

Ранние клинико-функциональные результаты коррекции смешанного астигматизма в зависимости от его степени с помощью высокочастотного эксимерного лазера Schwind Amaris 1050RS

О.А. Клокова¹Р.О. Дамашаускас¹А.И. Качаров²
Е.И. Дьяконова¹А.В. Пискунов¹М.С. Гейденрих¹

¹Краснодарский филиал ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. академика С.Н. Федорова»
Министерства здравоохранения Российской Федерации
ул. Красных партизан, 6, Краснодар, 350012, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет»
Министерства здравоохранения Российской Федерации
ул. им. Митрофана Седина, 4, Краснодар, 350063, Российская Федерация

РЕЗЮМЕ

Офтальмология. 2025;22(2):295–304

Цель: провести проспективное сравнительное исследование ранних результатов коррекции смешанного астигматизма методом Фемто-ЛАЗИК на эксимерном лазере Schwind Amaris 1050RS в зависимости от степени астигматизма. **Пациенты и методы.** В данное одноцентровое, проспективное исследование вошел 281 пациент со смешанным астигматизмом, средний возраст $28,96 \pm 7,92$ года. I группу составили пациенты с астигматизмом $\leq 3,0D$; II группу — $> 3,0D$ по принципу один пациент — один глаз. Всем пациентам была выполнена лазерная коррекция методом Фемто-ЛАЗИК. **Результаты.** Через три месяца после Фемто-ЛАЗИК у пациентов I исследуемой группы средняя острота зрения без коррекции (НКОЗ) была сопоставима с дооперационным значением скорректированной остроты зрения (КОЗ) — $0,93 \pm 0,11$ и $0,91 \pm 0,13$ соответственно ($p = 0,5$), во II группе пациентов — $0,73 \pm 0,20$ и статистически значимо ($p = 0,01$) превышала дооперационный уровень $0,68 \pm 0,18$. Коэффициент эффективности составил 88,1 и 84,3 % в I и II группах соответственно. Снижение КОЗ на 0,2 было отмечено в 0,8 % (1 глаз) в I группе и в 3,3 % случаев (5 глаз) во II группе, коэффициент безопасности в I группе составил 99,2 %, во II группе — 96,7 %. Сферический эквивалент в пределах $\pm 0,50D$ был достигнут на 89 глазах (70,1 %) в I группе и 79 глазах (51,3 %) во II группе, $\pm 1,0D$ в 98,4 % случаев (125 глаз) и 96,7 % (149 глаз) в I и II группах соответственно. Интегральный показатель значения CI при векторном анализе по N. Alpins в I группе составил $0,89 \pm 0,10$, во II группе — $0,94 \pm 0,05$. После коррекции у пациентов исследуемых групп наблюдалось увеличение HOA RMS и сферической аберрации, а также значительное уменьшение значения RMS астигматизма, все данные были статистически значимыми ($p < 0,05$). Во второй группе также отмечена отрицательная динамика в послеоперационном уровне комы ($p < 0,05$). **Заключение.** Проведенное проспективное сравнительное исследование ранних клинико-функциональных результатов коррекции смешанного астигматизма методом Фемто-ЛАЗИК на Schwind Amaris 1050RS с контролем циклоторсии, высокой частотой повторения импульсов и оптимизированным асферическим профилем абляции подтвердило безопасность, эффективность и предсказуемость коррекции данного вида астигматизма независимо от его степени.

Ключевые слова: смешанный астигматизм, Фемто-ЛАЗИК, Schwind Amaris 1050RS, аберрации, векторный анализ

Для цитирования: 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 его степени с помощью высокочастотного эксимерного лазера Schwind Amaris 1050RS. *Офтальмология*. 2025;22(2):295–304. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2025-2-295-304>

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

Конфликт интересов отсутствует.



Early Clinical and Functional Results of Mixed Astigmatism Correction Depending on the Degree with the High-frequency Excimer Laser Schwind Amaris 1050RS

O.A. Klokova¹, R.O. Damashauskas¹, A.I. Kacharov², A.V. Piskunov¹, M.S. Geidenrikh¹, E.I. Diakonova¹

¹ Krasnodar Branch of The S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution
Krasnykh Partizan str., 6, Krasnodar, 350012, Russian Federation

² Kuban State Medical University
Mitrofan Sedin str., 4, Krasnodar, 350063, Russian Federation

ABSTRACT

Ophthalmology in Russia. 2025;22(2):295–304

Purpose. To conduct a prospective comparative study of the early results of mixed astigmatism's correction by the Femto-LASIK method using the excimer laser Schwind Amaris 1050RS depending on the degree of astigmatism Patients and methods. This single-center, prospective study included 281 patients with mixed astigmatism, mean age 28.96 ± 7.92 years. Group I consisted of patients with astigmatism ≤ 3.00 ; Group II — > 3.00 on the principle of one patient — one eye. All patients underwent laser correction with the Femto-LASIK method. **Results.** Three months after Femto-LASIK, the average uncorrected visual acuity (UCVA) in patients of the first study group was comparable with the preoperative value of best corrected visual acuity (BCVA) — 0.93 ± 0.11 and 0.91 ± 0.13 , respectively ($p = 0.5$). In group II, it was equal to 0.73 ± 0.20 and statistically significantly ($p = 0.01$) exceeded the preoperative level of 0.68 ± 0.18 . The efficiency ratio was 88.1% and 84.3% in groups I and II respectively. A decrease in BCVA by 0.2 was noted in 0.8% (1 eye) in group I and in 3.3% of cases (5 eyes) in group II, the safety ratio in group I was 99.2%, in group II — 96.7%. The spherical equivalent within ± 0.50 D was achieved in 89 eyes (70.1%) in group I and 79 eyes (51.3%) in group II, ± 1.00 in 98.4% of cases (125 eyes) and 96.7% (149 eyes) in groups I and II respectively. The integral index of the CI value in the vector analysis according to Alpins N. in group I was 0.89 ± 0.10 , in group II — 0.94 ± 0.05 . After correction, patients of the studied groups showed an increase in HOA RMS and spherical aberration, as well as a significant decrease in the RMS value of astigmatism, all data were statistically significant ($p < 0.05$). In the second group, negative dynamics in the coma level were also noted ($p < 0.05$). **Conclusion.** The conducted prospective comparative study of early results of mixed astigmatism correction by Femto-LASIK using the Schwind Amaris 1050RS with cyclotorsion control, high pulse repetition rate and optimized aspheric ablation profile confirmed the safety, effectiveness and predictability of correction of this type of astigmatism regardless of its degree.

Keywords: mixed astigmatism, Femto-LASIK, Schwind Amaris 1050RS, aberrations, vector analysis

For citation: Klokova O.A., Damashauskas R.O., Kacharov A.I., Piskunov A.V., Geidenrikh M.S., Diakonova E.I. Early Clinical and Functional Results of Mixed Astigmatism Correction Depending on the Degree with the High-frequency Excimer Laser Schwind Amaris 1050RS. *Ophthalmology in Russia*. 2025;22(2):295–304. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2025-2-295-304>

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

There is no conflict of interests.

ВВЕДЕНИЕ

Астигматизм — аномалия рефракции, которая приводит к асимметричному преломлению световых лучей, вызванная меридиональной асимметрией кривизны роговицы или хрусталика глаза [1]. В 2017 году Н. Hashemi и соавт. опубликовали систематический обзор и результаты метаанализа аномалий рефракции по всему миру в соответствии с регионами Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) на основании международной базы данных за период с 1990 по 2016 год [2]. По этим данным, предполагаемая совокупная распространенность астигматизма превышает распространенность близорукости, дальнозоркости и в среднем варьирует от 11,4 % в Африке до 45,6 % в Северной и Южной Америке.

Астигматизм является причиной снижения работоспособности пациентов, и, по мнению J. Zhang, в связи с этим недооценены экономические потери государства [3]. При этом адекватная коррекция астигматизма,

безусловно, в значительной степени влияет на качество жизни пациентов.

Хирургическая компенсация смешанного астигматизма, особенно высокой степени, по сравнению с миопией всегда представляла сложности для лазерной коррекции [4]. Внедрение в клиническую практику в начале XXI века предложенного А. Chayet биторического метода позволило повысить ее эффективность и сделало лазерное воздействие более щадящим в плане «расхода» ткани роговицы [5]. Данный метод реализован в большинстве современных эксимерных лазеров. Тем не менее N. Alpins и соавт. акцентируют внимание на том факте, что данный метод не во всех случаях дает предсказуемые результаты коррекции смешанного астигматизма [6]. В доступной литературе имеются только единичные публикации, посвященные проблеме лазерной коррекции смешанного астигматизма на лазерных системах с высокой частотой следования импульсов [7, 8]. При этом в них представлены малые группы пациентов и нет деления по степени

корректируемого астигматизма [9]. В связи с этим, на наш взгляд, сохраняется актуальность продолжения исследований в данном направлении.

Цель: провести проспективное сравнительное исследование ранних результатов коррекции смешанного астигматизма методом Фемто-ЛАЗИК на эксимерном лазере Schwind Amaris 1050RS в зависимости от степени астигматизма.

ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

В данное одноцентровое проспективное исследование вошел 281 пациент со смешанным астигматизмом в возрасте от 18 до 51 года ($28,96 \pm 7,92$ года). Пациентов разделили на две группы в зависимости от степени астигматизма: I группу составили пациенты с астигматизмом до трех диоптрий; II группу — с цилиндрическим компонентом более трех диоптрий по принципу один пациент — один глаз (табл. 1). Группы были сопоставимы по возрасту ($p = 0,73$) и толщине роговицы ($p = 0,45$), статистически значимо отличались по величине сферического, цилиндрического компонентов, остроте зрения с коррекцией ($p = 0,001$). Критериями включения в исследуемые группы были: возраст более 18 лет, стабильная рефракция в течение 2 лет; астигматизм равный или больше 0,75 диоптрий; толщина роговицы не менее 500 мкм; диаметр зрачка в условиях сниженной освещенности не более 7,0 мм; нормальная кератотопограмма. Критериями не включения пациентов были: воспалительные заболевания роговицы, кератоконус, синдром Шегрена, некомпенсированный синдром сухого глаза (ССГ), эпителиопатия, неврологические и системные заболевания. Амблиопия не являлась критерием не включения.

Таблица 1. Характеристики групп пациентов, включенных в исследование

Table 1. Characteristics of the patient groups included in the study

Показатели Index	I группа / I group Cyl $\leq 3,0D$ ($n = 127$)	II группа / II group Cyl $> 3,0D$ ($n = 154$)	Сравнение между группами / Comparison between groups
Возраст (год) / Age (year)	$28,96 \pm 7,92$ (17–51)	$28,79 \pm 8,59$ (16–51)	$p = 0,73^*$
Пол м/ж / Male m/f	32 / 36	49 / 32	—
Сферический компонент (D) / Spherical component (D)	$0,87 \pm 0,55$ (0,25; 2,75)	$2,12 \pm 1,18$ (0,25; 5,25)	$p = 0,001^*$
Цилиндрический компонент (D) / Cylindrical component (D)	$-2,34 \pm 0,71$ (-0,75; -3,0)	$-4,86 \pm 1,03$ (-3,25; -7,5)	$p = 0,001^*$
Сферический эквивалент (D) / Spherical equivalent (D)	$-0,73 \pm 0,35$ (-0,12; -1,62)	$-1,36 \pm 0,63$ (0; -3,0)	$p = 0,001^*$
Острота зрения с коррекцией / Visual acuity with correction	$0,91 \pm 0,13$ (0,3–1,0)	$0,68 \pm 0,18$ (0,2–1,0)	$p = 0,001^*$
Данные пахиметрии в центре роговицы (мкм) / Pachymetry data in the center of the cornea (μm)	$538,0 \pm 31,59$	$532,5 \pm 31,93$	$p = 0,45^*$

Примечание: * критерий Стьюдента; * U-критерий Манна — Уитни.
Note: * Student's t-test; * Mann-Whitney U test.

Всем пациентам проводилось стандартное комплексное офтальмологическое обследование, включая оценку некорректированной остроты зрения (НКОЗ) и остроты зрения с коррекцией (КОЗ), уровня манифестной и циклоплегической рефракции, результатов периметрии, внутриглазного давления (ВГД), осмотр глазного дна с помощью линзы Гольдмана, определение топографии роговицы на Pentacam® HR (Oculus, Германия) и биомеханических параметров, полученных с использованием Corvis® ST (Oculus, Германия). Анализ выполняли только тех протоколов исследования, которые показали «ОК» по качеству сканирования (QS). До обследования пациенты не пользовались контактными линзами не менее двух недель. Оценку рефракционных результатов проводили, используя векторный анализ N. Alpins [10].

Протокол исследования пациентов на наличие ССГ включал анкетирование с использованием опросника OSDI (индекс поверхностных глазных заболеваний), общепринятые функциональные диагностические тесты, такие как оценка суммарной слезопродукции с помощью пробы Ширмера-I, время разрыва слезной пленки (ВРСП), а также окрашивание глазной поверхности витальным красителем лиссаминовым зеленым. Для проведения использовали сухие стерильные диагностические полоски производства Contacare Ophthalmics and Diagnostics (Индия). ВРСП, а также определение диаметра зрачка в скотопических условиях, уровень роговичных аберраций определяли с помощью прибора Schwind Sirius (Schwind, Германия), толщину роговичного эпителия — с помощью спектрального оптического когерентного томографа RTVue-100 (Optovue, USA).

Всем пациентам была проведена лазерная коррекция смешанного астигматизма по технологии Фемто-ЛАЗИК одними и теми же опытными хирургами с использованием идентичного хирургического протокола. С помощью фемтосекундного лазера VisuMax™ 500 кгц (Carl Zeiss Meditec AG, Йена, Германия) под местной капельной анестезией выполняли формирование поверхностного роговичного лоскута диаметром 8,8–9,3 мм толщиной 100–110 мкм. Изменение профиля роговицы осуществлялось на лазерной системе Schwind Amaris 1050RS (Schwind Eye-Tech-Solutions GmbH, Германия) с помощью оптимизированного профиля асферической абляции, который подразумевает создание асферической переходной зоны [11]. Во всех случаях использовалось статическое и динамическое управление циклоторсией, а также режим распознавания осей. Абляции проводились по центру вершины роговицы с использованием смещения зрачка, измеренного с помощью видеокератоскопии (CSO). Во всех случаях целью послеоперационной рефракции была эметропия, остаточная толщина стромы не менее 300 мкм. Расчет алгоритма абляции проводился с использованием программного обеспечения ORK-CAM (Schwind eye-tech-solutions GmbH). Диаметр центральной оптической зоны

планировался таким образом, чтобы он был как минимум равен размеру зрачка в условиях сниженной освещенности. При центрации ОЗ учитывался угол каппа, так как у большинства пациентов со смешанным астигматизмом, как и с гиперметропией, он является положительным [12]. Подклапанное пространство промывали раствором BSS и адаптировали поверхностный слой роговицы к строме с помощью микротупфера.

Настоящее исследование проведено на базе Краснодарского филиала ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. академика С. Н. Федорова» Минздрава России.

Каждый пациент, включенный в исследование, предоставил письменное информированное согласие на процедуру и сбор данных. Исследование было одобрено комитетом по этике при Научно-медицинском совете Краснодарского филиала ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. академика С. Н. Федорова» Минздрава России и проводилось в соответствии с принципами Хельсинкской декларации.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Для обработки полученных данных использовали программное обеспечение MS Excel 2019 (Microsoft Inc., США), Statistica 10.0 (StatSoft Inc., США). Распределение данных было проверено с помощью теста Колмогорова — Смирнова. Данные представлены в виде $M \pm \sigma$, где M — выборочное среднее значение, σ — стандартное отклонение. Для сравнения двух независимых выборок для нормально распределенных данных применяли непарный t -критерий Стьюдента, U -критерий Манна — Уитни — для ненормально распределенных данных. Для зависимых выборок при ненормальном распределении применялся критерий Вилкоксона, при нормальном распределении — t -критерий Стьюдента. Критический уровень значимости (p -value) при проверке статистических гипотез принимали равным 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Все операции были выполнены без осложнений. Средняя глубина абляции в центре у пациентов I группы составила $31,60 \pm 15,93$ мкм, II группы — $46,55 \pm 26,08$ мкм. В свою очередь, средняя глубина абляции на периферии в I группе была $45,80 \pm 12,47$ мкм, II группы — $77,32 \pm 22,01$ мкм. В послеоперационном периоде явлений диффузного ламеллярного кератита, децентрации центральной оптической зоны, врастания эпителия под клапан роговицы ни в одном случае зарегистрировано не было. Первые 1–3 дня 9 пациентов (3,2 %) предъявляли жалобы на выраженный дискомфорт в глазах, при биомикроскопии были отмечены элементы эпителиопатии роговицы как проявление

ние ССГ, в связи с этим пациентам были рекомендованы инстилляции бесконсервантных лубрикантов на основе гиалуроновой кислоты 4–5 раз в день в течение месяца.

В таблице 2 и на рисунке 1 представлены результаты КОЗ до операции и НКОЗ на следующий день и через 3 месяца после операции у пациентов исследуемых групп. В I группе средняя НКОЗ через три месяца соответствовала уровню КОЗ ($p = 0,5$) и статистически значимо была выше во II группе ($p = 0,01$). Следует также отметить положительную динамику в отношении показателей НКОЗ на следующий день после операции и в конце срока наблюдения ($p = 0,001$).

Коэффициент эффективности (процент глаз, показавших равную или лучшую НКОЗ по сравнению с КОЗ до операции) составил 88,1 и 84,3 % в I и II группах соответственно (рис. 1).

Таблица 2. Корригированная острота зрения (НКОЗ) до операции и некорригированная острота зрения (НКОЗ) через 1 день и 3 месяца после Фемто-ЛАЗИК

Table 2. Corrected visual acuity (BCVA) before surgery and uncorrected visual acuity (UCVA) 1 day and 1 month after Femto-Lasik

Исследуемая группа / Study group	КОЗ до операции / BCVA before surgery	НКОЗ через 1 день после операции / UCVA 1 day postoperatively	НКОЗ через 3 месяца после операции / UCVA 3 month postoperatively	Сравнение КОЗ до операции и НКОЗ / Comparison of BCVA preoperatively and UCVA
I группа / I group Cyl $\leq 3,0D$ (n = 127)	$0,91 \pm 0,13$ (0,3–1,0)	$0,87 \pm 0,14$ (0,4–1,0)	$0,93 \pm 0,11$ (0,3–1,0)	$p_1 = 0,001$ $p_2 = 0,5$ $p_3 = 0,001$
II группа / II group Cyl $> 3,0D$ (n = 154)	$0,68 \pm 0,18$ (0,2–1,0)	$0,67 \pm 0,17$ (0,2–1,0)	$0,73 \pm 0,2$ (0,35–1,0)	$p_1 = 0,07$ $p_2 = 0,01$ $p_3 = 0,001$

Примечание: p_1 — значимость различий КОЗ до операции и НКОЗ после операции через 1 день; p_2 — значимость различий КОЗ до операции и НКОЗ через 3 месяца после операции; p_3 — значимость различий НКОЗ после операции через 1 день и через 3 месяца.

Note: p_1 — significance of differences in VA before surgery and UCVA after surgery 1 day later; p_2 — significance of differences in VA before surgery and UCVA 3 months after surgery; p_3 — significance of differences in UCVA after surgery 1 day later and 3 months later.

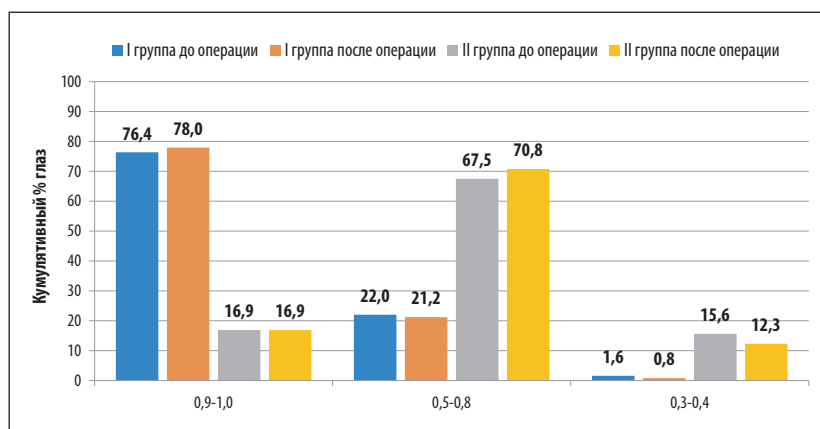


Рис. 1. Острота зрения с коррекцией до операции и острота зрения без коррекции после операции

Fig. 1. Visual acuity with correction before surgery and visual acuity without correction after surgery

Что касается остроты зрения с коррекцией, то в подавляющем большинстве случаев в обеих исследуемых группах она соответствовала или превышала дооперационное значение: 96 и 83,4 %, соответственно (рис. 2). Снижение остроты зрения на 0,2 было отмечено в 0,8 % (1 глаз) в I группе и в 3,3 % (5 глаз) во II группе. Таким образом, коэффициент безопасности (процент глаз, потерявших 2 и более строк КОЗ после операции по сравнению с КОЗ до операции) в I группе равнялся 99,2 %, во II группе — 96,7 %.

Рефракционные результаты коррекции смешанного астигматизма у пациентов исследуемых групп показаны на рисунках 3–6.

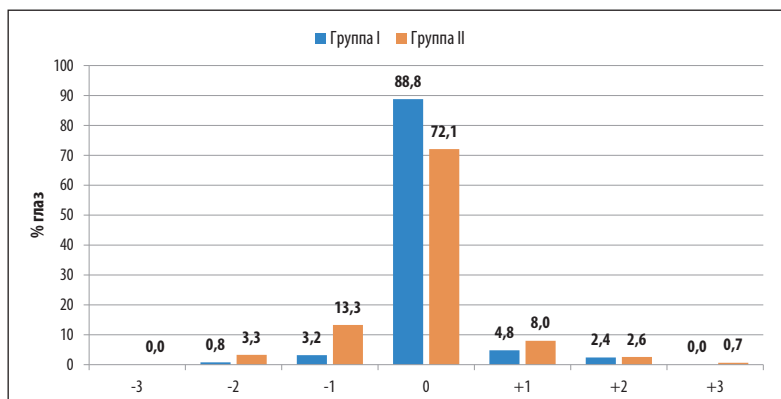


Рис. 2. Потеря/прибавка строк максимально скорректированной остроты зрения вдаль после операции

Fig. 2. Loss/gain of best-corrected distance visual acuity lines after surgery

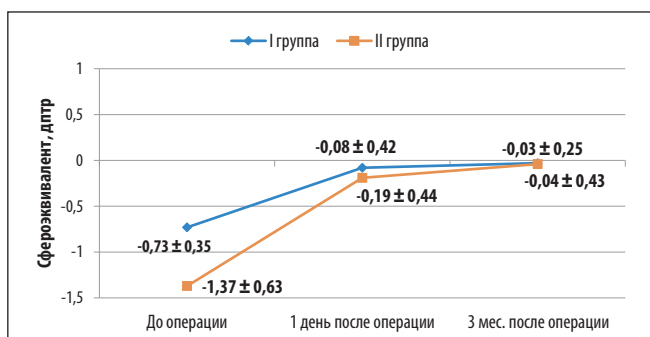


Рис. 3. Динамика изменения сферического эквивалента в период наблюдения у пациентов исследуемых групп

Fig. 3. Dynamics of changes in spherical equivalent during the observation period in patients of the study groups

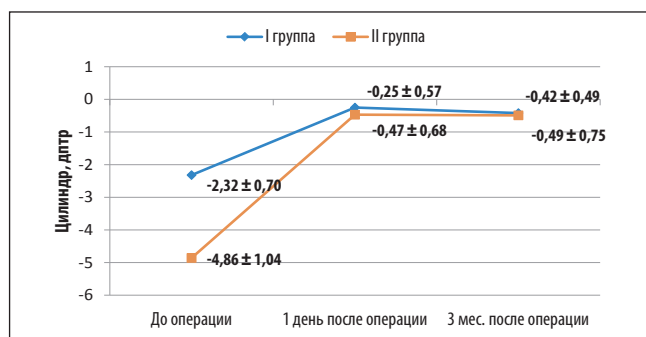


Рис. 4. Динамика изменения цилиндрического компонента в период наблюдения у пациентов исследуемых групп

Fig. 4. Dynamics of changes in the cylindrical component during the observation period in patients of the study groups

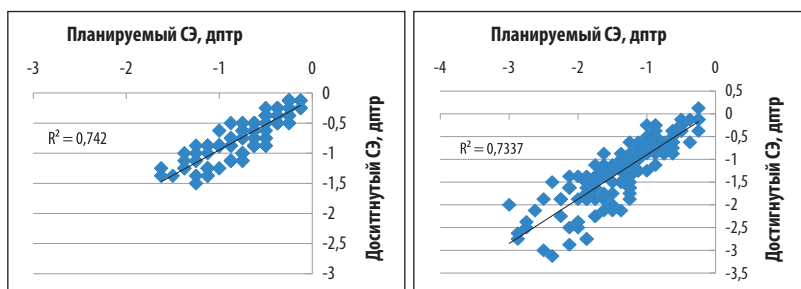
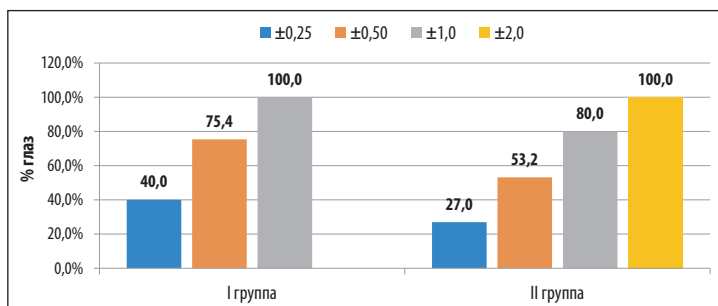


Рис. 5. Предсказуемость результатов коррекции

Fig. 5. Predictability of correction results



Через 3 месяца после Фемто-ЛАЗИК сферический эквивалент в пределах $\pm 0,50D$ достигнут на 89 глазах (70,1 %) в I группе и 79 глазах (51,3 %) во II группе, $\pm 1,0D$ в 98,4 % случаев (125 глаз) и 96,7 % (149 глаз) в I и II группах соответственно. Таким образом, коэффициент предсказуемости (процент глаз, на которых была достигнута рефракция в пределах $\pm 0,5D$ от запланированной коррекции) составил в I группе 70,1 % и во II группе 51,3 %.

Рефракция цели, астигматизм в пределах $\pm 0,5D$ в конце срока наблюдения после Фемто-ЛАЗИК была достигнута в 75,4 % случаев (95 глаз) в I группе и 53,2 % (82 глаза) — во II группе, $\pm 1,0D$ в 100 % (127 глаз) и 80 % (123 глаза) соответственно, $\pm 2,0D$ во второй группе в 100 % случаев (154 глаза) (рис. 6). Клинически значимая степень остаточного

Рис. 6. Распределение величины астигматизма после операции у пациентов исследуемых групп

Fig. 6. Distribution of astigmatism magnitude after surgery in patients of the study groups

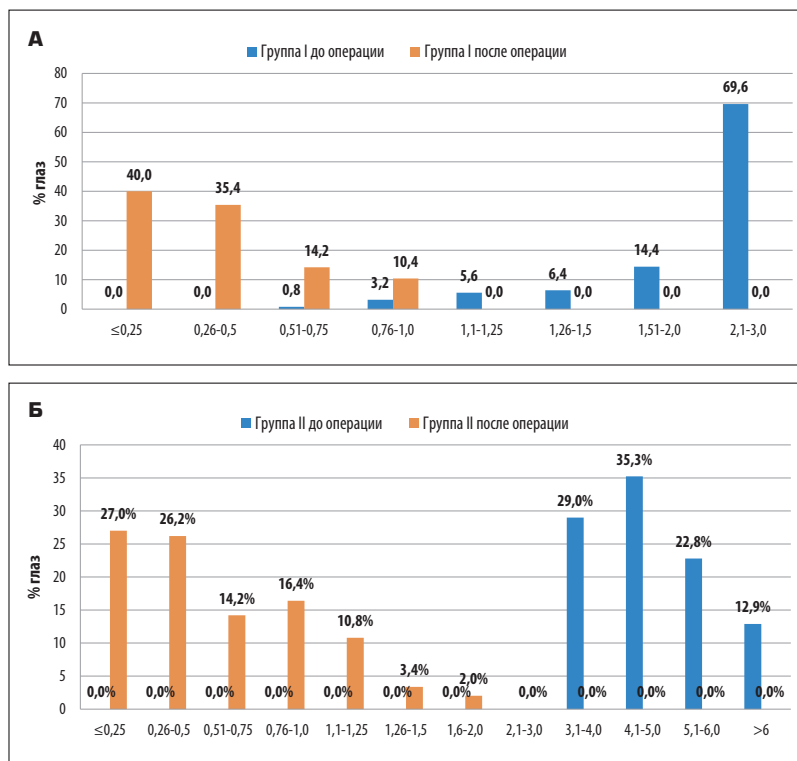


Рис. 7. Степень астигматизма до и после операции: А — у пациентов I группы; Б — у пациентов II группы

Fig. 7. The degree of astigmatism before and after surgery; А — in patients of group I; Б — in patients of group II

астигматизма более 0,75D у пациентов со слабой степенью астигматизма в раннем послеоперационном периоде встречалась в 10,4 % случаев, у пациентов с первичным астигматизмом более 3,0D — в 32,6 % (рис. 7).

Данные коррекции астигматизма по N. Alpins представлены в таблице 3 и на рисунках 8–11. Для анализа использовалось программное обеспечение для автоматического векторного анализа AstigMATIC (Total Cornea Lasik Inc.) [13].

Таблица 3. Векторный анализ коррекции астигматизма по N. Alpins

Table 3. Vector analysis of astigmatism correction according to N. Alpins

Параметр / Index	I группа / I group Cyl ≤ 3,0D (n = 127)	II группа / II group Cyl > 3,0D (n = 154)	Сравнение между группами / Comparison between groups
Величина TIA, D / The value of TIA, D	1,37 ± 0,73	4,28 ± 0,47	p = 0,001
Ось TIA, градусы / TIA axis, degrees	2,00 ± 73,55	179,00 ± 71,20	p = 0,57
Величина SIA, D / The value of SIA, D	1,22 ± 0,63	3,98 ± 0,48	p = 0,001
Ось SIA, градусы / SIA axis, degrees	179,00 ± 38,00	177,00 ± 46,00	p = 0,59
Величина DV, D / The value of DV, D	0,28 ± 0,20	0,39 ± 0,16	p = 0,27
Ось DV, градусы / DV axis, degrees	11,00 ± 12,00	17,00 ± 16,00	p = 0,92
Индекс коррекции CI / CI Correction Index	0,89 ± 0,10	0,94 ± 0,05	p = 0,11

Вектор целевого астигматизма (target-induced astigmatism (TIA)) характеризует значение целевого астигматизма, на компенсацию которого направлена лазерная коррекция зрения (рис. 8). Вектор хирургически индуцированного астигматизма (surgically-induced astigmatism (SIA)) характеризует значение, которое удалось достигнуть в процессе лазерной коррекции зрения. При идеальном раскладе вектор SIA должен быть равен вектору TIA (рис. 9). Вектор различий (difference vector (DV)) характеризует разницу между векторами TIA и SIA и является абсолютным показателем успешности проведенной лазерной коррекции зрения, при идеальном раскладе этот вектор должен равняться нулю (рис. 10). Индекс коррекции (Correction index (CI) в идеале CI должен равняться 1, значение индекса выше 1 указывает на гиперкоррекцию, значение менее 1 — на гипокоррекцию астигматизма (рис. 11).

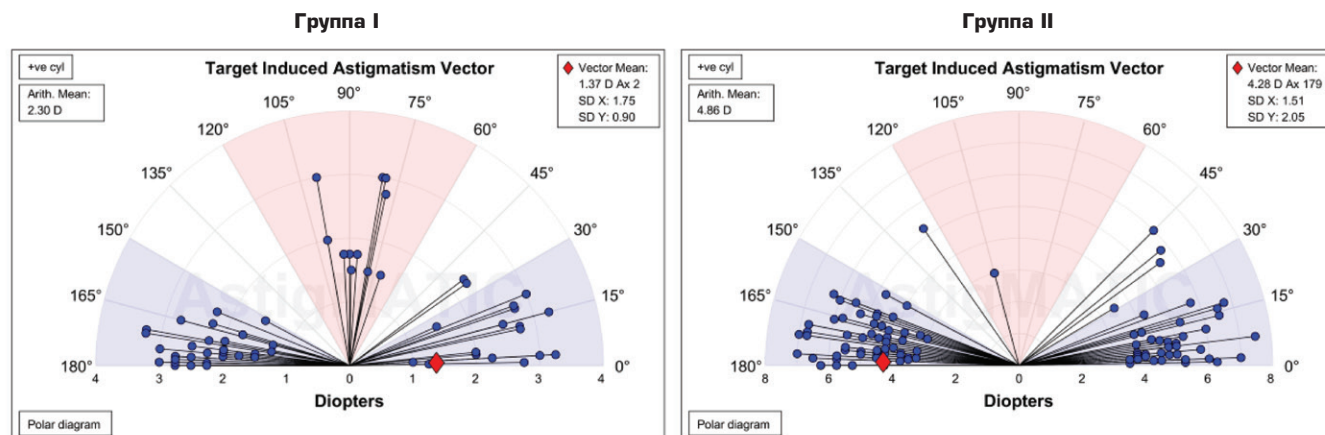


Рис. 8. График в полярных координатах вектора TIA обеих групп

Fig. 8. Polar plot for the TIA vector of both groups

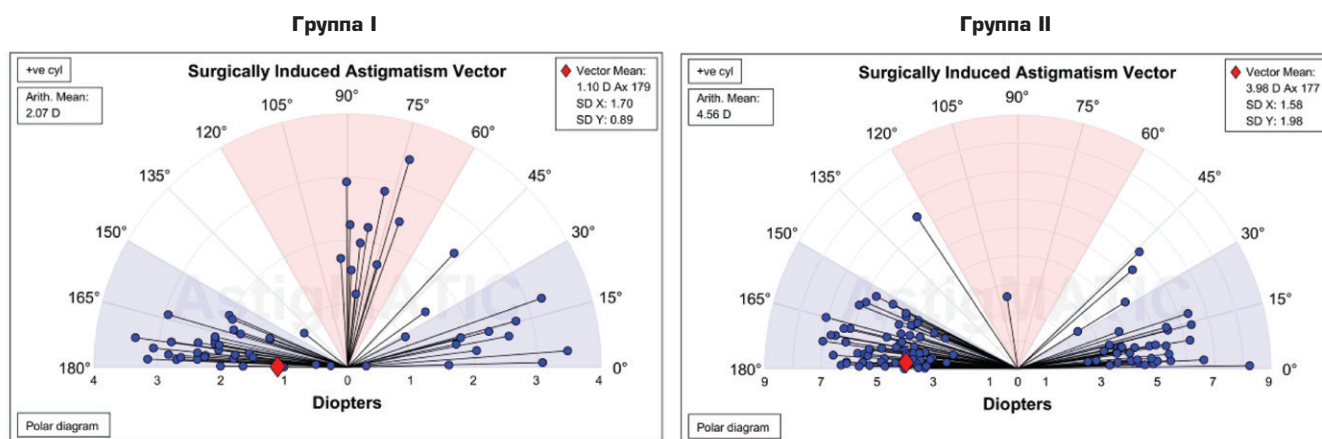


Рис. 9. График в полярных координатах вектора SIA обеих групп

Fig. 9. Polar plot for the SIA vector of both groups

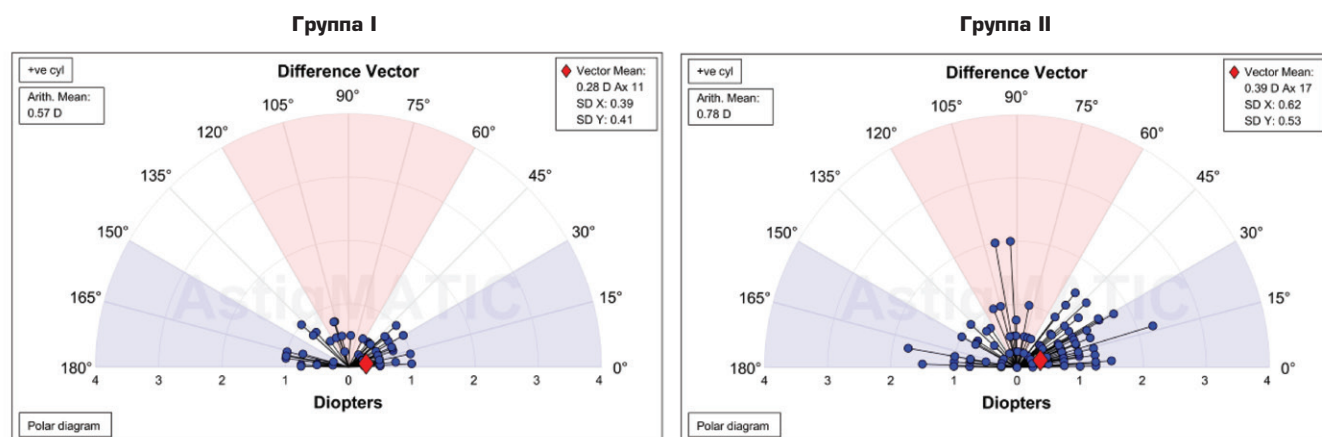


Рис. 10. График в полярных координатах вектора DV обеих групп

Fig. 10. Polar plot for the difference vector of both groups

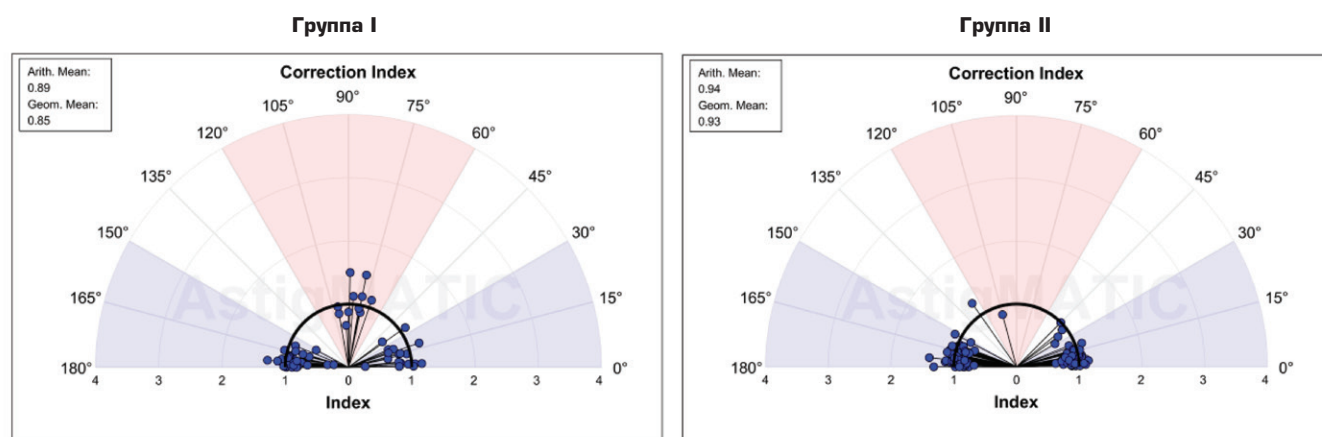


Рис. 11. График в полярных координатах индекса коррекции CI обеих групп

Fig. 11. Polar plot for the correction index of both groups

Примечание: график демонстрирует гипер/гипокоррекцию астигматизма. * Среднее вектора обозначено красным ромбом.
Note: The graph shows hyper/hypocorrection of astigmatism. * The mean vector is indicated by a red diamond.

Таблица 4. Результаты роговичных аберраций до и после операции ($M \pm \sigma$, диапазон значений, n — количество пациентов/глаз)**Table 4.** Results of corneal aberrations before and after surgery ($M \pm \sigma$, range of values, n is the number of patients/eye)

Показатель / Index	До операции / Before the operation		1 день после операции / 1 day after surgery		3 месяца после операции / 3 m after surgery	
	Группа I / Group I	Группа II / Group I	Группа I / Group I	Группа II / Group II	Группа I / Group I	Группа II / Group II
HOA RMS	0,36 $\pm$ 0,11 (0,17; 0,63)	0,45 $\pm$ 0,15 (0,26; 1,07)	0,46 $\pm$ 0,16* (0,18; 0,86)	0,77 $\pm$ 0,25* (0,30; 2,07)	0,40 $\pm$ 0,13 (0,22; 0,79)	0,75 $\pm$ 0,18** (0,48; 1,34)
Астигматизм RMS / Astigmatism RMS	1,71 $\pm$ 0,59 (0,48; 2,82)	3,39 $\pm$ 0,65 (0,89; 4,85)	0,73 $\pm$ 0,25* (0,21; 1,21)	0,93 $\pm$ 0,51* (0,15; 4,14)	0,88 $\pm$ 0,36** (0,22; 1,71)	1,41 $\pm$ 0,34** (0,71; 2,35)
Сферические аберрации Z (4,0) / Spherical aberrations Z (4,0)	0,15 $\pm$ 0,06 (0,05; 0,34)	0,18 $\pm$ 0,08 (-0,01; 0,39)	0,05 $\pm$ 0,11* (-0,17; 0,29)	-0,07 $\pm$ 0,21* (-0,90; 0,35)	0,06 $\pm$ 0,1** (-0,14; 0,25)	-0,05 $\pm$ 0,16** (-0,36; 0,21)
Кома Z (3) / Coma Z (3)	0,24 $\pm$ 0,13 (0,04; 0,54)	0,31 $\pm$ 0,13 (0,08; 0,64)	0,31 $\pm$ 0,16 (0,06; 0,70)	0,37 $\pm$ 0,21* (0,04; 1,02)	0,26 $\pm$ 0,14 (0,06; 0,58)	0,37 $\pm$ 0,23** (0,04; 1,05)

Примечание: * $p \leq 0,05$ — разница между дооперационными значением и через 1 день после операции; ** $p \leq 0,05$ — разница между дооперационными значением и через 3 месяца после операции.

Note: * $p \leq 0.05$ — difference between preoperative values and 1 day after surgery; ** $p \leq 0.05$ — difference between preoperative values and 3 months after surgery.

Величина TIA в исследуемых группах отличалась статистически значимо из-за разницы корректируемого астигматизма и составила в I группе $1,37 \pm 0,73$, во II группе $4,28 \pm 0,47$. Наблюдалось некоторое отличие показателей векторов TIA и SIA по величине, хотя в идеальных условиях эти значения должны совпадать. В обеих группах это расхождение оказалось статистически незначимым ($p > 0,05$).

Величина DV в I группе была статистически незначимо ($p > 0,05$) ближе к нулю, $0,28 \pm 0,20$, в сравнении со II группой, в которой показатель составил $0,39 \pm 0,16$, что соответствует высокой эффективности коррекции астигматизма как при слабой, так и при высокой степени. Показатели оси DV статистически не отличались ($p > 0,05$) и составили $11,0 \pm 12,0$ в группе I и $17,0 \pm 16,0$ в группе II.

Анализ интегрального показателя значения CI менее 1,0 в обеих исследуемых группах свидетельствует о незначительной недокоррекции. В I группе показатель составил $0,89 \pm 0,10$, во II группе — $0,94 \pm 0,05$. Отличие между группами по близости к 1,0 было статистически незначимым ($p > 0,05$).

В ходе проводимого исследования также был выполнен сравнительный анализ динамики роговичных аберраций высокого порядка. В конце срока наблюдения после Фемто-ЛАЗИК в I группе уровень общей среднеквадратичной (RMS) аберрации и комы соответствовал дооперационным значениям ($p \geq 0,05$), послеоперационные показатели среднеквадратичных значений астигматизма и сферических аберраций были достоверно ниже ($p < 0,05$). Во второй группе наблюдалось достоверное увеличение HOA RMS и незначительное, но также статистически значимое усиление комы ($p \leq 0,05$). В то же время положительные изменения среднеквадратичных значений астигматизма и сферических аберраций были также статистически значимы ($p \leq 0,05$).

ОБСУЖДЕНИЕ

Хирургическую коррекцию смешанного астигматизма и миопии отличает сложный алгоритм лазерного воздействия на роговицу — одновременное ослабление мио-

пического меридиана и усиление гиперметропического, при этом выравнивание роговицы должно быть достигнуто с удалением как можно меньшего количества стромы роговицы без клинически значимого индуцирования аберраций высшего порядка. С этой целью в подавляющем большинстве современных лазеров в последние два десятилетия реализован биторический алгоритм абляции, первые результаты применения которого при коррекции смешанного астигматизма были опубликованы А. Chaet в 2001 году [14]. Адекватная центрация лазерного воздействия и циклоторсионная компенсация движения глаз — неотъемлемые условия достижения результатов коррекции смешанного астигматизма с меньшей индукцией оптических аберраций [15]. Так, если не корректируется циклоторсия глаза больше двух градусов, это может негативно сказаться на коррекции астигматизма и вызвать значительные аберрации [10]. Теоретически, разница в четыре градуса приведет к 14%-ной недостаточной коррекции астигматизма, разница в 6 градусов уже к 20%-ной недостаточной коррекции, а разница в 10 градусов — к 35%-ной недостаточной коррекции [16]. В полной мере этим требованиям отвечают современные лазерные системы производства фирмы Schwind eye-tech-solutions GmbH (Германия) [11]. Наиболее значимые технологические преимущества эксимерного лазера седьмого поколения Schwind Amaris 1050RS (Schwind eye-tech-solutions GmbH, Германия) — это высокая частота следования лазерных импульсов (более 1000 Гц), объективное позиционирование центра абляции, активный трекинг в семи измерениях с высокой скоростью измерений (1050 в сек.), персонализированный профиль абляции, нанесение импульсов на основе структуры Фуллера (трехмерной модели, описывающей форму роговицы), контроль статической и динамической циклоторсии.

В нашем проспективном исследовании мы оценивали ранние (срок наблюдения три месяца) результаты лазерной коррекции смешанного астигматизма методом Фемто-ЛАЗИК на эксимерной лазерной системе Schwind Amaris 1050RS по общепринятым категориям

(эффективность, безопасность, предсказуемость). В результате лазерной коррекции уровень достигнутой средней НКОЗ через три месяца после коррекции у пациентов с астигматизмом до 3 диоптрий был сопоставим с дооперационным значением КОЗ — $0,93 \pm 0,11$ и $0,91 \pm 0,13$ соответственно ($p = 0,5$). У пациентов с астигматизмом более 3 диоптрий она была равна $0,73 \pm 0,20$ и статистически значимо ($p = 0,01$) превышала дооперационный уровень $0,68 \pm 0,18$, что подтверждает мнение других авторов об эффективности хирургической коррекции для лечения рефракционной амблиопии [17]. Коэффициент эффективности в исследуемых группах составил, соответственно, 88,1 и 84,3 %. Анализ результатов послеоперационных значений КОЗ показал, что в I группе коэффициент безопасности был ожидаемо выше по сравнению со II группой и равен 99,2 %. Во II группе, несмотря на высокую ($-4,86 \pm 1,03$) среднюю степень корригируемого астигматизма, снижение КОЗ на 0,2 было зарегистрировано только в 3,3 % случаев, коэффициент безопасности составил 96,7 %. В серии анализируемых случаев коррекции высокой степени астигматизма ни одного случая потери более 2 строчек КОЗ отмечено не было.

Детальный анализ полученных рефракционных результатов показал, что в большинстве случаев ожидаемая степень астигматизма в пределах $\pm 0,5D$ в I исследуемой группе была достигнута в 75,4 % случаев, во II группе — в 53,2 %. Следует отметить, что цилиндрический компонент, имеющей клиническое значение, в пределах 0,75–2,0 диоптрии встречался во II группе в 32,6 % случаев. При этом детальный анализ динамики изменения астигматизма, представленный на рисунке 7, показывает, что это случаи с экстремально высоким дооперационным астигматизмом. Эти пациенты заранее были информированы о возможной остаточной степени астигматизма после лазерной коррекции и дали свое согласие на ее проведение. На наш взгляд, такой подход с целью уменьшения анизометропии, в случае непереносимости очковой коррекции, необходимости социальной реабилитации является оправданным. К тому же недостатком нашего исследования является короткий срок наблюдения, в связи с этим нами не представлен анализ данных повторных вмешательств по сравнению с работами других авторов [18].

Проведенный сравнительный векторный анализ коррекции астигматизма по N. Alpins позволяет сделать заключение о высокой эффективности коррекции смешанного астигматизма на эксимерном лазере Schwind Amaris 1050RS независимо от степени астигматизма: интегральный показатель CI близок к предпочтительному значению 1,0 в обеих группах, соответственно, $0,94 \pm 0,06$ и $0,89 \pm 0,04$. Сравнение вышеописанных визуальных и рефракционных результатов, полученных в ходе выполненного нами исследования, позволяет сделать вывод, что они сопоставимы с показателями коррекции смешанного астигматизма на современных эксимерных лазерах других производителей MEL 90 (Carl Zeiss Meditec AG, Йена, Германия) и Allegretto EX500

(Alcon, Fort Worth, TX, США) [7, 8]. Мы допускаем, что данное сравнение не совсем корректно, так как в этих работах авторами представлены результаты коррекции смешанного астигматизма без разделения по степени астигматизма, и средние значения корригируемого астигматизма были значительно ниже уровня астигматизма во II группе в нашем исследовании, но в доступной рецензируемой литературе количество статей, посвященных данной тематике, ограничено.

Мы не обнаружили также публикаций, посвященных результатам коррекции смешанного астигматизма на Schwind Amaris 1050RS. Учитывая роль индуцированных аберраций высокого порядка на качество зрения пациентов после лазерной коррекции, многие авторы уделяют внимание исследованию их динамики после Фемто-ЛАЗИК при коррекции аметропии [19]. Мы также включили данный анализ в дизайн описываемого исследования. По нашим данным, через 3 месяца после операции статистически значимая ($p < 0,05$) отрицательная динамика в абберрометрических показателях (НОА RMS, сферической аберрации, комы) была зарегистрирована только у пациентов II группы при коррекции астигматизма в диапазоне от 3,25D до -7,5D. В то же время при коррекции слабой степени астигматизма уровень аберраций высокого порядка соответствовал дооперационному ($p > 0,05$). При использовании эксимерного лазера 6-го поколения Schwind Amaris 750S такую же тенденцию в динамике роговичных аберраций после коррекции смешанного астигматизма высокой степени отметили J. Alio и соавт. [18]. При тех же условиях M. Vohas и соавт. утверждают, что отрицательные изменения сферических аберраций, комы, трейфола были незначительны ($p > 0,5$) [20].

Для оценки стабильности достигнутых результатов, эффективности и безопасности выполнения повторных вмешательств с целью улучшения результатов в случае гипокоррекции необходимо дальнейшее изучение отдаленных послеоперационных результатов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное проспективное сравнительное исследование ранних результатов коррекции смешанного астигматизма методом Фемто-ЛАЗИК на SCHWIND AMARIS 1050RS с контролем циклоторсии, высокой частотой повторения импульсов и оптимизированным асферическим профилем абляции подтвердило безопасность, эффективность и предсказуемость коррекции данного вида астигматизма независимо от его степени.

УЧАСТИЕ АВТОРОВ:

Клокова О.А. — существенный вклад в замысел и дизайн исследования, написание текста и окончательное одобрение варианта статьи для публикации;
Дамашаускас Р.О. — существенный вклад в замысел и дизайн исследования, подготовка статьи;
Пискунов А.В. — критический пересмотр в части значимого интеллектуального содержания, выполнение операций;
Качаров А.И. — статистический анализ полученных данных, литературный обзор;
Гейденрих М.С. — оформление библиографии, сбор данных;
Дьяконова Е.И. — сбор и обработка материала.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Núñez MX, Henriquez MA, Escaf LJ, Ventura BV, Srur M, Newball L, Espallat A, Centurion VA. Consensus on the management of astigmatism in cataract surgery. *Clin Ophthalmol*. 2019 Feb 11;13:311–324. doi: 10.2147/OPTH.S178277.
- Hashemi H, Fotouhi A, Yekta A, Pakzad R, Ostadimoghaddam H, Khabazkhoob M. Global and regional estimates of prevalence of refractive errors: Systematic review and meta-analysis. *J Curr Ophthalmol*. 2017 Sep 27;30(1):3–22. doi: 10.1016/j.joco.2017.08.009.
- Zhang J, Wu Y, Sharma B, Gupta R, Jawla S, Bullimore MA. Epidemiology and Burden of Astigmatism: A Systematic Literature Review. *Optom Vis Sci*. 2023 Mar 1;100(3):218–231. doi: 10.1097/OPX.0000000000001998.
- Biscevic A, Bohac M, Pjano MA, Grisevic S, Patel S, Pidro A. Treatment of High Astigmatism with WaveLight Allegretto Eye-Q Excimer Laser Platform. *Acta Inform Med*. 2019 Sep;27(3):177–180. doi: 10.5455/aim.2019.27.177-180.
- De Ortueta D, Haecker C. Laser in situ keratomileusis for mixed astigmatism using a modified formula for bitoric ablation. *Eur J Ophthalmol*. 2008 Nov-Dec;18(6):869–876. doi: 10.1177/112067210801800603.
- Alpins N, Ong JKY, Stamatelatos G. Planning for Coupling Effects in Bitoric Mixed Astigmatism Ablative Treatments. *J Refract Surg*. 2017 Aug 1;33(8):545–551. doi: 10.3928/1081597X-20170616-01.
- Moshirfar M, Durnford K, Megerdichian A, Thomson A, Martheshwaran T, West W Jr, McCabe S, Ronquillo Y, Hoopes P. Refractive Outcomes After LASIK for the Treatment of Mixed Astigmatism with the Allegretto WaveLight EX500. *Ophthalmol Ther*. 2022 Apr;11(2):785–795. doi: 10.1007/s40123-022-00472-4.
- Reinstein DZ, Carp GI, Archer TJ, Day AC, Vida RS. Outcomes for Mixed Cylinder LASIK With the MEL 90° Excimer Laser. *J Refract Surg*. 2018 Oct 1;34(10):672–680. doi: 10.3928/1081597X-20180814-01.
- Kilavuzoglu AE, Gönen T, Çelebi AR, Coşar Yurteri CB, Şener AB. Treatment of mixed astigmatism: early clinical outcomes with WaveLight and Technolas excimer lasers. *Turk J Med Sci*. 2016 Apr 19;46(3):664–672. doi: 10.3906/sag-1504-35.
- Alpins N. Astigmatism analysis by the Alpins method. *J Cataract Refract Surg*. 2001 Jan;27(1):31–49. doi: 10.1016/s0886-3350(00)00798-7.
- Alió Del Barrio JL, Tiveron M, Plaza-Puche AB, Amesty MA, Casanova L, García MJ, Alió JL. Laser-Assisted in Situ Keratomileusis with Optimized, Fast-Repetition, and Cyclotorsion Control Excimer Laser to Treat Hyperopic Astigmatism with High Cylinder. *Eur J Ophthalmol*. 2017 Nov 8;27(6):686–693. doi: 10.5301/ejo.5001051.
- Frings A, Druchkiv V, Pose L, Linke SJ, Steinberg J, Katz T. Analysis of excimer laser treatment outcomes and corresponding angle κ in hyperopic astigmatism. *J Cataract Refract Surg*. 2019 Jul;45(7):952–958. doi: 10.1016/j.jcrs.2019.01.030.
- Gauvin M, Wallerstein A. AstigMATIC: an automatic tool for standard astigmatism vector analysis. *BMC Ophthalmol*. 2018 Sep 21;18(1):255. doi: 10.1186/s12886-018-0920-1.
- Chayet AS, Montes M, Gómez L, Rodríguez X, Robledo N, MacRae S. Bitoric laser in situ keratomileusis for the correction of simple myopic and mixed astigmatism. *Ophthalmology*. 2001 Feb;108(2):303–308. doi: 10.1016/s0161-6420(00)00498-x.
- Randleman JB, White AJ Jr, Lynn MJ, Hu MH, Stulting RD. Incidence, outcomes, and risk factors for retreatment after wavefront-optimized ablations with PRK and LASIK. *J Refract Surg*. 2009 Mar;25(3):273–276. doi: 10.3928/1081597X-20090301-06.
- Hori-Komai Y, Sakai C, Toda I, Ito M, Yamamoto T, Tsubota K. Detection of cyclotorsional rotation during excimer laser ablation in LASIK. *J Refract Surg*. 2007 Nov;23(9):911–915. doi: 10.3928/1081-597X-20071101-08.
- Юсупов АФ, Муханов ША, Мубаракбаева КА. Персонализированная лазерная коррекция зрения как метод лечения рефракционной амблиопии при смешанном астигматизме. Наука, техника и образование. 2019;8(61):61–65. Yusupov AF, Mukhanov ShA, Mubarakbaeva KA. Personalized laser vision correction as a method of treatment of refractive amblyopia in mixed astigmatism. *Science, Technology and Education*. 2019;8(61):61–65 (In Russ.).
- 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 May;155(5):829–836. doi: 10.1016/j.ajo.2012.11.027.
- Taskov G, Taskov T. Higher Order Aberrations (HOA) Changes after Femto-LASIK in Topography and Wavefrontguided Treatments. *Folia Med (Plovdiv)*. 2020 Jun 30;62(2):331–337. doi: 10.3897/folmed.62.e39507.
- Bohac M, Biscevic A, Koncarevic M, Anticic M, Gabric N, Patel S. Comparison of WaveLight Allegretto Eye-Q and Schwind Amaris 750S excimer laser in treatment of high astigmatism. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2014 Oct;52(10):1679–1686. doi: 10.1007/s00417-014-2776-2.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Клокова Ольга Александровна
кандидат медицинских наук, врач-офтальмолог высшей квалификационной категории, заведующая офтальмологическим отделением

Качаров Анатолий Иванович
студент

Дамашаускас Роман Олегович
врач-офтальмолог высшей квалификационной категории, офтальмолог офтальмологического отделения

Пискунов Александр Валерьевич
кандидат медицинских наук, врач-офтальмолог высшей квалификационной категории, офтальмолог офтальмологического отделения

Гейденрих Мария Сергеевна
врач-офтальмолог высшей квалификационной категории, офтальмолог офтальмологического отделения

Дьяконова Елена Ивановна
врач-офтальмолог высшей квалификационной категории, офтальмолог офтальмологического отделения

ABOUT THE AUTHORS

Klokova Olga A.
PhD, ophthalmologist, head of the Department of laser refractive surgery

Damashauskas Roman O.
ophthalmologist of the Department of laser refractive surgery

Kacharov Anatolii I.
student

Piskunov Aleksandr V.
PhD, ophthalmologist of the Department of laser refractive surgery

Geydenrikh Mariya S.
ophthalmologist of the Department of laser refractive surgery

Diakonova Elena I.
ophthalmologist of the Department of laser refractive surgery