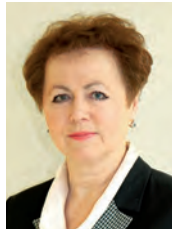


Влияние кераторефракционных вмешательств на биомеханические свойства роговицы. Обзор литературы



В.И. Зинченко



И.А. Мушкова



А.Н. Каримова

ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. академика С.Н. Федорова»
Министерства здравоохранения Российской Федерации
Бескудниковский бульвар, 59а, Москва, 127486, Российская Федерация

РЕЗЮМЕ

Офтальмология. 2026;23(2):242–250

Данная обзорная статья посвящена изучению изменения биомеханических свойств роговицы после проведения рефракционных операций. **Цель:** провести анализ литературы, содержащей информацию о влиянии основных методов лазерной коррекции зрения на биомеханические свойства роговой оболочки. **Материалы и методы.** Для написания обзорной статьи был выполнен поиск источников литературы по реферативным базам данных PubMed, Scopus и e-Library за период с 1992 по 2023 год включительно с использованием следующих ключевых слов: «аметропии», «кераторефракционная хирургия», «биомеханические характеристики роговой оболочки», «ametropia», «corneal biomechanical properties», «keratorefractive surgery», «LASIK», «FEMTO-LASIK», «SMILE», «CLEAR». **Результаты.** Исследования показывают, что развитие новых методов коррекции миопии с минимальным повреждением поверхностных слоев роговицы представляет перспективное направление в офтальмологии и обеспечивает более надежную защиту структурной целостности роговицы, что важно для профилактики послеоперационных осложнений. **Заключение.** Выбор рефракционного метода коррекции миопии должен учитывать изменение биомеханических свойств роговицы и демонстрировать наилучший профиль безопасности с точки зрения сохранения механической стабильности роговицы

Ключевые слова: кераторефракционная хирургия, лентинкула, биомеханические свойства роговицы, фемтосекундный лазер, вязкоэластические свойства, кератоэктазии

Для цитирования: Зинченко В.И., Мушкова И.А., Каримова А.Н. Влияние кераторефракционных вмешательств на биомеханические свойства роговицы. Обзор литературы. *Офтальмология*. 2026;23(2):242–250. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2026-2-242-250>

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

Конфликт интересов отсутствует.



Effects of Keratorefractive Surgery on Corneal Biomechanics: A Review of the Literature

V.I. Zinchenko, I.A. Mushkova, A.N. Karimova

S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution
Beskudnikovskiy Blvd, 59a, Moscow, 127486, Russian Federation

ABSTRACT

Ophthalmology in Russia. 2026;23(2):242–250

This review article focuses on studying changes in corneal biomechanical properties following refractive surgeries. **Objective:** to analyze the literature on the effects of major laser vision correction techniques on the biomechanical properties of the cornea. **Materials and Methods.** For this review, we conducted a literature search in the databases *PubMed*, *Scopus*, and *e-Library* from 1992 to 2023 using the following keywords: “ametropia”, “corneal biomechanical properties”, “keratorefractive surgery”, “LASIK”, “FEMTO-LASIK”, “SMILE”, “CLEAR”. **Results.** Studies indicate that the development of new myopia correction techniques with minimal damage to the superficial corneal layers represents a promising direction in ophthalmology. These methods provide better protection for corneal structural integrity, which is crucial for preventing postoperative complications. **Conclusion.** The choice of refractive method for myopia correction should account for changes in corneal biomechanical properties and demonstrate the best safety profile concerning the preservation of corneal mechanical stability.

Keywords: keratorefractive surgery, lenticule, corneal biomechanical properties, femtosecond laser, viscoelastic properties, keratectasia

For citation: Zinchenko V.I., Mushkova I.A., Karimova A.N. Effects of Keratorefractive Surgery on Corneal Biomechanics: A Review of the Literature. *Ophthalmology in Russia*. 2026;23(2):242–250. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2026-2-242-250>

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

There is no conflict of interests.

ВВЕДЕНИЕ

Врачи, ученые и международные организации, включая Всемирную организацию здравоохранения (ВОЗ), отмечают увеличение распространенности аметропий, в особенности миопии, и связанный с этим риск необратимой потери зрения. По прогнозам, к 2050 г. половина населения планеты может страдать миопией, а каждый пятый столкнется с риском необратимой потери зрения без соответствующей коррекции [1].

Кераторефракционная хирургия занимает важное место в современной медицине, поскольку аметропиями, включая миопию, гиперметропию и астигматизм, страдают миллионы людей по всему миру. Эти нарушения существенно снижают качество жизни и работоспособность [2].

Биомеханические характеристики роговицы играют ключевую роль в работе оптической системы глаза. Эти свойства обеспечивают корректную дифракцию света и защиту от внешних факторов. Известно, что осевое удлинение глаза при миопии связано с определенными структурными и биомеханическими изменениями глаза. Кераторефракционные вмешательства существенно нарушают биомеханику роговицы, что вносит погрешность в измерения ВГД различными методами [3, 4].

За последние годы рефракционная хирургия совершила существенный прорыв благодаря внедрению инновационных методик и постоянному технологическому совершенствованию. Главной целью этих достижений является повышение качества зрения и уровня удовлетворенности пациентов результатами операций.

Данная статья представляет собой обзор научных работ, исследующих изменения биомеханических свойств роговицы после проведения рефракционных операций.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ЛАЗЕРНОЙ КОРРЕКЦИИ ЗРЕНИЯ

Последние годы ознаменовались значительным прогрессом в рефракционной хирургии благодаря углубленному изучению биомеханики глаза и принципов зрительной оптики. Это позволило разработать более точные и эффективные методы лечения, значительно улучшающие зрительные функции пациентов [5]. Такие классические методики, как лазерный кератомилез *in situ* (Laser-Assisted in Situ Keratomileusis, LASIK), субэпителиальный кератомилез с использованием лазера (Laser-assisted Subepithelial Keratomileusis, LASEK) и фоторефракционная кератэктомия (ФРК), подверглись существенному совершенствованию, а также появился инновационный метод удаления лентикулы через малый разрез роговицы (Small Incision Lenticule Extraction, SMILE). Эти технологические прорывы позволили расширить спектр корректируемых зрительных нарушений и обеспечили более высокий уровень безопасности процедур с более прогнозируемыми результатами. Такие технологии, как LASIK с волновым фронтом и ФРК с топографическим управлением, позволяют разрабатывать индивидуальные планы лечения, соответствующие уникальным характеристикам роговицы и рефракции каждого пациента [6].

ФРК — лазерная методика коррекции зрения, которая не требует формирования поверхностного лоскута

V.I. Zinchenko, I.A. Mushkova, A.N. Karimova

Contact information: Zinchenko Valeria I. zin4enko.lera@mail.ru

Effects of Keratorefractive Surgery on Corneal Biomechanics: A Review of the Literature

роговицы. При этой процедуре воздействие эксимерного лазера направлено на поверхностные слои роговицы, что позволяет максимально бережно и экономно удалять ткани в стромальной зоне, которая отвечает за прочность роговицы. У ФРК есть несколько важных преимуществ: техническая простота выполнения; отсутствие видимых следов хирургического вмешательства; высокий уровень безопасности, который подтверждается отсутствием случаев возникновения кератэктазии в отдаленном послеоперационном периоде. Такая технология особенно эффективна для пациентов с тонкой роговицей, когда другие методы лазерной коррекции могут быть противопоказаны [7].

Появление технологии LASIK с фемтосекундным сопровождением (FS-LASIK) стало важным этапом развития данной технологии. Ключевое отличие этой методики от LASIK заключается в использовании фемтосекундного лазера (ФСЛ) вместо механического микрокератома для формирования роговичного лоскута. Применение лазерного оборудования обеспечивает беспрецедентную точность при определении размеров и толщины лоскута. Это существенно улучшает качество зрения после операции и минимизирует риск возможных осложнений.

В своем исследовании S.A. Rattan и соавт. проводили сравнение результатов LASIK с фемтосекундным сопровождением и с применением микрокератома Morgia SBK после коррекции миопии и миопического астигматизма ($n = 100$) [8]. Через три месяца после операции проводилось измерение толщины лоскута с помощью оптической когерентной томографии (ОКТ). Результаты показали существенные различия между методами: при FS-LASIK средняя толщина центрального участка составила $91,35 \pm 1,54$ мкм с высокой точностью соответствия запланированной толщине; в группе с микрокератомом средняя толщина достигла $102,18 \pm 2,04$ мкм, при этом наблюдалось значительное отклонение от целевой толщины и неравномерность по всей площади лоскута. Авторы сделали вывод, что ФСЛ обеспечивает более предсказуемый и равномерный результат при формировании роговичного лоскута во время операции LASIK.

Метод SMILE представляет собой инновационную хирургическую технику, при которой с помощью фемтосекундного лазера формируют в роговице небольшой надрез, через который удаляют лентиккулу. Благодаря минимальному вмешательству в структуру глаза эта процедура эффективнее сохраняет естественную биомеханику роговицы по сравнению с классическим методом LASIK [9].

Метод лентиккулярного кератомилеза с гладким разрезом (Small Incision Lenticule Keratomileusis, SILK) представляет собой инновационное развитие в области лазерной коррекции зрения, который объединяет преимущества методов SMILE и LASIK. Этот гибридный метод позволяет сочетать преимущества малоинвазивного вмешательства, характерного для SMILE, с точной персонализированной коррекцией, аналогичной методу

LASIK с волновым фронтом. Благодаря такому сочетанию технологий процедура обеспечивает максимальную точность при минимальной травматичности [10].

Несмотря на растущую популярность SMILE как альтернативы LASIK, вопрос о его превосходстве остается открытым. Исследования не дают однозначного ответа о преимуществах SMILE с точки зрения клинической эффективности и влияния на биомеханику роговицы, независимо от метода выполнения LASIK (с помощью ФСЛ или микрокератома). Важно отметить, что процесс восстановления после SMILE обычно занимает больше времени по сравнению с LASIK. При этом предположение о лучшем сохранении биомеханики роговицы при SMILE не имеет окончательного подтверждения. Важно подчеркнуть, что остаточное стромальное ложе при SMILE обычно тоньше, чем при LASIK, что вызывает определенные опасения относительно долгосрочной стабильности роговицы. Следовательно, выбор оптимальной методики должен базироваться на индивидуальных особенностях пациента, включая толщину роговицы, степень рефракционной ошибки и специфические зрительные потребности, а не на предположении о превосходстве одной технологии над другой.

Исследование, посвященное сравнению FS-LASIK и SMILE у пациентов с миопией [11], показало, что через месяц после операции в обоих случаях произошло снижение чувствительности роговицы. Однако при SMILE частота и выраженность этого эффекта были существенно ниже ($p < 0,05$), чем при FS-LASIK. Что касается синдрома сухого глаза (ССГ), то здесь также наблюдалось более значительное влияние FS-LASIK на состояние глазной поверхности по сравнению с SMILE ($p < 0,05$). Хотя через шесть месяцев разница в чувствительности роговицы между группами перестала быть статистически значимой ($p > 0,05$), первоначальные данные указывали на более высокий риск нарушений чувствительности после FS-LASIK. Исследование показало, что метод SMILE оказывает меньшее воздействие на состояние роговицы и слезной пленки по сравнению с FS-LASIK.

Внедрение передовых диагностических технологий, включая ОКТ и визуализацию с помощью Шаймпфлюг-камеры, значительно повысило точность рефракционной хирургии. Эти современные методы визуализации позволяют создавать детальные карты роговичной и других глазных структур, что существенно улучшает качество предоперационной оценки и планирования хирургического вмешательства. Дополнительным преимуществом является возможность раннего выявления потенциальных осложнений, что обеспечивает своевременную коррекцию и достижение оптимальных результатов лечения.

Особое значение приобрели передовые диагностические технологии, включая эпителиальное картирование и систему Corvis ST. Эти инструменты играют ключевую роль в своевременном выявлении и терапии заболеваний

роговицы, особенно при необходимости дифференцировать начальные стадии кератоконуса от простого искривления роговицы.

Эпителиальное картирование позволяет получать детальную информацию о толщине эпителиального слоя по всей поверхности роговицы. Это особенно важно для обнаружения минимальных изменений, характерных для ранней стадии кератоконуса. Корректная диагностика имеет решающее значение, так как подходы к лечению кератоконуса существенно отличаются от терапии искривления роговицы, часто возникающего при ношении контактных линз. Система Corvis ST предоставляет ценную информацию о биомеханических свойствах роговицы, в частности, о ее способности выдерживать лазерную абляцию при рефракционной хирургии. Анализируя реакцию роговицы на подаваемый воздушный импульс, Corvis ST помогает прогнозировать ее поведение после операции и минимизировать риск эктазии. Комбинация этих диагностических инструментов значительно повышает точность постановки диагноза и позволяет разрабатывать более безопасные и эффективные планы лечения [12].

S.A. Rattan и соавт. изучали особенности эпителиального слоя у трех групп пациентов, которым планировали рефракционную операцию ($n = 120$): с ССГ, с подозрением на кератоконус и без патологии роговицы [13]. Анализ данных показал характерные различия в толщине эпителия: у пациентов с ССГ эпителий был заметно утолщен относительно здоровых пациентов в нижней части роговицы, а при подозрении на кератоконус эпителий был значительно тоньше группы контроля. Особое внимание привлекло смещение самой тонкой области эпителия на карте, что может служить потенциальным ранним признаком развития кератоконуса. Хотя результаты исследования открывают перспективы для ранней диагностики кератоконуса, для подтверждения этой гипотезы требуются дополнительные долгосрочные исследования.

МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ БИОМЕХАНИКИ РОГОВОЙ ОБОЛОЧКИ

Биомеханика — наука, изучающая механические процессы и принципы применительно к живым системам. С точки зрения механики глаз — это замкнутая упруго-напряженная система, состоящая из корнеосклеральной оболочки снаружи и несжимаемой жидкости внутри, на которую постоянно воздействуют различные силы: внутриглазное давление (ВГД), работа глазодвигательных мышц, движение век, трение и др.

Роговица является уникальным биоматериалом с вязкоупругими свойствами и сложной биомеханической структурой, которая медленно изменяет свои характеристики при постоянном воздействии. Биомеханические свойства роговицы влияют на внутриглазное давление (ВГД) и центральную толщину роговицы, являются важными факторами риска развития глаукомы, зачастую

предшествуют морфологическим изменениям при развитии различных кератэктазий. Локальное снижение биомеханических свойств роговицы запускает процесс развития кератоконуса (КК), так как ригидность роговицы претерпевает изменения прежде, чем появятся клинически значимые искривления и истончения [14, 15]. Важна также оценка вязкоэластических свойств после проведенного лечения с целью выбора наилучшего метода. Например, кросслинкинг роговичного коллагена увеличивает жесткость роговицы [16]. Существует мнение, что возможно сочетание профилактического кросслинкинга и трансэпителиальной фоторефракционной кератэктомии (ФРК) при коррекции миопии для профилактики ятрогенных кератэктазий [17].

Следовательно, изучение биомеханических свойств роговицы помогает решить ряд медицинских задач: диагностику и контроль кератэктазий, подбор оптимальных параметров для операций по изменению кривизны роговицы, правильную интерпретацию показателей внутриглазного давления для диагностики и контроля глаукомы [18].

В соответствии с этим важным этапом дооперационной диагностики перед рефракционной операцией является оценка морфологии и биомеханики роговой оболочки [19]. Морфология роговицы оценивается путем измерения ее формы, кривизны, толщины, высоты передней и задней поверхностей с помощью щелевой лампы, пахиметрии, оптической когерентной томографии переднего сегмента (ОКТ-ПС), топографа на основе диска Пласидо и томографа переднего сегмента на основе анализатора Шаймпфлюга [19].

Оценка биомеханики роговицы позволяет регистрировать процессы ее деформации при аппланации и получать механические параметры роговицы. Безусловно, наиболее информативные сведения о биомеханическом статусе роговицы могут быть получены только в условиях живого глаза. Одним из первых методов, применяемых в клинической работе, является эластотонометрия по Филатову — Кальфа. В настоящее время биомеханику роговицы оценивают при помощи анализатора реакции глаза (ORA) (Reichert Ophthalmic Instruments; Буффало, Нью-Йорк, США). Комбинированные исследования регистрируют как морфологические, так и биомеханические параметры роговицы. К такому методу относится технология визуализации роговицы при помощи динамического анализатора Шаймпфлюга на приборе Corvis ST (Oculus; Optikgeräte GmbH, Вецлар, Германия) [19].

С целью профилактики развития деформаций роговой оболочки и кератэктазий проводится измерение биомеханических свойств роговой оболочки *in vivo* как до, так и после рефракционных операций. Для этого в современной клинической практике существует два основных прибора: ORA и Corvis ST. Принцип работы обоих устройств схож — они анализируют реакцию роговицы на воздействие кратковременного воздушного

импульса. По тому, как роговица реагирует на это воздействие, приборы косвенно оценивают ее биомеханические характеристики [20].

Эластотонометрия по Филатову — Кальфа основана на построении эластотонометрических кривых при последовательном измерении тонометром Маклакова разной массы (5; 7,5; 10 и 15 г). Наклон эластокривой и коэффициент ригидности глаза тесно коррелируют, однако отмечено, что погрешность колеблется от 20 до 100 % и зависит от параметров роговицы и склеры [21], от изменения кровенаполнения внутриглазных сосудов, от объема глаза и от исходного уровня ВГД [22].

Анализатор ORA применяется для оценки биомеханических характеристик роговицы с использованием динамического двунаправленного процесса аппланации [23]. На основе ряда исследований была создана база данных нормальных значений биомеханических свойств здоровой роговицы, полученных с помощью ORA [23]. Прибор измеряет биомеханические характеристики роговицы, которые отражают ее вязкость и упругость: корнеальный гистерезис (КГ) и фактор резистентности роговицы (ФРР), эквивалентное внутриглазное давление Гольдмана (IOPg) и компенсированное внутриглазное давление роговицы (IOPcc) [24]. Однако с точки зрения биомеханики на измеряемые с помощью ORA параметры роговицы влияют биомеханические свойства склеры и других внутриглазных структур.

Динамический анализатор Шаймпфлюга (Corvis ST) также показал себя полезным инструментом для оценки биомеханических свойств роговицы. Благодаря сверхскоростной камере анализатор обеспечивает прямую визуализацию движения роговицы при воздействии на нее быстрой струи воздуха. Это позволяет измерять различные биомеханические параметры роговицы во время ее деформации под влиянием воздушной струи.

Анализатор регистрирует толщину роговицы (CCT), ВГД с учетом биомеханических свойств (bIOP) и такие биомеханические свойства, как время аппланации (AT), длина аппланации (AL), амплитуда деформации (Deformation Amplitude, DA), длина прогиба (Peak Distance, PD), индекс напряжения-деформации (Stress-Strain Index, SSI), обратное значение вписанного радиуса кривизны роговицы (Inverse Concave Radius или ICR). После обновления программного обеспечения Corvis ST (версия 1.5r1902) были добавлены новые параметры: отношение величины в апексе и на расстоянии 2 мм (DA Ratio 2), относительная толщина роговицы по Амброзио (Ambrosio Relational Thickness, ARTh), интегрированный радиус (Integrated Radius, IR), биомеханический индекс Corvis (CBI), параметр жесткости (Stiffness Parameter, SP-A1). Возможно дополнительное использование программного обеспечения Biomechanical / Tomographic Assessment (ARV), позволяющего сочетать данные Pentacam и Corvis ST, что привело к появлению индекса TBI (Tomographic Biomechanical Index), кото-

рый дает оценку, учитывая кератотопографические и биомеханические параметры роговицы. Исследования с применением Corvis ST продемонстрировали высокую эффективность новых параметров для диагностики кератоконуса (КК) [25, 26].

Объединение информации о биомеханических характеристиках роговицы с данными топографии и томографии роговицы в алгоритмах искусственного интеллекта повышает точность выявления кератэктазии и оценки эффективности кераторефракционных и кератостабилизирующих операций. Результаты исследований с использованием Pentacam HR и Corvis ST были проанализированы и интегрированы с помощью различных методов искусственного интеллекта, среди которых наиболее эффективным оказалось сочетание «random forest» и «leave-one-out кросс-валидация». Точное прогнозирование и обнаружение эктазии осуществляется путем сравнения полученных результатов с индексами отклонения Belin-Ambrosio (Belin-Ambrosio Deviation, BAD) и CBI, а применение индекса TBI обеспечивает более высокую точность выявления кератэктазии по сравнению с другими методами [14].

В работе Y. Wu было показано, что такие биомеханические параметры роговицы, как HC DfL, HC DfA и PD, в группе КК были больше, чем в контрольной, в то время как центральный радиус кривизны роговицы в группе КК, напротив, был меньше [20]. Эти результаты показали, что механическая прочность роговицы ослаблена при КК, что приводит к увеличению амплитуды DA при той же внешней силе.

Биомеханический индекс CBI показал высокую эффективность в выявлении кератоконуса средней и тяжелой степени (со средним максимальным значением $K = 55,53 \pm 9,24 D$). Примечательно, что у пациентов с односторонним КК наблюдались нормальные показатели топографии в здоровом глазу, однако индекс CBI отклонялся от нормы. Это подтверждает возможность использования биомеханического анализа роговицы для раннего выявления заболевания еще до появления морфологических изменений. Дальнейшие исследования подтвердили высокую диагностическую ценность CBI: его чувствительность составила 90,3 %, специфичность — 91,7 % [27].

Индекс TBI, который объединяет данные топографии и биомеханики роговицы, показал чувствительность 90,4 % и специфичность 96,0 %. Этот комплексный показатель особенно ценен для выявления предрасположенности к эктазии, что делает его незаменимым инструментом в предоперационной диагностике. В ряде клинических работ TBI показал высокую диагностическую точность при определении малейших изменений биомеханических свойств роговой оболочки [28, 29].

Еще один показатель, характеризующий биомеханические свойства роговицы, — SP-A1. Его значение определяется путем измерения отношения ВГД к смещению

центральной части роговицы в момент аппланации. Этот параметр особенно ценен при диагностике начальной стадии КК, поскольку способен выявлять даже незначительные биомеханические изменения в роговице [30]. Коэффициент DA Ratio показывает степень жесткости роговицы: чем она жестче, тем меньше деформация и больше единообразие значений «апекс-зона 2 мм». Увеличение данного показателя говорит о снижении степени жесткости роговицы, а увеличение показателя ICR указывает на снижение прочности роговицы [14]. У пациентов с КК отмечается увеличение индекса BAD-D. Если значение превышает 1,6, это может указывать на возможное развитие эктатического процесса, а значение 3,0 и выше подтверждает наличие эктазии [14].

Снижение медианных значений ключевых показателей жесткости роговицы — SP-A1 и SSI — приводит к значительному увеличению индексов CBI и TBI. Если CBI составляет менее 0,25, это указывает на низкий риск развития эктазии, от 0,25 до 0,5 — на умеренный риск, а выше 0,5 — на высокий риск эктазии.

Согласно анализу кривой ДеЛонга, параметры DA Ratio 2, Integrated Radius и SP-A1 имели более высокую диагностическую эффективность, чем ARTh и CBI [20]. Напротив, P. Kataria и соавт. обнаружили, что индекс CBI при диагностике КК был более эффективен, чем SP-A1 [26]. M.R. Sedaghat и соавт. также выявили диагностическое превосходство индекса CBI над другими биомеханическими параметрами роговицы.

НАРУШЕНИЯ БИОМЕХАНИКИ РОГОВИЦЫ, ВЫЗВАННЫЕ РЕФРАКЦИОННОЙ ХИРУРГИЕЙ

Последние достижения в области изучения биомеханических свойств роговицы и их изменений после хирургических вмешательств значительно улучшили безопасность и результаты рефракционной хирургии роговицы. Однако ятрогенная кератэктазия, возникающая в результате ухудшения биомеханики роговицы после операций, остается серьезной проблемой [4, 31].

Нарушение вязкоэластических свойств роговицы после кераторефракционных операций возникает вследствие разреза стромы и эксимерлазерной абляции. Это приводит к изменению ответа ткани на постоянно возникающие нагрузки [32], вследствие чего дневные перепады ВГД могут приводить к колебаниям рефракции более чем в 1 диоптрию и появлению аберраций [33]. Установлено, что радиальная кератотомия существенно снижает прочность роговицы. К тому же выявлено, что послеоперационное снижение значений КГ и ФРП происходит у всех пациентов независимо от метода операции [34].

При коррекции миопии высокой степени риск регресса в 3 раза выше, чем при миопии слабой и средней степени [35]. Регресс рефракционного результата в немалой степени зависит от удлинения оси глазного яблока, синдрома сухого глаза или нарушения аккомодации, однако проведенное исследование показывает,

что большое значение имеют параметры роговицы [36]. После эксимерлазерной коррекции зрения миопии и миопического астигматизма жесткость и эластичность роговицы уменьшаются: значение показателя SP-A1 снижается, как и значение показателя ВГД, что связано с уменьшением толщины роговицы [37].

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ РЕФРАКЦИОННЫХ ОПЕРАЦИЙ НА БИОМЕХАНИКУ РОГОВОЙ ОБОЛОЧКИ

Считается, что методика ФРК в меньшей мере влияет на состояние биомеханических свойств роговицы из-за отсутствия поверхностного клапана. Ю.В. Кутузова и соавт. в своей работе [7] показали, что после проведения лазерной коррекции зрения методом ФРК (через 1 месяц) большинство показателей биомеханики роговицы остаются статистически неизменными ($p > 0,05$). Значимые изменения обнаружены только в двух параметрах: уменьшился обратный вписанный радиус роговицы ($с 7,02 \pm 0,70$ до $5,95 \pm 0,79$ мм), что свидетельствовало об увеличении степени прогиба роговицы после хирургического вмешательства; уменьшилась центральная толщина роговицы, которая осталась в безопасных пределах (более 300 мкм), что соответствует запланированным показателям операции.

ФРК позволяет максимально сохранить естественные биомеханические свойства роговицы. Это особенно важно в долгосрочной перспективе, так как обеспечивает стабильность достигнутого результата коррекции и низкий риск развития вторичной кератэктазии. Именно благодаря этим преимуществам ФРК до сих пор остается предпочтительным методом коррекции для определенных категорий пациентов.

В литературе показано, что операция LASIK, в том числе с применением ФСЛ, приводит к значительным изменениям в биомеханике роговой оболочки по причине большой площади разреза при формировании лоскута. Было показано, что FS-LASIK оказывает меньшее воздействие на напряженно-деформированное состояние роговицы по сравнению с обычным LASIK, обладает повышенной биомеханической стабильностью роговичного лоскута и допускает использование более широкой оптической и переходной зон [38].

В исследовании С.М. Пикусовой и соавт. проводили оценку биомеханических свойств роговицы при коррекции гиперметропии методом FS-LASIK с помощью эластотонометрии [39]. Математическое моделирование показало, что после FS-LASIK жесткость роговицы снижается, но увеличение эластоподъема несущественно, таким образом, зависимость тонометрического ВГД от массы груза почти линейна.

Э.В. Бойко и соавт. [40] изучили биомеханические свойства роговицы пациентов с миопией до и после проведения FS-LASIK, измеряя следующие показатели на приборе Corvis ST: bIOP, IOP0, DA, DA Ratio, ICR, CCT, SP-A1, PD5, индекс CBI. У всех пациентов после

операции наблюдались статистически достоверные изменения таких показателей, как IOP0 (снижение), DA Ratio (увеличение), ICR (увеличение), CCT (снижение), SP-A1 (снижение) и PD (увеличение), что свидетельствовало о снижении жесткости роговицы после FS-LASIK.

Операция SMILE приводит к увеличению эквивалентного напряжения и деформации как задней, так и передней поверхности роговой оболочки [41]. Изменению подвержены все биомеханические параметры. В частности, отмечается снижение времени второй аппланации, уменьшение показателей SP-A1, CCT, bIOP [42], причем на более тонкой роговице такие изменения были менее выражены. После операции более низкий показатель CCT коррелировал с меньшим изменением времени второй аппланации и меньшим изменением показателя SP-A1, а меньшее изменение показателя bIOP коррелировало с более высоким индексом остаточной стромальной толщины роговицы и более высоким показателем CCT.

В работе Б.Н. Давыденко биомеханические свойства роговицы после хирургической коррекции миопии по методике ReLEx SMILE были изучены на приборе Corvis ST, который показал статистически значимое изменение следующих показателей: ВГД, CCT, ICR, DA ratio, PD и SP-A1 [43].

СРАВНЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РОГОВОЙ ОБОЛОЧКИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ РАЗЛИЧНЫХ КЕРАТОРЕФРАКЦИОННЫХ ОПЕРАЦИЙ

Биомеханические свойства роговицы после операции LASIK изменяются в более значительной степени, чем после ФПК. Оба метода воздействуют на биомеханическую прочность роговицы в зависимости от величины коррекции миопии. С точки зрения биомеханики ФПК является менее инвазивным подходом для коррекции миопии, чем LASIK.

Технология SMILE обеспечивает намного более хорошие послеоперационные показатели биомеханики роговицы в сравнении с FS-LASIK. Это может быть связано с отсутствием роговичного лоскута и минимальным повреждением поверхностных слоев, где прочность роговицы максимальна [44, 45].

SMILE — инновационная форма кераторефракционной хирургии. Фемтосекундный лазер создает интрастромальную линтикулу в стромальном слое роговицы, которую затем механически удаляют через боковой разрез размером всего 2–3 мм. При данной методике сохраняется большая часть передней стромы по сравнению с операциями на основе формирования лоскута, благодаря этому теоретически достигается лучшее сохранение биомеханических свойств роговицы [46].

Изменение гистерезиса, фактора сопротивления роговицы, а также показателей BRI, CSD, bIOP, IR, SP-A1 и CBI после операции SMILE не такое значительное, как после LASIK [47].

Обзор исследований, проведенный I.B. Damgaard и соавт., также показал, что метод SMILE имеет преимущества в сохранении биомеханики роговицы по сравнению с LASIK. Теоретические расчеты с использованием математического моделирования и метода конечных элементов продемонстрировали лучшее сохранение свойств роговицы после SMILE. Измерение биомеханики с помощью современных диагностических приборов ORA и Corvis ST подтвердило, что SMILE либо не уступает, либо превосходит LASIK по показателям биомеханической прочности роговицы после операции. Таким образом, SMILE обеспечивает более надежную защиту структурной целостности роговицы, что важно для профилактики послеоперационных осложнений.

Последующий сравнительный анализ биомеханики роговицы после ФПК, FS-LASIK и SMILE показал, что все три операции приводят к снижению общей жесткости роговицы [48]. Более высокие степени рефракционной коррекции привели к большей общей потере жесткости на основе большинства биомеханических показателей. По данным измерений при помощи Corvis ST отмечается снижение SP-A1 и увеличение IIR, DA и DA Ratio ($p < 0,05$) после всех трех вмешательств. Однако наименьшее общее снижение жесткости роговицы отмечается после ФПК, а наибольшее — после FS-LASIK.

Сравнение таких методов, как LASEK, FS-LASIK и SMILE, показало, что существенной разницы в средних значениях амплитуды деформации и времени аппланации, измеренных при помощи Corvis ST, обнаружено не было. А такие операции, как LASIK, ReLEx FLEX и ReLEx SMILE, в равной степени приводят к значительному изменению показателей CH и CRF, измеренных при помощи Corvis ST и ORA, а следовательно, к снижению биомеханики роговицы [49].

Сравнительный анализ основных рефракционных вмешательств (SMILE, FLEX, LASIK, LASEK, ФПК), проведенный H. Guo и соавт., выявил наличие изменений показателей КГ и ФРР, измеренных с помощью ORA, после всех операций [3]. Однако SMILE продемонстрировал лучшие результаты по сохранению биомеханической прочности роговицы, опередив как FS-LASIK, так и LASIK. При этом метод оказался сопоставимым с FLEX и ФПК.

Операция CLEAR в меньшей степени влияет на биомеханические параметры роговицы, чем FS-LASIK. А.Д. Чупров и соавт. показали, что темп восстановления таких показателей, как AL, AV, IOPnc, CCT, SP-A1, Peak Distance, Radius, DA Ratio и CBI, после операции CLEAR достоверно выше, что может говорить о более щадящем воздействии данной операции на ткани роговицы [50].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные достижения в области рефракционной хирургии демонстрируют впечатляющий прогресс как в технологических инновациях, так и в методах ухода за пациентами. Развитие этой области создает надежную платформу для дальнейших исследований и клинической

практики, направленных на улучшение зрительных результатов и общего качества жизни пациентов после хирургического вмешательства. Чтобы добиться положительных результатов в рефракционной хирургии, необходимо уметь оценивать структурные изменения роговицы при воздействии различных вмешательств.

Биомеханическая оценка *in vivo* с использованием таких клинических систем визуализации, как ORA и Corvis ST, улучшила оценку риска ятрогенной кератэктазии, хотя эти системы анализируют общую жесткость роговицы, а не ее внутренние свойства. Были внедрены новые хирургические методы, такие как SMILE, при которых лучше сохраняется жесткость и биомеханика роговой оболочки по сравнению с LASIK. В литературе также приводятся доказательства того, что ФРК обеспечивает лучшую сохранность биомеханики роговицы

по сравнению с LASIK и SMILE. Однако при сравнении наиболее современных методов операция SMILE продемонстрировала наилучший профиль безопасности с точки зрения сохранения механической стабильности роговицы.

Снижение «каркасных» свойств после FS-LASIK говорит о том, что это необходимо учитывать при проведении хирургического вмешательства, а также при выборе метода рефракционной коррекции у пациентов с миопией.

УЧАСТИЕ АВТОРОВ:

Зинченко В.И. — существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, написание текста;
Мушкова И.А. — существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, написание текста, редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации;
Каримова А.Н. — окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Dahlmann-Noor A, Noor H. Let's Talk About Myopia: Literature Review and Stakeholder Survey to Develop a Roadmap for Advocacy. *J Patient Exp.* 2025 Mar 2;12:23743735251323355. doi: 10.1177/23743735251323355.
- Ang M, Gatineau D, Reinstein DZ, Mertens E, Alió JL. Refractive surgery beyond 2020. *Eye.* 2021;35(2):362–382. doi: 10.1038/s41433-020-1096-5.
- Guo H, Hosseini-Moghaddam SM, Hodge W. Corneal biomechanical properties after SMILE versus FLEX, LASIK, LASEK, or PRK: a systematic review and meta-analysis. *BMC Ophthalmol.* 2019 Aug 1;19(1):167. doi: 10.1186/s12886-019-1165-3.
- Bao F, Lopes BT, Zheng X, Ji Y, Wang J, Elsheikh A. Corneal Biomechanics Losses Caused by Refractive Surgery. *Curr Eye Res.* 2023 Feb;48(2):137–143. doi: 10.1080/02713683.2022.2103569.
- Rajabpour M, Kangari H, Pesudovs K, et al. Refractive error and vision related quality of life. *BMC Ophthalmol.* 2024;24(1):83. doi: 10.1186/s12886-024-03350-8.
- Li SM, Kang MT, Wang NL, Abariga SA. Wavefront excimer laser refractive surgery for adults with refractive errors. *Cochrane Database Syst Rev.* 2020;12(12):CD012687. doi: 10.1002/14651858.CD012687.pub2.
- Кутузова ЮВ, Шишкин СА, Дутчин ИВ, Сорокин ЕД. Анализ изменения биомеханических свойств роговицы на приборе CORVIS ST (Oculus, Германия) у пациентов с миопией и миопическим астигматизмом после операции ФРК. *Современные технологии в офтальмологии.* 2021;5(40):143–147. Kutuzova YuV, Shishkin SA, Dutchin IV, Sorokin EL. Analysis of changes in biomechanical properties of the cornea on the CORVIS ST device (Oculus, Germany) in patients with myopia and myopic astigmatism after PRK surgery. *Modern technologies in ophthalmology.* 2021;5(40):143–147 (In Russ.). doi: 10.25276/2312-4911-2021-5-143-147.
- Rattan SA, Rashid RF, Mutashar MK, Nasser YAR, Anwar DS. Comparison of corneal flap thickness predictability and architecture between femtosecond laser and sub-Bowman keratomileusis microkeratome in situ keratomileusis. *Int Ophthalmol.* 2023;43(5):1553–1558. doi: 10.1007/s10792-022-02551-8.
- Han T, Zhao L, Shen Y. Twelve-year global publications on small incision lenticule extraction: a bibliometric analysis. *Front Med.* 2022;9:990657. doi: 10.3389/fmed.2022.990657.
- Sachdev MS, Shetty R, Khamar P. Safety and effectiveness of smooth incision lenticular keratomileusis (SILK™) using the ELITA™ femtosecond laser system for correction of myopic and astigmatic refractive errors [published correction appears in *Clin Ophthalmol.* 2024;18:1287–1288. *Clin Ophthalmol.*]. 2023;17(17):3761–3773. doi: 10.2147/OPTH.S432459.
- Mohammad NK, Rattan S, Al Wassiti ASA, Al-Attar Z. Femtosecond small incision lenticular extraction in comparison to femtosecond laser in situ keratomileusis regarding dry eye disease. *Open Access Macedonian. J Med Sci.* 2022;10(Б):668–673. doi: 10.3889/oamjms.2022.8040.
- Kenia VP, Kenia RV, Maru S, Pirdankar OH. Role of corneal epithelial mapping, Corvis biomechanical index, and artificial intelligence-based tomographic biomechanical index in diagnosing spectrum of keratoconus. *Oman J Ophthalmol.* 2023;16(2):276–280. doi: 10.4103/ojo.ojo_336_22.
- Rattan SA, Anwar DS. Comparison of corneal epithelial thickness profile in dry eye patients, keratoconus suspect, and healthy eyes. *Eur J Ophthalmol.* 2020;30(6):1506–1511. doi: 10.1177/1120672120952034.
- Малюгин БЭ, Солодкова ЕГ, Балалин СВ, Куликов ВС, Лобанов ЕВ. Оценка изменения биомеханических свойств роговицы при кератэктазиях. *Современные технологии в офтальмологии.* 2021;5(40):179–187. Maluygin BE, Solodkova EG, Balalin SV, Kulikov VS, Lobanov EV. Evaluation of changes in biomechanical properties of the cornea in keratectasia. *Modern technologies in ophthalmology.* 2021;5(40):179–187 (In Russ.). doi: 10.25276/2312-4911-2021-5-179-187.
- Vinciguerra R, Ambrósio R Jr, Roberts CJ, Azzolini C, Vinciguerra P. Biomechanical Characterization of Subclinical Keratoconus Without Topographic or Tomographic Abnormalities. *Journal of Refractive Surgery.* 2017;33(6):399–407. doi: 10.3928/1081597X-20170213-01.
- Hashemi H, Ambrósio R Jr, Vinciguerra R, Vinciguerra P, Roberts CJ, Ghafari R, Agha S. Two-year changes in corneal stiffness parameters after accelerated corneal cross-linking. *J Biomech.* 2019 Aug 27;93:209–212. doi: 10.1016/j.jbiomech.2019.06.011.
- Lee H, Roberts CJ, Ambrósio R Jr, Elsheikh A, Kang DSY, Kim TI. Effect of accelerated corneal cross-linking combined with transepithelial photorefractive keratectomy on dynamic corneal response parameters and biomechanically corrected intraocular pressure measured with a dynamic Scheimpflug analyzer in healthy myopic. *Journal of Cataract & Refractive Surgery.* 2017 Jul;43(7):937–945.
- Аветисов СЭ, Бубнова ИА, Антонов АА. Биомеханические свойства роговицы: клиническое значение, методы исследования, возможности систематизации подходов к изучению. *Вестник офтальмологии.* 2010;126(6):3–7. Avetisov SE, Bubnova IA, Antonov AA. Biomechanical properties of the cornea: clinical significance, research methods, possibilities of systematizing approaches to study. *Annals of ophthalmology.* 2010;126(6):3–7 (In Russ.).
- Gui Y, Wang S, He Y, Zhang S, Zhang Y. Progress of corneal morphological examination combined with biomechanical examination in preoperative screening for keratorefractive surgery. *Indian J Ophthalmol.* 2023 Jun;71(6):2369–2378. doi: 10.4103/ijoo.IJO_1377_22.
- Wu Y, Guo LL, Tian L, Xu ZQ, Li Q, Hu J, Huang YF, Wang LQ. Comparative analysis of the morphological and biomechanical properties of normal cornea and keratoconus at different stages. *Int Ophthalmol.* 2021 Nov;41(11):3699–3711. doi: 10.1007/s10792-021-01929-4.
- Современные проблемы механики сплошной среды: тезисы докладов XVIII Международной конференции (Ростов-на-Дону, 7–10 ноября 2016 г.). Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2016. 168 с. Modern Problems of Continuum Mechanics: Abstracts of the XVIII International Conference (Rostov-on-Don, November 7–10, 2016). Rostov-on-Don: Southern Federal University Publishing House, 2016. 168 p. (In Russ.).
- Lackner B, Schmidinger G, Pieh S. Repeatability and reproducibility of central corneal thickness measurement with Pentacam, Orbscan, and ultrasound. *Ophthalmol. Vis. Sci.* 2005;82(1):892–899. doi: 10.1097/01.opx.0000180817.46312.0a.
- Luce DA. Determining in vivo biomechanical properties of the cornea with an ocular response analyzer. *J Cataract Refract Surg.* 2005;31:156–162. doi: 10.1016/j.jcrs.2004.10.044.
- Dhiman R, Singh D, Vanathi M, Tandon R, Mahalingam K. Biomechanical properties of cornea and ocular aberrations in myopic eyes. *Indian J Ophthalmol.* 2024 Apr 1;72(4):538–543. doi: 10.4103/IJO.IJO_1627_23.
- Yang K, Xu L, Fan Q, Zhao D, Ren S. Repeatability and comparison of new Corvis ST parameters in normal and keratoconus eyes. *Sci Rep.* 2019;9:15379. doi: 10.1038/s41598-019-51502-4.
- Kataria P, Padmanabhan P, Gopalakrishnan A, Padmanaban V, Mahadik S, Ambrósio R Jr. Accuracy of Scheimpflug-derived corneal biomechanical and tomographic indices for detecting subclinical and mild keratoconus in a South Asian population. *J Cataract Refract Surg.* 2019;45:328–336. doi: 10.1016/j.jcrs.2018.10.030.
- Zhang M, Zhang F, Li Y, Wang Z. Early diagnosis of keratoconus in Chinese myopic eyes by combining corvis ST with Pentacam. *Curr Eye Res.* 2020;45:118–123. doi: 10.1080/02713683.2019.1658787.
- Ferreira-Mendes J, Lopes BT, Faria-Correia F, Salomão MQ, Rodrigues-Barros S, Ambrósio R Jr. Enhanced ectasia detection using corneal tomography and biomechanics. *Am J Ophthalmol.* 2019;197:7–16. doi: 10.1016/j.ajo.2018.08.054.

29. Liu Y, Zhang Y, Chen Y. Application of a scheimpflug-based biomechanical analyser and tomography in the early detection of subclinical keratoconus in chinese patients. *BMC Ophthalmol.* 2021;21:339. doi: 10.1186/s12886-021-02102-2.
30. Shiga S, Kojima T, Nishida T, Nakamura T, Ichikawa K. Evaluation of CorvisST biomechanical parameters and anterior segment optical coherence tomography for diagnosing forme fruste keratoconus. *Acta Ophthalmol.* 2021;99:644–651. doi: 10.1111/aos.14700.
31. Воронин ГВ, Бубнова ИА. Изменения биомеханических свойств роговицы после кераторефракционных вмешательств. *Вестник офтальмологии.* 2019; 135(4):108–112.
Voronin GV, Bubnova IA. Changes in biomechanical properties of the cornea after keratorefractive interventions. *Annals of Ophthalmology.* 2019;135(4):108–112 (In Russ.). doi: 10.17116/oftalma2019135041108.
32. Dawson DG, Randleman JB, Grossniklaus HE. Corneal ectasia after excimer laser keratorefractive surgery: histopathology, ultrastructure, and pathophysiology. *Ophthalmology.* 2008;115:2181–2191e1.
33. Семак ГР, Жерко ИЮ. Влияние внутриглазного давления на биомеханические свойства и прозрачность роговицы. *Офтальмология. Восточная Европа.* 2019;9(3):345–355.
Semak GR, Zherko IYu. Effect of intraocular pressure on biomechanical properties and transparency of the cornea. *Ophthalmology. Eastern Europe.* 2019;9(3): 345–355. (In Russ.).
34. Almeida FB, Braz F, Pereira C, Filipe HP, Maia S-co J. Corneal biomechanical and tonometric correlations after myopic LASIK. *Congress of the European Society of Ophthalmology (SOE) 8–11 June, 2013, Copenhagen, Denmark. Abstract Book.* 164 p.
35. Иомдина ЕН, Бауэр СМ, Котляр КЕ. Биомеханика глаза: теоретические аспекты и клинические приложения. Под ред. В.В. Нероева. М.: Реал Тайм, 2015. 208 с.
Iomdina EN, Bauer SM, Kotlyar KE. *Biomechanics of the eye: theoretical aspects and clinical applications.* Ed. by V.V. Neroev. Moscow: Real Time, 2015. 208 p. (In Russ.).
36. Osman IM, Helaly HA, Abdalla M, Shousha MA. Corneal biomechanical changes in eyes with small incision lenticule extraction and laser assisted in situ keratomileusis. *BMC Ophthalmol.* 2016;16:123. doi: 10.1186/s12886-016-0304-3.
37. Антонюк ВД, Кузнецова ТС. Исследование биомеханических свойств роговицы на приборе CORVIS ST (Oculus, Германия) у пациентов с миопией и миопическим астигматизмом. *Офтальмохирургия.* 2020;4:20–28.
Antonyuk VD, Kuznetsova TS. Study of biomechanical properties of the cornea using the CORVIS ST device (Oculus, Germany) in patients with myopia and myopic astigmatism. *Ophthalmosurgery.* 2020;4:20–28. (In Russ.). doi: 10.25276/0235-4160-2020-4-20-28.
38. Куликова ИЛ, Пикусова СМ, Авершина ЛА. Изменение напряженно-деформированного состояния роговицы после коррекции гиперметропии методами LASIK и FS-LASIK. *Современные проблемы науки и образования.* 2021;2:196.
Kulikova IL, Pikusova SM, Avershina LA. Changes in the stress-strain state of the cornea after correction of hyperopia by LASIK and FS-LASIK methods. *Modern problems of science and education.* 2021;2:196 (In Russ.).
39. Пикусова СМ, Куликова ИЛ, Авершина ЛА. Результаты коррекции гиперметропии методом ФемтоЛАЗИК с учетом оценки биомеханических свойств роговицы. *Современные технологии в офтальмологии.* 2020;3(34):80–81. doi: 10.25276/2312-4911-2020-3-80-81.
Pikusova SM, Kulikova IL, Avershina LA. Results of hyperopia correction by the FemtoLASIK method taking into account the assessment of the biomechanical properties of the cornea. *Modern technologies in ophthalmology.* 2020;3(34):80–81 (In Russ.). doi: 10.25276/2312-4911-2020-3-80-81.
40. Бойко ЭВ, Того ЕС, Литвин ИБ, Качанов АБ. Оценка изменений биомеханических свойств роговицы после проведения операции FemtoLASIK. *Современные технологии в офтальмологии.* 2021;5(40):121–125. doi: 10.25276/2312-4911-2021-5-121-125.
Boyko EV, Togo ES, Litvin IB, Kachanov AB. Evaluation of changes in biomechanical properties of the cornea after FemtoLASIK surgery. *Modern technologies in ophthalmology.* 2021;5(40):121–125 (In Russ.). doi: 10.25276/2312-4911-2021-5-121-125.
41. Song Y, Fang L, Zhu Q, Du R, Guo B, Gong J, Huang J. Biomechanical responses of the cornea after small incision lenticule extraction (SMILE) refractive surgery based on a finite element model of the human eye. *Math Biosci Eng.* 2021 May 17;18(4):4212–4225. doi: 10.3934/mbe.2021211.
42. Fu D, Zhao Y, Zhou X. Corneal Biomechanical Properties after Small Incision Lenticule Extraction Surgery on Thin Cornea. *Curr Eye Res.* 2021 Feb;46(2):168–173. doi: 10.1080/02713683.2020.1792507.
43. Давыденко БН. Исследование изменений биомеханических свойств роговицы после проведения операции по технологии ReLEx SMILE. *Процессы управления и устойчивость.* 2023;10(1):180–183.
Davydenko BN. Study of changes in biomechanical properties of the cornea after surgery using ReLEx SMILE technology. *Control Processes and Stability.* 2023;10(1):180–183 (In Russ.).
44. Бикбов ММ, Гиззатов АБ, Хикматуллин РИ. Сравнительный анализ изменений биомеханических свойств роговицы после FemtoLASIK и SMILE на примере однояйцевых близнецов. *Точка зрения. Восток — Запад.* 2020;3:46–49.
Bikbov MM, Gizzatov AV, Khikmatullin RI. Comparative analysis of changes in biomechanical properties of the cornea after FemtoLASIK and SMILE using the example of identical twins. *Point of view. East — West.* 2020;3:46–49 (In Russ.). doi: 10.25276/2410-1257-2020-3-46-49.
45. Бойко ЭВ, Того ЕС, Суетов АА, Качанов АБ, Литвин ИБ. Непосредственная оценка изменений биомеханических свойств роговицы после проведения операций ReLEx SMILE и FemtoLASIK. *Вестник офтальмологии.* 2023;139(3):41–48.
Boyko EV, Togo ES, Suetov AA, Kachanov AB, Litvin IB. Direct assessment of changes in biomechanical properties of the cornea after ReLEx SMILE and FemtoLASIK surgeries. *Annals of ophthalmology.* 2023;139(3):41–48 (In Russ.).
46. Zhu Y, Zhao Y, Zhang Y, Yang H, Shi J, Cai H, Zhang D, Huang G, He X, Wu X. In Vivo Evaluation of the Effects of SMILE with Different Amounts of Stromal Ablation on Corneal Biomechanics by Optical Coherence Elastography. *Diagnostics (Basel).* 2022 Dec 22;13(1):30. doi: 10.3390/diagnostics13010030.
47. Abd El-Fattah EA, El Dorghamy AA, Ghoneim AM, Saad HA. Comparison of corneal biomechanical changes after LASIK and F-SMILE with CorVis ST. *Eur J Ophthalmol.* 2021 Jul;31(4):1762–1770. doi: 10.1177/1120672120945664.
48. Xin Y, Lopes BT, Wang J, Wu J, Zhu M, Jiang M, Miao Y, Lin H, Cao S, Zheng X, Eliasy A, Chen S, Wang Q, Ye Y, Bao F, Elsheikh A. Biomechanical Effects of tPRK, FS-LASIK, and SMILE on the Cornea. *Front Bioeng Biotechnol.* 2022 Mar 31;10:834270. doi: 10.3389/fbioe.2022.834270.
49. Pedersen IB, Bak-Nielsen S, Vestergaard AH, Ivarsen A, Hjortdal J. Corneal biomechanical properties after LASIK, ReLEx flex, and ReLEx smile by Scheimpflug-based dynamic tonometry. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2014 Aug;52(8):1329–1335. doi: 10.1007/s00417-014-2667-6.
50. Чупров АД, Каныкова ЮВ, Трубников ВА. Влияние кераторефракционных операций CLEAR и FEMTO-LASIK на биомеханические параметры роговицы у пациентов с миопией в динамике. *Современные проблемы науки и образования.* 2023;4:124.
Chuprov AD, Kanyukova YuV, Trubnikov VA. The influence of keratorefractive surgeries CLEAR and FEMTO-LASIK on the biomechanical parameters of the cornea in patients with myopia in dynamics. *Modern problems of science and education.* 2023;4:124 (In Russ.). doi: 10.17513/spno.32886.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Зинченко Валерия Ивановна
врач-офтальмолог, аспирант

Мушкова Ирина Альфредовна
доктор медицинских наук, заведующая отделом лазерной
рефракционной хирургии

Каримова Аделя Насибуллаевна
кандидат медицинских наук, научный сотрудник отдела
лазерной рефракционной хирургии

ABOUT THE AUTHORS

Zinchenko Valeria I.
ophthalmologist, postgraduate

Mushkova Irina A.
MD, Head of the Laser Refractive Surgery Department

Karimova Adelya N.
PhD, researcher of the Laser Refractive Surgery Department