

**АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРЫ ПО ИЗВЕСТНЫМ И НОВЫМ МЕТОДАМ РАСЧЕТА
ОПТИЧЕСКОЙ СИЛЫ ИНТРАОКУЛЯРНЫХ ЛИНЗ**

М.М. Мамбетова

Кыргызская государственная медицинская академия им. И.К. Ахунбаева
г. Бишкек, Кыргызская Республика

E-mail: doctordod@mail.ru

Резюме: в настоящее время операции по замене хрусталика в глазах с астигматизмом позволяют решить рефракционные задачи. Для того чтобы получить удовлетворительный результат, необходимо произвести точный расчет имплантируемой интраокулярной линзы. С развитием офтальмологии создано несколько поколений формул расчета оптической силы интраокулярных линз. Разработка новых формул, учитывающих все индивидуальные особенности глаза, повышает возможность получить более высокий рефракционный результат.

Ключевые слова: катаракта, астигматизм, интраокулярные линзы, оптическая сила, формула.

**ЖАСАЛМА ЧЕЧЕКЕЙДИН ОПТИКАЛЫК ӨЛЧӨМҮН ЭСЕПТЕГЕН
БЕЛГИЛҮҮ ЖАНА ЖАҢЫ ЫКМАЛАРДЫН АДАБИЯТТАРЫН ТАЛДОО**

М.М. Мамбетова

И.К. Ахунбаев атындагы Кыргыз мамлекеттик медицина академиясы
Бишкек ш., Кыргыз Республикасы

Корутунду: бүгүнкү күндө чечекейди алмаштыруу операциясы көзүндө астигматикасы болгондордун да көйгөйүн чечүүгө мүмкүнчүлүк берет. Канааттандырарлык жыйынтык алуу үчүн, эң башкысы көздүн ичине салына турган жасалма чечекейдин өлчөмүн так эсептеп чыгуу керек. Офтальмологиянын өнүгүүсү менен жасалма чечекейдин оптикалык өлчөмүн эсептеген бир канча формулалар түзүлгөн. Көздүн баардык өзгөчөлүктөрүн эсепке алуучу, түзүлгөн жаңы формулалар жогорку рефракциялык жыйынтык алууга мүмкүнчүлүк берет.

Негизги сөздөр: чечекейдин тунарышы, астигматизм, көздүн ичине салынуучу линзалар, оптикалык күч, формула.

REVIEW OF LITERATURE ON COMMON AND INNOVATIVE METHODS FOR CALCULATING THE OPTICAL POWER OF INTRAOCULAR LENSES

M.M. Mambetova

Kyrgyz State Medical Academy named after I.K. Akhunbaev, Bishkek, Kyrgyz Republic

Resume: currently, refractive problems are solved by surgery replacing lens in the astigmatic eyes. In order to get satisfactory outcome, it is necessary to make accurate calculation of the implantable intraocular lens. With the development of ophthalmology, there were several generations of formula for calculating the optical power of intraocular lenses. The development of new formula that take into account all the individual eye characteristics increases the chance of higher refractive outcome.

Keywords: cataract, astigmatism, intraocular lens, optical power, formula.

Одной из наиболее актуальных задач в современной хирургии катаракты является получение максимально предсказуемого и точного рефракционного результата. На долю катаракты приходится до 70% всех случаев внутриглазных хирургических вмешательств [1,2,3,4]. В некоторых случаях катаракта может сопровождаться астигматизмом.

По данным литературы около 30% населения в мире имеют астигматизм от 0,75дптр и выше, который приводит к субъективно ощутимому снижению остроты зрения, аккомодационной астенопии, быстрому утомлению при зрительных нагрузках, двоению предметов, головным болям и другим жалобам [5,6,7,8,9,10,11,12].

Имплантирование торических интраокулярных линз (ИОЛ) на сегодняшний день является основным методом, используемым для коррекции первичного роговичного астигматизма во время экстракции катаракты [13,14,15,16,17,18,19,20].

Получение высоких рефракционных результатов после хирургии катаракты связано со многими факторами, среди которых основное место занимают как совершенствование хирургических методик, так и более точные методики расчета интраокулярных линз.

С конца 60-х гг. XX в., по мере развития технологии хирургии катаракты, создано несколько поколений формул расчета оптической силы ИОЛ, среди которых выделяют теоретические и регрессионные.

Впервые формулу расчета оптической силы ИОЛ предложил в 1967 году С.Н. Федоров с соавт.

$$D_{IOL} = \frac{n - D_p \left(1 - k + \frac{k}{n}\right)}{(1 - k) \left(1 - \frac{k * D_p}{n}\right)}$$

Где D_{IOL} – сила интраокулярной линзы (в дптр);

l – аксиальная длина глаза (в м); D_p – средний показатель кератометрии (в дптр);

k – глубина передней камеры (в м); $n=1,336$ – показатель преломления роговицы и водянистой влаги [21].

В теоретических формулах (Федоров С.Н. и соавт., Binkhorst, Colebrander и др.) расчет основан на Гауссовском параксиальном приближении, которое приводит к ошибкам в индивидуальном случае [22].

Точные оптические формулы первого поколения не привели к исчезновению рефракционных ошибок в связи с отсутствием обратной связи между полученным рефракционным результатом и формулой.

Регрессионные формулы (формулы 1 и 2 поколений) выведены на основании регрессионного анализа ретроспективных данных большого количества пациентов, подвергшихся имплантации ИОЛ.

$$P=A-(2.5*Al)-0,9*K,$$

где: P - оптическая сила ИОЛ;

Al - аксиальная длина глаза;

K - средняя кератометрия.

Эта формула была выведена Sanders, Retzlaff, Kraff в 1980 году и известна, как формула SRK.

Если формулы первого поколения были основаны в основном на параметре аксиальной длине глаза, то в формулах 2-поколения с появлением заднекамерных ИОЛ возникла необходимость учета глубины передней камеры. Авторы регрессионных формул ввели константу «А» для каждого вида выпускаемых линз, характеризующих положение линзы в глазу, определяемую опытным путем при достаточном числе имплантаций.

Величина А-константы изменяется при изменении профиля гаптической

части линзы, при различной форме оптической части ИОЛ [23,24,25,26].

Эти формулы справедливы только для варианта того же ряда, из которого выведена данная формула. Формула SRK не работала в очень длинных или коротких глазах, поэтому в формуле SRK II А-константа определена для разных величин аксиальной длины глаза.

Авторы выделили группы в зависимости от длины ПЗО: короткие глаза (менее 22 мм), средние глаза (от 22,1 до 24,4 мм) и длинные глаза (24,5 мм и более). Для коротких и длинных глаз были введены линейные поправки к формуле SRK. Таким образом, появилась формула SRK-II, относящаяся к формулам второго поколения, в которой А-константа определена для разных величин ПЗО:

$$P=A_1 -0,9*K-2,5*Al,$$

A_1 связана с А-константой следующим образом:

$$A_1 = A+3; \text{ для } Al < 20\text{мм},$$

$$A_1 = A + 2; \text{ для } 20\text{мм} < Al < 21\text{мм},$$

$$A_1 = A + 1; \text{ для } 21\text{мм} < Al < 22\text{мм},$$

$$A_1 = A; \text{ для } 22\text{мм} < Al < 24,5\text{мм},$$

$$A_1 = A - 0,5; \text{ для } 24,5 \text{ мм} < Al$$

Недостаточная эффективность этих формул привела к появлению смешанных формул 3 и 4 поколений, которые базируются на принципе Гауссовой оптики с расчетом некоторых коэффициентов по эмпирическим данным (Holladay, SRK/T и др.) и предусматривают использование персонифицированного фактора для конкретного типа ИОЛ.

Так, в формулу Holladay было введено понятие хирургического фактора (SF), представляющего собой расстояние между плоскостью радужки и главной оптической плоскостью ИОЛ, которое вычисляется по статистическим данным результатов имплантации конкретного типа ИОЛ.

В формулу SRK /T была введена константа А, характеризующая положение ИОЛ в глазу в зависимости от дизайна ее оптической и гаптической части, индивидуальной хирургической техники. Данные величины взаимозаменяемы [27]:

$$SF = A * 0,5663 - 65,6$$

При прогнозировании рефракции у пациентов с миопией и аксиальной длиной глаза более 24,5 мм, ранее не оперированных, наиболее точными признаны формулы третьего поколения SRK/T и Holladay 1 [28] и формулы четвертого поколения [29-33].

В формуле Hoffer Q использованы эмпирические поправки, рассчитанные в том числе через А-константу данного типа ИОЛ [34]. Формула Hoffer Q предназначена, главным образом для расчета оптической силы ИОЛ с ПЗО менее 23,5 мм [23], так как менее точна по сравнению с другими современными формулами в глазах с аксиальной длиной глаза более 23,5 мм [35,36,37]. По этой причине формула Hoffer Q широкого распространения не получила [38].

Haigis предложил новую смешанную формулу расчета оптической силы ИОЛ, согласно которой положение ИОЛ в артефактивном глазу рассчитывается по регрессионной формуле, в которую

введены величины персонифицированной глубины артефактивной передней камеры (persACD), аксиальной длины глаза, глубины дооперационной фактической передней камеры и эмпирические коэффициенты. Величина persACD рассчитывается через А-константу, заимствованную из формулы SRK. Формула Haigis предназначена для расчета оптической силы ИОЛ при любых величинах аксиальной длины глаза, но данные о точности этой формулы весьма противоречивы [39].

Наиболее популярной для расчёта оптической силы ИОЛ является формула SRK/T. Однако данные литературы противоречивы в отношении выбора оптимальной формулы для «коротких» и «длинных» глаз. У пациентов с умеренно длинной и длинной аксиальной длиной глаза формула SRK/T обеспечивает более точный расчет по сравнению с другими современными формулами вследствие использования специальной эмпирической поправки к величине аксиальной длины глаза при ее значении более 24,4 мм [23,37,40]. В то же время формула SRK/T менее точна по сравнению с формулами Holladay и Hoffer Q при аксиальной длине глаза менее 21-22 мм [38,41,42,43].

В формуле 5-поколения Барретт Г., создал формулу, связывающую силу ИОЛ, длину, глубину передней камеры фактического глаза и показатели кератометрии. Это одна из первых формул, учитывающих оптическую конфигурацию ИОЛ, в ней вводится понятие «фактор линзы» (Lens Factor) [44], рассчитываемый из А-константы –

расстояния от плоскости радужки или цилиарного тела до второй главной плоскости ИОЛ, в то время как положение первой главной плоскости варьирует в зависимости от толщины ИОЛ:

$$ACD_{post} = PPLC - LPCD - IOLc,$$

$$PPLC = 2,40 + 0,011 * age + 0,171 * ACD_{preop} + 0,051 * AL,$$

где: ACD_{post} – глубина передней камеры при артифакции,

$LPCD$ – расстояние между задней поверхностью ИОЛ и задней капсулой в центральной зоне,

$IOLc$ – толщина ИОЛ в центральной зоне,

$PPLC$ – расстояние до задней капсулы хрусталика,

ACD_{preop} – глубина передней камеры факического глаза,

AL – аксиальная длина глаза,

age – возраст пациента.

Усовершенствование данной формулы привело к появлению формула Barrett Universal II, которая представлена в виде электронного калькулятора [45].

Известны формулы искусственного интеллекта (Clarce, Hill RBF) – компьютерные программы, основывающие свои прогнозы на большом количестве предыдущих хирургических данных. Доступен онлайн-калькулятор «Hill-RBF Calculator».

Формулы «Ray tracing» (Oculix, Olsen и др.) используют измерения, проведенные методом трассировки лучей [46,47]. Основная особенность-

точная оценка положения ИОЛ в капсульном мешке. Olsen предлагает С-константу. Расчет зависит от обязательного точного измерения глубины передней камеры и толщины хрусталика в предоперационном периоде. Использование С-константы обеспечивает прогнозирование послеоперационного положения ИОЛ с коэффициентом корреляции, близким к 0,9 [48,49,50]. Однако константы в формуле Olsen рассчитаны для линз силой 22,0 дптр, что не дает полноценного учета толщины их оптической части при меняющейся оптической силе, которая имеет значимое влияние на рефракционный результат [49].

К новым формулам относятся Kane, Lens Power Formula Hoffer5 Full Monte IOL, The Ladas Super Formula 2-базируется на преимуществах всех имеющихся формул, строит 3D и т.д.

Новые формулы чаще всего более надежны, но не всегда являются лучшим выбором.

Отклонения послеоперационной рефракции от целевых значений после имплантации ИОЛ могут находиться в пределах от +0,5D до -0,5D в 55 % и от 1,0D до -1,0 D – в 85 % случаев (Киселева Т.Н. и соавт. 2016). И это несмотря на существование множества формул для расчета ИОЛ. Сложные глаза часто требуют применения новых формул и модификации существующих.

Таким образом, анализ современной литературы показывает, что проблема расчета оптической силы интраокулярных линз до конца еще не решена. Необходим поиск новых формул

расчёта, универсальных для глаз с широким диапазоном биометрических показателей для получения

максимального результата.

рефракционного

Литература

1. Першин К.Б. Особенности и возможности современной факоэмульсификации // Сб. науч. ст. по материалам V междунар. науч.-практ. конф. (Москва, 5-6 нояб., 2004 г.) / ред. Х. П. Тахчиди ; ред. Х. П. Тахчиди. – М.: Микрохирургия глаза, 2004. - С. 248-253.
2. Алиев Г.Д. Неясов В.С., Исмаилов М.И. Ширина склеро-роговичного и роговичного тоннельных разрезов и их герметичность в условиях измененного офталмотонуса // сб. науч. ст. по материалам V междунар. науч.-практ. конф. (Москва, 5-6 нояб., 2004 г.) / ред. Х. П. Тахчиди ; ред. Х. П. Тахчиди. – М.: Микрохирургия глаза, 2004.- С. 30-35.
3. Allen, D. Cataract and surgery for cataract / D. Allen // *B.M.J.* - 2006. - Vol. 333, № 7559. - P. 128-132.
4. Spalton, D.J. Atlas of Clinical Ophthalmology / D.J. Spalton, R.A. Hitching, P. Hunter. - 3rd ed. - 2005. - P. 360-370.
5. Аветисов, С.Э. Современные аспекты коррекции рефракционных нарушений // *Вестн. офтальмологии.* - 2004. - № 1. - С. 19-22.
6. Гутман, Ш. Новые исследования по эпидемиологии различных вариантов роговичного астигматизма // *Новое в офтальмологии.* - 2009. -№ 3. - С. 37-38.
7. Проскурина, О.В. Развитие рефракции в детском возрасте // *Вестн. Офтальмологии.* - 2003. - № 6. - С. 51-53.
8. Радзиховский Б.Л. Астигматизм человеческого глаза. - М., 1969. – 196 с.
9. Розенблюм, Ю.З. Адаптация к аметропиям и принципы их коррекции: дис.. д-ра мед. наук: 14.00.08 / Розенблюм Ю.З. - М.,1976. - С. 45-49.
10. Abrams, D. Ophthalmic optics and refraction. In: *Duke-Elder SS / D. Abrams; ed. System of Ophthalmology.* - St Louis, MO: Mosby, 1970. - P. 671-674.
11. Kee, C.S. Astigmatism and its role in emmetropization / C.S. Kee // *Exp. Eye. Res.*- 2013. - Vol. 114. - P. 89-95.
12. Monochromatic aberrations of the human eye in a large population / J. Porter [et al.] // *J. Opt. Soc. Am. A Opt. Image Sci Vis.* - 2001. - Vol. 18. -P. 1793-1803.
13. Astigmatism correction with a foldable toric intraocular lens in cataract patients / U. Ruhsurm [et al.] // *J. Cataract Refract. Surg.* - 2000. - Vol. 26. -P. 1022-1027.
14. Novis, C. Astigmatism and toric intraocular lenses / C. Novis // *Curr. Opin. Ophthalmol.* - 2000. - Vol. 11, № 1. - P. 47-50.
15. Shimizu, K. Toric intraocular lenses:correcting astigmatism while controlling axis shift / K. Shimizu, A. Misawa, Y. Suzuki // *J. Cataract*

- Refract. Surg.* - 1994. -Vol. 20. - P. 523-526.
16. Аветисов С.Э., Мамиконян В.Р., Касьянов А.А. и др. Ретроспективный анализ точности различных формул расчета оптической силы ИОЛ // *Современные технологии хирургии катаракты* - 2003. - М., 2003.- № 4. - С. 20-25.
 17. Davison, J.A. *Refractive cylinder outcomes after calculating toric intraocular lens cylinder power using total corneal refractive power* / J.A. Davison, R. Potvin // *Clin. Ophthalmol.* - 2015. - Vol.9. - P. 1511-1517.
 18. Olsen, T. *C constant: new concept for ray tracing-assisted intraocular lens power calculation* / T. Olsen, P. Hoffmann // *J. Cataract Refract. Surg.* - 2014. -Vol. 40, №5. - P. 764-773.
 19. Savini, G. *An analysis of the factors influencing the residual refractive astigmatism after cataract surgery with toric intraocular lenses* / G. Savini, K. Næser // *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* - 2015. - Vol. 56, №2. - P. 827-835.
 20. Wang, L. *Optimizing intraocular lens power calculations in eyes with axial lengths above 25.0 mm* / L. Wang [et al.] // *J. Cataract. Refract. Surg.* - 2011. -Vol. 37, №11. - P. 2018-2027.
 21. Балашевич Л.И., Даниленко Е.В. Результаты использования формулы С.Н. Федорова для расчета силы заднекамерных интраокулярных линз [Электронный ресурс] // *Офтальмохирургия*.-2011.-№1. – Режим доступа: <https://eyepress.ru/article.aspx?8841>, свободный. – Яз. рус.
 22. Балашевич, Л. И. Особенности расчета оптической силы интраокулярной линзы, имплантируемой при факоэмульсификации / Л. И. Балашевич, Е. В. Даниленко. - СПб.: СПбМАПО, 2011. - С. 9-17.
 23. Buehl W., Stojanac D., Sacu S. et al. *Comparison of three methods of measuring corneal thickness and anterior chamber depth* // *Am. J. Ophthalmol.* -2006.-V. 141.-P. 7-12.
 24. Иванов М.И., Шевелев А.Ю. Формула расчета оптической силы ИОЛ // *Вестник офтальмологии*. - 2003. - № 4. - С. 52-54.
 25. Лупатов Д.В. Оценка эффективности различных формул для расчета оптической силы интраокулярной линзы при трансклеральной фиксации // *Вестник офтальмологии*-2003. -№ 6. - С. 33-35.
 26. Ивашина А.И., Пантелеев Е.Н., Бессарабов А.Н. Влияние вариабельности биометрических показателей при развитии катаракты на точность расчета ИОЛ // *Современные технологии хирургии катаракты* -2001. -М., 2001.-С. 71-75.
 27. Иошин, И.Э. *Интраокулярная коррекция афакии*. - М., 2014. - 118 с.
 28. Aristodemou, P. *Formula choice: Hoffer Q, Holladay 1, or SRK/T and refractive outcomes in 8108 eyes after cataract surgery with biometry by partial coherence interferometry* / P. Aristodemou [et al.] // *J. Cataract Refract. Surg.* -2011. - Vol.37, №1. - P. 63-71.

29. Abulafia, A. *Intraocular lens power calculation for eyes with an axial length greater than 26.0 mm: comparison of formulas and methods* / A. Abulafia [et al.] // *J. Cataract Refract. Surg.* - 2015. - Vol.41, №3. - P. 548-556.
30. Donoso, R. *Emmetropization at cataract surgery. Looking for the best IOL power calculation formula according to the eye length* / R. Donoso [et al.] // *Arch. Soc. Esp. Oftalmol.* - 2003. - Vol. 78, №9. - P. 477-480.
31. Narvaez, J. *Accuracy of intraocular lens power prediction using the Hoffer Q, Holladay 1, Holladay 2, and SRK/T formulas* / J. Narvaez [et al.] // *J. Cataract Refract. Surg.* - 2006. - Vol. 32, №12. - P. 2050-2053.
32. Petermeier, K. *Intraocular lens power calculation and optimized constants for highly myopic eyes* / K. Petermeier [et al.] // *J. Cataract Refract. Surg.* - 2009. - Vol.35, №9. - P. 1575-1581.
33. Zaldivar, R. *Intraocular lens power calculations in patients with extreme myopia* / R. Zaldivar [et al.] // *J. Cataract. Refract. Surg.* - 2000. - Vol. 26, №5. -P. 668-674.
34. Hoffer K. *Clinical results using the Hoilanday 2 intraocular lens power formula* // *J. Cataract Refract Surg.* - 2000. - V. 26. - P. 1233-1237.
35. Norrby N. *Systematic approach to IOL power calculation. Part 2. Biometry*//XVI Congress of the ESCRS. -Nice, 1998.-P. 133.
36. Buehl W., Stojanac D., Sacu S. et al. *Comparison of three methods of measuring corneal thickness and anterior chamber depth* // *Am. J. Ophthalmol.* -2006.-V. 141.-P. 7-12.
37. Ивашина А.И., Пантелеев Е.Н., Бессарабов А.Н. *Влияние variability биометрических показателей при развитии катаракты на точность расчета ИОЛ* // *Современные технологии хирургии катаракты* -2001. -М., 2001.-С. 71-75.
38. Hoffer K. *The Hoffer Q formula: a comparison of theoretic and regression formulas* // *J. Cataract Refract. Surg.* - 1993. - V. 19. - P. 700-712.
39. Barrett, G.D. *An improved universal theoretical formula for intraocular lens power prediction* / G.D. Barrett // *J. Cataract Refract. Surg.* - 1993. - Vol. 19, №6. - 713-20. doi: 10.1016/s0886-3350(13)80339-2
40. Wang, L. *Total corneal power estimation: ray tracing method versus gaussian optics formula* / L. Wang [et al.] // *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* - 2011. - Vol. 52, №3. - P. 1716-1722.
41. Holladay J. *International intraocular lens & implant registry* // *J. Cataract Refract. Surg.* - 2002. - V. 28. - P. 152-174.
42. Holladay J. *Refractive power calculations for intraocular lenses in the phakic eye* // *Am. J. Ophthalmol.* - 1993. - V. 116. - P. 63-66.
43. Cionni, R.J. *Toric IOLs for irregular astigmatism* / R.J. Cionni, R. Hamilton, K.G. Stonecipher // *Cataract Refract. Surg. Today.* - 2014. - Vol.9. - P.40-42.
44. Куликов А.Н., Кокарева Е.В., Дзилихов А.А. *Эффективная позиция линзы. Обзор*// *Офтальмохирургия.*- 2018.- №1. – С. 92-97. doi: 10.25276/0235-4160-2018-1-92-97

45. Reitblat, O. *Effect of posterior corneal astigmatism on power calculation and alignment of toric intraocular lenses: comparison of methodologies* / O. Reitblat [et al.] // *J. Cataract Refract. Surg.* - 2016. - Vol. 42, №2. - P. 217-225.
46. Savini, G. *A new slant on toric intraocular lens power calculation* / G. Savini, K.J. Hoffer, P. Ducoli // *J. Refract. Surg.* - 2013. - Vol. 29, №5. - P. 348-354.
47. Zhang, B. *Effects of posterior corneal astigmatism on the accuracy of AcrySof toric intraocular lens astigmatism correction* / B. Zhang [et al.] // *Int J. Ophthalmol.* - 2016. - Vol. 9, №9. - P. 1276-1282.
48. Olsen, T. *C constant: new concept for ray tracing-assisted intraocular lens power calculation* / T. Olsen, P. Hoffmann // *J. Cataract Refract. Surg.* - 2014. - Vol. 40, №5. - P. 764-773.
49. Aristodemou, P. *Formula choice: Hoffer Q, Holladay 1, or SRK/T and refractive outcomes in 8108 eyes after cataract surgery with biometry by partial coherence interferometry* / P. Aristodemou [et al.] // *J. Cataract Refract. Surg.* - 2011. - Vol. 37, №1. - P. 63-71.
50. Olsen, T. *Ray-tracing analysis of intraocular lens power in situ* / T. Olsen, M. Funding // *J. Cataract Refract. Surg.* - 2012. - Vol. 38, №4. - P. 641-647.