

DOI: <https://doi.org/10.25276/0235-4160-2021-1-22-28>
УДК 617.753.2

Рельеф-топография передней и задней поверхностей роговицы у пациентов с миопией в отдаленном периоде после передней радиальной кератотомии

Е.К. Цыренжапова¹, О.И. Розанова¹, О.И. Микова¹, А.А. Иванов²

¹ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Иркутский филиал;

²Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования – филиал ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, Иркутск

РЕФЕРАТ

Цель. Проанализировать топографические особенности рельефа передней и задней поверхностей роговицы у пациентов с миопией в отдаленном периоде после передней радиальной кератотомии (ПРК).

Материал и методы. Обследованы 132 пациента с возрастной катарактой разной степени плотности, миопией в анамнезе с выполненной ранее ПРК. Средний возраст больных составил $59,67 \pm 6,09$ года (от 47 до 76 лет). В группе контроля были обследованы 30 пациентов той же возрастной группы с миопией. Проведено всестороннее обследование, включая оптическую биометрию, кератотопографию на аппарате Pentacam HR с определением точек элевации передней и задней корнеальных поверхностей.

Результаты. В группе контроля профиль роговицы отличался от правильной сферической конфигурации. Средние значения отклонения профиля передней части роговицы от BFS составили $(-1,41 \pm 5,10$ мкм, задней части – $(-5,12 \pm 12,25$ мкм ($p=0,0001$). В парацентральной зоне профиль задней корнеальной поверхности имел выраженный

пролапс с положительными значениями элевации в нижне-наружном сегменте. В периферической зоне выявлено наличие отрицательных значений в верхнем и нижних секторах и положительных значений во внутреннем и наружном. У пациентов после ПРК профиль роговицы был деформирован. Отмечены отрицательные показатели элевации в центральной и парацентральной зонах и положительные элевационные значения в периферических отделах, соответствующие ее выпячиванию. При этом рельеф передней и задней поверхностей роговицы не был регулярным. В периферической зоне пролапс со стороны задней поверхности роговицы был более выражен, чем со стороны ее передней поверхности ($p=0,0001$).

Заключение. Рельеф передней и задней корнеальных поверхностей у пациентов группы контроля различается по степени и топографии элевации. У пациентов после ПРК выявлены явные топографические деформации переднего и заднего профиля роговицы.

Ключевые слова: передняя радиальная кератотомия, элевация роговицы, миопия. ■

Офтальмохирургия. 2021;1: 22–28.

ABSTRACT

Relief-topography of anterior and posterior corneal surfaces in myopic patients in the long-term follow-up period after anterior radial keratotomy

E.K. Tsyrenzhapova¹, O.I. Rozanova¹, O.I. Mikova¹, A.A. Ivanov²

¹Fedorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Irkutsk branch;

²Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Irkutsk branch

Purpose. To analyze the topographical features of the relief of anterior and posterior corneal surfaces in patients with myopia in the long-term period after anterior radial keratotomy (ARK).

Material and methods. We examined 132 patients with age-related cataracts of varying degrees of density and a history of myopia with previously performed ARK. Mean age of patients was 59.67 ± 6.09 (from 47 to 76). In the control group, 30 patients of the same age group with myopia were examined. A comprehensive examination was performed,

including optical biometry, keratotopography on the Pentacam HR device with the determination of the elevation points of the anterior and posterior corneal surfaces.

Results. The corneal profile differed from the correct spherical configuration in the control group. The average deviation of the profile of the anterior part of the cornea from the BFS was $(-1.41 \pm 5.10 \mu\text{m}$, the posterior part was $(-5.12 \pm 12.25 \mu\text{m}$ ($p=0.0001$). The profile of the posterior corneal surface had a pronounced prolapse in the paracentral



area with positive elevation values in the lower-outer segment. Negative values were found in the upper and lower sectors in the peripheral area and positive values were found in the inner and outer sectors. The corneal profile was deformed in patients after ARK. Negative elevation values in the central and paracentral area and positive elevation values in the peripheral segments corresponding to its protrusion were noted. At the same time, the relief of anterior and posterior surfaces of the cornea was not regular.

Prolapse from the posterior surface of the cornea in the peripheral area was more pronounced than its anterior surface ($p=0.0001$).

Conclusion. The relief of anterior and posterior corneal surfaces in patients of the control group differs in the degree and topography of elevation. In patients after ARK, obvious topographic deformities of the anterior and posterior corneal profiles were detected.

Key words: anterior radial keratotomy, corneal elevation, myopia. ■

Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery. 2021;1: 22–28.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Кератотопография в настоящее время является «золотым стандартом» в диагностике заболеваний роговицы [1, 2]. Однако алгоритмы, основанные на технологии диска Пласидо, дают количественную оценку и представление о кривизне только передней корневальной поверхности [3–5], тогда как с помощью щелевого сканирования, растр-стереографии или Шеймпфлюг-изображений возможна оценка всего рельефа роговицы. Вращающаяся камера Шеймпфлюга обеспечивает трехмерную реконструкцию роговицы [6] с пространственными координатами ее передней и задней поверхностей. Анализ контура и формы всей площади дает возможность установить отличие исследуемой роговицы от истинной сферы (Best Fit Sphere) и выявить различия ее высоты в разных точках.

Анализ корнеального рельефа у пациентов после передней радиальной кератотомии (ПРК) является актуальной задачей, так как позволяет детализировать оптические свойства роговицы с хирургически модифицированным профилем. Неуклонный прирост пациентов с возрастной катарактой после ПРК и необходимость расчета силы интраокулярной линзы (ИОЛ) определяет необходимость более тщательного анализа оптических свойств роговицы. Долгое время предполагалось, что в результате ПРК происходит равнозначное уплощение

обеих роговичных поверхностей и сохранение соотношения радиусов кривизны их окружностей (Куренков В.Н., 2005). Однако внедрение Шеймпфлюг-визуализации в клиническую практику позволило доказать, что после ПРК задняя поверхность роговицы претерпевает более явное уплощение, чем передняя, что ведет к изменению кератометрического индекса [7, 8]. Вместе с тем непропорциональность изменения фронтальной и задней поверхностей роговицы у пациентов после радиальной кератотомии остается неизученной.

ЦЕЛЬ

Проанализировать топографические особенности рельефа передней и задней поверхностей роговицы у пациентов с миопией в отдаленном периоде после ПРК.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Проведено проспективное нерандомизированное исследование в Иркутском филиале МНТК «Микрохирургия глаза», обследованы 132 пациента с возрастной незрелой катарактой, миопией в анамнезе, с выполненной ранее ПРК. Для контроля были обследованы 30 пациентов той же возрастной группы с миопией. Исследование проведено в соответствии с Хельсинкской декларацией, принятой в июне 1964 г. (Хельсинки, Финляндия) и пересмотренной в ок-

тябре 2000 г. (Эдинбург, Шотландия), одобрено локальным этическим комитетом. От каждого пациента получено информированное согласие.

Помимо рутинных методов обследования, всем пациентам были проведены оптическая биометрия на приборе ИОЛ мастер 700 (Carl Zeiss Meditec AG, Jena, Германия), кератотопография с помощью ротационной Шеймпфлюг-камеры (Pentacam HR, Oculus, Германия). Протокол кератотопографического исследования включал оценку рельефа передней и задней поверхностей роговицы по отношению к наиболее подходящей сфере (Best Fit Sphere). Данный метод позволяет количественно описать неровности роговицы, при этом возвышения роговицы имеют положительные, а понижения – отрицательные значения элевации.

При обследовании зафиксированы параметры элевации центральной зоны в точке апекса, парацентральной и периферической зон. В свою очередь, в парацентральной зоне определена элевация 4 точек, расположенных на линии окружности диаметром 2 мм, начиная с точки, расположенной на меридиане 45°, двигаясь по часовой стрелке (45°, 315°, 225°, 135°). Затем в периферической зоне определена элевация 14 точек, расположенных на

Для корреспонденции:

Цыренжапова Екатерина Кирилловна,
врач-офтальмолог
ORCID ID: 0000-0002-6804-8268
E-mail: Katyael@mail.ru

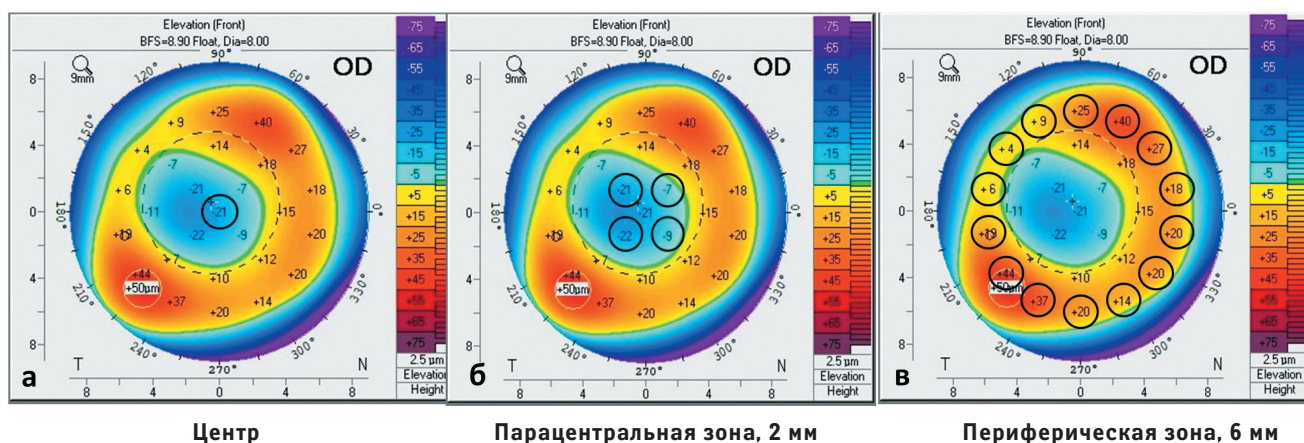


Рис. 1. Расположение точек элевации в центре (а), парацентральной (б) и периферической зонах (в) (пояснение в тексте)

Fig. 1. Location of elevation points in the center (a), paracentral (b) and peripheral areas (v) (explanation in the text)

линии окружности диаметром 6 мм, начиная с точки, расположенной на меридиане 90°, и далее – по часовой стрелке (90°, 60°, 45°, 15°, 345°, 315°, 295°, 270°, 245°, 225°, 195°, 165°, 135°, 120°). Схематичное расположение топографических точек на элевационной карте роговицы представлено на рисунке 1.

Статистический анализ проведен с применением компьютерной программы Statistica 8.0. Для статистического анализа были использованы параметры правого глаза. Рассчитывали средние значения (M), стандартное отклонение, медиану, минимальное и максимальное значение параметров, 25-й и 75-й процентиля, стандартные отклонения от среднего (SD). Сравнительный анализ проведен с применением критерия Манна–Уитни (для независимых переменных). Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Демографические и анатомические параметры представлены в таблице 1. Исследуемые группы были сопоставимы по возрасту, полу и длине глаза. Средний возраст пациентов на момент операции ПРК составил $28,34 \pm 2,74$ года (от 21 до 41 года), сроки после перенесенной

операции составили $30,89 \pm 5,69$ года (от 20 до 45 лет).

Установленные различия в оптической силе роговицы и ее асферичности связаны с выполненной ранее ПРК у пациентов основной группы.

Элевация передней и задней роговицы у пациентов с миопией группы контроля

Профиль роговицы у пациентов с миопией отличался от правильной сферической конфигурации. При анализе средних значений элевация в центральной и парацентральной зонах имела малые положительные значения. Так, элевация передней части роговицы в оптическом центре в среднем составила $1,00 \pm 1,11$ мкм, задней – $2,77 \pm 3,50$ мкм ($p = 0,0001$), в парацентральной зоне – $0,62 \pm 1,65$ и $2,34 \pm 3,67$ мкм соответственно ($p = 0,0001$). В периферической зоне со стороны элевации отмечена большая дисперсия данных (рис. 2). Средние значения отклонения профиля передней части роговицы от BFS составили $(-),141 \pm 5,10$ мкм. Средние значения элевации задней части роговицы были $(-),5,12 \pm 12,25$ мкм и достоверно отличались от показателей передней поверхности роговицы ($p = 0,0001$).

При анализе топографии точек элевации выявлено, что в парацентральной зоне профиль задней корневальной поверхности имел вы-

раженный провал, с положительными значениями элевации в нижне-наружном сегменте – в точках, расположенных на меридианах 225° и 135° (рис. 3). При анализе элевации передней и задней поверхностей периферической роговицы выявлен ее сложный характер, с наличием отрицательных значений в верхнем и нижних секторах и положительных значений во внутреннем и наружном. При этом отличие профиля задней поверхности роговицы от BFS было более выраженным, чем аналогичный параметр со стороны ее передней поверхности.

Элевация передней и задней роговицы у пациентов с миопией после ПРК

Профиль роговицы у пациентов после проведенной ПРК был деформирован. Отмечены отрицательные показатели элевации в центральной и парацентральной зонах, соответствующие «провалу» роговицы, и положительные элевационные значения в периферических отделах, соответствующие ее выпячиванию (табл. 2). При этом рельеф передней и задней поверхностей роговицы не был регулярным. Так, степень «провала» задней части роговицы была более значительной, чем степень «провала» ее передней поверхности в центральной зоне ($p = 0,0001$) и в парацентральной зоне ($p = 0,049$).

Таблица 1

Основные характеристики пациентов и параметров роговицы групп исследования

Table 1

Main characteristics of patients and corneal parameters of study groups

Параметр Parameter	Группа контроля, M±SD (min; max) Control group. M±SD (min; max)	Пациенты с миопией после ПРК, M±SD (min; max) Myopic patients after ARK M±SD (min; max)	p
	n=30	n=132	
Средний возраст, годы Mean age, years	60,91±6,72 (48,00; 74,00)	59,67±6,09 (47,00; 76,00)	0,26
Передне-задний размер глаза, мм Anterior-posterior size of the eye, mm	25,14±0,48 (24,16; 26,13)	26,26±1,57 (22,38; 30,30)	0,0001
Толщина роговицы, мкм Corneal thickness	553,76±25,54 (496,00; 595,00)	540,07±39,81 (399,00; 620,00)	0,0001
Оптическая сила передней поверхности роговицы в крутом меридиане, дптр Optical strength of anterior surface of the cornea in the steep meridian, dptr	44,34±1,19 (42,10; 47,00)	37,20±2,99 (29,70; 43,5)	0,0001
Оптическая сила передней поверхности роговицы в плоском меридиане, дптр The optical power of anterior surface of the cornea on the flat meridian, dptr	43,50±1,14 (41,30; 45,90)	35,31±3,51 (22,80; 42,50)	0,0001
Индекс асферичности передней поверхности роговицы, зона 8 мм Index of the anterior surface asphericity of the cornea, area 8 mm	-0,24±0,10 (-0,54; -0,07)	1,56±0,84 (0,40; 3,64)	0,0001
Оптическая сила задней поверхности роговицы в крутом меридиане, дптр Optical strength of posterior surface of the cornea in the steep meridian, dptr	-6,41±0,20 (-6,80; -6,00)	-4,89±0,58 (-5,90; -3,40)	0,0001
Оптическая сила задней поверхности роговицы в плоском меридиане, дптр Optical strength of posterior surface of the cornea in the flat meridian, dptr	-6,15±0,15 (-6,50; -5,90)	-4,50±0,65 (-5,70; -2,30)	0,0001
Индекс асферичности задней поверхности роговицы, зона 8 мм Index of the posterior surface asphericity of the cornea, area 8 mm	-0,36±0,13 (-0,61; -0,07)	1,60±0,91 (0,24; 4,24)	0,0001

А выпячивание роговицы на периферии было более выраженным со стороны задней части роговицы, чем с ее передней поверхности ($p=0,0001$).

Анализ рельефа роговицы в различных топографических зонах показывал большие различия в элевационных высотах передней и задней корнеальных поверхностей (рис. 4). При этом в парацентральной зоне значения элевации передней поверхности роговицы имели довольно регулярный характер, тогда как со стороны рельефа задней поверх-

ности выявлено значительное колебание элевационных показателей. Максимальный «провал» (с отрицательными значениями элевации) выявлен в меридианах 225° и 135°.

При оценке роговичного профиля в периферической зоне установлен неравномерный порядок элевации: в верхнем сегменте выявлены ее отрицательные значения (в меридиане 90° со стороны передней поверхности роговицы, в меридиане 60° – задней поверхности роговицы), в остальных топографиче-

ских точках определено выпячивание обеих корнеальных поверхностей. Однако в зонах положительной элевации степень выпячивания заднего профиля роговицы была более значимой в сравнении с передней поверхностью ($p<0,0001$).

ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты данного исследования позволили оценить рельеф – топографические характеристики ро-

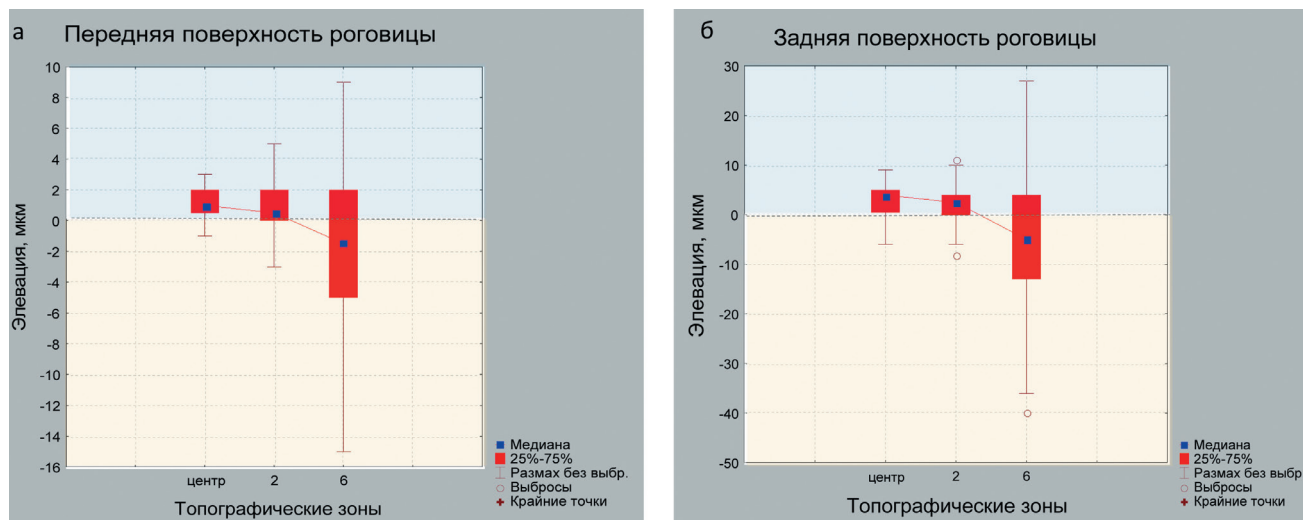


Рис. 2. Показатели средних значений элевации передней (а) и задней поверхностей (б) роговицы в различных топографических зонах

Fig. 2. Indicators of mean values of the anterior surface elevation (a) and posterior surface (б) of the cornea in various topographic areas

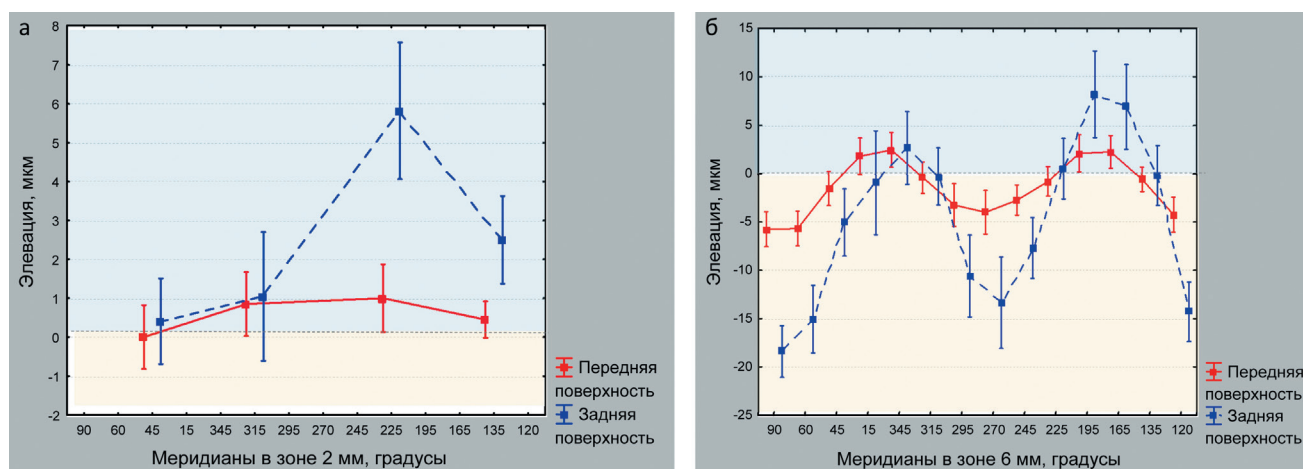


Рис. 3. Показатели элевации роговицы в различных топографических зонах у пациентов с миопией без хирургических вмешательств в анамнезе: а) парацентральная зона диаметром 2 мм; б) периферическая зона диаметром 6 мм

Fig. 3. Indicators of corneal elevation in various topographic areas in patients with myopia without preceding surgery: а) paracentral area with a diameter of 2 mm; б) peripheral area with a diameter of 6 mm

говицы. Анализ рельефа корнеальной поверхности выполнен по аналогии с оценкой рельефа поверхности Земли, где возвышенности и низменности определяются по отношению к уровню мирового океана. Рельеф-кератотопография улавливает возвышенности и низменности роговицы в соответствии со сферической фигурой (BFS).

Установлено, что у обследованных пациентов с миопической рефракцией (без хирургических вмеша-

тельств в анамнезе) роговица имеет возвышения в наружном и внутреннем сегментах и некоторый «провал» в ее верхней и нижней частях. При этом значения элевации как передней, так и задней поверхности роговицы не выходят за пределы нормальных значений, составляющих (+)12 мкм для фронтальной роговицы и (+)15 мкм для задней части роговицы [9]. Полученные данные подтверждают, что передняя и задняя поверхности различа-

ются по кривизне и асферичности. Вместе с тем представленное топографическое картирование элевации дает новые данные о характере задней поверхности роговицы – ее элевация не является одинаковой во всех меридианах. Наиболее выраженное выстояние задней роговицы выявлено в нижне-наружном сегменте, что частично согласуется с моделью гравитационного провисания роговицы [10] и гидростатического влияния, а также региональ-

Таблица 2

Показатели рельефа топографии передней и задней частей роговицы у пациентов с миопией после ПРК

Table 2

Relief topography indicators of anterior and posterior parts of the cornea in myopic patients after ARK

Параметр Parameter	Группа контроля, M±SD (min; max) Control group M±SD (min; max)	Пациенты с миопией после ПРК, M±SD (min; max) Myopic patients after ARK	p
	n=30	n=132	
Элевация передней поверхности роговицы, центр, мкм Elevation of anterior surface of the cornea, center, mkm	0,95±1,14 (-2,00; 3,00)	-14,77±7,98 (-44,00; 40,00)	0,0001
Элевация передней поверхности роговицы, диаметр 2 мм, мкм Elevation of the anterior surface of the cornea, diameter 2 mm, mkm	0,57±1,64 (-3,00; 5,00)	-8,81±11,26 (-74,00; 101,00)	0,0001
Элевация передней поверхности роговицы, диаметр 6 мм, мкм Elevation of anterior surface of the cornea, diameter 6 mm, mkm	-1,36±4,92 (-11,00; 12,00)	11,06±16,55 (-126,00; 114,00)	0,0001
Элевация задней поверхности роговицы, центр, мкм Elevation of posterior surface of the cornea, center, mkm	2,75±3,62 (-6,00; 9,00)	-36,02±19,24 (-87,00; 64,00)	0,0001
Элевация задней поверхности роговицы, диаметр 2 мм, мкм Elevation of posterior surface of the cornea, diameter 2 mm, mkm	2,30±3,77 (-8,00; 11,00)	-17,84±27,78 (-136,00; 145,00)	0,0001
Элевация задней поверхности роговицы, диаметр 6 мм, мкм Elevation of posterior surface of the cornea, diameter 6 mm, mkm	-5,18±12,08 (-40,00; 27,00)	23,78±28,18 (-381,00; 350,00)	0,0001

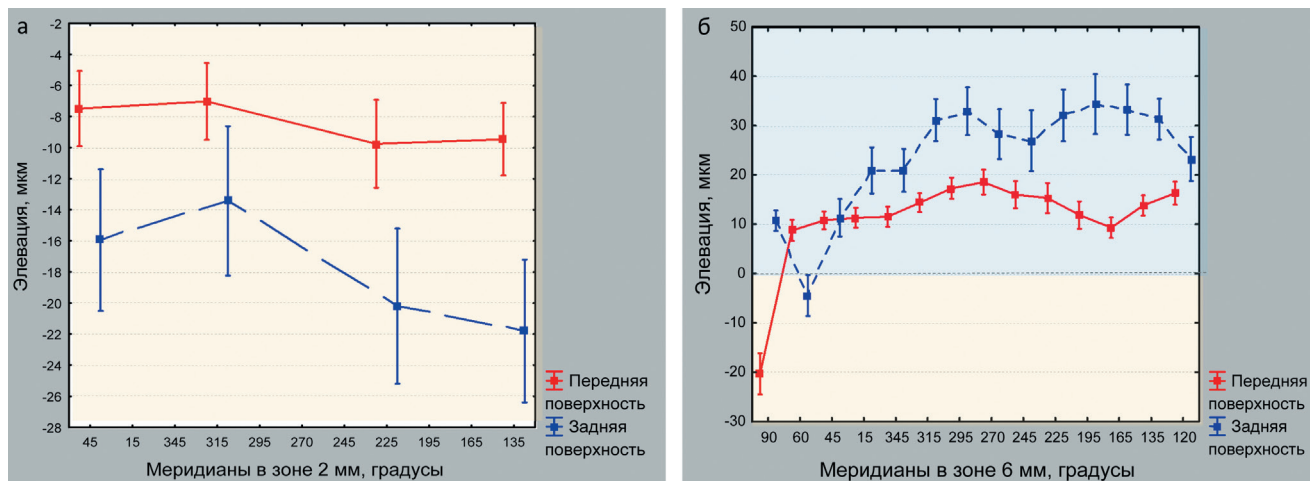


Рис. 4. Показатели элевации роговицы в различных топографических зонах у пациентов с миопией и наличием ПРК в анамнезе: а) парацентральная зона диаметром 2 мм; б) периферическая зона диаметром 6 мм

Fig. 4. Indicators of corneal elevation in various topographic areas in patients with myopia with preceding ARK: а) paracentral area with a diameter of 2 mm; б) peripheral area with a diameter of 6 mm

ными особенностями сцепления волокон нижней части роговицы [11].

У пациентов, ранее перенесших ПРК, выявлена значительная деформация корнеального профиля. При этом деформация задней поверхности роговицы в виде уплощения цен-

тральной оптической зоны и выстояния на периферии более выражена, чем деформация передней поверхности роговицы. Также установлено, что деформация роговицы в верхне-внутреннем сегменте носит нерегулярный характер. Выявленные

отрицательные значения элевации фронтальной роговицы в меридиане 90° и задней части роговицы в меридиане 60°, скорее всего, обусловлены механическим компрессионным воздействием со стороны верхнего века.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рельеф передней и задней корневых поверхностей у пациентов с миопией различается по степени и топографии элевации. У пациентов с миопией в отдаленном периоде после ПРК топографические деформации переднего и заднего профиля роговицы могут быть обусловлены теми же механизмами гравитационного, гидростатического влияния и региональными особенностями сцепления волокон роговицы, которые выявлены при неоперированной миопии. Однако изменения опорных свойств роговицы, обусловленные проведенной ПРК, усугубляют изменения топографического профиля и не поддаются систематизации.

Вклад авторов в работу:

Е.К. Цыренжапова: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста, редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации, другой вклад.

О.И. Розанова: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста, редактирование, окончательное утверждение статьи, подлежащей публикации, другой вклад.

О.И. Микова: написание текста, редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

А.А. Иванов: другой вклад.

Author's contribution:

Е.К. Tsyrenzhapova: significant contribution to the concept and design of the work, collection, analysis and processing of the material, statistical data processing, writing of the text, editing, final approval of the version to be published, other contribution.

О.И. Rozanova: significant contribution to the concept and design of the work, collection, analysis and processing of the material, statistical data processing, writing of the text, editing, final approval of the article to be published, other contribution.

О.И. Mikova: writing of the text, editing, final approval of the version to be published.

А.А. Ivanov: other contribution.

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

Авторство: Все авторы подтверждают, что они соответствуют действующим критериям авторства ICMJE.

Согласие пациентов на публикацию: Получено.

Конфликт интересов: Отсутствует.

ORCID ID: Цыренжапова Е.К. 0000-0002-6804-8268

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

Authorship: All authors confirm that they meet the current ICMJE authorship criteria.

Patients' consent for publication: Received.

Conflict of interest: There is no conflict of interest.

ORCID ID: Tsyrenzhapova E.K. 0000-0002-6804-8268

ЛИТЕРАТУРА

1. Lopes BT, Ramos IC, Dawson DG, Belin MW, Ambrósio R. Detection of ectatic corneal diseases based on pentacam. *Z Med Phys.* 2016;26: 136–142. doi: 10.1016/j.zemedi.2015.11.001

2. Prakash G, Agarwal A, Mazhari AI, Kumar G, Desai P, Kumar DA, et al. A new pachymetry-based approach for diagnostic cutoffs for normal, suspect and keratoconic cornea. *Eye.* 2012;26: 650–657. doi: 10.1038/eye.2011.365

3. Wilson SE, Lin DT, Klyce SD. Corneal topography of keratoconus. *Cornea.* 1991;10: 2–8.

4. Salomão M, Hoffling-Lima A, Lopes B, et al. Recent developments in keratoconus diagnosis. *Expert Rev Ophthalmol.* 2018;13: 329–370.

5. Wilson SE, Ambrosio R. Computerized corneal topography and its importance to wavefront technology. *Cornea.* 2001;20: 441–495. doi: 10.1097/00003226-200107000-00001

6. Ambrosio R Jr, Valbon BF, Faria-Correia F, et al. Scheimpflug imaging for laser refractive surgery. *Curr Opin Ophthalmol.* 2013;24: 310–330. doi: 10.1097/ICU.0b013e3283622a94

7. Цыренжапова Е.К., Розанова О.И., Селиверстова Н.Н. Анализ оптических свойств задней поверхности роговицы у пациентов после передней радиальной кератотомии. *Acta Biomedica Scientifica.* 2019;4(4): 24–29. [Tsyrenzhapova EK, Rozanova OI, Seliverstova NN. Analysis of optical properties of the posterior corneal surface in patients after anterior radial keratotomy. *Acta Biomedica Scientifica.* 2019;4(4): 24–29. (In Russ.)]. doi: 10.29413/ABS.2019-4.4.3

8. Awwad ST, Dwarakanathan S, Bowman RW, et al. Intraocular lens power calculation after radial keratotomy: estimating the refractive corneal power. *Journal Cataract Refractive Surgery.* 2007; 33(6): 1045–1050. doi: 10.1016/j.jcrs.2007.03.018

9. Mazen M Sinjab. *Corneal tomography in clinical practice* (Pentacam system). Third edition. M.: JayPee Brothers; 2019: 51–59.

10. Kasprzak H, Pierscionek BK. Modelling the gravitational sag of the cornea and the subsequent quality of the refracted image. *J Mod Opt.* 2002;49: 2153–2166.

11. Smolek MK. Interlamellar cohesive strength in the vertical meridian of human eye bank corneas. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1993;34: 2962–2969.

Поступила: 30.09.2020

Переработана: 25.11.2020

Принята к печати: 19.01.2021

Originally received: 30.09.2020

Final revision: 25.11.2020

Accepted: 19.01.2021