому последняя система может дать наиболее точные данные [7]. Тем не менее обе системы вычисляют области, которые оказываются выше или ниже относительно этой эталонной поверхности, и значения отклонения отображаются в микронах. Область роговицы, которая находится выше уровня сферической поверхности, измеряется в положительных микронах и отображается на карте теплыми оттенками цветовой шкалы (красный). И наоборот, холодные цвета (синий) указывают на то, что поверхность роговицы находится ниже контрольной сферы и измеряется в отрицательных микронах.

Информация об элевации передней поверхности роговицы оказывает существенную помощь при выборе идеальной жесткой линзы для пациента – сферической, торической, кератоконусной или обратной геометрии. Для нерегулярной роговицы, например при значительном кератоконусе, роговичном трансплантате или рубцах роговицы,

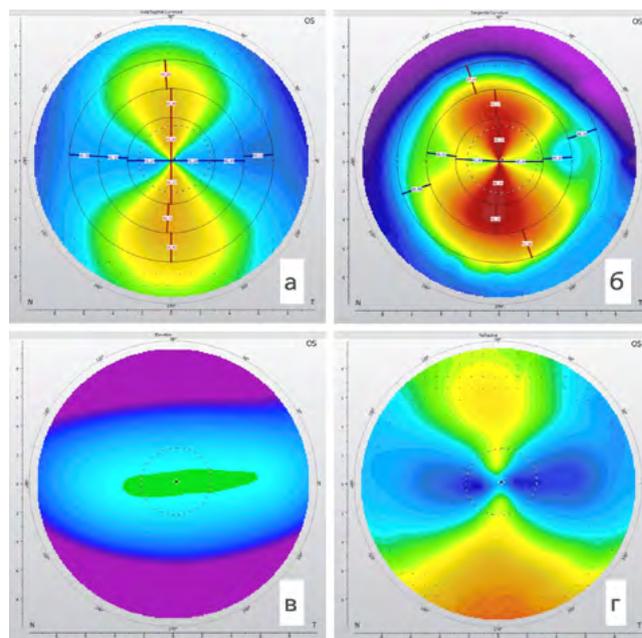


Рис. 5. Нормальная роговица с астигматизмом. Цветовые карты: а – аксиальная; б – тангенциальная; в – элевационная; г – рефракционная

Fig. 5. Normal cornea with regular astigmatism. Color maps: а – axial; б – tangential; в – elevation; г – refractive

элевационная карта еще до примерки диагностических линз поможет сделать выбор между роговичной или склеральной газопроницаемой линзой. Перепад высот, превышающий приблизительно 325 мкм (между самой высокой и самой низкой точкой), приведет к снижению стабильности посадки

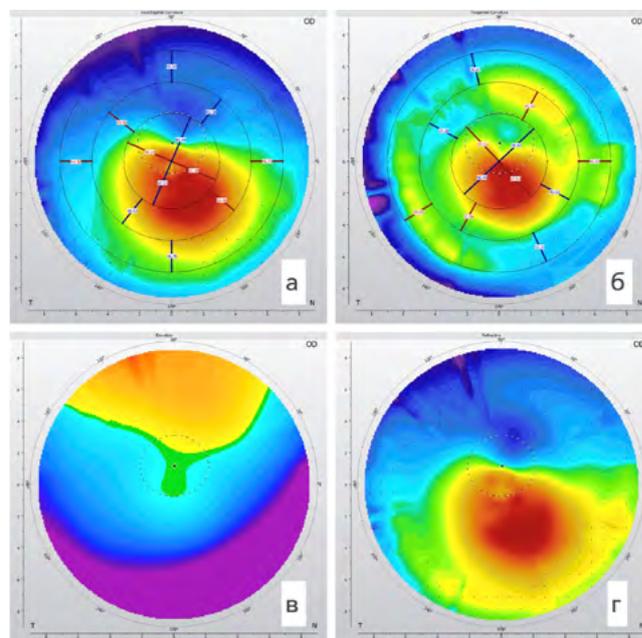


Рис. 6. Патологическая роговица с нерегулярным астигматизмом у пациента с кератоконусом. Цветовые карты: а – аксиальная; б – тангенциальная; в – элевационная; г – рефракционная

Fig. 6. Pathologic cornea with irregular astigmatism in a patient with keratoconus. Color maps: а – axial; б – tangential; в – elevation; г – refractive

роговичной жесткой линзы. При такой разнице в высоте роговичная линза будет неустойчива, периодически выпадать, часто вызывать дискомфорт и нестабильное зрение у пользователей. В таком случае склеральная линза будет более предпочтительна, так как она имеет опору на неизменную склеру. Слезный резервуар над роговицей позволяет склеральной линзе быть менее чувствительной к перепаду высот роговицы. Пациенты в этом случае отмечают более стабильное зрение и комфорт. С другой стороны, при умеренном значении элевационной разницы, когда есть возможность получить хорошую посадку и стабильное зрение в роговичных линзах, не стоит пренебрегать этим методом коррекции, так как роговичные линзы обеспечивают высокое качество зрения при сохранении оптимальной циркуляции слезы под линзой и максимального доступа кислорода [8].

Дополнительно к картам передней поверхности сканирующие системы (Шаймпфлюг) измеряют и заднюю поверхность роговицы (рис. 7). Изменения задней поверхности часто являются первыми индикаторами будущего эктатического заболевания, несмотря на полностью нормальную переднюю поверхность. Осмотр задней поверхности роговицы часто может выявить патологию, которую в противном случае можно было бы упустить, если полагаться только на анализ передней поверхности роговицы. Способность элевационных топографов анализировать переднюю и заднюю поверхности роговицы значительно расширяет наши возможности в идентификации глаз,

которые могут быть подвержены риску развития кератэктазии [9].

Пахиметрическая карта отображения толщины роговицы доступна только в камерах Scheimpflug и в топографах со сканирующей щелью, поскольку эти инструменты измеряют характеристики задней и передней поверхности (рис. 7) [10]. Этот дисплей можно использовать для определения стадии и оценки прогрессирования заболевания (например, кератоконуса) [11]. При активном ношении контактных линз его основное использование заключается в отслеживании изменений толщины роговицы, например из-за гипоксии, связанной с контактными линзами.

Оценка изменений толщины роговицы при ношении контактных линз важна для тех, кто носит склеральные линзы, поскольку они могут быть более подвержены гипоксическим осложнениям. Для этих пациентов полезна карта отображения толщины роговицы [12–15].

Варианты отображения цветowych карт

Дисплей «Обзор» показывает необработанное сырое кератоскопическое изображение колец Placido. На этом дисплее следует оценить качество снимка и возможность его дальнейшего анализа. При наличии деформации колец из-за разрыва слезной пленки, тени от ресниц, неполного раскрытия глазной щели, отклонения взора от точки фиксации снимок расценивается как некачественный и должен быть удален.

Дисплей «Одна карта» показывает одно исследование для выбранного пациента; рекомендуется для базового скрининга. Вы можете выбирать, какую карту вы будете исследовать: аксиальную, тангенциальную или любую другую.

Дисплей «4 карты» может отображать четыре цветowych в любом сочетании одного и того же обследования для выбранного пациента. Этот дисплей является полезным обзором для всесторонней оценки.

Дисплей разницы, или сравнение двух измерений, показывает два исследования для одного глаза и разницу между ними: $C = A - B$.

На карте сравнения вы видите разницу между двумя картами роговицы, сделанными в различные моменты времени, что может быть очень полезно при мониторинге изменений роговицы от одного исследования к другому. Эта функция вычитает каждую измеренную точку одной карты из другой. На дисплее будут отображаться обе выбранные карты и третья карта, представляющая разницу (рис. 8). На сравнительной карте зоны, где роговица стала более плоской, отображаются более холодными цветами (синим), а участки роговицы, которые стали более крутыми, представлены более теплыми цветами (красным). Результат: вы можете точно измерить изменения роговицы, произошедшие после рефракционного воздействия или в связи с ее заболеванием (кератоконус и пр.).

Дисплей OD/OS сравнение отображает два разных вида исследования правого и левого глаза

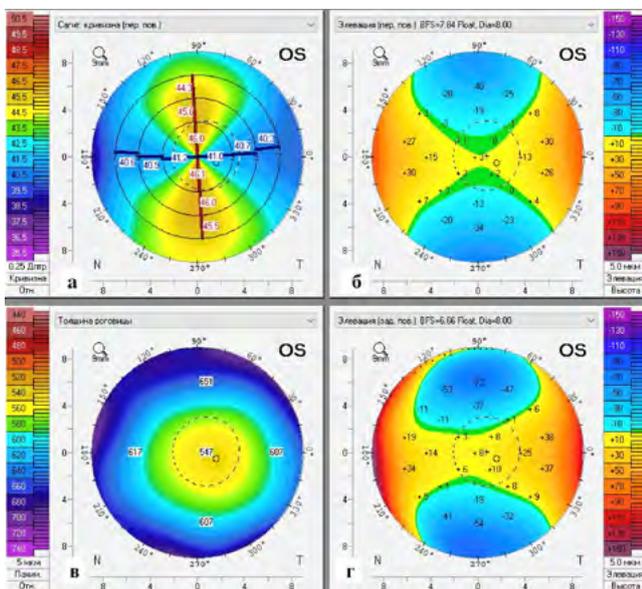


Рис. 7. Корнеотопограммы передней и задней поверхности роговицы пациента с регулярным астигматизмом. Цветовые карты: а – аксиальная передней поверхности; б – элевационная передней поверхности; в – пахиметрическая и г – элевационная задней поверхности

Fig. 7. Corneal topography images of the anterior and posterior surfaces of the cornea of a patient with regular astigmatism. Color maps: а – axial anterior surface; б – elevation anterior surface; в – pachymetry and г – elevation posterior surface

для одного и того же пациента на одном экране. Рекомендуемое использование – для наблюдения различий и сходств между формой роговицы правого и левого глаза пациента и определения клинической значимости патологии роговицы на одном глазу по сравнению с другим.

В зависимости от модели прибора вам могут быть доступны и другие дисплеи. Тщательно изучите инструкцию к вашему корнеотопографу, чтобы освоить все полезные функции прибора.

Топографические индексы оценки поверхности роговицы

Применение топографии роговицы как процесса математической обработки данных о форме ее поверхности привело к созданию специальных индексов, позволяющих количественно оценить уровень нерегулярности роговицы [16]. На основе анализа этих данных были проведены клинические исследования, в которых пытались определить пороговые значения, чтобы различить нормальную и патологическую роговицу, а также классифицировать кератоконус по степени тяжести заболевания. В научной литературе существует множество индексов. В зависимости от подхода к анализу это может быть отдельный индекс или комбинация индексов, позволяющая интерпретировать основные топографические характеристики роговицы. К сожалению, некоторые индексы имеют высокую степень специфичности для каждой модели топографа роговицы и не могут быть напрямую экстраполированы на другие топографы. Рассмотрим наиболее часто встречающиеся топографические индексы.

Симулированная кератометрия (Sim K). Эквивалент кератометрии, который рассчитывается в зоне 3 мм по оси сильного меридиана и оси, отличающейся на 90°. Разница между ними является значением цилиндра.

Центральная кератометрия (K central). Это среднее значение силы роговицы для колец диаметром 2, 3 и 4 мм. Значения ниже 47,2 дптр считаются нормальными, а значения между 47,2 и 48,7 дптр считаются вероятным кератоконусом. Значения выше 48,7 дптр – клинический кератоконус [17].

Минимальная кератометрия (Min K) – значение кератометрии по самому плоскому меридиану.

Сферэквивалентное значение оптической силы роговицы (SEP – Sphero Equivalent Power). Усредненная оптическая сила во всех меридианах в области 3 мм.

Эксцентриситет (e) – один из математических показателей формы роговицы, который измеряет скорость уплощения роговицы от вершины к периферии вдоль определенной оси. Сферичные роговицы имеют меньшие значения «e» по сравнению с кератоконусными роговицами, которые имеют гораздо более крутую вершину и с большей скоростью уплощаются к периферии. Значение эксцентриситета также является показателем сагиттальной высоты роговицы. Роговицы с более низким значением «e» более сферичны и имеют большую сагиттальную

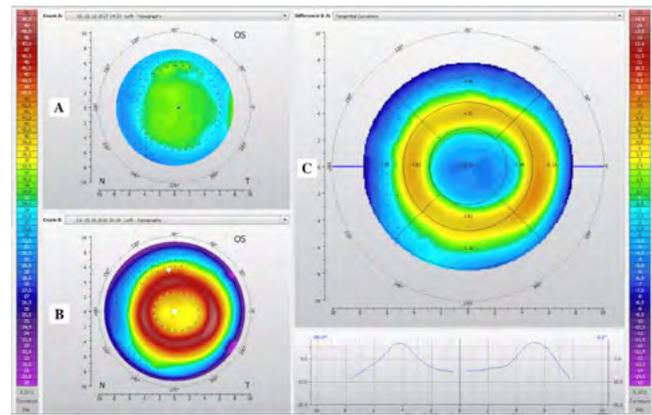


Рис. 8. Сравнительная карта на фоне использования ортокератологических линз. Карта А до начала ношения, карта В после и С – карта разницы между данными А и В
Fig. 8. Differential map in the setting of use of orthokeratology lenses. Map A – before wearing ortho-k lenses, map B – after wearing ortho-k lenses, C – a differential map (between A and B)

высоту, тогда как роговицы с более высоким значением «e» имеют более низкую сагиттальную высоту.

Фактор формы (e²) является мерой асферичности роговицы и производной эксцентриситета. Он обозначается как e². Коэффициент формы отличается от эксцентриситета тем, что может иметь как положительные значения для роговицы более крутой в центре (prolate), так и низкие положительные или отрицательные значения для уплощенной роговицы (oblate). Пациенты с кератоконусом имеют сильно вытянутую роговицу с высокими значениями коэффициента формы.

Коэффициент асферичности (Q) – индекс, который описывает, как кривизна роговицы изменяется от центральной области к периферии. Для нормальной роговицы, представляющей собой вытянутый эллипс, значение Q равно -0,20 ± 0,12. Физически это интерпретируется как роговица более крутая в центре, чем на периферии.

Величина асферичности роговицы зависит от диаметра исследования, это необходимо учитывать при оценке эксцентриситета (e), фактора формы (e²) и коэффициента асферичности (Q) [18, 19].

Индекс асимметрии поверхности (SAI – Surface Asymmetry Index): разница преломляющей силы роговицы между точками, расположенными под углом 180° в одном том же кольце. У осесимметричной поверхности будет равным нулю [20].

Индекс регулярности поверхности (SRI – Surface Regularity Index) – это показатель локальной регулярности поверхности в центральной области 4,5 мм. Он хорошо коррелирует со значением остроты зрения (p = 0,80, P < 0,001), если предположить, что роговица является единственным ограничивающим фактором для зрения. Нормальная роговица имеет значения SRI ниже 0,56 [21]. Более высокие значения свидетельствуют о высокой неравномерности поверхности и снижении качества зрения.

Нижне-верхнее значение (I-S V – Inferior-Superior Value) рассчитывается из разницы между пятью

точками в 3 мм зоне ниже и выше центра с интервалом в 30°. Положительное значение встречается чаще и означает, что в нижней части роговица круче. Отрицательные значения I-S встречаются реже и указывают, что верхняя роговица круче, чем нижняя роговица. Значение индекса более 1,4 может быть признаком кератоконуса [22].

Изгиб или наклон радиальной оси крутого меридиана (SRAX – skewed radial axes) – измеряет угол между более крутым верхним полумеридианом и более крутым нижним полумеридианом. Наименьший угол между этими полумеридианами вычитается из 180°, и результат в градусах представляет собой индекс SRAX. Значение более 20° считается показателем кератоконуса, но из-за высокого разброса значений в некоторых астигматических роговицах это имеет значение только в том случае, если астигматизм роговицы превышает 1,5 дптр [23].

Комплексные статистические индексы применяются для более полной оценки формы роговицы.

Индекс KISA% – это количественная оценка топографических особенностей у пациентов с кератоконусом на основании 4-х индексов роговицы:

- К – центральная кератометрия роговицы;
- I-S – ниже-верхняя оптическая асимметрия;
- AST – степень регулярного роговичного астигматизма (SimK1 и Sim K2);
- SRAX – угол отклонения от перпендикуляра осей главных меридианов.

Значение индекса до 100% характерно для нормальной роговицы [24].

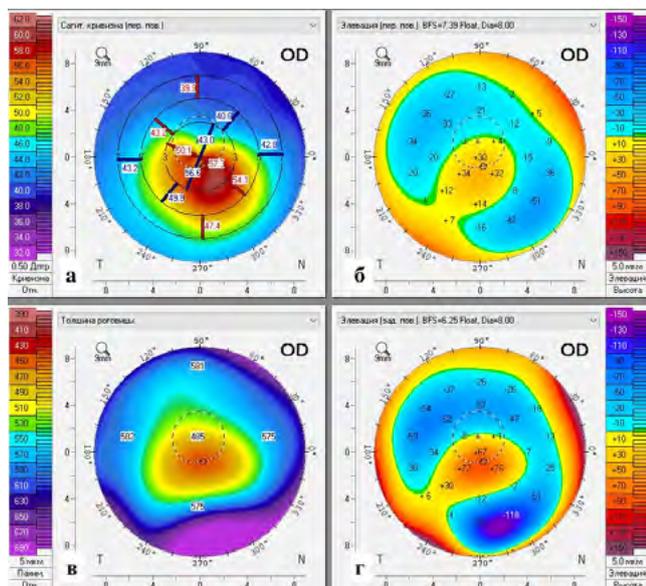


Рис. 9. Корнеотопограммы передней и задней поверхности роговицы пациента с кератоконусом. Цветовые карты: а – аксиальная передней поверхности; б – элевационная передней поверхности; в – пахиметрическая и г – элевационная задней поверхности

Fig. 9. Corneal topography images of the anterior and posterior surfaces of the cornea of a patient with keratoconus. Color maps: a – axial anterior surface; б – elevation anterior surface; в – pachymetry and г – elevation posterior surface

Топографические признаки кератоконуса

Диагностика клинически очевидного кератоконуса, как правило, не представляет затруднения. Неясность может возникнуть при выявлении доклинической формы кератоконуса или так называемой *forme fruste* – атипичного или неполного проявления заболевания, подразумевающей незавершенность и частичное присутствие симптомов [25].

По мнению Холладея, изменения, сопровождающие кератоконус, более заметны на задней поверхности роговицы [26]. Элевационные топографы, анализирующие как переднюю, так и заднюю поверхности роговицы, имеют более высокую диагностическую ценность и значительно расширяют способность идентифицировать глаза, «подверженные риску» развития кератоконуса.

Несмотря на то, что большая часть корнеотопографических индексов характеризует переднюю поверхность, для экспертной оценки состояния роговицы и выявления признаков кератоконуса необходимо иметь информацию и о задней поверхности роговицы и ее толщине. Ниже представлены наиболее часто оцениваемые параметры [27] для диагностики кератоконуса.

Аксиальная карта передней поверхности:

- а) кератометрия более 48,00 дптр;
- б) угол радиальной оси (SRAX) более 22°;
- в) разница между верхней и нижней областью (S-I) в кольце 5 мм более 2,50 дптр;
- д) разница между нижней и верхней областью (I-S) более 1,50 дптр;
- е) роговичный астигматизм более 6,00 дптр рассматривается как фактор риска;
- ф) обратный астигматизм рассматривается как фактор, вызывающий подозрение.

Пахиметрическая карта:

- (а) верхне-нижнее значение в кольце 5 мм более 30 микрон;
- (б) толщина в самом тонком месте менее 470 микрон;
- (в) разница между апексом и самым тонким местом более 10 микрон;
- (д) разница между правым и левым глазом в самом тонком месте более 30 микрон [28].

Элевационная карта:

- (а) передняя поверхность в центральной зоне 5 мм: возвышение над эталонной асферо-торической поверхностью более 12 микрон;
- (б) задняя поверхность в центральной зоне 5 мм: возвышение над эталонной асферо-торической поверхностью более 15 микрон.

Дисплей с изображением перечисленных карт у пациента с кератоконусом представлен на рис. 9.

Обнаружение субклинического кератоконуса является одним из наиболее важных этапов в предоперационном обследовании пациентов перед проведением рефракционного хирургического вмешательства для предотвращения ятрогенной эктазии. Для пациентов с выявленным кератоконусом топографические показатели позволяют

определить стадию заболевания, оценить скорость прогрессирования и выбрать метод лечения и коррекции зрения [29].

Заключение

Правильно выполненная топография роговицы хорошего качества – отличный инструмент для оценки поверхности роговицы и диагностики патологии. Топографические индексы могут помочь обнаружить и классифицировать ранние и пограничные случаи кератоконуса. Устройства на осно-

ве диска Placido, оставаясь полезным инструментом для оценки поверхности роговицы, подбора контактных линз и диагностики кератоконуса, не могут оценить заднюю поверхность роговицы, необходимую для ранней диагностики заболевания. Топографы на основе щелевого сканирования могут помочь визуализировать заднюю поверхность роговицы и дать точное представление о пахиметрии всей роговицы. Эти методы позволяют провести экспертную оценку в диагностике кератоконуса на доклинической стадии.

Литература

1. Балашевич Л.И., Качанов А.Б. Клиническая корнеотопография и aberrometry. М.: ФГБУ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова»; 2008. 167 с.
2. Rabinowitz Y.S., Yang H., Brickman Y., et al. Videokeratography database of normal human corneas. *Br. J. Ophthalmol.* 1996;80(7):610–616. <https://doi.org/10.1136/bjo.80.7.610>
3. Bogan S.J., Waring G.O. 3rd, Ibrahim O., Drews C., Curtis L. Classification of normal corneal topography based on computer-assisted videokeratography. *Arch. Ophthalmol.* 1990;108(7):945–949. <https://doi.org/10.1001/archophth.1990.01070090047037>
4. Li X., Yang H., Rabinowitz Y.S. Keratoconus: classification scheme based on videokeratography and clinical signs. *J. Cataract Refract. Surg.* 2009;35(9):1597–1603. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2009.03.050>
5. Lebow K. Learning the intricacies of axial and tangential maps. *Contact Lens Spectrum.* September 1, 1999.
6. Naroo S., et al. Corneal topography in assessing multifocal CL centration. *Abstracts. Contact Lens & Anterior Eye.* 2018;41S:S47–S80.
7. Oliveira C.M., Ribeiro C., Franco S. Corneal imaging with slit-scanning and Scheimpflug imaging techniques. *Clin. Exp. Optom.* 2011;94(1):33–42. <https://doi.org/10.1111/j.1444-0938.2010.00509.x>
8. Walker M. Mapping out corneal topography: understanding the ins and outs of corneal imaging will help you better manage contact lens patients in your practice. *Review of Optometry.* 2017;154(8):60.
9. Belin M.W., Khachikian S.S. An introduction to understanding elevation-based topography: how elevation data are displayed – a review. *Clin. Exp. Ophthalmol.* 2009;37(1):14–29. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9071.2008.01821.x>
10. Liu Z., Huang A.J., Pflugfelder S.C. Evaluation of corneal thickness and topography in normal eyes using the Orbscan corneal topography system. *Br. J. Ophthalmol.* 1999;83(7):774–778. <https://doi.org/10.1136/bjo.83.7.774>
11. Ambrósio R. Jr, Alonso R.S., Luz A., Coca Velarde L.G. Corneal-thickness spatial profile and corneal-volume distribution: tomographic indices to detect keratoconus. *J. Cataract Refract. Surg.* 2006;32(11):1851–1859. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2006.06.025>
12. Mountford J., Carkeet N., Carney L. Corneal thickness changes during scleral lens wear: effect of gas permeability. *Int. Contact Lens Clin.* 1994;21(1–2):19–22.
13. Compan V., Oliveira C., Aguilera-Arzo M., et al. Oxygen diffusion and edema with modern scleral rigid gas permeable contact lenses. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2014;55(10):6421–6429.
14. Jaynes J., Edrington T., Weissman B. Predicting scleral GP lens entrapped tear layer oxygen tensions. *Contact Lens Anterior Eye.* 2015;38:44–47.
15. Michaud L., van der Worp E., Brazeau D., et al. Predicting estimates of oxygen transmissibility for scleral lenses. *Contact Lens Anterior Eye.* 2012;35(6):266–271.

References

1. Balashevich L.I., Kachanov A.B. Clinical corneotopography and aberrometry. Moscow: S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution; 2008. 168 p. (In Russ.)
2. Rabinowitz Y.S., Yang H., Brickman Y., et al. Videokeratography database of normal human corneas. *Br. J. Ophthalmol.* 1996;80(7):610–616. <https://doi.org/10.1136/bjo.80.7.610>
3. Bogan S.J., Waring G.O. 3rd, Ibrahim O., Drews C., Curtis L. Classification of normal corneal topography based on computer-assisted videokeratography. *Arch. Ophthalmol.* 1990;108(7):945–949. <https://doi.org/10.1001/archophth.1990.01070090047037>
4. Li X., Yang H., Rabinowitz Y.S. Keratoconus: classification scheme based on videokeratography and clinical signs. *J. Cataract Refract. Surg.* 2009;35(9):1597–1603. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2009.03.050>
5. Lebow K. Learning the intricacies of axial and tangential maps. *Contact Lens Spectrum.* September 1, 1999.
6. Naroo S., et al. Corneal topography in assessing multifocal CL centration. *Abstracts. Contact Lens & Anterior Eye.* 2018;41S:S47–S80.
7. Oliveira C.M., Ribeiro C., Franco S. Corneal imaging with slit-scanning and Scheimpflug imaging techniques. *Clin. Exp. Optom.* 2011;94(1):33–42. <https://doi.org/10.1111/j.1444-0938.2010.00509.x>
8. Walker M. Mapping out corneal topography: understanding the ins and outs of corneal imaging will help you better manage contact lens patients in your practice. *Review of Optometry.* 2017;154(8):60.
9. Belin M.W., Khachikian S.S. An introduction to understanding elevation-based topography: how elevation data are displayed – a review. *Clin. Exp. Ophthalmol.* 2009;37(1):14–29. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9071.2008.01821.x>
10. Liu Z., Huang A.J., Pflugfelder S.C. Evaluation of corneal thickness and topography in normal eyes using the Orbscan corneal topography system. *Br. J. Ophthalmol.* 1999;83(7):774–778. <https://doi.org/10.1136/bjo.83.7.774>
11. Ambrósio R. Jr, Alonso R.S., Luz A., Coca Velarde L.G. Corneal-thickness spatial profile and corneal-volume distribution: tomographic indices to detect keratoconus. *J. Cataract Refract. Surg.* 2006;32(11):1851–1859. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2006.06.025>
12. Mountford J., Carkeet N., Carney L. Corneal thickness changes during scleral lens wear: effect of gas permeability. *Int. Contact Lens Clin.* 1994;21(1–2):19–22.
13. Compan V., Oliveira C., Aguilera-Arzo M., et al. Oxygen diffusion and edema with modern scleral rigid gas permeable contact lenses. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2014;55(10):6421–6429.
14. Jaynes J., Edrington T., Weissman B. Predicting scleral GP lens entrapped tear layer oxygen tensions. *Contact Lens Anterior Eye.* 2015;38:44–47.
15. Michaud L., van der Worp E., Brazeau D., et al. Predicting estimates of oxygen transmissibility for scleral lenses. *Contact Lens Anterior Eye.* 2012;35(6):266–271.

16. Cavas-Martínez F., De la Cruz Sánchez E., Nieto Martínez J., Fernández Cañavate F.J., Fernández-Pacheco D.G. Corneal topography in keratoconus: state of the art. *Eye Vis. (Lond.)*. 2016;3:5. <https://doi.org/10.1186/s40662-016-0036-8>
17. Maeda N., Klyce S.D., Smolek M.K., Thompson H.W. Automated keratoconus screening with corneal topography analysis. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 1994;35(6):2749–2757.
18. Calossi A. Corneal asphericity and spherical aberration. *J. Refract. Surg.* 2007;23(5):505–514.
19. Benes P., Synek S., Petrová S. Corneal shape and eccentricity in population. *Coll. Antropol.* 2013;37(Suppl 1):117–120.
20. Dingeldein S.A., Klyce S.D., Wilson S.E. Quantitative descriptors of corneal shape derived from computer-assisted analysis of photokeratographs. *Refract Corneal Surg.* 1989;5(6):372–378.
21. Liu Z., Pflugfelder S.C. Corneal surface regularity and the effect of artificial tears in aqueous tear deficiency. *Ophthalmology*. 1999;106(5):939–943. [https://doi.org/10.1016/S0161-6420\(99\)00513-8](https://doi.org/10.1016/S0161-6420(99)00513-8)
22. Wahba S.S., Roshdy M.M., Fikry R.R., Abdellatif M.K., Abodarahim A.M. Topographic asymmetry indices: correlation between inferior minus superior value and index of height decentration. *J. Ophthalmol.* 2018;2018:7875148. <https://doi.org/10.1155/2018/7875148>
23. Wilson S.E., Lin D.T., Klyce S.D. Corneal topography of keratoconus. *Cornea*. 1991;10(1):2–8.
24. Rabinowitz Y.S., Rasheed K. KISA% index: a quantitative videokeratography algorithm embodying minimal topographic criteria for diagnosing keratoconus [published correction appears in *J. Cataract Refract. Surg.* 2000 Apr;26(4)480]. *J. Cataract Refract. Surg.* 1999;25(10):1327–1335. [https://doi.org/10.1016/s0886-3350\(99\)00195-9](https://doi.org/10.1016/s0886-3350(99)00195-9)
25. Saad A., Gatinel D. Topographic and tomographic properties of forme fruste keratoconus corneas. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2010;51(11):5546–5555. <https://doi.org/10.1167/iovs.10-5369>
26. Holladay J.T. Keratoconus detection using corneal topography. *J. Refract. Surg.* 2009;25(10 Suppl):S958–S962. <https://doi.org/10.3928/1081597X-20090915-11>
27. Lindsay R. *Quick Guide to the management of keratoconus by Sinjab, Mazen M.* New York: Springer, 2012, 151 pages, RRP \$194.95. *Clin. Exp. Optom.* 2013;96(2):254. <https://doi.org/10.1111/j.1444-0938.2012.00811.x>
28. Khachikian S.S., Belin M.W., Ciolino J.B. Intrasubject corneal thickness asymmetry. *J. Refract. Surg.* 2008;24(6):606–609. <https://doi.org/10.3928/1081597X-20080601-09>
29. Du X.L., Chen M., Xie L.X. Correlation of basic indicators with stages of keratoconus assessed by Pentacam tomography. *Int. J. Ophthalmol.* 2015;8(6):1136–1140. <https://doi.org/10.3980/j.issn.2222-3959.2015.06.10>

Информация об авторе

Андриенко Гульнара Владимировна, врач-офтальмолог, научный сотрудник отдела ортокератологии и контроля миопии АНО «Национальный институт миопии»; член Международной академии ортокератологии и контроля миопии и Международной ассоциации преподавателей по контактной коррекции; freshlook71@gmail.com

16. Cavas-Martínez F., De la Cruz Sánchez E., Nieto Martínez J., Fernández Cañavate F.J., Fernández-Pacheco D.G. Corneal topography in keratoconus: state of the art. *Eye Vis. (Lond.)*. 2016;3:5. <https://doi.org/10.1186/s40662-016-0036-8>
17. Maeda N., Klyce S.D., Smolek M.K., Thompson H.W. Automated keratoconus screening with corneal topography analysis. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 1994;35(6):2749–2757.
18. Calossi A. Corneal asphericity and spherical aberration. *J. Refract. Surg.* 2007;23(5):505–514.
19. Benes P., Synek S., Petrová S. Corneal shape and eccentricity in population. *Coll. Antropol.* 2013;37(Suppl 1):117–120.
20. Dingeldein S.A., Klyce S.D., Wilson S.E. Quantitative descriptors of corneal shape derived from computer-assisted analysis of photokeratographs. *Refract Corneal Surg.* 1989;5(6):372–378.
21. Liu Z., Pflugfelder S.C. Corneal surface regularity and the effect of artificial tears in aqueous tear deficiency. *Ophthalmology*. 1999;106(5):939–943. [https://doi.org/10.1016/S0161-6420\(99\)00513-8](https://doi.org/10.1016/S0161-6420(99)00513-8)
22. Wahba S.S., Roshdy M.M., Fikry R.R., Abdellatif M.K., Abodarahim A.M. Topographic asymmetry indices: correlation between inferior minus superior value and index of height decentration. *J. Ophthalmol.* 2018;2018:7875148. <https://doi.org/10.1155/2018/7875148>
23. Wilson S.E., Lin D.T., Klyce S.D. Corneal topography of keratoconus. *Cornea*. 1991;10(1):2–8.
24. Rabinowitz Y.S., Rasheed K. KISA% index: a quantitative videokeratography algorithm embodying minimal topographic criteria for diagnosing keratoconus [published correction appears in *J. Cataract Refract. Surg.* 2000 Apr;26(4)480]. *J. Cataract Refract. Surg.* 1999;25(10):1327–1335. [https://doi.org/10.1016/s0886-3350\(99\)00195-9](https://doi.org/10.1016/s0886-3350(99)00195-9)
25. Saad A., Gatinel D. Topographic and tomographic properties of forme fruste keratoconus corneas. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2010;51(11):5546–5555. <https://doi.org/10.1167/iovs.10-5369>
26. Holladay J.T. Keratoconus detection using corneal topography. *J. Refract. Surg.* 2009;25(10 Suppl):S958–S962. <https://doi.org/10.3928/1081597X-20090915-11>
27. Lindsay R. *Quick Guide to the management of keratoconus by Sinjab, Mazen M.* New York: Springer, 2012, 151 pages, RRP \$194.95. *Clin. Exp. Optom.* 2013;96(2):254. <https://doi.org/10.1111/j.1444-0938.2012.00811.x>
28. Khachikian S.S., Belin M.W., Ciolino J.B. Intrasubject corneal thickness asymmetry. *J. Refract. Surg.* 2008;24(6):606–609. <https://doi.org/10.3928/1081597X-20080601-09>
29. Du X.L., Chen M., Xie L.X. Correlation of basic indicators with stages of keratoconus assessed by Pentacam tomography. *Int. J. Ophthalmol.* 2015;8(6):1136–1140. <https://doi.org/10.3980/j.issn.2222-3959.2015.06.10>

Information about the author

Gulnara V. Andrienko, Ophthalmologist, Scientific Researcher of National Myopia Institute; Fellow of the International Academy Orthokeratology and Myopia Control (FIAOMC) and the International Association of Contact Lens Educators (FIACLE); freshlook71@gmail.com