

Денситометрическая оценка прозрачности роговицы после коррекции миопии средней степени методом фемтосекундной экстракции лентиккулы через малый разрез и с помощью лазерного кератомилеза *in situ* с фемтосекундным сопровождением

О.В. Писаревская¹, А.Г. Щуко¹⁻³, Т.Н. Юрьева¹⁻³

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

²Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования – филиал ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России;

³ФГБОУ ВО «Иркутский государственный медицинский университет» Минздрава России

РЕФЕРАТ

Актуальность. Исследование механизмов отсроченного восстановления некорригированной остроты зрения в раннем послеоперационном периоде при коррекции миопии методом SMILE является актуальным. **Цель.** Оценить изменение показателей денситометрии роговицы после операции SMILE и FS-LASIK у пациентов с миопией средней степени. **Материал и методы.** Проведено проспективное исследование 152 пациентов с миопией средней степени, 68 прооперированы методом SMILE и 84 – FS-LASIK. Все процедуры выполнялись с использованием фемтосекундного лазера VisuMax и эксимерного лазера MEL 80 (Carl Zeiss Meditec, Германия). Оценка остроты зрения, структуры роговицы (ОКТ, Ортоvue, США), денситометрия роговицы (Pentacam Scheimpflug, Германия) проводились до операции, на 1-е, 5-е сутки, через 3, 6, 12 месяцев после операции. ОКТ-сканы проанализированы с использованием программы ImageJ. Результаты. На 1-е сутки после SMILE острота зрения ($p=0,01$) и про-

зрачность переднего и среднего слоя роговицы были более снижены, чем после FS-LASIK, в зоне от 0 до 2 мм ($p=0,045$, $p=0,001$), от 2 до 6 мм (обе $p=0,001$). Данные различия стали статистически незначимыми к 5-му дню после операции. К 3 и 6 месяцам в группе FS-LASIK прозрачность роговицы в средних слоях снизилась в зоне 0–2 мм и 2–6 мм ($p=0,0001$, $p=0,001$). В обеих группах к 12 месяцам обратное светорассеяние роговицы достигло значений предоперационного периода ($p>0,05$). **Заключение.** Рефракционные операции SMILE и FS-LASIK сопровождаются снижением прозрачности роговицы, которая к 12 месяцам восстанавливается до предоперационных значений. В раннем послеоперационном периоде повышение показателей денситометрии и более медленное восстановление остроты зрения после операции SMILE может быть обусловлено активным ремоделированием интерфейса, включающего в себя обломки коллагеновых фибрилл и клеточные компоненты внутри интрастромального пространства.

Ключевые слова: SMILE, FS-LASIK, денситометрия, миопия ■

Для цитирования: Писаревская О.В., Щуко А.Г., Юрьева Т.Н. Денситометрическая оценка прозрачности роговицы после коррекции миопии средней степени методом фемтосекундной экстракции лентиккулы через малый разрез и с помощью лазерного кератомилеза *in situ* с фемтосекундным сопровождением. Офтальмохирургия. 2021;3: 40–47. <https://doi.org/10.25276/0235-4160-2021-3-40-47>:

ABSTRACT

Densitometric assessment of corneal transparency after correction of moderate myopia by femtosecond extraction of the lenticule through a small incision and using laser keratomilesis *in situ* with femtosecond assistance

O.V. Pisarevskaya¹, A.G. Shchuko¹⁻³, T.N. Iureva¹⁻³

¹S.N. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Ministry of health of the Russian Federation, Irkutsk Branch, Russian Federation;

²Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education, Russian Federation;

³Irkutsk State Medical University, Russian Federation

Relevance. The study of the mechanisms of insufficiently rapid achievement of high visual acuity in the early postoperative period in the correction of myopia by the SMILE method is relevant. **Purpose.**

To evaluate changes in corneal densitometry parameters after SMILE and FS-LASIK surgery in patients with moderate myopia. **Material and methods.** A study of 152 patients with moderate myopia was conducted,



68 were operated by SMILE and 84 – FS-LASIK. All procedures were performed using a VisuMax femtosecond laser and a MEL 80 excimer laser (Carl Zeiss Meditec, Germany). Assessment of visual acuity, corneal structure (OCT, Optovue, USA), corneal densitometry (Pentacam Scheimpflug, Germany) were performed before the operation, on the 1st, 5th day, 3, 6, 12 months after the operation. OCT scans were analyzed using the ImageJ program. Results. On the 1st day after SMILE, visual acuity ($p=0.01$) and transparency of the anterior and middle layers of the cornea were reduced than after FS-LASIK in the zone from 0 to 2 mm ($p=0.045$, $p=0.001$), from 2 to 6 mm (both $p=0.001$). These differences became statistically insignificant 5 days after surgery. By three and six

months in the FS-ERASER group, the corneal transparency in the middle layers were reduced in the 0–2 mm and 2–6 mm zones ($p=0.0001$, $p=0.001$). In both groups, by 12 months, the corneal backscattering reached the values of the preoperative period ($p>0.05$). **Conclusion.** Refractive operations SMILE and FS-LASIK are accompanied by a decrease in corneal transparency, which is restored to preoperative values by 12 months. In the early postoperative period, an increase in densitometry indicators and a slower recovery of visual acuity after SMILE surgery may be due to active remodeling of the interface, which includes fragments of collagen fibrils and cellular components inside the intrastromal space.

Key words: SMILE, FS-LASIK, densitometry, myopia ■

For quoting: Pisarevskaya O.V., Shchuko A.G., Iureva T.N. Densitometric assessment of corneal transparency after correction of moderate myopia by femtosecond extraction of the lenticule through a small incision and using laser keratomilexis in situ with femtosecond assistance. Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery. 2021;3: 40–47. <https://doi.org/10.25276/0235-4160-2021-3-40-47>.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Несмотря на большое разнообразие доступных методов коррекции аномалий рефракции, в последние десятилетия наиболее распространенными вмешательствами стали операции на роговице. Их популярность объясняется высоким уровнем безопасности, прогнозируемости и стабильности получаемого результата [1, 2].

Самым распространенным методом до сих пор остается лазерный кератомилез in situ, который включает в себя создание лоскута на поверхности роговицы с помощью микрокератома (LASIK) или фемтосекундного лазера (FS-LASIK) с последующей абляцией подлежащей части стромы с помощью эксимерного лазера. Клапанная хирургия, кроме преимуществ, имеет ряд недостатков, таких как выраженный синдром «сухого глаза», высокая вероятность смещения лоскута, нарушение ночного зрения и развитие эктазии [1–5].

Наиболее перспективным способом коррекции миопии в настоящий момент является удаление лентикuly через малый доступ (SMILE) [6]. Однако до сих пор не раскрыты механизмы отсроченного восстановления остроты зрения в раннем послеоперационном периоде, особенно в случаях коррекции миопии высокой степени, что вызывает негативную реакцию со стороны пациентов [7].

Было предположено, что удаление корневальной лентикuly сопровождается определенными структурными изменениями, обуславливающими снижение «чистоты оптической оси» за счет некоторого нарушения прозрачности роговицы.

Так, исследования А. Agsa и соавт. [8] показали, что, по данным конфокальной микроскопии, средняя интенсивность обратного рассеяния света на всех измеренных глубинах была выше в группе SMILE, чем в группе FS-LASIK, через 1 неделю и через 1 и 3 месяца после операции [9].

Объективное определение прозрачности роговицы также может проводиться с использованием Шеймпфлюг-денситометрии, которая является неинвазивным методом количественной оценки помутнений роговицы путем регистрации обратного светорассеивания [10]. Этот метод достаточно успешно применяется в мониторинге различных патологических изменений роговицы, таких как кератиты, дистрофии роговицы и кератоконус, позволяет объективно контролировать прозрачность роговицы после кератопластики, кроссликинга и кераторефракционных операций [11–15].

ЦЕЛЬ

Оценить изменение показателей денситометрии роговицы после фемтосекундной экстракции лентикuly через малый разрез (SMILE) и фемтосекундного лазерного кератомилеза in situ (FS-LASIK) у пациентов с миопией средней степени.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Прооперированы и обследованы 152 пациента с миопией средней степени. Пациенты были разделены на две группы:

- группа I – 68 пациентов, прооперированных методом экстракции лентикuly через малый разрез;

Для корреспонденции:

Писаревская Олеся Валерьевна, к.м.н., врач-офтальмолог высшей категории
ORCID ID: 0000-0001-8071-2398. E-mail: lesya_pisarevsk@mail.ru

For correspondence:

Olesya Pisarevskaya, candidate of medical sciences, ophthalmologist of the highest category
ORCID ID: 0000-0001-8071-2398. E-mail: lesya_pisarevsk@mail.ru

• группа II – 84 пациента, прооперированных методом фемтосекундного лазерного кератомилеза *in situ*.

В исследование включали данные одного глаза пациента, выборка которого происходила с использованием таблицы случайных чисел.

Критерии включения: миопия средней степени (сферический эквивалент от $-3,25$ до $-6,0$ дптр), добровольное согласие пациентов на участие в исследовании.

Критерии исключения: любые помутнения, предшествующие операции на роговице, травмы глаза или внутриглазные операции, тяжелый синдром «сухого глаза», а также сосудистые/аутоиммунные заболевания.

FS-LASIK проводился под местной анестезией. Клапан роговицы был сформирован с использованием фемтосекундного лазера VisuMax с энергией 180 нДж, частотой 500 кГц, длительностью импульса от 220 до 580 фемтосекунд и шагом пятна 4,5 мкм. Толщина роговичного клапана соответствовала 100–120 мкм (в среднем $107 \pm 5,6$ мкм), оптическая зона от 6,0–6,5 мм (в среднем $6,38 \pm 0,29$ мм). Этап абляции выполнялся с помощью эксимерного лазера MEL 80 (Carl Zeiss Meditec AG, Германия). Поверхностный клапан адаптировали с использованием тупферов, добиваясь его полного прилегания без стрий и вакуолей.

Экстракция лентикулы роговицы через малый разрез проводилась после предварительного фемтолазерного формирования бокового вреза и горизонтальной плоскости на уровне передней и задней поверхности лентикулы. Использовалась энергия 180 нДж с шагом пятна 4,5 мкм для горизонтальной плоскости, 2,5 мкм для бокового реза лентикулы и 2 мкм для реза роговичного доступа. Шпателем Chansue произведено разделение корневых перемычек, после этого лентикулу удаляли пинцетом зубчатым захватывающим 23 Ga/0,6 мм (Dorc, Нидерланды). Карман промывали раствором BSS, адаптация роговичного клапана с помощью тупфера, интерфейс проверялся с помощью встроенной целевой лампы.

Все пациенты прошли предоперационное офтальмологическое обследование, которое включало: авторефрактометрию, пупиллометрию, определение некорригированной и корригированной остроты зрения вдаль, исследование переднего отрезка глаза и сетчатки с помощью биомикроскопии. Денситометрия проводилась с использованием прибора Pentacam Scheimpflug (Oculus, Wetzlar, Германия). Оценивались карты денситометрии, которые содержат четыре концентрические радиальные зоны (0–2, 2–6, 6–10 и 10–12 мм) вокруг вершины роговицы, на уровне переднего, среднего и заднего слоев. Передний слой соответствует передним 120 мкм роговицы, задний слой соответствует задним 60 мкм роговицы. Толщина среднего слоя роговицы определяется путем вычитания суммы переднего и заднего слоев из общей корневальной толщины. Результаты выражаются в единицах шкалы серого (GSU). Шкала GSU калибруется с помощью программного обеспечения от степени рассеяния света 0 (максимальная прозрачность) до максимального рассеяния света 100 (минимальная прозрачность) [10].

В послеоперационном периоде пациенты были обследованы на 1-е, 5-е сутки, через 3, 6 и 12 месяцев. На 1-е и 5-е сутки структура роговицы оценивалась с помощью ОКТ RTVue XR Avanti (Optovue, США), ОКТ-сканы были проанализированы с использованием программы ImageJ, позволяющей преобразовывать томограммы в двоичные изображения.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Описательная статистика (т.е. среднее, стандартное отклонение и диапазон) были выполнены с помощью Microsoft Excel 2010. Статистический анализ был выполнен с использованием SPSS версии 20.0. При нормальном распределении данные оценивали с помощью теста Шапиро–Уилка. Ранговый тест Wilcoxon для парных выборок и t-тест для парных выборок были использованы для непараметрических и параметрических выборок внутри каждой группы. U-критерий Манна–Уитни и t-критерий использовались для непараметрических и параметрических тестов между двумя группами. Все параметрические и непараметрические тесты были выполнены на уровне значимости 95% (0,05).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Пациенты обеих групп были сопоставимы по демографическим и клиническим характеристикам (табл. 1).

Было установлено, что в раннем послеоперационном периоде (1-е и 5-е сутки) острота зрения пациентов, прооперированных методом SMILE, была достоверно ниже, чем в группе сравнения. Так, в 1-е сутки она варьировала от 0,7 до 1,0, составляя в среднем $0,89 \pm 0,08$, а в группе сравнения составляла от 0,8 до 1,1 ($0,98 \pm 0,09$, $p=0,01$), достоверно превышая значения пациентов, прооперированных методом SMILE. К 5-м суткам после операции острота зрения в группе исследования значительно улучшилась, практически достигнув значения визометрии пациентов, прооперированных с помощью метода FS-LASIK ($0,96 \pm 0,08$ и $1,01 \pm 0,06$ соответственно, $p=0,24$). Такая тенденция сохранялась через 3 месяца наблюдения ($1,001 \pm 0,04$ и $1,00 \pm 0,05$, $p=0,42$). Однако оценка показателей остроты зрения в отдаленном послеоперационном периоде показала преимущества технологии SMILE. Острота зрения в основной клинической группе через 6 месяцев достигла $1,03 \pm 0,07$, а в группе сравнения – $0,98 \pm 0,05$ ($p=0,04$). К году после операции данный показатель у пациентов после SMILE составил в среднем $1,04 \pm 0,07$, в группе сравнения – $0,96 \pm 0,075$ ($p=0,0006$) (рис. 1).

Установлено, что у пациентов в группе SMILE обратное светорассеяние роговицы в пределах переднего слоя в зоне от 0 до 2 мм ($p=0,045$), от 2 до 6 мм ($p=0,001$) и среднего слоя в зоне от 0 до 2 ($p=0,001$) и от 2 до 6 мм

Таблица 1

Демографическая и клиническая характеристика пациентов

Table 1

Demographic and clinical characteristics of patients

Показатель Indicators	SMILE Группа I Group I	FS-LASIK Группа II Group II	p. U
Количество глаз Number of eyes	68	84	
Возраст, лет Age, years	28,5±4,1	27,1±0,83	0,31
Пол (Sex) М, % Ж, %	55,9% 44,1%	46,4% 53,6%	
Сила преломления роговицы, дптр K value	43,45±1,34	43,71±1,32	0,39
Аксиальная длина глаза, мм Axial Length, mm	25,01±1,2	25,23±0,83	0,65
Некорригированная острота зрения Uncorrected visual acuity	0,06±0,03	0,07±0,03	0,13
Корригированная острота зрения Corrected visual acuity	0,98±0,04	0,97±0,11	0,43
Толщина роговицы, мкм Central corneal thickness, μm	561,8±33,4	552,5±37,0	0,33
Сферический компонент рефракции, дптр Spherical equivalent, D	-4,01±0,65	-4,02±0,74	0,78
Толщина удаленной ткани, мкм The thickness of the removed tissue, μm	101,2±38,9	98,6±31,25	0,37

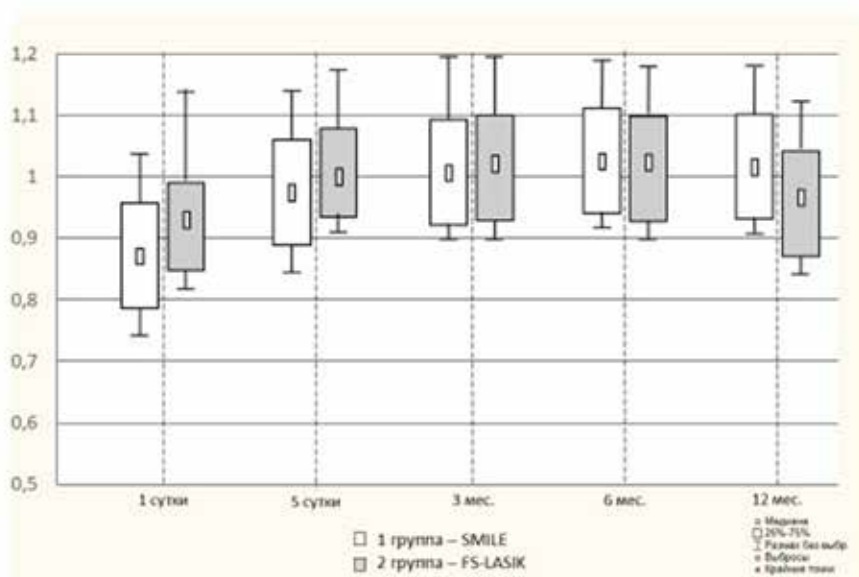


Рис. 1. Изменение остроты зрения у пациентов после операции SMILE в ранний, поздний и отдаленный послеоперационный период

* – $p < 0,05$

Fig. 1. Changes in visual acuity in patients after SMILE surgery in the early, late and long-term postoperative period

($p=0,001$) значительно увеличилось на 1-е сутки после операции по сравнению с группой сравнения и дооперационными значениями (все $p=0,001$). Данные различия уменьшились до уровня статистически незначимой разницы к 5-м суткам после операции. К 3 и 6 месяцам соотношение показателей денситометрии в двух группах принципиально изменилось. У пациентов, прооперированных методом FS-LASIK, прозрачность роговицы в этих же вышеописанных зонах стала хуже, чем в группе сравнения ($p=0,0001$). К 12 месяцам различия обратного светорассеяния в двух исследуемых группах были полностью нивелированы, достигнув значений предоперационного периода ($p>0,05$) (табл. 2).

Несмотря на результаты, представленные выше, по данным биомикроскопии ни в одном случае у пациентов обеих групп на всех этапах наблюдения не был диагностирован отек или травматическое повреждение роговицы. Контрастная обработка полученных ОКТ-сканов позволила выявить на 1-е сутки послеоперационного периода у 19% больных после SMILE микрополости между роговичным клапаном и стромой роговицы и микроискажения в слое Боумена, которые отсутствовали после процедуры FS-LASIK. Через 5 суток количество и площадь лакун и микроискажений значительно уменьшилось, что и определило восстановление остроты зрения и снижение денситометрической плотности роговицы.

ОБСУЖДЕНИЕ

Шеймпфлюг-денситометрия роговицы – это быстрый и неинвазивный метод оценки светорассеивания, характеризующийся точностью, воспроизводимостью и повторяемостью [10, 11]. Устройство Шеймпфлюга отображает передний сегмент глаза с помощью высокоскоростной камеры, которая вращается и оценивает примерно 25 000 данных менее чем за 2 с [16, 17]. Среди прочего, устройство обнаруживает и измеряет свет, рассеянный в обратном направлении от эндотелия к эпителию. В отличие от конфокальной микроскопии, денситометрия с помощью камеры Шеймпфлюга позволяет получить более высокое отражение на границах раздела между слоями с разными показателями преломления, т.е. на границах раздела воздух – роговица, эпителий – передняя строма, задняя строма – эндотелий.

Несмотря на имеющиеся различия, исследования прозрачности роговицы как с помощью конфокальной микроскопии [8, 18], так и с помощью прибора Pentacam Scheimpflug [19, 20] продемонстрировали значительное увеличение обратного светорассеивания как после операции SMILE, так и после FS-LASIK, что, скорее всего, связано с процессами послеоперационного заживления.

Известно, что при создании лентикулы по технологии SMILE под воздействием фемтосекундной лазерной энергии образуются кавитационные пузырьки, приво-

дящие к деструкции фибрилл коллагеновых волокон, перемычки между которыми окончательно разделяются при выполнении второго этапа механического выделения лентикулы роговицы. Снижение длительности импульса при использовании быстрого режима работы лазера за счет увеличения энергии и размера пятна позволяет уменьшить время лазерного этапа, что, соответственно, сводит к минимуму сопутствующее повреждение и воспаление тканей. Более того, световые импульсы с длиной волны 1043 нм не поглощаются роговицей и тепловое воздействие на роговицу минимально [21, 22].

Во время операции FS-LASIK, помимо фотодеструктивного эффекта фемтосекундного лазера, используемого для создания лоскута, роговица дополнительно подвергается негативному воздействию эксимерного лазера. Во время абляционного фоторазложения, вызванного эксимерным лазером, высокоэнергетические фотоны разрывают органические молекулярные связи внутри ткани роговицы [23]. В отличие от фемтосекундного лазера, световые импульсы с длиной волны 193 нм поглощаются тканью роговицы, вызывая дальнейшее тепловое и вторичное радиационное повреждение [24].

Полученные в ходе нашего исследования данные показали значительное снижение прозрачности роговицы в обеих группах на 1-е сутки в передних слоях на 21% в группе I и на 8,8% в группе II и 20 и 8,8% в средних слоях соответственно, со статистически достоверным превышением обратного светорассеивания после операции SMILE на 1-е и 5-е сутки послеоперационного периода. Снижение прозрачности роговицы после SMILE, скорее всего, можно объяснить активными процессами ремоделирования интерфейса на уровне примерно 120 мкм, которые могут быть связаны [22, 25] с оставшимися обломками коллагеновых фибрилл и клеточных компонентов внутри кармана [26], что на ОКТ-сканах, обработанных с помощью программы ImageJ, можно визуализировать в виде микрополостей (лакун) между роговичным клапаном и стромой роговицы (рис. 2, 3). Эти факторы объясняют более высокие значения денситометрии и более медленное восстановление зрения после операции SMILE, в отличие от FS-LASIK, где уже в 1-е сутки поверхность отличается большей гладкостью, выраженной адгезией и отсутствием микрополостей (рис. 4).

Травма ткани после фотоабляции под действием эксимерного лазера высвобождает различные цитокины и хемокины, которые модулируют процесс заживления ран роговицы [27]. Z. Dong и соавт. показали, что FS-LASIK индуцировал более значительный апоптоз кератоцитов и их пролиферацию, по сравнению со SMILE [28, 29].

Другое крупное экспериментальное исследование Y.-Ch. Liu и соавт., направленное на оценку реакции заживления послеоперационной раны после операции SMILE, выполненной по поводу гиперметропии, показало, что реакция кератоцитов усиливалась после операции, выполненной с удалением лентикулы, по сравнению с гиперметропическим SMILE, выполненным без удаления ленти-

Таблица 2

Изменение показателей денситометрии роговицы у пациентов с миопией средней степени, прооперированных методом экстракции лентикулы через малый разрез и кератомилеза in situ с фемтосекундным сопровождением

Table 2

Changes in corneal densitometry parameters in patients with moderate myopia, operated by the method of lenticular extraction through a small incision and keratomylosis in situ with femtosecond accompaniment

Срок Time	Перед операцией Before operation				1-е сутки 1 day				5-е сутки 5 days				3 мес 3 months				6 мес 6 months				12 мес 12 months			
Показатель	SMILE	FS-LASIK	p		SMILE	FS-LASIK	p		SMILE	FS-LASIK	p		SMILE	FS-LASIK	p		SMILE	FS-LASIK	p		SMILE	FS-LASIK	p	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Передний слой (120 мкм) / Anterior layer (120 μm)																								
0-2 мм (mm)	21.81 ±1.97	22.87 ±1.25	0.630		27.54 ±2.68	25.09 ±3.03	0.045		25.41 ±1.97	24.99 ±1.03	0.42		24.45 ±0.49	24.56 ±1.95	0.88		24.83 ±0.203	24.39 ±1.02	0.47		23.76 ±1.38	23.83 ±1.07	0.88	
2-6 (mm)	19.58 ±1.61	20.32 ±1.07	0.41		24.49 ±3.84	22.61 ±2.42	0.001		24.09 ±2.09	22.97 ±1.26	0.12		23.05 ±0.49	22.8 ±1.53	0.71		22.82 ±1.32	22.70 ±1.36	0.83		22.08 ±0.59	22.18 ±1.15	0.81	
6-10	20.52 ±2.88	20.25 ±3.37	0.13		22.05 ±2.25	22.87 ±1.36	0.83		21.87 ±2.11	21.22 ±2.01	0.76		19.30 ±0.79	20.01 ±2.31	0.28		22.50 ±1.57	20.87 ±1.64	0.18		19.88 ±1.42	20.59 ±2.56	0.46	
Средний слой / Medium layer																								
0-2	13.90 ±0.86	14.51 ±0.61	0.47		16.97 ±2.20	15.04 ±1.96	0.001		15.41 ±1.70	15.27 ±1.36	0.89		15.10 ±0.14	17.02 ±0.97	0.00		14.19 ±1.29	15.69 ±0.75	0.000		14.37 ±0.68	15.44 ±1.08	0.71	
2-6	12.70 ±0.68	12.05 ±0.66	0.36		14.91 ±2.07	12.87 ±2.19	0.001		13.67 ±1.55	13.06 ±0.97	0.43		13.70 ±0.77	15.69 ±0.56	0.000		13.01 ±0.67	15.32 ±1.21	0.000		13.88 ±0.43	14.06 ±0.41	0.34	
6-10	13.74 ±1.96	14.53 ±2.42	0.25		14.07 ±2.94	14.93 ±1.20	0.57		13.54 ±1.36	13.83 ±1.16	0.71		12.55 ±0.27	13.07 ±1.58	0.64		14.2 ±1.23	14.37 ±1.54	0.14		13.77 ±1.28	14.26 ±1.74	0.49	
Задний слой (60 мкм) / Inferior layer (60 μm)																								
0-2	9.27 ±0.71	9.73 ±0.44	0.15		10.02 ±1.87	10.17 ±1.07	0.88		9.41 ±0.97	10.14 ±0.71	0.57		9.60 ±0.28	9.78 ±0.91	0.91		9.25 ±0.66	9.52 ±0.87	0.37		9.08 ±0.97	8.91 ±0.46	0.62	
2-6	8.75 ±0.64	9.12 ±0.58	0.07		8.97 ±2.03	9.51 ±1.57	0.62		9.01 ±1.14	9.44 ±0.56	0.47		9.30 ±0.29	9.45 ±0.68	0.79		9.16 ±0.78	9.57 ±0.96	0.89		8.87 ±0.86	8.91 ±0.27	0.85	
6-10	10.73 ±1.73	10.99 ±1.85	0.66		11.26 ±1.92	11.82 ±1.26	0.78		10.87 ±1.97	11.07 ±1.03	0.74		10.45 ±0.35	11.01 ±1.09	0.47		11.67 ±1.17	11.61 ±1.23	0.93		10.91 ±1.05	11.05 ±1.61	0.78	

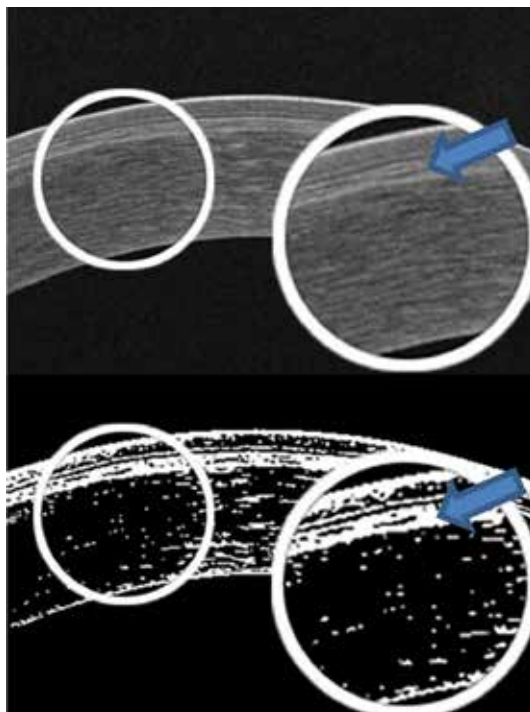


Рис. 2. Томограмма роговицы пациента после SMILE на 1-е сутки в не-обработанном виде (а) и после обработки в программе ImageJ (б) (стрелками указаны лакуны)

Fig. 2. Tomogram of the patient's cornea after SMILE 1 day in untreated form (a) and after processing in the ImageJ program (b) (arrows indicate gaps)

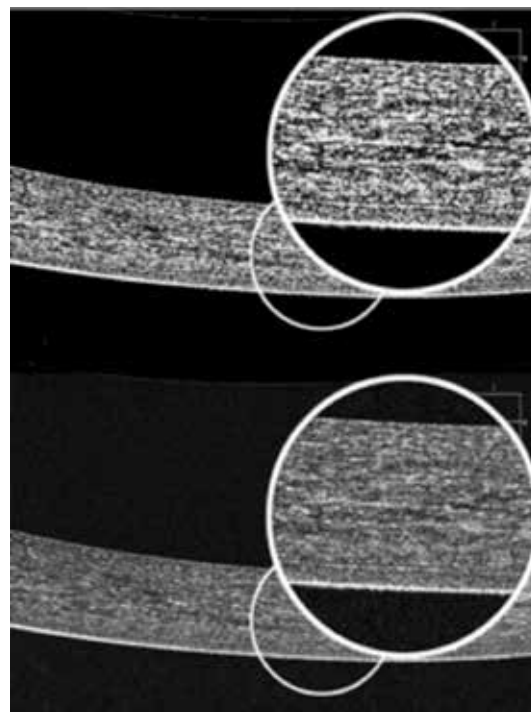


Рис. 3. Томограмма роговицы пациента после SMILE на 5-е сутки в не-обработанном виде (а) и после обработки в программе ImageJ (б)

Fig. 3. Tomogram of the patient's cornea after SMILE on day 5 in untreated form (a) and after processing in the ImageJ program (b)

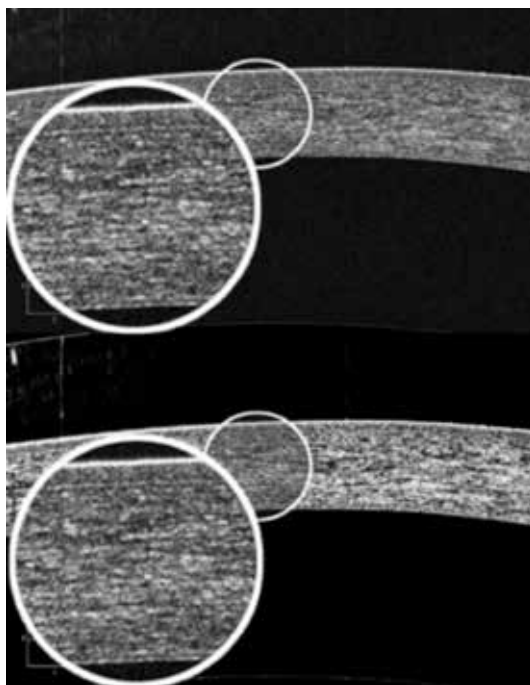


Рис. 4. Томограмма роговицы пациента в 1-е сутки после FS-LASIK в не-обработанном виде (а) и после обработки в программе ImageJ (б)

Fig. 4. Tomogram of the patient's cornea on the first day after FS-LASIK in untreated form (a) and after processing in the ImageJ program (b)

кулы. Они предположили, что хирургическая манипуляция, а не воздействие фемтолазерной энергии вызывает клеточный стресс в окружающей стромальной ткани [30].

Эти данные позволяют понять, почему прозрачность роговицы после SMILE приближается к дооперационным значениям уже к 3-му месяцу после операции, тогда как после FS-LASIK в этот период времени денситометрические показатели начинают повышаться, отражая продолжающиеся до 6 месяцев процессы послеоперационного воспаления.

ВЫВОДЫ

Полученные в ходе исследования результаты убедительно показали, что рефракционные операции SMILE и FS-LASIK сопровождаются снижением прозрачности роговицы, которая к 12 месяцам восстанавливается до предоперационных значений.

В раннем послеоперационном периоде повышение показателей денситометрии и более медленное восстановление остроты зрения после операции SMILE может быть обусловлено активным remodelированием интерфейса, включающего в себя обломки коллагеновых фибрилл и клеточные компоненты внутри интрастромального пространства.

В отдаленном послеоперационном периоде увеличения денситометрии роговицы после операции FS-LASIK может свидетельствовать о повышении активности кератоцитов на фоне продолжающихся процессов заживления.

Вклад авторов в работу:

О.В. Писаревская: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, статистическая обработка данных, редактирование.

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

Т.Н. Юрueva: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, написание текста, редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

Authors contribution:

O.V. Pisarevskaya: substantial contributions to the conception and design of the work, acquisition, analysis and processing of the material, statistical data processing, editing.

A.G. Shchuko: substantial contribution to conception and design work, editing, final approval of the version to be published.

T.N. Iureva: substantial contribution to conception and design work, writing, editing, final approval of the version to be published.

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

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

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

Конфликт интересов: Отсутствует.

ORCID ID: Писаревская О.В., 0000-0001-8071-2398

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.

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

Conflict of interest: There is no conflict of interest.

ORCID ID: Pisarevskaya O.V., 0000-0001-8071-2398

ЛИТЕРАТУРА

- Blum M, Täubig K, Gruhn Ch, Sekundo W, Kunert KS. Five-year results of small incision lenticule extraction (ReLEx SMILE). Br J Ophthalmol. 2016;100(9): 1192–1195. doi: 10.1136/bjophthalmol-2015-306822
- Ganesh S, Gupta R. Comparison of visual and refractive outcomes following femtosecond laser-assisted LASIK with smile in patients with myopia or myopic astigmatism. J Refract Surg. 2014;30(9): 590–596. doi: 10.3928/1081597x-20140814-02
- Li M, Zhou Z, Shen Y, Knorz MC, Gong L, Zhou X. Comparison of corneal sensation between small incision lenticule extraction (SMILE) and femtosecond laser-assisted LASIK for myopia. J Refract Surg. 2014;30(2): 94–100. doi: 10.3928/1081597X-20140120-04
- Romero-Diaz-de-Leon L, Serna-Ojeda JC, Navas A, Graue-Hernández EO, Ramirez-Miranda A. Intraoperative Flap Complications in LASIK Surgery Performed by Ophthalmology Residents. J Ophthalmic Vis Res. 2016;11(3): 263–267. doi: 10.4103/2008-322X.188393
- Villa C, Gutiérrez R, Jiménez JR, González-Méjome JM. Night vision disturbances after successful LASIK surgery. Br J Ophthalmol. 2007;91(8): 1031–1037. doi: 10.1136/bjo.2006.110874
- Chansue E, Tanesakdi M, Swasditutra S, McAlinden C. Efficacy, predictability and safety of small incision lenticule extraction (SMILE). Eye Vis (Lond). 2015;2: 14. doi: 10.1186/s40662-015-0024-4
- Han T, Zhao J, Shen Y, Chen Y, Tian M, Zhou X. A Three-year observation of corneal backscatter after small incision lenticule extraction (SMILE). J Refract Surg. 2017;33(6): 377–382. doi: 10.3928/1081597X-20170420-01
- Agca A, Ozgurhan EB, Yildirim Y, Cankaya KI, Guleryuz NB, Alkin Z, Ozkaya A, Demirok A, Yilmaz OF. Corneal backscatter analysis by in vivo confocal microscopy: fellow eye comparison of small incision lenticule extraction and femtosecond laser-assisted LASIK. J Ophthalmol. 2014;2014: 265012. doi: 10.1155/2014/265012
- Agca A, Demirok A, Cankaya KI, Yasa D, Demircan A, Yildirim Y, Ozkaya A, Yilmaz OF. Comparison of visual acuity and higher-order aberrations after femtosecond

lenticule extraction and small-incision lenticule extraction. Cont Lens Anterior Eye. 2014;37(4): 292–296. doi: 10.1016/j.clae.2014.03.001

10. Dhubghaill SN, Rozema JJ, Jongenelen S, Hidalgo IR, Zakaria N, Tassignon M-J. Normative values for corneal densitometry analysis by Scheimpflug optical assessment. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2014;55(1): 162–168. doi: 10.1167/iov.13-13236

11. Otri AM, Fares U, Al-Aqaba MA, Dua HS. Corneal densitometry as an indicator of corneal health. Ophthalmology. 2012;119(3): 501–508. doi: 10.1016/j.optha.2011.08.024

12. Elflein HM, Hofherr T, Berisha-Ramadani F, Weyer V, Lampe C, Beck M, Pitz S. Measuring corneal clouding in patients suffering from mucopolysaccharidosis with the Pentacam densitometry programme. Br J Ophthalmol. 2013;97(7): 829–833. doi: 10.1136/bjophthalmol-2012-302913

13. Lopes B, Ramos I, Ambrósio Jr R. Corneal densitometry in keratoconus. Cornea. 2014;33(12): 1282–1286. doi: 10.1097/ICO.0000000000000266

14. Koh Sh, Maeda N, Nakagawa T, Nishida K. Quality of vision in eyes after selective lamellar keratoplasty. Cornea. 2012;31(Suppl 1): S45–49. doi: 10.1097/ICO.0b013e318269c9cd

15. Uchino Y, Shimmura Sh, Yamaguchi T, Kawakita T, Matsumoto Y, Negishi K, Tsubota K. Comparison of corneal thickness and haze in DSAEK and penetrating keratoplasty. Cornea. 2011;30(3): 287–290. doi: 10.1097/ICO.0b013e3181eaf6d6

16. Jain R, Dilraj G, Grewal SPS. Repeatability of corneal parameters with Pentacam after laser in situ keratomileusis. Indian J Ophthalmol. 2007;55(5): 341–347.

17. Minami K, Honbo M, Mori Y, Kataoka Y. Area densitometry using rotating Scheimpflug photography for posterior capsule opacification and surface light scattering analyses. J Cataract Refract Surg. 2015;41(11): 2444–2449. doi: 10.1016/j.jcrs.2015.05.038

18. Li M, Niu L, Qin B, Zhou Z, Ni K, Le Q, Xiang J, Wei A, Ma W, Zhou X. Confocal comparison of corneal reinnervation after small incision lenticule extraction (SMILE) and femtosecond laser in situ keratomileusis (FS-LASIK). PLoS ONE. 2013;8(12): e81435. doi: 10.1371/journal.pone.0081435

19. Shajari M, Wanner E, Rusev V, Sefat ShMM, Mayer WJ, Kohnen Th, Priglinger S, Kook D. Corneal densitometry after femtosecond laser-assisted in situ keratomileusis (FS-LASIK) and small incision lenticule extraction (SMILE). Curr Eye Res. 2018;43(5): 605–610. doi: 10.1080/02713683.2018.1431288

20. Lazariadis A, Droutsas K, Kikondo W, Petrak M, Schulze S. Corneal clarity and visual outcomes after small-incision lenticule extraction and comparison to femtosecond laser-assisted in situ keratomileusis. J Ophthalmol. 2017;2017: 5646390. doi: 10.1155/2017/5646390

21. Soong HK, Malta JB. Femtosecond lasers in ophthalmology. Am J Ophthalmol. 2009;147(2): 189–197.e2G. doi: 10.1016/j.ajo.2008.08.026

22. Kymionis GD, Kankariya VP, Plaka AD, Reinstein DZ. Femtosecond laser technology in corneal refractive surgery: a review. J Refract Surg. 2012;28(12): 912–920. doi: 10.3928/1081597X-20121116-01

23. Riau AK, Angunawala RI, Chaurasia ShS, Lee WS, Tan DT, Mehta JS. Early corneal wound healing and inflammatory responses after refractive lenticule extraction (ReLEx). Invest Ophthalmol Vis Sci. 2011;52(9): 6213–6221. doi: 10.1167/iov.11-7439

24. Seiler T, Bende T, Winckler K, Wollensak J. Side effects in excimer corneal surgery. DNA damage as a result of 193 nm excimer laser radiation. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol. 1988;226(3): 273–276.

25. Netto MV, Mohan RR, Medeiros FW, Dupps Jr WJ, Sinha S, Krueger RR, Stapleton WM, Rayborn M, Suto Ch, Wilson SE. Femtosecond laser and microkeratome corneal flaps: comparison of stromal wound healing and inflammation. J Refract Surg. 2007;23(7): 667–676.

26. Shah R, Shah S. Effect of scanning patterns on the results of femtosecond laser lenticule extraction refractive surgery. J Cataract Refract Surg. 2011;37(9): 1636–1647. doi: 10.1016/j.jcrs.2011.03.056

27. Resan M, Vukosavljevic M, Vojvodic D, Pajic-Eggspuehler B. The acute phase of inflammatory response involved in the wound-healing process after excimer laser treatment. Clin Ophthalmol. 2016;10: 993–1000. doi: 10.2147/OPHTH.S105880

28. Dong Z, Zhou X-T, Wu J, Zhang Zh, Li T, Zhou Z, Zhang Sh, Li G. Small incision lenticule extraction (SMILE) and femtosecond laser LASIK: Comparison of corneal wound healing and inflammation. Br J Ophthalmol. 2014;98(2): 263–269. doi: 10.1136/bjophthalmol-2013-303415

29. Leonardi A, Tavolato M, Curnow SJ, Fregona IA, Violato D, Alió JL. Cytokine and chemokine levels in tears and in corneal fibroblast cultures before and after excimer laser treatment. J Cataract Refract Surg. 2009;35(2): 240–247. doi: 10.1016/j.jcrs.2008.10.030

30. Liu Y-Ch, Ang M, Teo E, Lwin NCh. Wound healing profiles of hyperopic-small incision lenticule extraction (SMILE). Scientific Reports. 2016;6: 29802. doi: 10.1038/srep29802

Поступила: 22.04.2021
Переработана: 01.06.2021
Принята к печати: 31.08.2021

Originally received: 22.04.2021
Final revision: 01.06.2021
Accepted: 31.08.2021