

# ВЕСТНИК ОФТАЛЬМОЛОГИИ

№3 • 2017 • Том 133

Издается с 1884 г.



## ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РОГОВИЧНЫХ АБЕРРАЦИЙ ПОСЛЕ ФЕМТОЛАЗЕРНОЙ ИМПЛАНТАЦИИ  
ИНТРАСТРОМАЛЬНЫХ СЕГМЕНТОВ И КОЛЕЦ ПРИ КЕРАТОКОНУСЕ

ИЗУЧЕНИЕ АССОЦИАЦИЙ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ПОЛИМОРФИЗМОВ ФАКТОРОВ РОСТА  
С РАЗВИТИЕМ ПЕРВИЧНОЙ ОТКРЫТОУГОЛЬНОЙ ГЛАУКОМЫ

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ КРОВОТОКА И ЛИМФОТОКА В КОЖЕ ВЕК МЕТОДОМ  
ЛАЗЕРНОЙ ДОППЛЕРОВСКОЙ ФЛОУМЕТРИИ

ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СЕТЧАТКИ ПРИ АНТИФОСФОЛИПИДНОМ  
СИНДРОМЕ

АНАЛИЗ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ РОГОВИЦЫ ПОСЛЕ ЛАЗЕРНОГО  
ИНТРАСТРОМАЛЬНОГО КЕРАТОМИЛЕЗА С ФЕМТОЛАЗЕРНЫМ СОПРОВОЖДЕНИЕМ У ДЕТЕЙ  
С ГИПЕРМЕТРОПИЧЕСКОЙ АНИЗОМЕТРОПИЕЙ

РОЛЬ АНТИТЕЛ К ОСНОВНОМУ БЕЛКУ МИЕЛИНА В НАРУШЕНИИ ГИДРОДИНАМИКИ ПРИ  
ПЕРВИЧНОЙ ОТКРЫТОУГОЛЬНОЙ ГЛАУКОМЕ

ВЛИЯНИЕ МЕДИКАМЕНТОЗНОЙ ТЕРАПИИ НА ЭПИТЕЛИЗАЦИЮ РОГОВИЧНОГО РАЗРЕЗА  
ПОСЛЕ ФАКОЭМУЛЬСИФИКАЦИИ

ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ РЕГМАТОГЕННЫХ ОТСЛОЕК СЕТЧАТКИ С ВЫСОКИМ РИСКОМ  
РАЗВИТИЯ ПРОЛИФЕРАТИВНОЙ ВИТРЕОРЕТИНОПАТИИ

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛЕЧЕНИЯ ПЕЛЛЮЦИДНОЙ МАРГИНАЛЬНОЙ ДЕГЕНЕРАЦИИ РОГОВИЦЫ  
МЕТОДОМ РОГОВИЧНОГО КРОССЛИНКИНГА

<https://doi.org/10.17116/oftalma2017133330-36>

# Анализ биомеханических изменений роговицы после лазерного интрастромального кератомилеза с фемтолазерным сопровождением у детей с гиперметропической анизометропией

И.Л. КУЛИКОВА, О.В. ШЛЕНСКАЯ, Н.В. ЧАПУРИН

Чебоксарский филиал ФГБУ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, ул. Тракторостроителей, 10, Чебоксары, Чувашская Республика, Россия, 428000

**Цель** — анализ корнеального гистерезиса (КГ) роговицы и фактора резистентности роговицы (ФРР) с помощью анализатора биомеханических свойств глаза ORA («Reichert», США) до и после лазерного гиперметропического интрастромального кератомилеза с фемтолазерным сопровождением (фемтолАЗИК) у детей с анизометропией и определение факторов, влияющих на изменение этих параметров. **Материал и методы.** Исследование проводили до и через 1,5 года после фемтолАЗИК, выполненного на амблиопичном глазу у 28 пациентов в возрасте от 6 до 14 лет. До операции корреляция обнаружена между КГ и ФРР ( $r=0,41, p=0,03$ ). Не найдено корреляции между КГ и возрастом ( $r=-0,02, p=0,82$ ), между КГ ( $r=0,00, p=0,98$ ), ФРР ( $r=0,04, p=0,83$ ) и толщиной роговицы. **Результаты.** Среднее значение КГ до операции составляло  $12,56 \pm 1,21$  мм рт.ст., ФРР —  $12,31 \pm 1,57$  мм рт.ст. После операции отмечалось статистически значимое изменение КГ на  $0,97 \pm 1,51$  мм рт.ст. ( $p=0,002$ ), ФРР — на  $1,42 \pm 1,55$  мм рт.ст. ( $p=0,000$ ). Не найдено корреляции между КГ до и после операции ( $r=0,11, p=0,57$ ), между глубиной абляции и изменениями КГ ( $r=0,04, p=0,83$ ) и ФРР ( $r=0,21, p=0,28$ ). По данным линейного регрессионного анализа, изменения КГ ( $r^2=0,52, p=0,00$ ) и ФРР ( $r^2=0,48, p=0,00$ ) были тесно связаны с их дооперационными значениями. **Заключение.** По отношению к исходным данным статистически значимое изменение КГ и ФРР после гиперметропического фемтолАЗИК составило 8 и 12% соответственно. Изменения КГ и ФРР были связаны с их дооперационными значениями и не коррелировали с глубиной абляции и толщиной роговицы.

**Ключевые слова:** гистерезис роговицы, ORA, фемтолАЗИК, рефракционная хирургия у детей.

## Analysis of corneal biomechanical changes after femtosecond laser-assisted laser in situ keratomileusis in children with hyperopic anisometropia

I.L. KULIKOVA, O.V. SHLENSKAYA, N.V. CHAPURIN

Cheboksary branch of S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, 10 Traktorostroiteley St., Cheboksary, Chuvash Republic, Russia, 428000

**Aim** — to analyze corneal hysteresis (CH) and corneal resistance factor (RF) readings obtained with the Reichert Ocular Response Analyzer (ORA) before and after hyperopic femtolaser-assisted laser in situ keratomileusis (FS-LASIK) in children with anisometropia as well as to establish factors that may cause changes in these parameters. **Material and methods.** CH and RF were evaluated before and 1.5 years after FS-LASIK performed on amblyopic eyes of 28 patients aged 6-14 years. Preoperatively, there was a correlation between CH and RF ( $r=0.41, p=0.03$ ). No correlation was found between CH and age ( $r=-0.02, p=0.82$ ) or between CH ( $r=0.00, p=0.98$ ), RF ( $r=0.04, p=0.83$ ), and cornea thickness. **Results.** The mean preoperative CH was  $12.56 \pm 1.21$  mmHg, RF  $12.31 \pm 1.57$  mmHg. Postoperatively, a statistically significant change occurred to both CH (by  $0.97 \pm 1.51$  mmHg,  $p=0.002$ ) and RF (by  $1.42 \pm 1.55$  mmHg,  $p=0.000$ ). No correlation was found between CH before and after surgery ( $r=0.11, p=0.57$ ) as well as between the ablation depth and changes in CH ( $r=0.04, p=0.83$ ) and RF ( $r=0.21, p=0.28$ ). Regression analysis showed that the extent of CH ( $r^2=0.52, p=0.00$ ) and RF ( $r^2=0.48, p=0.00$ ) changes was closely related to their preoperative values. **Conclusion.** The statistically significant relative change in CH and RF after hyperopic FS-LASIK was 8% and 12%, respectively. CH and RF changes correlated with their preoperative values, but not with the ablation depth or cornea thickness.

**Keywords:** corneal hysteresis, ORA, FS-LASIK, refraction surgery in children.

Широкое применение кератофефракционных операций для коррекции различных аметропий все больше привлекает внимание офтальмологов с позиции их безопасности и влияния на исходный биомеханический статус роговицы. Чтобы лучше предсказать роль биомеханических факторов в рефракционной хирургии, была предложена модель тонкой сферической эластичной ракушки [1]. Эта модель предсказывает передний сдвиг в задней поверхно-

сти роговицы после миопического лазерного интрастромального кератомилеза (ЛАЗИК), однако данная теория оспаривается другими исследователями [2], поскольку не объясняет вязкоэластических свойств роговицы, которые имеют большое значение на основе данных, представленных при исследовании роговицы *in vivo* анализатором биомехани-

сти корреспонденции:

Кулакова Ирина Леонидовна — д-р мед. наук, зам. директора института по лечебной работе  
e-mail: koulikovail@mail.ru

ческих свойств глаза Ocular Response Analyser (ORA, «Reichert», США) [3, 4].

После лазерной фотоабляции в результате разрыва коллагеновых фибрill происходят тракция и сокращение поврежденных волокон по направлению к лимбу, вследствие чего роговица утолщается на границе абляции и в интактной зоне, а в месте абляции под действием тяги освобожденных фибрill оставшаяся часть каркаса роговицы уплощается [5]. Резекция клапана также сопровождается биомеханическим ответом роговицы в месте повреждения коллагеновых волокон [6]. Было показано, что на биомеханический ответ во время резекции клапана значительно влияют исходная толщина роговицы и диаметр формируемого клапана [7]. Создание тонкого роговичного клапана, более однородное и равномерное распределение стресса или лазерного воздействия по всей поверхности роговицы способствуют получению более высоких функциональных показателей и уменьшают ослабление биомеханических свойств роговицы [8].

Разница в результатах коррекции миопии и гиперметропии обусловлена разницей в конструкции абляции [9]. Сложный контур и резкие переходы гиперметропического профиля абляции вызывают более агрессивную гиперпластическую реакцию заживления, что обуславливает изменчивость топографических данных роговицы и уменьшение функциональной оптической зоны со временем [10]. В то же время выполняемая не в центре роговицы гиперметропическая коррекция в сравнении с миопической меньше ослабляет биомеханику роговицы [11].

С внедрением в педиатрическую практику кераторефракционных лазерных операций весьма актуален вопрос безопасности их применения и влияния на биомеханические свойства роговицы [12–14].

Корнеальный гистерезис (КГ) отражает вязкоэластические свойства роговицы и является индикатором целостности ее биомеханических свойств. Фактор резистентности роговицы (ФРР) является показателем суммарной резистентности роговицы и в свою очередь отражает упругие свойства роговицы [7, 8]. Оба показателя важны в оценке биомеханических изменений, связанных с ЛАЗИК. Имеются различия в КГ у детей с эмметропией, миопией и гиперметропией [15].

Цель исследования — определение КГ и ФРР с помощью анализатора биомеханических свойств глаза ORA до и в отдаленном периоде после лазерного интрастромального кератомилеза с фемтолазерным сопровождением (фемтолАЗИК) у детей с гиперметропией и анализ факторов, влияющих на изменение этих параметров.

## Материал и методы

В исследование вошли 28 пациентов в возрасте до 14 лет (средний возраст  $8,1 \pm 1,6$  года). Все па-

циенты прошли обследование по стандартной схеме. КГ и ФРР исследовали с помощью анализатора ORA («Reichert», США) на оба глаза. ORA отличается от традиционного пневмотонометра наличием электронно-оптической системы слежения за колебанием центральной зоны роговицы в момент действия воздушного импульса, что позволяет фиксировать два аппланационных значения давления. Разница между этими двумя значениями зависит от биомеханических (вязкоэластических) свойств роговицы и обозначается как КГ, который является индикатором сопротивления роговицы и индивидуален у каждого пациента.

Толщину роговицы и толщину клапана, сформированного фемтосекундным лазером, измеряли с помощью оптического когерентного томографа Visante OCT («Zeiss», Германия).

В исследование вошли дети с гиперметропической анизометропией более 4,0 дптр, прооперированные на один глаз в период с 2010 по 2013 г. До операции среднее значение манифестной рефракции сферического эквивалента амблиопичного глаза составляло в среднем  $(+4,83 \pm 1,22)$  дптр (диапазон  $(+3,95 - (+9,05)$  дптр), парного глаза  $(+0,91 \pm 0,54)$  дптр (диапазон  $(+0,55 - (+2,15)$  дптр)). Условием для хирургического лечения являлось отсутствие положительных результатов от традиционных методов лечения амблиопии, включая очковую, контактную коррекцию и плеоптическое аппаратное лечение. Целью операции являлось уменьшение анизометропии и создание условий для лечения амблиопии. Все родители дали согласие на лазерную операцию и последующее динамическое наблюдение и обследование детей. Критерием включения являлось отсутствие тяжелых соматических и глазных заболеваний.

ФемтолАЗИК выполняли по усовершенствованной технологии [16] с помощью эксимерного лазера Микроскан 500 Гц (Троицк, Россия) и фемтосекундного лазера 60 кГц («IntraLaseFS», США). Роговичный клапан диаметром 9–9,2 мм формировали на глубину 110 мкм, эксимерную фотоабляцию выполняли с диаметром центральной оптической зоны 6,5 мм и общей зоной абляции 8,8–8,9 мм. Безопасность используемой технологии была доказана в результате проведения серии экспериментальных и клинических исследований, опубликованных ранее [14, 17]. Операция и послеоперационный период без особенностей. Корнеопротекторы назначались в течение 3 или 6 мес в зависимости от данных функциональных проб и конфокальной микроскопии [18]. Обследование проводили через 3, 12 мес и окончательное измерение исследуемых параметров — через 1,5 года после операции.

Из описательной статистики были просчитаны следующие характеристики: среднее значение (*Mean*), стандартное отклонение (*SD*). Переменные

проверены на нормальность распределения по критерию Колмогорова—Смирнова. Оценка корреляционных взаимосвязей исследуемых показателей в оперированном глазу проводилась по методу Пирсона. Регрессионный анализ проводили для оценки взаимосвязи между глубиной абляции и послеоперационными биомеханическими изменениями в роговице. Статистический анализ результатов исследования выполнен с применением компьютерной программы Statistica 6.1, статистически значимым был признан уровень меньше 0,05.

## Результаты

Среднее значение КГ на парных глазах ( $n=28$ ) составило  $12,52 \pm 1,45$  мм рт.ст. (диапазон 10,3—14,5 мм рт.ст.), ФРР —  $12,45 \pm 1,72$  мм рт.ст. (диапазон 10,0—16,5 мм рт.ст.), на амблиопичных глазах ( $n=28$ ) —  $12,56 \pm 1,21$  мм рт.ст. (диапазон 10,6—15,1) и  $12,31 \pm 1,57$  (диапазон 9,8—17,1) мм рт.ст. соответственно. Среднее значение пахиметрии на амблиопичных глазах в центре составило  $565,00 \pm 34,68$  (диапазон 505—665) мкм и в 7-миллиметровой зоне —  $648,69 \pm 32,87$  (диапазон 601—733) мкм.

Не обнаружено статистически значимой разницы между данными КГ парного и амблиопичного глаза ( $p=0,92$ ). Средняя корреляция выявлена между КГ и ФРР парного глаза ( $r=0,40, p=0,05$ ) и между КГ и ФРР амблиопичного глаза ( $r=0,41, p=0,03$ ) (рис. 1). Высокая корреляция отмечена между данными пахиметрии в центре и в 7-миллиметровой зоне

( $r=0,88, p=0,00$ ). Не обнаружено корреляции между данными КГ и возрастом ( $r=-0,02, p=0,82$ ), между данными КГ амблиопичного глаза и пахиметрией в центре ( $r=0,00, p=0,98$ ), ФРР амблиопичного глаза и пахиметрией в центре ( $r=0,04, p=0,83$ ).

При выполнении гиперметропического фемтолАЗИК средняя глубина абляции в проекции переходной зоны (ориентировочно 7 мм от центра роговицы) составила  $115,34 \pm 17,57$  (диапазон 83,00—155,00) мкм. Параметры клапана, сформированного фемтосекундным лазером, по данным оптической когерентной томографии, выполненной на 2-й день после операции, составили  $110,44 \pm 5,41$  (диапазон 101—119) мкм.

Через 1,5 года на глазах после фемтолАЗИК ( $n=28$ ) среднее значение КГ составило  $11,59 \pm 1,05$  (диапазон 9,7—14,4) мм рт.ст., ФРР —  $10,89 \pm 1,21$  (диапазон 8,5—13,1) мм рт.ст. Статистически значимое изменение КГ на  $0,97 \pm 1,51$  (диапазон -2,4—3,5) мм рт.ст. ( $p=0,002$ ) и ФРР — на  $1,42 \pm 1,55$  (диапазон -2,0—4,9) мм рт.ст. ( $p=0,00$ ) после гиперметропического фемтолАЗИК было минимальным и составило 8 и 12% соответственно по отношению к исходным данным. В среднем пахиметрия в центре составила  $559,57 \pm 36,47$  (диапазон 500—644) мкм и изменилась на  $5,42 \pm 18,18$  (диапазон -28—38) мкм ( $p=0,14$ ), в 7-миллиметровой зоне —  $577,96 \pm 39,50$  (диапазон 529—661) мкм и изменилась на  $70,7 \pm 28,24$  (диапазон 31—135) мкм ( $p=0,00$ ) (см. таблицу).

Средняя корреляция обнаружена между данными КГ и ФРР до операции ( $r=0,41, p=0,03$ ), между

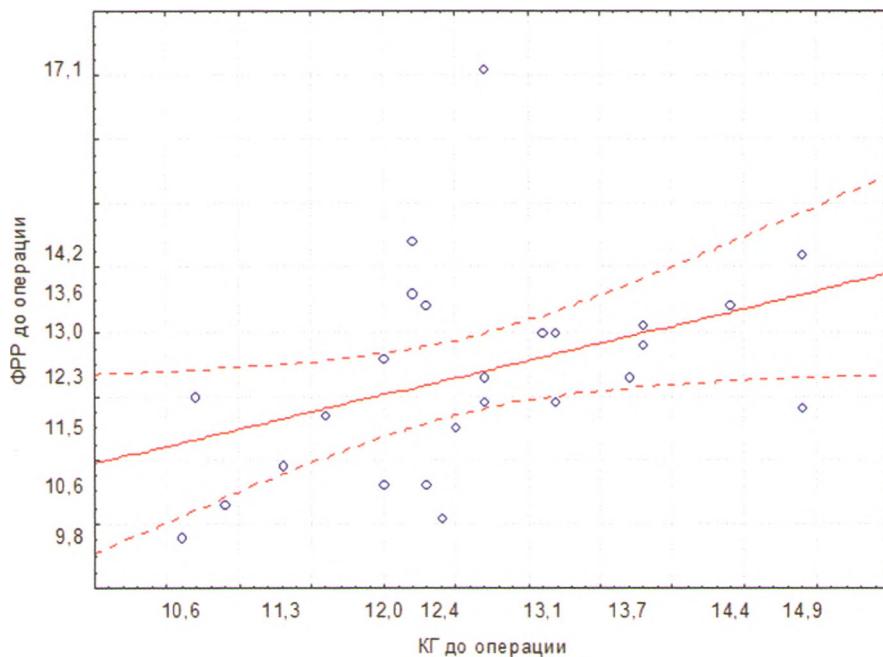


Рис.1. Корреляция между КГ и ФРР до гиперметропического фемтолАЗИК ( $r=0,42, p=0,03$ ).

Сравнительные данные КГ, ФРР, толщины роговицы в центре и в 7-миллиметровой зоне до и после гиперметропического фемтолАЗИК (Mean $\pm$ SD, диапазон, уровень статистической значимости  $<0,05$ ,  $n=28$ )

Параметр	До операции	Через 1,5 года после операции	Изменение	$p$
КГ, мм рт.ст.	$12,56 \pm 1,21$ (10,6–14,9)	$11,59 \pm 1,05$ (9,7–14,4)	$0,97 \pm 1,51$ (–2,4–3,5)	0,002
ФРР, мм рт.ст.	$12,31 \pm 1,57$ (9,8–17,1)	$10,89 \pm 1,21$ (8,5–13,1)	$1,42 \pm 1,55$ (–2,0–4,9)	0,000
Пахиметрия, мкм:				
в центре	$565,00 \pm 34,68$ (528–610)	$559,57 \pm 36,47$ (500–644)	$5,42 \pm 18,18$ (–28–38)	0,140
в 7-миллиметровой зоне	$648,69 \pm 32,87$ (601–733)	$577,96 \pm 39,50$ (529–661)	$70,7 \pm 28,24$ (31–135)	0,000

Примечание.  $p$  — тест Стьюдента.

КГ и ФРР после операции ( $r=0,68$ ,  $p=0,00$ ), между ФРР до и после операции ( $r=0,42$ ,  $p=0,04$ ), между ФРР после операции и изменением пахиметрии в 7-миллиметровой зоне ( $r=0,48$ ,  $p=0,01$ ). Средняя корреляция выявлена между послеоперационными данными пахиметрии в центре и в 7-миллиметровой зоне ( $r=0,64$ ,  $p=0,00$ ), между данными пахиметрии в центре до и 7-миллиметровой зоне после операции

( $r=0,60$ ,  $p=0,00$ ); высокая корреляция — между значениями пахиметрии в центре до и после операции ( $r=0,87$ ,  $p=0,00$ ) и между показателями пахиметрии в 7-миллиметровой зоне до и после операции ( $r=0,70$ ,  $p=0,00$ ).

Не обнаружено достоверной корреляции между КГ до и после операции ( $r=0,11$ ,  $p=0,57$ ), КГ после операции и глубиной абляции ( $r=0,04$ ,  $p=0,83$ ), ФРР после операции и глубиной абляции ( $r=0,21$ ,  $p=0,28$ ), КГ после операции и значениями пахиметрии в центре ( $r=-0,09$ ,  $p=0,65$ ), КГ после операции и изменением пахиметрии в центре ( $r=-0,01$ ,  $p=0,95$ ).

По данным регрессионного анализа, изменения КГ ( $r=-0,07$ ,  $p=0,73$ ) и ФРР ( $r=-0,25$ ,  $p=0,20$ ) не были связаны с глубиной абляции (рис. 2). Основные изменения КГ и ФРР объяснялись предоперационными значениями КГ ( $r^2=0,52$ ,  $p=0,00$ ) и ФРР ( $r^2=0,48$ ,  $p=0,00$ ) (рис. 3, 4).

## Обсуждение

В настоящем исследовании оценивались данные КГ и ФРР у детей до и в отдаленном периоде после гиперметропического фемтолАЗИК. Мы не нашли значимой разницы в показателях КГ на парном глазу, где рефракция была близка к эмметропии.

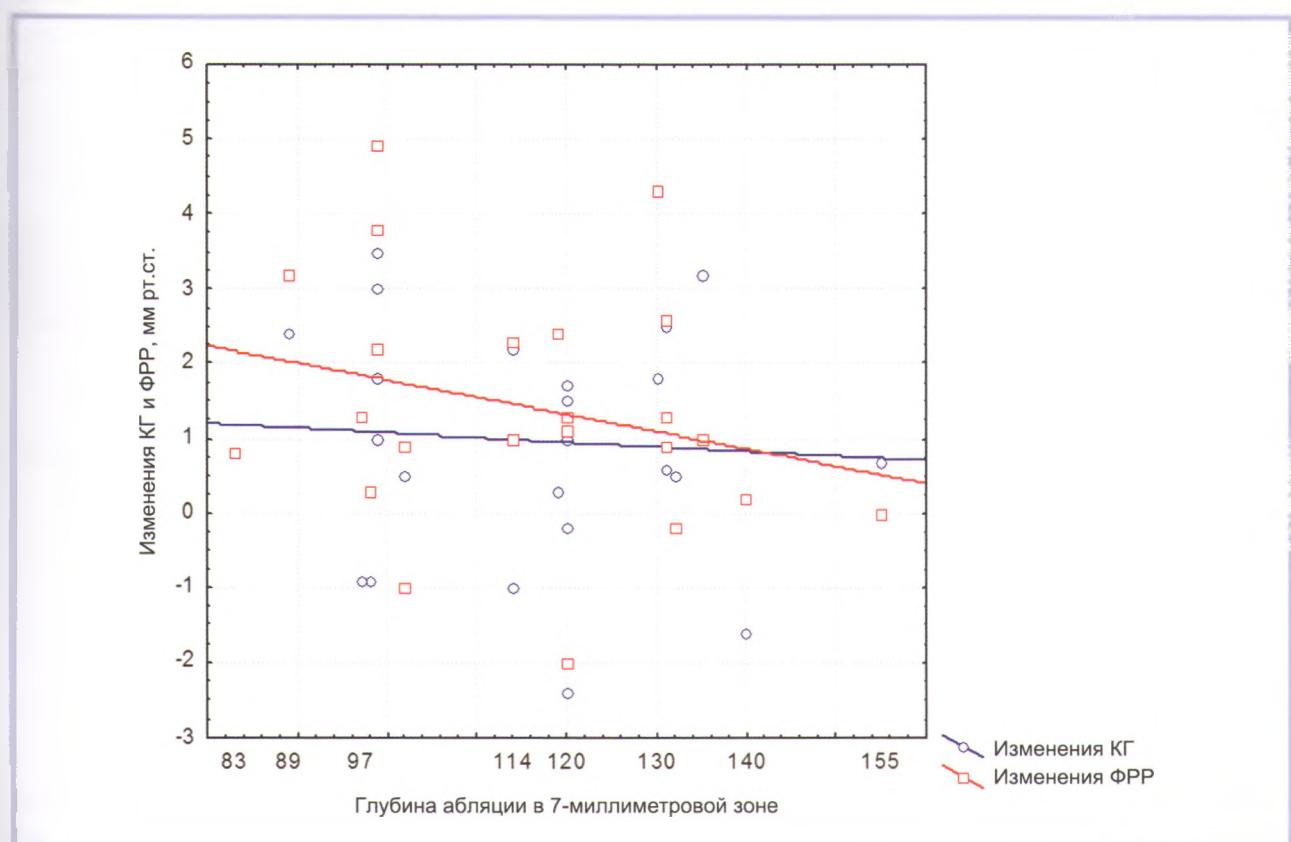


Рис.2. Линейная регрессия изменения КГ ( $r^2=0,005$ ,  $p=0,73$ ) и ФРР ( $r^2=0,066$ ,  $p=0,20$ ) в зависимости от глубины абляции (в мкм) после гиперметропического фемтолАЗИК.

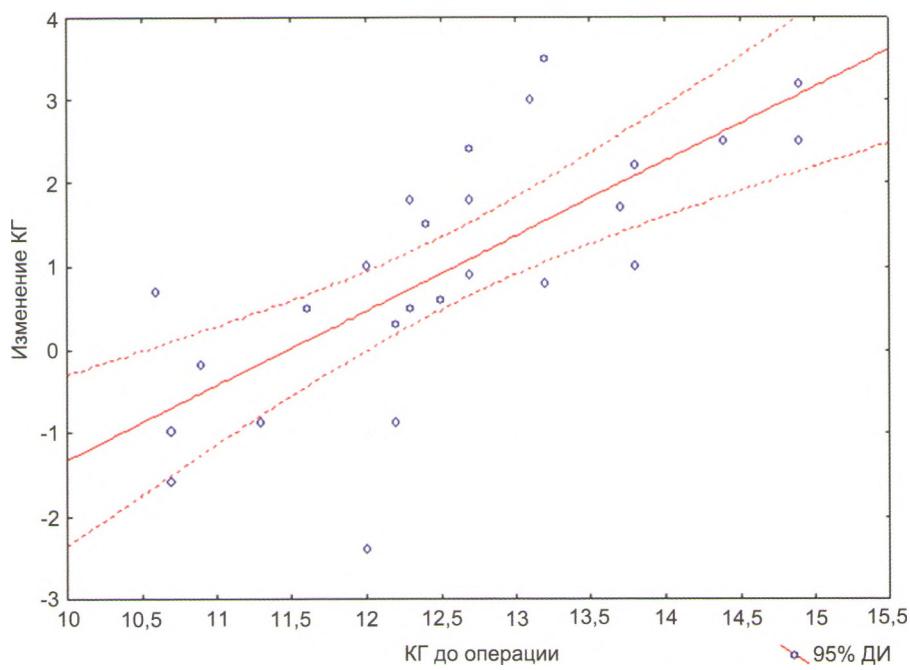


Рис.3. Линейная регрессия изменения КГ после гиперметропического фемтолАЗИК в зависимости от предоперационных данных КГ ( $r^2=0,52$ ,  $p=0,00$ ).

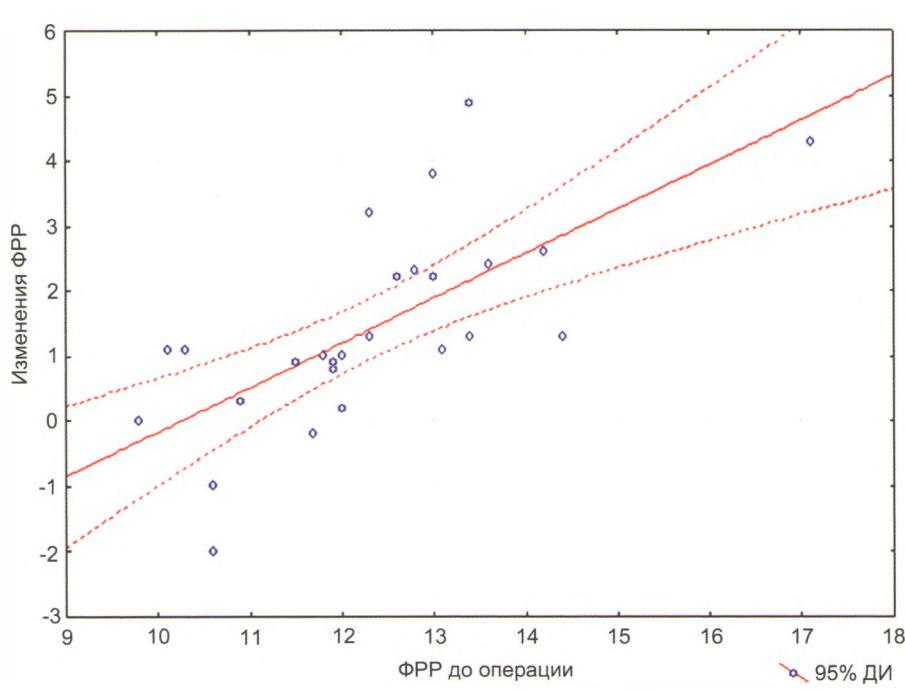


Рис.4. Линейная регрессия изменения ФПР при гиперметропическом фемтолАЗИК в зависимости от предоперационных данных ФПР ( $r^2=0,48$ ,  $p=0,00$ ).

пии, и амблиопичном глазу с гиперметропией. До операции среднее значение КГ составляло  $12,56 \pm 1,21$  мм рт.ст., корреляции с возрастом мы не обнаружили, что не противоречит данным других

авторов [15, 19]. По данным литературы, среднее значение КГ у взрослых в норме составляет  $10,8 \pm 1,4$  мм рт.ст. Несмотря на то что корреляции КГ с возрастом в нашем исследовании не найдено,

разница в показателях КГ у детей и взрослых, по данным литературы, все же существует [20].

Были получены статистически значимые, но незначительные изменения КГ и ФРР, что, по нашему мнению, связано с исходными значениями этих показателей, а также особенностями гиперметропического профиля абляции [9] и преимуществами используемой нами технологии [16]. Это согласуется с данными других публикаций, в которых авторы подчеркивают, что использование фемтосекундного лазера для формирования тонкого равномерного клапана сводит к минимуму влияние этого этапа операции на биомеханику роговицы за счет минимального травматического воздействия на коллагеновые фибрillы роговицы [14, 21], а равномерное распределение воздействия с использованием больших оптических и переходных зон способствует контролированию биомеханического ответа и улучшает прогноз рефракционной операции [10, 14].

По данным литературы, при выполнении миопической коррекции с помощью ЛАЗИК изменение КГ и ФРР более выражено в сравнении с таковым при гиперметропической коррекции [22, 23], и имеется корреляция между КГ и толщиной роговицы до и после операции, в том числе у детей [15, 20]. При анализе обследования 84 пациентов в возрасте от 21 года до 64 лет авторами была найдена средняя статистически значимая корреляция между толщиной роговицы в центре и КГ ( $r=0,6$ ,  $p<0,01$ ) [20]. Другими авторами обнаружена высокая корреляция между КГ и ФРР с толщиной роговицы в центре ( $p<0,0001$ ) при анализе исследований 293 глаз здоровых детей в возрасте от 6 до 17 лет [15].

Мы не нашли статистически значимой корреляции между КГ и толщиной роговицы, ФРР и толщиной роговицы как до, так и после операции, что, возможно, связано с небольшим количеством обследованных. Однако была отмечена слабая, но статистически не значимая корреляция между постоперационным значением ФРР с глубиной абляции ( $r=0,21$ ,  $p=0,28$ ) и исходной толщиной роговицы в центре ( $r=0,28$ ,  $p=0,15$ ).

Эктазия роговицы после гиперметропического ЛАЗИК — явление крайне редкое [11]. При коррекции гиперметропии воздействие идет не в центре роговицы, который является самым уязвимым местом, а ближе к периферии в паракентральной зоне, где не только толщина, но и структура роговицы отличаются от ее центральных отделов [24]. Сегодня стало очевидным, что резистентность ткани и профиль поверхности роговицы являются индивидуальными характеристиками у каждого пациента. Поэтому при равных условиях лишь у ряда пациентов выявляются факторы риска кератэкзазии. В насторожнее время абляция свыше 100 мкм при коррекции миопии относится к факторам риска и для

предупреждения ослабления роговицы при выполнении ЛАЗИК не рекомендуется коррекция выше (-)15,0 дптр [25].

Нами не обнаружено корреляции между КГ, ФРР и глубиной абляции, что согласуется с данными других авторов [20, 22]. Мы также не нашли корреляции между КГ до и после операции. Однако найдена средняя корреляция между КГ и ФРР до и после операции, между ФРР после операции и изменением пахиметрии в 7-миллиметровой зоне. Было определено прямое влияние исходных значений КГ и ФРР на их изменения после фемтолАЗИК. Предоперационные значения КГ и ФРР являются более важными прогностическими факторами, чем объем и глубина абляции. Эти результаты согласуются с данными других исследователей, которые полагают, что предоперационный биомеханический статус роговицы важнее объема абляции для коррекции любых аметропий [21].

Таким образом, мы не нашли связи между глубиной абляции, послеоперационной толщиной роговицы и изменениями КГ с ФРР при выполнении гиперметропического фемтолАЗИК. Изменения КГ и ФРР в нашем исследовании при средней глубине абляции в проекции переходной зоны  $115,34\pm17,57$  (диапазон 83,00—155,00) мкм были статистически значимыми, но незначительными по отношению к исходным данным и в сравнении с данными, полученными другими авторами при выполнении миопической коррекции [20, 22, 23]. Поэтому пространственное распределение абляции (центральное или паракентральное) играет важную роль в характере влияния на биомеханику роговицы после операции.

Полученные данные о состоянии биомеханического статуса роговицы в отдаленном периоде после гиперметропического фемтолАЗИК свидетельствуют о безопасности применяемой нами технологии. Рефракционная хирургия влияет на биомеханические свойства роговицы, и для благоприятного исхода операции необходимо учитывать базисную структуру роговицы, ее ответную реакцию и исходное состояние биомеханических показателей. Для получения более достоверных данных исследования по этой проблеме будут продолжены.

## Заключение

Через 1,5 года после гиперметропического фемтолАЗИК у детей показатели КГ, ФРР и пахиметрии в 7-миллиметровой зоне роговицы статистически значимо отличались от дооперационных данных. По отношению к исходным значениям изменение КГ и ФРР составило 8 и 12% соответственно. Послеоперационные изменения корнеального гистерезиса и фактора резистентности были связаны с их дооперационными значениями и не корре-

лировали с глубиной абляции и толщиной роговицы. КГ и ФРР являются важными показателями в оценке биомеханического статуса роговицы после рефракционной хирургии.

#### Участие авторов:

Концепция и дизайн исследования: И.К.

Сбор и обработка материала: И.К., О.Ш., Н.Ч.  
Статистическая обработка данных: И.К., О.Ш.  
Написание текста: И.К.  
Редактирование: И.К.

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Guirao A. Theoretical elastic response of the cornea to refractive surgery: risk factors for keratectasia. *J Refract Surg.* 2005;21:176-185.
2. Grzybowski DM, Roberts C, Mahmoud AM, Chang JS. Model for nonectatic increase in posterior corneal elevation after ablative procedures. *J Cataract Refract Surg.* 2005;31:72-81. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2004.10.045>
3. Luce DA. Determining in vivo biomechanical properties of the cornea with an ocular response analyzer. *J Cataract Refract Surg.* 2005;31:156-162. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2004.10.044>
4. Gatinel D, Chaabouni S. Corneal hysteresis, resistance factor, topography, and pachymetry after corneal lamellar flap. *J Refract Surg.* 2007;23:76-84. <https://doi.org/10.1111/j.1755-3768.2008.5254.x>
5. Roberts C. The cornea is not a piece of plastic. *J Refract Surg.* 2000;16:407-413.
6. Porter J, MacRae S, Yoon G, Roberts C, Cox IG, Williams DR. Separate effects of the microkeratome incision and laser ablation on the eyes wave aberrations. *Am J Ophthalmology.* 2003;136:327-337. [https://doi.org/10.1016/S0002-9394\(03\)00222-8](https://doi.org/10.1016/S0002-9394(03)00222-8)
7. Potgieter FJ, Roberts C, Cox IG, Mahmoud AM, Herderick EE, Roetz M, Steenkamp W. Prediction of flap response. *J Cataract Refract Surg.* 2005;31:106-114. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2004.09.044>
8. Dupps WJ Jr, Roberts C. Effect of acute biomechanical changes on corneal curvature after photokeratectomy. *J Refract Surg.* 2001;17(6):658-669.
9. Qazi MA, Roberts CJ, Mahmoud AM, Pepose JS. Topographic and biomechanical differences between hyperopic and myopic laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg.* 2005;31:48-59. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2004.10.043>
10. Gomez-Sanz F, Baviera J. Factors that influence outcomes of hyperopic laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg.* 2002;28:1530-1538. [https://doi.org/10.1016/S0886-3350\(02\)01367-6](https://doi.org/10.1016/S0886-3350(02)01367-6)
11. Randleman JB, Banning CS, Stulting RD. Corneal ectasia after hyperopic LASIK. *J Refract Surg.* 2007;23:98-102.
12. Pausas E. Refractive surgery in children: is it ready for prime time? *Am J Ophthalmol.* 2007;57:79-88. <https://doi.org/10.3368/aoj.57.1.79>
13. Alio JL. Pediatric refractive surgery and its role in the treatment of amblyopia: meta-analysis of the peer-reviewed literature. *J of Refract Surg.* 2011;27(5):364-374. <https://doi.org/10.3928/1081597x-20100831-01>
14. Куликова И.Л., Паштаев Н.П. *Керато-рефракционная лазерная хирургия в реабилитации детей и подростков с гиперметропической рефракцией.* М.: Офтальмология; 2012. [Kulikova IL, Pashtaev NP. *Keratorefraktionsnaya lazernaya kirurgiya v reabilitatsii detei i podrostkov s gipermetropicheskoi refraktsiei.* M.: Oftal'mologiya; 2012. (In Russ.)]
15. Bueno-Gimeno I, España-Gregori E, Gene-Sampedro A, Lanzagorta-Aresti A, Piñero-Llorens DP. Relationship among corneal biomechanics, refractive error, and axial length. *Optom Vis Sci.* 2014;91(5):507-513. <https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000000023>
16. Патент РФ на изобретение 2369369/23.04.08. Бюл. №28. Паштаев Н.П., Куликова И.Л. Способ хирургического лечения гиперметропической анизометропии у детей. Ссылка активна на 08.04.2016. Доступно по: [http://www1.fips.ru/fips\\_servl/fips\\_servlet](http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet) [Patent RF na izobretenie 2369369/23.04.08. Byul. №28. Pashtaev NP, Kulikova IL. Sposob khirurgicheskogo lecheniya gipermetropicheskoi anizometropii u detei. Ssylka aktivna na 08.04.2016. Dostupno po: http://www1.fips.ru/fips\_servl/fips\_servlet (In Russ.)]
17. Шленская О.В., Куликова И.Л., Паштаев Н.П. Плотность кератоцитов и интенсивность светорассеяния после керато-рефракционных операций у детей по данным конфокальной микроскопии. *Практическая медицина.* 2012;2(4):48-50. [Shlenskaya OV, Kulikova IL, Pashtaev NP. The density of keratocytes and intensity of light dispersion in children after kerato-refractive surgeries according to confocal microscopy data. *Prakticheskaya meditsina.* 2012;2(4):48-50. (In Russ.)]
18. Шленская О.В., Куликова И.Л., Паштаев Н.П. Морфофункциональные изменения передней поверхности глаза после IntraLASIK у детей. *Вестник Оренбургского государственного университета.* 2011;14:412-415. [Shlenskaya OV, Kulikova IL, Pashtaev NP. Morphofunctional changes of anterior eye surface after IntraLasik in children. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta.* 2011;14:412-415. (In Russ.)]
19. Kirwan C, O'Keefe M, Lanigan B. Corneal hysteresis and intraocular pressure measurement in children using the Reichert Ocular Response Analyzer. *Am J Ophthalmol.* 2006;142:990-992. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2006.07.058>
20. Kirwan C, O'Keefe M. Corneal hysteresis using the Reichert ocular response analyser: findings pre- and post-LASIK and LASEK. *Acta Ophthalmol.* 2008;86:215-218. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0420.2007.01023.x>
21. Hamilton DR, Johnson RD, Lee N, Bourala N. Differences in the cornea biomechanical effects of surface ablation compared with laser in situ keratomileusis using a microkeratome or femtosecond laser. *J Cataract Refract Surg.* 2008;34(12):2049-2056. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2008.08.021>
22. de Medeiros FW, Sinha-Roy A, Alves MR, Wilson SE, Dupps WJ. Differences in the early biomechanical effects of hyperopic and myopic laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg.* 2010;36(6):947-953. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2009.12.032>
23. Shah S, Laiquzzaman M, Yeung I, Pan X, Roberts C. The use of the Ocular Response Analyser to determine corneal hysteresis in eyes before and after excimer laser refractive surgery. *Cont Lens Anterior Eye.* 2009;32(3):123-128. <https://doi.org/10.1016/j.clae.2009.02.005>
24. Smolin G, Thoft R. *The cornea: scientific foundations and clinical practice.* Little Brown and Company: Third Edition Copyright; 1994.
25. Alio LJ, Soria F, Abbouda A, Pena-Garcia P. Laser in situ keratomileusis for -6.00 to -18.00 D of myopia and up to -5.00 D of astigmatism: 15-year follow-up. *J Cataract Refract Surg.* 2015;(1):33-40. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2014.08.029>

Поступила 13.10.2016