

Расчет оптической силы ИОЛ после радиальной кератотомии



А.А. Касьянов



Е.Г. Рыжкова

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт глазных болезней»
ул. Россолимо, 11а, б, Москва, 119021, Российская Федерация

РЕЗЮМЕ

Офтальмология. 2022;19(2):325–333

Расчет оптической силы ИОЛ после кераторефракционных операций является важным прикладным аспектом факорефракционной хирургии. Вероятность рефракционной ошибки особенно велика при расчете у пациентов с радиальной кератотомией (РК) в анамнезе. Единого подхода к тактике и методике расчета для данной категории пациентов на данный момент времени не выработано. Исследования проведены в группе из 17 пациентов (26 глаз) с РК в анамнезе. В качестве основной для расчета выбрана формула Haigis, не использующая кератометрию для прогнозирования эффективной позиции ИОЛ (ELP). Расчет ИОЛ и биометрия проводились на IOL-Master, но в опциональные поля кератометрии в ручном режиме вводились скорректированные данные TCP IOL (Ray Traced), полученные на кератотомиографе Galilei. В качестве проверочных использованы формулы Burrett True-K и Hoffer Q, расчет проводился также на IOL-Master с использованием скорректированных данных Galilei. Во всех случаях получена послеоперационная рефракция, близкая к эмметропической. Сферический компонент рефракции составил от +0,5 до -1,0 дптр, цилиндрический — от 0,0 до 4,0 дптр по данным авторефрактометрии. Острота зрения без коррекции составила от 0,4 до 1,0. Некорригированная острота зрения 0,8 и выше получена в 65,38 % случаев. Реализованный алгоритм расчета с применением формулы Haigis в сочетании с использованием индивидуально скорректированных кератометрических данных TCP IOL (Ray Traced, Galilei) позволил значительно повысить точность расчета оптической силы ИОЛ у пациентов с РК в анамнезе и достичь целевой рефракции даже в случаях сложной и нерегулярной топографии роговицы.

Ключевые слова: радиальная кератотомия, катаракта, расчет оптической силы ИОЛ, эффективная позиция ИОЛ, Scheimpflug-кератотомиограф, технология Ray Traced, формула Haigis

Для цитирования: Касьянов А.А., Рыжкова Е.Г. Расчет оптической силы ИОЛ после радиальной кератотомии. *Офтальмология*. 2022;19(2):325–333. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2022-2-325-333>

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

Конфликт интересов отсутствует



IOL Power Calculation Features after Radial Keratotomy

A.A. Kasyanov, E.G. Ryzhkova

Research Institute of Eye Diseases Sciences
Rossolimo str., 11A, B, Moscow, 119021, Russian Federation

ABSTRACT

IOL power calculation after keratorefractive surgery is an important applied aspect of cataract surgery. The probability of refractive error is especially high when calculating in patients with a history of radial keratotomy. There is no unified approach to the tactics and methodology of calculation for this category of patients at the moment. The studies were conducted in a group of 17 patients (26 eyes) with a history of RK. The Haigis formula, which does not use keratometry to predict ELP, was chosen as the main one for the calculation. IOL calculation and biometrics were carried out on the IOL-Master, but corrected TCP IOL (Ray Traced) data obtained on the Galilei keratograph were manually entered into the optional keratometry fields. Thy Burrett True-K and Hoffer Q were used as verification formulas, the calculation was also carried out on IOL-Master, using corrected Galilei data. In all cases, postoperative refraction close to emmetropic was obtained. The spherical component of refraction ranged from +0.5 to -1.0 D, cylindrical — from 0.0 to 4.0 D, according to autorefractometry. Visual acuity without correction ranged from 0.4 to 1.0. Uncorrected visual acuity of 0.8 and higher was obtained in 65.38% of cases. The calculation algorithm implemented by us using the Haigis formula in combination with the use of individually adjusted keratometric TCP IOL data (Ray Traced, Galilei), allowed us to significantly improve the accuracy of IOL power calculating in patients with a history of RK and achieve target refraction even in cases of complex and irregular corneal topography.

Keywords: radial keratotomy, cataract, IOL power calculation, effective lens position, Scheimpflug-keratograph, Ray Traced technology, Haigis formula

For citation: Kasyanov A.A., Ryzhkova E.G. IOL Power Calculation Features after Radial Keratotomy *Ophthalmology in Russia*. 2022;19(2):325–333. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2022-2-325-333>

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

There is no conflict of interests

Ophthalmology in Russia. 2022;19(2):325–333

ВВЕДЕНИЕ

Расчет оптической силы ИОЛ после кераторефракционных операций (КРО), несомненно, является важным прикладным аспектом факорефракционной хирургии [1–4]. Кераторефракционная хирургия постоянно развивается и совершенствуется. За последние 10 лет в мире проведено около двух миллионов операций по методике Smile, которая приводит к принципиально новому изменению структуры роговицы, и в мировой литературе уже появляются сообщения об особенностях расчета оптической силы ИОЛ после Smile [5].

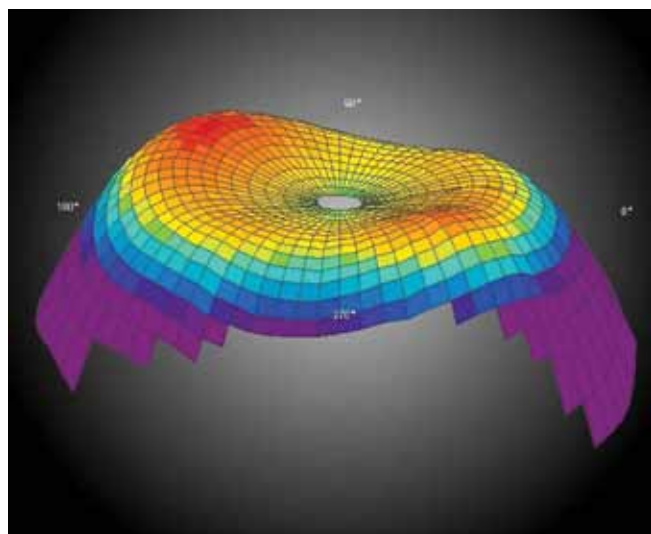


Рис. 1. 3D-элевационная карта роговицы после РК

Fig. 1. 3D elevation map after RK

Однако роговица после корректно выполненной эксимер- или фемтолазерной хирургии топографически и рефракционно является достаточно регулярной и стабильной, чего нельзя сказать о роговице после радиальной кератотомии (РК) (рис. 1 и 2).

В соответствии с этим расчет ИОЛ после РК, как правило, наиболее сложен, и риск рефракционной ошибки более велик.

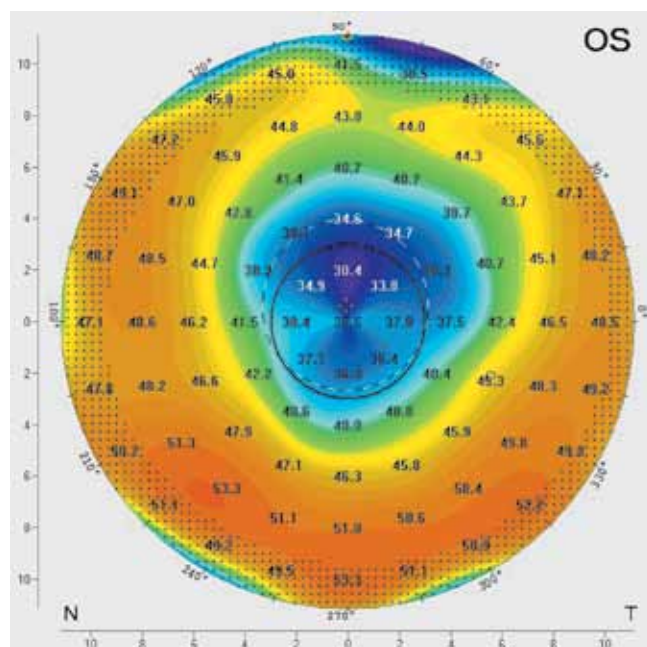


Рис. 2. Рефракционная карта роговицы после РК, Pentacam (TCRP)

Fig. 2. Refractive map after RK Pentacam (TCRP)

А.А. Касьянов, Е.Г. Рыжкова

Контактная информация: Касьянов Александр Анатольевич i-has@ya.ru

Расчет оптической силы ИОЛ после радиальной кератотомии

После РК изменение топографического профиля и рефракции передней и задней поверхности роговицы имеет нерегулярный характер и не поддается систематизации. Перепад рефракции от периферии до центра 3,0 мм оптической зоны или в ее пределах может составлять несколько диоптрий.

Ситуация усугубляется обилием сложных случаев, обусловленных нанесением 16 и более кератотомических надрезов, коррекцией астигматизма, микроперфорациями на границе с центральной оптической зоной (ЦОЗ), отложениями гемосидерина (iron lines) в ЦОЗ, наличием маленьких или децентрированных ЦОЗ и особенностями рубцевания.

Расчет оптической силы ИОЛ для глаз с РК в анамнезе, вероятно, останется актуальной проблемой катарактальной хирургии до момента исчезновения из популяции данной категории пациентов. Принимая во внимание то, что подобных операций в мире сделано несколько миллионов, и период использования данного метода (в РФ вплоть до 1996 года), случаи катаракты в сочетании с РК будут встречаться еще не менее 20 лет.

Несмотря на достаточное совершенство современных Шеймфлюг-кератотопографов и оптических биометров, создание специальных версий формул расчета ИОЛ III и IV поколения, адаптированных для роговицы после РК, абсолютная точность достижения целевого рефракционного результата в силу ряда известных причин пока не может быть гарантирована.

Однако, понимая причины возможной ошибки и используя многофакторный алгоритм оптимизации расчета, возможно получение целевого рефракционного результата с высокой степенью точности в большинстве случаев, сложных в том числе.

Далее целесообразно рассмотреть причины возникновения рефракционной ошибки при расчете ИОЛ для глаз с РК в анамнезе.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕДОСТОВЕРНЫХ ЗНАЧЕНИЙ КЕРАТОМЕТРИИ

При использовании авторефкератометров причина ошибки весьма очевидна и заключается в том, что данный класс приборов получает топометрические данные с помощью оценки нескольких периферических точек передней поверхности роговицы в зоне 2,4–3,2 мм, в то время как более уплощенная центральная зона, наиболее важная в формировании рефракции после РК, выпадает из измерений. Далее вычисление кератометрических диоптрий происходит с помощью рефракционного индекса 1,3375, опираясь на теоретическую модель со среднестатистической преломляющей силой задней поверхности роговицы -6,0 дптр, хотя данный параметр популяционно весьма вариабелен, а для роговицы после РК еще и значительно изменен.

В случае использования Placido-кератотопографов показатели Sim-K системно вычисляются без учета фактической преломляющей силы задней поверхности

роговицы с использованием того же кератометрического индекса 1,375 и могут быть оценены в любой точке в пределах 3,0 мм ЦОЗ. Цветовое картирование уже дает нам представление о превалирующих рефракционных участках ЦОЗ и ее регулярности, однако результаты Sim-K, стандартно выдаваемые кератотопографом, вычислены для периферии 3,0 мм ЦОЗ и могут значительно отличаться от показателей ее более центральных точек.

Некоторые современные оптические биометры благодаря встроенному ОКТ-модулю, кроме множества дополнительных анатомо-оптических параметров, способны оценивать и фактическую преломляющую силу задней поверхности роговицы. Кератометрические данные, получаемые на IOL-Master 700, представлены в двух вариантах: К — это та же Sim-K, полученная исходя из данных кривизны передней поверхности роговицы, и ТК (total keratometry) — кератометрические данные, полученные с учетом индивидуально оцененной преломляющей силы задней поверхности роговицы. Однако в данном приборе для всех системных вычислений используются данные 2,5 мм кольцевидной зоны передней и задней поверхности роговицы. Опция усреднения данных всех точек в пределах 2,5 мм ЦОЗ отсутствует. Таким образом, полученные данные могут быть достоверными для условно простых случаев после РК, например с регулярными ЦОЗ и небольшим количеством надрезов. В любом случае для оценки достоверности кератометрических данных, полученных с помощью IOL-Master, необходим контроль с помощью Шеймфлюг-кератотопографа. Корреляция между сравниваемыми данными может быть различной, но в приоритете будут данные Шеймфлюг-кератотопографа.

НЕПРАВИЛЬНЫЙ ВЫБОР КЕРАТОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

При использовании Шеймфлюг-кератотопографов благодаря индивидуальной оценке преломляющей силы задней поверхности роговицы и технологии Ray Traced, реализующей протокол Total Corneal Power (Galilei) или Total Corneal Refractive Power (Pentacam), нам доступны *in situ* реальные кератометрические данные любой точки внутри 3,0 мм ЦОЗ. Однако данные TCP или TCPRP не являются истиной в последней инстанции и подлежат индивидуальному критическому осмыслению на основе цветового картирования, дифференцировке зон 1,0, 2,0 и 3,0 мм и соотношения со зрачком и вершиной роговицы. Далее, стоит обращать внимание на степень достоверности. Два исследования, сделанные с помощью Pentacam или Galilei с интервалом в одну минуту, могут существенно отличаться по топографии и кератометрическим данным. Кроме того, в кератотопографе Pentacam существует множество протоколов, реализующих детальную оценку ЦОЗ (1 Large Color Map (Total CRP), Holladay EKR Detail Report, Power Distribution, Cataract Pre-OP) с опциями Sagittal, Tangencial, Tru Net Power, Total CRP, в которых данные для зон 1,0, 2,0, 3,0 и 4,0 мм могут

значительно отличаться. Например, в протоколе Cataract Pre-OP данные K1 и K2 Total CRP стандартно «вычисляются в 4,0 мм кольцевидной зоне вокруг вершины роговицы» и в случае роговицы после РК могут сильно отличаться от усредненных значений в зоне 1,0 и 3,0 мм (рис. 3).

В Шеймфлюг-кератотопографе Galilei данные TCRP представляются в виде рефракции главных меридианов (Steep/Flat), которая формируется путем усреднения данных всех точек по линии меридиана в пределах 4,0 мм ЦОЗ, ее среднего арифметического значения (Mean) и показателя Central, значение которого вычисляется путем усреднения данных всех точек внутри 4,0 мм ЦОЗ. Таким образом, в случае РК на формирование вышеуказанных показателей большое и, возможно, преобладающее влияние оказывают данные более крутой периферии 4,0 мм ЦОЗ, в то время как внутри 2,0 мм, более уплощенной зоны, кератометрические данные могут быть иными. На корректность получаемых данных также будет оказывать влияние степень регулярности роговицы внутри 4,0 мм ЦОЗ.

Таким образом, даже имея в распоряжении столь совершенные приборы, как Шеймфлюг-кератотопографы с технологией Ray Traced, при стандартном подходе (правомерном для интактной роговицы), возможны неправильная трактовка и выбор кератометрических данных для последующего расчета.

НЕПРАВИЛЬНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ПОЗИЦИИ ИОЛ (ELP)

Впервые на этот аспект, касающийся индуцирующей рефракционной ошибки при расчете ИОЛ для глаз после кераторефракционных операций, обратил внимание испанский офтальмолог Jaime Aramberri, что принесло ему мировую известность после презентации метода Double K на конгрессе ESCRS в Барселоне в 2001 году и его публикации в JCRS в 2003 [6].

Причина неправильного предсказания ELP (Effective Lens Position) для глаз после кераторефракционных операций (RK, PRK, Lasic) состоит в том, что большинство формул используют для прогнозирования ELP расчет высоты роговичного купола (сегмента), который основан на данных кератометрии. Однако роговица после кераторефракционной операции (КРО) значительно уплощена, и формулы воспринимают модель как миопический глаз с асимметричным передним отрезком, плоской роговицей и мелкой передней камерой. Соответственно, формулы уменьшают значение ELP, рассчитывая его по данным фактической кератометрии (рис. 4), в то время как глубина передней камеры после КРО не изменилась, и величина истинной ELP будет больше (рис. 5). Из-за ошибочно уменьшенного значения ELP формулы уменьшают оптическую силу ИОЛ, индуцируя гиперметропический сдвиг послеоперационной рефракции, поскольку ИОЛ после имплантации окажется в точке истинной ELP, более далекой от вершины роговицы. Ошибка в прогнозировании ELP на 1,0 мм индуцирует ошибку в послеоперационной рефракции около 1,5 дптр.

Таким образом, расчет ELP для получения ее истинного значения должен быть произведен на основе кератометрических данных, полученных до проведения кераторефракционной операции, а расчет оптической силы ИОЛ — на основе фактических данных кератометрии, уже после КРО, соответственно. Именно в этом и состоит сущность метода Double K, предложенного J. Aramberri. Впоследствии на основе этого метода были созданы Double K версии формул III и IV поколения (SRK/T, Holladay 1, Hoffer Q, Burrett True-K History) и онлайн-калькуляторы (ASCRS, EyeLab).

Однако для всех этих версий необходимы рефракционные данные из клинической истории. На современном этапе они необходимы не для вычисления истинной преломляющей силы роговицы после РК, а для верного предсказания ELP. Если необходимые данные отсутствуют, предлагаются разные решения.

J. Aramberri предлагает пересчет кератометрических данных до выполнения КРО (K pre) через суммарные значения глубины передней камеры и толщины хрусталика (ACD+ LT) (рис. 6).

И.В. Богуш предложил свой способ восстановления данных предоперационной кривизны роговицы в ЦОЗ после РК на основе математической реконструкции из данных периферической кривизны роговицы [7]. Способ заключается в определении среднего значения преломляющей силы роговицы на удалении 4,0–4,5 мм

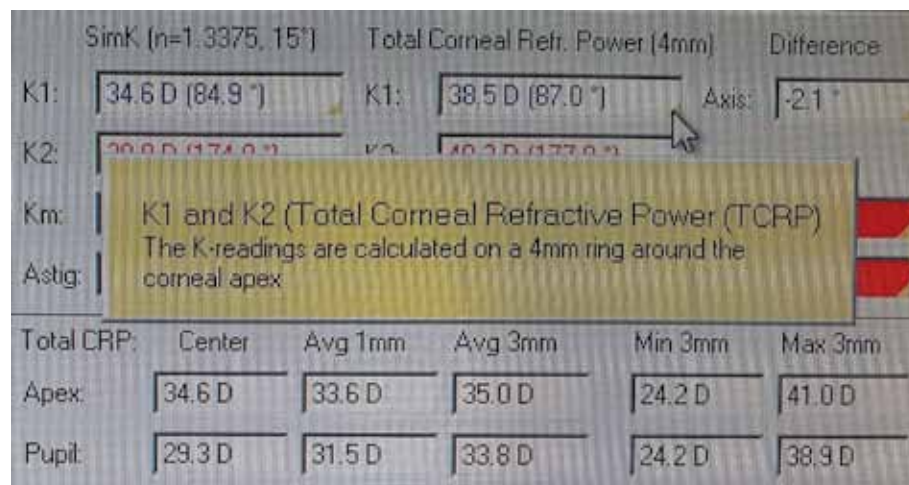


Рис. 3. Значения кератометрии в зонах 1,0, 3,0 и 4,0 мм, протокол Cataract Pre-OP (Pentacam)

Fig. 3. Keratometry values in zones 1.0, 3.0 and 4.0 mm, "Cataract Pre-OP Report" (Pentacam)

от центра, т.е. в 8,0–9,0 мм периферической зоны, с помощью Orbscan. Далее с помощью модифицированного уравнения Baker, в котором в качестве переменных используются радиус кривизны периферической точки, расстояние от периферической точки до центральной оси и эксцентриситет фигуры конического сечения. По свидетельству автора метод обладает высокой степенью точности, в группе из 118 глаз радиус кривизны роговицы на основе математического моделирования в среднем составил $7,69 \pm 0,25$ мм, а по данным клинической истории — $7,7 \pm 0,25$ мм.

Возможно применение формул расчета ИОЛ, не использующих для предсказания ELP данные кератометрии (Haigis, SRK II).

Возможно также использование формулы Burrett True-K No History.

НЕПРАВИЛЬНЫЙ ВЫБОР ФОРМУЛЫ РАСЧЕТА ОПТИЧЕСКОЙ СИЛЫ ИОЛ

В зависимости от алгоритма предсказания ELP, набора используемых анатомо-оптических параметров и математической структуры современные формулы расчета ИОЛ обладают различной степенью адекватности при применении для глаз после КРО и особенно после РК.

Формула SRK II в силу своей невысокой степени точности в настоящий момент не может быть рекомендована к использованию, но, несмотря на свою архаичность, может давать парадоксально лучшие результаты по сравнению с формулами III и IV поколений для глаз после РК с условно средними анатомо-оптическими параметрами. Поскольку, являясь полностью регрессионной, не использует ELP при расчете.

Формулы SRK/T и Holladay 1 используют для расчета 2 параметра: кератометрию и величину ПЗО, а для прогнозирования ELP — расчет высоты роговичного купола (сегмента), который основан на фактических данных кератометрии. Таким образом, предсказание величины ELP этими формулами для глаз после РК будет ошибочным и их применение не может быть рекомендовано.

Формула Hoffer Q была опубликована автором в 1993 году. Понятие ELP еще не было введено, и Kenneth Hoffer обозначал ее как псевдофакическую глубину передней камеры (ACD). Для прогнозирования ACD использовалась не формула высоты роговичного купола, а выведенная эмпирическим путем ее нелинейная зависимость от величины ПЗО. Применяя графический калькулятор, автор испробовал множество вариантов математических формул, используя величину ПЗО и среднее значение кератометрии, пока формула не выдала желаемую кривую. Полученная S-образная кривая соответствовала предположениям автора о взаимосвязи ACD и ПЗО с фактором тангентной зависимости от кератометрии [8]. Возможно, благодаря такому методу предсказания ELP, прямому использованию кератометрических диоптрий без перевода в радиус кривизны роговицы формула Hoffer Q хорошо



Рис. 4. Ошибка прогнозирования ELP при использовании фактических данных кератометрии после КРО (J. Aramberri, 2015)¹

Fig. 4. ELP prediction error when using actual keratometry data after refractive surgery (J. Aramberri, 2015)¹

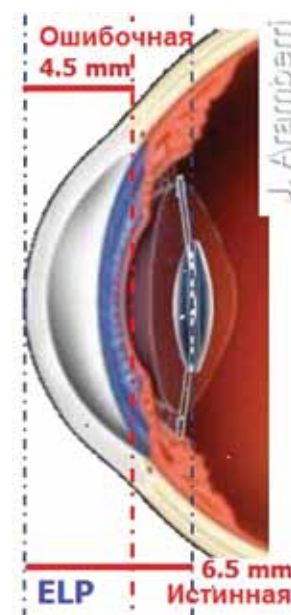


Рис. 5. Прогнозирование позиции ИОЛ при истинном и ошибочном расчете ELP (J. Aramberri, 2015)¹

Fig. 5. Predicting the IOL position with true and erroneous ELP calculation (J. Aramberri, 2015)¹

ACD + LT (mm)	K pre (D)
< 7.5	42
7.5 – 8.10	43.5
> 8.10	45

Рис. 6. Пересчет данных предоперационной кератометрии через значения ACD и LT (J. Aramberri, 2015)¹

Fig. 6. Calculation of preoperative keratometry data using ACD and LT values (J. Aramberri, 2015)¹

¹ J. Aramberri, доступно: [http://ascrs15.expoplanner.com/handouts_ascrs/000580_24680583_Savini_Intraocular_Lens_Power\(6\).pdf](http://ascrs15.expoplanner.com/handouts_ascrs/000580_24680583_Savini_Intraocular_Lens_Power(6).pdf)

работает в миопических глазах с уплощенной роговицей после РК с кератометрией в диапазоне 30,0–40,0 дптр.

Формулы IV поколения Holladay 2 и Burrett U2, учитывая использование предоперационной ACD и LT (толщины хрусталика) как входящих данных, дают несколько лучшие результаты, чем SRK/T и Holladay 1, однако их точность для глаз после РК также недостаточна.

Формула Haigis по очевидной логике и свидетельству автора имеет преимущество для глаз после КРО по сравнению с любыми другими формулами, поскольку в ней для прогнозирования ELP используется только ПЗО и предоперационная ACD и не используется кератометрия [9, 10]. Кератометрические данные необходимы формуле только для расчета оптической силы ИОЛ, и для корректного расчета после РК остается лишь предоставить ей их истинные значения.

Формула Burrett True-K в вариантах History и No-History достаточно апробирована в долгосрочном периоде и дает отличные результаты при расчете для глаз после РК [11]. Предположительно, в варианте History использована модифицированная Double K версия Burrett U2.

В случае версии No-History алгоритм действия формулы также нигде не опубликован и не раскрыт автором. По мнению ряда исследователей [12, 13], формула использует некий алгоритм внутренней регрессии для восстановления данных предоперационной кератометрии исходя из величины ПЗО, фактической кератометрии и предполагаемого изменения рефракции после РК. Далее, вероятно, формула работает по Double K методу. В IOL-Master 700 для расчета оптической силы ИОЛ после РК используется именно версия Burrett True-K No-History. В приборном интерфейсе данного протокола имеются опциональные поля для ввода значений предоперационной рефракции, но они не активны, точнее, ввод различных показателей не влияет на расчет.

ВЛИЯНИЕ РЕФРАКЦИОННОГО ИНДЕКСА

Рефракционный индекс 1,3375, основанный на модели глаза Гультрандта (в которой толщина роговицы принята как 500 мкм, а рефракция задней поверхности роговицы $(-)6,0$ дптр), используется в большинстве диагностических приборов и формул расчета оптической силы ИОЛ. Согласно классическим представлениям, после РК уплощение передней и задней поверхности роговицы происходит пропорционально, соотношение радиусов кривизны передней и задней поверхности $(1,20–1,21)$ остается неизменным, соответственно, рефракционный индекс не изменяется [14, 15]. Однако существует мнение [16], что уплощение передней и задней поверхности роговицы после РК происходит непропорционально и задняя поверхность уплощается больше. Соответственно, соотношение радиусов кривизны передней и задней поверхности изменяется и изменяется рефракционный индекс. Вывод об изменении рефракционного индекса сделан на основе исследования кривизны

передней и задней поверхности роговицы при помощи Pentacam в группе из 48 глаз после РК. Усредненное значение соотношения радиуса кривизны передней поверхности роговицы к радиусу задней в среднем по меридианам составило $1,07 \pm 0,70$. Рефракционный индекс, рассчитанный на основании значения 1,07, составил в среднем $1,3538 \pm 0,0239$. Однако авторы не сообщают, из каких протоколов и из каких зон (по диаметру) были взяты данные для расчетов, что весьма важно для стандартизации и достоверности результата. Несомненно, любые научные исследования и изыскания имеют смысл, но даже если рассчитать индивидуальный рефракционный индекс для каждого пациента после РК, далее воспользоваться им никак не получится. К тому же, имея в своем арсенале Pentacam, возможно получить практически абсолютно достоверные кератометрические данные для использования в дальнейших расчетах.

Таким образом, на сегодняшний день, на наш взгляд, какие-либо манипуляции с рефракционным индексом роговицы после РК нецелесообразны.

Исходя из вышеизложенного, целью работы явилась оптимизация алгоритма расчета оптической силы ИОЛ для глаз после РК.

ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

В исследование были включены 17 пациентов (26 глаз) с катарактой и РК в анамнезе. Количество кератомических надрезов составляло от 4 до 16, в 2 случаях радиальные надрезы сочетались с тангентными. Величина ПЗО зафиксирована в диапазоне от 24,47 до 32,10 мм, кератометрии — от 29,3 до 40,0 дптр. Рефракционные данные из клинической истории были доступны лишь в одном случае. Возраст пациентов варьировал от 54 до 83 лет. Сроки наблюдения в послеоперационном периоде составили от 1 до 7 месяцев. Полученную рефракцию оценивали с помощью авторефкератометра и проверяли субъективным подбором корректирующих стекол на 1-й и 7-й день и далее через 1 и 3 месяца после операции. Кератометрические показатели оценивали в динамике в аналогичные сроки и на одном и том же приборе. Уровень ВГД оценивали с помощью пневмотонометра.

Всем пациентам проведен комплекс стандартных предоперационных офтальмологических исследований, включая биометрию (IOL-Master) и Шеймфлюгкератотопографию (Galilei).

Хирургию катаракты проводили по коаксиальной MICS технологии с пониженным уровнем ирригации с помощью факоэмульсификаторов Infiniti, Centurion (Alcon Laboratories) и Stellaris (Bausch+Lomb) под инстилляционной анестезией в сочетании с субконъюнктивальной при необходимости. Имплантировали ИОЛ из гидрофильного или гидрофобного акрила с нулевой или отрицательной сферической аберрацией. В зависимости от модели, имплантируемой ИОЛ, диаметра nozzle-части инжектора и расстояния между кератомическими надрезами в качестве основного доступа

использовали роговичные или склеророговичные разрезы с шириной 2,0 или 2,2 мм.

Для достижения поставленной цели, исходя из теоретических составляющих и собственного клинического опыта, оптимизация алгоритма расчета осуществлялась на основе следующих принципов.

1. Не использовать рефракционные данные клинической истории (ввиду их редкой доступности и сомнительной достоверности).

2. Не использовать метод линейных, фиксированных или регрессионных поправок к значению оптической силы ИОЛ для любых формул.

3. Использовать для расчета приоритетно оптическую биометрию в сочетании с УЗ-методом для контроля достоверности корреляции между ними.

4. Использовать для расчета кератометрические данные протоколов TCP или TCRP Шеймфлюг-кератотопографов, индивидуально адаптированные на основе анализа цветового картирования и зональной дифференцировки.

5. Применять для расчета формулы, не использующие кератометрию для прогнозирования ELP, или формулы с теоретическими предпосылками или алгоритмами для корректного расчета для глаз после РК.

6. Использовать несколько формул для контроля разброса результатов.

7. Проводить расчет на эмметропическую рефракцию.

Учитывая вводную информацию и принципы, изложенные выше, основной формулой для расчета оптической силы ИОЛ для глаз с радиальной кератотомией в анамнезе выбрана формула Haigis, не использующая кератометрию для прогнозирования ELP.

При расчетах использовался следующий алгоритм:

1. Кератометрические данные получали с помощью Шеймфлюг-кератотографа Galilei (SW V6.4.1), использовали протокол IOL Power Report. Непосредственно цифровые значения выбирали из графы TCP IOL (Ray Traced) с возможной корректировкой на основе индивидуальной оценки регулярности, зональной дифференцировки и превалирования рефракционных зон в апертуре 3,0 мм. При значениях кератометрии менее 37,0 дптр стандартную шкалу цветового картирования изменяли на ANSI или German.

2. Проводили стандартную биометрию (IOL-Master 700).

3. Расчет ИОЛ проводили по формуле Haigis на IOL-Master, но в опциональные поля кератометрии в ручном режиме вводили скорректированные данные, полученные на кератотографе Galilei. В случае полного совпадения между кератометрией IOL-Master и скорректированными данными Galilei изменения не вносили.

4. Расчет проводили на эмметропическую рефракцию или возможное получение простого миопического астигматизма.

5. В качестве проверочных использовали формулы Burrett True-K и Hoffer Q, расчет проводили также на IOL-Master с применением скорректированных данных Galilei.

6. Выбор оптической силы ИОЛ для имплантации осуществляли на основе корреляции между результатами расчета по формулам Haigis, Burrett True-K и Hoffer Q.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Во всех случаях получена послеоперационная рефракция, близкая к эмметропической. В трех случаях, по данным рефрактометрии, зафиксирован небольшой гиперметропический сдвиг (sph +0,5 дптр). Следует отметить, что для данной категории пациентов автоматическая рефрактометрия, по понятным причинам, не является объективным методом оценки рефракции. Следует отметить также, что в нашем исследовании ни в одном случае попытка коррекции полученных слабых степеней аметропии и астигматизма не приводила к достоверному повышению остроты зрения. Сферический компонент рефракции составил от +0,5 до -1,0 дптр, цилиндрический — от 0,0 до 4,0 дптр по данным авторефрактометрии. Острота зрения без коррекции составила от 0,4 до 1,0. Некорригированная острота зрения 0,8 и выше получена в 65,38 % случаев. Детализация основных анатомо-оптических, расчетных и функциональных показателей по всем клиническим случаям представлена в таблице 1.

Приводим клинический случай, детально иллюстрирующий алгоритм расчета.

Пациентка Б., 58 лет. В анамнезе РК на ОУ в 1987 г.

OS — незрелая катаракта, 8 кератотомических надразов.

Vis OS — 0,1, с корр. sph +1,75 дптр, cyl +1,25 дптр ax 114° — 0,3.

ПЗО OS — 24,53.

Кератометрия по данным IOL-Master: 36,79 дптр ax 38°/38,11 дптр ax 128°/ **SE 37,44**

Кератометрия по данным Galilei (TCP IOL (Ray Traced)): 36,09 дптр ax 27°/37,15 дптр ax 117°/ **Mean TCP 36,62** (рис. 7).

Расчет на эмметропическую рефракцию:

По кератометрии IOL-Master (**SE 37,44**)

Haigis: +26,5 дптр

Burrett True K: +26,0 дптр

Hoffer Q: +26,5 дптр

По скорректированной кератометрии Galilei (**SE 36,5**)

Haigis: +28,0 дптр

Burrett True K: +27,0 дптр

Hoffer Q: +28,0 дптр

Не рекомендованные формулы:

Holladay2: +26,5 дптр

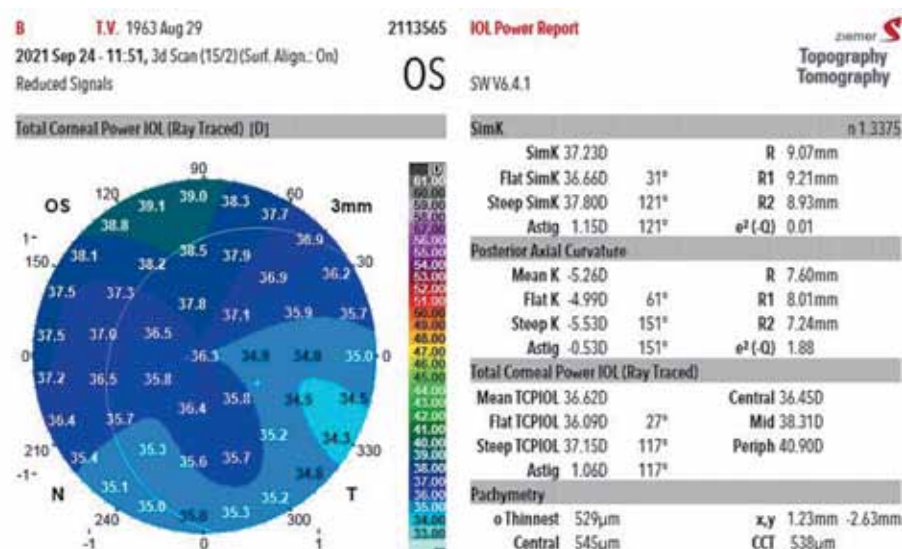
SRK/T: +26,0 дптр

Burrett U2: +27,0 дптр

Имплантирована ИОЛ +28,0 дптр (A const opt. — 119,1).

Таблица 1. Исходные данные, расчет оптической силы ИОЛ, результаты**Table 1.** Initial data, IOL power calculation, results

№	ПЗО, мм / APS	Кератометрия, дптр / Keratometry D — кол-во надрезов	Расчетная сила ИОЛ, дптр / Estimated IOL Power, D			Выбор ИОЛ, дптр / IOL D	Рефракция п/о / Sph CyI	НКОЗ п/о / uncorrected visual acuity p/o
			Haigis	Burrett True K	Hoffer Q			
1	28,30	39,2 — 12	13,0	13,5	13,0	13,0	-1,0 -0,5	0,8
2	30,59	32,5 — 12	17,0	18,5	16,5	18,0	0,0 +4,0	0,6
3	27,90	38,3 — 12	15,0	15,5	15,0	15,0	-0,25 -1,25	1,0
4	28,17	36,8 — 10	17,0	17,0	16,5	17,0	-0,5 -0,75	0,9
5	25,11	37,4 — 16	23,5	23,5	23,5	23,5	+0,5 +1,25	0,4
6	24,86	38,0 — 4	23,0	23,0	23,0	23,0	-0,25 0,0	0,8
7	24,56	40,0 — 4	22,0	22,0	22,0	22,0	0,0 -1,0	1,0
8	24,53	36,5 — 8	28,0	27,0	28,0	28,0	-0,25 -0,75	1,0
9	24,47	33,8 — 8	31,5	30,0	31,5	31,0	-0,5 -0,75	1,0
10	26,87	36,0 — 4	21,0	21,0	20,5	20,5	-0,25 -0,75	1,0
11	26,81	37,0 — 4	20,0	20,0	19,5	19,5	-0,5 -0,25	1,0
12	28,15	35,0 — 10	17,5	17,5	17,0	17,5	-0,25 -0,75	1,0
13	26,72	38,2 — 16	18,5	18,5	18,0	18,5	-0,5 -1,0	0,8
14	26,99	38,0 — 14	18,0	18,0	17,5	17,5	0,0 -3,0	0,5
15	26,04	39,0 — 8	19,0	19,0	19,0	18,5	-0,25 -0,75	0,8
16	25,28	39,3 — 10	22,0	22,0	21,5	22,0	0,0 -1,25	0,8
17	25,09	33,6 — 8	30,5	29,0	30,0	30,0	+0,5 -2,0	0,5
18	24,92	34,2 — 8	30,0	28,5	29,5	30,0	0,0 +1,25	0,7
19	26,63	32,3 — 12	27,0	25,5	26,0	26,0	+0,5 -1,5	0,6
20	27,72	39,6 — 12	14,0	14,5	13,5	14,0	-0,25 -0,75	0,8
21	31,21	30,1 — 16	18,5	20,5	18,5	19,0	-0,5 -1,75	0,6
22	32,10	29,3 — 16	17,5	N/A	17,5	17,5	0,0 -2,0	0,5
23	27,63	35,0 — 10	20,0	20,5	20,0	20,0	-0,25 -0,75	0,9
24	28,52	34,2 — 10	18,5	19,5	19,0	19,0	-0,5 -0,5	0,8
25	24,79	36,7 — 4	25,5	25,5	25,0	25,5	-0,25 0,0	1,0
26	26,90	35,3 — 8	21,0	21,5	21,5	21,5	-0,5 -1,5	0,6

**Рис. 7.** Протокол «IOL Power Report» пациентки Б. (Galilei)**Fig. 7.** IOL Power Report of patient B. (Galilei)

Послеоперационная рефракция: sph -0,25 дптр, cyl -0,75 дптр ax 31°

Vis OS — 1,0 6/к.

Уже после операции пациентка предоставила данные клинической истории на момент выполнения РК, и был проведен расчет по формуле Barrett True K Universal V2.5 с использованием предоставленных данных пред- и послеоперационной рефракции. Расчетное значение составило +26,0 дптр. В варианте «No-History» (без ввода данных рефракции) +26,5 дптр. Таким образом, данные рефракционной истории в этом клиническом случае не оказали позитивного влияния на точность расчета.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые на основе результатов проведенного исследования предлагается реально работающий, теоретически обоснованный алгоритм расчета оптической силы ИОЛ для пациентов с радиальной кератотомией в анамнезе, который мы назвали «метод трех формул», с использованием скорректированных данных Scheimpflug Ray Traced кератометрии. Для необходимой точности расчета достаточно одновременного использования трех формул: Haigis, Burrett True K и Hoffer Q. Выбор скорректированных данных кератометрии и финальный выбор оптической силы ИОЛ всегда будет индивидуален в зависимости от предпочтений и опыта исследователя. Использование данных рефракционной истории и применение фиксированных, линейных и регрессионных поправок нецелесообразно. Учитывая полученные

результаты, свидетельствующие о достаточном повышении точности расчета, целесообразен комментарий относительно использования различных типов ИОЛ у данной категории пациентов. Использование EDOF ИОЛ без фиксированных фокальных точек весьма перспективно, трифокальных — возможно, но функционально небезопасно. К имплантации торических ИОЛ стоит подходить с особой осторожностью. На наш взгляд, безопаснее вторичная имплантация торической supplementary ИОЛ в случае значительного повышения остроты зрения от торической очковой коррекции на артефактичном глазу.

УЧАСТИЕ АВТОРОВ:

Касьянов А.А. — концепция и дизайн исследования, написание текста, редактирование, сбор и обработка материала, подготовка иллюстраций;
Рыжкова Е.Г. — проведение исследований, сбор и обработка материала.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Аветисов С.Э. Радиальная кератотомия: история и реальность. *Вестник офтальмологии*. 2021;137(2):123–131. [Avetisov S.E. Radial keratotomy: history and current state. *Annals of Ophthalmology = Vestnik oftal'mologii*. 2021;137(2):123–131 (In Russ.)]. DOI: 10.17116/oftalma2021137021123
2. Юсеф Ю.Н., Касьянов А.А., Иванов М.Н., Юсеф С.Н., Введенский А.С., Рыжкова Е.Г., Шевелев А.Ю. Расчет оптической силы интраокулярных линз в нестандартных клинических ситуациях. *Вестник офтальмологии*. 2013;5:62–66. [Yusef Yu.N., Kasyanov A.A., Ivanov M.N., Yusef S.N., Vvedensky A.S., Ryzhkova E.G., Shevelev A.Yu. Calculation of the optical power of intraocular lenses in non-standard clinical situations. *Annals of Ophthalmology = Vestnik oftal'mologii*. 2013;5:62–66 (In Russ.)].
3. Аветисов С.Э., Касьянов А.А., Ильякова Л.А., Аветисов К.С. Случай фактоэмульсификации после проведенной радиальной кератотомии (особенности расчета оптической силы интраокулярной линзы). *Вестник офтальмологии*. 2005;1:43–44. [Avetisov S.E., Kasyanov A.A., Ilyakova L.A., Avetisov K.S. The case of phacoemulsification after radial keratotomy (features of calculating the optical power of intraocular lens). *Annals of Ophthalmology = Vestnik oftal'mologii*. 2005;1:43–44 (In Russ.)].
4. Касьянов А.А. Особенности расчета силы интраокулярной линзы после кераторефракционных операций. *Вестник офтальмологии*. 2004;2:51–54. [Kasyanov A.A. Features of IOL power calculating after refractive surgery. *Annals of Ophthalmology = Vestnik oftal'mologii*. 2004;2:51–54 (In Russ.)].
5. Wei Zhu, Feng-Ju Zhang, Yu Li, Yan-Zheng Song. Stability of the Barrett True-K formula for intraocular lens power calculation after SMILE in Chinese myopic eyes. *Int J Ophthalmol*. 2020;13(4):560–566. DOI: 10.18240/ijo.2020.04.05
6. Aramberri J. Intraocular lens power calculation after corneal refractive surgery: double-K method. *J Cataract Refract Surg*. 2003;29(11):2063–2068. DOI: 10.1016/S0886-3350(03)00957-X
7. Богущ И.В. Комбинированный метод определения оптической силы интраокулярных линз после радиальной кератотомии. *Сибирский научный медицинский журнал*. 2009;138(4):93–99. [Bogush I.V. Combined method of intraocular lens power calculation after radial keratotomy. *Siberian scientific medical journal = Sibirskiy nauchnyy meditsinskiy zhurnal*. 2009;138(4):93–99 (In Russ.)].
8. Hoffer K.J. The Hoffer Q formula: A comparison of theoretic and regression formulas. *J Cataract Refract Surg*. 1993;19:700–712. DOI: 10.1016/S0886-3350(13)80338-0
9. Haigis W. Intraocular lens calculation after refractive surgery. *European Ophthalmic Review*. 2012;6(1):21–24. DOI: 10.17925/EOR.2012.06.01.21
10. Haigis W. Intraocular lens calculation after refractive surgery for myopia: Haigis-L formula. *J Cataract Refract Surg*. 2008;34(10):1658–1663. DOI: 10.1016/j.jcrs.2008.06.029
11. Tavares R., Ferreira G., Ghanem V. IOL Power Calculation After Radial Keratotomy Using the Haigis and Barrett True-K Formulas. *J Refract Surg*. 2020;36(12):832–837. DOI: 10.3928/1081597X-20200930-02
12. Abulafia A., Hill W., Koch D., Wang L., Barrett G. Accuracy of the Barrett True-K formula for intraocular lens power prediction after laser in situ keratomileusis or photorefractive keratectomy for myopia. *J Cataract Refract Surg*. 2016;42(3):363–369. DOI: 10.1016/j.jcrs.2015.11.039
13. Koch D., Wang L. Calculating IOL power in eyes that have had refractive surgery [editorial]. *J Cataract Refract Surg*. 2003;29:2039–2042. DOI: 10.1016/j.jcrs.2003.10.009
14. Seitz B., Langenbucher A. Intraocular lens calculations status after corneal refractive surgery. *Curr Opin Ophthalmol*. 2000;11(1):35–46. DOI: 10.1097/00055735-200002000-00006
15. Нероев В.В., Тарутта Е.П., Ходжабекян Н.В. Оценка анатомо-оптических параметров роговицы после кераторефракционных вмешательств с помощью шаймпфлюг-анализатора Galilei G2. *Российский офтальмологический журнал*. 2014;2(7):5–9. [Neroev V.V., Tarutta E.P., E.P. Khodzhabekyan E.P. Using Galilei G2 Scheimpflug Analyser to Determine Anatomical and Optical Parameters of the Cornea after Refractive Corneal Surgery. *Russian ophthalmological journal = Rossiyskiy oftal'mologicheskii zhurnal*. 2014;2:5–9 (In Russ.)].
16. Цыренжапова Е.К., Розанова О.И., Селиверстова Н.Н. Анализ оптических свойств задней поверхности роговицы у пациентов после передней радиальной кератотомии. *Acta Biomedica Scientifica*. 2019;4(4):24–29. [Tsyrenzhapova E.K., Rozanova O.I., Seliverstova N.N. Analysis of optical properties of the posterior corneal surface in patients after anterior radial keratotomy. *Acta Biomedica Scientifica*. 2019;4(4):24–29 (In Russ.)]. DOI: 10.29413/ABS.2019-4.4.3

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт глазных болезней»
Касьянов Александр Анатольевич
доктор медицинских наук, старший научный сотрудник
ул. Россолимо, 11а, 6, Москва, 119021, Российская Федерация
<https://orcid.org/0000-0003-0193-2216>

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт глазных болезней»
Рыжкова Ева Геннадьевна
младший научный сотрудник
ул. Россолимо, 11а, 6, Москва, 119021, Российская Федерация
<https://orcid.org/0000-0002-6396-1752>

ABOUT THE AUTHORS

Research Institute of Eye Diseases Sciences
Kasyanov Alexander A.
MD, senior research officer
Rossolimo str., 11A, B, Moscow, 119021, Russian Federation
<https://orcid.org/0000-0003-0193-2216>

Research Institute of Eye Diseases Sciences
Ryzhkova Eva G.
junior research assistant
Rossolimo str., 11A, B, Moscow, 119021, Russian Federation
<https://orcid.org/0000-0002-6396-1752>