

ПЕРВЫЕ КЛИНИКО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КОРРЕКЦИИ СМЕШАННОГО АСТИГМАТИЗМА С ФЕМТОСЕКУНДНОЙ ЛЕНТИКУЛЯРНОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ

**Никитина А.Е.¹,
Костенев С.В.²,
Макаров Р.А.³,
Садрутдинов Р.Ш.⁴,
Муртазалиева П.К.⁵**

¹ ФГБОУ ВО «Российский Университет Медицины» Министерства здравоохранения Российской Федерации (127006, г. Москва, ул. Долгоруковская, 4, Россия)

² ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. академика С.Н. Федорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (127486, г. Москва, Бескудниковский бульвар, 59а, Россия)

³ ООО «Офтальмологическая клиника «СПЕКТР» (125252, г. Москва, проезд Берёзовой Рощи, 12, Россия)

⁴ Новосибирский филиал ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. академика С.Н. Федорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (630096, г. Новосибирск, ул. Колхидская, 10, Россия)

⁵ ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации (367000, г. Махачкала, пл. Ленина, 1, Россия)

Автор, ответственный за переписку:
Никитина Анастасия Евгеньевна,
e-mail: anastasianik2403@gmail.com

Статья поступила: 23.01.2026
Статья принята: 27.03.2026
Статья опубликована: 22.05.2026

РЕЗЮМЕ

Обоснование. Смешанный астигматизм относится к наиболее сложным для коррекции рефракционным аномалиям. Традиционные эксимерлазерные методики сопряжены с риском биомеханических осложнений из-за формирования роговичного лоскута. Лентиккулярная технология представляет минимально инвазивную альтернативу, однако её применение при смешанном астигматизме недостаточно изучено и требует разработки специализированных хирургических подходов.

Цель. Оценить эффективность ранних клинико-функциональных результатов коррекции смешанного астигматизма с применением фемтосекундной лентиккулярной технологии.

Материалы и методы. В исследование включены 10 пациентов (15 глаз) в возрасте $32,4 \pm 6,13$ года со смешанным астигматизмом. После комплексного предоперационного обследования всем пациентам была выполнена рефракционная экстракция лентиккулы по методу SMILE на фемтосекундном лазере VisuMax™ 500 кГц (Carl Zeiss Meditec AG) с предварительным расчетом параметров лентиккулы по разработанной технологии. Послеоперационное наблюдение проводилось на 1-е сутки, 1 неделю и 1 месяц.

Результаты. Через месяц некорригированная острота зрения составила $0,90 \pm 0,11$, соответствовавшая предоперационной максимально корригированной остроте зрения ($0,90 \pm 0,18$). Сферический эквивалент стабилизировался на уровне $0,06 \pm 0,45$ дптр. Цилиндрический компонент снизился с $-2,77 \pm 0,79$ до $-0,22 \pm 0,47$ дптр. Показатели кератометрии уменьшились с $42,59 \pm 1,56$ дптр до $40,80 \pm 1,08$ дптр. Толщина роговицы в центре уменьшилась до $499,53 \pm 34,27$ мкм (исходно $555,87 \pm 33,02$ мкм) при сохранении остаточной стромы $376,27 \pm 32,50$ мкм. Дополнительная коррекция и осложнения отсутствовали.

Заключение. Разработанная технология коррекции смешанного астигматизма на основе транспозиции рефракционных параметров в лентиккулярной хирургии является эффективной и безопасной: в раннем послеоперационном периоде достигнуты высокие зрительные функции при минимальном риске осложнений и сохранении биомеханической стабильности роговицы, что подтверждает перспективность дальнейших исследований.

Ключевые слова: смешанный астигматизм, фемтосекундный лазер, лентиккулярная экстракция, рефракционная хирургия

Для цитирования: Никитина А.Е., Костенев С.В., Макаров Р.А., Садрутдинов Р.Ш., Муртазалиева П.К. Первые клинико-функциональные результаты коррекции смешанного астигматизма с фемтосекундной лентиккулярной технологией. *Acta biomedica scientifica*. 2026; 11(2): 174-186. doi: 10.29413/ABS.2026-11.2.17

THE FIRST CLINICAL AND FUNCTIONAL RESULTS OF MIXED ASTIGMATISM CORRECTION WITH FEMTOSECOND LENTICULAR TECHNOLOGY

**Nikitina A.E.¹,
Kostenev S.V.²,
Makarov R.A.³,
Sadrutdinov R.Sh.⁴,
Murtazalieva P.K.⁵**

¹ Russian University of Medicine of the Ministry of Health of the Russian Federation (Dolgorukovskaya St., 4, Moscow 127006, Russian Federation)

² S.N. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution of the Russian Ministry of Health of the Russian Federation (Beskudnikovskiy Boulevard, 59a, Moscow 127486, Russian Federation)

³ Spektr Ophthalmology Clinic (Berezovoy Roshchi Proezd, 12, Moscow 125252, Russian Federation)

⁴ Novosibirsk Branch of the S.N. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution of the Russian Ministry of Health of the Russian Federation (Kolkhidskaya St., 10, Moscow 630096, Russian Federation)

⁵ Dagestan State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Lenin Square, 1, Makhachkala 367000, Russian Federation)

Corresponding author:

Anastasia E. Nikitina,

e-mail: anastasianik2403@gmail.com

RESUME

Background. Mixed astigmatism is one of the most difficult refractive errors to correct. Traditional excimer laser techniques are associated with the risk of biomechanical complications due to the formation of a corneal flap. Lenticular technology offers a minimally invasive alternative, but its application in the case of mixed astigmatism is not well-studied and requires the development of specialized surgical approaches.

The aim. To evaluate the effectiveness of early clinical and functional results in the correction of mixed astigmatism using femtosecond lenticular technology.

Methods and materials. The study included 10 patients (15 eyes) aged 32.4 ± 6.13 years with mixed astigmatism. Following a comprehensive preoperative examination, all patients underwent refractive lenticule extraction using the SMILE method using a VisuMax™ 500 kHz femtosecond laser (Carl Zeiss Meditec AG) with preliminary calculation of lenticule parameters using the developed technology. Postoperative monitoring was performed on the 1st day, 1 week, and 1 month.

Results. After one month, the uncorrected visual acuity was 0.90 ± 0.11 , corresponding to the preoperative best-corrected visual acuity (0.90 ± 0.18). The spherical equivalent stabilized at 0.06 ± 0.45 D. The cylindrical component decreased from -2.77 ± 0.79 D to -0.22 ± 0.47 D. Keratometry readings decreased from 42.59 ± 1.56 D to 40.80 ± 1.08 D. Central corneal thickness decreased to 499.53 ± 34.27 μ m (baseline: 555.87 ± 33.02 μ m) while maintaining residual stroma at 376.27 ± 32.50 μ m. No additional correction or complications were required.

Conclusion. The developed technology for correcting mixed astigmatism based on refractive parameter transposition in lenticular surgery is effective and safe – high visual function was achieved in the early postoperative period with minimal risk of complications and preserved biomechanical stability of the cornea, confirming the potential for further research.

Keywords: mixed astigmatism, femtosecond laser, lenticular extraction, refractive surgery

Received: 23.01.2026

Accepted: 27.03.2026

Published: 22.05.2026

For citation: Nikitina A.E., Kostenev S.V., Makarov R.A., Sadrutdinov R.Sh., Murtazalieva P.K. The first clinical and functional results of mixed astigmatism correction with femtosecond lenticular technology. *Acta biomedica scientifica*. 2026; 11(2): 174-186. doi: 10.29413/ABS.2026-11.2.17

ОБОСНОВАНИЕ

Астигматизм является одной из наиболее распространённых аномалий рефракции, при которой преломляющая сила оптической системы глаза неодинакова в различных меридианах роговицы и/или хрусталика. Вследствие этого световые лучи не сходятся в одной фокусной точке на сетчатке: вместо точечного изображения формируются фокальные линии, разделённые интервалом Штурма, что клинически проявляется снижением остроты зрения, искажением изображения и зрительным дискомфортом [1-3].

По данным эпидемиологических исследований, астигматизм широко распространён в популяции: значительная доля людей имеет астигматизм $\geq 0,50$ дптр, а показатели распространённости и выраженности варьируют от 9,8 % до 67,97 % в зависимости от географических и демографических факторов [4, 5, 6]. Несмотря на высокую распространённость, астигматизм остаётся одной из наиболее сложных для коррекции рефракционных аномалий. Его клиническая значимость определяется не только снижением максимальной корригируемой остроты зрения, но и развитием астенотических жалоб (быстрая утомляемость глаз, головные боли, диплопия), а также риском формирования рефракционной амблиопии и нарушений бинокулярного зрения при отсутствии своевременной коррекции, особенно при средних и высоких степенях астигматизма [7, 8, 9].

Наиболее труднокорректируемым видом считается смешанный астигматизм, при котором в двух главных взаимно перпендикулярных меридианах одного глаза сочетаются миопический и гиперметропический компоненты рефракции, что обуславливает более сложные оптические условия и повышенные требования к точности коррекции [10, 11]. Традиционная очковая и контактная коррекция при высоких степенях смешанного астигматизма может сопровождаться оптическими абберациями, искажением формы и размеров объектов, нарушением пространственного восприятия и снижением переносимости коррекции, что стимулирует развитие и внедрение современных хирургических методов лечения [8].

В последние годы значительный интерес вызывает фемтосекундная лентикулярная технология, позволяющая выполнять коррекцию аметропий за счёт формирования и удаления интрастромальной лентикулы при минимальном нарушении передних слоёв роговицы. Перспективность разработок в этой области обусловлена уникальной комбинацией преимуществ метода, включая минимальную инвазивность, сохранение биомеханической стабильности роговицы и высокую точность коррекции сложных рефракционных нарушений, что потенциально позволяет рассматривать его как альтернативу традиционным эксимерлазерным методикам [12-15].

Однако в настоящее время отсутствуют утверждённые и безопасные способы применения лентикулярной технологии для коррекции смешанного астигматизма, что определяет актуальность данного направления в современной офтальмохирургии.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценить эффективность ранних клиничко-функциональных результатов коррекции смешанного астигматизма с применением фемтосекундной лентикулярной технологии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование включило 10 пациентов (15 глаз) с диагнозом смешанный астигматизм.

Средний возраст составил $32,4 \pm 6,1$ года (5 мужчин, 5 женщин). Предоперационное обследование включало стандартные методы диагностики: измерение остроты зрения без коррекции (некорригированная острота зрения – НКОЗ) и с коррекцией (максимально корригированная острота зрения – МКОЗ), как на узкий, так и на широкий зрачок, рефрактометрию с узким и широким зрачком, кератометрию, биомикроскопию, офтальмоскопию, тонометрию и биометрию, а также специальные методы диагностики – кератотопографию, которая проводилась с помощью сканирующего проекционного кератотопографа Pentacam (Oculus, Германия) с высокой степенью разрешения с использованием скрининговой программы мониторинга эктазии роговицы Белина/Амброзио (Belin/Ambrosio Enhanced Ectasia Display) – BAD. Протокол исследования был одобрен межвузовским комитетом по этике (выписка из протокола № 11–25 от 11.12.2025) в соответствии с принципами Хельсинкской декларации.

Оценку зрительных функций проводили на следующие сутки после операции и через 1 месяц.

До операции средняя НКОЗ у пациентов составила $0,30 \pm 0,10$, МКОЗ – $0,90 \pm 0,18$, манифестная рефракция характеризовалась следующими средними показателями: сфера $0,52 \pm 0,37$ дптр (минимальные значения $+0,25$ дптр, максимальные $+1,25$ дптр), цилиндр $-2,77 \pm 0,79$ дптр (минимальные значения $-2,0$ дптр, максимальные $-4,5$ дптр), сферический эквивалент $-0,87 \pm 0,15$ дптр. Среднее значение оптической силы роговицы по данным кератометрии составило $42,59 \pm 1,56$ дптр, центральной толщины роговицы $555,87 \pm 33,02$ мкм. Передне-задняя ось глаза (ПЗО) – $23,93 \pm 0,94$ мм.

Для коррекции смешанного астигматизма методом рефракционной экстракции лентикулы проводили предоперационный расчёт по разработанной технологии¹, основанной на транспозиции исходной манифестной

¹ Костенев С.В., Никитина А.Е., Макаров Р.А. Способ коррекции смешанного астигматизма с помощью лентикулярной технологии. - Заявка на патент №2025129644, 28.10.2025.

рефракции – сфера (sph), цилиндр (cyl), ось цилиндра (ax). Обязательным условием допуска к процедуре являлось значение сферического эквивалента (SE) не выше -0,75 дптр, рассчитанного по формуле:

$$SE = SPH + \frac{1}{2}CYL$$

Далее рассчитывали новое значение сферы (sph), осуществляя расчет по принципу алгебраического сложения исходного значения сферы и цилиндра.

Новое значение цилиндра (cyl) преобразовывали путем изменения знака цилиндра на противоположный при сохранении его числового значения, ось цилиндра (ax) изменяли на 90°, а именно к исходным значениям оси добавляли 90°, если ось цилиндра была меньше или равна 90° или вычитали 90°, если ось цилиндра была больше 90°.

Транспонированные данные непосредственно вводили в фемтосекундную лазерную установку и всем пациентам была выполнена кераторефракционная операция с лентикулярной технологией (SMILE) с помощью фемтосекундной лазерной системы VisuMax™ 500 кГц (Carl Zeiss Meditec AG, Йена, Германия), предварительно проводилась ручная разметка оси астигматизма с маркерной разметкой роговицы для минимизации циклоторсии. Во всех случаях использовался интерфейс размера «S», под местной капельной анестезией выполняли фемтодиссекцию лентикулы.

Диаметр клапана варьировал от 7,7 до 7,9 мм (в среднем 7,84 ± 0,06 мм), что обусловлено необходимостью создания оптимального доступа для экстракции лентикулы при сохранении биомеханической целостности роговицы, особенно в парацентральных зонах. Толщина клапана составляла 110–130 мкм (среднее значение 123,00 ± 9,60 мкм), что соответствовало современным стандартам безопасности и рефракционным параметрам, степени астигматизма и позволяло формировать адекватный лентикулярный карман с сохранением критического объема остаточной стромы. Оптическая зона лентикулы выбиралась в диапазоне 6,6–6,8 мм (в среднем 6,74 ± 0,06 мм) с учетом размера функционального зрачка в мезопических условиях и для минимизации индукции сферических аберраций. Переходная зона фиксировалась на уровне 0,1 мм

для обеспечения плавного перехода между обработанными и необработанными зонами роговицы.

На 120° выполнялся фемтосекундный односторонний разрез длиной 2,44 мм под углом 90° с формированием интрастромального кармана.

Выделение интрастромальной лентикулы выполняли с помощью шпателя с последующим ее удалением пинцетом через малый разрез, роговичный карман адаптировали к строме с помощью микротупфера. Максимальная толщина лентикулы составила от 44 мкм до 70 мкм (57,27 ± 8,46 мкм), а остаточная толщина стромы не была ниже установленных лазерной системой значений – от 326 мкм до 418 мкм (376,27 ± 32,50 мкм).

Всем пациентам назначалась стандартная схема лечения после рефракционной операции. Для обработки полученных данных использовали компьютерные программы: Statistica 10.0 (StatSoft, США) и Microsoft Office Excel 2025 (Microsoft, США). Характер распределения данных оценивали с помощью критерия Шапиро – Уилка. Результаты представлены в виде средней арифметической величины и стандартного отклонения. Для сравнения данных до и после операции использовали *t*-критерий Стьюдента для зависимых выборок. Статистически значимыми различия в оцениваемых показателях признавали при значении *p* < 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведенное исследование, включающее анализ клинических и функциональных результатов применения фемтосекундной лентикулярной технологии у пациентов со смешанным астигматизмом, продемонстрировало высокую эффективность и безопасность методики. Анализ полученных данных выявил достоверную положительную динамику основных показателей. Динамика основных показателей представлена в таблице 1 и на рисунках 1, 2 и 3.

В первые сутки после операции отмечено снижение центральной толщины роговицы с 555,87 ± 33,02 мкм до 508,20 ± 35,09 мкм, что соответствовало запланированной толщине удаляемой лентикулы (57,27 ± 8,46 мкм). К 1 месяцу наблюдения зафиксировано дальнейшее незначительное

ТАБЛИЦА 1
ДИНАМИКА КЛИНИКО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Показатель	До операции	Через 1 день	Через 1 месяц
НКОЗ	0,30 ± 0,10	0,81 ± 0,16	0,90 ± 0,11
МКОЗ	0,90 ± 0,18	0,93 ± 0,15	0,96 ± 0,09
Сфера, дптр	0,52 ± 0,37	0,17 ± 0,54	0,17 ± 0,42
Цилиндр, дптр	-2,77 ± 0,79	-0,45 ± 0,58	-0,22 ± 0,47
Сферический эквивалент, дптр	-0,87 ± 0,15	-0,06 ± 0,54	0,06 ± 0,45
Центральная толщина роговицы, мкм	555,87 ± 33,02	508,20 ± 35,09	499,53 ± 34,27
Показатели кератометрии (центр), D	42,59 ± 1,56	41,24 ± 1,15	40,80 ± 1,08

Примечания: данные в таблице 1 представлены в виде среднего значения и стандартного отклонения *M* ± *σ*; НКОЗ – некорригированная острота зрения; МКОЗ – максимально корригированная острота зрения.

TABLE 1
CLINICAL OUTCOMES OVER TIME

уменьшение толщины до $499,53 \pm 34,27$ мкм, что может быть обусловлено процессами ремоделирования роговичной ткани и консолидации послеоперационной полости (рис. 1).

Критически важным показателем безопасности являлась толщина остаточной стромы, которая составила в среднем $376,27 \pm 32,50$ мкм (минимальное значение $326,00$ мкм), что значительно превышает порог биомеханической стабильности (250 мкм). Рефракционные результаты продемонстрировали высокую эффективность коррекции: сферический компонент улучшился с $0,52 \pm 0,37$ дптр до $0,17 \pm 0,42$ дптр, а цилиндрический компонент снизился с $-2,77 \pm 0,79$ дптр до $-0,22 \pm 0,47$ дптр, что подтверждает корректность

применения принципа транспозиции рефракционных параметров при планировании линтикулы (рис. 2).

Функциональные показатели продемонстрировали статистически значимую положительную динамику: некорригированная острота зрения (НКОЗ) увеличилась с $0,30 \pm 0,10$ до $0,90 \pm 0,11$ ($p < 0,05$), а максимально корригированная острота зрения (МКОЗ) стабилизировалась на уровне $0,96 \pm 0,09$, что указывает на отсутствие негативного влияния хирургического вмешательства на оптическую систему глаза (рис. 3).

Кератометрические параметры продемонстрировали снижение средней оптической силы роговицы с $42,59 \pm 1,56$ дптр до $40,80 \pm 1,08$ дптр, что соответствует запланированному рефракционному

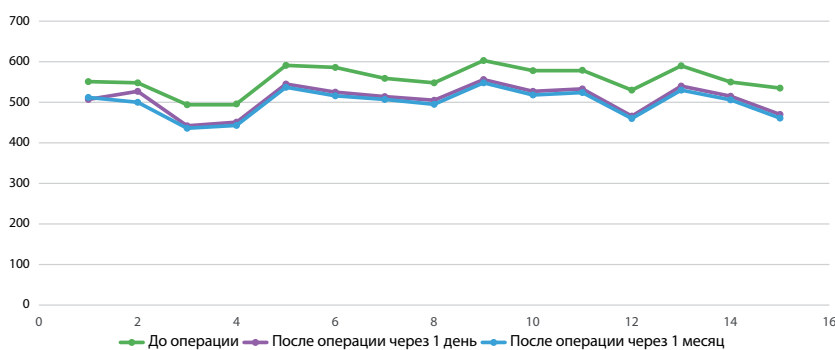


РИС. 1.
Динамика среднего значения толщины роговицы в центре

FIG. 1.
Dynamics of the mean value of the corneal thickness in the center

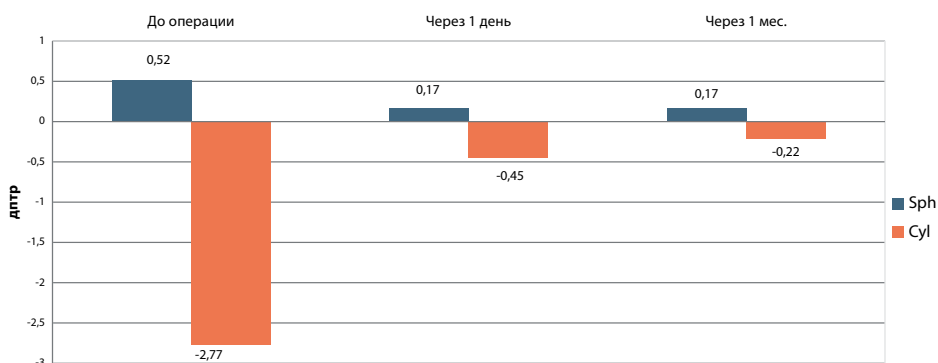


РИС. 2.
Рефракционные результаты у пациентов в течение срока наблюдения (среднее \pm стандартное отклонение)

FIG. 2.
Refractive results in patients during follow-up period (mean \pm standard deviation)

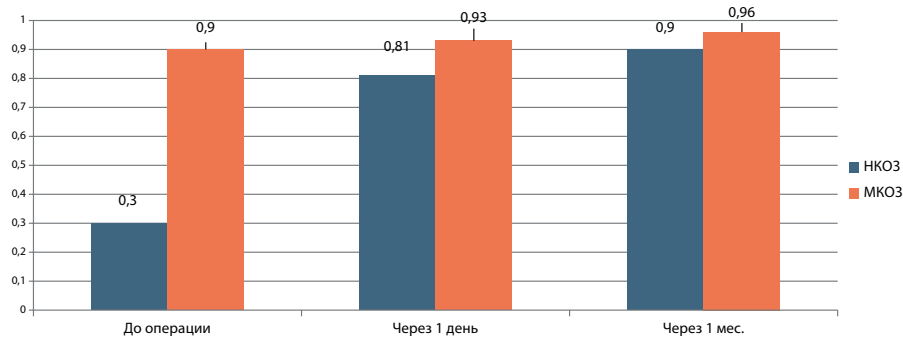


РИС. 3.
Некорригированная и максимально корригированная острота зрения до операции, через 1 день и 1 месяц после операции (среднее \pm стандартное отклонение)

FIG. 3.
Uncorrected and best-corrected visual acuity before surgery, 1 day and 1 month after surgery (mean \pm standard deviation)

эффекту и отражает адекватность расчета параметров лентикулы.

Интра- или послеоперационных осложнений зарегистрировано не было, а также в раннем послеоперационном периоде не отмечено случаев, потребовавших дополнительного хирургического лечения.

Таким образом, полученные результаты подтверждают предсказуемость и безопасность фемтосекундной лентикулярной технологии при коррекции смешанного астигматизма с сохранением биомеханической стабильности роговицы и достижением высоких функциональных результатов.

Полученные результаты иллюстрируются клиническим примером.

Пациент А., 32 лет, из анамнеза известно о наличии низкого зрения обоих глаз (OU) с 10 лет. Очковую и контактной коррекцией не пользовался. В 2025 году пациент обратился в ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени акад. С.Н. Федорова» Министерства здравоохранения РФ в отдел рефракционной лазерной хирургии с целью проведения рефракционной лазерной коррекции зрения на OU.

Диагностические данные до операции:

Острота зрения с и без коррекции (Visus/Vis):

Vis OD = 0,4 sph planum D cyl -2,5 ax 180° = 1,0;

Vis OS = 0,4 sph -0,5D cyl -2,25 ax 180° = 1,0

Острота зрения с широким зрачком с и без коррекции:

Vis OD = 0,6 sph+0,75 D cyl -2,5 ax 180° = 1,0;

Vis OS = 0,7 sph+0,5 D cyl -2,25 ax 180° = 1,0

Рефрактометрия на узкий зрачок:

OD sph +0,25 cyl -2,5 ax 180°;

OS sph +0,25 cyl -2,25 ax 180°

Рефрактометрия на широкий зрачок:

OD sph +0,75 cyl -2,5 ax 180°;

OS sph +0,5 cyl -2,25 ax 180°

Кератометрия:

OD: K1 42,50 ax 4°, K2 45,00 ax 94°, AVE 43,75, cyl -2,25 ax 4°;

OS: K1 43,00 ax 4°, K2 45,25 ax 94°, AVE 44,25, cyl -2,25 ax 4°

Пахиметрия по данным Pentacam: OD 494 мкм; OS 496 мкм;

По данным проведенного скрининга путем анализа информационного окна BAD (Belin Ambrosio Display), кератометрических индексов, задней элевации роговицы, признаков кератоконуса у пациента не выявлено. (рис. 4, 5, 6, 7). Тонометрия в пределах нормальных значений: OD: 12 мм рт. ст.; OS: 15 мм рт. ст. ПЗО: OD – 23,43 мм; OS – 23,30 мм.

При биомикроскопии: OU Роговица прозрачная, блестящая, сферичная, гладкая, передняя камера средней глубины без инородных включений, передняя камера средней глубины, радужка структурирована, зрачок 3 мм в диаметре, хрусталик прозрачный, стекловидное тело – деструкция. Глазное дно: OD: диск зрительного нерва – бледно-розовый, границы четкие, сосуды-артерии и вены нормального калибра, макула – без грубой патологии, периферия – на 16:30 часах

дистрофический участок с пигментом. OS: диск зрительного нерва – бледно-розовый, границы четкие, макула – без грубой патологии, периферия – на 11 часах дистрофия по типу «след улитки».

Диагноз: OU H52.2 Смешанный астигматизм. H35.4 Периферическая витреохориоретинальная дистрофия.

Были произведены предоперационные расчеты по разработанной технологии на основании правила транспозиции:

OD sph -2,25 cyl +2,50 ax 90°;

OS sph -2,0 cyl +2,25 ax 90°.

Полученный рецепт соответствовал критериям допуска к используемой технологии. Сферический эквивалент правого глаза составил – 1 дптр, левого – 0,875 дптр. Проведена ручная разметка оси астигматизма с маркерной разметкой роговицы и транспонированные данные введены в фемтосекундную лазерную установку с последующим проведением операции по лентикулярной технологии. Вводимые данные, а также параметры кэпа и лентикулы отражены в протоколах операции пациента (рис. 8, 9). После хирургического вмешательства была назначена стандартная послеоперационная лекарственная терапия.

Данные обследования на следующий день после операции:

Острота зрения с и без коррекции:

Vis OD = 0,9 Ø = 1,0;

Vis OS = 0,8 Ø = 1,0

Рефрактометрия:

OD sph planum cyl +0,75 ax 125°;

OS sph +0,25 cyl -0,5 ax 120°

Кератометрия:

OD: K1 42,50 ax 25°, K2 43,50 ax 115°, AVE 43,00, cyl -1,0 ax 25°;

OS: K1 42,75 ax 110°, K2 43,00 ax 20°, AVE 43,00, cyl -0,25 ax 110°

Пахиметрия по данным Pentacam: OD 442 мкм; OS 451 мкм. (рис. 10, 11, 12, 13).

Послеоперационные данные пациента через 1 месяц:

Острота зрения с и без коррекции:

Vis OD = 1,0;

Vis OS = 1,0.

Рефрактометрия:

OD sph planum cyl +0,25 ax 100°;

OS sph -0,5 cyl +0,25 ax 98°

Кератометрия:

OD: K1 42,00 ax 90°, K2 42,50 ax 115°, AVE 42,25, cyl -0,5 ax 90°;

OS: K1 41,75 ax 110°, K2 42,50 ax 10°, AVE 42,00, cyl -0,25 ax 100°

Пахиметрия по данным Pentacam: OD 436 мкм; OS 443 мкм.

При биомикроскопии: OU Глаз спокоен. Роговица – гладкая, прозрачная, сферичная, зона интерфейса чистая, отека не наблюдается. Передняя камера средней глубины, радужка структурирована, зрачок 3 мм в диаметре, хрусталик прозрачный, стекловидное тело – деструкция.

Полученные данные показывают, что предложенный подход позволяет достичь клинически значимого улучшения некорригированной остроты зрения и уменьшения роговичного астигматизма уже в ранние сроки наблюдения.

ОБСУЖДЕНИЕ

По литературным данным в современной рефракционной хирургии смешанного астигматизма доминирующее положение занимают эксимерлазерные методики. Клинические исследования подтверждают высокую эффективность и предсказуемость коррекции смешанного астигматизма методом ФемтоЛАЗИК, демонстрируя достижение удовлетворительных показателей некорригированной остроты

зрения и стабильность рефракционных результатов в отдаленные сроки наблюдения [16].

Однако, несмотря на преимущества, эксимерлазерные методы имеют ряд существенных осложнений и ограничений, обусловленных инвазивностью процедуры формирования роговичного лоскута (флэпа). Наиболее значимым представляется нарушение структурной целостности роговицы, возникающее при создании флэпа, что приводит к необратимому снижению биомеханической прочности роговичной ткани и потенциально может спровоцировать развитие ятрогенной кератэктазии. Кроме того, процесс создания и поднятия лоскута может сопровождаться интраоперационными осложнениями, такими как неполное отделение, децентрация, перфорация и появление непрозрачного пузырькового слоя. В послеоперационном периоде наличие лоскута создает постоянный

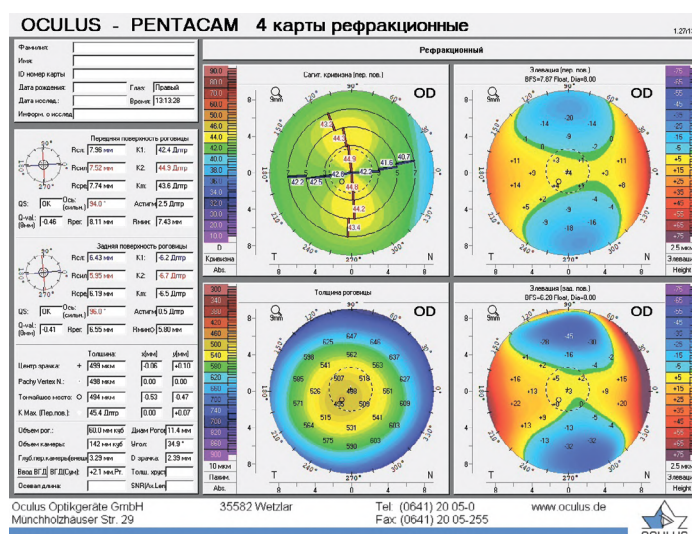


РИС. 4. «Четыре рефракционные карты» Pentacam правого глаза пациента до операции

FIG. 4. Pentacam’s “Four refractive maps” of the patient’s right eye before surgery

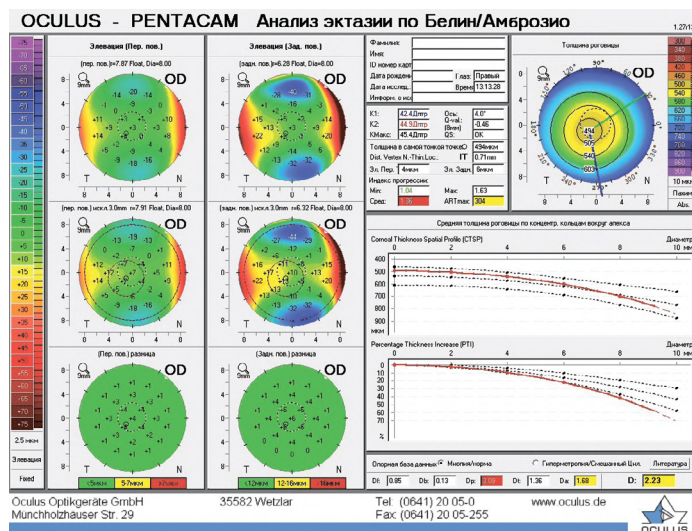


РИС. 5. Результат анализа информационного окна BAD (Belin Ambrosio Display) правого глаза пациента до операции

FIG. 5. Result of the analysis of the BAD (Belin Ambrosio Display) information window of the patient’s right eye before surgery

риск врастания эпителия, а его поднятие и рефракция могут индуцировать аберрации высших порядков, что особенно нежелательно при астигматических про- фильях [17, 18, 19].

Современная фемтосекундная лентикулярная технология представляет собой инновационное на- правление рефракционной хирургии, основанное на формировании внутрискромальной линтики и ее удалении через микроразрез без создания ро- говичного лоскута. Отсутствие флэп-этапа позволя- ет сохранить целостность боуменовой мембраны и субэпителиальных нервных волокон, минимизируя нарушение биомеханики и значительно снижая риск синдрома «сухого глаза», что согласуется с данными

Shen Z. et al. (2016) о меньшей индукции нейротро- фических нарушений по сравнению с лоскутными методиками [20, 21-23]. Клинические исследования показали, что метод рефракционной экстракции лин- тикюлы обеспечивает сопоставимую или более вы- сокую точность и стабильность коррекции по срав- нению с ФемтоЛАЗИК, особенно при коррекции цилиндрического компонента до 3,0 D [24, 25].

Лентикулярная технология демонстрирует вы- сокую привлекательность для пациентов в связи с минимальной инвазивностью и практически без- болезненным характером вмешательства. Вслед- ствие отсутствия риска травматического смещения роговичного лоскута и быстрого формирования

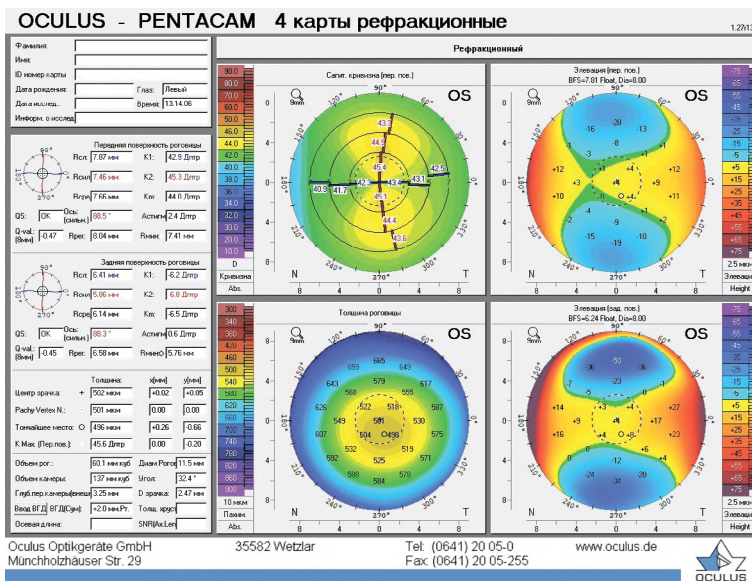


РИС. 6.
«Четыре рефракционные карты» Pentacam левого глаза па- циента до операции

FIG. 6.
Pentacam`s "Four refractive maps" of the patient's left eye before surgery

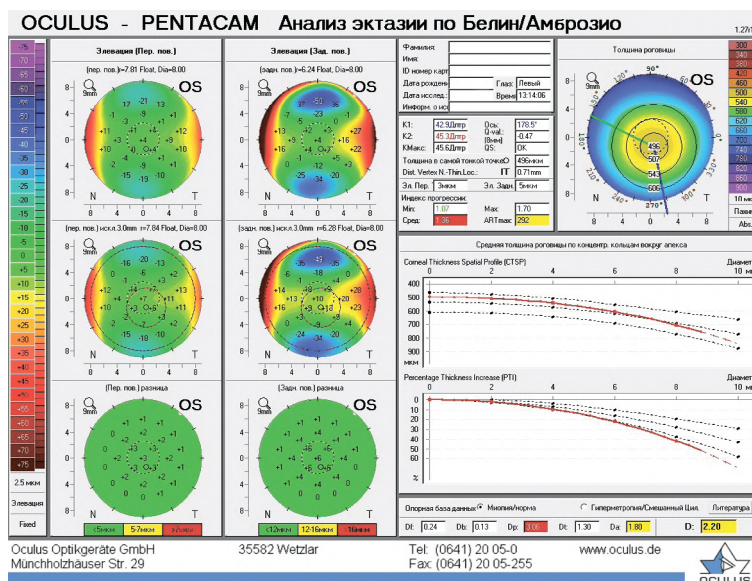


РИС. 7.
Результат анализа информационного окна BAD (Belin Ambrosio Display) левого глаза пациента до операции

FIG. 7.
Result of the analysis of the BAD (Belin Ambrosio Display) informa- tion window of the patient's left eye before surgery

герметичности микродоступа уже в первые послеоперационные сутки, пациенты получают возможность возобновить привычную активность, включая занятия водными видами спорта и использование декоративной косметики.

Биомеханическая безопасность является критически важным фактором при выборе метода коррекции. Анализ данных литературы указывает, что минимальная толщина остаточной стромы 250–300 мкм считается порогом безопасности для предотвращения развития кератэктазии. В нашем исследовании средняя толщина остаточной стромы составила $376,27 \pm 32,50$ мкм (минимальное значение 326 мкм), что обеспечивает значительный запас прочности и соответствует рекомендациям по биомеханической стабильности. Сравнительные исследования демонстрируют, что лентикулярная хирургия обеспечивает большую прочность роговицы по сравнению с ЛАЗИК и ФемтоЛАЗИК при сопоставимой глубине абляции за счет сохранения передних слоев стромы и отсутствия формирования локуста [14, 22].

Динамика изменения центральной толщины роговицы (снижение с $555,87 \pm 33,02$ мкм до $499,53 \pm 34,27$ мкм) соответствует расчетной толщине удаляемой лентикулы ($57,27 \pm 8,46$ мкм) с учетом

физиологических процессов ремоделирования ткани в послеоперационном периоде. Полученные данные согласуются с результатами исследований Wu D. et al. (2020) и Jun I. et al. (2021), которые отмечали стабильность биомеханических параметров при остаточной строме более 350 мкм [26, 27].

Выбор параметров операции (диаметр клапана $7,84 \pm 0,06$ мм, оптическая зона лентикулы $6,74 \pm 0,06$ мм) был обусловлен необходимостью баланса между эффективностью коррекции и сохранением биомеханической целостности роговицы. Исследования Song J. et al. (2023) показывают, что оптическая зона 6,6–6,8 мм оптимальна для минимизации индукции сферических aberrаций при сохранении стабильности результатов коррекции астигматизма [19, 24]. Толщина клапана $123,00 \pm 9,60$ мкм соответствует современным стандартам безопасности и позволяет создать адекватный доступ для экстракции лентикулы при минимальном нарушении биомеханических свойств роговицы [26].

Особый клинический интерес представляет применение лентикулярной технологии для коррекции смешанного астигматизма. В настоящее время использование метода ограничено коррекцией миопии и миопического астигматизма, тогда как экстракция интрастромальной лентикулы при гиперметропии

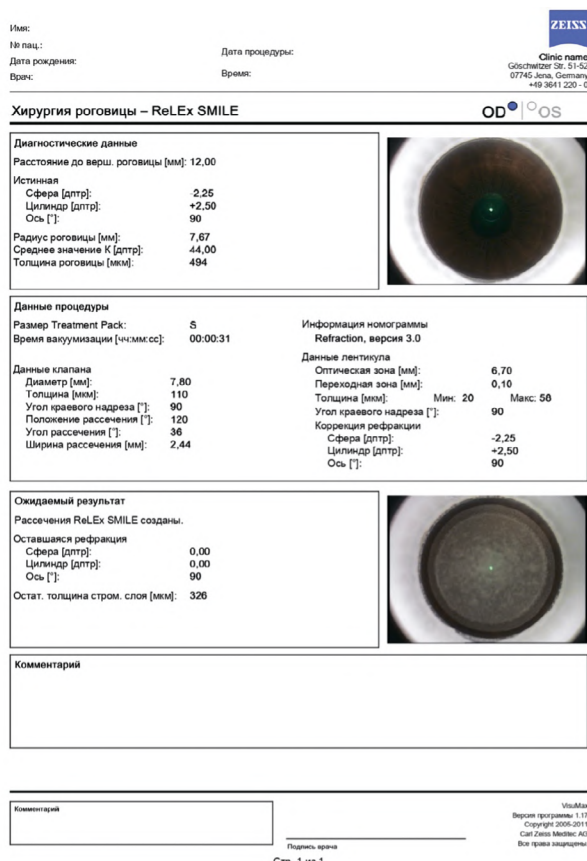


РИС. 8.
 Протокол операции правого глаза пациента со смешанным астигматизмом

FIG. 8.
 Protocol of surgery of the right eye of a patient with mixed astigmatism

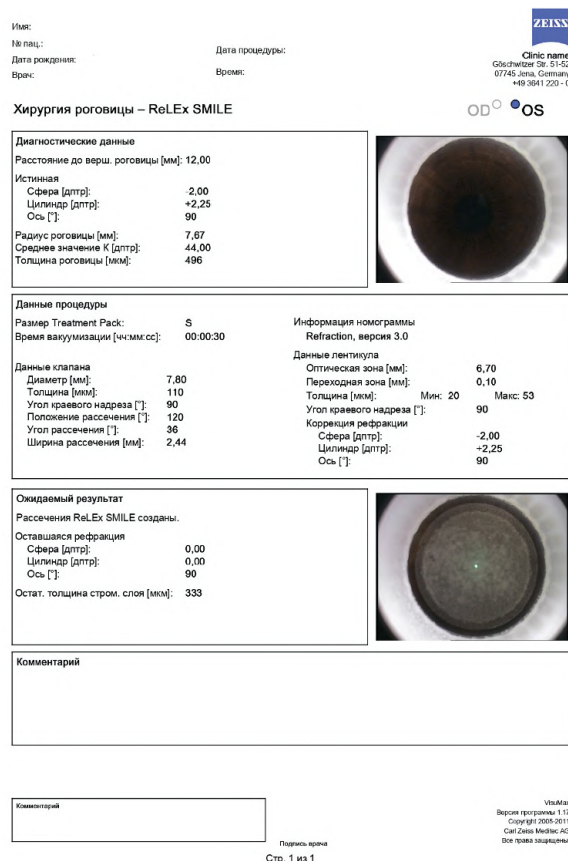


РИС. 9.
 Протокол операции левого глаза пациента со смешанным астигматизмом

FIG. 9.
 Protocol of surgery of the left eye of a patient with mixed astigmatism

и смешанном астигматизме остается в области экспериментальных исследований и недоступна в широкой клинической практике [28, 29].

Важным достижением в области коррекции смешанного астигматизма методом лентикулярной хирургии является пилотное исследование Ganesh S. et al. (2024), однако предложенная методика имеет существенные ограничения: использование исследовательского программного обеспечения, не зарегистрированного для клинического применения, создает медико-правовые риски, а применение гиперметрических профилей абляции в части случаев не имеет

долгосрочных данных о стабильности результатов и сопряжено с повышенным риском технических осложнений [30].

В отличие от данного исследования представленная нами технология базируется на клинически апробированных методиках расчета и позволяет адаптировать стандартное сертифицированное программное обеспечение фемтосекундного лазера без использования экспериментальных профилей, сохраняя все преимущества лентикулярной технологии и, как следствие, устраняя смешанный астигматизм. Снижение цилиндрического компонента

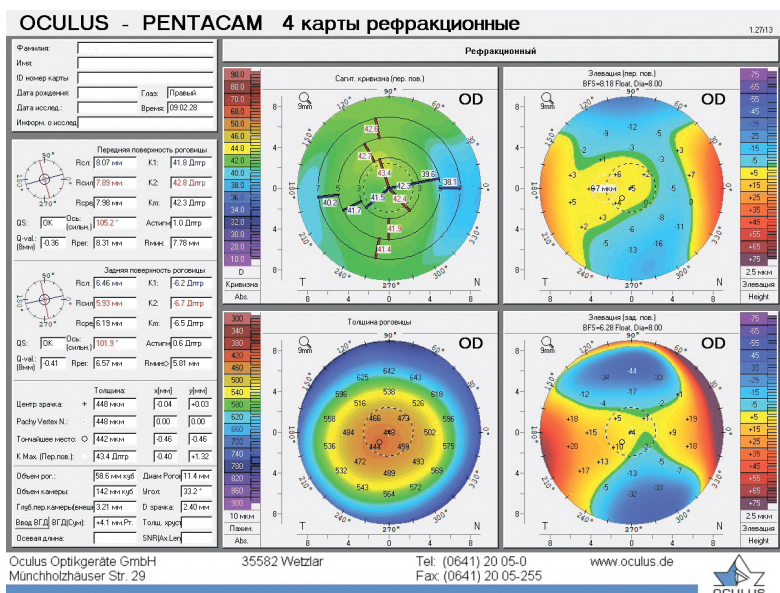


РИС. 10.
«Четыре рефракционные карты» Pentacam правого глаза пациента на следующий день после операции

FIG. 10.
Pentacam's "Four refractive maps" of the patient's right eye the day after surgery

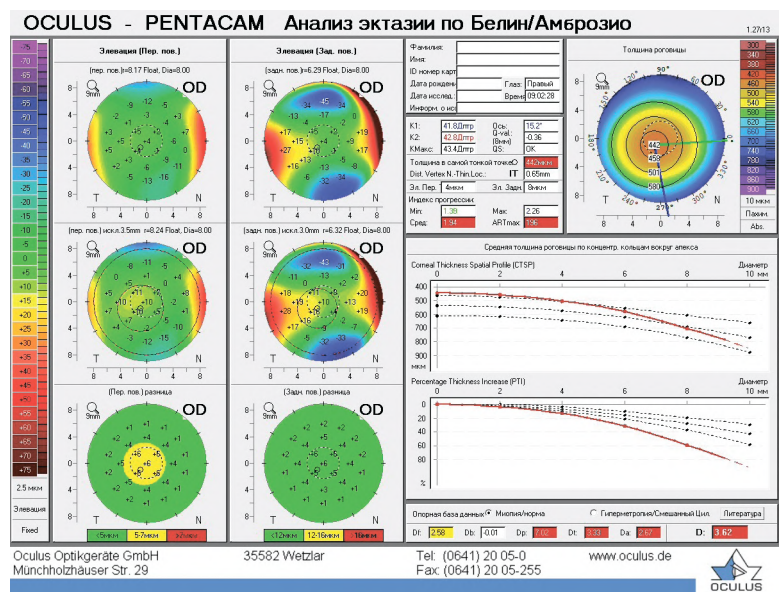


РИС. 11.
Результат анализа информационного окна BAD (Belin Ambrosio Display) правого глаза пациента на следующий день после операции

FIG. 11.
Result of the analysis of the BAD (Belin Ambrosio Display) information window of the patient's right eye the day after surgery

с $-2,77 \pm 0,79$ дптр до $-0,22 \pm 0,47$ дптр подтверждает корректность предоперационных расчетов и предсказуемость рефракционного результата.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенного исследования (10 пациентов, 15 глаз) показана выполнимость коррекции смешанного астигматизма методом лентикулярной хирургии при использовании разработанной технологии предоперационного расчёта. Метод является

эффективным и безопасным, обеспечивая высокие зрительные функции, уменьшение цилиндрического компонента уже в раннем послеоперационном периоде.

Эти результаты открывают новые перспективы в развитии малоинвазивных хирургических подходов для пациентов со смешанным астигматизмом, а воспроизводимость клинических исходов создает научно обоснованную базу для внедрения данной методики в рутинную практику офтальмологических клиник, что позволит расширить спектр лечебных возможностей для пациентов со сложными формами рефракционных нарушений и повысить качество оказания

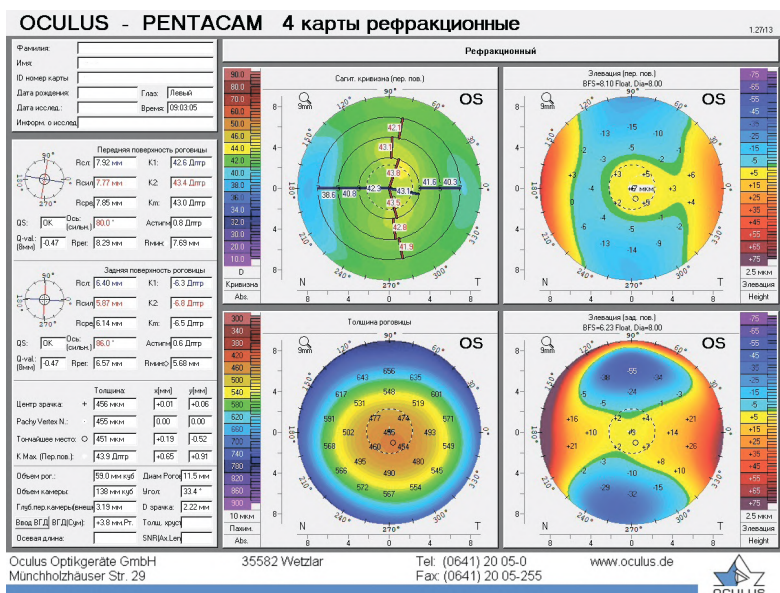


РИС. 12. «Четыре рефракционные карты» Pentacam левого глаза пациента на следующий день после операции

FIG. 12. Pentacam's "Four refractive maps" of the patient's left eye the day after surgery

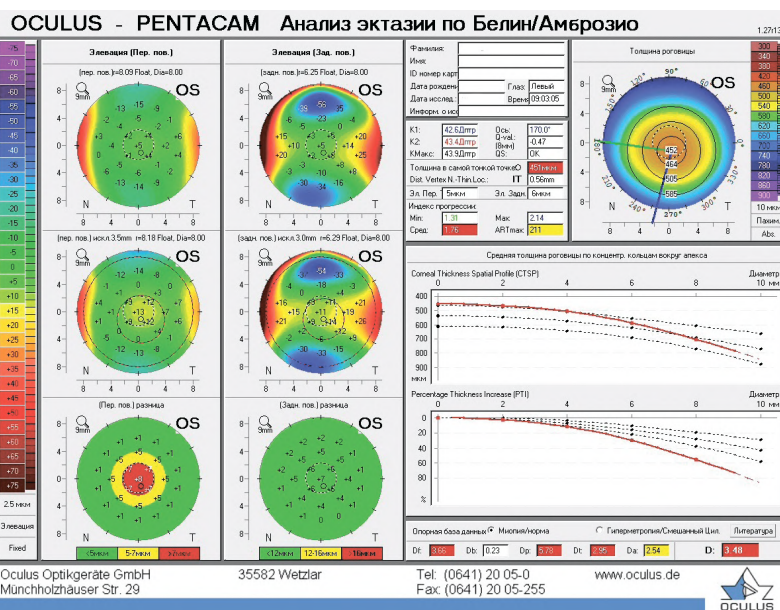


РИС. 13. Результат анализа информационного окна BAD (Belin Ambrosio Display) левого глаза пациента на следующий день после операции

FIG. 13. Result of the analysis of the BAD (Belin Ambrosio Display) information window of the patient's left eye the day after surgery

специализированной офтальмохирургической помощи на популяционном уровне.

Несомненно, необходимы дальнейшие исследования с большим числом наблюдений и длительным контролем для уточнения предсказуемости, стабильности и профиля безопасности метода.

Финансирование

Исследование не имело дополнительной финансовой поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Розенблюм Ю.З. *Оптометрия (подбор средств коррекции зрения)*. СПб.: Гиппократ; 1996. [Rozenblyum YuZ. *Optometry (selection of means of vision correction)*. SPb.: Hippocrates; 1996. (In Russ.)].
2. Shahid S, Rauf SA, Dastgir S, Ali F, Saifullah R, Fatima U. Association of asthenopia with refractive errors in madrassa students. *Khyber Med Univ J*. 2023; 15(2): 101-105. Doi: 10.35845/kmuj.2023.23247
3. Yasin Z, Ullah M, Khalid M, Zulfiqar N, Youail R. Correlation between Astigmatism and Asthenopic Symptoms. *Journal of Health and Rehabilitation Research*. 2024; 4(3): 1-5. doi: 10.61919/jhrr.v4i3.1530
4. Азара Д.Т., Алио Х.Л., Кортины М.С., Халлака Д.А. *Хирургическое лечение астигматизма*. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2025. – 272 с. [Azar DT, Alio JL, Cortina MS, Haddock LJ. *Surgical Treatment of Astigmatism*. Moscow: GEOTAR-Media, 2025. 272. (In Russ.)]. doi: 10.33029/9704-8200-1-STA-2025-1-272
5. Kohnen M, Næser F, Wang L, Abulafia A, Koch D. Standards for analyzing astigmatic outcomes: Part I: astigmatism basics. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*. 2025; 51(6): 440-446. doi: 10.1097/j.jcrs.0000000000001644
6. Varssano D. Etiology and clinical presentation of astigmatism. *Astigmatism - Optics, Physiology and Management*. 2012; 15-32. doi: 10.5772/18338
7. Гамидов Г.А., Мушкова И.А., Костенев С.В., Гамидов А.А. Способ контроля циклоторсии глазного яблока при коррекции миопического астигматизма по технологии SMILE. *Офтальмология*. 2020; 17(3): 351-360. [Gamidov GA, Mushkova IA, Kostenev SV, Gamidov AA. Method of the Cyclotorsion Error Compensation for Myopic Astigmatism during SMILE Surgery. *Ophthalmology in Russia*. 2020; 17(3): 351-360. (In Russ.)]. doi: 10.18008/1816-5095-2020-3-351-360
8. Nguyen MT, Wright MH, Hall B, Brunson PB. Patient Satisfaction with a Novel Daily Toric Contact Lens in Individuals with Previous Lens Failures. *Clinical Ophthalmology*. 2025; 19: 1229-1236. doi: 10.2147/OPHTH.S510740
9. Бахритдинова Ф.А., Назирова С.Х., Миррахимова С.Ш., Хаджимухамедов Б.Б. Клинический опыт коррекции смешанного астигматизма и анизометрической амблиопии у подростков с помощью техно-

гии ФемтоЛАСИК. *Передовая Офтальмология*. 2024; 8(2): 132-135. [Bakhritdinova FA, Nazirova SKh, Mirrahimova SSH, Khadzhimukhamedov BB. Clinical experience of correction of mixed astigmatism and anisometric amblyopia in adolescence using FemtoLASIK technology. *Advanced Ophthalmology*. 2024; 8(2): 132-135 (In Russ.)].

10. Тарутта Е.П. Стратегически ориентированная коррекция смешанного астигматизма у детей. *Российский офтальмологический журнал*. 2023; 16(2): 92-98. [Tarutta EP. Strategically oriented correction of mixed astigmatism in children. *Russian Ophthalmological Journal*. 2023; 16(2): 92-98. (In Russ.)]. doi: 10.21516/2072-0076-2023-16-2-92-98

11. Alpins N, et al. Practical Astigmatism: planning and analysis. *CRC Press*. 2024. doi: 10.1201/9781003525837

12. Аждарова Л.В., Костенев С.В., Слонимский А.Ю., Казанцев А.Д. Современные рефракционные лентикулярные технологии. *Офтальмохирургия*. 2025; (2): 106-114. [Azhdarova LV, Kostenev SV, Slonimsky AYU, Kazantsev AD. Modern refractive lenticular technologies. *Fedorov Journal of Ophthalmic Surgery*. 2025; 2(144): 106-114. (In Russ.)]. doi: 10.25276/0235-4160-2025-2-106-114

13. Костенев С.В., Черных В.В. *Фемтосекундная лазерная хирургия. Принципы и применение в офтальмологии лазера*. Новосибирск: Наука, 2012. [Kostenev SV, Chernykh VV. *Femtosecond Laser Surgery. Principles and Application of Lasers in Ophthalmology*. Novosibirsk: Nauka, 2012. (In Russ.)].

14. Reinstein DZ, Sekundo W, Archer TJ, et al. SMILE for Hyperopia with and Without Astigmatism: Results of a Prospective Multicenter 12-Month Study. *Journal of Refractive Surgery*. 2022; 38(12): 760-769. doi: 10.3928/1081597X-20221102-02

15. Sekundo W, Kunert KS, Blum M. Small incision corneal refractive surgery using the small incision lenticule extraction (SMILE) procedure for the correction of myopia and myopic astigmatism: results of a 6-month prospective study. *Br J Ophthalmol*. 2011; 95(3): 335-339. doi: 10.1136/bjo.2009.174284

16. Клокова О.А., Дамашаускас Р.О., Качаров А.И., Пискунов А.В., Гейденрих М.С., Дьяконова Е.И. Ранние клинико-функциональные результаты коррекции смешанного астигматизма в зависимости от степени высокочастотным эксимерным лазером Schwind Amaris 1050RS. *Офтальмология*. 2025; 22(2): 295-304. [Klokova OA, Damashauskas RO, Kacharov AI, Piskunov AV, Geidenrikh MS, Dyakonova EI. Early clinical and functional results of mixed astigmatism correction depending on the Degree with the High-frequency Excimer Laser Schwind Amaris 1050RS. *Ophthalmology*. 2025; 22(2): 295-304. (In Russ.)]. doi: 10.18008/1816-5095-2025-2-295-304

17. Alio JL, Pachkoria K, El Aswad A, Plaza-Puche AB. Laser-assisted in situ keratomileusis in high mixed astigmatism with optimized, fast-repetition and cyclotorsion control excimer laser. *Am J Ophthalmol*. 2013; 155(5): 829-836. doi: 10.1016/j.ajo.2012.11.027

18. Reinstein DZ, Archer TJ, Randleman JB. Mathematical model to compare the relative tensile strength of the cornea after PRK, LASIK, and small incision lenticule

extraction. *Journal of Refractive Surgery*. 2013; 29(7): 454-460. doi: 10.3928/1081597X-20130617-03

19. Маковкин Е.М., Вязовец Н.В. Оценка результатов коррекции аберраций в разном объеме при проведении лазерного кератомилеза при смешанном астигматизме. *Точка зрения. Восток – Запад*. 2016; (3): 19–21. [Makovkin EM, Vyazovets NV. Evaluation of the Results of Aberration Correction in various volumes in the conduction of laser keratomileusis at combined astigmatism. *Point of view. East – West*. 2016; (3): 19–21 (In Russ.).]

20. Shen Z, Zhu Y, Song X, Yan J, Yao K. Dry Eye after Small Incision Lenticule Extraction (SMILE) versus Femtosecond Laser-Assisted in Situ Keratomileusis (FS-LASIK) for Myopia: A Meta-Analysis. *PLoS ONE*. 2016; 11(12): e0168081. doi: 10.1371/journal.pone.0168081

21. Yu Y, Cao J, Ma Y, Bao Y, Niu L, Wang X, et al. Comparison of corneal biomechanics in post-smile, post-LASEK, and normal eyes with Brillouin microscopy. *Journal of optometry*. 2025; 18(4): 100579. doi: 10.1016/j.optom.2025.100579

22. Guo H, Hosseini-Moghaddam SM, Hodge W. Corneal biomechanical properties after SMILE versus FLEX, LASIK, LASEK, or PRK: a systematic review and meta-analysis. *BMC Ophthalmol*. 2019; 19: 167. doi: 10.1186/s12886-019-1165-3

23. Li M, Niu L, Qin B, Zhou X, Ni K, Le Q, et al. 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

24. Song J, Cao H, Chen X, Zhao X, Zhang J, Wu G, et al. Small Incision Lenticule Extraction (SMILE) Versus Laser Assisted Stromal in Situ Keratomileusis (LASIK) for Astig-

matism Corrections: A Systematic Review and Meta-analysis. *Am J Ophthalmol*. 2023; 247: 181–199. doi: 10.1016/j.ajo.2022.11.013

25. Acosta PCO, Naranjo-Tackman R, Rocha KM, et al. Effect of eye laterality on correction of myopic astigmatism with small incision lenticule extraction (SMILE) using vector analysis. *Int Ophthalmol*. 2022; 42(8): 2439–2448. doi: 10.1007/s10792-022-02242-4

26. Wu D, Liu C, Li B, Wang D, Fang X. Influence of Cap Thickness on Corneal Curvature and Corneal Biomechanics After SMILE: A Prospective, Contralateral Eye Study. *Journal of Refractive Surgery*. 2020; 36(2): 82-88. doi: 10.3928/1081597X-20191216-01

27. Jun I, Kang DSY, Wang L, et al. Comparison of Clinical and Biomechanical Outcomes of Small-Incision Lenticule Extraction With 120- and 140- μ m Cap Thickness. *Transl Vis Sci Technol*. 2021; 10(8): 15. doi: 10.1167/tvst.10.8.15

28. Tsatsos M, Giachos I, Prousalis E, et al. Something to SMILE about. Is small incision lenticule extraction (SMILE) ready to become the gold standard in laser refractive surgery? no. *Eye*. 2024; 38(4): 633-635. doi: 10.1038/s41433-023-02746-y

29. Pradhan K, Reinstein D, Carp G, Archer T, Dhungana P. Small incision lenticule extraction (SMILE) for hyperopia: 12-month refractive and visual outcomes. *J Refract Surg*. 2019; 35: 442-450. doi: 10.3928/1081597X-20190529-01

30. Ganesh S, Brar Sh, Bose Sh, et al. Feasibility study of treatment of mixed astigmatism with small-incision lenticule extraction (SMILE) by using research software. *Indian Journal of Ophthalmology* 2024; 72(7): 1056-1063. doi: 10.4103/IJO.IJO_1273_23

Сведения об авторах

Никитина Анастасия Евгеньевна – врач-офтальмолог, аспирант кафедры офтальмологии ФГБОУ ВО «Российский Университет Медицины» Минздрава России; e-mail: anastasianik2403@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0925-3146>

Костенев Сергей Владимирович – доктор медицинских наук, врач-офтальмолог, старший научный сотрудник отдела лазерной рефракционной хирургии ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России; e-mail: kostenev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7387-7669>

Макаров Руслан Александрович – кандидат медицинских наук, врач-офтальмолог ООО «Офтальмологическая клиника «СПЕКТР»; e-mail: dr.ruslanmakarov@gmail.com

Садрутдинов Ренат Шагитович – врач-офтальмолог высшей категории, заведующий отделением рефракционной хирургии Новосибирского филиала ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова»; e-mail: r.sadrutdinov@mntk.nsk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8811-8510>

Муртазалиева Патимат Камалудиновна – врач-офтальмолог, ассистент кафедры глазных болезней ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный медицинский университет» Минздрава России; e-mail: patimur82@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-4702-3983>

Information about the authors

Anastasia E. Nikitina – Ophthalmologist, Postgraduate Student in the Ophthalmology Department at the Russian University of Medicine of the Ministry of Health of the Russian Federation; e-mail: anastasianik2403@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0925-3146>

Sergey V. Kostenev – Dr. Sc. (Med.), ophthalmologist, senior researcher of the Laser Refractive Surgery Department at the S.N. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution of the Russian Ministry of Health of the Russian Federation; email: kostenev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7387-7669>

Ruslan A. Makarov – Cand. Sc. (Med.), ophthalmologist, Spektr Ophthalmology Clinic; email: dr.ruslanmakarov@gmail.com

Renat Sh. Sadrutdinov – Ophthalmologist of the highest category, head of the Refractive Surgery Department, Novosibirsk branch of the S.N. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution of the Russian Ministry of Health of the Russian Federation; e-mail: r.sadrutdinov@mntk.nsk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8811-8510>

Patimat K. Murtazaliev – Ophthalmologist, assistant professor of the Department of Eye Diseases, Dagestan State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation; e-mail: patimur82@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-4702-3983>