



Научная статья

DOI: 10.15593/RZhBiomeh/2024.2.01

УДК 531/534: [57+61]

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЛАЗЕРНОЙ КОРРЕКЦИИ ГИПЕРМЕТРОПИИ МЕТОДАМИ КЛАСТЕРНОГО И ДИСКРИМИНАНТНОГО АНАЛИЗА

И.Л. Куликова¹, С.М. Пикусова¹, В.В. Корников², Б.Н. Давыденко², С.М. Бауэр²

¹ Национальный медицинский исследовательский центр «Микрохирургия глаза», Чебоксары, Российская Федерация

² Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Российская Федерация

О СТАТЬЕ

Получена: 24 февраля 2024
Одобрена: 17 апреля 2024
Принята к публикации: 05 июня 2024

Ключевые слова:

лазерная коррекция зрения, кераторефракционные операции, гиперметропия, ФемтоЛАЗИК

АННОТАЦИЯ

Статистическими методами решается задача оценки рефракционных результатов у Проблема оптимизации рефракционно-лазерных операций для коррекции гиперметропии остается актуальной, поскольку современные методы кераторефракционной хирургии гиперметропии уступают по предсказуемости, эффективности и стабильности результатам коррекции миопии. В нерандомизированное ретроспективное исследование включены результаты 161 пациента, которым проведена лазерная коррекция методом ФемтоЛАЗИК в Чебоксарском филиале ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза». Средний возраст пациентов составил 41,9 лет. Оценка проводилась до операции и на третий день после нее с использованием стандартных методов обследования, включая определение некорригированной и максимально корригированной остроты зрения, рефрактометрию, бесконтактную тонометрию, биомикроскопию, кератотопографию, обследование на анализаторе переднего сегмента глаза, осмотр глазного дна и другие показатели. С помощью кластерного и дискриминантного анализов среди пациентов выделена «группа риска», в которой после операции была получена наименьшая точность послеоперационного сферозэквивалента и наиболее низкие показатели остроты зрения. Построено правило, согласно которому можно отнести тот или иной глаз к одной из полученных групп. Наилучшие рефракционные результаты получены в группе с гиперметропией слабой степени, к «группе риска» отнесли пациентов с гиперметропией высокой степени без или в сочетании с астигматизмом. Парные сравнения показали, что случаи из «группы риска» чаще оказываются в группах с наибольшим (по модулю) цилиндрическим компонентом рефракции и наименьшим сферозэквивалентом после операции, что объясняет низкие показатели некорригированной и максимально корригированной остроты зрения. Высокая степень гиперметропии требует большего времени лазерной абляции, что может приводить к высушиванию роговицы и неравномерности абляции, а также к индуцированию аберраций высшего порядка и формированию астигматизма. Аккомодационные нарушения у пациентов с гиперметропией могут приводить к длительной миопической рефракции после операции. Коррекция гиперметропии слабой и средней степени методом ФемтоЛАЗИК демонстрирует более точные результаты по сравнению с коррекцией высокой степени. Для улучшения результатов необходимо учитывать степень гиперметропии, возраст, тонус аккомодационного аппарата глаза, наличие оптической коррекции, характер бинокулярного взаимодействия и угол Каппа при планировании операции и послеоперационном ведении. Эти меры могут привести к более предсказуемым и стабильным результатам, уменьшить риск осложнений и повысить удовлетворенность пациентов проведенным лечением.

- © Куликова Ирина Леонидовна – д.м.н., врач-офтальмолог, зам. директора
© Пикусова Светлана Михайловна – м. н. с., врач-офтальмолог
© Корников Владимир Васильевич – к.ф.-м.н., доцент, email: ykornikov@mail.ru
© Давыденко Богдан Николаевич – студент
© Бауэр Светлана Михайловна – д.ф.-м.н., профессор, e-mail: s_bauer@mail.ru

iD 0000-0001-5320-8524
iD 0000-0003-3999-1369
iD 0000-0002-4888-4381
iD 0009-0002-0338-7936
iD 0000-0003-3732-2110



Эта статья доступна в соответствии с условиями лицензии Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

Введение

Поиск путей оптимизации технических параметров рефракционно-лазерных операций, направленных на коррекцию гиперметропии, является актуальным и до конца не решенным на сегодняшний день вопросом. Несмотря на большой прогресс и высокие клинико-функциональные результаты, достигнутые при лазерной коррекции миопии, кераторефракционная хирургия гиперметропии по-прежнему уступает в предсказуемости, эффективности и стабильности рефракционного эффекта [1–3]. Невзирая на тенденцию последних двух десятилетий, которые показывают увеличение частоты встречаемости миопической рефракции [4, 5], пациенты с гиперметропией все еще составляют существенную часть приема рефракционно-лазерных хирургов и не желают использовать средства оптической коррекции, такие как очки и контактные линзы. По данным современных исследований, частота встречаемости гиперметропии может составлять от 4,4 до 57 %, что зависит от вида, методологии и дизайна исследования, места его проведения, а также расовой принадлежности и возрастного состава изучаемой группы населения [6].

Частота обращений пациентов с гиперметропией в отделения лазерной коррекции зрения увеличивается с возрастом по мере их приближения к моменту наступления возрастной дальнозоркости, когда на врожденную степень гиперметропии наслаивается пресбиопия [7]. Причем известно, что пресбиопия у пациентов с гиперметропией наступает тем раньше, чем выше степень исходной гиперметропии. Пациенты молодого возраста со слабой и даже средней степенью гиперметропии могут не испытывать существенных проблем и даже не подозревать о наличии гиперметропии за счет поддержания высокой некорригированной остроты зрения постоянным напряжением работы аккомодационного аппарата глаза. Однако с возрастом, по мере того как резервные возможности аккомодационного аппарата глаза иссякают вследствие приближения к пресбиопии, гиперметропия из скрытой переходит в явную и вызывает существенные астенопические жалобы, включающие в себя боли в глазах, надбровных дугах, висках, особенно после длительных зрительных нагрузок, нечеткость зрения, трудности фокусировки, повышенную утомляемость и т. д. Следует отметить, что некорригированная гиперметропия высокой степени всегда сопровождается астенопическими жалобами [8].

Среди известных на сегодняшний день методов кераторефракционных операций лазерный кератомилез *in situ* с фемтосекундным сопровождением (ФемтоЛАЗИК) по-прежнему занимает лидирующее положение, продемонстрировав наилучшие клинико-функциональные результаты [9–11]. Несмотря на увеличение количества публикаций по коррекции гиперметропии методом рефракционной экстракции линтикулы (*SMILE*) [12], эта технология остается на стадии клинических испытаний, имеет ограниченный диапазон корригируемой степени

гиперметропии, а также недоступна в Российской Федерации [13]. Известно, что коррекция гиперметропии слабой и средней степени имеет лучшие показатели безопасности, эффективности, предсказуемости и стабильности рефракционного результата, чем коррекция гиперметропии высокой степени. Коррекция гиперметропии высокой степени все еще остается проблемой в отрасли лазерной коррекции зрения, поскольку не отличается высокими клинико-функциональными результатами [14–16], и часто этой группе пациентов предлагается фактоэмульсификация прозрачного хрусталика [17, 18].

Сложности и проблемы эксимерлазерной коррекции гиперметропии вызваны особой конфигурацией профиля абляции. В результате испарения части стромы роговицы в виде кольца на средней периферии, ее центр приобретает более выпуклую форму, за счет чего достигается рефракционный эффект. Увеличение оптической силы роговицы в центре происходит вторично вследствие первичного эксимерлазерного воздействия на средней периферии, а потому менее прогнозируемо по сравнению с миопической абляцией. При миопии абляция стромы роговицы происходит в центральной зоне, что вызывает большую точность попадания послеоперационного сферозэквивалента в оптимальный запланированный диапазон рефракции [2, 3, 19]. Качество зрения, формируемое после коррекции гиперметропии методом ФемтоЛАЗИК, отстает от качества зрения после коррекции миопии за счет индуцирования большего количества aberrаций высшего порядка [20–22]. Синдром «сухого глаза», возникающий после коррекции гиперметропии в большей степени, чем после коррекции миопии за счет особенностей формы профиля гиперметропической абляции, может значительно влиять на качество жизни после операции, вызывая флюктуации остроты зрения в послеоперационном периоде [22, 23]. Зависимость рефракционного эффекта при коррекции гиперметропии от исходной кератометрии не позволяет корректировать гиперметропию высокой степени в сочетании с «крутой» роговицей, что ограничивает возможность применения этого метода оперативного лечения у данной группы пациентов [40]. Все эти причины заставляют офтальмохирургов искать новые пути и способы коррекции гиперметропии, чтобы повысить уровень независимости пациентов от очковой и контактной коррекции зрения, удовлетворенность пациентов проведенным оперативным лечением и качество их жизни.

Материалы и методы

В данное нерандомизированное ретроспективное исследование вошли результаты 161 пациента (161 глаз), которым была проведена лазерная коррекция методом ФемтоЛАЗИК по поводу гиперметропии и гиперметропического астигматизма. Все операции были проведены в Чебоксарском филиале ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» МЗ РФ.

Средний возраст пациентов составил 41,9 года. Все пациенты прошли стандартное обследование, необходимое для проведения рефракционно-лазерной операции, включающее в себя определение некорригированной (НОЗ) и максимально корригированной остроты зрения (МКОЗ) с помощью фороптора CV-5000 (Topcon, Япония), рефрактометрии на авторефрактометре RC-5000 (Tomey, Япония), бесконтактную тонометрию на пневмотонометре Reichert 7 (США), биомикроскопию на настольной щелевой лампе S360 (MediWorks, Китай), кератотопографию (кератотопограф TMS-4, Tomey, Япония), обследование на анализаторе переднего сегмента глаза Pentacam (Oculus, Германия), осмотр глазного дна трехзеркальной линзой Гольдмана (Keeler, США). Проводилась оценка показателей до операции и на 3-й день после операции (при выписке).

В процессе статистического анализа данных учитывались следующие показатели:

- НОЗ – некорригированная острота зрения;
- МКОЗ – максимально корригированная острота зрения;
- *sph* – сферический компонент рефракции, полученный в процессе визометрии;
- *cyl* – цилиндрический компонент рефракции, полученный в процессе визометрии;
- *sph(Rk)* – сферический компонент рефракции, полученный в результате авторефрактокератометрии;
- *cyl(Rk)* – цилиндрический компонента рефракции, полученный в результате авторефрактокератометрии;
- СЭ – сферозэквивалент рефракции;
- средняя кератометрия.
- Для интерпретации результатов были использованы следующие данные:
- возраст пациентов;
- степень гиперметропии;
- наличие астигматизма;
- степень амблиопии;
- наличие пресбиопии.

Деление гиперметропии по степеням проводилось в соответствии со следующими критериями: к гиперметропии слабой степени относились случаи, когда рефракция меридиана с большей степенью аметропии не превышала +2,0 дптр; средней степени – от +2,25 до +5,0 дптр; высокой степени – от +5,25 дптр. К амблиопии слабой степени относились случаи, когда МКОЗ составляла от 0,4 до 0,8; средней степени – 0,2–0,3; высокой степени – 0,05 – 0,1.

Сферозэквивалент рефракции рассчитывался по формуле $СЭ = sph(Rk) + 0,5 \cdot cyl(Rk)$.

Также из выборки были исключены случаи с резко выделяющимися значениями по каким-либо параметрам (выбросы) [24, 25]. После исключения выбросов из исследуемой выборки общее количество случаев составило 161 глаз.

Кластеризация

Кластеризация наблюдений до и после операции проводилась одним и тем же методом – минимизацией функционала

$$F_{disp} = \sum_p \sum_{x \in K_p} l^2 [x_i, \overline{x_{K_p}}],$$

где l – Хеммингово (манхэттенское) расстояние [1, 8].

Такой функционал отражает сумму внутригрупповых дисперсий, а значит, кластеры формируются так, чтобы разброс значений внутри каждого из них был минимальным. Оптимальное количество кластеров определялось методом локтевой точки.

Кластеры, полученные группировкой данных «до операции», интерпретируются следующим образом:

1. Глаза с астигматизмом и высокой степенью гиперметропии.
2. Глаза с низкой степенью гиперметропии и без астигматизма. В основном без амблиопии, в отличие от остальных кластеров.
3. Глаза с астигматизмом, средней степенью гиперметропии.
4. Глаза без астигматизма, с высокой степенью гиперметропии.

Такая интерпретация кластеров основана на распределениях параметров и согласуется с поставленными диагнозами, что можно наблюдать на круговых диаграммах.

На диаграммах астигматизма: 0 – доля глаз без астигматизма, 1 – доля глаз с астигматизмом. Степени гиперметропии: 1 – слабая степень, 2 – средняя степень 3 – высокая степень (рис. 1).

Кластеры, полученные группировкой данных «при выписке», интерпретируются так:

1. Глаза с оставшимся после операции или индуцированным значительным астигматизмом.
2. Глаза без астигматизма со сферозэквивалентом рефракции, близким к 0. Возможно, это кластер глаз с наилучшим результатом операции.
3. Глаза с сильным сдвигом рефракции в сторону миопии, с некоторым астигматизмом.
4. Глаза с незначительным сдвигом рефракции в сторону миопии, в основном без астигматизма.

На рис. 2 заметно, что полученные кластеры слабо связаны с поставленными ранее диагнозами, хотя и сильно различаются по параметрам. Это может означать, что только по диагнозу нельзя сказать ничего о результате данной операции.

Таким образом, с помощью кластеризации получены два разбиения исходной группы из 161 глаза: первое – по измерениям рефракции до операции, второе – по измерениям рефракции при выписке.

Дискриминантный анализ

Для практического использования результатов кла-



Рис. 1. Диаграммы поставленных диагнозов в кластерах «до операции»

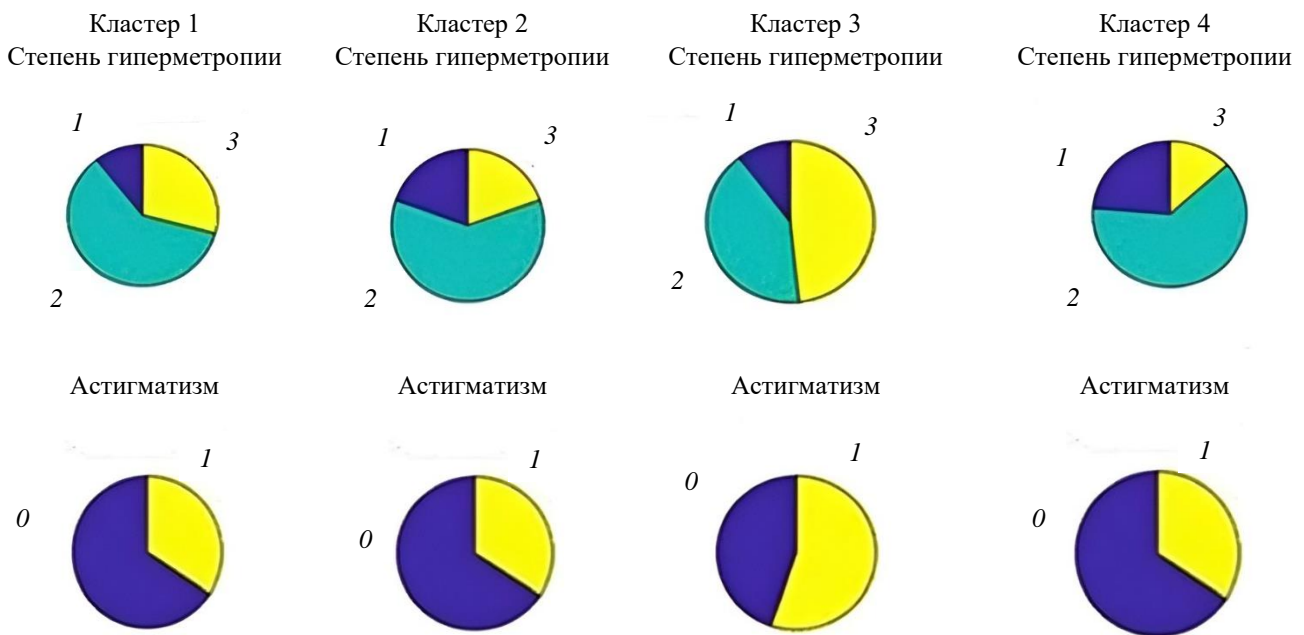


Рис. 2. Диаграммы поставленных диагнозов в кластерах «при выписке»

стеризации необходимо построить правило, согласно которому можно включить глаз в ту или иную группу. Это решалось с помощью дискриминантного анализа [3].

Пусть x – вектор параметров, соответствующих некоторому глазу (НОЗ, МКОЗ, sph , $sph(Rk)$, cyl , $cyl(Rk)$, СЭ). Этот глаз включается в группу под номером i , если для всех $j \neq i$ выполняется:

$$\left[x - \frac{1}{2}(a_i + a_j) \right] \times \sum^{-1} \times (a_i - a_j)^T \geq \ln \left(\frac{v_j}{v_i} \right),$$

где a_i – вектор средних значений параметров глаз из группы j ,

\sum^{-1} – матрица ковариации, v_j – частота появления глаз из группы j в совокупности.

После группировки исходной выборки по полученным правилам новые группы несколько отличаются от кластеров.

Ниже представлены описания этих групп. Несмотря на некоторые различия, такая группировка глаз совпадает с кластерами по смыслу. Подробное описание групп наглядно представлено на рис. 3 и 4.

Группы «до операции»:

1. Глаза с астигматизмом и гиперметропией высокой степени.

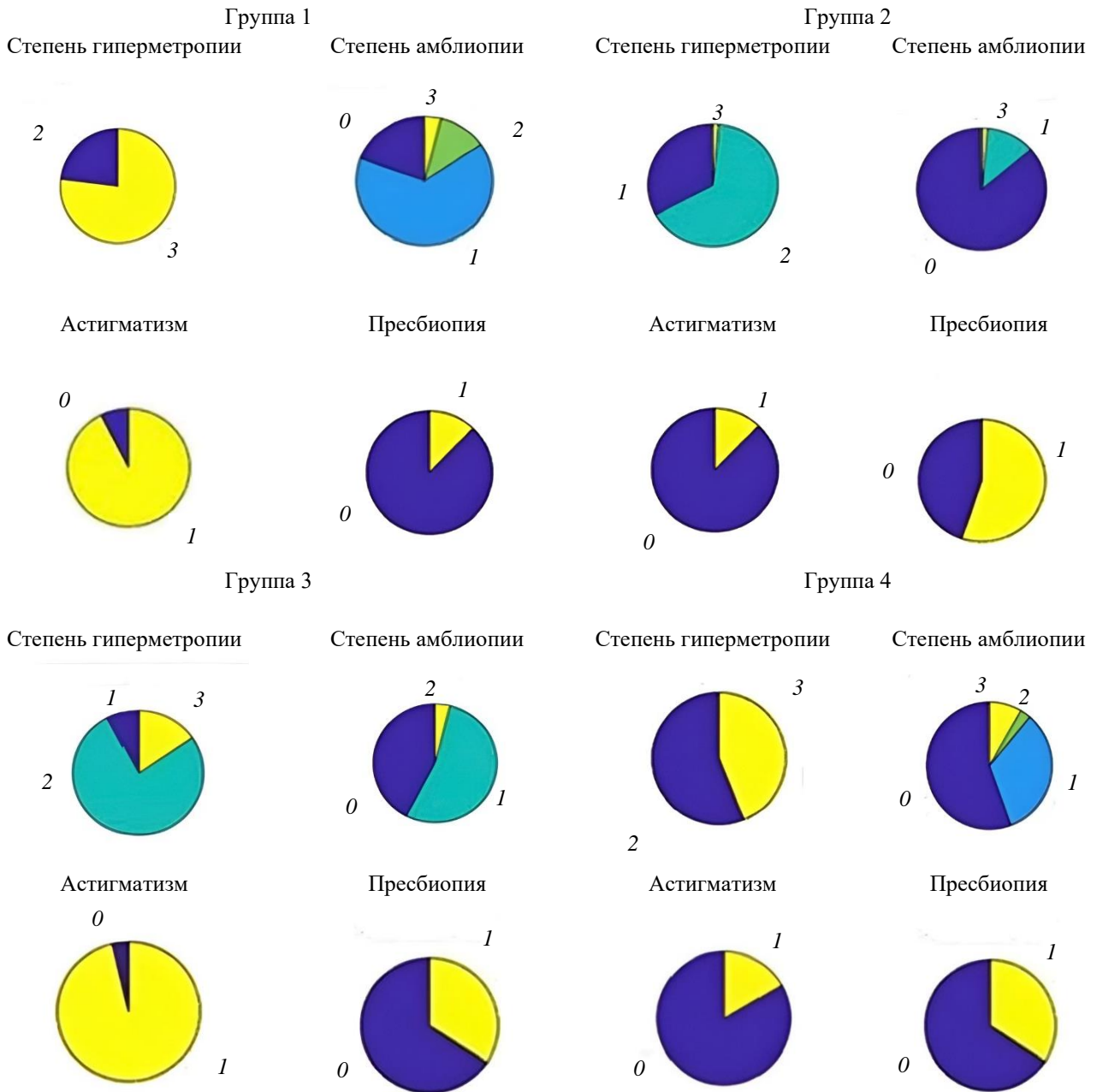


Рис. 3. Диаграммы поставленных диагнозов в группах «до операции»
 На диаграммах «Степень амблиопии»: 0 – отсутствие амблиопии в диагнозе, 1 – слабая степень, 2 – средняя степень, 3 – высокая степень. На диаграммах «Пресбиопия»: 0 – отсутствие пресбиопии, 1 – наличие

Статистический анализ соответствия групп

Параметры	Группы «при выписке»				
	№	1	2	3	4
Группы «до операции»	1	7	4	3	12
	2	19	23	22	9
	3	7	11	4	4
	4	13	9	9	5

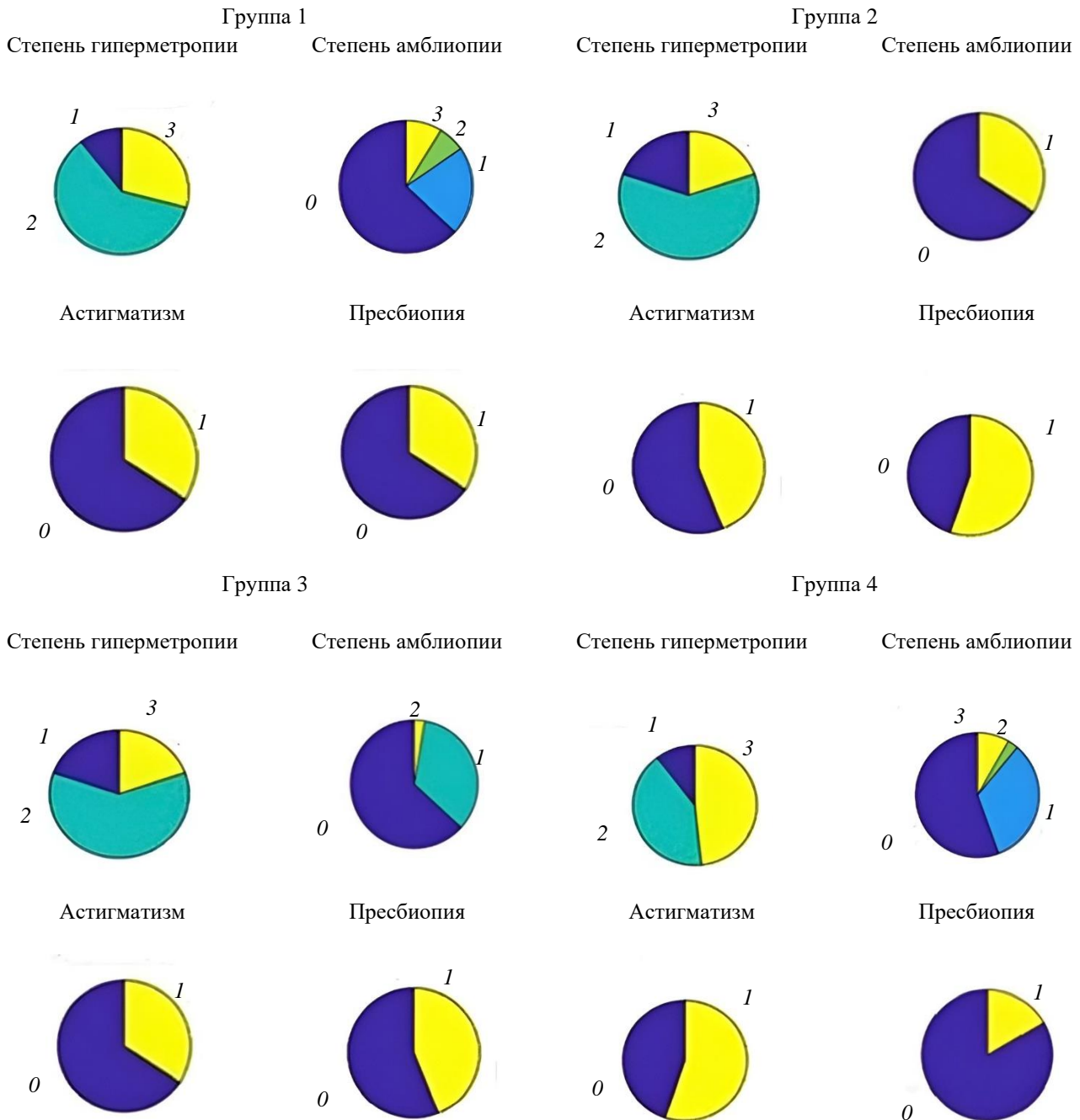


Рис. 4. Диаграммы поставленных диагнозов в группах «при выписке»

2. Глаза без астигматизма и гиперметропией слабой степени.

3. Глаза с астигматизмом и гиперметропией средней степени.

4. Глаза преимущественно без астигматизма с средней и высокой степенью гиперметропии.

Группы «при выписке»:

1. Глаза с оставшимся после операции значительным астигматизмом.

2. Глаза, на которые операция оказала самый положительный эффект, без астигматизма со сферозквивалентом рефракции, близким к 0.

3. Глаза, сместившиеся по зрению к миопии, в основном без астигматизма.

4. Глаза, сильно сместившиеся по зрению к миопии, с некоторым астигматизмом.

Эти группы также схожи по интерпретации с кластерами, однако группе 3 соответствует кластер № 4, а группе № 4 – кластер № 3.

Эти группы также схожи по интерпретации с кластерами, однако группе № 3 соответствует кластер № 4, а группе № 4 – кластер № 3.

Используя кластерный и дискриминантный анализ, удалось получить хорошо интерпретируемую группировку глаз по параметрам рефракции до операции и при выписке. В таблице представлено количество случаев, входящих в соответствующие группы.

Для проверки статистической значимости использовался анализ таблиц сопряженности и критерий χ^2

[22, 23]. На уровне значимости $p = 0,01$ можно утверждать о наличии различий. Попарные сравнения дали следующий результат: случаи из группы «до операции» №1 значимо ($p = 0,03$) чаще оказываются в группах №1 и №4 «при выписке». Группа №1 «при выписке» – это группа глаз с наибольшим по абсолютному значению цилиндрическому компоненту рефракции, а группа №4 – группа с наименьшим сферозэквивалентом рефракции (медиана $\approx -3,5$). Обе эти группы отличаются низкими показателями НОЗ и МКОЗ. Так как глаза из группы №1 «до операции» значимо чаще при выписке оказываются в группах №1 и №4, можно считать её «группой риска». Результатом работы является правило, построенное с помощью дискриминантного анализа, согласно которому можно включить глаза с известными параметрами рефракции в «группу риска». Это правило имеет приведенный ниже вид. Глаз включается в «группу риска» только тогда, когда выполняются все три неравенства.

Обсуждение

Проведенные кластерный и дискриминантный анализы подтверждают сложившиеся в офтальмологии – представления о результатах коррекции гиперметропии методом ФемтоЛАЗИК.

В результате анализа получено, что исход операции в группе № 1 (глаза с астигматизмом и высокой степенью гиперметропии) отличается наименьшей предсказуемостью: у большого количества пациентов присутствует остаточный или индуцированный астигматизм, а также встречаются случаи сдвига послеоперационной рефракции в сторону миопии.

Неравенства для параметров рефракции, измеренных до операции для включения глаза в «группу риска»:

$$5,84(\text{НОЗ}) - 8,6(\text{МКОЗ}) + 1,52(\text{sph}) + 1,07(\text{sph}(\text{Rk})) - 4,81(\text{cyl}) - 6,75(\text{cyl}(\text{Rk})) + 1,49(\text{СЭ}) + 0,59(\text{Ксредн}) - 45,62 \geq 0,$$

$$-5,94(\text{НОЗ}) - 3,27(\text{МКОЗ}) + 1,25(\text{sph}) + 0,79(\text{sph}(\text{Rk})) + 2,14(\text{cyl}) - 2,5(\text{cyl}(\text{R})) + 1,27(\text{СЭ}) + 0,37(\text{Ксредн}) - 25,23 \geq 0,$$

$$4,93(\text{НОЗ}) - 5,94(\text{МКОЗ}) - 0,25(\text{sph}) + 0,15(\text{sph}(\text{Rk})) - 5,45(\text{cyl}) - 4,27(\text{cyl}(\text{Rk})) + 0,84(\text{СЭ}) + 0,6613(\text{Ксредн}) - 37,93 \geq 0.$$

Это подтверждает тот факт, что результаты коррекции гиперметропии высокой степени отстают от результатов коррекции гиперметропии слабой и средней степени. Чем выше степень корригируемой аметропии, тем ниже предсказуемость рефракционного эффекта. Высокая степень гиперметропии требует большего времени лазерной абляции, что может приводить к высушиванию роговицы во время операции и большей по глубине абляции стромального ложа; в результате этого рефракционный эффект может быть больше, чем запланировано. Кроме того, длительное время абляции негативно влияет на интраоперационное качество зрительной фиксации пациентом фиксационной метки эксимерного лазера, что может вызывать некоторую неравномерность абляции вследствие движений глазом пациентом во время операции. Наличие в гиперметропических глазах большого угла

Каппа может вызывать нарушение центрации абляции относительно зрительной оси [26–33] что приводит к индуцированию аберраций высшего порядка (в частности, аберрации третьего порядка комы) и формированию индуцированного астигматизма, вызывающего послеоперационную диплопию и нечеткость зрения. Кроме того, для кератотопографической картины после коррекции гиперметропии характерна некоторая иррегулярность за счет более выраженного перераспределения биомеханических свойств роговицы после операции, в отличие от пациентов с миопией.

Аккомодационные нарушения, присутствующие у пациентов с гиперметропией, в подавляющем большинстве случаев, если пациент еще не достиг пресбиопического возраста, ведут к развитию синдрома «ложной миопизации» [13, 29] и длительному сохранению миопической рефракции в послеоперационном периоде, а значит, требуют соответствующей предоперационной подготовки и адекватного ведения в послеоперационном периоде. Согласно данным исследований, при гиперметропии наиболее часто встречается привычно-избыточное напряжение аккомодации или сочетание привычно-избыточного напряжения аккомодации со слабостью аккомодации [34–40]. Аккомодационные нарушения в сочетании с отсутствием адекватной очковой или контактной коррекции в предоперационном периоде приводят к длительному сохранению «ложной» миопической рефракции в послеоперационном периоде, плохо поддающейся лечению и зачастую требующей повторного оперативного вмешательства [2, 3]. В качестве предоперационной подготовки у таких пациентов используются инстилляцией комбинированных препаратов, включающих симпатомиметик в сочетании с М-холиноблокатором, и подбор адекватной очковой или контактной коррекции в течение месяца. Инстилляции данных препаратов в послеоперационном периоде можно продолжить в течение 2–4 недель.

Учитывая выделенные в ходе статистического анализа «группы риска» по получению незапланированного рефракционного результата, к которым относится гиперметропия высокой степени без или в сочетании с астигматизмом, у данных пациентов необходимо дальнейшее совершенствование технических параметров лазерного воздействия, а также пересмотр алгоритмов дооперационного и послеоперационного ведения.

Заключение

Коррекция гиперметропии слабой и средней степени методом ФемтоЛАЗИК отличается более точными показателями попадания в запланированный диапазон целевой рефракции, в отличие от гиперметропии высокой степени. Наличие астигматизма в предоперационном периоде также снижает показатели предсказуемости рефракционного вмешательства. Учитывая выделенные в ходе статистического анализа «группы риска» по получению наименее точного рефракционного результата, у

данных пациентов необходимо дальнейшее совершенствование технических параметров оперативного вмешательства, а также пересмотр алгоритмов дооперационного и послеоперационного ведения.

В процессе планирования рефракционно-лазерной операции у пациентов с гиперметропией необходимо оценивать не только исходную степень гиперметропии и

кератометрии, но и биологический возраст, привычный тонус аккомодационного аппарата глаза и наличие или отсутствие оптической коррекции в предоперационном периоде, характер бинокулярного взаимодействия, а также точное измерение угла каппа. Лишь учет всех этих факторов может привести к оптимальному рефракционному результату.

Список литературы

- Gauthier-Fournet, L. Six-month outcomes after high hyperopia correction using laser-assisted in situ keratomileusis with a large ablation zone / L. Gauthier-Fournet, F. Penin, S. Arba Mosquera // *Cornea*. – 2019. – Vol. 38, no. 9. – P. 1147–1153.
- Induced de novo astigmatism after hyperopic lasik versus myopic lasik surgery in nonastigmatic eyes / L. Karmona, M. Mimouni, I. Vainer, T. Sela, G. Munzer, I. Kaiserman // *Cornea*. – 2017. – Vol. 36, no. 9. – P. 1040–1043.
- Laser in situ keratomileusis (LASIK) for correction of myopia and hypermetropia our one-year experience / M. Vukosavljević, M. Milivojević, M. Resan, V. Cerović // *Vojnosanit. Pregl.* – 2009. – Vol. 66, no. 12. – P. 979–984.
- Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050 / B.A. Holden, T.R. Fricke, D.A. Wilson, M. Jong, K.S. Naidoo, P. Sankaridurg, T.Y. Wong, T.J. Naduvilath, S. Resnikoff // *Ophthalmology*. – 2016. – Vol. 123, no. 5. – P. 1036–1042.
- Global prevalence of visual impairment associated with myopic macular degeneration and temporal trends from 2000 through 2050: systematic review, meta-analysis and modelling / T.R. Fricke, M. Jong, K.S. Naidoo, P. Sankaridurg, T.J. Naduvilath, S.M. Ho, T.Y. Wong, S. Resnikoff // *Br. J. Ophthalmol.* – 2018. – Vol. 102, no. 7. – P. 855–862.
- Barrett, B.T. The relationship between anisometropia and amblyopia / B.T. Barrett, A. Bradley, T.R. Candy // *Prog. Retin. Eye Res.* – 2013. – Vol. 36. – P. 120–158.
- Prevalence of presbyopia and vision impairment from uncorrected presbyopia: systematic review, meta-analysis, and modelling / T.R. Fricke, N. Tahhan, S. Resnikoff, E. Papas, A. Burnett, S.M. Ho, T. Naduvilath, K.S. Naidoo // *Global Ophthalmology*. – 2018. – Vol. 12, no. 10. – P. 1492–1499.
- Majumdar, S. Hyperopia / S. Majumdar, K. Tripathy. – StatPearls Publishing: Treasure Island. – 2024.
- Федотова, Л.А. Преимущество лечения гиперметропии с использованием фемтосекундного лазера / Л.А. Федотова, И.А. Куликова // *Здравоохранение Чувашии*. – 2009. – № 2. – С. 47–50.
- FS-LASIK for the treatment of moderate to high hyperopia / J.L. Alió Del Barrio, R. Milán-Castillo, M. Canto-Cerdan, A. Molina-Lespron, J.L. Alió. // *Cataract. Refract. Surg.* – 2023. – Vol. 49, no. 6. – P. 558–564.
- Joint LASIK study task force. LASIK world literature review: quality of life and patient satisfaction / K.D. Solomon, L.E. Fernández de Castro, H.P. Sandoval, J.M. Biber, B. Groat, K.D. Neff, M.S. Ying, J.W. French, E.D. Donnenfeld, R.L. Lindstrom // *Ophthalmology*. – 2009. – Vol. 116, no. 4 – P.691–701.
- Возможности технологии SMILE в коррекции миопической аномалии рефракции / Э.В. Бойко, Д.Р. Мирсаитова, А.В. Титов, Я.И. Масян // *Современные проблемы науки и образования*. – 2021. – № 2. – URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=30583> (дата обращения: 29.06.2024).
- SMILE for hyperopia with and without astigmatism: results of a prospective multicenter 12-month study / D.Z. Reinstein, W. Sekundo, T.J. Archer, P. Stodulka, S. Ganesh, B. Cochener, M. Blum, Y. Wang, X. Zhou // *J. Refract. Surg.* – 2022. – Vol. 38, no. 12. – P. 760–769.
- Венатовская, Л.А. Численное моделирование последствий коррекции гиперметропии методами LASIK и intralasek / Л.А. Венатовская, А. Федотова // *Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики*. Казань: Казанский (Приволжский) федеральный университет. – 2015. – С. 729–730.
- Пикусова, С.М. Результаты коррекции гиперметропии методом ФемтоЛАЗИК с учетом оценки биомеханических свойств роговицы / С.М. Пикусова, И.Л. Куликова, Л.А. Авершина // *Современные технологии в офтальмологии*. – 2020. – № 3. – С. 80–81.
- Фролова, Т.Н. Проблемы прогнозирования рефракционного эффекта при фемтолазерной коррекции гиперметропии средней и высокой степени / Т.Н. Фролова, Л.С. Хлебникова // *Современные проблемы науки и образования*. – 2021. – № 2. – С. 158–163.
- Assessment of refractive outcomes of femtosecond-assisted laser in situ keratomileusis (LASIK) for hyperopia / S. Humayun, M. Ishaq, A. Fawad, S.F. Mashhadi, Q. Humayun, S. Arzoo // *Coll. Physicians Surg. Pak.* – 2021. – Vol. 30, no. 4. – P. 434–439.
- Preliminary effects of treating the half of high latent hyperopia on refractive and visual results of femtosecond laser-assisted in situ keratomileusis in subjects with hyperopia / K. Ozulken, C. Ilhan, E. Yuksel, T. Mumcuoglu // *Int. Ophthalmol.* – 2020. – Vol. 40, no. 9 – P. 2361–2369.
- Topographic and biomechanical differences between hyperopic and myopic laser in situ keratomileusis / M.A. Qazi, C.J. Roberts, A.M. Mahmoud, J.S. Pepose // *J. Cataract. Refract. Surg.* – 2005. – Vol. 31, no. 1 – P. 48–60.
- Albietz, J.M. Effect of laser in situ keratomileusis for hyperopia on tear film and ocular surface / J.M. Albietz, L.M. Lenton, S.G. McLennan // *Refract. Surg.* – 2002. – Vol. 18, no. 2. – P. 113–123.
- Albietz, J.M. Management of the ocular surface and tear film before, during, and after laser in situ keratomileusis / J.M. Albietz, L.M. Lenton // *J. Refract. Surg.* – 2004. – Vol. 20, no. 1 – P. 62–71.
- Moshirfar, M. Angle Kappa and its importance in refractive surgery / M. Moshirfar, R.N. Hoggan, V. Muthappan // *Oman. J. Ophthalmol.* – 2013. – Vol. 6, no. 3. – P. 151–158.
- Williams, L.B. Correlation of visual outcome and patient satisfaction with preoperative keratometry after hyperopic laser in situ keratomileusis / L.B. Williams, S.B. Dave, M. Moshirfar // *J. Cataract. Refract. Surg.* – 2008. – Vol. 34, no. 7. – P. 1083–1088.
- Patel, K.R. Outliers in statistical data / K.R. Patel, V. Barnett, T. Lewis // *Journal of the American Statistical Association*. – 1987. – Vol. 82, no. 397. – P. 344.

25. Manoj, K. Comparison of methods for detecting outliers / K. Manoj, K.K. Senthamarai // International Journal of Scientific and Engineering Research. – 2013. – no. 9. – P. 709–714.
26. Reinstein, D.Z. Coaxially sighted corneal light reflex versus entrance pupil center centration of moderate to high hyperopic corneal ablations in eyes with small and large angle kappa / D.Z. Reinstein, M. Gobbe, T.J. Archer // J. Refract. Surg. – 2013. – Vol. 29, no. 8 – P. 518–525.
27. Кузнецова, О.С. Анализ состояния аккомодации до и после ФемтоЛАЗИК у пациентов с гиперметропией / О.С. Кузнецова, С.В. Балалин // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. – 2021. – № 78. – С. 113–118.
28. Кузнецова, О.С. Послеоперационный синдром ложной миопизации у пациентов с гиперметропией после ФемтоЛАЗИК. / О.С. Кузнецова, С.В. Балалин, Е.Г. Солодкова // Современные технологии в офтальмологии. – 2020. – Т. 4, № 15. – С. 330.
29. Айвазян, С.А. Прикладная статистика. Основы эконометрики / С.Ф. Айвазян, В. С. Мхитарян. – Учебник: В 2 т. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, – 2001.
30. Большев, Л.Н. Таблицы математической статистики / Л.Н. Большев, Н.В. Смирнов. – 3 изд. М.: Наука. – 1983. – С. 416.
31. Бородачев, С.М. Многомерные статистические методы: учебное пособие / С.М. Бородачев // Екатеринбург: УГТУ – УПИ, – 2009. – С. 84.
32. Гланц, С. Медико-биологическая статистика. / С. Гланц. М.: Практика, 1998. – С. 459.
33. Дискуссионные вопросы лазерной коррекции при гиперметропии: анализ литературы и реальная клиническая практика / Н.В. Майчук, И.А. Мушкова, И.А. Малышев, М.Р. Образцова // Офтальмология. – 2022. –Т. 19, № 2. – С. 350–358.
34. Калинина, В. Н. Введение в многомерный статистический анализ: Учебное пособие для студентов всех специальностей / В.Н. Калинина, В.И. Соловьев. – М.: Государственный университет управления, 2003. – С. 66.
35. Кузнецова, О.С. Клинико-функциональная система реабилитации пациентов с нарушениями аккомодации при эксимерлазерной коррекции гиперметропии / О.С. Кузнецова, С.В. Балалин // Российский офтальмологический журнал. – 2022. – Т. 15, № 2. – С. 75–83.
36. Measurement of angle kappa with synoptophore and Orbscan II in a normal population / H. Basmak, A. Sahin, N. Yildirim, T.D. Papakostas // Refract. Surg. – 2007. – Vol. 23, no. 5. – P. 456–460.
37. Dry eye after refractive surgery: a meta-analysis / R.S. Sambhi, G.D.S. Sambhi, R. Mather, M.S. Malvankar-Mehta // Can. J. Ophthalmol. – 2020. – Vol. 55, no. 2. – P. 99–106.
38. Gobbe, M. LASIK-induced aberrations: comparing corneal and whole-eye measurements / M. Gobbe, D.Z. Reinstein, T.J. Archer // Optom. Vis. Sci. – 2015. – Vol. 92, no. 4. – P. 447–455.
39. Higher-order-aberrations following hyperopia treatment: small incision lenticule extraction, laser-assisted in situ keratomileusis and lenticule implantation / Y.C. Liu, J. Wen, E.P.W. Teo, G.P. Williams, N.C. Lwin, J.S. Mehta // Transl. Vis. Sci. Technol. – 2018. – Vol. 7, no. 2. – P. 15–25
40. Three-year results of small incision lenticule extraction and wavefront-guided femtosecond laser-assisted laser in situ keratomileusis for correction of high myopia and myopic astigmatism / L.K. Xia, J. Ma, H.N. Liu, C. Shi, Q. Huang // Int. J. Ophthalmol. – 2018. – Vol. 18, no. 3. – P. 470–477.

Финансирование. Работа не имела источников финансирования.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

MODELING OF THE RESULTS OF LASER CORRECTION OF HYPEROPIA BY THE METHODS OF CLUSTER AND DISCRIMINANT ANALYSIS

I.L. Kulikova¹, S.M. Pikusova¹, V.V. Kornikov², B.N. Davydenko², S.M. Bauer²

¹ National Medical Research Center "Eye Microsurgery", Cheboksary, Russian Federation

² Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 24 February 2024
Approved: 17 April 2024
Accepted for publication: 05 June 2024

Keywords:

laser vision correction, keratorefractive surgeries, hyperopia, FemtoLASIK

ABSTRACT

Statistical methods are used to solve the problem of evaluating refractive results in patients. The issue of optimizing refractive laser surgeries for hyperopia correction remains relevant, as current keratorefractive surgery methods for hyperopia are less predictable, effective, and stable compared to myopia correction. This non-randomized retrospective study includes the results of 161 patients who underwent FemtoLASIK laser correction at the Cheboksary branch of National Medical Research Center "Eye Microsurgery". The average age of the patients was 41.9 years. Evaluations were conducted before surgery and on the third day postoperatively using standard examination methods, including uncorrected and best-corrected visual acuity, refractometry, non-contact tonometry, biomicroscopy, keratotopography, anterior segment analyzer examination, and fundus examination, among other parameters. Through cluster and discriminant analyses, a "risk group" was identified, showing the least accuracy in postoperative spherical equivalent and the lowest visual acuity indicators. A rule was developed to categorize eyes into one of the groups. The best refractive outcomes were observed in the low-degree hyperopia group, while the "risk group" included patients with high-degree hyperopia, either alone or in combination with astigmatism. Pairwise comparisons indicated that cases from the "risk group" more frequently fell into groups with the highest (by absolute value) cylindrical component of refraction and the lowest spherical equivalent postoperatively, explaining the low uncorrected and best-corrected visual acuity indicators. High-degree hyperopia requires longer laser ablation time, which can lead to corneal dehydration and uneven ablation, as well as the induction of higher-order aberrations and astigmatism formation. Accommodative disorders in hyperopic patients may lead to prolonged myopic refraction postoperatively. Correction of low and moderate hyperopia using FemtoLASIK shows more accurate results compared to high-degree hyperopia correction. To improve outcomes, it is necessary to consider the degree of hyperopia, age, accommodative apparatus tone, presence of optical correction, binocular interaction characteristics, and Kappa angle during surgery planning and postoperative management. These measures can lead to more predictable and stable results, reduce the risk of complications, and enhance patient satisfaction with the treatment.
