

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА СИЛЫ ИНТРАОКУЛЯРНОЙ ЛИНЗЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ КЕРАТОПЛАСТИКИ (ПРИ ТРОЙНОЙ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ПРОЦЕДУРЕ)

Федяшев Г.А.^{1,2}, Хван Д.А.^{1,2}, Ручкин М.П.^{1,2}

¹ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный медицинский университет» Минздрава России, Владивосток, e-mail: jedimagister93@gmail.com;

²ООО «Приморский центр микрохирургии глаза», Владивосток

Согласно большинству источников современной литературы, последовательная процедура (отсроченная хирургия катаракты через несколько месяцев после проведения кератопластики) обеспечивает более высокие функциональные и рефракционные показатели в связи со стабилизацией трансплантата и более точными биометрическими показателями, используемыми для расчета оптической силы интраокулярной линзы (ИОЛ). Для тройной процедуры наиболее высокие функциональные результаты обеспечивает использование в расчете фиксированных кератометрических значений 42,5–44,0 D и позволяет достичь целевой рефракции в 26–68% случаев. В случаях с последовательной методикой отдается предпочтение фактическим показателям кератометрии с использованием кератотопографии, при этом целевая рефракция достигается в 67–95% случаев. Проблема астигматизма успешно решается имплантацией торических ИОЛ и/или проведением рефракционной операции. При возникновении незапланированных изменений рефракции после тройной процедуры или после отсроченной хирургии катаракты на помощь приходят технология имплантации добавочных торических ИОЛ или рефракционная эксимерлазерная хирургия. Имплантация трифокальных или EDOF (Extended Depth of Focus IOL – ИОЛ с увеличенной глубиной фокуса) линз на основе дифракционной решетки для пациентов после кератопластики противопоказана. На наш взгляд, перспективным направлением может явиться имплантация ИОЛ с увеличенной глубиной фокуса, такой как AcrySof IQ Vivity от Alcon, со строением оптики, обладающей толерантностью к небольшому отклонению от заданной эмметропии от +0,5 до –0,5 D, что позволяет снизить вероятность непопадания в целевую рефракцию.

Ключевые слова: катаракта, сквозная кератопластика, расчет ИОЛ, биометрия, рефракционная ошибка.

PECULIARITIES OF INTRAOCULAR LENS POWER CALCULATION DURING KERATOPLASTY (WITH TRIPLE AND SEQUENTIAL PROCEDURE)

Fedyashev G.A.^{1,2}, Khvan D.A.^{1,2}, Ruchkin M.P.^{1,2}

¹FGBOU VO «Pacific State Medical University» Ministry of Health of Russia, Vladivostok, e-mail: jedimagister93@gmail.com;

²Primorskii center of eye microsurgery, Vladivostok

The sequential procedure (cataract surgery a few months after keratoplasty) provides better functional and refractive performance due to graft stabilization and more accurate biometrics used to calculate the IOL. For the triple procedure, the highest functional results are ensured by the fixed keratometric values of 42.5–44.0 D in the IOL calculation and allow achieving the target refraction in 26–68% of cases. In cases with a sequential technique, actual keratotopography is preferred, while achieving the target refraction in 67–95% of cases. The astigmatism problem successfully solved by implantation of toric IOLs and/or corneal refractive surgery. In refractive changes occur after a triple procedure or after delayed cataract surgery, the technology of implantation of additional toric IOLs or refractive excimer laser surgery comes to the rescue. Implantation of trifocal or EDOF lenses based on a diffraction grating is contraindicated for patients after keratoplasty. The promising direction may be IOL with an increased depth of focus implantation, such as Alcon's AcrySof IQ Vivity, with the optic that has a tolerance for a small deviation from the specified emmetropia from +0.5 to –0.5 D, which reduces the chance of refractive errors.

Keywords: cataract, penetration keratoplasty, IOL calculation, biometrics, refractive error.

Одним из осложнений сквозной кератопластики является формирование катаракты. Среди основных причин развития помутнения в хрусталике при данных состояниях самой распространенной и наиболее вероятной является прогрессирование ранее существующей

катаракты. Другие причины приводят к развитию катаракты ятрогенного генеза: повреждение капсулы хрусталика во время проведения вмешательства на роговице, манипуляции с радужной оболочкой, синехиолизис, пупиллопластика или периферическая иридэктомия увеличивают вероятность развития катаракты в 2 раза; кроме того, могут развиваться лекарственная катаракта, вызванная длительным послеоперационным применением стероидов, а также в ряде случаев болезнь трансплантата [1, 2, 3].

Подходы к хирургии катаракты и СКП (тройная и последовательная процедуры)

Открытым остается вопрос сроков проведения экстракции катаракты и имплантации интраокулярной линзы (ИОЛ). В настоящее время во всем мире приняты 2 алгоритма хирургии сквозной кератопластики (СКП): комбинированная хирургия, или тройная процедура, включающая сквозную кератопластику, экстракцию катаракты и имплантацию ИОЛ; и последовательная, или отсроченная, хирургия катаракты через несколько месяцев после проведенной СКП [4, 5].

Комбинированная хирургия подходит для пациентов, которым требуется более быстрый восстановительный период, например для пожилых пациентов, для пациентов, имеющих тяжелые соматические патологии [6].

Хотя тройная процедура имеет ряд преимуществ, достижение рефракционных результатов сильно отстает из-за непредсказуемых изменений кератометрических значений, осевой длины и глубины передней камеры, которые играют важную роль в расчете оптической силы ИОЛ после операции. Немаловажными остаются осложнения, такие как экспульсивное кровотечение, разрыв задней капсулы и выпадение стекловидного тела. Данные осложнения возникают во время этапа «открытого неба» между удалением реципиентной роговицы и трансплантацией донорской [7, 8, 9].

Последовательная процедура безопаснее, поскольку выполняется в закрытой системе, но при этом каждая последующая операция повышает риск отторжения донорской ткани и потери эндотелиальных клеток [5, 10].

В небольших сравнительных исследованиях сообщается о превосходстве визуальных и рефракционных результатов при последовательной операции благодаря более точному расчету оптической силы ИОЛ на основе стабильных показателей кератометрии после СКП [11].

Особенности расчета ИОЛ при тройной процедуре

Для точного прогнозирования оптической силы ИОЛ необходимы надежные данные кератометрии, измерения глубины передней камеры и осевой длины. В отличие от обычной операции по удалению катаракты, все эти параметры могут измениться после тройной процедуры, увеличивая риск непредвиденных аномалий рефракции.

Наиболее серьезной проблемой после тройной процедуры является высокий уровень постоперационной аномалии рефракции, которая возникает из-за неточности расчета силы ИОЛ. Ряд авторов сообщают, что в 26–68% случаев достигается $\pm 2,0$ D от целевой рефракции, а ошибки рефракции варьируются от $-14,7$ D до $+8,0$ D.

Для снижения риска рефракционных ошибок применяют различные тактики, такие как: использование предоперационных кератометрических показаний пораженного или парного глаза, множественный регрессионный анализ со значениями, специфичными для хирурга, индивидуализированными и оптимизированными A-константами или фиксированными значениями кератометрии [12].

Katz и Forster (1985) отметили самую низкую степень рефракционных ошибок после тройной процедуры при использовании предоперационных кератометрических показателей оперируемого глаза, это же подтверждается исследованием университета медицинских наук Шахида Бехешти, при этом средняя разница между целевой и послеоперационной рефракцией составила $1,22 \pm 2,82$ D.

По данным различных авторов, нередко при тройной процедуре используются данные кератометрии парного здорового глаза (когда их невозможно было измерить в пораженном глазу). Однако, по мнению других исследователей, более целесообразно в этих ситуациях применять стандартные фиксированные значения, чем значения парного глаза, в связи с тем, что донорский трансплантат может иметь свой сферический эквивалент, отличный от сферического эквивалента роговицы донора. Это несоответствие может привести к изменению силы роговицы после проведения кератопластики, а проведение измерения силы роговицы донора не представляется возможным. Кроме того, если, как это часто бывает, поражены оба глаза или другой глаз уже оперирован, мы не можем получить правильные значения кератометрии для парного глаза.

В то же время большинство представленных в периодической литературе исследований показывают, что использование стандартного постоянного значения кератометрии $42,50$ – $44,00$ D при плановых тройных процедурах значительно улучшает рефракционный результат, особенно у пациентов с аномальными или пограничными предоперационными значениями кератометрии. Средняя величина рефракционной послеоперационной ошибки была статистически сравнима с величиной ошибки у пациентов, имевших до операции нормальные усредненные значения кератометрии [4, 13].

A. Viestenz и соавторы при тройной процедуре для улучшения послеоперационного рефракционного результата предложили использовать регрессионный анализ. Послеоперационную ошибку рефракции (postoperative refraction error – DEV) как разницу между достигнутой послеоперационной рефракцией и целевой рефракцией (target refraction –

TR) анализировали как функцию независимых величин формулы Haigis, таких как сила роговицы (corneal power – CP), осевая длина (axial length – AL), прогнозируемая по Haigis сила ИОЛ (IOL power – IOLP), и целевая рефракция (TR), а именно: $DEV = a + b CP + c AL + d IOLP + e TR$.

Для нового пациента, которому требуется тройная процедура, индивидуальный DEV должен быть выведен с этим корректирующим термином. В конечном итоге необходимо рассчитать целевую рефракцию как функцию $TR_{corr} = TR - DEV$ и выбрать правильную ИОЛ [12].

Однако даже все вышеперечисленные методики не могут обеспечить надежных измерений, и в связи с этим как хирург, так и пациент должны осознавать возможность получения неприемлемой аномалии рефракции, требующей проведения дополнительной рефракционной хирургии.

Особенности расчета ИОЛ после кератопластики при последовательном методе

Хирургия катаракты после СКП имеет преимущества, заключающиеся в том, что параметры глаза, такие как осевая длина, глубина передней камеры, кривизна роговицы, стабилизируются после снятия всех швов в послеоперационном периоде, что позволяет более точно рассчитать силу интраокулярной линзы [14].

Кроме того, при последовательной процедуре имеется возможность выбора хирургического доступа в соответствии с имеющимся астигматизмом после СКП, выполнение одномоментной рефракционной кератотомии или расчета и последующей имплантации торической ИОЛ. Но и при этой методике расчет силы ИОЛ также представляет собой особую проблему.

Точное измерение параметров роговицы, столь необходимое для расчета ИОЛ, при последовательной процедуре представляет не меньшую проблему, чем при одномоментной комбинированной хирургии. После СКП выраженные неровности роговицы и часто иррегулярный и/или высокий астигматизм затрудняют точное измерение. Кроме того, после СКП часто наблюдается неравномерная кривизна задней поверхности роговицы. Таким образом, очевидным представляется тот факт, что после СКП соотношение кривизны передней и задней поверхности роговицы не соответствует модели глаза Гульстранда и, следовательно, точность расчета ИОЛ с помощью стандартных биометрических показателей будет крайне низкой.

В данной ситуации хирурги сталкиваются с проблемой, аналогичной при расчете искусственных хрусталиков после рефракционных операций на роговице: принимать во внимание показатели преломляющей силы роговицы только по измеренному радиусу передней поверхности. Однако такой подход не является корректным [15].

При определенных обстоятельствах здесь могли бы помочь современные методы топографии, которые, помимо изменений передней поверхности, регистрируют также топографию задней поверхности и толщину роговицы; при этом, даже если коэффициенты радиуса или толщина роговицы отклоняются от модельного глаза Гульстранда, силу ИОЛ можно определить более надежно, используя индивидуальную схему расчета. Индивидуальное измерение и использование в расчете силы ИОЛ всех доступных биометрических параметров, таких как кривизна передней поверхности роговицы, кривизна задней поверхности, толщина роговицы, фактическая глубина передней камеры, толщина линзы и осевая длина, помогут более точно достигнуть рефракции цели в послеоперационном периоде [7, 14, 16].

Глубина фактической передней камеры и толщина хрусталика используются для оценки послеоперационного эффективного положения ИОЛ в глазу.

Иногда большое отклонение фактической рефракции от целевой рефракции связано еще и с тем, что в биометрию включаются не только неверные или неточные значения кератометрии, но иногда используются замещающие значения. Таким образом, точность расчета ИОЛ значительно ограничена, что может привести к низкой остроте зрения.

При исследовании параметров роговицы большинством авторов рекомендуется заблаговременно снять роговичные швы, фиксирующие трансплантат, так как значения кератометрии, включающиеся в расчет ИОЛ, могут значительно измениться при интраоперационном или послеоперационном удалении шовного материала; при этом изменение рефракции в результате снятия шва может значительно снизить некорректируемую остроту зрения, полученную после имплантации ИОЛ. Поэтому, если возможно, следует дождаться полного снятия швов и последующей стабилизации кривизны роговицы после СКП с целью обеспечения стабильного рефракционного результата [7, 14, 15].

Известным фактом является то, что проведение СКП, в отличие от рефракционной роговичной хирургии, приводит к изменению не только биометрических параметров самой роговицы, но и к изменению переднезадней оси глаза. Если для расчета ИОЛ после проведенной кераторефракционной (LASIK, ФПК) операции возможно использовать дооперационные значения переднезадней оси (ПЗО) оперируемого глаза, то после СКП использование данных параметров, несомненно, приведет к значительной рефракционной ошибке. По мнению ряда исследователей, точность биометрических измерений выше для оптических методов, чем для ультразвуковых. В ультразвуковой биометрии больше факторов, зависящих от оператора, которых нет при оптическом методе [17, 18].

Развитие и эволюция оптических устройств свидетельствуют о том, что ультразвук будут применять только по конкретным показаниям (плотная катаракта, другие выраженные

помутнения оптических сред). К. Krysik и соавторы провели сравнительное исследование влияния ультразвуковых и оптических методов биометрии, используемых для расчета силы ИОЛ на рефракционный результат хирургии катаракты, проведенной после СКП при кератоконусе. Рефракция цели запланирована в пределах $\pm 1,0$ D. По итогу исследования ожидаемая и достигнутая рефракция при использовании обоих методов биометрии статистически значимо не отличалась [19].

Согласно литературным данным, при последовательной процедуре целевая рефракция $\pm 2,0$ D достигается в 67–95% случаев [6, 15, 16].

Астигматизм после кератопластики

Послеоперационный астигматизм является одним из значимых оптических параметров, влияющих на зрительный результат после СКП. Это может быть результатом различных факторов, связанных с реципиентной, донорской тканью, хирургической техникой, что приводит к сниженному зрительному результату. До сих пор нет единого мнения о кератометрическом значении по умолчанию [20, 21, 22].

Высокие значения астигматизма после СКП в некоторых случаях лечат наложением или удалением швов вдоль крутого меридиана [23, 24]. Небольшие значения можно скорректировать с помощью очков. Более высокие цифры астигматизма могут быть устранены с помощью контактных линз или хирургического вмешательства как расслабляющие или компрессионные процедуры [25, 26, 27]. В случаях с последовательной процедурой методом выбора может стать имплантация торических ИОЛ. При неправильном астигматизме высоких степеней может быть использована ламеллярная рефракционная хирургия [28, 29].

Дугообразная кератотомия для коррекции астигматизма после кератопластики в ряде исследований показала себя как достаточно эффективный метод и рассматривается как один из вариантов коррекции высоких цифр астигматизма. Методика заключается в создании послабляющих разрезов в более крутых меридианах роговицы. Мануальные методы хорошо изучены, но имеют значительные недостатки в сравнении с лазерной технологией, связанные с неконтролируемой глубиной и длиной разрезов. По данным различных авторов, удается добиться снижения среднего показателя астигматизма более чем в 2 раза [30, 31, 32].

В настоящее время с помощью лазеров и современных рефракционных технологий можно исправить даже очень высокие послеоперационные аномалии рефракции после СКП. Через 6 месяцев после полного удаления швов с роговицы, когда рубец хорошо стабилизирован, становится возможным проведение лазерных методик (LASIK или FemtoLASIK). Тем не менее, LASIK с использованием микрокератома имеет большие ограничения: повышенный риск разрыва рубца трансплантата, неравномерное срезание

лоскута. Поэтому фемтосекундная технология имеет неоспоримые преимущества, связанные с программированием всех действий, процедура может быть прервана на любом этапе [22].

Более 10 лет назад вариант коррекции астигматизма высоких степеней при помощи имплантации торических ИОЛ был ограничен ввиду отсутствия модельного ряда ИОЛ с высокими значениями торического компонента. Но на сегодняшний момент данная проблема решена благодаря расширению модельного ряда ИОЛ с торическим дизайном. Данный вариант коррекции после СКП используют после снятия всех роговичных швов и полной стабилизации кератометрических параметров. Иррегулярность роговицы является основным оптическим противопоказанием для выбора этого метода коррекции. При неправильном астигматизме рассматриваются варианты поэтапной хирургии – вначале замены хрусталика, затем рефракционной операции на роговице. Тем не менее, имплантация торических ИОЛ при хирургическом лечении катаракты после СКП зарекомендовала себя как отличный способ коррекции роговичного астигматизма слабых и высоких степеней [28].

Для коррекции астигматизма у пациентов с псевдофакией после проведенной трансплантации роговицы применяют имплантацию добавочной торической ИОЛ. Добавочная торическая ИОЛ – это специальная искусственная линза, которая изготавливается индивидуально для каждого пациента. Диапазон линз в зависимости от производителя варьируется до 30 D, что позволяет скорректировать астигматизм любой степени. Данный тип ИОЛ имплантируют в цилиарную борозду. Одним из преимуществ данного метода коррекции астигматизма является обратимость процедуры путем эксплантации ИОЛ [33, 34].

Значение аберраций высшего порядка как противопоказания к мультифокальной коррекции

Проведение любого вида кератопластики является причиной развития аберраций высшего порядка, таких как кома передней и задней поверхности роговицы, сферические аберрации, астигматизм наклонных пучков, дисторсия, являющиеся причиной снижения качества зрения и контрастной чувствительности. Причем, чем выше выраженность упомянутых аберраций, тем ниже некорригированная острота зрения и показатели контрастной чувствительности [35, 36, 37].

Имплантация мультифокальных ИОЛ, работающих на принципе дифракционной решетки, в подобных ситуациях неприемлема. Ряд исследований показывают, что кома передней поверхности роговицы, уровень которой превышает 32 микрометра, может вызвать непереносимую дисфотопсию у пациентов с мультифокальными дифракционными ИОЛ [38].

Само сочетание нескольких видов аберраций, а также рассеяние света поверхностью раздела между донорским и реципиентным отделами приводят к мультифокальности роговицы. Имплантация мультифокальной ИОЛ позади многофокусной роговицы в подобных

ситуациях непременно приведет к еще большей потере контрастной чувствительности и снижению качества зрения, особенно в мезопических условиях – на фоне расширения зрачка.

В связи с вышеупомянутыми фактами основной выбор падает на имплантацию монофокальных моделей и, как уже упоминалось ранее, на монофокальные ИОЛ с торическим компонентом.

Заключение

Таким образом, благодаря более точному расчету оптической силы ИОЛ на основе стабилизации трансплантата, показателей кератометрии после СКП можно сделать вывод в пользу превосходства функциональных и рефракционных результатов при последовательной хирургии. Одномоментная технология приемлема для пациентов, которым требуется более быстрый восстановительный период, например для пожилых и пациентов, имеющих тяжелые соматические патологии.

Что касается расчета силы ИОЛ, то при проведении тройной хирургии, по мнению большинства авторов, наиболее предпочтительно использовать фиксированные кератометрические значения 42,5–44.0 D, что позволяет достичь более высоких функциональных результатов и показателей рефракции в пределах $\pm 2,0$ D в 26–68% случаев. В случаях с последовательной методикой хирургического лечения большинство исследователей при расчете ИОЛ отдают предпочтение фактическим показателям кератометрии с использованием кератотопографии, достигая при этом целевой рефракции в 67–95% случаев. При этом наиболее оптимальным вариантом будет исследование биометрических показателей роговицы только после снятия роговичных швов.

Также немаловажной является проблема коррекции послеоперационного астигматизма. Небольшие значения можно скорректировать с помощью очков. Более высокие цифры астигматизма могут быть устранены с помощью контактных линз или хирургического вмешательства как расслабляющие или компрессионные процедуры. После проведения СКП при хирургическом лечении катаракты на фоне регулярного роговичного астигматизма отлично зарекомендовала себя технология имплантации торических ИОЛ. При явной иррегулярности приемлемой методикой, по мнению многих исследователей, является проведение кераторефракционной лазерной хирургии.

В случаях развития незапланированных изменений кератометрических показателей (возникновения, усиления индуцированного астигматизма) в ходе проведения хирургического лечения катаракты, как при последовательной, так и при тройной процедуре, возможно проведение имплантации добавочной торической ИОЛ в цилиарную борозду или кераторефракционной эксимерлазерной хирургии.

Основной тип имплантируемых в ходе хирургического лечения катаракты ИОЛ при проведении кератопластики – монофокалы или линзы с торическим компонентом. Имплантация трифокальных или EDOF линз на основе дифракционной решетки для пациентов после кератопластики противопоказана. На наш взгляд, перспективным направлением может явиться имплантация ИОЛ с увеличенной глубиной фокуса, такой как AcrySof IQ Vivity от Alcon, со строением оптики, обладающей толерантностью к небольшому отклонению от заданной эмметропии от +0,5 до -0,5 D, что позволяет снизить вероятность непопадания в целевую рефракцию.

Список литературы

1. Alok S., Ramappa M., Chaurasia S. Case report - Cataract following endothelial keratoplasty (EK) in a child. *Medical Journal Armed Forces India*. 2013. V. 69. P. 398–399. DOI: 10.1016/j.mjafi.2012.08.027.
2. Na K.S., Chung S.K. Cataract formation after penetrating keratoplasty. *Journal of the Korean Ophthalmological Society*. 2007. V. 48. №. 12. P. 1636–1642. DOI: 10.3341/jkos.2007.48.12.1636.
3. Boucenna W., Bourges J.-L. Penetrating keratoplasty. *J. Fr Ophtalmol*. 2022 May. V. 45. №. 5. P. 543-558. DOI: 10.1016/j.jfo.2021.11.001.
4. Gruenauer-Kloevekorn C., Kloevekorn-Norgall K., Duncker G.I., Habermann A. Refractive error after triple and non-simultaneous procedures: is the application of a standard constant keratometry value in IOL power calculation advisable? *Acta ophthalmologica Scandinavica*. 2006. V. 84. №. 5. P. 679–683. DOI: 10.1111/j.1600-0420.2006.00705.x.
5. Yoshinori O., Kohji N. Triple procedure: cataract extraction, intraocular lens implantation, and corneal graft. *Current Opinion of Ophthalmology*. 2017. V. 28. №. 1. P. 63-66. DOI: 10.1097/ICU.0000000000000337.
6. Uzman S.O., Akkaya Z.Y., Duzova E., Singar E., Burcu A. Corneal pathology and cataract: combined surgery or sequential surgery? *Turkish Journal of Ophthalmology*. 2021. V. 51. №. 1. P. 1-6. DOI: 10.4274/tjo.galenos.2020.04382.
7. Cazabon S., Quah S.A., Jones M.N., Batterbury M., Kaye S.B. Sequential versus combined penetrating keratoplasty and cataract surgery. *Optometry and vision science*. 2010. V. 87. №. 7. P. 482-486. DOI: 10.1097/OPX.0b013e3181e1728e.
8. Javadi M.A., Feizi S., Moein H.R. Simultaneous penetrating keratoplasty and cataract surgery. *Journal of Ophthalmic and Vision Research*. 2013. V. 8. №. 1. P. 39–46.

9. Chen J.Y., Jones M.N., Srinivasan S., Neal T.J., Armitage W.J., Kaye S.B. Endophthalmitis after penetrating keratoplasty. *Ophthalmology*. 2015. V. 122. P. 25–30. DOI: 10.1016/j.ophtha.2014.07.038.
10. Benetz B.A., Lass J.H., Gal R.L. et al. Endothelial morphometric measures to predict endothelial graft failure after penetrating keratoplasty. *JAMA Ophthalmol* 2013. V. 131. P. 601–608. DOI: 10.1001/jamaophthalmol.2013.1693.
11. Nguyen D.Q., Mumford L.L., Jones M.N., Armitage W.J., Cook S.D., Kaye S.B., Tole D.M. The visual and refractive outcomes of combined and sequential penetrating keratoplasty, cataract extraction, and intraocular lens insertion. *Eye*. 2009. V. 23. P. 1295-1301. DOI: 10.1038/eye.2008.301.
12. Viestenz A., Seitz B., Langenbucher A. Intraocular lens power prediction for triple procedures in Fuchs' dystrophy using multiple regression analysis. *Acta Ophthalmologica Scandinavica*. 2005. V. 83. P. 312–315. DOI: 10.1111/j.1600-0420.2005.00418.x.
13. Shimmura S., Ohashi Y., Shiroma H., Shimazaki J., Tsubota K. Corneal opacity and cataract: triple procedure versus secondary approach. *Cornea*. 2003. V. 22. P. 234–238. DOI: 10.1097/00003226-200304000-00010.
14. Dietrich T., Viestenz A., Langebucher A., Naumann G.O.H., Seitz B. Accuracy of IOL power prediction in cataract surgery after penetrating keratoplasty--retrospective study of 72 eyes. *Klin Monbl Augenheilkd*. 2011 Aug. V. 228. №. 8. P. 698-703. DOI: 10.1055/s-0029-1245640.
15. Cung L.X., Hang D.T., Hiep N.X., Quyet D., Thai T.V., Nga V.T., Bac N.D., Nguyen D.N. Evaluation of phacoemulsification cataract surgery outcomes after penetrating keratoplasty. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*. 2019 Dec. V. 7. №. 24. P. 4301-4305. DOI: 10.3889/oamjms.2019.379.
16. Lockington D., Wang E.F., Patel D.V., Moore S.P., McGhee C.N.J. Effectiveness of cataract phacoemulsification with toric intraocular lenses in addressing astigmatism after keratoplasty. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2014. V. 40. №. 12. P. 2044–2049. DOI: 10.1016/j.jcrs.2014.03.025.
17. Cech R., Utíkal T., Juhászová J. Comparison of optical and ultrasound biometry and assessment of using both methods in practice. *Cesk Slov Oftalmol*. 2014 Feb. V. 70. №. 1. P. 3-9.
18. Pereira A., Popovic M., Lloyd J.C., El-Defrawy S., Schlenker M.B. Preoperative measurements for cataract surgery: a comparison of ultrasound and optical biometric devices. *International Ophthalmology*. 2021. V. 41. №. 4. P. 1521-1530. DOI: 10.1007/s10792-021-01714-3.
19. Krysik K., Lyssek-Boron A., Janiszewska-Bil D., Wylegala E., Dobrowolski D. Impact of ultrasound and optical biometry on refractive outcomes of cataract surgery after penetrating

- keratoplasty in keratoconus. *International Journal of Ophthalmology*. 2019. V. 12. №. 6. P. 949–953. DOI: 10.18240/ijo.2019.06.11.
20. Deshmukh R., Nair S., Vaddavalli P.K., Agrawal T., Rapuano C.J., Beltz J., Vajpayee R.B. Post-penetrating keratoplasty astigmatism. *Survey of Ophthalmology*. 2022.. V. 67. №. 4. P. 1200-1228. DOI: 10.1016/j.survophthal.2021.11.005.
21. Fares U., Sarhan A.R.S., Dua H.S. Management of post-keratoplasty astigmatism. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*. 2012 Nov. V. 38. №. 11. P. 2029-39. DOI: 10.1016/j.jcrs.2012.09.002.
22. Guccione L., Mosca L., Scartozzi L., Crincoli E., Fasciani R., Caporossi T., Rizzo S. Correction of refractive errors after corneal transplantation. *Vision Correction and Eye Surgery*. 2022. №. 1. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.intechopen.com/chapters/79956> (дата обращения: 25.11.2022).
23. Feizi S., Zare M. Current approaches for management of postpenetrating keratoplasty astigmatism. *Journal of Ophthalmology*. 2011. P. 708736. DOI: 10.1155/2011/708736.
24. Baek J.W., Park S.J. Finite element analysis of cornea deformation and curvature change during the keratoplasty suturing process. *Biomedical Engineering Letters*. 2019 May. V. 9. №. 2. P. 203–209. DOI: 10.1007/s13534-019-00100-4.
25. Penbe A., Kanar H.S., Simsek S. Efficiency and safety of scleral lenses in rehabilitation of refractive errors and high order aberrations after penetrating keratoplasty. *Eye and Contact Lens*. 2021 May. V. 47. №. 5. P. 301-307. DOI: 10.1097/ICL.0000000000000755.
26. Rocha G.A., Miziara P.O., Castro A.C., et al. Visual rehabilitation using mini-scleral contact lenses after penetrating keratoplasty. *Arq Bras Oftalmol*. 2017. V. 80. P. 17–20. DOI: 10.5935/0004-2749.20170006.
27. Barnett M., Lien V., Li J.Y., et al. Use of scleral lenses and miniscleral lenses after penetrating keratoplasty. *Eye and Contact Lens*. 2016. V. 42. P. 185–189. DOI: 10.1097/ICL.0000000000000163.
28. Wade M., Steinert R.F., Garg S., Farid M., Gaster R. Results of toric intraocular lenses for post-penetrating keratoplasty astigmatism. *Ophthalmology*. 2014. V. 121. №. 3. P. 771–777. DOI: 10.1016/j.ophtha.2013.10.011.
29. Pellegrini M., Furiosi L., Yu A.C., Giannaccare G., Scuteri G., Gardeli I., Busin M., Bovone C., Spena R. Outcomes of cataract surgery with toric intraocular lens implantation after keratoplasty. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*. 2022 Feb. V. 48. №. 2. P. 157-161. DOI: 10.1097/j.jcrs.0000000000000730.

30. Bahar I., Levinger E., Kaiserman I., Sansanayudh W., Rootman D.S. IntraLase-Enabled astigmatic keratotomy for postkeratoplasty astigmatism. *American Journal of Ophthalmology*. 2008. V. 146. №. 6. P. 0–9040. DOI: 10.1016/j.ajo.2008.07.004.
31. Vickers L.A., Gupta P.K. Femtosecond laser-assisted keratotomy. *Current opinion in ophthalmology*. 2016. V. 27. №. 4. P. 277–284. DOI: 10.1097/icu.0000000000000267
32. Wilkins M.R., Mehta J.S., Larkin F.P. (2005). Standardized arcuate keratotomy for postkeratoplasty astigmatism. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*. 2005. V. 31. №. 2. P. 0–301. DOI: 10.1016/j.jcrs.2004.07.025.
33. Linz K., Auffarth G., Kretz F. Implantation einer additiven intraokularlinse in den sulcus ciliaris zur korrektur eines hochgradigen astigmatismus nach Triple Procedure. *Klin Monbl Augenheilkd*. 2014. V. 231. №. 8. P. 788-92. DOI: 10.1055/s-0034-1368597.
34. Hassenstein A., Niemeck F., Giannakakis K., Klemm M. Toric add-on intraocular lenses for correction of high astigmatism after pseudophakic keratoplasty. *Ophthalmologe*. 2017. V. 114. №. 6. P. 549-555. DOI: 10.1007/s00347-016-0386-6.
35. Braga-Mele R., Chang D., Dewey S., Foster G., Henderson B. A., Hill W., Hoffman R., Little B., Mamalis N., Oetting T., Serafano D., Talley-Rostov A., Vasavada A., Yoo Sonia. Multifocal intraocular lenses: Relative indications and contraindications for implantation. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*. 2014. V. 40. №. 2. P. 313–322. DOI: 10.1016/j.jcrs.2013.12.011.
36. Salvétat M.L., Brusini P., Pedrotti E., et al. Higher order aberrations after keratoplasty for keratoconus. *Optometry and Vision Science*. 2013. V. 90. P. 293–301. DOI: 10.1097/OPX.0b013e318281980f.
37. Yamaguchi T., Satake Y., Dogru M., Ohnuma K., Negishi K., Shimazaki J. Visual function and higher-order aberrations in eyes after corneal transplantation: how to improve postoperative quality of vision. *Cornea*. 2015. V. 34. №. 11. P. 128-135. DOI: 10.1097/ICO.0000000000000589.
38. Visser N., Nuijts R.M.M.A., de Vries N.E., Bauer N.J.V. Visual outcomes and patient satisfaction after cataract surgery with toric multifocal intraocular lens implantation. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*. 2011. V. 37. P. 2034–2042. DOI: 10.1016/j.jcrs.2011.05.041.