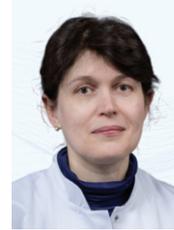


Клиническая значимость изменений прекорнеальной слезной пленки при кератоконусе в интерпретации томографических методов исследования роговицы

А.Ю. Слонимский¹В.В. Аверич^{2,3}Е.В. Суханова²

¹ ООО «Московская Глазная Клиника»
пер. Хользунова, 8, стр. 1, Москва, 119021, Российская Федерация

² ФГБНУ «Научно-исследовательский институт глазных болезней им. М.М. Краснова»
ул. Россолимо, 11а, б, Москва, 119021, Российская Федерация

³ АНО «Национальный институт миопии»
ул. Дегунинская, 7, Москва, 127486, Российская Федерация

РЕЗЮМЕ

Офтальмология. 2025;22(3):618–624

Актуальность. Современные методы кератотопографии и томографии роговицы играют ключевую роль в диагностике, мониторинге и планировании хирургического лечения кератоконуса (КК). Однако на точность измерений при КК может влиять нарушение стабильности прекорнеальной слезной пленки (ПСП), индуцированное синдромом сухого глаза (ССГ). **Цель:** анализ клинической значимости влияния изменений ПСП при КК на интерпретацию данных томографических методов исследования роговицы, а также разработка оптимизированного диагностического протокола для их нивелирования. **Пациенты и методы.** В исследование включены 115 пациентов (230 глаз) с билатеральным неоперированным КК. Проведена комплексная оценка состояния ПСП (биомикроскопия переднего отрезка глаза с применением витальных красителей, определение времени разрыва слезной пленки — проба Норна, общей и базальной слезопродукции — тесты Ширмера и Джонеса), выполнена шаймпфлюг-томография (с оценкой основных топографических индексов, керато- и пахиметрией, а также элевации, асферичности и волнового фронта) до и после инстилляцией слезозаместителя на основе гиалуроната натрия. **Результаты.** Результаты показали значительное нарушение стабильности ПСП у пациентов с КК, что проявлялось снижением времени ее разрыва и высокой интенсивностью окрашивания роговицы. После временной стабилизации ПСП с помощью слезозаместителя зафиксировано достоверное уменьшение индексов передней поверхности роговицы (ISV, IVA, KI, SKI, IS, IHD), показателей кератометрии (K1, K2, Kmean, Kmax) и аберраций (RMS total, LOA, HOA). Выявлены сильные корреляции между состоянием ПСП и топографическими параметрами: положительная — с окрашиванием ($r = 0,621-0,787$), отрицательная — с временем разрыва ПСП ($r = -0,334...-0,787$). **Заключение.** Нарушение ПСП при КК существенно искажает результаты томографии, что может приводить к ошибочной диагностике прогрессирования заболевания. Инстилляцией слезозаместителя перед исследованием повышает точность измерений, минимизируя артефакты, связанные с дестабилизацией ПСП. Внедрение стандартизированной оценки и коррекции ПСП в диагностический алгоритм у пациентов с КК улучшает воспроизводимость данных и обоснованность клинических решений.

Ключевые слова: кератоконус, синдром сухого глаза, слезная пленка, кератотопография, кератотомография, аберрации

Для цитирования: Слонимский А.Ю., Аверич В.В., Суханова Е.В. Клиническая значимость изменений прекорнеальной слезной пленки при кератоконусе в интерпретации томографических методов исследования роговицы. *Офтальмология.* 2025;22(3):618–624. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2025-3-618-624>

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

Конфликт интересов отсутствует.



The Clinical Significance of Changes in the Precorneal Tear Film in Keratoconus in the Interpretation of Tomographic Methods of Corneal Examination

A.Yu. Slonimsky¹, V.V. Averich^{2,3}, E.V. Suhanova²

¹ Moscow Eye Clinic

Kholzunov lane, 8/1, Moscow, 119021, Russian Federation

² Krasnov Research Institute of Eye Diseases

Rossolomo str., 11A, B, Moscow, 119021, Russian Federation

³ National Myopia Institute

Deguninskaya str., 7, Moscow, 127486, Russian Federation

ABSTRACT

Ophthalmology in Russia. 2025;22(3):618-624

Relevance. Modern methods of corneal keratotopography and tomography play a key role in the diagnosis, monitoring, and surgical treatment planning of keratoconus (KC). However, the accuracy of measurements in KC may be affected by instability of the precorneal tear film (PTF) induced by dry eye syndrome (DES). **Purpose:** to evaluate the clinical significance of PTF changes in KC on the interpretation of corneal tomographic data and to develop an optimized diagnostic protocol for minimizing their impact. **Patients and methods.** The study included 115 patients (230 eyes) with bilateral non-operated KC. A comprehensive assessment of PTF status was performed (biomicroscopy of the anterior segment using vital dyes, tear film break-up time — Norn's test, total and basal tear secretion — Schirmer's and Jones' tests), followed by Scheimpflug tomography (evaluating key topographic indices, kerato- and pachymetry, as well as elevation, asphericity, and wavefront aberrations) before and after instillation of sodium hyaluronate-based artificial tears. **Results.** The results revealed significant PTF instability in KC patients, manifested by reduced tear film break-up time and high corneal staining intensity. After temporary PTF stabilization with artificial tears, a significant decrease was observed in anterior corneal surface indices (ISV, IVA, KI, CHI, IS, IHD), keratometry values (K1, K2, Kmean, Kmax), and aberrations (RMS total, LOA, HOA). Strong correlations were found between PTF status and topographic parameters: positive with staining ($r = 0.621-0.787$) and negative with tear film break-up time ($r = -0.334$ to -0.787). **Conclusion.** PTF impairment in KC significantly distorts tomography results, potentially leading to misdiagnosis of disease progression. Instillation of artificial tears prior to examination improves measurement accuracy by minimizing PTF instability-related artifacts. Implementing standardized PTF assessment and correction in the diagnostic algorithm for KC patients enhances data reproducibility and clinical decision-making reliability.

Keywords: keratoconus, dry eye syndrome, tear film, keratotopography, keratotomography, aberrations

For citation: Slonimsky A.Yu., Averich V.V., Suhanova E.V. The Clinical Significance of Changes in the Precorneal Tear Film in Keratoconus in the Interpretation of Tomographic Methods of Corneal Examination / *Ophthalmology in Russia*. 2025;22(3):618-624. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2025-3-618-624>

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

There is no conflict of interests.

Современная офтальмология располагает широким спектром высокоточных методов диагностики роговицы, среди которых особое место занимают кератотопографические и томографические исследования. Эти технологии, основанные на различных физических принципах — от классического метода Пласидо до современных шаймпфлюг-анализаторов, — позволяют детально оценивать анатомо-оптические свойства роговицы, что имеет ключевое значение в диагностике, мониторинге и планировании хирургических вмешательств [1, 2]. Однако, несмотря на высокую точность оборудования, существенным фактором, способным влиять на достоверность измерений, является состояние прекорнеальной слезной пленки (ПСП) [3–6].

ПСП не только выполняет защитную и трофическую функции, но и играет важную роль в формировании оптически гладкой поверхности роговицы. Нарушение ее стабильности, характерное для синдрома сухого

глаза (ССГ), приводит к изменению светопреломляющих свойств роговицы, повышению волнового фронта и светорассеянию [7–10], что может исказить результаты кератотопографических и томографических исследований. Многочисленные исследования подтверждают, что у пациентов с ССГ отмечается значительная вариабельность топографических индексов [3–5, 10], керато- и пахиметрических показателей [6, 11–15], а также абберационных показателей [6, 16–20], что особенно критично при планировании рефракционного и катарактального вмешательства. Кроме того, в литературе описано, что инстилляцией слезозаменителя перед диагностическими исследованиями роговицы улучшает стабильность ПСП, снижает абберации и светорассеяние и повышает точность измерений [10, 19–22]. Необходимо отметить, что данная проблема хорошо изучена на примере с условно регулярной роговичной поверхностью, однако остается мало исследованной при наличии

A.Yu. Slonimsky, V.V. Averich, E.V. Suhanova

Contact information: Averich Veronika V. veronikky@mail.ru

619

The Clinical Significance of Changes in the Precorneal Tear Film in Keratoconus in the Interpretation...

выраженной иррегулярности роговицы, в частности при кератоконусе.

Кератоконус (КК) является хроническим заболеванием, характеризующимся прогрессирующим истончением и эктазией роговицы, что приводит к формированию неправильного астигматизма и значительному снижению остроты зрения [23–24]. Ряд исследований свидетельствует о высокой распространенности ССГ среди пациентов с КК, что может быть связано с комбинацией воспалительных, нейротрофических и механических факторов [25–33]. При этом нарушение стабильности ПСП потенциально способно усугублять искажения при топографических и топографических исследованиях и существенно снижать точность диагностики и динамического наблюдения. На сегодняшний день в доступной литературе практически отсутствуют работы, посвященные данной проблеме. Единичная публикация не выявила значимого влияния состояния ПСП при КК на результаты топографического исследования роговицы, а также наличия корреляции между КК и параметрами ПСП [34]. Кроме того, результаты данной работы противоречат данным других исследований, демонстрирующих наличие дестабилизации ПСП при КК [25–33].

Таким образом, актуальность изучения влияния ПСП на результаты топографических исследований при КК обусловлена не только высокой распространенностью ССГ среди этой категории пациентов, но и потенциальным риском диагностических ошибок, которые могут повлиять на выбор тактики ведения пациента.

Связи с этим **целью** данной работы явилась оценка клинической значимости влияния изменений ПСП при КК на интерпретацию данных топографических методов исследования роговицы, а также разработка оптимизированного диагностического протокола для их нивелирования.

ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

Были обследованы 115 пациентов (230 глаз) с билатеральным стабилизированным не оперированным КК различных стадий по Amsler-Krumeich. Средний возраст обследуемых составил $30,5 \pm 4,3$ года. От всех пациентов было получено добровольное информированное согласие об обезличенном использовании их персональных медицинских данных в научном исследовании.

Критерии невключения в исследование: возраст старше 40 лет, наличие воспалительных заболеваний глаз, общее или местное применение лекарственных препаратов, потенциально влияющих на результаты настоящего исследования, общесоматические или системные заболевания в анамнезе.

На первом этапе исследования всем пациентам проводили комплексную оценку функционального состояния ПСП. Диагностический протокол включал биомикроскопическое исследование переднего отрезка глаза с применением витального красителя — флуоресцеина

натрия, позволяющего визуализировать эпителиальные дефекты и оценивать степень поражения роговицы по Оксфордской шкале; измерение времени разрыва ПСП (ВРСП или проба Норна) для оценки ее стабильности, а также исследование общей (тест Ширмера) и базальной (проба Джонеса) слезопродукции. Перед проведением пробы Джонеса за 5–7 минут до исследования выполняли инстилляцию местного анестетика (оксибупрокаин 0,4 %) для исключения рефлекторного слезотечения.

Вторым этапом выполняли топографическое исследование роговицы с помощью шаймпфлюг-анализатора Pentacam (Oculus Inc., США). Оценивали следующие топографические и топографические параметры:

- ISV (Index of Surface Variance — индекс вариации поверхности) — количественно характеризует степень отклонения локальной кривизны роговицы от средне-статистических значений (норма ≤ 20 усл. ед.);

- IVA (Index of Vertical Asymmetry — индекс вертикальной асимметрии) — отражает разницу в кривизне между верхними и нижними квадрантами роговицы относительно горизонтального меридиана (норма $\leq 0,2$ усл. ед.);

- KI (Keratoconus Index — индекс кератоконуса) — демонстрирует увеличенные значения при наличии топографических признаков, характерных для кератоконуса (норма $\leq 1,05$ усл. ед.);

- SKI (Center Keratoconus Index) — индекс центрального кератоконуса) — специфический показатель, возрастающий при выявлении эктатических изменений в парацентральной и центральной зонах роговицы (норма $\leq 1,01$ усл. ед.);

- IS (Inferior-Superior index) — индекс верхне-нижней асимметрии) — характеризует соотношение силы преломления в верхней и нижней частях роговицы (норма $\leq 1,25$ дптр);

- IHA (Index of Height Asymmetry) — индекс асимметрии вершины / коэффициент вертикальной асимметрии) — количественный параметр, оценивающий степень асимметрии наиболее выступающей точки роговицы относительно горизонтальной оси (норма ≤ 12 мкм);

- IHD (Index of Height Decentration) — индекс смещения вершины относительно центра / коэффициент смещения центра высоты) — характеризует величину вертикального смещения зоны максимального «укручения» роговицы (норма $\leq 0,010$ усл. ед.);

- Kflat, или K1 — оптическая сила слабого меридиана роговицы (норма 40–44 дптр);

- Ksteep, или K2 — оптическая сила сильного меридиана роговицы (норма 41–45 дптр);

- Kmean, или Km — среднее значение оптической силы по двум главным меридианам роговицы (норма 40,5–44,5 дптр);

- Kmax — максимальное значение оптической силы роговицы (норма ≤ 47 дптр);

– RMin (минимальная сагиттальная кривизна) — определяет наименьшее значение радиуса кривизны роговицы в сагиттальной плоскости (норма ≥ 7.4 мм);

– пахиметрия — толщина роговицы в самой тонкой точке (норма 520–550 мкм);

– Q-value (коэффициент асферичности передней и задней поверхностей роговицы) — параметр, характеризующий отклонение формы роговицы от идеальной сферы (норма от $-0,1$ до $-0,6$ и от $-0,1$ до $-0,3$ соответственно);

– элевация передней и задней поверхностей роговицы — топографический показатель, отражающий отклонение реальной формы роговицы от референсной сферической поверхности (в частности, от best-fit sphere) (норма $\pm 12-15$ и $\pm 10-12$ мкм соответственно);

– RMS Total (Total Root Mean Square) характеризует общие волновые aberrации роговицы — среднее квадратичное значение волнового фронта (норма $< 0,5$ мкм);

– RMS LOA (Low Order Aberrations) и RMS HOA (High Order Aberrations) — среднее квадратичное значение aberrаций низшего и высшего порядка (норма $< 0,4$ и $0,25$ мкм соответственно).

Учитывая потенциальную роль слезозаместительных препаратов во временной стабилизации СП, пациенты были обследованы на шаймпфлюг-анализаторе до и после инстилляций слезозаместителя на основе гиалуроната натрия 0,18 %. Повторное измерение на приборе проводили через $10,6 \pm 1,2$ минуты после инстилляции.

Статистическую обработку данных осуществляли в программе IBM SPSS Statistics 27 (IBM Analytics, США). Проверка нормальности распределения была выполнена с помощью критерия Колмогорова — Смирнова и оценки асимметрии и эксцесса. Нормально распределенные данные представлены в виде среднего арифметического (M) со стандартным отклонением (SD). Данные с отклонением от нормального распределения — в виде медианы (Me) с квартильным размахом [$Q1$; $Q3$]. Непараметрические параметры сравнивались с помощью W -критерия знаковых рангов Уилкоксона. Уровень значимости установлен при $p \leq 0,05$. Корреляции показателей рассчитывались с помощью коэффициента Спирмана.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Первостепенно нами были оценены результаты функционального состояния ПСП. Оценка интенсивности окрашивания глазной поверхности (в частности, роговицы) витальными красителями в соответствии с Оксфордской шкалой была следующая: в 34 % случаев окрашивания не наблюдалось, в 35,7 % — интенсивность окрашивания соответствовала I степени. В 20,2, 7,3 и 2,8 % случаев повреждение роговицы соответствовало II, III и IV степени окрашивания соответственно.

Результаты проведенных функциональных проб представлены в таблице 1. По данным пробы Норна медиана ВРСП составила 7,5 секунды [4,25; 10,75]

Таблица 1. Показатели стабильности преорнеальной слезной пленки (проба Норна), уровня общей (проба Ширмера) и основной слезопродукции (проба Джонеса) у пациентов с кератоконусом различных стадий (Me [$Q1$; $Q3$] (min-max))

Table 1. Indicators of the precorneal tear film stability (Norn test), the level of total (Schirmer test) and basic tear production (Jones test) in patients with keratoconus of various stages (Me [$Q1$; $Q3$] (min-max))

Показатели Indicators	Проба Норна, сек Norn test, sec	Проба Ширмера, мм Shirmer test, mm	Проба Джонеса, мм Jones test, mm
	7,5 [4,25; 10,75] (2-21)	13 [12; 17] (8-29)	9 [8; 10] (5-30)

при диапазоне значений от 2 до 21 секунды, что существенно ниже общепринятого нормативного показателя (норма ≥ 20 секунд [34]) и может свидетельствовать о выраженном снижении стабильности ПСП. Значения общей и основной слезопродукции составили 13 мм [12; 17] с вариациями от 8 до 29 мм, и 9 мм [8; 10] при разбросе значений от 5 до 30 мм, что также соответствует снижению относительно референсных значений (норма ≥ 15 и 10 мм соответственно [34]).

На втором этапе нами были проанализированы результаты шаймпфлюг-исследования роговицы до и после инстилляции слезозаместителя. Полученные результаты свидетельствуют о значимых изменениях ключевых параметров роговицы после использования капель. Анализ данных показал статистически значимое снижение индексов передней поверхности роговицы: ISV с 91 [48,5; 133,5] до 87 [48,5; 130,5] ($p < 0,001$); IVA с 0,86 [0,50; 1,13] до 0,82 [0,45; 1,00] ($p < 0,001$); KI — с 1,23 [1,12; 1,35] до 1,22 [1,13; 1,34] ($p = 0,003$); SKI — с 1,09 [1,02; 1,15] до 1,08 [1,02; 1,15] ($p = 0,016$); IS — с 5,52 [3,08; 8,00] до 5,57 [2,91; 7,85] ($p < 0,001$). Индекс IND имел достоверное снижение квартильных показателей — с 0,13 [0,07; 0,19] до 0,13 [0,06; 0,18] ($p < 0,001$). Индекс INA имел статистически незначимую тенденцию к снижению показателей, связанную с увеличением диапазона максимальных значений (с 62,8 до 77,3, $p = 0,182$).

Временная стабилизация ПСП также привела к достоверному снижению показателей кератометрии: K1 снизился с 45,8 [43,3; 51,9] до 45,7 [43,2; 51,7] дптр ($p < 0,001$); K2 — с 48,5 [45,7; 55,8] до 48,3 [45,9; 56,4] дптр ($p < 0,001$); Kmean — с 47,2 [44,5; 53,9] до 47,0 [44,5; 53,5] дптр ($p < 0,001$). Зона максимального преломления роговицы (Kmax) снизилась с 55,9 [49,9; 67,7] до 55,4 [49,8; 67,2] дптр ($p < 0,001$), а показатель минимального радиуса (Rmin) увеличился с 6,70 [5,71; 7,45] до 6,73 [5,81; 7,80] мм ($p < 0,001$).

Кроме того, на фоне инстилляции слезозаместителя происходит значимое снижение элевации и Q-value передней поверхности роговицы с 29,0 [16,5; 38,5] до 20,0 [15,7; 35,5] мкм ($p = 0,003$) и с $-0,92$ [$-1,67$; $-0,55$] до $-0,90$ [$-1,65$; $-0,56$] ($p = 0,003$). Элевация и Q-value задней поверхности роговицы не претерпели значимых изменений ($p = 0,630$ и $p = 0,101$ соответственно).

Относительное «уплощение» роговичной поверхности закономерно привело к достоверному снижению

уровня аберраций: RMS total снизились с 10,6 [5,40; 15,0] до 10,1 [5,4; 14,7] мкм ($p < 0,001$), RMS LOA — с 10,0 [5,25; 14,3] до 9,8 [5,0; 13,7] мкм ($p = 0,005$), а RMS HOA — с 2,50 [1,33; 4,10] до 2,37 [1,16; 3,79] мкм ($p < 0,001$) (табл. 2).

Корреляционный анализ выявил сильную взаимосвязь между состоянием ПСП и топографическими параметрами роговицы. Интенсивность окрашивания роговицы демонстрировала значимую положительную

Таблица 2. Сравнение топографических, кератометрических и aberromетрических параметров роговицы до и после инстилляций слезозаместителя у пациентов с кератоконусом

Table 2. Comparison of topographic, keratometric, and aberrometric parameters of the cornea before and after artificial tear instillation in patients with keratoconus

Показатель Indicators	До инстилляций каплей Before instillation of drops	После инстилляций каплей After instillation of drops	p*
	Me [Q1; Q3] (min-max)	Me [Q1; Q3] (min-max)	
ISV, усл. ед.	91,0 [48,5; 133,5] (24,0–216,0)	87,0 [48,5; 130,5] (26,0–210,0)	<0,001
IVA, усл. ед.	0,86 [0,50; 1,13] (0,25–1,77)	0,82 [0,45; 1,00] (0,054–1,07)	<0,001
KI, усл. ед.	1,23 [1,12; 1,35] (1,06–1,76)	1,22 [1,13; 1,34] (1,06–1,74)	0,003
CKI, усл. ед.	1,09 [1,02; 1,15] (0,99–1,32)	1,08 [1,02; 1,15] (0,99–1,31)	0,016
IS, усл. ед.	5,52 [3,08; 8,00] (1,65–15,10)	5,57 [2,91; 7,85] (0,84–14,50)	<0,001
IHA, усл. ед.	23,8 [13,6; 37,7] (2,2–62,8)	22,2 [13,0; 37,2] (1,7–77,3)	0,182
IHD, усл. ед.	0,13 [0,07; 0,19] (0,02–3,83)	0,13 [0,06; 0,18] (0,005–7,89)	<0,001
Kflat (K1), дптр	45,8 [43,3; 51,9] (39,3–62,9)	45,7 [43,2; 51,7] (39,2–61,5)	<0,001
K steep (K2), дптр	48,5 [45,7; 55,8] (42,0–67,2)	48,3 [45,9; 56,4] (42,1–67,3)	<0,001
Kmean, дптр	47,2 [44,5; 53,9] (41,4–64,9)	47,0 [44,5; 53,5] (41,2–64,1)	<0,001
Kmax, дптр	55,9 [49,9; 67,7] (44,3–81,9)	55,4 [49,8; 67,2] (44,1–81,6)	<0,001
Rmin, мм	6,70 [5,71; 7,45] (4,51–8,19)	6,73 [5,81; 7,80] (4,70–8,26)	<0,001
Пахиметрия, мкм	457 [423; 489] (213–533)	454 [425; 488] (221–537)	0,178
Q-val. пер. пов., усл. ед.	-0,92 [-1,67; -0,55] (-2,63...-0,07)	-0,90 [-1,65; -0,56] (-2,60...-0,08)	0,003
Q-val. задн. пов., усл. ед.	-0,98 [-1,70; -0,65] (-2,54...-0,20)	-0,97 [-1,80; -0,67] (-2,39...-0,26)	0,101
Элевация пер. пов., мкм	29,0 [16,5; 38,5] (10,0–70,0)	20,0 [15,7; 35,5] (10,0–65,0)	0,003
Элевация задн. пов., мкм	30 [20; 45,5] (14–79)	30 [19; 46,5] (10–75)	0,630
RMS total, мкм	10,61 [5,40; 15,00] (2,48–26,21)	10,1 [5,4; 14,7] (2,4–26,5)	<0,001
RMS LOA, мкм	10,00 [5,25; 14,30] (2,38–26,00)	9,80 [5,00; 13,70] (2,36–26,20)	0,005
RMS HOA, мкм	2,50 [1,33; 4,10] (0,49–13,80)	2,30 [1,16; 3,79] (0,32–12,10)	<0,001

Примечание: * W-критерий Уилкоксона.
Note: * Wilcoxon test.

корреляцию с индексами передней поверхности: ISV ($r = 0,621$, $p < 0,001$), IVA ($r = 0,298$, $p < 0,001$), KI ($r = 0,601$, $p < 0,001$), CKI ($r = 0,545$, $p < 0,001$) и IS ($r = 0,676$, $p < 0,001$). ВРСП показало обратную корреляцию с этими же параметрами: ISV ($r = -0,510$, $p < 0,001$), IVA ($r = -0,334$, $p = 0,014$), KI ($r = -0,476$, $p < 0,001$), CKI ($r = -0,513$, $p < 0,001$) и IS ($r = -0,787$, $p < 0,001$).

Кроме того, нами был выявлен прямой корреляционный тренд между показателями ПСП и кератометрии: K1 ($r = 0,762$, $p < 0,001$), K2 ($r = 0,750$, $p < 0,001$), Kmean ($r = 0,734$, $p < 0,001$) и Kmax ($r = 0,683$, $p < 0,001$). При этом минимальный радиус кривизны роговицы (Rmin) демонстрировал обратную корреляцию с выраженностью эпителиопатии роговицы ($r = -0,635$, $p < 0,001$) и пробой Норна ($r = -0,494$, $p < 0,001$). Аналогичные закономерности определены для Q-value и элевации передней поверхности роговицы: $r = -0,642$, $p < 0,001$ и $r = 0,717$, $p < 0,001$ соответственно.

Отдельного внимания заслуживает выявленная зависимость между состоянием ПСП и волновым фронтом роговицы. Показатели RMS total, RMS LOA и RMS HOA продемонстрировали значимую положительную корреляцию с выраженностью эпителиопатии роговицы ($r = 0,629$, $p < 0,001$, $r = 0,572$, $p < 0,001$, и $r = 0,625$, $p < 0,001$ соответственно) и отрицательную с ВРСП (RMS: $r = -0,606$, $p < 0,001$; RMS LOA: $r = -0,476$, $p < 0,001$; RMS HOA: $r = -0,494$, $p < 0,001$).

Анализ корреляционных взаимосвязей между пробой Ширмера показал статистически значимую обратную зависимость только с показателями кератометрии: для K1 ($r = -0,338$, $p = 0,013$), K2 ($r = -0,323$, $p = 0,018$), Kmean ($r = -0,309$, $p = 0,024$) и Kmax ($r = -0,288$, $p = 0,037$). Rmin также демонстрировал слабую отрицательную корреляцию ($r = -0,281$, $p = 0,039$).

ОБСУЖДЕНИЕ

При анализе литературы, посвященной изучению влияния нарушения ПСП, индуцированной ССГ, на точность топографических и топографических исследований при КК, было выявлено только одно соответствующее исследование [33]. В данной работе были обследованы 49 пациентов (77 глаз) с различными стадиями КК (средний возраст $34,4 \pm 11,6$ года), разделенные на две группы: с легкой (I–II стадии, 33 глаза) и тяжелой (III–IV стадии, 44 глаза) стадиями. Диагностический протокол включал оценку топографических показателей с использованием кератотопографа TMS-5 (Tomey, Германия) и шаймпфлюг-камеры Pentacam (Oculus, Германия), а также комплексное исследование состояния слезной пленки (тест Ширмера, ВРСП, видеокератоскопия системой Tear Inspect) и анкетирование по опроснику Макмонни. Полученные результаты продемонстрировали отсутствие статистически значимых различий между группами по показателям теста Ширмера ($19,6 \pm 10,5$ и $18,6 \pm 11,4$ мм) и ВРСП ($8,4 \pm 2,9$ и $8,1 \pm 2,2$ с). Не было выявлено также

корреляций между топографическими индексами, параметрами ПСП и результатами опросника, что позволило авторам сделать вывод об отсутствии взаимосвязи между состоянием ПСП и топо- и томографическими показателями при КК.

Однако методология исследования представляется неоднозначной. Полученные авторами значения теста Ширмера и ВРСП находились в пределах нормальных диапазонов, что противоречит данным большинства исследований [24–32]. Это расхождение может быть обусловлено ограниченным размером выборки и значительным разбросом возрастных показателей.

Полученные нами результаты свидетельствуют о наличии дестабилизации ПСП при КК, индуцированной ССГ, приводящей к значимым изменениям ключевых диагностических показателей роговицы шаймпflug-анализа, в частности топографических индексов, параметров кератометрии и волнового фронта роговицы. Временная стабилизация ПСП с помощью слезозаместителя приводила к достоверному изменению диагностических параметров, что указывает на риск некорректной интерпретации результатов, в частности о мнимом прогрессировании кератэктазии и преждевременном планировании операционных вмешательств.

Корреляционный анализ подтвердил сильную взаимосвязь между выраженностью эпителиопатии роговицы, ВРСП и большинством томографических параметров. Наиболее значимые корреляции наблюдались для индексов передней поверхности роговицы, показателей керато- и абберометрии, что согласуется с известными механизмами влияния ПСП на светопреломляющие свойства роговицы. При этом отсутствие значимой корреляции пробы Ширмера с большинством топографических показателей, а также полное отсутствие взаи-

мосвязи с пробой Джонеса ($p > 0,05$) может свидетельствовать о том, что основное влияние в формировании диагностических артефактов оказывает именно ПСП, а не объем слезопродукции.

Результаты настоящего исследования позволяют по-новому взглянуть на проблему диагностики КК в условиях сопутствующего ССГ и указывают на необходимость дифференцированного подхода к оценке состояния ПСП у всех пациентов с КК перед проведением томографического исследования. Предложенный в работе протокол с использованием стандартизированной слезозаместительной терапии перед диагностической процедурой может существенно повысить точность измерений и воспроизводимость результатов у пациентов с КК в ходе динамического наблюдения, способствуя минимизации артефактов измерения и повышению точности при планировании хирургических вмешательств.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенного исследования доказывают значимое влияние нарушения стабильности ПСП при КК, обусловленной ССГ, на точность томографических исследований роговицы. Предложенный диагностический алгоритм, включающий обязательную оценку и при необходимости коррекцию состояния ПСП перед проведением томографии, позволяет значительно повысить качество и воспроизводимость измерений, что особенно важно при мониторинге прогрессирования кератэктазии и планировании хирургического лечения.

УЧАСТИЕ АВТОРОВ:

Слонимский А.Ю. — разработка и дизайн исследования, редактирование текста, окончательное утверждение рукописи;
Аверич В.В. — разработка и дизайн исследования, получение и анализ данных, написание текста, редактирование текста;
Суханова Е.В. — получение и анализ данных.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Roberts C. Corneal topography: a review of terms and concepts. *J Cataract Refract Surg.* 1996 Jun;22(5):624–629. doi: 10.1016/s0886-3350(96)80022-8.
- Read SA, Collins MJ, Iskander DR, Davis BA. Corneal topography with Scheimpflug imaging and videokeratography: comparative study of normal eyes. *J Cataract Refract Surg.* 2009 Jun;35(6):1072–1081. doi: 10.1016/j.jcrs.2009.01.020.
- Feinbaum C. “Wet and Dry Corneal Topography? — A New Contraindication for the LASIK Procedure in Refractive Surgery”. *ES Ophthalmology* 5.3. 2017:121–128.
- Клокова ОА, Дамашаускас РО, Гейденрих МС. Коррекция состояния глазной поверхности у пациентов с синдромом «сухого глаза» на этапе подготовки к кераторефракционной операции. *Клиническая офтальмология.* 2020;20(4):180–186.
Klokova OA, Damashauskas RO, Geidenrich MS. Ocular surface treatment in dry eye patients before corneal refractive surgery. *Russian Journal of Clinical Ophthalmology.* 2020;20(4):180–186. doi: 10.32364/2311-7729-2020-20-4-180-186.
- Siyahkamari M, Asharlou A, Mirzajani A, Koohian H, Jafarzadepour E, Ostadimoghaddam H, Babaei N, Yekta A, Khabazkhoob M. Effect of Dry Eye Disease on Central Corneal Thickness and Corneal Topometric Indices Measured by Scheimpflug Tomography. *Acta Med Iran.* 2023;60(12):777–781. doi: 10.18502/acta.v60i12.11831.
- Kundu G, Shetty R, Kharam P, Gupta S, Mullick R, Ganesan VL, D’Souza S. Impact of tear optics on the repeatability of Pentacam AXL wave and iTrace in measuring anterior segment parameters and aberrations. *Indian J Ophthalmol.* 2022 Apr;70(4):1150–1157. doi: 10.4103/ijo.IJO_2153_21.
- Koh S, Maeda N, Ikeda C, Asonuma S, Mitamura H, Oie Y, Soma T, Tsujikawa M, Kawasaki S, Nishida K. Ocular forward light scattering and corneal backward light scattering in patients with dry eye. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2014 Sep 18;55(10):6601–6606. doi: 10.1167/iovs.14-15125.
- Thibos LN, Hong X. Clinical applications of the Shack-Hartmann aberrometer. *Optom Vis Sci.* 1999 Dec;76(12):817–825. doi: 10.1097/00006324-199912000-00016.
- Himebaugh NL, Nam J, Bradley A, Liu H, Thibos LN, Begley CG. Scale and spatial distribution of aberrations associated with tear breakup. *Optom Vis Sci.* 2012 Nov;89(11):1590–600. doi: 10.1097/OPX.0b013e31826cfae5.
- Liu Z, Pflugfelder SC. Corneal surface regularity and the effect of artificial tears in aqueous tear deficiency. *Ophthalmology.* 1999 May;106(5):939–943. doi: 10.1016/S0161-6420(99)00513-8.
- Epitropoulos AT, Matossian C, Berdy GJ, Malhotra RP, Potvin R. Effect of tear osmolarity on repeatability of keratometry for cataract surgery planning. *J Cataract Refract Surg.* 2015 Aug;41(8):1672–1677. doi: 10.1016/j.jcrs.2015.01.016.
- Hiraoka T, Asano H, Ogami T, Nakano S, Okamoto Y, Yamada Y, Oshika T. Influence of Dry Eye Disease on the Measurement Repeatability of Corneal Curvature Radius and Axial Length in Patients with Cataract. *J Clin Med.* 2022 Jan 28;11(3):710. doi: 10.3390/jcm11030710.
- Yang F, Yang L, Ning X, Liu J, Wang J. Effect of dry eye on the reliability of keratometry for cataract surgery planning. *J Fr Ophtalmol.* 2024 Feb;47(2):103999. doi: 10.1016/j.jfo.2023.04.016.
- Taneja M. Commentary: Effect of dry eyes on the corneal diagnostic measurements. *Indian J Ophthalmol.* 2022 Apr;70(4):1157–1158. doi: 10.4103/ijo.IJO_3119_21.
- Kim J, Kim MK, Ha Y, Paik HJ, Kim DH. Improved accuracy of intraocular lens power calculation by preoperative management of dry eye disease. *BMC Ophthalmol.* 2021 Oct 13;21(1):364. doi: 10.1186/s12886-021-02129-5.
- Montés-Micó R, Alió JL, Charman WN. Dynamic changes in the tear film in dry eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2005 May;46(5):1615–1619. doi: 10.1167/iovs.05-0017.
- Koh S, Maeda N. Wavefront sensing and the dynamics of tear film. *Cornea.* 2007 Oct;26(9 Suppl 1):S41–S45. doi: 10.1097/ICO.0b013e31812f69e8.
- Denoyer A, Rabut G, Baudouin C. Tear film aberration dynamics and vision-related quality of life in patients with dry eye disease. *Ophthalmology.* 2012 Sep;119(9):1811–1818. doi: 10.1016/j.ophtha.2012.03.004.

19. Kasem AMM, Awara AM, Shafik HM, Shalaby OE. Corneal topography and wavefront data changes in dry eye. *Tanta Medical Journal*. 2021;49(1):31–36 doi: 10.4103/tmj.tmj_199_20.
20. Rochet E, Levron A, Agard E, Chehab HE, Plas H, Bouvarel H, Chirpaz N, Billant J, Dot C. Should Artificial Tears Be Used During the Preoperative Assessment of Toric IOLs Before Age-Related Cataract Surgery? The TORIDE Study. *J Refract Surg*. 2021 Nov;37(11):759–766. doi: 10.3928/1081597X-20210826-01.
21. Diaz-Valle D, Arriola-Villalobos P, Garcia-Vidal SE, Sánchez-Pulgarín M, Borrego Sanz L, Gegúndez-Fernández JA, Benitez-Del-Castillo JM. Effect of lubricating eyedrops on ocular light scattering as a measure of vision quality in patients with dry eye. *J Cataract Refract Surg*. 2012 Jul;38(7):1192–1197. doi: 10.1016/j.jcrs.2012.02.040.
22. Montés-Micó R, Cervoño A, Ferrer-Blasco T, García-Lázaro S, Ortí-Navarro S. Optical quality after instillation of eyedrops in dry-eye syndrome. *J Cataract Refract Surg*. 2010 Jun;36(6):935–940. doi: 10.1016/j.jcrs.2009.12.044.
23. Аветисов СЭ, Аверич ВВ, Патеюк ЛС. Кератоконус: основные направления исследований. *Вестник офтальмологии*. 2023;139(3.2):11–20. Avetisov SE, Averich VV, Pateyuk LS. Keratoconus: main lines of research. *Russian Annals of Ophthalmology* 2023;139(3.2):11–20 (In Russ.). doi: 10.17116/oftalma202313903211.
24. Dogru M, Karakaya H, Ozçetin H, Ertürk H, Yücel A, Ozmen A, Baykara M, Tsubota K. Tear function and ocular surface changes in keratoconus. *Ophthalmology*. 2003 Jun;110(6):1110–1118. doi: 10.1016/S0161-6420(03)00261-6.
25. Carracedo G., Recchioni A., Alejandre-Alba N., Martin-Gil A., Crooke A., Morote I.J., Pintor J. Signs and Symptoms of Dry Eye in Keratoconus Patients: A Pilot Study. *Curr Eye Res*. 2015;40(11):1088–1094. doi: 10.3109/02713683.2014.987871.
26. Бубнова ИА, Аверич ВВ. Состояние прекорнеальной слезной пленки при кератоконусе. *Современные технологии в офтальмологии*. 2020;4:319–320. Bubnova IA, Averich VV. State of the precorneal tear film in keratoconus. *Modern technologies in ophthalmology*. 2020;4:319–320 (In Russ.). doi: 10.25276/2312-4911-2020-4-319-320.
27. Constantin MM, Corbu C, Potop V. Evaluation of Dry Eye Symptomatology at Patients with Keratoconus. *Revista de Chimie*. 2019;70(1):92–95. doi: 10.37358/RC.19.1.6858.
28. Бубнова ИА, Егорова ГБ, Аверич ВВ, Митичкина ТС. Медикаментозная коррекция синдрома «сухого глаза» у пациентов с кератоконусом, перенесших процедуру кроссликинга. *РМЖ. Клиническая офтальмология*. 2020;20(2):67–71. Bubnova IA, Egorova GB, Averich VV, Mitichkina TS. Medical treatment for dry eye in patients with keratoconus after corneal cross-linking. *Russian Journal of Clinical Ophthalmology*. 2020;20(2):67–71 (In Russ.). doi: 10.32364/2311-7729-2020-20-2-67-71.
29. Аверич ВВ, Бубнова ИА. Изменение прекорнеальной слезной пленки при различных стадиях кератоконуса. *Вестник офтальмологии*. 2024;140(3):43–49. Averich VV, Bubnova IA. Changes in the precorneal tear film at various stages of keratoconus. *Russian Annals of Ophthalmology*. 2024;140(3):43–49 (In Russ.). doi: 10.17116/oftalma202414003143.
30. Rattan SA, Anwar DS. Comparison of corneal epithelial thickness profile in dry eye patients, keratoconus suspect, and healthy eyes. *Eur J Ophthalmol*. 2020 Nov;30(6):1506–1511. doi: 10.1177/1120672120952034.
31. Аверич ВВ. Синдром «сухого глаза» при кератоконусе: аспекты этиологии и медикаментозной коррекции. *Клиническая офтальмология*. 2022;22(2):122–126. Averich VV. Dry eye disease in keratoconus: etiology and medical treatment. *Russian Journal of Clinical Ophthalmology*. 2022;22(2):122–126 (In Russ.). doi: 10.32364/2311-7729-2022-22-2-122-126.
32. Mirza E, Oltulu R, Oltulu P, Mirza GD, Okka M. Dry eye disease and ocular surface characteristics in patients with keratoconus. *Saudi J Ophthalmol*. 2022 Jul 11;36(1):117–121. doi: 10.4103/sjopt.sjopt_37.
33. Zemova E, Eppig T, Seitz B, Toropygin S, Arnold S, Langenbacher A, Gräber S, Szentmáry N. Interaction between topographic/tomographic parameters and dry eye disease in keratoconus patients. *Curr Eye Res*. 2014 Jan;39(1):1–8. doi: 10.3109/02713683.2013.798667.
34. Бржеский ВВ, Егорова ГБ, Егоров ЕА. Синдром «сухого глаза» и заболевания глазной поверхности: клиника, диагностика, лечение. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2016. Brzhesky VV, Egorova GB, Egorov EA. Dry eye syndrome and diseases of the ocular surface: clinical features, diagnostics, treatment. Moscow: GEOTAR-Media; 2016 (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Слонимский Алексей Юрьевич
доктор медицинских наук, профессор,
<https://orcid.org/0009-0008-7356-7637>

Аверич Вероника Валерьевна
кандидат медицинских наук, научный сотрудник
<https://orcid.org/0000-0001-5778-4123>

Суханова Елена Владимировна
кандидат медицинских наук, научный сотрудник
<https://orcid.org/0000-0002-1002-3092>

ABOUT THE AUTHORS

Slonimsky Aleksei Yu.
MD, Professor
<https://orcid.org/0009-0008-7356-7637>

Averich Veronika V.
PhD, researcher
<https://orcid.org/0000-0001-5778-4123>

Suhanova Elena V.
PhD, research officer
<https://orcid.org/0000-0002-1002-3092>