

## ИЗМЕНЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РОГОВИЦЫ ПОСЛЕ КОРРЕКЦИИ ГИПЕРМЕТРОПИИ МЕТОДАМИ LASIK и FS-LASIK

Куликова И.Л.<sup>1</sup>, Пикусова С.М.<sup>1</sup>, Авершина Л.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Чебоксарский филиал, Чебоксары, e-mail: pikusova\_svetlana@mail.ru

Гиперметропия является одной из самых распространенных аномалий рефракции и встречается в 4,4–57% случаев всех аметропий. На сегодняшний день среди хирургических методов коррекции гиперметропии лидирующие позиции занимает рефракционная роговичная хирургия ввиду своей малой инвазивности, быстрой функциональной реабилитации, высоких зрительных результатов, низкого процента осложнений, а также высокой безопасности, эффективности и удовлетворенности пациентов. Однако гиперметропия сложнее поддается хирургической коррекции, чем миопия. Фемтосекундный лазер позволяет создавать роговичный клапан большего диаметра со строго запрограммированными и легко воспроизводимыми морфометрическими параметрами, что помогает избежать осложнений, связанных с формированием роговичного лоскута механическим микрокератомом. FS-LASIK (femtosecond-assisted laser in-situ keratomileusis, или лазерный кератомилез in situ с фемтосекундным сопровождением) по сравнению с методом LASIK (laser-assisted in-situ keratomileusis, или лазерный кератомилез in situ) отличается меньшим влиянием на напряженно-деформированное состояние роговицы, большей биомеханической стабильностью роговичного лоскута и возможностью использования широких оптической и переходной зон абляции, что позволяет добиться большей безопасности, эффективности и предсказуемости вмешательства при коррекции гиперметропии слабой и средней степени. В послеоперационном периоде происходят уменьшение изгибной жесткости роговицы и занижение показателей ВГД, более выраженное при использовании метода LASIK, что важно учитывать в реальной клинической практике. Изучение изменения биомеханических свойств роговичной ткани после коррекции гиперметропии за счет сложного профиля абляции представляется более тяжелой задачей, чем после коррекции миопии, и в настоящее время нет общепризнанного метода оценки напряженно-деформированного состояния роговицы при данном виде хирургии. До сих пор остается спорным вопрос коррекции гиперметропии высокой степени с помощью FS-LASIK, что может стать предметом будущих исследований.

Ключевые слова: гиперметропия, биомеханические свойства роговицы, напряженно-деформированное состояние роговицы, LASIK, FS-LASIK.

## CHANGES IN THE STRESS-STRAIN STATE OF THE CORNEA AFTER CORRECTION OF HYPEROPIA BY LASIK AND FS-LASIK METHODS

Kulikova I.L.<sup>1</sup>, Pikusova S.M.<sup>1</sup>, Avershina L.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>The S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, the Cheboksary Branch, Cheboksary e-mail: pikusova\_svetlana@mail.ru

Hyperopia is one of the most common refractive errors and occurs in 4.4–57% of all ametropia cases. Today, among the surgical methods of correction of hyperopia, the leading position is occupied by refractive corneal surgery due to its low invasiveness, rapid functional rehabilitation, high visual results, low percentage of complications, as well as high safety, efficiency and patient satisfaction. However, hyperopia is more difficult to correct surgically than myopia. The femtosecond laser makes it possible to create a larger-diameter corneal flap with strictly programmed and easily reproducible morphometric parameters, which helps to avoid complications associated with the creation of a corneal flap by mechanical microkeratome. Compared to the LASIK method (laser-assisted in-situ keratomileusis), FS-LASIK (Femtosecond-assisted laser in-situ keratomileusis) has a lower impact on the stress-strain state of the cornea, greater biomechanical stability of the corneal flap, and the possibility of using wide optical and transition zones, which makes it possible to achieve greater safety, efficiency and predictability of intervention in the correction of mild and moderate hyperopia. In the postoperative period, there is a decrease in the flexural stiffness of the cornea and an underestimation of IOP indicators, which is more pronounced when using the LASIK method, which is important to take into account in real clinical practice. The study of changes in the biomechanical properties of the cornea after correction of hyperopia due to a complex ablation profile is a more difficult task than after correction of myopia, and currently there is no generally accepted method for assessing the stress-strain state of the cornea in this type of surgery. The issue of correction of high hyperopia with FS-LASIK is still controversial, which may be the subject of future research.

Keywords: hyperopia, biomechanical properties of the cornea, stress-strain state of the cornea, LASIK, FS-LASIK.

Гиперметропия является одной из самых распространенных аномалий рефракции человека, частота ее встречаемости зависит от пола, возраста, популяционных групп и критериев проводимого анализа, методологии и дизайна исследования и варьирует от 4,4% до 57% среди всех аметропий [1]. Наиболее высокая частота встречаемости гиперметропии зафиксирована в Австралии, где этот показатель доходит до 57% в старшей возрастной группе пациентов от 49 до 97 лет [2], наименьшая частота встречаемости – 4,4% – отмечена в США среди детей от 6 месяцев до 6 лет [3]. В России же показатель распространенности гиперметропии также сильно варьирует в зависимости от вида исследования и составляет до 55% среди всех рефракционных нарушений [4].

Среди наиболее частых дезадаптаций на фоне гиперметропии можно отметить нарушение бинокулярного зрения, косоглазие и амблиопию, причем частота их развития пропорционально повышается с увеличением степени гиперметропии [5]. Также гиперметропия нередко сопровождается сопутствующими рефракционными нарушениями – астигматизмом и анизометропией [6]. Кроме того, пациенты с гиперметропией испытывают астенопические жалобы, проявляющиеся при длительной работе на близком расстоянии: головную боль, перенапряжение глаз, нечеткость зрения, трудности фокусировки, повышенную утомляемость. Все это дополнительно снижает качество жизни данных пациентов [7–9].

На сегодняшний день лидирующие позиции в коррекции гиперметропии занимают методы LASIK (Laser-assisted in-situ keratomileusis, или лазерный кератомилез in situ) и FS-LASIK (Femtosecond-assisted laser in-situ keratomileusis, или лазерный кератомилез in situ с фемтосекундным сопровождением) [10]. Однако коррекция гиперметропии представляется более тяжелой задачей, чем коррекция миопии [11]. Кроме того, известно, что любая кераторефракционная операция вызывает ослабление биомеханической прочности и стабильности роговицы [12, 13]. Поэтому в настоящее время является актуальной оценка изменения напряженно-деформированного состояния роговицы после коррекции гиперметропии методами LASIK и FS-LASIK.

Цель исследования – на основании анализа профильных научных публикаций выявить сложности, с которыми сталкиваются рефракционные хирурги в процессе коррекции гиперметропии методами LASIK и FS-LASIK, оценить влияние данных видов оперативного вмешательства на напряженно-деформированное состояние роговицы.

**Материал и методы исследования:** анализ современных источников литературы, полученных из отечественных и зарубежных баз данных, по проблеме влияния

эксимерлазерной коррекции гиперметропии на биомеханические свойства роговицы.

### **Результаты исследования и их обсуждение**

Гиперметропия – вид клинической рефракции глаза, при котором сила оптической системы мала по сравнению с длиной переднезадней оси глазного яблока и фокус преломления параллельных лучей, проходящих через оптическую систему глаза, находится в мнимом пространстве позади сетчатки, а на сетчатке формируется круг светорассеяния [14]. На сегодняшний день не выявлен единый этиологический фактор развития гиперметропии. В зависимости от причины выделяют три вида этой аномалии рефракции: осевую, рефракционную и смешанную. Осевая дальность обусловлена короткой переднезадней осью глаза; рефракционная дальность обусловлена слабой преломляющей силой роговицы; смешанная – сочетанием этих причин. Также гиперметропия может быть вызвана рядом других патологических факторов, не являющихся предметом настоящей дискуссии: врожденной или приобретенной афакией, нано- и микрофтальмом, аниридией, увеличением показателя преломления хрусталика с возрастом, развитием катаракты или сахарного диабета, тампонадой полости стекловидного тела силиконовым маслом, развитием макулярного отека и т.д. [15].

Пациенты молодого возраста с гиперметропией слабой или средней степени могут не испытывать жалоб, иметь хорошее зрение вдаль и удовлетворительное зрение вблизи, так как часть гиперметропии они компенсируют за счет привычного тонуса аккомодации. Однако пациенты с гиперметропией высокой степени не могут успешно справляться с фокусировкой рассматриваемых предметов на любом расстоянии. При этом объективная рефракция, определяемая в условиях циклоплегии, может быть значительно слабее субъективной коррекции. Жалобы на снижение зрения вдаль и вблизи у пациентов с гиперметропией появляются чаще всего при наступлении пресбиопического возраста, и к 45–55 годам вся гиперметропия становится явной. У таких пациентов степень гиперметропии по субъективной коррекции, как правило, соответствует истинной степени гиперметропии [7, 15].

Среди методов коррекции гиперметропии можно отметить нехирургические (экстраокулярные) и хирургические (кераторефракционные вмешательства и интраокулярную хирургию). К экстраокулярным методам относят очковую и контактную коррекцию аметропии. Тем не менее, с давних времен ношение очков доставляло людям массу неудобств не только из косметических соображений, но и в связи с запретом их ношения при ряде профессий. Положительные очковые линзы увеличивают размер ретинального изображения, и в связи с этим полная очковая коррекция не всегда переносима при высокой гиперметропии и анизометропии более 2 дптр за счет анизейконии. Помимо этого, очки оказывают давление на переносицу, ограничивают поле зрения человека, запотевают при резкой смене

температуры окружающей среды, что в целом доставляет массу неудобств пользователям очков [16].

Казалось бы, контактные линзы лишены недостатков очковой коррекции и должны больше удовлетворять как пациентов, так и самих офтальмологов. Однако среди осложнений контактной коррекции можно выделить воспалительные заболевания переднего отрезка глаза, эпителиопатию, нарушение стабильности прекорнеальной слезной пленки и развитие синдрома «сухого глаза», гипоксическую кератопатию различной степени тяжести, токсико-аллергические реакции на растворы по уходу за контактными линзами [17, 18]. Не все пациенты могут приспособиться к надеванию и снятию линз. Поэтому вопрос о возможности хирургической коррекции гиперметропии встает перед офтальмологами довольно остро.

Среди хирургических методов коррекции гиперметропии можно отметить кераторефракционные вмешательства и интраокулярную хирургию. На сегодняшний день лидирующие позиции занимает рефракционная роговичная хирургия ввиду своей малой инвазивности, быстрой функциональной реабилитации, высоких зрительных результатов, низкого процента осложнений, а также высокой безопасности, эффективности и удовлетворенности пациентов [10, 19]. При гиперметропии выше 5,0–6,0 дптр многие хирурги рекомендуют прибегать к интраокулярной коррекции аметропии [20, 21].

В кераторефракционной хирургии для коррекции гиперметропии наиболее часто применяют методы LASIK и FS-LASIK [10].

Следует отметить, что гиперметропия сложнее поддается хирургической коррекции, нежели миопия [11]. Гиперметропический профиль абляции, создаваемый в ходе оперативного вмешательства, отличается сложной формой за счет удаления кольцевого слоя роговичной ткани на средней периферии роговицы, в результате чего происходят уменьшение кривизны и усиление оптической силы роговицы в центральной зоне. За счет формирования сложного профиля абляции происходит значительная индукция аберраций высшего порядка в фотопических и мезопических условиях [22]. Так, в исследовании Y.-C. Liu et. al. (2018) через 3 месяца после гиперметропического LASIK показано индуцирование отрицательной сферической аберрации, причем оно было более значимо при гиперметропии средней степени, нежели при слабой гиперметропии. Также произошла индукция вертикальной комы в сторону более отрицательных значений [23].

Величина хирургически индуцированного астигматизма при коррекции гиперметропии выше, чем при коррекции миопии, что может быть связано с мигательными движениями век, наличием большего угла каппа в гиперметропических глазах, неравномерным распределением лазерной энергии в ходе абляции и более неравномерным заживлением лоскута [24], а предсказуемость результатов ниже, чем при коррекции миопии [25]. Коррекция

гиперметропии высокой степени, так же как и средней степени с «крутой» роговицей, отличается меньшей предсказуемостью и безопасностью, сопровождается потерей строк максимально скорректированной остроты зрения и послеоперационным регрессом за счет некоторого уплощения роговицы в послеоперационном периоде [26]. В целом становится понятным, что предсказуемость, безопасность и стабильность рефракционного эффекта уменьшаются по мере увеличения степени гиперметропии [21].

Следует также отметить, что при коррекции гиперметропии рефракционный хирург неизбежно сталкивается с трудностями определения «рефракции цели» из-за особенностей работы аккомодационного аппарата глаза. За счет привычного тонуса аккомодации у пациентов молодого возраста и пациентов, ранее не использовавших адекватные средства оптической коррекции, величина субъективной рефракции значительно меньше, чем величина рефракции в условиях циклоплегии. После эксимерлазерной коррекции гиперметропии в таких случаях часто наблюдается нестабильность рефракционного эффекта и возникает необходимость повторного вмешательства. Группа пациентов пресбиопического возраста не вызывает сложности при расчете операции, когда величина субъективной рефракции соответствует объективной рефракции, выявленной в условиях циклоплегии [7, 25]. А. Nabibollahi et al. (2015) рекомендуют использовать циклоплегическую рефракцию в качестве «рефракции цели» у пациентов старше 40 лет и среднее значение между циклоплегической рефракцией и рефракцией, выявленной в естественных условиях, у более молодых пациентов, при расхождении показателей не более 1,0 дптр. Такой подход помогает предупредить сдвиг послеоперационной рефракции в сторону миопии у группы пациентов молодого возраста [26].

Основной отличительной особенностью FS-LASIK от LASIK является то, что фемтосекундный лазер позволяет создавать роговичный клапан равномерной толщины, большего диаметра, с постоянным заданным углом краевого среза и более гладкой поверхностью стромального ложа. Морфометрические параметры клапана, сформированного с помощью фемтосекундного лазера, высокопрогнозируемы. Это позволяет избежать осложнений, связанных с формированием клапана механическим микрокератомом, как при методе LASIK, повысить безопасность, эффективность и предсказуемость операции, а также использовать более широкие оптическую и переходную зоны абляции, что, в свою очередь, обуславливает более стабильный рефракционный эффект [27]. В ряде исследований доказано, что роговичный клапан, созданный с помощью фемтосекундного лазера, отличается равномерностью – равномерностью по толщине на всем протяжении от центра к периферии, тогда как при LASIK формируется клапан менискообразной формы с несколько большей толщиной на периферии и меньшей в центре. Вариабельность толщины роговичного клапана

при использовании фемтосекундного лазера составляет до 15 мкм, тогда как при использовании механического микрокератома – от 20 до 140 мкм [28–30].

Большое значение в оценке биомеханических характеристик глаза и прогнозировании результатов рефракционной хирургии имеет центральная толщина роговицы. С.Ю. Тоцкова с соавт. (2019) убедительно доказали взаимосвязь между толщиной роговицы и данными тонометрии. Пациенты с «тонкой» роговицей, имеющие показатели центральной корнеометрии менее 520 мкм, имеют также и минимальные значения корнеального гистерезиса, что говорит о наличии измененных биомеханических свойств роговицы и тенденции к занижению показателей ВГД, поэтому такие пациенты должны находиться в группе риска по развитию глаукомы. Пациенты с «толстой» роговицей (более 560 мкм) имеют тенденцию к завышению показателей ВГД независимо от методики измерения [31]. Нельзя недооценить важность интерпретации показателей ВГД в реальной клинической практике, так как ВГД на сегодняшний день является основным управляемым фактором риска развития глаукомы, а повышенный уровень офтальмотонуса достоверно ассоциируется с развитием глаукомной оптической нейропатии [32].

Факторы, влияющие на толщину роговицы, разделяют на врожденные и приобретенные. Врожденные факторы включают наследственность, расовую принадлежность, пол, рефракцию. К приобретенным факторам относятся возраст, изменение гидратации стромы в течение суток, влияние ношения контактных линз, дистрофические заболевания роговицы, общие заболевания (например, сахарный диабет), состояние после кераторефракционных вмешательств [33].

Следует отметить, что материал роговицы как вязкоупругого тела отличается анизотропией и неоднородностью, причем для гиперметропической рефракции характерны наибольшая ригидность тканей и большая центральная толщина роговицы [34].

Интересным является исследование С.Э. Аветисова с соавт. (2015), в котором авторы провели изучение биомеханических характеристик глаза с помощью динамической двунаправленной аппланации роговицы (ORA) в здоровой популяции (2205 человек) и выявили тенденцию к снижению корнеального гистерезиса и фактора резистентности роговицы с возрастом, однако соотношение между ними оставалось неизменным [35].

На сегодняшний день одной из важных задач рефракционной хирургии является сохранение или минимизация ослабления биомеханических свойств роговицы [36].

Наиболее значимыми работами по исследованию напряженно-деформированного состояния роговицы после кераторефракционных вмешательств являются публикации С. Roberts (2002), в которых она показала, что после формирования роговичного клапана биомеханические свойства роговицы изменяются таким образом, что пересеченные фибриллы

роговицы сокращаются, происходит тракция сокращенных поврежденных волокон в сторону лимба. Роговица на границе абляции и интактной зоны несколько утолщается. При этом ее центральная зона уплощается под действием освобожденных фибрилл, в результате чего происходит гиперметропический сдвиг рефракции [37]. Следовательно, естественная биомеханическая реакция или ответ роговицы на абляцию усиливают эффект коррекции миопии и уменьшают эффект коррекции гиперметропии. Поэтому в настоящее время является актуальным изучение биомеханического ответа роговицы в ответ на кераторефракционную операцию при коррекции гиперметропии [38].

Особая форма угла краевого среза, используемая при создании роговичных лоскутов с помощью фемтосекундного лазера, приводит к выраженному фиброзному рубцеванию по краю клапана, что повышает биомеханическую стабильность роговицы и устойчивость к травмам после FS-LASIK по сравнению с LASIK, где образуется слабый интрастромальный рубец. По данным некоторых авторов, большая биомеханическая устойчивость клапана после FS-LASIK также обусловлена формированием большей стромальной воспалительной реакции в раннем послеоперационном периоде, что обуславливает лучшую адгезию клапана [39, 40].

С.М. Бауэр с соавт. (2015) на основе создания конечно-элементной модели глаза после коррекции гиперметропии методами LASIK и FS-LASIK и моделирования аппланационной тонометрии по Маклакову и Гольдману показали, что уменьшение толщины роговицы за счет удаления слоя роговичной ткани на средней периферии приводит к снижению изгибной жесткости роговицы и занижению показателей ВГД. По данным расчетов изменение показателей ВГД зависит от параметров оперативного вмешательства: внутреннего и внешнего диаметра абляции, глубины абляции и толщины клапана. Поскольку при операции LASIK срезается менискообразный роговичный клапан неравномерной толщины, что не позволяет использовать более широкие оптическую и переходную зоны абляции, после данного вида операции происходят более значительные деформации и смещения в области утончения роговицы, а также большее снижение изгибной жесткости роговицы, чем после FS-LASIK [41].

Изучение изменения биомеханических свойств роговичной ткани после коррекции гиперметропии за счет сложного профиля абляции представляется более тяжелой задачей, чем после коррекции миопии, и в настоящее время нет общепризнанного метода оценки напряженно-деформированного состояния роговицы при данном виде хирургии.

Для изучения биомеханических свойств роговицы на сегодняшний день применяют следующие группы методов [42]:

- 1) теоретические (математические) методы, предусматривающие построение различных конечно-элементных моделей [13, 41];

2) экспериментальные методы, изучающие биомеханические свойства изолированной роговицы (офтальмомеханография, экстензиометрия, люминесцентная полярископия, ультразвуковая биометрия);

3) прижизненные клинические методы *in vivo*, основанные, как правило, на оценке изменения формы роговицы в ответ на механическое воздействие: эластотонометрия, ORA, импрессия роговицы тонометрами Шиотца с определением коэффициента ригидности по Фриденвальду [13, 43].

Современные тонометры, применяемые в клинической практике, очень чувствительны к центральной кернеометрии и дают адекватные показатели ВГД, если роговица имеет средние значения кератометрии, радиуса кривизны и центральной толщины. Однако после кераторефракционной хирургии с применением методов LASIK и FS-LASIK, особенно после коррекции гиперметропии, когда лазерная абляция происходит на средней периферии роговицы с формированием гиперметропического профиля абляции, одним из наиболее точных методов оценки напряженно-деформированного состояния глаза может стать построение конечно-элементной модели фиброзной оболочки глаза на основе эластотонометрии [13].

С учетом вышеизложенного в настоящее время весьма актуальным является поиск наиболее оптимального алгоритма коррекции гиперметропии средней и высокой степени с помощью FS-LASIK с учетом напряженно-деформированного состояния роговицы.

**Заключение.** Гиперметропия сложнее поддается хирургической коррекции, нежели миопия, и вопросы выбора метода оперативного вмешательства в зависимости от степени гиперметропии и исходных параметров роговицы актуальны на сегодняшний день. FS-LASIK по сравнению с методом LASIK отличается меньшим влиянием на напряженно-деформированное состояние роговицы, большей биомеханической стабильностью роговичного лоскута и возможностью использования широких оптической и переходной зон, что позволяет добиться большей безопасности, эффективности и предсказуемости вмешательства при коррекции гиперметропии слабой и средней степени. После коррекции гиперметропии происходят уменьшение изгибной жесткости роговицы и занижение показателей ВГД, более выраженное при использовании метода LASIK, что важно учитывать в реальной клинической практике. До сих пор остается спорным вопрос коррекции гиперметропии высокой степени с помощью FS-LASIK, что может стать предметом будущих исследований.

#### Список литературы

1. Barrett B.T., Bradley A., Candy T.R. The relationship between anisometropia and amblyopia. *Prog. Retin. Eye Res.* 2013. no 36. P. 120-158.
2. Attebo K., Ivers R. Q., Mitchell P. Refractive errors in an older population. *Ophthalmology.* 1999. vol. 106. no. 6. P. 1066–1072. DOI: 10.1016/s0161-6420(99)90251-8.
3. Giordano L., Friedman D.S., Repka M.X., Katz J., Ibranke J., Hawes P., Tielsch J.M. Prevalence of Refractive Error among Preschool Children in an Urban Population: The Baltimore Pediatric Eye Disease Study. *Ophthalmology.* 2009. vol. 116. no. 4. P. 739-746. DOI: 10.1016/j.opthta.2008.12.030.
4. Балашевич Л.И. Рефракционная хирургия. СПб.: МАПО, 2002. 288 с.
5. Ha S.-G., Suh Y.-W., Kim, S.-H. Esodeviation without correction for tapering hyperopia in refractive accommodative esotropia. *Canadian Journal of Ophthalmology.* 2018. vol. 53. no. 5. P. 453-457. DOI: 10.1016/j.jcjo.2018.01.019.
6. Hu H., Dai J., Chen M., Chen L., Jiang L., Lin R., Wang L. Effect of astigmatism on refraction in children with high hyperopia. *Drug Discoveries & Therapeutics.* 2016. vol. 10. no. 6. P. 323–328. DOI: 10.5582/ddt.2016.01057.
7. Семенов А.Д, Мушкова И.А., Каримова А.Н., Ким Л.В. Оценка клинико-функциональных результатов лазерной коррекции у пациентов с гиперметропией средней степени // Вестник ТГУ. 2015. Т. 20. № 3. С. 677-679.
8. VIP-HIP Study Group, Kulp M.T., Ciner E., Maguire M., Moore B., Pentimonti J., Pistilli M., Cyert L., Candy T.R., Quinn G., Ying G.S. Uncorrected Hyperopia and Preschool Early Literacy: Results of the Vision in Preschoolers-Hyperopia in Preschoolers (VIP-HIP) Study. *Ophthalmology.* 2016. vol. 123. no. 4. P. 681-689. DOI: 10.1016/j.opthta.2015.11.023.
9. Kulp M.T., Ying G.S., Huang J., Maguire M., Quinn G., Ciner E.B., Cyert L.A., Orel-Bixler D.A., Moore B.D., VIP Study Group. Associations between hyperopia and other vision and refractive error characteristics. *Optom Vis Sci.* 2014. vol. 91. no. 4. P. 383-389. DOI: 10.1097/OPX.0000000000000223.
10. Kim T., Barrio J.L., Wilkins M., Cochener B., Ang M. Refractive surgery. *The Lancet.* 2019. vol. 393. no. 10185. P. 2085-2098. DOI: 10.1016/s0140-6736(18)33209-4.
11. Куликова И.Л., Чапурин Н.В. Отдаленные результаты фемтолазер-ассистированного лазерного интрастромального кератомилеза у детей с гиперметропией и анизометропической амблиопией // Офтальмология. 2018. № 15 (2S). С. 45-51.
12. Фокин В.П., Солодкова Е.Г., Кузнецова О.С., Балалин С.В. Анализ изменения аккомодации и вязко-эластических свойств роговицы до и после операций ФемтоЛАЗИК у пациентов с миопией // Современные технологии в офтальмологии. 2019. № 3. С. 188-192. DOI: 10.25276/2312-4911-2019-3-188-192.

13. Бауэр С.М., Венатовская Л.А., Авершина Л.А., Пикусова С.М. Оценка биомеханических характеристик на основе эластотонометрии после операций по коррекции гиперметропии // Вестник офтальмологии. 2020. Т. 136. № 5. С. 32-38 DOI: 10.17116/oftalma202013605132.
14. Офтальмология: национальное руководство / Под ред. С.Э. Аветисова, Е.А. Егорова, Л.К. Мошетовой, В.В. Нероева, Х.П. Тахчиди. М.: ГЭОТАР-Медиа. 2019. 904 с.
15. Majumdar S., Tripathy K. Hyperopia. StatPearls. 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.statpearls.com/articlelibrary/viewarticle/37141/> (дата обращения: 10.03.2021).
16. Лещенко И.А., Лобанова И.В., Рыбакова Е.Г. Показания к подбору контактных линз у детей и подростков // Российская детская офтальмология. 2016. № 3. С. 33-45.
17. Паштаев Н.П., Бодрова С.Г., Бородина Н.В., Зарайская М.М., Майчук Н.В. Влияние мягких контактных линз на структуру и биомеханические свойства роговицы // Офтальмохирургия. 2009. № 4. С. 10-13.
18. Майчук Н.В., Мушкова И.А., Казанцев А.Д. Нейротрофическая эпителиопатия у пациентов, длительно пользующихся контактными линзами до и после операций ReLEx SMILE и Фемто-ЛАЗИК // Офтальмохирургия. 2018. № 4. С. 58-63. DOI: 10.25276/0235-4160-2018-4-58-63.
19. Sandoval H.P., Donnenfeld E.D., Kohnen T., Lindstrom R.L., Potvin R., Tremblay D.M., Solomon K.D. Modern laser in situ keratomileusis outcomes. J. Cataract Refract Surg. 2016. vol. 42. no. 8. P. 1224-1234. DOI:10.1016/j.jcrs.2016.07.012.
20. Hamill M.B. Basic and Clinical Science Course, 2014-2015. Section 13: Refractive Surgery. American Academy of Ophthalmology. San Francisco, United States. 2015. 254 p.
21. Frings A., Steinberg J., Druchkiv V., Linke S.J., Katz T. Role of preoperative cycloplegic refraction in LASIK treatment of hyperopia. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol. 2016. vol. 254. no. 7. P. 1399-404. DOI: 10.1007/s00417-016-3308-z.
22. Plaza-Puche A.B., El Aswad A., Arba-Mosquera S., Wróbel-Dudzinska D., Abdou A.A., Alió J.L. Optical Profile Following High Hyperopia Correction With a 500-Hz Excimer Laser System. J. Refract Surg. 2016. vol. 32. no. 1. P. 6-13. DOI: 10.3928/1081597X-20151207-06.
23. Liu Y.C., Wen J., Teo E.P.W., Williams G.P., Lwin N.C., Mehta J.S. Higher-Order-Aberrations Following Hyperopia Treatment: Small Incision Lenticule Extraction, Laser-Assisted In Situ Keratomileusis and Lenticule Implantation. Transl Vis Sci Technol. 2018. vol. 7. no. 2. P. 15. DOI: 10.1167/tvst.7.2.15.
24. Karmona L., Mimouni M. Vainer I., Sela T., Munzer G., Kaiserman I. Induced de Novo Astigmatism after Hyperopic LASIK Versus Myopic LASIK Surgery in Nonastigmatic Eyes. Cornea. 2017. vol. 36. no. 9. P. 1-4. DOI: 10.1097/ICO.0000000000001253.

25. Habibollahi A., Hashemi H., Seyedian M.A., Mehravaran S., Asgari S., Habibollahi S., Habibollahi S., Khabazkhoob M. One Year Outcomes of Photorefractive Keratectomy with the Application of Mitomycin-C in the Treatment of Mild to Moderate Hyperopia. *Middle East Afr. J. Ophthalmol.* 2015. vol. 22. no. 4. P. 484-488. DOI: 10.4103/0974-9233.167821.
26. Lee B.S. Accuracy and stability of hyperopic treatments. *Current Opinion in Ophthalmology.* 2014. vol. 25. no. 4. P. 281-285. DOI: 10.1097/icu.0000000000000066.
27. Дога А.В., Мушкова И.А., Каримова А.Н., Кечин Е.В., Копылов А.Е. Сравнительная оценка клинико-функциональных результатов операции ФемтоЛАЗИК, выполненной на различных эксимерлазерных установках, у пациентов с миопией слабой и средней степеней // *Офтальмохирургия.* 2019. № 2. С. 38–43. DOI: 10.25276/0235-4160-2019-2-38-43.
28. 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. *J. Refract Surg.* 2013. vol. 29. no. 5. P. 320-324. DOI: 10.3928/1081597X-20130415-03.
29. Xia L.K., Yu J., Chai G.R., Wang D., Li Y. Comparison of the femtosecond laser and mechanical microkeratome for flap cutting in LASIK. *Int. J. Ophthalmol.* 2015. vol. 8. no. 4. P. 784-790. DOI: 10.3980/j.issn.2222-3959.2015.04.25.
30. Zheng Y., Zhou Y., Zhang J. Liu Q., Zhai C., Wang Y. Comparison of laser in situ keratomileusis flaps created by 2 femtosecond lasers. *Cornea.* 2015. vol. 34. no. 3. P. 328-333. DOI: 10.1097/ICO.0000000000000361.
31. Тоцкова С.Ю., Никитин Н.А. Зависимость данных тонометрии в зависимости от толщины роговицы у лиц с различной клинической рефракцией // *Точка зрения. Восток - Запад.* 2019. № 2. С. 98-100. DOI: 10.25276/2410-1257-2019-2-98-100.
32. Еричев В.П., Онищенко А.Л., Куроедов А.В., Петров С.Ю., Брежнев А.Ю., Антонов А.А., Витков А.А., Мураховская Ю.К. Офтальмологические факторы риска развития первичной открытоугольной глаукомы // *Клиническая офтальмология.* 2019. Т. 19. № 2. С. 81-86. DOI: 10.32364/2311-7729-2019-19-2-81-86.
33. Астахов Ю.С., Потемкин В.В. Толщина и биомеханические свойства роговицы: как их измерить и какие факторы на них влияют // *Офтальмологические ведомости.* 2008. № 4. С. 36-43.
34. Иомдина Е.Н., Бауэр С.М., Котляр К.Е. Биомеханика глаза: теоретические аспекты и клинические приложения. М.: Реал Тайм. 2015. 208 с.
35. Аветисов С.Э., Бубнова И.А., Антонов А.А. Вариабельность биомеханических свойств фиброзной оболочки глаза в здоровой популяции // *Вестник офтальмологии.* 2015. № 5. С. 20-25. DOI: 10.17116/oftalma2015131520-24.

36. Kling S., Hafezi F. Corneal biomechanics - a review. *Ophthalmic and Physiological Optics*. 2017. vol. 37. no. 3. P. 240-252. DOI: 10.1111/opo.12345.
37. Roberts C. Biomechanics of the cornea and wavefront-guided laser refractive surgery. *Journal of Refractive Surgery*. 2002. vol. 18. no. 5. P. 589-592.
38. Куликова И.Л., Паштаев Н.П. Кераторефракционная лазерная хирургия в реабилитации детей и подростков с гиперметропической рефракцией. М.: Изд-во «Офтальмология», 2012. 236 с.
39. Kim J.Y., Kim M.J., Kim T.I., Choi H.-J., Pak J.H., Tchah H. A femtosecond laser creates a stronger flap than a mechanical microkeratome. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2006. vol. 47. no. 2. P. 599-604. DOI: 10.1167/iovs.05-0458.
40. Knorz M.C., Vossmerbaeumer U. Comparison of flap adhesion strength using the Amadeus microkeratome and the IntraLase iFS femtosecond laser in rabbits. *J. Refract Surg*. 2008. vol. 24. no. 9. P. 875-878. DOI: 10.3928/1081597X-20081101-04.
41. Бауэр С.М., Венатовская Л.А., Франус Д.В., Федотова Л.А. Оценка изменения напряженно-деформированного состояния глаза и показателей внутриглазного давления после рефракционной коррекции гиперметропии // *Российский журнал биомеханики*. 2015. № 2. С. 136-143. DOI: 10.15593/RZhBiomeh/2015.2.01.
42. Воронин Г.В., Бубнова И.А. Изменения биомеханических свойств роговицы после кераторефракционных вмешательств // *Вестник офтальмологии*. 2019. № 4. С. 108-112. DOI: 10.17116/oftalma2019135041108.
43. Бубнова И.А., Асатрян С.В. Биомеханические свойства роговицы и показатели тонометрии // *Вестник офтальмологии*. 2019. № 4. С. 27-32. DOI: 10.17116/oftalma201913504127.