

УДК 617.7

## ПРЕИМУЩЕСТВО ОПЕРАЦИИ ФЕМТОЛАЗИК ПО СРАВНЕНИЮ СО СТАНДАРТНОЙ ОПЕРАЦИЕЙ ЛАЗИК

© А.Е. Копылов, И.Ю. Сырых, В.А. Гавиловская

*Ключевые слова:* миопия; астигматизм; фемтосекундный лазер; ФемтоЛАЗИК; ЛАЗИК; фемтосекундный лазер VisuMax.

Оценено преимущество операции по технологии ФемтоЛАЗИК по сравнению со стандартной операцией ЛАЗИК. Для проведения операции были использованы следующие лазерные установки: эксимерный лазер МИК-РОСКАН-ЦФП (Троицк) и фемтосекундный лазер VisuMax (Carl Zeiss Meditec AG, Germany). Всего было прооперировано 322 пациента (636 глаз). Острота зрения без коррекции была  $0,08 \pm 0,02$ ; с коррекцией –  $0,85 \pm 0,12$ . Толщина роговицы в центре  $495,15 \pm 10,67$  мкм по данным пахиметра. Всем пациентам проводили операцию ФемтоЛАЗИК и ЛАЗИК по стандартной технологии. На следующий день у всех пациентов была достигнута максимальная корригируемая острота зрения, которая сохранялась на протяжении всего срока наблюдения (6–8 месяцев). Послеоперационные осложнения отсутствовали. По данным щелевой биомикроскопии и компьютерной кератотопографии была полная адаптация роговичного клапана в послеоперационном периоде.

На сегодняшний день ФС-лазерные установки в офтальмологии применяются при формировании роговичного клапана, послыной и сквозной кератопластике, создании роговичных туннелей для имплантации интрастромальных сегментов, интрастромальном формировании роговичной лентикулы, интрастромальной коррекции пресбиопии, а также для выполнения фемтосекундного капсулорексиса и фрагментации ядра хрусталика.

Всего лишь через несколько лет после изобретения первых лазеров начали проводиться хирургические операции на глазу с использованием этих устройств. Возможность передавать энергию света почти любому отделу глазного яблока делают глаз приоритетным объектом для лазерной хирургии. В офтальмологии используется несколько видов взаимодействия лазерного излучения с тканью: фотокоагуляция, фотоабляция и фоторазрушение [1–2].

При проведении фотокоагуляции лазерное излучение поглощается целевыми тканями, а клинический эффект достигается посредством теплового разрушения. Данное клиническое свойство наиболее широко применяется для лечения болезней сетчатки, таких как диабетическая ретинопатия и дегенерация желтого пятна (ETDRS, 1991).

При фотоабляции сильно поглощаемый ультрафиолет применяется для испарения внешних тканей, главным образом для терапии и хирургической коррекции различных аномалий рефракции роговицы [1].

Как и в неорганических материалах, фоторазрушение ткани начинается с лазерного оптического пробоя (англ. laser-induced optical breakdown (LIOB)), когда точно сфокусированный лазерный импульс малой длительности создает высокоинтенсивное электрическое поле, приводящее к формированию плазмы свободных электронов и ионов [1]. Сгенерированная оптически горячая плазма расширяется со сверхзвуковой скоростью, вытесняя окружающую ткань. Распространение плазмы замедляется, сверхзвуковой фронт проходит

через ткань как ударная волна, которая теряет энергию и скорость во время распространения, ослабляется до обычной акустической волны и безвредно рассеивается. Адиабатическое расширение плазмы менее длительно по сравнению с временной постоянной локальной тепловой диффузией, поэтому снижаются тепловые повреждения. Охлаждающаяся плазма испаряет малый объем ткани, в итоге формируя кавитационную полость. Кавитационный пузырек, состоящий в основном из углекислого газа, азота и воды, способен выйти из ткани естественным образом.

Фактически первые офтальмологические операции, использующие фоторазрушение, ограничивались всего лишь несколькими внутриглазными процедурами, поскольку для инициализации лазерного оптического пробоя наносекундным Nd:YAG-лазером необходимо относительно большое количество энергии. В результате сильная ударная волна и большие кавитационные пузыри оказывают значительный повреждающий эффект на окружающие ткани. Снижение фокального размера пятна либо длительности импульса лазера уменьшает пороговую мощность лазерного оптического пробоя. В сравнении с наносекундной системой фемтосекундной системы с низкой энергией обеспечивает микрометрическую точность и минимальное повреждение прилегающим тканям. Такое сочетание позволяет использовать фемтосекундные лазерные импульсы в качестве идеального хирургического скальпеля для высокоточной резки ткани.

Прозрачность тканей глаза позволяет получать оптический пробой на любой глубине, не влияя на ткани вне зоны фоторазрушения. Единственным ограничением при создании произвольных плоскостей разреза является то, что нанесение лазерных импульсов должно проводиться по направлению от наибольшей глубины ткани к ее поверхности, т. е. появляющиеся пузырьки газа создают в ткани тень и препятствуют нанесению следующего, глубже лежащего лазерного импульса.

ФС-лазер с высокой частотой следования импульсов и контролируемой компьютером сканирующей оптической системой доставки луча выполняет локализованные микрофототрусы, которые могут быть размещены рядом друг с другом, формируя разрезы произвольной формы. Учитывая очень малую длительность лазерного импульса, данная процедура получила название фемтосекундного лазерного разреза – фемтодиссекции [3–5]. Сложные фигуры могут быть получены пересечением этих плоскостей разреза.

Размер пузырьков микроплазмы может быть от 1,0 до 5,0 мкм и зависит от энергии в импульсе: диаметр – в несколько раз больше начального микроплазменного пузыря. Дискретность нанесения кавитационных пузырьков определяет наличие между ними очень тонких тканевых мостиков, которые разрываются при подъеме роговичного клапана. Качество фемтодиссекции достигается при абсолютной координации взаимоотношений между энергией импульса, расстоянием между импульсами и частотой их проведения. Более медленные лазеры, такие как нано- и пикосекундные, в экспериментальных исследованиях с целью фемтодиссекции роговицы проявили себя появлением не последовательных, больших по размеру кавитационных пузырьков с выраженной ударной волной и, соответственно, с большей повреждающей способностью на окружающие ткани в сравнении с фемтосекундными лазерами.

Биомеханический ответ тканей роговицы на срез клапана и лазерную абляцию приводит к изменениям формы роговицы не только в центре, но и на периферии, а также на задней поверхности. При формировании роговичного клапана в зависимости от глубины среза пересекаются разные по толщине коллагеновые волокна, которые затем сокращаются к периферии роговицы.

Это приводит к эффекту уплощения центра роговицы еще до проведения абляции. Кроме того, после проведения абляции направленная наружу сила натяжения неповрежденных волокон, расположенных на периферии зоны абляции, приводит к дополнительному уплощению центра роговицы, утолщению и увеличению кривизны периферии роговицы [1].

Это ведет к усилению преломляющей способности периферической части роговицы, что, в свою очередь, увеличивает сферическую аберрацию роговицы в целом.

Уникальные возможности современных ФС-лазерных установок позволяют находить индивидуальный подход в хирургии роговицы, уменьшая ее вторичные изменения биомеханических и оптических свойств [4–5].

**Цель:** оценить клинко-функциональные результаты коррекции аномалий рефракции с использованием технологии ФемтоЛАЗИК и стандартной операцией ЛАЗИК.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для проведения операции по технологиям ЛАЗИК и ФемтоЛАЗИК были использованы следующие лазерные установки: эксимерный лазер МИКРОСКАН-ЦФП (Троицк) и фемтосекундный лазер VisuMax (Carl Zeiss Meditec AG, Germany). Всего было прооперировано 322 пациента (636 глаз). Пациенты разделены на две группы. Первой группе пациентов были проведены операции с использованием фемтосекундного лазера (172 пациента, 341 глаз). Количество операций Фемто-

ЛАЗИК при миопии до 6 дптр включительно и степени астигматизма до 2 дптр составляли 225, при миопии от 6,25 и выше и астигматизме более 2,25 дптр – 116, соответственно. Во второй группе пациентов операции проводились по стандартной технологии ЛАЗИК (150 пациентов, 295 глаз). Количество операций ЛАЗИК при миопии до 6 дптр включительно и степени астигматизма до 2 дптр составляли 112, при миопии от 6,25 и выше и астигматизме более 2,25 дптр – 183, соответственно. Помимо стандартных офтальмологических методов исследования была проведена пахиметрия (Tomey AL-3000, Tomey Corp, Japan), компьютерная кератотопография (Tomey TMS4, Tomey Corp, Japan) и спектральная оптическая когерентная томография роговицы (Оптопол, Польша). Острота зрения без коррекции была  $0,08 \pm 0,02$ ; с коррекцией –  $0,85 \pm 0,12$ . Толщина роговицы в центре –  $495,15 \pm 10,67$  мкм по данным пахиметра. Всем пациентам проводили операцию ФемтоЛАЗИК и ЛАЗИК по стандартной технологии. Период наблюдения 6–8 месяцев.

## ТЕХНИКА ОПЕРАЦИИ

Пациентам первой группы формирование клапана производили с использованием фемтосекундного лазера. I этапом операции являлся процесс стыковки лазера с глазом пациента. После выполнения центрации и достижения оптимальной компрессии роговицы интерфейсом проводилась фемтодиссекция стромы роговицы в горизонтальной плоскости на определенной толщине, формируя «ложе» клапана. Затем в вертикальной плоскости от «ложа» клапана до поверхности эпителия проводился краевой надрез и формировался край роговичного клапана. Мы считаем, что параметры клапана оптимальны, если толщина – 100 мкм, диаметр – 8,7–9,0 мм, положение ножки –  $90^\circ$ , длина перешейка –  $50^\circ$ , угол надреза –  $90^\circ$ . II этап – подъем сформированного клапана специальным шпателем. Затем проводилась эксимерлазерная абляция стромы по заданным параметрам. На завершающем этапе производили укладку и адаптацию клапана. Толщина клапана контролировалась проведением оптической когерентной томографии роговицы на первые сутки после операции. Пациентам второй группы операция ЛАЗИК проводилась по стандартной технологии с использованием автоматизированного кератома. На следующий день после операции всем пациентам проводили контроль кератотопограммы.

В послеоперационном периоде проводилась местная антибактериальная и кортикостероидная терапия. Срок наблюдения составил 6–8 месяцев.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На следующий день у всех пациентов была достигнута острота зрения, соответствующая максимальной корректируемой остроте зрения, которая сохранялась на протяжении всего срока наблюдения (6–8 месяцев). У пациентов второй группы на 185 глазах наблюдали умеренную эпителиопатию, на 18 глазах имелся легкий отек роговицы. У пациентов первой группы послеоперационные осложнения отсутствовали. По данным целевой биомикроскопии и компьютерной кератотопографии в обеих группах пациентов была полная адаптация роговичного клапана в послеоперационном периоде. По данным кератотопографии было достигнуто

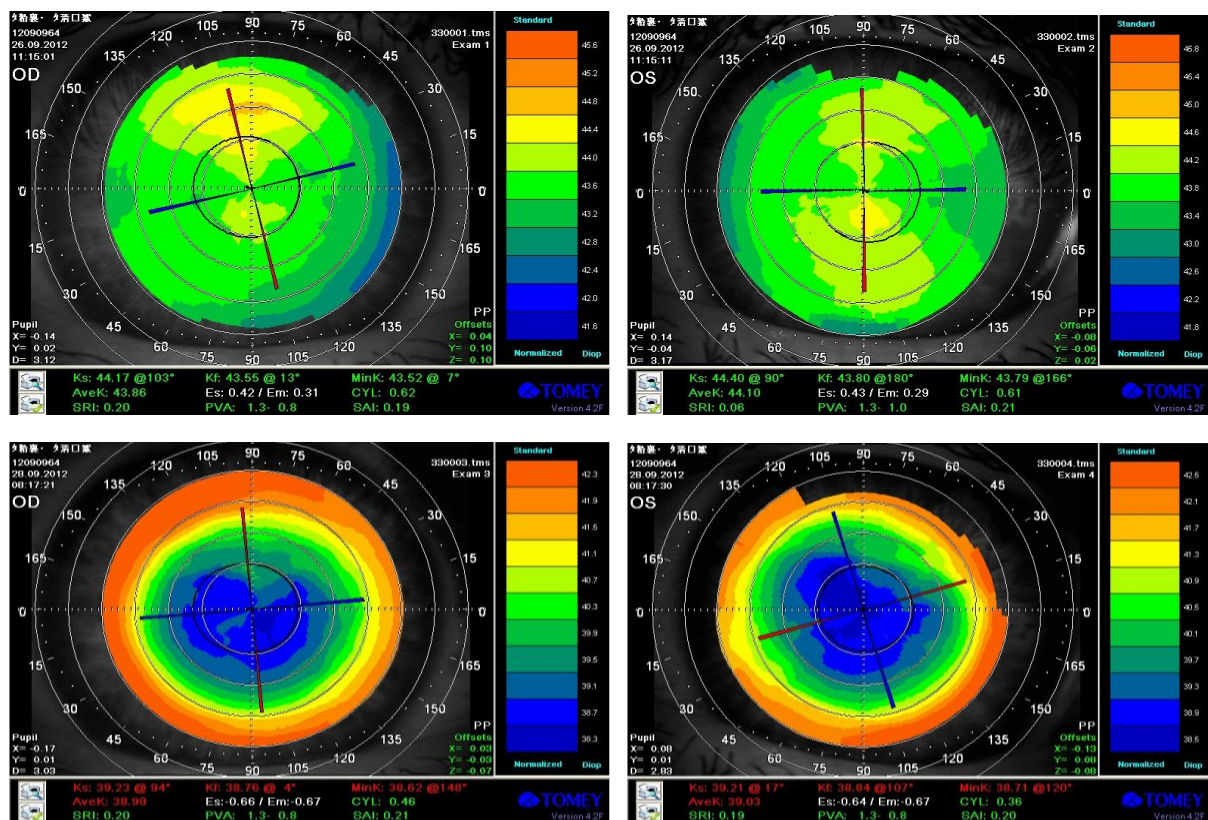


Рис. 1–2. Равномерность кератотопографической картины после фемтоЛАЗИКа. Кератотопограммы до (сверху) и после операции (снизу)

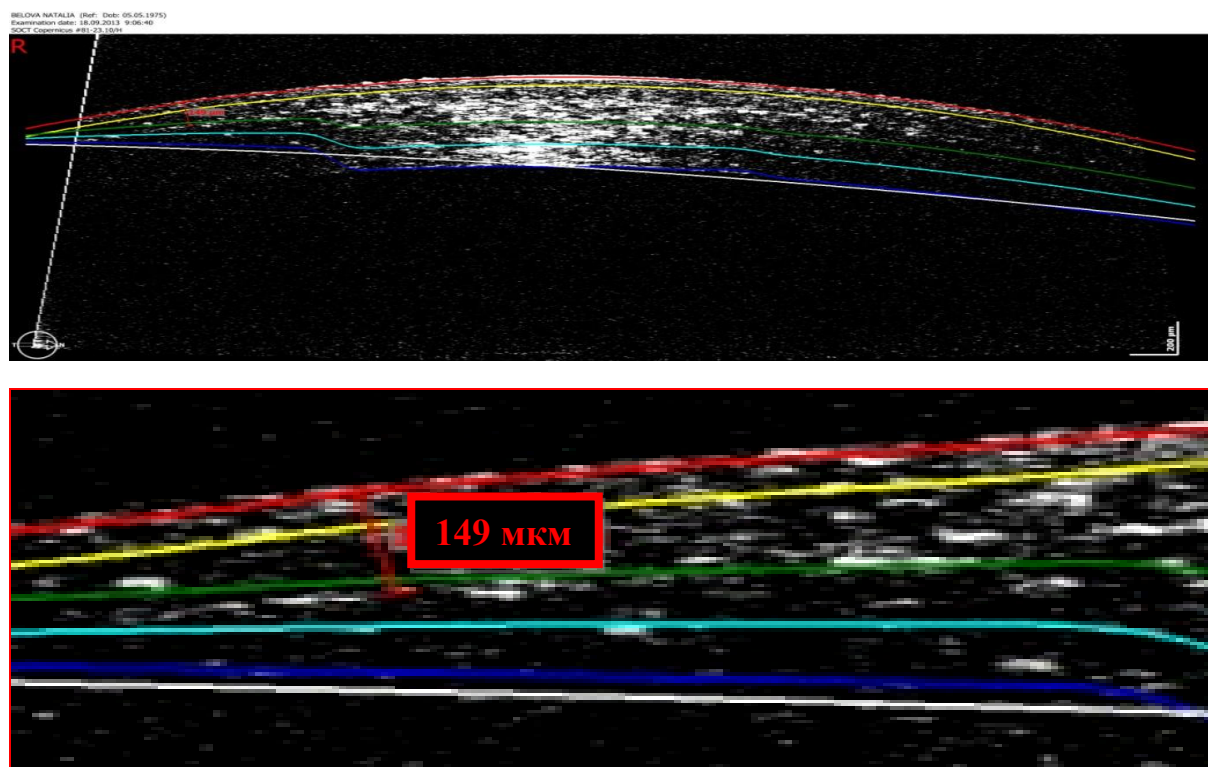
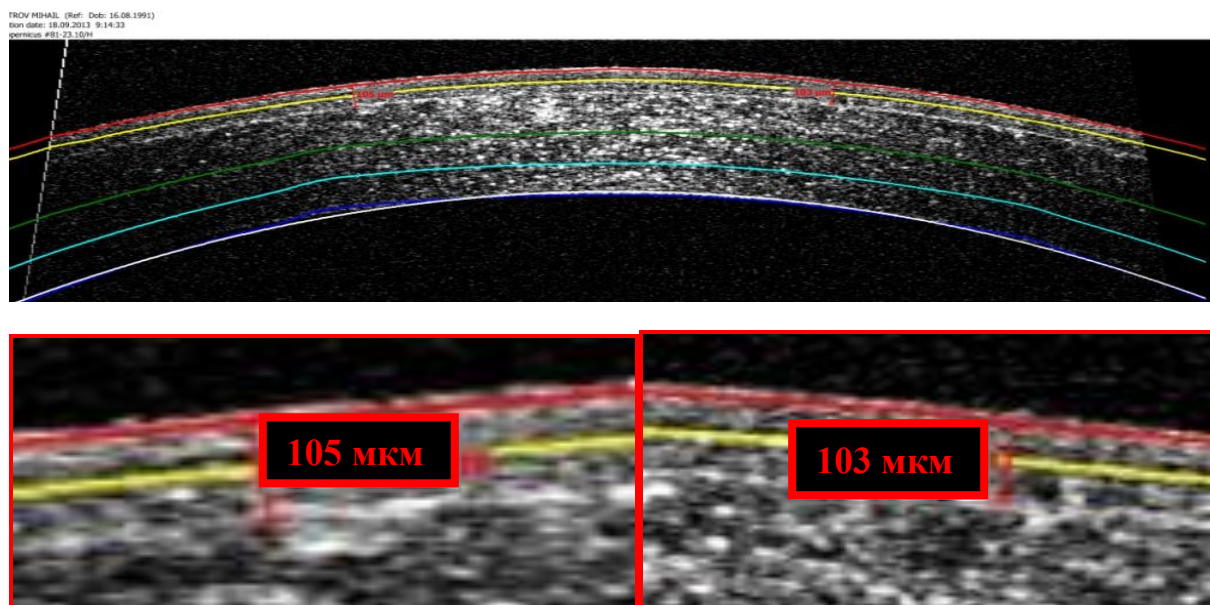


Рис. 3–4. Разброс толщины клапана роговицы, сформированного механическим кератомом по данным ОКТ



**Рис. 5–6.** Полное соответствие толщины и профиля клапана, сформированного фемтосекундным лазером, запланированным параметрам по данным ОКТ

полное соответствие кератотопографической картины роговицы оперированных глаз с запланируемыми параметрами аблиации (рис. 1–2).

В первые часы после операции у пациентов первой группы на 127 глазах наблюдалась легкая эпителиопатия. У остальных пациентов какие-либо реакции роговицы отсутствовали. Каких-либо жалоб со стороны пациентов не наблюдалось. Все пациенты были выписаны на следующий день после операции с максимальной корректируемой остротой зрения, которая сохранялась на протяжении всего срока наблюдения (6–8 месяцев). За период наблюдений какие-либо осложнения отсутствовали. По данным оптической когерентной томографии на следующий день после операции при использовании головки микрокератома 90 мкм (Moria Evolution M3) разброс толщины клапана в месте начала среза составлял 149 мкм, в центральной части роговицы – 124 мкм, в некоторых случаях сопровождаясь неравномерной его толщиной (рис. 3–4).

Таким образом, при срезе роговичного клапана механическим микрокератомом образуется клапан менискообразной формы. В отличие от него ФС-лазер формирует униморфный клапан. У пациентов первой группы роговичный клапан имел четкий и равномерный профиль, практически равномерный по толщине, соответствуя предварительно заданным до операции параметрам, что подтверждено данными оптической когерентной томографии (рис. 5–6).

При выписке пациентов второй группы у 24 из них присутствовали жалобы на сухость в оперированном глазу, у 19 – легкий туман. Через 1 месяц после операции у одного пациента второй группы на обоих глазах была обнаружена легкая форма неспецифического диффузного ламеллярного кератита, которая при соответствующем лечении исчезла через 2 недели. Во второй группе вышеуказанные осложнения отсутствовали.

## ВЫВОДЫ

1. При проведении операции ФемтоЛАЗИК практически отсутствует реакция роговицы.
2. Полная адаптация роговичного клапана в послеоперационном периоде и соответствие кератотопографической картины роговицы оперированных глаз с запланируемыми параметрами аблиации.
3. Практически полное соответствие планируемой толщины и равномерности реза при ФемтоЛАЗИКе по сравнению с непредсказуемой толщиной клапана при стандартной операции ЛАЗИК.
4. Возможность проведения кераторефракционных операций у пациентов с высокими степенями миопии и астигматизма и тонкими роговицами (в некоторых случаях как альтернатива операции ФРК).
5. Возможность изменять параметры фемтоклапана в зависимости от планируемых параметров аблиации и предпочтений хирурга.
6. Более легкая укладка и быстрая адаптация клапана, вследствие чего – отсутствие жалоб у пациентов при выписке и в послеоперационном периоде.
7. Отсутствие отдаленных послеоперационных осложнений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Костенев С.В., Черных В.В. Фемтосекундная лазерная хирургия, принципы и применение в офтальмологии. Новосибирск: Наука, 2012. 142 с.
2. Балашевич Л.И. Хирургическая коррекция аномалий рефракции и аккомодации. СПб.: Человек, 2009. 296 с., ил.
3. Крюков П.Г. Лазеры ультракоротких импульсов // Квант, электроника. 2001. Т. 31. № 2.
4. Ахманов С.А., Вислюх В.А., Чиркин А.С. Оптика фемтосекундных лазерных импульсов. М.: Наука, 1988.
5. Херман И., Вильгельми Б. Лазеры сверхкоротких световых импульсов: пер. с нем. / под ред. П.Г. Крюкова. М.: Мир, 1986.

Поступила в редакцию 3 апреля 2014 г.

Kopylov A.E., Syrykh I.Y., Gavilovskaya V.A. ADVANTAGE OF FEMTOLASIK SURGERY VERSUS TRADITIONAL LASIK SURGERY

The advantage of FemtoLasik surgery versus the traditional Lasik surgery is assessed. The excimer laser Microscan-TSFP (Troitsk) and Femtosecond laser VisuMax (Carl Zeiss Meditec AG, Germany) were used for the surgery. 322 patients (636 eyes) were operated on. Visual acuity without correction was  $0.08 \pm 0.02$ ; with correction –  $0.85 \pm 0.12$ . Central corneal thickness measured by a pachometer was  $495.15 \pm 10.67$  mkm. All

patients underwent FemtoLasik and Lasik surgeries performed according to the traditional technique. Next day the best corrected visual acuity, preserved within the follow up period (6–8 months) was achieved in all patients. There were no any postoperative complications. According to the slit-lamp biomicroscopy data and corneal topographic analysis the corneal valve was fully adapted in the postoperative period.

*Key words:* myopia; astigmatism; Femtosecond laser; FemtoLasik; Lasik; Femtosecond laser VisuMax.

Копылов Андрей Евгеньевич, Тамбовский филиал МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова, г. Тамбов, Российская Федерация, врач-офтальмолог лазерного рефракционного центра, e-mail: naukatmb@mail.ru

Kopylov Andrey Evgenjevich, Academician S.N. Fyodorov FSBI IRTC “Eye Microsurgery”, Tambov branch, Tambov, Russian Federation, Ophthalmologist of Laser Refractive Center, e-mail: naukatmb@mail.ru

Сырых Ирина Юрьевна, Тамбовский филиал МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова, г. Тамбов, Российская Федерация, зав. лазерным рефракционным центром, e-mail: naukatmb@mail.ru

Syrykh Irina Yurjevna, Academician S.N. Fyodorov FSBI IRTC “Eye Microsurgery”, Tambov branch, Tambov, Russian Federation, Head of Laser Refractive Center, e-mail: naukatmb@mail.ru

Гавиловская Виктория Александровна, Тамбовский филиал МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова, г. Тамбов, Российская Федерация, врач-офтальмолог лазерного рефракционного центра, e-mail: naukatmb@mail.ru

Gavilovskaya Viktoriya Alexandrovna, Academician S.N. Fyodorov FSBI IRTC “Eye Microsurgery”, Tambov branch, Tambov, Russian Federation, Ophthalmologist of Laser Refractive Center, e-mail: naukatmb@mail.ru