

Роль фемтосекундного лазера в развитии хирургии роговицы

Мамиконян В. Р.

д.м.н., проф., директор

Карамян А. А.

д.м.н., проф., главный научный сотрудник

Труфанов С. В.

д.м.н., ведущий научный сотрудник

Осипян Г. А.

к.м.н., старший научный сотрудник

Петров С. Ю.

к.м.н., ведущий научный сотрудник

Сафонова Д. М.

к.м.н., младший научный сотрудник

ФГБНУ «НИИ глазных болезней», Россолимо ул., 11 А, Б, 119021 Москва, Российская Федерация.

Автор для корреспонденции: Сафонова Дарья Максимовна, **e-mail:** dmsafonova@gmail.com

Финансирование. Авторы не получали финансирования при проведении исследования и написании статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Аннотация

Статья посвящена современным возможностям применения фемтосекундного лазера в хирургии роговицы. В части, посвященной рефракционной хирургии детально рассматривается операция фемтоLASIK, её преимущества перед классической модификацией, специфические осложнения, характерные для проведения операции с применением фемтосекундных технологий, а также кераторефракционные вмешательства SMILE, ReLEx и возможности коррекции пресбиопии с помощью имплантации инлаев. Также в статье рассмотрены особенности проведения различных видов кератопластики с участием фемтолазерных технологий: преимущества, недостатки и послеоперационный прогноз.

Ключевые слова: фемтосекундный лазер, рефракционная операция, фемтоLASIK, сквозная кератопластика, послойная кератопластика

doi: 10.29234/2308-9113-2018-6-2-10-34

Введение

Появление технологии фемтосекундного лазера, удостоенной Нобелевской премии по химии в 1999 г., произвело настоящую революцию в хирургии роговицы и рефракционной хирургии, повысив безопасность, точность и предсказуемость их результатов по сравнению с использованием механических микрокератомов [83]. Принцип его действия основан на сверхкоротких световых импульсах (10^{-15} сек) с длиной 1053 нм, которые вызывают фоторазрушение ткани с минимальным сопутствующим повреждением [70, 83,

86]. Это позволяет выполнять без помощи лезвия разрезы разной геометрии на любую глубину с высочайшей точностью. В данном обзоре представлены достижения в сфере хирургии роговицы, ставшие возможными благодаря использованию технологии фемтосекундных лазеров.

ФемтоLASIK

Характеристики лоскута

Фемто-ассистированный LASIK (фемтоLASIK) имеет ряд преимуществ перед микрокератом-ассистированной операцией, преимущественно связанных, во-первых, с высокой точностью проводимой процедуры, снижающей риск сквозной перфорации поверхностного лоскута или его полного среза [74], а во-вторых, с поддержанием близкого к физиологическому уровня внутриглазного давления (ВГД) на протяжении выполнения среза, что позволяет минимизировать период транзиторной потери зрения (т.н. период блэкаута). Также в нескольких работах встречаются упоминания о снижении выраженности симптоматики «красного глаза» при использовании фемтосекундного лазера по сравнению со стандартным проведением операции [78]

Многие исследования продемонстрировали, что диаметр, предсказуемость и однородность толщины по всей площади лоскута его при формировании фемтосекундным лазером характеризуются большей точностью по сравнению с формированием лоскута микрокератомом [32,52,61,75,88,101,103]. Аккуратность и точность разрезов, которые обеспечивает фемтосекундный лазер, позволяют выкраивать тонкие (100-110 мкм) и сверхтонкие планарные лоскуты, заметно более однородные по толщине [103], чем лоскуты в виде мениска (более тонкие в центральной зоне и утолщенные на периферии), которые формирует механический микрокератом. Помимо всего прочего, это позволяет хирургу придавать определенный угол периферии лоскута, что обеспечивает его большую стабильность и уменьшает вероятность врастания эпителия [37,72,102]. Еще одно существенное преимущество фемтосекундного лазера заключается в возможности продолжать рез в случае потери присасывания или технических сбоев и даже сформировать под первым лоскутом второй, который будет иметь почти стандартное качество, с минимальным риском серьезных последствий.

Так, Zhang и соавт. [102] проводили сравнительное исследование толщины и морфологии лоскутов, сформированных фемтосекундным лазером WaveLight FS200 (Alcon Laboratories Inc., США) и механическим микрокератомом, посредством оптической когерентной томографии (ОКТ) переднего отрезка. Результаты электронной микроскопии свидетельствуют о том, что при формировании лоскутов микрокератомом Moria и фемтосекундным лазером IntraLase с частотой 15 кГц качество стромального ложа

примерно одинаковое, в то время как фемтосекундный лазер IntraLase с частотой 30 кГц обеспечивает более высокое качество стромального ложа, чем микрокератом Moria и лазер с частотой 15 кГц [77]. О меньшей частоте осложнений, лучшей прогнозируемости толщины лоскута, меньшем хирургически индуцированном астигматизме и скорости восстановления зрения после фемтоLASIK по сравнению с LASIK, выполненном с использованием микрокератомов также сообщается в исследованиях Kezirian, Stonecipher [39] и Rajic и соавт. [61].

Ещё одно из отличий фемтосекундного лазера от микрокератома заключается в том, что работа на последнем больше изменяет биомеханику роговицы [47]. Результаты исследований по биомеханике свидетельствуют о том, что, в случае формирования однородных по толщине тонких лоскутов, роговицы более стабильны по сравнению с толстыми лоскутами [41,69]. С момента своего внедрения в клиническую практику технологии фемтосекундного лазера претерпели ряд усовершенствований. В частности, кавитационные пузырьки стали меньше и более плотно упакованными, благодаря чему стромальные «мостики» практически не имеют сопротивления. Возможность формировать более тонкие лоскуты с более гладким интерфейсом при минимальном влиянии на архитектуру стромы позволяет разрезать меньше вертикальных пластинок, чем горизонтальных, тем самым уменьшая ослабляющий эффект, обусловленный формированием лоскута. Использование фемто-лазера дает возможность варьировать положение и длину ножки лоскута, разрабатывать алгоритмы формирования лоскутов овальной формы (у которых вертикальный диаметр меньше горизонтального) или лоскутов с вывернутыми краями, которые характеризуются большей механической стабильностью [59, 62-64, 89], а также поддерживать острый угол бокового реза (150°), благодаря которому роговица меньше страдает от биомеханического стресса [41].

Исходы в раннем и отдаленном периоде

При исследовании качества зрения в послеоперационном периоде, ряд исследователей отмечает более высокую контрастную чувствительность и большую пространственную частоту в группе фемтосекундного лазера по сравнению с группой микрокератома как в фотопических, так и скотопических условиях [55]. Также, во время проспективного рандомизированного исследования, оценивавшего индуцированные абберрации после формирования роговичного лоскута, Tran и соавт. пришли к выводу, что при выкраивании лоскута фемтосекундным лазером абберрации высших порядков не увеличивались, в то время как при выкраивании лоскута микрокератомом Hansatome отмечено существенное увеличение таких аббераций [93], а Durrie при схожих результатах также отмечал, что в группе фемтосекундного лазера острота зрения без коррекции в раннем послеоперационном периоде (до 3 месяцев) выше, а величина остаточного астигматизма меньше, чем в группе микрокератома Hansatome [17].

Kanelloropoulos и Assimelis проанализировали результаты LASIK, выполненного по поводу миопии, на фемтосекундном лазере FS200 и эксимерном лазере EX500 у 109 пациентов через 1, 3, 6 и 12 месяцев. Они установили, что через 3 месяца острота зрения оказалась выше 1,0 в 94,7% случаев, оставаясь таковой в сроки до 12 месяцев [38]. Аналогичные данные были получены Han и соавт. [27], которые продемонстрировали высокую эффективность и стабильность результатов миопического LASIK: в течение первого года на 98% глаз манифестная рефракция находилась в диапазоне $\pm 1,0$ Дптр.

Gil-Cazorla и соавт. [24] провели ретроспективное нерандомизированное интервенционное сравнительное исследование серии случаев, проанализировав результаты гиперметропического LASIK, выполненного на 72 глазах с помощью фемтосекундного лазера IntraLase 60 кГц, и гиперметропического LASIK, выполненного на 72 глазах с помощью микрокератома Moria M2. Они установили, что в группе фемтоLASIK наблюдается статистически достоверно меньшая величина остаточного сферического компонента и более высокая некорригированная острота зрения по сравнению с группой LASIK посредством микрокератома. В другом исследовании сравнивали результаты гиперметропического фемтоLASIK с управлением по топографии, выполненного на IntraLase FS60 и Wavelight FS200 и эксимерном лазере Wavelight (400 кГц) на 202 глазах (срок наблюдения 24 месяца). Хотя это исследование и не было сравнительным, его результаты свидетельствовали о стабильности и высокой эффективности коррекции без существенного изменения величины аберраций [34].

Осложнения после LASIK

Использование фемтосекундного лазера позволяет существенно снизить частоту таких осложнений, как перфорация лоскута, эрозия эпителия, неполный срез, полный срез, неравномерный срез и складки боуеновой оболочки. В случае выполнения LASIK с помощью фемтосекундного лазера гораздо меньшее значение имеет ремоделирование эпителия [22,84], предположительно, в связи с меньшей скоростью изменения кривизны стромы [71] и биомеханической стабильности, особенно при больших степенях коррекции [35].

В литературе встречаются разные данные о частоте встречаемости синдрома «сухого глаза» после различных модификаций LASIK [8,90]. У человека нервные волокна роговицы идут радиально от периферии по направлению к центру в переднюю треть стромы [16,58], затем проникают через боуенову мембрану и, разветвляясь в горизонтальном и вертикальном направлениях между боуеновой мембраной и базальным эпителием, формируют так называемое суббазальное нервное сплетение. При выкраивании лоскута для LASIK и далее в процессе эксимер-лазерной абляции это нервное сплетение страдает особенно сильно, чем и обусловлена высокая частота этого осложнения. Согласно данным, полученным Salomão и соавт., через месяц после фемтоLASIK (IntraLase) частота встречаемости проявлений «сухого глаза» и поверхностных точечных эпителиальных

эрозий была гораздо меньше [73], чем в группе выполнения аналогичной операции с помощью микрокератома. Предположительно, это связано с тем, что при формировании более тонких лоскутов повреждается меньше афферентных нервных волокон передней стромы роговицы, а также с большей повреждаемостью бокаловидных клеток при использовании микрокератома за счёт более высокого уровня ВГД во время операции. Кроме того, в группе IntraLase гораздо меньшему количеству пациентов требуется назначение циклоспорина местного действия. Однако, в рандомизированном клиническом исследовании Golas и соавт., выполненном на 51 пациенте [25] через 1, 3, 6 и 12 месяцев после LASIK статистически достоверной разницы в симптомах «сухого глаза» выявлено не было.

Отдельно стоит выделить группу осложнений, специфичных для фемтосекундного лазера, таких как формирование кавитационных пузырьков газа (непрозрачный пузырьковый слой, OBL). Кавитационные пузырьки обычно исчезают в течение нескольких минут, но их наличие может помешать визуализации и распознаванию зрачка трекером эксимерного лазера. В отдельных случаях было отмечено появление пузырьков в передней камере, предположительно или вследствие случайного попадания лазерных импульсов во влагу передней камеры (ПК) [94], или в связи с ретроградной миграцией газовых пузырьков из стромы роговицы через шлеммов канал в переднюю камеру. С помощью канюли эти пузырьки можно аккуратно сместить из проекции зрительной оси на периферию. Частоту встречаемости подобных осложнений, в том числе в ПК, можно уменьшить, варьируя дизайн лоскута [36] и продолжительность импульса [76].

К осложнениям фемтоLASIK также относится глэр по типу радуги, описываемый пациентами как наличие нескольких цветовых полос, и возникающий вследствие светорассеяния по задней поверхности интерфейса. Впервые данный феномен, не имеющий взаимосвязи с возрастом, полом или величиной рефракционной ошибки, был описан в 2008 г. Krueger и соавт. [44]. Vamba и соавт. [7] выявили положительную корреляцию между возникновением этой аберрации и увеличением лазерной энергии. По мере выхода на рынок фемтосекундных лазеров нового поколения с улучшенной фокусировкой частота встречаемости этого осложнения, скорее всего, будет снижаться [7,21,44].

Транзиторное повышение светочувствительности – еще одно осложнение, характерное для фемтоLASIK, которое развивается в течение нескольких недель после выполнения процедуры. Данный синдром характеризуется появлением светобоязни разной степени выраженности, в некоторых случаях с минимальным сопутствующим воспалительным процессом в роговице [60]. Считается, что транзиторное повышение светочувствительности обусловлено биохимическим ответом кератоцитов на около-инфракрасную лазерную энергию или воспалительной реакцией соседних тканей на газовые пузырьки [87]. Хотя явные признаки воспаления в данном случае отсутствуют, активная терапия стероидами в раннем послеоперационном периоде снижает частоту встречаемости синдрома транзиторного повышения светочувствительности с 2,8% до

0,4%, о чем свидетельствуют данные Muroz и соавт. [60]. Кроме того, в ходе этого исследования было установлено, что диффузный ламеллярный кератит (ДЛК) чаще развивается на фоне транзиторного повышения светочувствительности (30%), чем в его отсутствие (3%). При увеличении частоты следования импульсов, позволяющем снизить затраты энергии для выкраивания лоскута, встречаемость синдрома транзиторного повышения светочувствительности снижается [87].

Диффузный ламеллярный (интерстициальный) кератит, также известный как синдром «песков Сахары», представляет собой стерильную воспалительную реакцию, которая, как правило, развивается в течение недели после LASIK. Исследования Gil-Cazorla, Chan и Moshirfar [12,23,56] свидетельствуют о том, что после фемтоLASIK (IntraLase) частота встречаемости ДЛК выше, чем после LASIK, выполненного с помощью микрокератомов Moria и Hansatome. По-видимому, это можно объяснить более выраженным воспалительным процессом в интерфейсе лоскута в ответ на воздействие лазерной энергии и формирование пузырьков газа, которые способствуют активации кератоцитов передней стромы (что подтверждается данными конфокальной микроскопии) [32].

Современные модификации

В 2008 г. в клиническую практику была внедрена методика рефракционной экстракции лентикулы (ReLex) и ее модификация, экстракция лентикулы через малый разрез (SMILE), оба этапа которой – формирование лоскута и рефракционная экстракция лентикулы – осуществляются на одной лазерной платформе, в отличие от классического фемто-LASIK, использующего разные системы для этапа выкраивания лоскута (фемтосекундная) и этапа абляции стромального ложа (эксимерная) [9,79,80].

Потенциально SMILE имеет больше преимуществ, чем ReLex, поскольку он не требует формирования лоскута, что минимизирует нарушение архитектоники передней стромы (поскольку роговичный лентикул извлекается из средних слоев стромы), а также обеспечивает сохранение биомеханической целостности и стабильности роговицы [69,102]. Минимальная травматизация переднего эпителия роговицы, боуменовой мембраны и передней стромы снижает риск синдрома «сухого глаза» и послеоперационный дискомфорт [15,16,20,50,99].

Результаты проспективных исследований Coskunseven, Demirok и др. свидетельствуют об одинаковых (или даже лучших) результатах ReLex и SMILE по сравнению с традиционным LASIK [15,16,68,95]. Считается, что потенциально SMILE точнее, чем LASIK, поскольку ее результаты не зависят от факторов окружающей среды, которые могут повлиять на эксимерлазерную абляцию стромы (плотность энергии лазерного излучения, разница в степени гидратации стромы и т.д.). Необходимы дальнейшие исследования, которые помогут выяснить, какая методика больше подходит в тех случаях, когда можно использовать обе вариации. Достоинством LASIK является большой клинический и

научный опыт, однако новые технологии являются весьма перспективными с точки зрения не только эффективности, но и качества жизни (менее выраженная симптоматика «сухого глаза» и чувствительность роговицы).

Фемтолазерная коррекция астигматизма

Лечение астигматизма средней и высокой степени всегда представляло собой непростую задачу для рефракционных хирургов. Для его коррекции до недавнего времени использовались преимущественно очки, контактные линзы, торические ИОЛ и эксимерлазерная абляция. Однако благодаря последним разработкам в области программного обеспечения лазерных платформ, появилась возможность говорить и о фемто-лазерной коррекции роговичного астигматизма [1,98], привлекающей к себе внимание в силу той точности, которую обеспечивает фемтосекундный лазер при выполнении разрезов внутри стромы роговицы. С этой целью для клинической практики одобрены астигматическая кератотомия (АК) и имплантация интрастромальных кольцевых сегментов. Опубликованы предварительные результаты коррекции роговичного астигматизма высокой степени после кератопластики, но поскольку литературных данных по этому вопросу мало, единого протокола хирургического вмешательства все еще нет.

Ведущим способом коррекции астигматизма величиной до 10 Дптр, в том числе после кератопластики, долгое время оставалась астигматическая кератотомия, позволяющая корректировать большую астигматическую ошибку, которую нельзя устранить посредством эксимерного лазера [26]. Однако у нее имеется и существенное ограничение: непредсказуемость роговичных разрезов, выполненных вручную, обуславливает вариабельность их глубины, повышает риск перфорации роговицы, недокоррекции и возникновения индуцированного неправильного астигматизма, а иногда даже увеличивает имеющийся астигматизм [30,43]. Использование технологий фемтосекундного лазера в процессе проведения АК повышает точность роговичных разрезов и позволяет контролировать их форму, длину, глубину и локализацию, а также улучшает функциональные исходы [10,28,40,46]. Поэтому первые попытки выполнить фемтосекундную астигматическую кератотомию были сделаны на глазах после кератопластики с цилиндрической рефракционной ошибкой средней и высокой степени (> 4,0 Дптр), но затем ее все чаще стали сочетать с хирургией катаракты [28,48]. Ваһар и соавт. сравнили результаты АК, выполняемой вручную, и фемтосекундной АК на 40 глазах 39 пациентов после кератопластики и установили, что после фемтосекундной АК острота зрения без коррекции и с максимальной коррекцией существенно выше, что объясняется повышенной аккуратностью и точностью фемтосекундного лазера и снижением частоты осложнений [5].

Наиболее часто встречающиеся осложнения фемтосекундной АК, такие как микроперфорации роговицы, склонные к самозаживлению, и незначительное воспаление в зоне разреза, обратимы. В случае тонкой роговицы возможна гиперкоррекция, поэтому при планировании хирургического вмешательства необходимо принимать в расчет данные топографии роговицы и пахиметрии.

Kymionis и соавт. описывают клинический случай коррекции астигматизма у 68-летней пациентки после кератопластики: на глубину 75% толщины роговицы в точке с наименьшей толщиной посредством фемтосекундного лазера IntraLase (частота 30 кГц) были выполнены два передних дугообразных разреза (длина дуги 60 градусов – на протяжении от 180 градусов до 240 градусов и от 320 градусов до 20 градусов), вследствие чего значение цилиндрического компонента уменьшилось с $-4,0$ Дптр до $-0,5$ Дптр, а некорригированная и максимально корригированная острота зрения улучшилась с $0,33$ до $0,4$ и с $0,4$ до $0,6$, соответственно [48]. В другом случае для коррекции астигматизма после кератопластики фемтосекундным лазером IntraLase (частота 60 кГц) в донорском трансплантате под разными углами были выполнены глубокие парные дугообразные разрезы. На этом фоне величина цилиндрического компонента уменьшилась с $9,3$ Дптр до $6,5$ Дптр [42]. Еще одно исследование было проведено на 9 глазах 9 пациентов после кератопластики; предпринята попытка скорректировать астигматизм посредством одномоментного выполнения фемтосекундным лазером IntraLase (частота 60 кГц) двух парных разрезов, расположенных друг напротив друга, с длиной дуги 70 градусов на глубину 80% толщины роговицы в точке с наименьшей толщиной, центрированные по сильному меридиану с боковым резом 90 градусов. С помощью данной методики удалось уменьшить величину цилиндрического компонента с $9,10 (\pm 3,90)$ Дптр до $5,20 (\pm 1,50)$ Дптр (среднее \pm СО) и улучшить остроту зрения с максимальной коррекцией с $0,66$ до $0,8$ [10].

Астигматическую ошибку малой и средней степени (от $1,0$ до $3,0$ Дптр) также можно скорректировать, проведя механическое уплощение роговицы посредством имплантации интрастромальных кольцевых сегментов. Основным показанием к этой операции является эктазия роговицы (кератоконус, эктазия после LASIK, краевая пеллюцидная дегенерация). Имплантация интрастромальных сегментов призвана отсрочить пересадку роговицы или избежать ее. При проведении этой операции без участия фемтосекундного лазера, два дугообразных интрастромальных туннеля формируются механическим способом. Однако, механический способ выполнения разрезов связан с риском таких хирургических осложнений, как неполное формирование туннеля, перфорация эндотелия, экструзия или смещение сегмента, расплавление роговицы, появление гранулематозных частиц вокруг сегментов Intacs. Интрастромальные туннели, формируемые фемтосекундным лазером, характеризуются большей предсказуемостью и точностью, что позволяет свести эти осложнения к минимуму. При этой модификации фемтосекундным лазером формируется непрерывный круговой туннель на $2/3$ толщины роговицы, после чего имплантируются пластиковые биосовместимые полиметилметакрилатные сегменты. Согласно исследованиям исходов имплантации

интрастромальных кольцевых сегментов с помощью фемтосекундного лазера, проведенными Coskunseven и Kymionis, общую частоту осложнений данной процедуры удалось снизить до 5,7% (49 из 850 случаев) [13,14]. Функциональные и рефракционные исходы подобных вмешательств с использованием фемтосекундного лазера и мануальной техники сопоставимы [65].

Кератопластика с использованием фемтосекундного лазера

Сквозная кератопластика

Исходы сквозной кератопластики напрямую зависят от центровки и перпендикулярности разреза роговицы реципиента и степени соответствия донорской роговицы стромальному ложу реципиента [45]. Использование фемтосекундного лазера позволяет оптимизировать исходы оперативных вмешательств вследствие большей точности выполнения разрезов как на роговице донора, так и на роговице реципиента, максимально точного сопоставления размеров удаляемого и пересаживаемого диска, увеличения площади соприкосновения донора и реципиента, что в свою очередь минимизирует риск смещения трансплантата и улучшает стабильность раны [85].

Еще одно преимущество использования фемтосекундного лазера в сквозной кератопластике заключается в возможности выкраивания трансплантатов с любой конфигурацией геометрии [45], которые нельзя сделать с помощью обычного трепана [19]. Результаты проспективного исследования, в ходе которого наблюдение за пациентами велось в течение года, свидетельствуют о высокой точности фемтосекундного лазера для формирования разрезов со сложной конфигурацией даже при выраженном помутнении роговицы.

Результаты экспериментальных исследований с формированием роговичных трансплантатов посредством фемтосекундного лазера, проведенных Bahar, Ignacio и Steinert, свидетельствуют о механической стабильности разрезов различной конфигурации (обратного грибовидного, грибовидного, зигзаг и «елка») [4,31,85]. Кроме того, согласно Price и соавт., в случае выполнения обратного грибовидного разреза более быстрое заживление позволяет раньше снять швы без риска расхождения его краев [66]. В ходе последующих исследований *in vivo* было показано, что проведение проникающей кератопластики с выполнением разреза типа зигзаг фемтосекундным лазером позволяет добиться хорошего сопоставления краев разреза и его полной герметичности, а острота зрения с максимальной коррекцией через 6 месяцев составляет более 0,7 [18]. Согласно данным, которые были получены при первом сравнении исходов трепанации (разрез типа зигзаг), сделанной вручную и фемтосекундным лазером, при использовании лазера величина индуцированного астигматизма меньше. Наиболее заметная разница имела

место через 1 и через 3 месяца, в дальнейшем средняя величина астигматизма в группе мануальной методики составляла 4,5 Дптр, а в группе лазерной методики – 3,0 Дптр ($p = 0,018$) [19].

В послеоперационном периоде сквозной пересадки роговицы основную проблему составляет возникновение правильного и неправильного астигматизма. В ходе недавнего нерандомизированного ретроспективного исследования Levinger было продемонстрировано, что исходы фемтосекундной кератопластики с грибовидным разрезом (M-FLEK) у пациентов с кератоконусом лучше, чем стандартной сквозной кератопластики: несмотря на отсутствие достоверных различий по остроте зрения с максимальной коррекцией и количеству послеоперационных осложнений, величина астигматизма после M-FLEK была ниже: -2.84 ± 1.08 диоптрий, против -3.93 ± 2.26 диоптрий при стандартной СКП ($p = 0.03$) [49].

Послойная кератопластика с использованием фемтосекундного лазера

Использование фемтосекундного лазера при проведении глубокой передней послойной кератопластики (DALK) позволяет точнее локализовать глубину разреза для введения воздуха, облегчая тем самым формирование «большого пузыря». Поэтому фемтосекундная DALK имеет ряд преимуществ перед мануальной методикой, обеспечивая, в частности, большую герметичность разреза и упрощая применение ножниц при отсечении остаточной стромы от десцеметовой мембраны [67]. Если в процессе процедуры происходит перфорация десцеметовой мембраны, то можно перейти на выполнение сквозной кератопластики, сохраняя при этом все преимущества, которые дает роговичный разрез заданной конфигурации. Как и в случае со сквозной кератопластикой, после послойной фемтосекундной кератопластики швы, как правило, снимаются раньше [19]. Недостатком фемтосекундной методики по сравнению с традиционной является более высокая стоимость.

В ходе недавних исследований Yoo и соавт. было показано, что фемтосекундная бесшовная передняя послойная кератопластика (FALK) характеризуется высокой безопасностью, эффективностью [100], а также стабильностью результатов в отдаленном периоде [82]. Эта методика, предложенная в 2008 г., предполагает выполнение сверхточных разрезов роговицы донора и реципиента, что обеспечивает репозицию краев без наложения швов. Отсутствие швов ускоряет зрительную реабилитацию и уменьшает величину индуцированного астигматизма [82,100].

Предложены новые подходы к формированию «большого пузыря» с участием фемтосекундного лазера, например, техника IntraBubble, с помощью которой в задних слоях стромы, примерно в 50 мкм от эндотелия, формируется канал. Через этот канал вводится воздух, способствующий расслаиванию роговицы [11]. Согласно Busin,

использование фемтосекундного лазера повышает вероятность получения «большого пузыря», а также помогает избежать осложнений и предотвратить переход от послойной техники операции к сквозной.

Задняя эндотелиальная кератопластика с использованием фемтосекундного лазера

Результаты первых лабораторных исследований Jones и соавт. указывают на сопоставимые результаты эндотелиальной кератопластики в группах выполнения операции посредством микрокератома и фемтосекундного лазера. Однако, исследователи считают, что потенциальное преимущество фемтосекундного лазера перед микрокератомом может состоять в создании менее гладкой поверхности, что должно способствовать более плотному прилеганию эндотелия к стромальному ложу [33]. Впрочем, в ходе недавних исследований Heinzelmann *in vivo* выяснилось, что при сравнимых результатах по показателям кератометрического астигматизма, сферического эквивалента и счета эндотелиальных клеток роговицы, функциональные исходы задней автоматизированной послойной кератопластики (DSAEK), выполняемой посредством микрокератома, лучше по сравнению с DSAEK, выполняемой посредством фемтосекундного лазера [29]. Более низкая острота зрения после использования фемтосекундного лазера предположительно может быть ассоциирована с наличием так называемого «хейза» в области интерфейса «донор-реципиент», представляющего собой пролиферативный ответ кератоцитов на их активацию энергетическим воздействием. Также на функциональные результаты могла повлиять нерегулярность поверхности эндотелия, связанная в первую очередь с аппланационной нагрузкой и компрессией роговицы при проведении лазерного этапа [96].

Фемтосекундная коррекция пресбиопии

Современные хирургические возможности коррекции пресбиопии включают вмешательства на хрусталике и роговице [3,53,96]. Концепция интракорнеальных линз, так называемых роговичных инлаев, существует с конца 1940-х гг. Изначально они были предложены доктором Jose Barraquer для пациентов с миопией и афакией, а уже впоследствии стала рассматриваться идея их применения для коррекции пресбиопии.

Механизм коррекции пресбиопии с помощью инлаев заключается в изменении кривизны передней поверхности роговицы, изменении рефракционного индекса роговицы или увеличении глубины фокуса без изменения передней поверхности роговицы [97]. Увеличение глубины фокуса может быть достигнуто путем имплантации роговичных инлаев с маленькими отверстиями (апертурами). Их дизайн позволяет добиться увеличения глубины фокуса по принципу булавочного отверстия, которое «отсекает»

центральные лучи света и минимизирует отражение. В современной рефракционной хирургии эта методика получила наибольшее распространение, о чем свидетельствует растущее число ссылок в научной литературе.

Основными преимуществами инлаев являются: обратимость процедуры благодаря возможности удаления импланта, простота имплантации и репозиции и возможность выполнения рефракционных вмешательств для одновременной коррекции аметропий [2,57,92]. В послеоперационном периоде пациенты могут предъявлять жалобы на блики, гало, ухудшение ночного зрения и симптомы «сухого глаза», которые можно субъективно оценивать с помощью опросника по качеству зрения [54,81,92].

Имплантация роговичных инлаев с помощью фемтосекундного лазера обладает преимуществами при формировании лоскутов и карманов [51]. Так, в нескольких работах сообщается о хороших результатах фемтосекундной имплантации роговичных инлаев, которая дает существенное улучшение достаточной для повседневной жизнедеятельности остроты зрения без коррекции вблизи и на среднем расстоянии, и при этом оказывает минимальное влияние на остроту зрения без коррекции вдаль [6,91]. Tomita и соавт. сообщают о результатах имплантации инлаев с маленькими апертурами (Kamra, AcuFocus, США) и LASIK на 180 глазах. Через 6 месяцев после операции отмечено существенное улучшение средней остроты зрения вблизи и вдаль без коррекции – у всех пациентов бинокулярная острота зрения вдаль без коррекции составляла 1,0 [92].

Заключение

Применение фемтосекундного лазера в офтальмологической практике открывает новые возможности в хирургии роговицы. Его внедрение в рефракционную хирургию позволило существенно улучшить безопасность, эффективность и прогнозируемость при выкраивании лоскутов для LASIK, а меньшая частота и выраженность послеоперационных осложнений способствуют повышению качества жизни пациентов. На данный момент продолжается изучение возможностей фемтосекундного лазера в ходе других кераторефракционных вмешательств (SMILE, коррекция астигматизма и пресбиопии), однако первые результаты выглядят перспективно. Проведение кератопластики с участием фемтолазерных технологий позволяет повысить точность соответствия донорской роговицы стромальному ложу реципиента, обеспечить герметичность разреза, снизить послеоперационный астигматизм, а также стабилизировать результаты в отдаленном периоде.

Список литературы

1. Abbey A., Ide T., Kymionis G.D., Yoo S.H. Femtosecond laser-assisted astigmatic keratotomy in naturally occurring high astigmatism. *The British journal of ophthalmology* 2009; 93 (12): 1566-1569.
2. Alio J.L., Abbouda A., Huseynli S., Knorz M.C., et al. Removability of a small aperture intracorneal inlay for presbyopia correction. *Journal of refractive surgery* 2013; 29 (8): 550-556.
3. Arba Mosquera S., Alio J.L. Presbyopic correction on the cornea. *Eye and vision* 2014; 1: 5.
4. Bahar I., Kaiserman I., McAllum P., Rootman D. Femtosecond laser-assisted penetrating keratoplasty: stability evaluation of different wound configurations. *Cornea* 2008; 27 (2): 209-211.
5. Bahar I., Levinger E., Kaiserman I., Sansanayudh W., et al. IntraLase-enabled astigmatic keratotomy for postkeratoplasty astigmatism. *American journal of ophthalmology* 2008; 146 (6): 897-904 e891
6. Baily C., Kohnen T., O'Keefe M. Preloaded refractive-addition corneal inlay to compensate for presbyopia implanted using a femtosecond laser: one-year visual outcomes and safety. *Journal of cataract and refractive surgery* 2014; 40 (8): 1341-1348.
7. Bamba S., Rocha K.M., Ramos-Esteban J.C., Krueger R.R. Incidence of rainbow glare after laser in situ keratomileusis flap creation with a 60 kHz femtosecond laser. *Journal of cataract and refractive surgery* 2009; 35 (6): 1082-1086.
8. Battat L., Macri A., Dursun D., Pflugfelder S.C. Effects of laser in situ keratomileusis on tear production, clearance, and the ocular surface. *Ophthalmology* 2001; 108 (7): 1230-1235.
9. Blum M., Kunert K., Schroder M., Sekundo W. Femtosecond lenticule extraction for the correction of myopia: preliminary 6-month results. *Graefe's archive for clinical and experimental ophthalmology = Albrecht von Graefes Archiv fur klinische und experimentelle Ophthalmologie* 2010; 248 (7): 1019-1027
10. Buzzonetti L., Petrocelli G., Laborante A., Mazzilli E., et al. Arcuate keratotomy for high postoperative keratoplasty astigmatism performed with the intralase femtosecond laser. *Journal of refractive surgery* 2009; 25 (8): 709-714.
11. Buzzonetti L., Petrocelli G., Valente P. Femtosecond laser and big-bubble deep anterior lamellar keratoplasty: a new chance. *Journal of ophthalmology* 2012; 2012: 264590.
12. Chan A., Ou J., Manche E.E. Comparison of the femtosecond laser and mechanical keratome for laser in situ keratomileusis. *Archives of ophthalmology* 2008; 126 (11): 1484-1490.
13. Coskunseven E., Kymionis G.D., Tsiklis N.S., Atun S., et al. One-year results of intrastromal corneal ring segment implantation (KeraRing) using femtosecond laser in patients with keratoconus. *American journal of ophthalmology* 2008; 145 (5): 775-779.
14. Coskunseven E., Kymionis G.D., Tsiklis N.S., Atun S., et al. Complications of intrastromal corneal ring segment implantation using a femtosecond laser for channel creation: a survey of 850 eyes with keratoconus. *Acta ophthalmologica* 2011; 89 (1): 54-57.
15. Demirok A., Ozgurhan E.B., Agca A., Kara N., et al. Corneal sensation after corneal refractive surgery with small incision lenticule extraction. *Optometry and vision science : official publication of the American Academy of Optometry* 2013; 90 (10): 1040-1047.
16. Denoyer A., Landman E., Trinh L., Faure J.F., et al. Dry eye disease after refractive surgery: comparative outcomes of small incision lenticule extraction versus LASIK. *Ophthalmology* 2015; 122 (4): 669-676.

17. Durrie D.S., Kezirian G.M. Femtosecond laser versus mechanical keratome flaps in wavefront-guided laser in situ keratomileusis: prospective contralateral eye study. *Journal of cataract and refractive surgery* 2005; 31 (1): 120-126.
18. Farid M., Kim M., Steinert R.F. Results of penetrating keratoplasty performed with a femtosecond laser zigzag incision initial report. *Ophthalmology* 2007; 114 (12): 2208-2212.
19. Farid M., Steinert R.F., Gaster R.N., Chamberlain W., et al. Comparison of penetrating keratoplasty performed with a femtosecond laser zig-zag incision versus conventional blade trephination. *Ophthalmology* 2009; 116 (9): 1638-1643.
20. Ganesh S., Gupta R. Comparison of visual and refractive outcomes following femtosecond laser-assisted LASIK with SMILE in patients with myopia or myopic astigmatism. *Journal of refractive surgery* 2014; 30 (9): 590-596.
21. Gatinel D., Saad A., Guilbert E., Rouger H. Unilateral rainbow glare after uncomplicated femto-LASIK using the FS-200 femtosecond laser. *Journal of refractive surgery* 2013; 29 (7): 498-501.
22. Gauthier C.A., Holden B.A., Epstein D., Tengroth B., et al. Role of epithelial hyperplasia in regression following photorefractive keratectomy. *The British journal of ophthalmology* 1996; 80 (6): 545-548.
23. Gil-Cazorla R., Teus M.A., de Benito-Llopis L., Fuentes I. Incidence of diffuse lamellar keratitis after laser in situ keratomileusis associated with the IntraLase 15 kHz femtosecond laser and Moria M2 microkeratome. *Journal of cataract and refractive surgery* 2008; 34 (1): 28-31.
24. Gil-Cazorla R., Teus M.A., de Benito-Llopis L., Mikropoulos D.G. Femtosecond laser vs mechanical microkeratome for hyperopic laser in situ keratomileusis. *American journal of ophthalmology* 2011; 152 (1): 16-21 e12.
25. Golas L., Manche E.E. Dry eye after laser in situ keratomileusis with femtosecond laser and mechanical keratome. *Journal of cataract and refractive surgery* 2011; 37 (8): 1476-1480.
26. Guell J.L., Vazquez M. Correction of high astigmatism with astigmatic keratotomy combined with laser in situ keratomileusis. *Journal of cataract and refractive surgery* 2000; 26 (7): 960-966.
27. Han D.C., Chen J., Htoon H.M., Tan D.T., et al. Comparison of outcomes of conventional WaveLight((R)) Allegretto Wave((R)) and Technolas((R)) excimer lasers in myopic laser in situ keratomileusis. *Clinical ophthalmology* 2012; 6: 1159-1168.
28. Harissi-Dagher M., Azar D.T. Femtosecond laser astigmatic keratotomy for postkeratoplasty astigmatism. *Canadian journal of ophthalmology Journal canadien d'ophtalmologie* 2008; 43 (3): 367-369.
29. Heinzelmann S., Maier P., Bohringer D., Auw-Hadrich C., et al. Visual outcome and histological findings following femtosecond laser-assisted versus microkeratome-assisted DSAEK. *Graefe's archive for clinical and experimental ophthalmology = Albrecht von Graefes Archiv fur klinische und experimentelle Ophthalmologie* 2013; 251 (8): 1979-1985.
30. Hoffart L., Proust H., Matonti F., Conrath J., et al. Correction of postkeratoplasty astigmatism by femtosecond laser compared with mechanized astigmatic keratotomy. *American journal of ophthalmology* 2009; 147 (5): 779-787, 787 e771.
31. Ignacio T.S., Nguyen T.B., Chuck R.S., Kurtz R.M., et al. Top hat wound configuration for penetrating keratoplasty using the femtosecond laser: a laboratory model. *Cornea* 2006; 25 (3): 336-340.
32. Javaloy J., Vidal M.T., Abdelrahman A.M., Artola A., et al. Confocal microscopy comparison of intralase femtosecond laser and Moria M2 microkeratome in LASIK. *Journal of refractive surgery* 2007; 23 (2): 178-187.

33. Jones Y.J., Goins K.M., Sutphin J.E., Mullins R., et al. Comparison of the femtosecond laser (IntraLase) versus manual microkeratome (Moria ALTK) in dissection of the donor in endothelial keratoplasty: initial study in eye bank eyes. *Cornea* 2008; 27 (1): 88-93.
34. Kanellopoulos A.J. Topography-guided hyperopic and hyperopic astigmatism femtosecond laser-assisted LASIK: long-term experience with the 400 Hz eye-Q excimer platform. *Clinical ophthalmology* 2012; 6: 895-901.
35. Kanellopoulos A.J., Asimellis G. Epithelial remodeling after femtosecond laser-assisted high myopic LASIK: comparison of stand-alone with LASIK combined with prophylactic high-fluence cross-linking. *Cornea* 2014; 33 (5): 463-469.
36. Kanellopoulos A.J., Asimellis G. Essential opaque bubble layer elimination with novel LASIK flap settings in the FS200 Femtosecond Laser. *Clinical ophthalmology* 2013; 7: 765-770.
37. Kanellopoulos A.J., Asimellis G. FS200 femtosecond laser LASIK flap digital analysis parameter evaluation: comparing two different types of patient interface applanation cones. *Clinical ophthalmology* 2013; 7: 1103-1108.
38. Kanellopoulos A.J., Asimellis G. Long-term bladeless LASIK outcomes with the FS200 Femtosecond and EX500 Excimer Laser workstation: the Refractive Suite. *Clinical ophthalmology* 2013; 7: 261-269.
39. Kezirian G.M., Stonecipher K.G. Comparison of the IntraLase femtosecond laser and mechanical keratomes for laser in situ keratomileusis. *Journal of cataract and refractive surgery* 2004; 30 (4): 804-811.
40. Kiraly L., Herrmann C., Amm M., Duncker G. [Reduction of astigmatism by arcuate incisions using the femtosecond laser after corneal transplantation] // *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde* 2008; 225 (1): 70-74.
41. Knox Cartwright N.E., Tyrer J.R., Jaycock P.D., Marshall J. Effects of variation in depth and side cut angulations in LASIK and thin-flap LASIK using a femtosecond laser: a biomechanical study. *Journal of refractive surgery* 2012; 28 (6): 419-425.
42. Kook D., Bühren J., Klaproth O.K., Bauch A.S., et al. [Astigmatic keratotomy with the femtosecond laser: correction of high astigmatism after keratoplasty] *Der Ophthalmologe: Zeitschrift der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft* 2011; 108 (2): 143-150.
43. Krachmer J.H., Fenzl R.E. Surgical correction of high postkeratoplasty astigmatism. Relaxing incisions vs wedge resection. *Archives of ophthalmology* 1980; 98 (8): 1400-1402.
44. Krueger R.R., Thornton I.L., Xu M., Bor Z., et al. Rainbow glare as an optical side effect of IntraLASIK. *Ophthalmology* 2008; 115 (7): 1187-1195 e1181.
45. Kullman G., Pineda R., 2nd. Alternative applications of the femtosecond laser in ophthalmology. *Seminars in ophthalmology* 2010; 25 (5-6): 256-264.
46. Kumar N.L., Kaiserman I., Shehadeh-Mashor R., Sansanayudh W., et al. IntraLase-enabled astigmatic keratotomy for post-keratoplasty astigmatism: on-axis vector analysis. *Ophthalmology* 2010; 117 (6): 1228-1235 e1221.
47. Kymionis G.D., Kontadakis G.A., Naoumidi I., Kankariya V.P., et al. Comparative study of stromal bed of LASIK flaps created with femtosecond lasers (IntraLase FS150, WaveLight FS200) and mechanical microkeratome. *The British journal of ophthalmology* 2014; 98 (1): 133-137.
48. Kymionis G.D., Yoo S.H., Ide T., Culbertson W.W. Femtosecond-assisted astigmatic keratotomy for post-keratoplasty irregular astigmatism. *Journal of cataract and refractive surgery* 2009; 35 (1): 11-13.

49. Levinger E., Trivizki O., Levinger S., Kremer I. Outcome of "mushroom" pattern femtosecond laser-assisted keratoplasty versus conventional penetrating keratoplasty in patients with keratoconus. *Cornea* 2014; 33 (5): 481-485.
50. Li M., Zhao J., Shen Y., Li T., et al. Comparison of dry eye and corneal sensitivity between small incision lenticule extraction and femtosecond LASIK for myopia. *PLoS one* 2013; 8 (10): e77797.
51. Lindstrom R.L., Macrae S.M., Pepose J.S., Hoopes P.C., Sr. Corneal inlays for presbyopia correction. *Current opinion in ophthalmology* 2013; 24 (4): 281-287.
52. Maus M., Fawzy N., Pei R. Retrospective analysis of femtosecond laser flap accuracy in patients having LASIK. *Journal of cataract and refractive surgery* 2014; 40 (12): 2158-2160.
53. McAlinden C., Moore J.E. Multifocal intraocular lens with a surface-embedded near section: Short-term clinical outcomes. *Journal of cataract and refractive surgery* 2011; 37 (3): 441-445.
54. McAlinden C., Pesudovs K., Moore J.E. The development of an instrument to measure quality of vision: the Quality of Vision (QoV) questionnaire. *Investigative ophthalmology & visual science* 2010; 51 (11): 5537-5545.
55. Montes-Mico R., Rodriguez-Galieteiro A., Alio J.L., Cervino A. Contrast sensitivity after LASIK flap creation with a femtosecond laser and a mechanical microkeratome. *Journal of refractive surgery* 2007; 23 (2): 188-192.
56. Moshirfar M., Gardiner J.P., Schliesser J.A., Espandar L., et al. Laser in situ keratomileusis flap complications using mechanical microkeratome versus femtosecond laser: retrospective comparison. *Journal of cataract and refractive surgery* 2010; 36 (11): 1925-1933.
57. Mulet M.E., Alio J.L., Knorz M.C. Hydrogel intracorneal inlays for the correction of hyperopia: outcomes and complications after 5 years of follow-up. *Ophthalmology* 2009; 116 (8): 1455-1460, 1460 e1451.
58. Muller L.J., Pels E., Vrensen G.F. The specific architecture of the anterior stroma accounts for maintenance of corneal curvature. *The British journal of ophthalmology* 2001; 85 (4): 437-443.
59. Munoz G., Albarran-Diego C., Ferrer-Blasco T., Garcia-Lazaro S., et al. Long-term comparison of corneal aberration changes after laser in situ keratomileusis: mechanical microkeratome versus femtosecond laser flap creation. *Journal of cataract and refractive surgery* 2010; 36 (11): 1934-1944.
60. Munoz G., Albarran-Diego C., Sakla H.F., Javaloy J., et al. Transient light-sensitivity syndrome after laser in situ keratomileusis with the femtosecond laser Incidence and prevention. *Journal of cataract and refractive surgery* 2006; 32 (12): 2075-2079.
61. Pajic B., Vastardis I., Pajic-Eggspuehler B., Gatziofufas Z., et al. Femtosecond laser versus mechanical microkeratome-assisted flap creation for LASIK: a prospective, randomized, paired-eye study. *Clinical ophthalmology* 2014; 8: 1883-1889.
62. Paschalis E.I., Aristeidou A.P., Foudoulakis N.C., Razis L.A. Corneal flap assessment with Rondo microkeratome in laser in situ keratomileusis. *Graefes' archive for clinical and experimental ophthalmology = Albrecht von Graefes Archiv fur klinische und experimentelle Ophthalmologie* 2011; 249 (2): 289-295.
63. Paschalis E.I., Labiris G., Aristeidou A.P., Foudoulakis N.C., et al. Laser in situ keratomileusis flap-thickness predictability with a pendular microkeratome. *Journal of cataract and refractive surgery* 2011; 37 (12): 2160-2166.
64. Patel S.V., Maguire L.J., McLaren J.W., Hodge D.O., et al. Femtosecond laser versus mechanical microkeratome for LASIK: a randomized controlled study. *Ophthalmology* 2007; 114 (8): 1482-1490.
65. Pinero D.P., Alio J.L., El Kady B., Coskunseven E., et al. Refractive and aberrometric outcomes of intracorneal ring segments for keratoconus: mechanical versus femtosecond-assisted procedures. *Ophthalmology* 2009; 116 (9): P. 1675-1687.

66. Price F.W., Jr., Price M.O. Femtosecond laser shaped penetrating keratoplasty: one-year results utilizing a top-hat configuration *American journal of ophthalmology* 2008; 145 (2): 210-214.
67. Price F.W., Jr., Price M.O., Grandin J.C., Kwon R. Deep anterior lamellar keratoplasty with femtosecond-laser zigzag incisions. *Journal of cataract and refractive surgery* 2009; 35 (5): 804-808.
68. Radner W., Mallinger R. Interlacing of collagen lamellae in the midstroma of the human cornea. *Cornea* 2002; 21 (6): 598-601.
69. Randleman J.B., Dawson D.G., Grossniklaus H.E., McCarey B.E., et al. Depth-dependent cohesive tensile strength in human donor corneas: implications for refractive surgery. *Journal of refractive surgery* 2008; 24 (1): S85-89.
70. Ratkay-Traub I., Ferincz I.E., Juhasz T., Kurtz R.M., et al. First clinical results with the femtosecond neodymium-glass laser in refractive surgery. *Journal of refractive surgery* 2003; 19 (2): 94-103.
71. Reinstein D.Z., Archer T.J., Gobbe M. Refractive and topographic errors in topography-guided ablation produced by epithelial compensation predicted by 3D Artemis VHF digital ultrasound stromal and epithelial thickness mapping. *Journal of refractive surgery* 2012; 28 (9): 657-663.
72. Rosa A.M., Neto Murta J., Quadrado M.J., Tavares C., et al. Femtosecond laser versus mechanical microkeratomes for flap creation in laser in situ keratomileusis and effect of postoperative measurement interval on estimated femtosecond flap thickness. *Journal of cataract and refractive surgery* 2009; 35 (5): 833-838.
73. Salomao M.Q., Ambrosio R., Jr., Wilson S.E. Dry eye associated with laser in situ keratomileusis: Mechanical microkeratome versus femtosecond laser. *Journal of cataract and refractive surgery* 2009; 35 (10): 1756-1760.
74. Salomao M.Q., Wilson S.E. Femtosecond laser in laser in situ keratomileusis. *Journal of cataract and refractive surgery* 2010; 36 (6): 1024-1032.
75. Santhiago M.R., Kara-Junior N., Waring G.O.t. Microkeratome versus femtosecond flaps: accuracy and complications. *Current opinion in ophthalmology* 2014; 25 (4): 270-274.
76. Santhiago M.R., Wilson S.E. Cellular effects after laser in situ keratomileusis flap formation with femtosecond lasers: a review. *Cornea* 2012; 31 (2): 198-205.
77. Sarayba M.A., Ignacio T.S., Binder P.S., Tran D.B. Comparative study of stromal bed quality by using mechanical, IntraLase femtosecond laser 15- and 30-kHz microkeratomes. *Cornea* 2007; 26 (4): 446-451.
78. Schlote T., Kynigopoulos M. [LASIK and Femto-LASIK]. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde* 2016; 233 (9): e29-e39
79. Sekundo W., Kunert K., Russmann C., Gille A., et al. First efficacy and safety study of femtosecond lenticule extraction for the correction of myopia: six-month results. *Journal of cataract and refractive surgery* 2008; 34 (9): 1513-1520.
80. Sekundo W., Kunert K.S., 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. *The British journal of ophthalmology* 2011; 95 (3): 335-339.
81. Seyeddain O., Hohensinn M., Riha W., Nix G., et al. Small-aperture corneal inlay for the correction of presbyopia: 3-year follow-up. *Journal of cataract and refractive surgery* 2012; 38 (1): 35-45.
82. Shousha M.A., Yoo S.H., Kymionis G.D., Ide T., et al. Long-term results of femtosecond laser-assisted sutureless anterior lamellar keratoplasty. *Ophthalmology* 2011; 118 (2): 315-323.

83. Soong H.K., Malta J.B. Femtosecond lasers in ophthalmology. *American journal of ophthalmology* 2009; 147 (2): 189-197 e182.
84. Spadea L., Fasciani R., Necozone S., Balestrazzi E. Role of the corneal epithelium in refractive changes following laser in situ keratomileusis for high myopia. *Journal of refractive surgery* 2000; 16 (2): 133-139.
85. Steinert R.F., Ignacio T.S., Sarayba M.A. "Top hat"-shaped penetrating keratoplasty using the femtosecond laser. *American journal of ophthalmology* 2007; 143 (4): 689-691.
86. Stern D., Schoenlein R.W., Puliafito C.A., Dobi E.T., et al. Corneal ablation by nanosecond, picosecond, and femtosecond lasers at 532 and 625 nm. *Archives of ophthalmology* 1989; 107 (4): 587-592.
87. Stonecipher K.G., Dishler J.G., Ignacio T.S., Binder P.S. Transient light sensitivity after femtosecond laser flap creation: clinical findings and management. *Journal of cataract and refractive surgery* 2006; 32 (1): 91-94.
88. Talamo J.H., Meltzer J., Gardner J. Reproducibility of flap thickness with IntraLase FS and Moria LSK-1 and M2 microkeratomes. *Journal of refractive surgery* 2006; 22 (6): 556-561.
89. Tanna M., Schallhorn S.C., Hettinger K.A. Femtosecond laser versus mechanical microkeratome: a retrospective comparison of visual outcomes at 3 months. *Journal of refractive surgery* 2009; 25 (7) Suppl.: S668-671.
90. Toda I., Asano-Kato N., Komai-Hori Y., Tsubota K. Dry eye after laser in situ keratomileusis. *American journal of ophthalmology* 2001; 132 (1): 1-7.
91. Tomita M., Huseynova T. Evaluating the short-term results of KAMRA inlay implantation using real-time optical coherence tomography-guided femtosecond laser technology. *Journal of refractive surgery* 2014; 30 (5): 326-329.
92. Tomita M., Kanamori T., Waring G.O.t., Yukawa S., et al. Simultaneous corneal inlay implantation and laser in situ keratomileusis for presbyopia in patients with hyperopia, myopia, or emmetropia: six-month results. *Journal of cataract and refractive surgery* 2012; 38 (3): 495-506.
93. Tran D.B., Sarayba M.A., Bor Z., Garufis C., et al. Randomized prospective clinical study comparing induced aberrations with IntraLase and Hansatome flap creation in fellow eyes: potential impact on wavefront-guided laser in situ keratomileusis. *Journal of cataract and refractive surgery* 2005; 31 (1): 97-105.
94. Utine C.A., Altunsoy M., Basar D. Visante anterior segment OCT in a patient with gas bubbles in the anterior chamber after femtosecond laser corneal flap formation. *International ophthalmology* 2010; 30 (1): 81-84.
95. Vestergaard A.H., Gronbech K.T., Grauslund J., Ivarsen A.R., et al. Subbasal nerve morphology, corneal sensation, and tear film evaluation after refractive femtosecond laser lenticule extraction. *Graefe's archive for clinical and experimental ophthalmology = Albrecht von Graefes Archiv fur klinische und experimentelle Ophthalmologie* 2013; 251 (11): 2591-2600.
96. Vetter J.M., Butsch C., Faust M., Schmidtman I., et al. Irregularity of the posterior corneal surface after curved interface femtosecond laser-assisted versus microkeratome-assisted descemet stripping automated endothelial keratoplasty. *Cornea* 2013; 32 (2): 118-124.
97. Waring G.O.t., Klyce S.D. Corneal inlays for the treatment of presbyopia. *International ophthalmology clinics* 2011; 51 (2): 51-62.
98. Wu E. Femtosecond-assisted astigmatic keratotomy. *International ophthalmology clinics* 2011; 51 (2): 77-85.
99. Xu Y., Yang Y. Dry eye after small incision lenticule extraction and LASIK for myopia. *Journal of refractive surgery* 2014; 30 (3): 186-190.
100. Yoo S.H., Kymionis G.D., Koreishi A., Ide T., et al. Femtosecond laser-assisted sutureless anterior lamellar keratoplasty. *Ophthalmology* 2008; 115 (8): 1303-1307, 1307 e1301.

101. Yu C.Q., Manche E.E. A comparison of LASIK flap thickness and morphology between the Intralase 60- and 150-kHz femtosecond lasers. *Journal of refractive surgery* 2014; 30 (12): 827-830.
102. Zhang Y., Chen Y.G., Xia Y.J. Comparison of corneal flap morphology using AS-OCT in LASIK with the WaveLight FS200 femtosecond laser versus a mechanical microkeratome. *Journal of refractive surgery* 2013; 29 (5): 320-324.
103. Zheng Y., Zhou Y., Zhang J., Liu Q., et al. Comparison of laser in situ keratomileusis flaps created by 2 femtosecond lasers. *Cornea* 2015; 34 (3): 328-333.

Femtosecond laser in corneal surgery

Мамиконян В. Р.

Med.Sc.D., Prof., Director

Карамжан А. А.

Med.Sc.D., Prof., Main Research Associate

Труфанов С. В.

Med.Sc.D., Leading Research Associate

Осипян Г. А.

Ph.D., Senior Research Associate

Петров С. Ю.

Med.Sc.D., Leading Research Associate

Сафонова Д. М.

Ph.D., Junior Research Associate

Scientific Research Institute of Eye Diseases, Rossolimo st., 11 A, B, 119021 Moscow, Russian Federation

Corresponding author: Darya M. Safonova; **e-mail:** dmsafonova@gmail.com

Conflict of interest. None declared.

Funding. The study had no sponsorship.

Summary

The review is dedicated to a wide range of femtosecond laser applications in corneal surgery. It focuses on refractive surgery, featuring a detailed account of femtoLASIK advantages and specific postoperative complications, refractive lenticule Extraction (ReLEx) and its SMILE modification (small incision lenticule extraction), as well as corneal inlays use for presbyopia correction. The review also recounts femtosecond laser use in keratoplasty (PKP, DALK, DSAEK): its vantage points, limitations and postoperative prognosis.

Keywords: Femtosecond laser, Refractive surgery, Corneal surgery, femtoLASIK, SMILE, Penetrating keratoplasty, PKP, DALK, DSAEK.

References

1. Abbey A., Ide T., Kymionis G.D., Yoo S.H. Femtosecond laser-assisted astigmatic keratotomy in naturally occurring high astigmatism. *The British journal of ophthalmology* 2009; 93 (12): 1566-1569.
2. Alio J.L., Abbouda A., Huseynli S., Knorz M.C., et al. Removability of a small aperture intracorneal inlay for presbyopia correction. *Journal of refractive surgery* 2013; 29 (8): 550-556.

3. Arba Mosquera S., Alio J.L. Presbyopic correction on the cornea. *Eye and vision* 2014; 1: 5.
4. Bahar I., Kaiserman I., McAllum P., Rootman D. Femtosecond laser-assisted penetrating keratoplasty: stability evaluation of different wound configurations. *Cornea* 2008; 27 (2): 209-211.
5. Bahar I., Levinger E., Kaiserman I., Sansanayudh W., et al. IntraLase-enabled astigmatic keratotomy for postkeratoplasty astigmatism. *American journal of ophthalmology* 2008; 146 (6): 897-904 e891
6. Baily C., Kohnen T., O'Keefe M. Preloaded refractive-addition corneal inlay to compensate for presbyopia implanted using a femtosecond laser: one-year visual outcomes and safety. *Journal of cataract and refractive surgery* 2014; 40 (8): 1341-1348.
7. Bamba S., Rocha K.M., Ramos-Esteban J.C., Krueger R.R. Incidence of rainbow glare after laser in situ keratomileusis flap creation with a 60 kHz femtosecond laser. *Journal of cataract and refractive surgery* 2009; 35 (6): 1082-1086.
8. Battat L., Macri A., Dursun D., Pflugfelder S.C. Effects of laser in situ keratomileusis on tear production, clearance, and the ocular surface. *Ophthalmology* 2001; 108 (7): 1230-1235.
9. Blum M., Kunert K., Schroder M., Sekundo W. Femtosecond lenticule extraction for the correction of myopia: preliminary 6-month results. *Graefes' archive for clinical and experimental ophthalmology = Albrecht von Graefes Archiv fur klinische und experimentelle Ophthalmologie* 2010; 248 (7): 1019-1027
10. Buzzonetti L., Petrocelli G., Laborante A., Mazzilli E., et al. Arcuate keratotomy for high postoperative keratoplasty astigmatism performed with the intralase femtosecond laser. *Journal of refractive surgery* 2009; 25 (8): 709-714.
11. Buzzonetti L., Petrocelli G., Valente P. Femtosecond laser and big-bubble deep anterior lamellar keratoplasty: a new chance. *Journal of ophthalmology* 2012; 2012: 264590.
12. Chan A., Ou J., Manche E.E. Comparison of the femtosecond laser and mechanical keratome for laser in situ keratomileusis. *Archives of ophthalmology* 2008; 126 (11): 1484-1490.
13. Coskunseven E., Kymionis G.D., Tsiklis N.S., Atun S., et al. One-year results of intrastromal corneal ring segment implantation (KeraRing) using femtosecond laser in patients with keratoconus. *American journal of ophthalmology* 2008; 145 (5): 775-779.
14. Coskunseven E., Kymionis G.D., Tsiklis N.S., Atun S., et al. Complications of intrastromal corneal ring segment implantation using a femtosecond laser for channel creation: a survey of 850 eyes with keratoconus. *Acta ophthalmologica* 2011; 89 (1): 54-57.
15. Demirok A., Ozgurhan E.B., Agca A., Kara N., et al. Corneal sensation after corneal refractive surgery with small incision lenticule extraction. *Optometry and vision science : official publication of the American Academy of Optometry* 2013; 90 (10): 1040-1047.
16. Denoyer A., Landman E., Trinh L., Faure J.F., et al. Dry eye disease after refractive surgery: comparative outcomes of small incision lenticule extraction versus LASIK. *Ophthalmology* 2015; 122 (4): 669-676.
17. Durrie D.S., Kezirian G.M. Femtosecond laser versus mechanical keratome flaps in wavefront-guided laser in situ keratomileusis: prospective contralateral eye study. *Journal of cataract and refractive surgery* 2005; 31 (1): 120-126.
18. Farid M., Kim M., Steinert R.F. Results of penetrating keratoplasty performed with a femtosecond laser zigzag incision initial report. *Ophthalmology* 2007; 114 (12): 2208-2212.

19. Farid M., Steinert R.F., Gaster R.N., Chamberlain W., et al. Comparison of penetrating keratoplasty performed with a femtosecond laser zig-zag incision versus conventional blade trephination. *Ophthalmology* 2009; 116 (9): 1638-1643.
20. Ganesh S., Gupta R. Comparison of visual and refractive outcomes following femtosecond laser-assisted LASIK with SMILE in patients with myopia or myopic astigmatism. *Journal of refractive surgery* 2014; 30 (9): 590-596.
21. Gatinel D., Saad A., Guilbert E., Rouger H. Unilateral rainbow glare after uncomplicated femto-LASIK using the FS-200 femtosecond laser. *Journal of refractive surgery* 2013; 29 (7): 498-501.
22. Gauthier C.A., Holden B.A., Epstein D., Tengroth B., et al. Role of epithelial hyperplasia in regression following photorefractive keratectomy. *The British journal of ophthalmology* 1996; 80 (6): 545-548.
23. Gil-Cazorla R., Teus M.A., de Benito-Llopis L., Fuentes I. Incidence of diffuse lamellar keratitis after laser in situ keratomileusis associated with the IntraLase 15 kHz femtosecond laser and Moria M2 microkeratome. *Journal of cataract and refractive surgery* 2008; 34 (1): 28-31.
24. Gil-Cazorla R., Teus M.A., de Benito-Llopis L., Mikropoulos D.G. Femtosecond laser vs mechanical microkeratome for hyperopic laser in situ keratomileusis. *American journal of ophthalmology* 2011; 152 (1): 16-21 e12.
25. Golas L., Manche E.E. Dry eye after laser in situ keratomileusis with femtosecond laser and mechanical keratome. *Journal of cataract and refractive surgery* 2011; 37 (8): 1476-1480.
26. Guell J.L., Vazquez M. Correction of high astigmatism with astigmatic keratotomy combined with laser in situ keratomileusis. *Journal of cataract and refractive surgery* 2000; 26 (7): 960-966.
27. Han D.C., Chen J., Htoon H.M., Tan D.T., et al. Comparison of outcomes of conventional WaveLight((R)) Allegretto Wave((R)) and Technolas((R)) excimer lasers in myopic laser in situ keratomileusis. *Clinical ophthalmology* 2012; 6: 1159-1168.
28. Harissi-Dagher M., Azar D.T. Femtosecond laser astigmatic keratotomy for postkeratoplasty astigmatism. *Canadian journal of ophthalmology Journal canadien d'ophtalmologie* 2008; 43 (3): 367-369.
29. Heinzelmann S., Maier P., Bohringer D., Auw-Hadrich C., et al. Visual outcome and histological findings following femtosecond laser-assisted versus microkeratome-assisted DSAEK. *Graefe's archive for clinical and experimental ophthalmology = Albrecht von Graefes Archiv fur klinische und experimentelle Ophthalmologie* 2013; 251 (8): 1979-1985.
30. Hoffart L., Proust H., Matonti F., Conrath J., et al. Correction of postkeratoplasty astigmatism by femtosecond laser compared with mechanized astigmatic keratotomy. *American journal of ophthalmology* 2009; 147 (5): 779-787, 787 e771.
31. Ignacio T.S., Nguyen T.B., Chuck R.S., Kurtz R.M., et al. Top hat wound configuration for penetrating keratoplasty using the femtosecond laser: a laboratory model. *Cornea* 2006; 25 (3): 336-340.
32. Javaloy J., Vidal M.T., Abdelrahman A.M., Artola A., et al. Confocal microscopy comparison of intralase femtosecond laser and Moria M2 microkeratome in LASIK. *Journal of refractive surgery* 2007; 23 (2): 178-187.
33. Jones Y.J., Goins K.M., Sutphin J.E., Mullins R., et al. Comparison of the femtosecond laser (IntraLase) versus manual microkeratome (Moria ALTK) in dissection of the donor in endothelial keratoplasty: initial study in eye bank eyes. *Cornea* 2008; 27 (1): 88-93.
34. Kanellopoulos A.J. Topography-guided hyperopic and hyperopic astigmatism femtosecond laser-assisted LASIK: long-term experience with the 400 Hz eye-Q excimer platform. *Clinical ophthalmology* 2012; 6: 895-901.

35. Kanellopoulos A.J., Asimellis G. Epithelial remodeling after femtosecond laser-assisted high myopic LASIK: comparison of stand-alone with LASIK combined with prophylactic high-fluence cross-linking. *Cornea* 2014; 33 (5): 463-469.
36. Kanellopoulos A.J., Asimellis G. Essential opaque bubble layer elimination with novel LASIK flap settings in the FS200 Femtosecond Laser. *Clinical ophthalmology* 2013; 7: 765-770.
37. Kanellopoulos A.J., Asimellis G. FS200 femtosecond laser LASIK flap digital analysis parameter evaluation: comparing two different types of patient interface applanation cones. *Clinical ophthalmology* 2013; 7: 1103-1108.
38. Kanellopoulos A.J., Asimellis G. Long-term bladeless LASIK outcomes with the FS200 Femtosecond and EX500 Excimer Laser workstation: the Refractive Suite. *Clinical ophthalmology* 2013; 7: 261-269.
39. Kezirian G.M., Stonecipher K.G. Comparison of the IntraLase femtosecond laser and mechanical keratomes for laser in situ keratomileusis. *Journal of cataract and refractive surgery* 2004; 30 (4): 804-811.
40. Kiraly L., Herrmann C., Amm M., Duncker G. [Reduction of astigmatism by arcuate incisions using the femtosecond laser after corneal transplantation] // *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde* 2008; 225 (1): 70-74.
41. Knox Cartwright N.E., Tyrer J.R., Jaycock P.D., Marshall J. Effects of variation in depth and side cut angulations in LASIK and thin-flap LASIK using a femtosecond laser: a biomechanical study. *Journal of refractive surgery* 2012; 28 (6): 419-425.
42. Kook D., Bühren J., Klaproth O.K., Bauch A.S., et al. [Astigmatic keratotomy with the femtosecond laser: correction of high astigmatism after keratoplasty] *Der Ophthalmologe: Zeitschrift der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft* 2011; 108 (2): 143-150.
43. Krachmer J.H., Fenzl R.E. Surgical correction of high postkeratoplasty astigmatism. Relaxing incisions vs wedge resection. *Archives of ophthalmology* 1980; 98 (8): 1400-1402.
44. Krueger R.R., Thornton I.L., Xu M., Bor Z., et al. Rainbow glare as an optical side effect of IntraLASIK. *Ophthalmology* 2008; 115 (7): 1187-1195 e1181.
45. Kullman G., Pineda R., 2nd. Alternative applications of the femtosecond laser in ophthalmology. *Seminars in ophthalmology* 2010; 25 (5-6): 256-264.
46. Kumar N.L., Kaiserman I., Shehadeh-Mashor R., Sansanayudh W., et al. IntraLase-enabled astigmatic keratotomy for post-keratoplasty astigmatism: on-axis vector analysis. *Ophthalmology* 2010; 117 (6): 1228-1235 e1221.
47. Kymionis G.D., Kontadakis G.A., Naoumidi I., Kankariya V.P., et al. Comparative study of stromal bed of LASIK flaps created with femtosecond lasers (IntraLase FS150, WaveLight FS200) and mechanical microkeratome. *The British journal of ophthalmology* 2014; 98 (1): 133-137.
48. Kymionis G.D., Yoo S.H., Ide T., Culbertson W.W. Femtosecond-assisted astigmatic keratotomy for post-keratoplasty irregular astigmatism. *Journal of cataract and refractive surgery* 2009; 35 (1): 11-13.
49. Levinger E., Trivizki O., Levinger S., Kremer I. Outcome of "mushroom" pattern femtosecond laser-assisted keratoplasty versus conventional penetrating keratoplasty in patients with keratoconus. *Cornea* 2014; 33 (5): 481-485.
50. Li M., Zhao J., Shen Y., Li T., et al. Comparison of dry eye and corneal sensitivity between small incision lenticule extraction and femtosecond LASIK for myopia. *PLoS one* 2013; 8 (10): e77797.
51. Lindstrom R.L., Macrae S.M., Pepose J.S., Hoopes P.C., Sr. Corneal inlays for presbyopia correction. *Current opinion in ophthalmology* 2013; 24 (4): 281-287.

52. Maus M., Fawzy N., Pei R. Retrospective analysis of femtosecond laser flap accuracy in patients having LASIK. *Journal of cataract and refractive surgery* 2014; 40 (12): 2158-2160.
53. McAlinden C., Moore J.E. Multifocal intraocular lens with a surface-embedded near section: Short-term clinical outcomes. *Journal of cataract and refractive surgery* 2011; 37 (3): 441-445.
54. McAlinden C., Pesudovs K., Moore J.E. The development of an instrument to measure quality of vision: the Quality of Vision (QoV) questionnaire. *Investigative ophthalmology & visual science* 2010; 51 (11): 5537-5545.
55. Montes-Mico R., Rodriguez-Galietero A., Alio J.L., Cervino A. Contrast sensitivity after LASIK flap creation with a femtosecond laser and a mechanical microkeratome. *Journal of refractive surgery* 2007; 23 (2): 188-192.
56. Moshirfar M., Gardiner J.P., Schliesser J.A., Espandar L., et al. Laser in situ keratomileusis flap complications using mechanical microkeratome versus femtosecond laser: retrospective comparison. *Journal of cataract and refractive surgery* 2010; 36 (11): 1925-1933.
57. Mulet M.E., Alio J.L., Knorz M.C. Hydrogel intracorneal inlays for the correction of hyperopia: outcomes and complications after 5 years of follow-up. *Ophthalmology* 2009; 116 (8): 1455-1460, 1460 e1451.
58. Muller L.J., Pels E., Vrensen G.F. The specific architecture of the anterior stroma accounts for maintenance of corneal curvature. *The British journal of ophthalmology* 2001; 85 (4): 437-443.
59. Munoz G., Albarran-Diego C., Ferrer-Blasco T., Garcia-Lazaro S., et al. Long-term comparison of corneal aberration changes after laser in situ keratomileusis: mechanical microkeratome versus femtosecond laser flap creation. *Journal of cataract and refractive surgery* 2010; 36 (11): 1934-1944.
60. Munoz G., Albarran-Diego C., Sakla H.F., Javaloy J., et al. Transient light-sensitivity syndrome after laser in situ keratomileusis with the femtosecond laser Incidence and prevention. *Journal of cataract and refractive surgery* 2006; 32 (12): 2075-2079.
61. Pajic B., Vastardis I., Pajic-Eggspuehler B., Gatziofufas Z., et al. Femtosecond laser versus mechanical microkeratome-assisted flap creation for LASIK: a prospective, randomized, paired-eye study. *Clinical ophthalmology* 2014; 8: 1883-1889.
62. Paschalis E.I., Aristeidou A.P., Foudoulakis N.C., Razis L.A. Corneal flap assessment with Rondo microkeratome in laser in situ keratomileusis. *Graefes' archive for clinical and experimental ophthalmology = Albrecht von Graefes Archiv fur klinische und experimentelle Ophthalmologie* 2011; 249 (2): 289-295.
63. Paschalis E.I., Labiris G., Aristeidou A.P., Foudoulakis N.C., et al. Laser in situ keratomileusis flap-thickness predictability with a pendular microkeratome. *Journal of cataract and refractive surgery* 2011; 37 (12): 2160-2166.
64. Patel S.V., Maguire L.J., McLaren J.W., Hodge D.O., et al. Femtosecond laser versus mechanical microkeratome for LASIK: a randomized controlled study. *Ophthalmology* 2007; 114 (8): 1482-1490.
65. Pinero D.P., Alio J.L., El Kady B., Coskunseven E., et al. Refractive and aberrometric outcomes of intracorneal ring segments for keratoconus: mechanical versus femtosecond-assisted procedures. *Ophthalmology* 2009; 116 (9): P. 1675-1687.
66. Price F.W., Jr., Price M.O. Femtosecond laser shaped penetrating keratoplasty: one-year results utilizing a top-hat configuration *American journal of ophthalmology* 2008; 145 (2): 210-214.
67. Price F.W., Jr., Price M.O., Grandin J.C., Kwon R. Deep anterior lamellar keratoplasty with femtosecond-laser zigzag incisions. *Journal of cataract and refractive surgery* 2009; 35 (5): 804-808.
68. Radner W., Mallinger R. Interlacing of collagen lamellae in the midstroma of the human cornea. *Cornea* 2002; 21 (6): 598-601.

69. Randleman J.B., Dawson D.G., Grossniklaus H.E., McCarey B.E., et al. Depth-dependent cohesive tensile strength in human donor corneas: implications for refractive surgery. *Journal of refractive surgery* 2008; 24 (1): S85-89.
70. Ratkay-Traub I., Ferincz I.E., Juhasz T., Kurtz R.M., et al. First clinical results with the femtosecond neodymium-glass laser in refractive surgery. *Journal of refractive surgery* 2003; 19 (2): 94-103.
71. Reinstein D.Z., Archer T.J., Gobbe M. Refractive and topographic errors in topography-guided ablation produced by epithelial compensation predicted by 3D Artemis VHF digital ultrasound stromal and epithelial thickness mapping. *Journal of refractive surgery* 2012; 28 (9): 657-663.
72. Rosa A.M., Neto Murta J., Quadrado M.J., Tavares C., et al. Femtosecond laser versus mechanical microkeratomes for flap creation in laser in situ keratomileusis and effect of postoperative measurement interval on estimated femtosecond flap thickness. *Journal of cataract and refractive surgery* 2009; 35 (5): 833-838.
73. Salomao M.Q., Ambrosio R., Jr., Wilson S.E. Dry eye associated with laser in situ keratomileusis: Mechanical microkeratome versus femtosecond laser. *Journal of cataract and refractive surgery* 2009; 35 (10): 1756-1760.
74. Salomao M.Q., Wilson S.E. Femtosecond laser in laser in situ keratomileusis. *Journal of cataract and refractive surgery* 2010; 36 (6): 1024-1032.
75. Santhiago M.R., Kara-Junior N., Waring G.O.t. Microkeratome versus femtosecond flaps: accuracy and complications. *Current opinion in ophthalmology* 2014; 25 (4): 270-274.
76. Santhiago M.R., Wilson S.E. Cellular effects after laser in situ keratomileusis flap formation with femtosecond lasers: a review. *Cornea* 2012; 31 (2): 198-205.
77. Sarayba M.A., Ignacio T.S., Binder P.S., Tran D.B. Comparative study of stromal bed quality by using mechanical, IntraLase femtosecond laser 15- and 30-kHz microkeratomes. *Cornea* 2007; 26 (4): 446-451.
78. Schlote T., Kynigopoulos M. [LASIK and Femto-LASIK]. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde* 2016; 233 (9): e29-e39
79. Sekundo W., Kunert K., Russmann C., Gille A., et al. First efficacy and safety study of femtosecond lenticule extraction for the correction of myopia: six-month results. *Journal of cataract and refractive surgery* 2008; 34 (9): 1513-1520.
80. Sekundo W., Kunert K.S., 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. *The British journal of ophthalmology* 2011; 95 (3): 335-339.
81. Seyeddain O., Hohensinn M., Riha W., Nix G., et al. Small-aperture corneal inlay for the correction of presbyopia: 3-year follow-up. *Journal of cataract and refractive surgery* 2012; 38 (1): 35-45.
82. Shousha M.A., Yoo S.H., Kymionis G.D., Ide T., et al. Long-term results of femtosecond laser-assisted sutureless anterior lamellar keratoplasty. *Ophthalmology* 2011; 118 (2): 315-323.
83. Soong H.K., Malta J.B. Femtosecond lasers in ophthalmology. *American journal of ophthalmology* 2009; 147 (2): 189-197 e182.
84. Spadea L., Fasciani R., Necozone S., Balestrazzi E. Role of the corneal epithelium in refractive changes following laser in situ keratomileusis for high myopia. *Journal of refractive surgery* 2000; 16 (2): 133-139.
85. Steinert R.F., Ignacio T.S., Sarayba M.A. "Top hat"-shaped penetrating keratoplasty using the femtosecond laser. *American journal of ophthalmology* 2007; 143 (4): 689-691.

86. Stern D., Schoenlein R.W., Puliafito C.A., Dobi E.T., et al. Corneal ablation by nanosecond, picosecond, and femtosecond lasers at 532 and 625 nm. *Archives of ophthalmology* 1989; 107 (4): 587-592.
87. Stonecipher K.G., Dishler J.G., Ignacio T.S., Binder P.S. Transient light sensitivity after femtosecond laser flap creation: clinical findings and management. *Journal of cataract and refractive surgery* 2006; 32 (1): 91-94.
88. Talamo J.H., Meltzer J., Gardner J. Reproducibility of flap thickness with IntraLase FS and Moria LSK-1 and M2 microkeratomes. *Journal of refractive surgery* 2006; 22 (6): 556-561.
89. Tanna M., Schallhorn S.C., Hettinger K.A. Femtosecond laser versus mechanical microkeratome: a retrospective comparison of visual outcomes at 3 months. *Journal of refractive surgery* 2009; 25 (7) Suppl.: S668-671.
90. Toda I., Asano-Kato N., Komai-Hori Y., Tsubota K. Dry eye after laser in situ keratomileusis. *American journal of ophthalmology* 2001; 132 (1): 1-7.
91. Tomita M., Huseynova T. Evaluating the short-term results of KAMRA inlay implantation using real-time optical coherence tomography-guided femtosecond laser technology. *Journal of refractive surgery* 2014; 30 (5): 326-329.
92. Tomita M., Kanamori T., Waring G.O.t., Yukawa S., et al. Simultaneous corneal inlay implantation and laser in situ keratomileusis for presbyopia in patients with hyperopia, myopia, or emmetropia: six-month results. *Journal of cataract and refractive surgery* 2012; 38 (3): 495-506.
93. Tran D.B., Sarayba M.A., Bor Z., Garufis C., et al. Randomized prospective clinical study comparing induced aberrations with IntraLase and Hansatome flap creation in fellow eyes: potential impact on wavefront-guided laser in situ keratomileusis. *Journal of cataract and refractive surgery* 2005; 31 (1): 97-105.
94. Utine C.A., Altunsoy M., Basar D. Visante anterior segment OCT in a patient with gas bubbles in the anterior chamber after femtosecond laser corneal flap formation. *International ophthalmology* 2010; 30 (1): 81-84.
95. Vestergaard A.H., Gronbech K.T., Grauslund J., Ivarsen A.R., et al. Subbasal nerve morphology, corneal sensation, and tear film evaluation after refractive femtosecond laser lenticule extraction. *Graefe's archive for clinical and experimental ophthalmology = Albrecht von Graefes Archiv fur klinische und experimentelle Ophthalmologie* 2013; 251 (11): 2591-2600.
96. Vetter J.M., Butsch C., Faust M., Schmidtman I., et al. Irregularity of the posterior corneal surface after curved interface femtosecond laser-assisted versus microkeratome-assisted descemet stripping automated endothelial keratoplasty. *Cornea* 2013; 32 (2): 118-124.
97. Waring G.O.t., Klyce S.D. Corneal inlays for the treatment of presbyopia. *International ophthalmology clinics* 2011; 51 (2): 51-62.
98. Wu E. Femtosecond-assisted astigmatic keratotomy. *International ophthalmology clinics* 2011; 51 (2): 77-85.
99. Xu Y., Yang Y. Dry eye after small incision lenticule extraction and LASIK for myopia. *Journal of refractive surgery* 2014; 30 (3): 186-190.
100. Yoo S.H., Kymionis G.D., Koreishi A., Ide T., et al. Femtosecond laser-assisted sutureless anterior lamellar keratoplasty. *Ophthalmology* 2008; 115 (8): 1303-1307, 1307 e1301.
101. Yu C.Q., Manche E.E. A comparison of LASIK flap thickness and morphology between the IntraLase 60- and 150-kHz femtosecond lasers. *Journal of refractive surgery* 2014; 30 (12): 827-830.
102. Zhang Y., Chen Y.G., Xia Y.J. Comparison of corneal flap morphology using AS-OCT in LASIK with the WaveLight FS200 femtosecond laser versus a mechanical microkeratome. *Journal of refractive surgery* 2013; 29 (5): 320-324.
103. Zheng Y., Zhou Y., Zhang J., Liu Q., et al. Comparison of laser in situ keratomileusis flaps created by 2 femtosecond lasers. *Cornea* 2015; 34 (3): 328-333.