

Ошибки в расчетах оптической силы ИОЛ в нестандартных клинических ситуациях. Обзор литературы

Г.Е. Манаенкова^{1,2}

¹ Тамбовский филиал ФГАУ НМИЦ «МНТХ "Микрохирургия глаза" им. академика С.Н. Федорова»
Министерства здравоохранения Российской Федерации
Рассказовское шоссе, 1, Тамбов, 392000, Российская Федерация

² ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина», Медицинский институт
ул. Советская, 93, Тамбов, 392000, Российская Федерация

РЕЗЮМЕ

Офтальмология. 2022;19(1):46–52

Результат операции определяется не только техникой хирурга, наличием современного инновационного оборудования, но и во многом обусловлен точностью диагностики и умелой интерпретацией биометрических, кератометрических параметров; применением современных формул IV, V поколения для расчета оптической силы интраокулярной линзы (ИОЛ), что позволяет предсказать правильное положение ИОЛ за счет использования прогностических величин, определяющих послеоперационное положение линзы. Наличие разнообразных современных методов исследования и постоянное совершенствование формул для расчета линз позволяют получать наиболее максимально приближенные к эметропии результаты. В настоящее время идет процесс беспрестанного усовершенствования формул расчета оптической силы ИОЛ за счет создания более сложных алгоритмов предсказания положения линзы в псевдофакичном глазу путем увеличения числа различных биометрических величин, включения данных о состоянии капсульного мешка и его связочного аппарата, а также путем использования факторов, влияющих на положение оптической части ИОЛ после операции, например наличия глаукомы или ПЭС у оперируемого пациента. В формулах предлагают учитывать такие параметры линзы, как толщина и кривизна преломляющих поверхностей, меняющаяся в зависимости от ее силы, материал оптической части и конфигурация гаптических элементов, что также оказывает влияние на ЭПЛ. Все эти меры помогут уменьшить процент рефракционных ошибок.

Ключевые слова: биометрия, кератометрия, интраокулярная линза, эффективное положение линзы, формулы расчета оптической силы линзы

Для цитирования: Манаенкова Г.Е. Ошибки в расчетах оптической силы ИОЛ в нестандартных клинических ситуациях. Обзор литературы. *Офтальмология*. 2022;19(1):46–52. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2022-1-46-52>

Прозрачность финансовой деятельности: Автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах

Конфликт интересов отсутствует



Errors in IOL Power Calculation in Rare Clinical Cases. Literature Review

G.E. Manaenkova^{1,2}

¹ Tambov branch of S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution
Rasskazovskoe highway, 1, Tambov, 392000, Russian Federation

² Tambov State University named after G.R. Derzhavin
Sovetskaya str., 93, Tambov, 392000, Russian Federation

ABSTRACT

Ophthalmology in Russia. 2022;19(1):46–52

The postoperative result is determined not only by technique of a surgeon, the availability of modern innovative equipment, but also due to the accurate diagnostics and skilled interpretation of biometric, keratometric parameters; the use of modern formulas of IV, V generations to calculate the optical power of the intraocular lens (IOL), allowing to predict the correct position of the IOL, through the use of predictive variables that determine the postoperative lens position. The variety of modern research methods and continuous improvement of formulas for lens calculation allows us to get the closest results to emmetropia.

Keywords: biometry, keratometry, intraocular lens, effective lens position, formula for lens power calculation

For citation: Manaenkova G.E. Errors in IOL Power Calculation in Rare Clinical Cases. Literature Review. *Ophthalmology in Russia*. 2022;19(1):46–52. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2022-1-46-52>

Financial Disclosure: The author has no financial or property interest in any material or method mentioned
There is no conflict of interests

Целью представления данного обзора послужило обсуждение причин появления послеоперационных аметропий в нестандартных клинических ситуациях. Точный рефракционный результат стал главным критерием качества операции. По нормативам Британской национальной службы здравоохранения (British National Health Service — NHS) от 2009 г. расхождение от рефракции цели после факоэмульсификации (ФЭ) на глазах с интактной роговицей составляет $\pm 0,5$ дптр в 55 % и $\pm 1,0$ дптр в 85 % случаев. Задачами современной хирургии катаракты благодаря совершенствованию новейших технологий являются не только удаление хрусталика, но и удовлетворение требований пациентов к высокой точности расчета силы ИОЛ [1–6]. От точности проведения предоперационного обследования во многом зависит успешный результат операции. Неточность в измерении оси глаза в один миллиметр ведет к ошибке рефракции в послеоперационном периоде в 3 диоптрии [4, 5]. По сведениям различных исследователей, ошибки в определении аксиальной длины глаза на 0,11 мм ведут к ошибке выбора ИОЛ на 0,38 дптр. Погрешность в измерении переднезадней оси глаза на 0,09 мм ведет к ошибке в выборе ИОЛ на 0,22 дптр. Неточность в определении рефракции роговицы на 0,25 дптр приводит к ошибке выбора ИОЛ на 0,34 дптр [6, 7].

Современные методы и принципы биометрии позволили уменьшить ошибки измерения переднезадней оси глаза с 66,4 до 1,5 % [7–10]. На объективность кератометрии оказывает влияние продолжительное ношение жестких контактных линз. В одном из своих исследований W. Haigis продемонстрировал, что кератометрия может измениться с 46,88 до 46,04 дптр через несколько часов после снятия жестких контактных линз. Необходимо, чтобы пациент отказался от жестких контактных линз

за 4–8 недель до проведения кератометрии. А мягкие контактные линзы желательно снять хотя бы за 2 недели до обследования [11]. В первую очередь целесообразно проводить бесконтактные методы обследования, а затем и контактные.

Помимо применения высокоточных методов биометрии и кератометрии, важно также создание и использование формул, с помощью которых можно прогнозировать необходимое положение ИОЛ в задней камере и учесть конфигурацию преломляющих поверхностей ИОЛ в формировании изображения в оптической системе глаза, поскольку после факоэмульсификации катаракты с имплантацией ИОЛ меняется пространственное соотношение структур переднего отрезка глаза за счет увеличения глубины передней камеры. Наибольшие изменения происходят у пациентов с гиперметропической рефракцией [2, 6–11].

ФОРМУЛЫ РАСЧЕТА ОПТИЧЕСКОЙ СИЛЫ ИНТРАОКУЛЯРНЫХ ЛИНЗ

Согласно Holladay, ранее дифференцировали три вида формул расчета силы линзы: формулы первого поколения — «точные оптические» и линейные регрессионные (Федоров — Колинко, Binkhorst, Colebrander и др.); формулы ИОЛ второго поколения — формулы с уточняющими параметрами (Binkhorst-II, Hoffer и др.), третьего поколения — формулы расчета ИОЛ с применением персонифицированного фактора для конкретного вида линзы (Holladay, SRK/T и др.) [5, 7, 11]. Так, при использовании формул ИОЛ первого поколения возникали ошибки в рефракции из-за игнорирования обратной связи с результатами операций, поскольку не было взаимодействия «рефракционный результат — формула». Первой из формул ИОЛ второго поколения,

G.E. Manaenkova

Contact information: Manaenkova Galina E. naukatmb@mail.ru

Errors in IOL Power Calculation in Rare Clinical Cases. Literature Review

или «регрессионных» формул, стала SRK I, а потом и SRK II, Donzis-Kastl-Gordon, Gills и др.

«Регрессионные» формулы возникли на основе сравнительного анализа дооперационных клинических результатов с послеоперационными рефракционными результатами, которые ретроспективно сопоставляли с конкретной математической величиной рефракции линзы. «Регрессионные» формулы имеют константу «А», которая учитывает местоположение ИОЛ в глазу. Просчеты при имплантации ИОЛ с использованием формул второго поколения по-прежнему имели место, что привело к третьему этапу — появлению «смешанных» формул на базе «точных» оптических с использованием коэффициентов по эмпирическим данным (Holladay, SRK/T и др.). J.T. Holladay положил начало следующему поколению формул — III, он первый предложил понятие хирургического фактора — SF, представляющего собой расстояние между главной плоскостью ИОЛ и плоскостью радужки. Расстояние вычисляется на основании уже известных статистических данных результатов имплантации. Хирургический фактор SF формировался по клиническим данным и предлагался для конкретной ИОЛ. Затем K.J. Hoffer ввел персонифицированную величину — pers ACD — значение, указывающее положение конкретного типа ИОЛ относительно вершины роговицы. Эта величина является индивидуальной для данного типа ИОЛ, и ее можно определить, зная SF, по следующей формуле: $\text{pers ACD} = (\text{SF} + 3,595) / 0,9704$.

Совершенствование формул шло по пути применения огромного количества переменных для предсказания эффективного положения линзы (ЭПЛ) в глазу [8–11]. Так, помимо первоначально использованных параметров глаза: кератометрии, глубины передней камеры и А-константы стали использовать ряд вспомогательных величин: диаметр передней камеры, толщину хрусталика, возраст пациента, рефракцию до операции и даже вертексное расстояние в пробной оправе, как, например, в формуле Holladay II. Эта формула должна была более точно предсказывать глубину передней камеры после операции, используя данные посегментной биометрии глаза. Именно с формулы Holladay II начинается четвертое поколение мультипараметрических формул.

К IV поколению формул относится и формула Olsen, которая имеет параметр С-константы, иллюстрирующей положение ИОЛ в капсульном мешке. Положение ИОЛ складывается исходя из фактора линзы (LP) — физической величины, которая рассчитывается по формуле $\text{LP} = \text{ACD} + \text{C} \times \text{LT}$. Для использования формулы Olsen необходим снимок на шеймпфлюг-камере с контролем качества. Для расчета силы линзы по формуле Olsen используются следующие величины: кератометрия передней и задней поверхности роговицы, диаметр роговицы, глубина передней камеры, толщина роговицы, диаметр зрачка. Если имеются данные о наличии кераторефракционной операции в анамнезе, их вносят вручную в базу данных. Применение С-константы гарантирует

достоверное прогнозирование послеоперационного положения ИОЛ с коэффициентом корреляции, близким к 0,9 [8]. Но константа рассчитана для линз с силой 22 дптр, что не дает точной оценки толщины их оптики при меняющейся оптической силе, которая имеет огромное влияние на результат [10].

В формуле Barrett Universal II, так же как и в формулах Olsen и SRK/T, используется величина диаметра передней камеры (WTW). Новизна формулы заключается в учете диаметра задней поверхности роговицы за счет внедрения двусферической модели глаза. С помощью формулы Барретта можно прогнозировать положение хрусталика у конкретного пациента с учетом данных задней поверхности роговицы. Формула Барретта связывает такие величины, как сила ИОЛ, аксиальная длина глаза, глубина передней камеры и значения кератометрии; также она учитывает оптическую конфигурацию ИОЛ. В данную формулу вводится «Фактор линзы», рассчитываемый из А-константы, представляющей собой расстояние от плоскости радужки до главной плоскости ИОЛ, в то время как положение главной плоскости варьирует и зависит от толщины ИОЛ. При расчете учитывается измеренная фактическая толщина хрусталика, а не значение, прогнозируемое на основе возраста пациента.

РЕФРАКЦИОННЫЕ ОШИБКИ СИЛЫ ИОЛ В НЕСТАНДАРТНЫХ КЛИНИЧЕСКИХ СИТУАЦИЯХ

Для достоверности расчета ИОЛ необходима корректная трактовка полученных данных, использование необходимой формулы для расчета ИОЛ. В настоящее время сохраняется достаточно проблем, связанных с рефракционными ошибками при артифакции в нестандартных клинических ситуациях, в частности при короткой (менее 21 мм) переднезадней оси глаза, при удалении хрусталика у пациентов с перенесенными рефракционными вмешательствами на роговице. Сюда можно отнести и случаи экстремальной миопии, при которых длина глаза превышает 30 мм, а также наличия авитрии. Каждый такой случай требует подробного обсуждения причин ошибок в расчетах силы линзы и выбор более приемлемой формулы для расчета [10].

РЕФРАКЦИОННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИ ХИРУРГИИ КАТАРАКТЫ НА ГЛАЗАХ С ГИПЕРМЕТРОПИЕЙ

По словам д-ра Вольфганга, профессора университета г. Вюрцбурга, Германия, «высокоточная биометрия и использование современных формул расчета силы ИОЛ являются важными элементами для достижения высоких зрительных результатов в катарактальной хирургии у гиперметропов» [10]. А д-р Хаигис на XXXI съезде общества ESCRS, проходившем в Амстердаме в 2013 г., утверждал, что «рефракционные результаты при хирургии катаракты на глазах с гиперметропией более восприимчивы и менее снисходительны к неточностям измерения, чем на глазах с осевой длиной в пределах физиологической нормы».

Погрешности в рефракционных расчетах связаны с ошибками определения предполагаемого места расположения ИОЛ (ЭПЛ), и их гораздо больше при короткой длине глаза, чем при большой или средней длине глаза. Если оптика линзы располагается кпереди или кзади ее прогнозируемого положения всего на 1,0 мм, отклонение от целевой рефракции составит 0,6 дптр при длине глаза равной 27 мм, а при длине глаза равной 21 мм расхождение составит 2,0 дптр [10]. Причиной ошибок также может быть и изменение преломляющей силы ИОЛ при максимальном отклонении от заданной величины ИОЛ, допускаемое производителем. Так, например, максимально допустимое отклонение ИОЛ с номинальной оптической силой ниже 15 дптр составило всего 0,3 дптр, а для ИОЛ с номинальной оптической силой выше 30 дптр приблизилось к 1,0 дптр [10].

Использование некоторых формул расчета оптической силы ИОЛ, таких, например, как SRK/T и SRK II, приводит к получению неточных результатов в коротких глазах. В случаях, когда осевая длина глаза составляет менее 22 мм, рекомендованы к использованию формулы Hoffer-Q, Haigis и Holladay 2 [10]. Это связано с тем, что глаза с короткой аксиальной осью, с нормальным передним сегментом и коротким задним сегментом составляют примерно 80 % от всех коротких глаз, и только 20 % имеют малые размеры переднего отрезка. Основываясь на этих наблюдениях Dr. Jack Holladay пришел к выводу, что использование формул третьего поколения обуславливает систематическую ошибку, это приводит к уменьшению ожидаемой глубины передней камеры при расчете ее как производной от длины глаза. Эти формулы предсказывают положение ИОЛ немного кпереди, что приводит к гиперметропической ошибке [8, 9]. Для расчета ИОЛ важны следующие параметры: размер роговицы (white to white), толщина хрусталика, глубина передней камеры, что повышает предсказуемость расположения ИОЛ в коротком глазу, а значит точность расчета. Holladay также предлагает использовать формулу Holladay 2 в коротких глазах.

Ни одна из известных формул не будет работать при крайних значениях гиперметропии, потому что необходимые линзы будут значительно большей толщины [10]. В таких ситуациях необходимо предоставить информацию о биометрии пациента производителем

ИОЛ для проведения индивидуального расчета на основании технологии aberromетрии с использованием ray tracing. О применении различных формул при гиперметропической рефракции также достаточно подробно написано в докторской диссертации Е.И. Беликовой «Технология хирургической реабилитации пациентов с пресбиопией» [12]. Автор рекомендует следующие формулы для расчета ИОЛ при различной степени гиперметропии (табл. 1).

РАСЧЕТ ИОЛ НА ГЛАЗАХ С «ЭКСТРЕМАЛЬНО ВЫСОКОЙ МИОПИЕЙ»

Биометрия и расчет ИОЛ могут вызывать существенные затруднения при высокой миопии, особенно при наличии стафилом. Точка фовеолярной фиксации может совпасть с вершиной стафиломы или с ее границей, а это обуславливает ошибочный результат [12, 13]. В связи с этим необходимо дублировать результаты и представлять форму заднего отдела глаза, а именно, желательно иметь картину В-скана. Биометрия, используемая для расчета интраокулярных линз, должна быть точной, определять максимальное количество параметров, сканирование должно проводиться ровно по оптической оси, адаптироваться под нестандартные ситуации, то есть афакию, артифакию, наличие силикона в стекловидном теле. Все это обеспечивает оптическая биометрия, поскольку ее возможности многократно превосходят ультразвуковую биометрию, в том числе в отношении разрешающей способности. Длина волны инфракрасного диодного лазера, применяющегося для проведения исследования, находится в интервале 700–880 нм, а длина ультразвукового — 0,19 мм при частоте 10 МГц. Погрешности при измерениях также существенно меньше при оптической биометрии.

Оптическая биометрия благодаря высокой повторяемости данных стала предпочтительной методикой измерения в различных странах Европы и США. Несмотря на противоречивые результаты исследований относительно величины глубины передней камеры и кератометрии на различных ОКТ-устройствах, большинство исследований, касающихся измерений осевой длины глаза на оптических биометрах, показывают повторяемость данных, полученных на различных приборах. При непрозрачных средах возможно применение

Таблица 1. Номограмма расчета силы ИОЛ

Table 1. Nomogram of IOL power calculation

Длина глаза и кератометрия Eye length and keratometry	Формула Formula	Рефракция цели / Target refraction		
		Доминантный глаз Dominant eye	Em Emmetropia	Недоминантный глаз Non-dominant eye
21,0 мм и меньше / 21,0 mm and less	Holladay II	+0,25	0	–0,25
21,0–22,0	Hoffer	+0,25	0	–0,25
22,01 и больше / 22,01 and more	SRK-T	–0,25	0	–0,5
22,01 и больше / 22,01 and more	SRK-T	+0,25	0	–0,25
22,01 и больше <42,00 или >47,00 дптр / 22,01 and more <42,00 or >47,00 D	Holladay II	–0,25	0	–0,5

иммерсионной биометрии, данные которой приближаются к оптической.

Следующим этапом является выбор корректных формул для расчета ИОЛ. Согласно полученным данным К.Б. Першина, «алгоритм выбора формулы для расчета оптической силы линзы при экстремальной миопии» требует дополнительную поправку формул для расчета силы ИОЛ. Автором также проведена оценка рефракционного результата после проведения ФЭК с имплантацией ИОЛ на глазах с аксиальной длиной глаза больше 30 мм; линзы предварительно были рассчитаны по следующим формулам: SRK/T, Hoffer Q, Holladay II, Haigis и Barrett [14].

В группе пациентов с имплантацией «плюс»-ИОЛ (от 0 до +5 дптр) значимых различий между значениями цели и расчетными значениями сферического эквивалента при использовании формул SRK/T, Hoffer-Q, Holladay II и Haigis не выявлено, а применение формулы Barrett дает 99 % попадание в рефракцию цели $\pm 1,0$ дптр. Автором сделано заключение, что для пациентов из группы «минус»-ИОЛ (от 5 до 1 дптр) предпочтительно использовать формулы Haigis и Barrett. Для расчета ИОЛ у пациентов с экстремально высокой миопией рекомендуется формула Barrett [14].

РАСЧЕТ ЛИНЗЫ НА АВИТРЕАЛЬНЫХ ГЛАЗАХ

Одним из «краеугольных камней» является расчет ИОЛ при авитрии. Известно из различных источников, что после операции фактоэмульсификации катаракты на авитреальных глазах прогнозируемая клиническая рефракция отклоняется от заданной в сторону миопии в среднем от 0,48 до 0,53 диоптрии [15]. Усиление рефракции после операции фактоэмульсификации у пациентов на фоне авитрии связано с особенностями анатомии авитреального глаза и не зависит от способа экстракции катаракты. Этот факт обусловлен смещением ИОЛ к вершине роговицы в авитреальном глазу. Фактически ИОЛ расположена ближе к роговице ($\Delta ACD = -0,5$ мм). Глаз после тотальной или субтотальной авитрии представляет собой «однокамерную» систему, заполненную внутриглазной жидкостью, с нарушением связочного аппарата хрусталика, а также отсутствием преград, препятствующих смещению капсульного мешка с ИОЛ к роговице [15]. При расчете силы ИОЛ на авитреальных глазах требуется вносить поправку с учетом сдвига значения послеоперационной клинической рефракции в сторону миопии в пределах 0,5–1,0 диоптрии [15].

РАСЧЕТ ЛИНЗЫ ПОСЛЕ РЕФРАКЦИОННЫХ ОПЕРАЦИЙ

В настоящее время идет большой поток пациентов с катарактой после кераторефракционных операций в анамнезе: радиальной кератотомии, ФРК, ЛАСИК; что требует более детального анализа оптических свойств роговицы и грамотного расчета ИОЛ у данных пациентов. По данным большинства исследователей,

причиной ошибок в расчетах ИОЛ после рефракционных операций является неправильная оценка кератометрии. Для глаз с ранее выполненной радиальной кератотомией в отдаленном послеоперационном периоде характерно наличие индуцированного астигматизма в 3–15 % случаев, гиперметропии, обусловленной нарушением техники операции, и возникновением макро- и микроперфораций, неравномерным процессом рубцевания, снижением прочности роговицы [1, 15–17]. У ряда пациентов после радиальной кератотомии имеет место выраженная оптическая деформация роговицы, а как результат, увеличение аберраций высокого порядка и снижение качества зрения [1, 15–17]. Для роговицы после ЛАСИК коэффициент Гульстранда уменьшается, и значения кератометрии будет завышать истинную преломляющую силу роговицы. Вследствие этого некорректно использование рефракционного индекса $n = 1,3375$.

Применение приборов Pentacam, использующих технологию Шеймпфлюг для измерения кривизны передней, задней поверхности роговицы и ее толщины, а также использование протокола Холладея, показывающего эквивалентные значения кератометрии и общую преломляющую силу роговицы в разных зонах, позволяют значительно сократить ошибки в расчете ИОЛ после рефракционных операций. Не все формулы используют значение кератометрии для предсказания ЭПЛ, которое нельзя измерить до операции, но можно оценить, исходя из биометрических параметров глаза: аксиальной длины, кератометрии и др.

Если послеоперационная кератометрия использовалась для расчета ЭПЛ, то рассчитанное значение ЭПЛ будет слишком малым и как результат — выбор ИОЛ с недостаточной преломляющей силой. Применение среднего значения кератометрии в стандартных формулах расчета ИОЛ часто ведет к значительной недокоррекции после операции, существенному сдвигу в сторону гиперметропии. Рефракция после катаракты у пациентов с предшествующей рефракционной операцией может составить от +1,0 до +6,0 [1, 15–25]. Можно также предположить, что степень возможной ошибки будет возрастать при искусственном уплощении роговицы и изменении соотношения кривизны передней и задней поверхности роговицы после ФРК и ЛАСИК в глазу с миопией или гиперметропией высокой степени [1, 23–25].

Существуют различные методы расчета линзы после рефракционных операций, один из них — «Метод клинической истории», который не всегда применим, так как данные рефракции до операции могут отсутствовать или быть неточными. «Метод обхода роговицы», или corneal bypass, также использует в расчете формулы дооперационную рефракцию как рефракцию цели. «Метод двойной кератометрии», разработанный Арамберри, применяет предоперационные значения кератометрии и предлагает номограмму поправок к силе ИОЛ для формул SRK/T, Hoffer Q, Holladay I. «Метод

Маскета» предполагает наличие линейной зависимости между изменениями рефракции и изменением центральной кератометрии и лежит в основе некоторых формул расчета ИОЛ: Holladay I, Hoffer Q.

В основе метода Shammas No-History, впервые предложенного Shammas в 2003 г., лежит регрессионный анализ, который не требует дооперационных данных пациента. Полученная рефракция центра роговицы путем математических действий адаптируется к «истинной» величине, которая используется в оригинальной формуле для вычисления оптической силы ИОЛ. «Метод Barret True K», так же как и метод Shammas, основан на базе Barret Universal и может быть использован при отсутствии дооперационной кератометрии, то есть без учета истории. Некоторые из этих формул доступны в системе Verion 3.1, Lenstar, IOL Master 700 [26–37]. В отличие от традиционной формулы Haigis, Haigis-L принимает во внимание эффективное положение линзы, и эту формулу можно рекомендовать для расчета ИОЛ у данной группы пациентов. При этом после миопического ЛАСИК используется формула Haigis-L с рефракцией цели $+0,25 \dots +0,5$ дптр; после миопической ФРК — Haigis-L с рефракцией цели $-0,25 \dots -0,5$ дптр, после гиперметропического ЛАСИК — Hoffer Q без поправок [12]. Также ряд авторов предлагает применять, помимо Haigis L, и другие формулы IV поколения (Holladay II, Olsen) с четырьмя учитываемыми факторами, что дает возможность значительно повысить точность расчетов

силы ИОЛ. При наличии в арсенале системы Verion целесообразно применять имеющуюся в программном обеспечении формулу 4-го поколения Holladay II [12, 38].

Существуют различные методы, формулы расчета ИОЛ после рефракционных операций с использованием клинической истории или без нее, но, используя несколько методов, необходимо сопоставлять полученные результаты с собственным опытом и клинической оценкой случая. Некоторые авторы рекомендуют стремиться попасть в легкую миопию, тем самым снижая риск получения гиперметропических ошибок [39].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время идет процесс беспрестанного усовершенствования формул расчета оптической силы ИОЛ [1, 10] за счет создания более сложных алгоритмов предсказания положения линзы в псевдофакичном глазу путем увеличения числа различных биометрических величин, включения данных о состоянии капсульно-го мешка и его связочного аппарата, а также путем использования факторов, влияющих на положение оптической части ИОЛ после операции, например глаукомы или ПЭС у оперируемого пациента. В формулах предлагают учитывать такие параметры линзы, как толщина и кривизна преломляющих поверхностей, меняющиеся в зависимости от ее силы, материала оптической части и конфигурации гаптических элементов, что также оказывает влияние на ЭПЛ. Все эти меры помогут уменьшить процент рефракционных ошибок.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Касьянов А.А. Особенности расчета силы интраокулярной линзы после кераторефракционных операций. *Вестник офтальмологии*. 2004;120(2):51–54. [Kas'yanov A.A. Features of intraocular lens calculation after keratorefractive surgeries. *Annals of Ophthalmology = Vestnik oftalmologii*. 2004;120(2):51–54 (in Russ.).]
2. Шиловский О.В., Ульянов А.Н., Кремешков М.В., Титаренко Е.М. Сравнение рефракционных результатов расчета ИОЛ с использованием формул IV поколения в случае ранее проведенной кератотомии. *Офтальмология* 2018;15(25):121–125. [Shilovskiy O.V., Ulyanov A.N., Kremeshkov M.V., Titarenko E.M. Comparison of refractive results IOL calculation using the IV generation formulas in cases of previous radial keratotomy. *Ophthalmology in Russia = Oftalmologiya*. 2018;15(25):121–125 (In Russ.).] DOI: 10.18008/1816-5095-2018-25-121-125
3. Балашевич Л.И., Даниленко Е.В., Ефимов О.А. К алгоритму расчета глубины передней камеры псевдофакичного глаза. *Катарактальная и рефракционная хирургия*. 2011;11(4):13–16. [Balashevich L.I., Danilenko E.V., Efimov O.A. The design of calculation algorithm of the pseudophakic anterior chamber depth. *Cataract and refractive surgery = Kataraktal'naya i refraktsionnaya khirurgiya*. 2011;11(4):13–16 (In Russ.).]
4. Першин К.Б. Занимательная фактоэмulsionфикация. Записки катарактального хирурга. СПб.: Борея Арт, 2007. 133 с. [Pershin K.B. Interesting phacoemulsification. Notes of a cataract surgeon. Saint-Peterburg: "Borey Art" Publ., 2007. 133 p. (In Russ.).]
5. Филиппова О.М. Выбор тактики хирургического вмешательства и планирования послеоперационной рефракции при глаукоме, катаракте и миопии. *Глаукома*. 2002;2:44–51. [Filippova O.M. Selection of tactics of a surgical intervention and planning of a postoperative refraction at a glaucoma, cataract and myopia. *Glaucoma = Glaucoma*. 2002;2:44–51 (In Russ.).]
6. Юсиф Ю.Н., Касьянов А.А., Иванов М.Н., Юсиф С.Н. Расчет оптической силы интраокулярных линз в нестандартных клинических ситуациях. *Вестник офтальмологии*. 2013;129(5):62–66. [Iusef Yu.N., Kas'yanov A.A., Ivanov M.N., Iusef S.N. Calculation of intraocular lens power in non-standard clinical situations. *Annals of Ophthalmology = Vestnik oftalmologii* 2013;129(5):62–66 (In Russ.).]
7. Куликов А.Н., Кокарева Е.В., Дзилихов А.А. Эффективная позиция линзы. Обзор. *Офтальмохирургия*. 2018;1:92–97. [Kulikov A.N., Kokareva E.V., Dzilikhov A.A. Effective lens position. Review. *Ophthalmosurgery = Oftalmokhirurgiya*. 2018;1:92–97 (In Russ.).]
8. Engren A.-L., Behndig A. Anterior chamber depth, intraocular lens position, and refractive outcomes after cataract surgery. *J. Cataract Refract. Surg.* 2013;39:572–577. DOI: 10.1016/j.jcrs.2012.11.019
9. Olsen T. Prediction of the effective post-operative (intraocular lens) anterior chamber depth. *J. Cataract Refract Surg.* 2006;32:419–424. DOI: 10.1016/j.jcrs.2005.12.139
10. Su P.-F., Lo A.-Y. Anterior chamber depth measurement in phakic and pseudophakic eyes. *Optom. Vis. Sci.* 2008;85(12):1193–2000. DOI: 10.1097/OPX.0b013e3181818e8ceb
11. Расчет ИОЛ при гиперметропии. *Новое в офтальмологии*. 2014;3:64–65. [IOL calculation in hypermetropia. New in ophthalmology = *Novoe v oftalmologii*. 2014;3:64–65 (In Russ.).] <https://eyepress.ru/article.aspx?15350>
12. Егорова Э.В., Малигин Б.Э., Морозова Т.А., Полянская Е.Г. Анатомо-топографические особенности переднего сегмента артифакчного глаза по результатам исследования методом ультразвуковой биомикроскопии. *Катарактальная и рефракционная хирургия*. 2010;4:4–9. [Egorova E.V., Malyugin B.E., Morozova T.A., Polyanskaya E.G. Anatomic topographic features of anterior segment of pseudophakic eyes after cataract phacoemulsification with intraocular lens implantation by means of ultrasound biomicroscopy. *Cataract and refractive surgery = Kataraktal'naya i refraktsionnaya khirurgiya*. 2010;4:12–16 (In Russ.).]
13. Rajan M., Kelhorn I. Coherence laser interferometry conventional ultrasound biometry in intraocular lens power calculation. *Eye*. 2002;16(5):552–556. DOI: 10.1038/sj.eye.6700157
14. Першин К.Б., Пашинова Н.Ф., Цыганков А.Ю., Легких С.Л. Особенности расчета оптической силы ИОЛ у пациентов с аксиальной длиной глаза 24–28 мм без предшествующих рефракционных вмешательств. *Офтальмология*. 2016;13(2):89–96. [Pershin K.B., Pashinova N.F., Tsygankov A.Yu., Legkikh S.L. IOL optic power calculation in patients with eye axial length 24–28 mm without preceding refractive surgery. *Ophthalmology in Russia = Oftalmologiya*. 2016;13(2):89–96 (In Russ.).] DOI: 10.18008/1816-5095-2016-2-89-96
15. Пантелеев Е.Н., Бессарабов А.Н., Малышев В.В. Миопический сдвиг клинической рефракции после фактоэмulsionфикации катаракты с имплантацией ИОЛ в случае авитрии. *Офтальмология*. 2013;10(2):35–37. [Pantelev E.N., Bessarabov A.N., Malyshev V.V. Myopic shift of clinical refraction following clinical phacoemulsification with IOL implantation in an avitreal eye. *Ophthalmology in Russia = Oftalmologiya*. 2013;10(2):35–37 (In Russ.).]
16. Ходжаев Н.С., Богущ И.В. Методы устранения рефракционных ошибок при расчете силы интраокулярных линз после кераторефракционных операций. *Офтальмохирургия*. 2010;2:51–54. [Khozhaev N.S., Bogush I.V. Methods for eliminating refractive errors in calculating the strength of intraocular lenses after keratorefractive operations. *Ophthalmosurgery = Oftalmokhirurgiya*. 2010;2:51–54 (In Russ.).]

G.E. Manaenkova

Contact information: Manaenkova Galina E. naukatmb@mail.ru

Errors in IOL Power Calculation in Rare Clinical Cases. Literature Review

17. Аветисов С.Э., Мамиконян В.Р., Касьянов А.А. Особенности расчета оптической силы ИОЛ у пациентов с радиальной кератотомией в анамнезе. *Офтальмология* 2004;1(4):15–23. [Avetisov S.Ye., Mamikonjan V.R., Kas'janov A.A. Features of IOL power calculation in patients operated on for radial keratotomy. *Ophthalmology in Russia = Oftal'mologiya*. 2004;1(4):15–23 (In Russ.).]
18. Нероев В.В., Тарутта Е.П., Ходжабекян Н.В. Оценка анатомооптических параметров роговицы после кераторефракционных вмешательств с помощью шаймплуг-анализатора Galilei G2. *Российский офтальмологический журнал*. 2014;2:5–9. [Neroev V.V., Tarutta E.P., Khodzhabekyan N.V., Khandzhyan A.T., Penkina A.V., Milash S.V. 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.).]
19. Husain S.E., Kohnen T., Maturi R. Computerized videokeratography and keratometry in determining intraocular lens calculations. *J. Cataract. Refract. Surg.* 1996;22:362–366.
20. Богущ И.В., Садрутдинов Р.Ш., Черных В.В. Трудности расчета силы интраокулярной линзы после кераторефракционных операций. *Отражение*. 2018;1:60–63. [Bogush I.V., Sadrutdinov R.Sh., Chernyh V.V. Challenges of intraocular lens power calculation after keratorefractive surgery. *Reflection = Otrazhenie*. 2018;1:60–63 (In Russ.).]
21. Пантелеев Е.Н., Бессарабов А.Н., Агафонов С.Г. Роль изменений анатомооптических взаимоотношений в переднем отрезке глаза после миопического Lasic и дозированной радиальной кератотомии в расчетах эффективного положения ИОЛ. *Практическая медицина* 2012;1(4):284–287. [Panteleev E.N., Bessarabov A.N., Agafonov S.G. The role of changes in anatomical and optical relationships in the anterior segments of myopic eyes after LASIK and front dosed radial keratotomy in calculations of effective IOL position. *Practical medicine = Prakticheskaya medicina*. 2012;1(4):284–287 (In Russ.).]
22. Терешенко Ю.А., Сорокин Е.Л. Анализ особенностей выполнения фактоэмульсификации с имплантацией ИОЛ у пациентов после рефракционной хирургии роговицы. *Современные технологии в офтальмологии*. 2016;5:49–51. [Tereshchenko Yu.A., Sorokin E.L. Analysis of peculiarities of phacoemulsification with IOL implantation. *Current technologies in ophthalmology Sovremennye tekhnologii v oftal'mologii*. 2016;5:49–51 (In Russ.).]
23. Гусев Ю.А., Беликова Е.И., Третьяк Е.Б. Современные подходы к интраокулярной коррекции послеоперационной астигматизации у пациентов после кераторефракционных операций. *Офтальмология*. 2015;12(3):12–21. [Gusev Yu.A., Belikova E.I., Tret'yak E.B. Current approaches to the intraocular correction of postoperative astigmatism after corneal refractive surgery (a review). *Ophthalmology in Russia = Oftal'mologiya*. 2015;12(3):12–21 (In Russ.).]
24. Гусев Ю.А., Беликова Е.И., Третьяк Е.Б., Жежелева Л.В. Особенности расчета оптической силы интраокулярной линзы после радиальной кератотомии (клинический случай). *Катарактальная и рефракционная хирургия*. 2015;15(2):41–46. [Gusev Yu.A., Belikova E.I., Tret'yak E.B., Zhezheleva L.V. Intracocular lens power calculation after radial keratotomy (clinical case). *Cataract and refractive surgery = Kataraktal'naya i refraktsionnaya khirurgiya*. 2015;15(2):41–46 (In Russ.).]
25. Титаренко Е.М., Шиловских О.В., Ульянов А.Н., Кремешков М.В. Особенности обследования и расчета ИОЛ на глазах после перенесенной ранее радиальной кератотомии. *Современные технологии в офтальмологии*. 2015;4:104–106. [Titarenko E.M., Shilovskikh O.V., Ulyanov A.N., Kremeshkov M.V. Features of examination and IOL calculation on the eyes after radial keratotomy. *Current technologies in ophthalmology = Sovremennye tekhnologii v oftal'mologii*. 2015;4:104–106 (In Russ.).]
26. Жежелева Л.В., Гусев Ю.А. Влияние показателей кератометрии на точность расчета оптической силы ИОЛ у пациентов после радиальной кератотомии. *Катарактальная и рефракционная хирургия*. 2016;1:25–30. [Zhezheleva L.V., Gusev Yu.A. The impact of corneal keratometry indices on the accuracy of IOL power calculations after radial keratotomy. *Cataract and refractive surgery = Kataraktal'naya i refraktsionnaya khirurgiya*. 2016;1:25–30 (In Russ.).]
27. Бикбулатова А.А., Пасикова Н.В. Особенности фактоэмульсификации катаракты у пациентов после передней радиальной кератотомии. *Современные технологии в офтальмологии*. 2015;4:23–26. [Bikbulatova A.A., Pasikova N.V. Cataract phacoemulsification after anterior radial keratotomy. *Current technologies in ophthalmology = Sovremennye tekhnologii v oftal'mologii*. 2015;4:23–26 (In Russ.).]
28. Кузнецов И.В., Пасикова Н.В., Кузнецова В.И. Возможности кератометрической системы «Verion» по сравнению с традиционными кератометрами у пациентов после радиальной кератотомии. *Практическая медицина*. 2018;16(4):34–37. [Kuznetsov I.V., Pasikova N.V., Kuznetsova V.I. Features of "Verion" keratometric system in comparison with traditional keratometers in patients after radial keratotomy. *Practical medicine = Prakticheskaya meditsina*. 2018;16(4):34–37 (In Russ.).]
29. Hoffer K.J. Special circumstances: post-laser refractive surgery eyes. In: Hoffer KJ (ed.) *IOL Power*. Thorofare, NJ: SLACK Inc. 2011;7:179–194.
30. Fesharaki H., Peyman A., Rowshandel M., Peyman M. A comparative study of complications of cataract surgery with phacoemulsification in eyes with high and normal axial length. *Adv. Biomed. Res.* 2012;1:67.
31. Бикбов М.М., Бикбулатова А.А., Пасикова Н.В. Ретроспективный анализ точности формул расчета оптической силы интраокулярных линз у пациентов после передней радиальной кератотомии. *Катарактальная и рефракционная хирургия*. 2015;15(4):26–29. [Bikbov M.M., Bikbulatova A.A., Pasikova N.V. Retrospective analysis of the accuracy of IOL power calculation formulas after anterior radial keratotomy. *Cataract and refractive surgery = Kataraktal'naya i refraktsionnaya khirurgiya*. 2015;15(4):26–29 (In Russ.).]
32. Стахеев А.А., Балашевич Л.И. Новый метод расчета силы интраокулярных линз для пациентов с катарактой, перенесших ранее радиальную кератотомию. *Офтальмохирургия*. 2008;2:26–33. [Stakheev A.A., Balashevich L.I. A new method of calculating intraocular lens power for patients with cataract undergone previously radial keratotomy. *Ophthalmosurgery = Oftal'mokhirurgiya*. 2008;2:26–33 (In Russ.).]
33. Walter K.A., Gagnon M.R., Hoopes P.C. Jr. Accurate intraocular lens power calculation after myopic laser in situ keratomileusis, bypassing corneal power. *J. Cataract Refract Surg.* 2006; 32(3):425–429. DOI: 10.1016/j.jcrs.2005.12.140
34. Koch D.D., Wang L. Calculating IOL power in eyes that have had refractive surgery. *J. Cataract Refract Surg.* 2003;29(11):2039–2042. DOI: 10.1016/j.jcrs.2003.10.009
35. Masker S. Simple regression formula for intraocular lens power adjustment in eyes requiring cataract surgery after excimer laser photoablation. *J. Cataract Refract Surg.* 2006;32(3):430–434. DOI: 10.1016/j.jcrs.2005.12.106
36. Shammas H.J., Shammas M.C. No history method of intraocular lens power calculation for cataract surgery after myopic laser in situ keratomileusis. *J. Cataract Refract. Surg.* 2007;33:31–36. DOI: 10.1016/j.jcrs.2006.08.045
37. Holladay J.T., Hill W.E., Steinmueller A. Corneal power measurements using scheimpflug imaging in eyes with prior corneal refractive surgery. *J. Refract Surg.* 2009;25:862–868. DOI: 10.3928/1081597X-20090917-07
38. Wang L., Hill W.E., Koch D.D. Evaluation of intraocular lens power prediction methods using the American Society of Cataract and Refractive Surgeons Post-Keratorefractive Intraocular Lens Power Calculator. *J. Cataract Refract Surg.* 2010;36:1466–1473 DOI: 10.1016/j.jcrs.2010.03.044
39. Fram N., Masker S., Wang L. Comparison of intraoperative aberrometry, OCT-based IOL formula, Haggis-L, and Mackey formulae for IOL power calculation after laser vision correction. *Ophthalmology*. 2015;122:1096–1101. DOI: 10.1016/j.optha.2015.01.027

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Тамбовский филиал ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. академика С.Н. Федорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации
ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина», Медицинский институт
Манаенкова Галина Евгеньевна
кандидат медицинских наук, врач-офтальмолог, доцент
Рассказовское шоссе, д. 1, Тамбов, 392000, Российская Федерация
ул. Советская, 93, г. Тамбов, 392000, Российская Федерация

ABOUT THE AUTHOR

S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Tambov branch
Tambov State University named after G.R. Derzhavin
Manaenkova Galina E.
PhD, ophthalmologist, Assistant Professor
Rasskazovskoe shosse, 1, Tambov, 392000, Russian Federation
Sovetskaya str., 93, Tambov, 392000, Russian Federation