

Отражение света от интраокулярной линзы и способ его уменьшения. Теоретическое обоснование



С.Л. Кузнецов

Пензенский институт усовершенствования врачей — филиал ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации
ул. Стасова, 8а, Пенза, 440060, Российская Федерация

РЕЗЮМЕ

Офтальмология. 2018;15(3):318–324

Целью исследования явилось изучение влияния положения интраокулярной линзы (ИОЛ) на вероятность возникновения феномена отражения света от ее поверхности и, с позиций законов оптики и анатомических параметров глаза, обоснование способа его уменьшения. **Методы.** На основе законов физической оптики и с использованием параметров нативного хрусталика проведен расчет отражения света от поверхностей ИОЛ. Проанализирован феномен отражения света от ИОЛ, в частности влияние на его возникновение факторов положения линзы в глазу и диаметра зрачка. **Результаты.** Установлено, что при увеличении дистанции от радужной оболочки до заднекамерной ИОЛ существенно уменьшается угол возникновения феномена отражения света от линзы, причем наиболее значимое изменение (сужение угла от 80 до 19°, т.е. в 4,21 раза) наблюдается при увеличении дистанции от 1 до 3 мм, что вполне достижимо на современном этапе развития интраокулярной коррекции. Показано, что диаметр зрачка в меньшей степени оказывает влияние на возникновение феномена отражения света от линзы: оно существенно лишь при минимальной дистанции от радужной оболочки до ИОЛ (положение стандартной заднекамерной ИОЛ) и незначительно — при удалении ИОЛ от радужки. Полученные результаты демонстрируют оптимальность способа профилактики возникновения феномена отражения света от ИОЛ путем удаления интраокулярной линзы от плоскости радужной оболочки на дистанцию, соответствующую положению задней капсулы нативного хрусталика. **Заключение.** В данной работе на основе законов физической оптики и математических расчетов впервые обоснована ведущая роль фактора положения ИОЛ в глазу в возникновении и интенсивности феномена отражения света от линзы. Предложенный способ уменьшения возникновения феномена отражения света от ИОЛ, проявляющегося в виде блинов в глазу, заметных окружающим, на основе увеличения расстояния от радужки до ИОЛ является оптимальным решением важной проблемы повышения качества жизни пациентов с артификацией.

Ключевые слова: интраокулярная коррекция, оптические феномены, отражение света, интраокулярная линза, блики от ИОЛ

Для цитирования: Кузнецов С.Л. Отражение света от интраокулярной линзы и способ его уменьшения. Теоретическое обоснование. *Офтальмология*. 2018;15(3):318–324. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2018-3-318-324>

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

Конфликт интересов отсутствует

**С.Л. Кузнецов**Контактная информация: Кузнецов Сергей Леонидович slkclinic@gmail.com

Light Reflection from the Intraocular Lens and a Way to Reduce It. Theoretical Study

S.L. Huznetsov

Penza Institute for Further Training of Physicians — Branch Campus of the Federal State Budgetary Educational Institution of Further Professional Education “Russian Medical Academy of Continuing Professional Education”
Stasova str., 8a, Penza, 44060, Russia

ABSTRACT

Ophthalmology in Russia. 2018;15(3):318–324

The purpose of the study was to examine the effect of the intraocular lens (IOL) position in the probability of occurrence of the phenomenon of light reflection from its surface and to justify the method of its reduction from the standpoint of the optics laws and eye anatomical parameters. **Methods.** Based on the laws of physical optics, the reflection of light from the surfaces of the IOL was calculated. The phenomenon of light reflection from the IOL was analyzed, in particular, influence such factors as the lens position in the eye and pupil diameter on its occurrence. **Results.** It was found that with increasing of distance from the iris to posterior chamber IOL, the angle of appearance of the phenomenon of light reflection from the lens decreases significantly, with the most significant change (angle narrowing from 80° to 19°, i.e., 4.21 times) with increasing of the distance from 1 to 3 mm, which is quite achievable at the present stage of intraocular correction. It was shown that the pupil diameter is less influences by appearance of the phenomenon of light reflection from the lens: it is significant only at a minimum distance from the iris to the IOL (the position of the standard posterior chamber IOL) and insignificant when the IOL is removed from the iris. The obtained results demonstrate the optimality of the method for preventing the appearance of the phenomenon of light reflection from the IOL by removing the intraocular lens from the iris at a distance corresponding to the position of posterior capsule of native lens. **Conclusions.** In this study, on the basis of the laws of physical optics and mathematical calculations, the leading role of such factor as the IOL position in the eye in appearance and intensity of the phenomenon of light reflection from the lens is substantiated for the first time. The proposed method for reducing the appearance of the phenomenon of light reflection from the IOL, which manifests itself in the form of glare in the eye, visible to others, on the basis of increasing the distance from the iris to the IOL is the optimal solution to the important problem of improving the quality of life of patients with pseudophakia.

Keywords: intraocular correction, optical phenom, reflection of light, IOL, glare from the IOL

For citation: Huznetsov S.L. Light Reflection from the Intraocular Lens and a Way to Reduce It. Theoretical Study. *Ophthalmology in Russia*. 2018;15(3):318–324. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2018-3-318-324>

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

There is no conflict of interests

ВВЕДЕНИЕ

Интраокулярная коррекция афакии является неотъемлемой частью современного хирургического лечения катаракты. Вместе с тем, имеется множество факторов, оказывающих значительное влияние на качество жизни пациентов с артификацией. Это, в частности, оптические феномены, индуцированные ИОЛ и влияющие на удовлетворенность пациента результатами хирургического лечения. Данные феномены и их природа привлекают все большее внимание исследователей [1–6]. Феномен отражения света (ФОС) от ИОЛ известен давно, но особое внимание он обратил на себя в последнее время в связи с ростом рефракционной составляющей интраокулярной коррекции афакии. Это обусловлено выходом на первый план социальных показаний к хирургии хрусталика, связанных со снижением качества жизни пациентов с начальной катарактой или с дисфункцией хрусталика [7–9]. ФОС от ИОЛ относится к косметическим аспектам интраокулярной коррекции и в большей или меньшей степени характерен для всех моделей ИОЛ. В отличие от других оптических феноменов, он напрямую не влияет на качество зрения, но, делая заметным ИОЛ в глазу для окружающих, может оказывать влия-

ние на психологический статус пациентов, снижая качество их жизни.

Факторами, способствующими возникновению ФОС от поверхностей ИОЛ, с точки зрения законов оптики, могут являться: материал ИОЛ (преломляющая сила), диаметр зрачка, положение ИОЛ в глазу, параметры фонового освещения, положение наблюдателя ФОС, псевдофакодонез, мультифокальная ИОЛ. Изучению данных факторов и посвящена наша работа.

Цель работы состояла в изучении влияния положения ИОЛ на вероятность возникновения феномена отражения света от ее поверхности и с позиций законов оптики и анатомических параметров глаза — в обосновании способа его уменьшения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

С консультацией кандидата физико-математических наук, доцента кафедры фотохимии и спектроскопии химического факультета Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского В.И. Чередника и при его помощи на основе законов физической оптики произведен расчет отражения света от поверхностей ИОЛ. Проанализирован ФОС от ИОЛ, в частности, влияние на его возникновение факторов, связанных с положением линзы в глазу, а также с диаметром зрачка.

S.L. Huznetsov

Contact information: Huznetsov Sergey L. slkclinic@gmail.com

Light Reflection from the Intraocular Lens and a Way to Reduce It. Theoretical Study

РЕЗУЛЬТАТЫ

Известно, что при падении световой волны на границу раздела двух оптических сред происходит ее преломление в соответствии с законом Снеллиуса — Декарта, а также отражение в соответствии с законом отражения (рис. 1).

Лучи света, проходящие внутри конуса с телесным углом при вершине Ω , опирающегося на геометрический центр передней поверхности ИОЛ, содержащего область падения лучей света на него через зрачок и ограниченного образующими по краю зрачка (1 — падающий луч), отражаются от передней поверхности линзы и выходят из глаза (2 — отраженный луч). Кроме того, преломляются материалом ИОЛ и также выходят из глаза (3, 4 — луч, отраженный от задней поверхности ИОЛ после преломления в среде ее материала: 3 — для материала с большей преломляющей силой n_1 и углом преломления ε_1 , 4 — для материала с меньшей преломляющей силой n_2 и углом преломления ε_2), образуя ФОС. Из рис. 1 следует, что имеется прямая зависимость вероятности регистрации ФОС наблюдателем от фактора преломляющей силы материала ИОЛ ($n_1 > n_2$). При меньшей преломляющей силе линзы и прочих равных условиях значительная часть отраженных лучей не выйдет из глаза из-за большого угла отражения ($\varepsilon_2 > \varepsilon_1$) и диафрагмальной функции радужки и не сможет быть зарегистрирована наблюдателем. Также не выйдут из глаза после отражения от поверхности хрусталика и лучи, идущие из области пространства за пределами конуса вследствие большого угла их падения на периферическую часть поверхности ИОЛ (5).

В возникновении ФОС от поверхности ИОЛ большую роль играет также фактор положения линзы в глазу. На рис. 2 для удобства его демонстрации использовано физическое понятие собирающей «тонкой линзы».

Из рис. 2 следует, что если линза расположена вплотную или приближена к радужке (h_1, h_2 — расстояние до ИОЛ), то любой луч из любой точки переднего полупространства, попадающий в зрачок, может падать на ее поверхность, отражаться от нее и давать тем самым

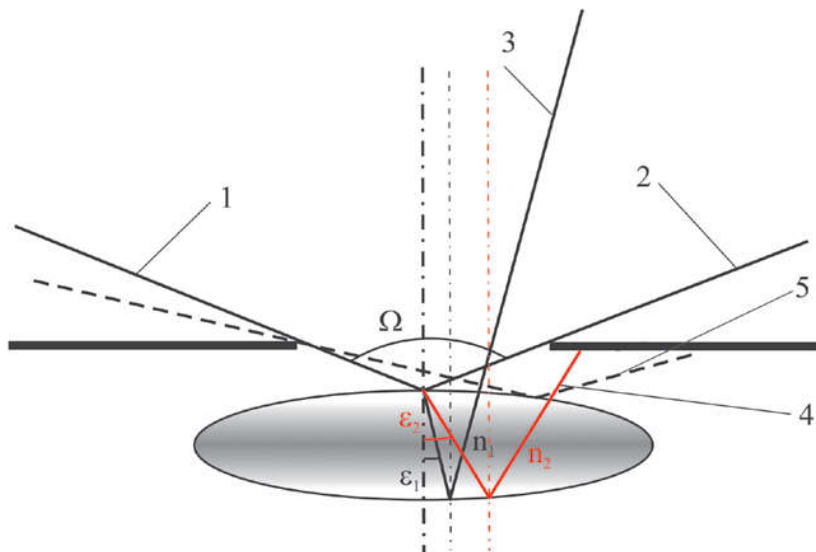


Рис. 1. Схема, демонстрирующая возникновение ФОС от ИОЛ из материалов с различной преломляющей силой

Fig. 1. Scheme demonstrating the occurrence of PLR from IOL

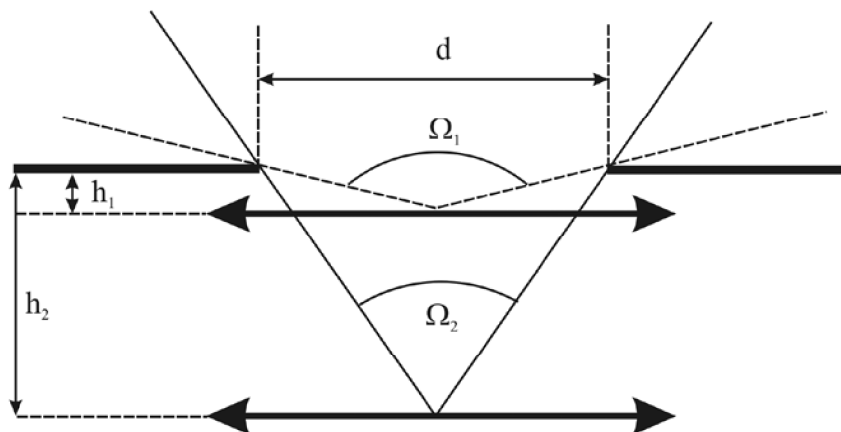


Рис. 2. Схема, демонстрирующая возникновение ФОС от разноудаленных от радужки ИОЛ

Fig. 2. Scheme demonstrating the occurrence of PLR from disparate IOLs

ФОС в виде бликов, видимых наблюдателем. Если линза удалена от радужки в сторону сетчатки ($h_2 > h_1$), то «сектор обстрела» боковыми лучами поверхности линзы (Ω_1, Ω_2 — телесный угол области пространства, содержащей лучи света, образующие ФОС) сужается ($\Omega_2 < \Omega_1$) тем больше, чем дальше линза удалена от радужки. Очевидно, что телесный угол Ω будет уменьшаться не только при увеличении расстояния h , но и (или) при уменьшении диаметра зрачка d , и тем самым будет уменьшаться возможность возникновения ФОС, обусловленного отражением боковых лучей.

С помощью геометрических формул можно получить следующее выражение для отношения телесного угла Ω к телесному углу Ω_0 , соответствующему нулевому расстоянию h , т.е. всему переднему полупространству ($\Omega_0 = 2\pi$):

С.Л. Кузнецов

Контактная информация: Кузнецов Сергей Леонидович slkclinic@gmail.com

Отражение света от интраокулярной линзы и способ его уменьшения. Теоретическое обоснование

$$\frac{\Omega}{\Omega_0} = F(x) = 1 - \frac{x}{\sqrt{x^2 + 0.25}},$$

$$\text{где } x = \frac{h}{d}.$$

Если известны диаметр зрачка d и расстояние от радужки до хрусталика h , то с помощью данной формулы легко рассчитать величину $x = h / d$ и определить соответствующее значение $F(x)$. Пример: если диаметр зрачка $d = 4$ мм, а расстояние $h = 2$ мм, то $x = 0,5$, и $F(x = 0,5) \approx 0,293$, т.е. область пространства, содержащая лучи, способные образовывать блики на поверхности хрусталика, почти в три раза меньше, чем в случае, когда хрусталик расположен вплотную к радужке. При том же диаметре зрачка и расстоянии $h = 4$ мм $x = 1,0$ и $F(x = 1,0) \approx 0,106$, т.е. при удалении ИОЛ от радужки на 4 мм область пространства, в которой лучи света способны производить ФОС, сужается примерно в десять раз.

Приведенная формула позволяет легко рассчитать также зависимость отношения Ω / Ω_0 непосредственно от расстояния h для любого заданного конкретного значения диаметра зрачка d . На рис. 3 показаны графики таких зависимостей для пяти значений диаметра зрачка: 3 (нижняя кривая); 3,5; 4; 4,5 и 5 мм (верхняя кривая). По оси абсцисс дано расстояние от ИОЛ до радужки, в мм; по оси ординат — отношение угла возникновения ФОС к максимальному углу Ω / Ω_0 (безразмерная величина). Кривые для каждого значения диаметра зрачка помечены цветами: $d = 3$ мм (красный), $d = 3,5$ мм (зеленый), $d = 4$ мм (фиолетовый), $d = 4,5$ мм (голубой), $d = 5$ мм (оранжевый).

Из этих кривых видно, в частности, что вероятность образования и, следовательно, регистрации бликов при заданном значении $h > 0$ выше для большего диаметра зрачка, т.е. в условиях более слабого освещения, чем для меньшего значения зрачка. Например, для $h = 2$ мм кривые на рис. 3 дают следующие значения Ω / Ω_0 : 0,2; 0,25; 0,29; 0,34 и 0,38 при $d = 3; 3,5; 4; 4,5$ и 5 мм соответственно. Из этого следует, что при диаметре зрачка $d = 3$ мм, что соответствует хорошему дневному освещению, вероятность образования

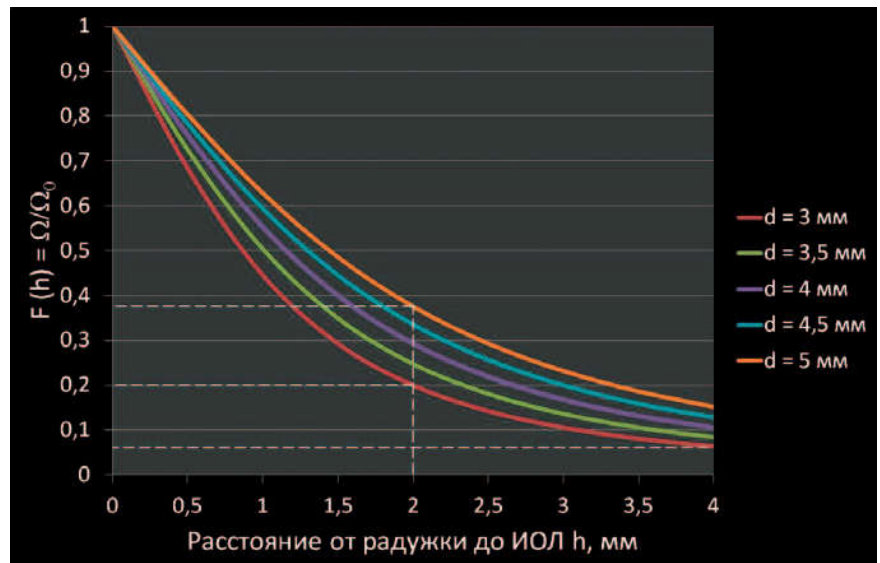


Рис. 3. Зависимость отношения угла возникновения ФОС к максимальному углу Ω / Ω_0 от положения ИОЛ в глазу (расстояние от ИОЛ до радужки h) для различных значений диаметра зрачка d в диапазоне от 3 до 5 мм

Fig. 3. Dependence of the ratio of the angle of the PLR occurrence to the maximum angle Ω / Ω_0 from the IOL position in the eye (distance from the IOL to the iris h) for different values of the pupil diameter d in the range from 3 to 5 mm

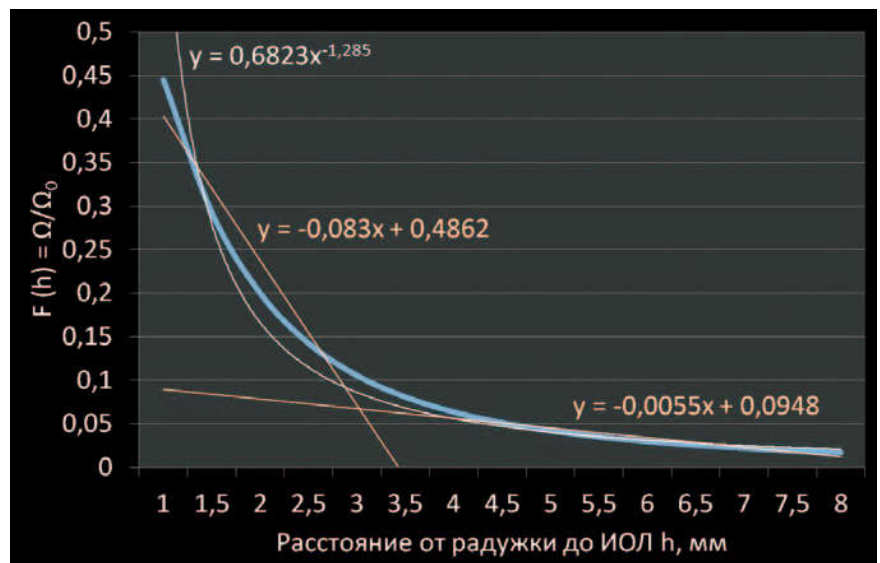


Рис. 4. Зависимость отношения угла возникновения ФОС к максимальному углу Ω / Ω_0 от положения ИОЛ в глазу (расстояние от радужки до ИОЛ h) для диаметра зрачка $d = 3$ мм

Fig. 4. Dependence of the ratio of the angle of the PLR occurrence to the maximum angle Ω / Ω_0 from the position of the IOL in the eye (distance from the iris to the IOL h) for the pupil diameter $d = 3$ mm

бликов уже для $h = 2$ мм снижается в пять раз ($\Omega / \Omega_0 = 0,2$) по сравнению со случаем, когда хрусталик расположен вплотную к радужке ($h = 0$). При удалении ИОЛ от радужки на 4 мм соотношение $\Omega / \Omega_0 \approx 0,06$, т.е. вероятность образования бликов снижается почти в 17 раз. Из рис. 3 с очевидностью следует, что увеличение диаметра зрачка повышает эту вероятность. Так, при $h = 2$ мм область пространства, содержащая лучи, способные

образовывать блики от поверхности ИОЛ, будет составлять 20 % от максимальной ($\Omega = 36^\circ$), а при $d = 3$ мм ≈ 38 % от максимальной ($\Omega \approx 68^\circ$) при диаметре зрачка $d = 5$ мм.

Далее был проведен более детальный анализ зависимости отношения угла возникновения ФОС к максимальному углу (Ω / Ω_0) от положения ИОЛ в глазу (h) при постоянном диаметре зрачка d , принятом нами для этого расчета за 3 мм (рис. 4). На рис. 4 по оси абсцисс дано расстояние от ИОЛ до радужки в мм; по оси ординат — отношение угла возникновения ФОС к максимальному углу Ω / Ω_0 (безразмерная величина). Кривая зависимости обозначена голубым цветом. Белым цветом показана степенная аппроксимация функции $F(h) = \Omega / \Omega_0$ на всей области аргумента, желтым — линейная аппроксимация на отдельных отрезках области аргумента 1–3 мм и 4–8 мм.

Из графика на рис. 4 следует, что отношение Ω / Ω_0 убывает в зависимости от расстояния от ИОЛ до радужки h по функции, близкой к степенной, причем наиболее значимо — на отрезке аргумента функции от 1 до 3 мм, от 0,445 до 0,106, т.е. на 0,339 (на остальном отрезке — от 0,106 до 0,017, т.е. на 0,089). Это соответствует изменению угла возникновения ФОС от $\approx 80^\circ$ до $\approx 19^\circ$ на отрезке аргумента функции от 1 до 3 мм и от $\approx 19^\circ$ до $\approx 3^\circ$ на отрезке аргумента функции от 3 до 8 мм. Линейная аппроксимация убывания функции Ω / Ω_0 на отдельных отрезках значений аргумента h наглядно демонстрирует, что удаление ИОЛ от радужки уже на 3 мм существенно снижает угол возникновения ФОС: скорость убывания функции на отрезке значений аргумента 0–3 мм примерно в 16 раз выше, чем на отрезке 4–8 мм, что следует из соотношения тангенсов углов наклона к оси x графиков линейных аппроксимат отрезков функции, а также соотношения коэффициентов уравнений, описывающих графики данных аппроксимат.

В дальнейшем анализе мы сравнивали эффективность обоих рассматриваемых выше по отдельности факторов (ширина зрачка d и положение ИОЛ h), влияющих на вероятность возникновения ФОС от ИОЛ. На рис. 5 пока-

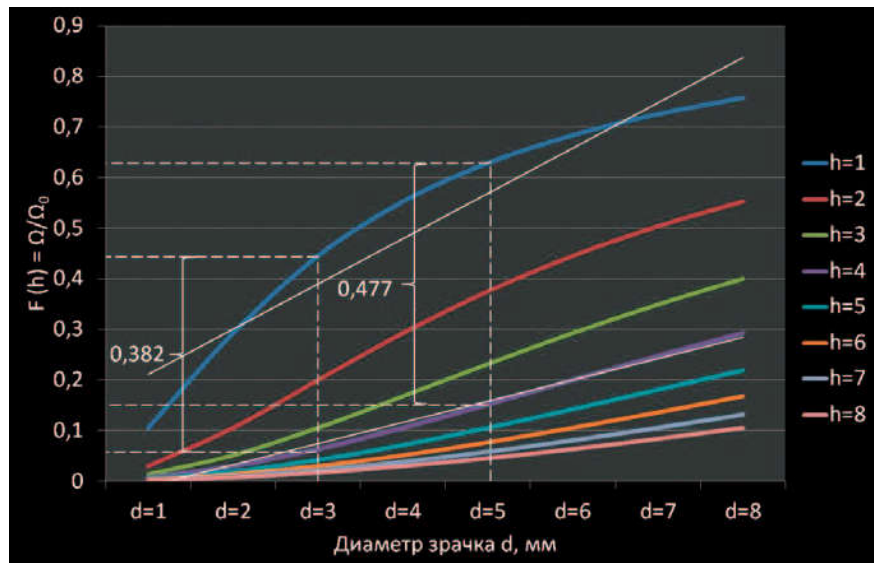


Рис. 5. Зависимость отношения угла возникновения ФОС к максимальному углу Ω / Ω_0 от диаметра зрачка d для различного положения ИОЛ в глазу (расстояние от радужки до ИОЛ h).

Fig. 5. Dependence of the ratio of the angle of the PLR occurrence to the maximum angle Ω / Ω_0 on the pupil diameter d for a different position of the IOL in the eye (distance from the iris to the IOL h).

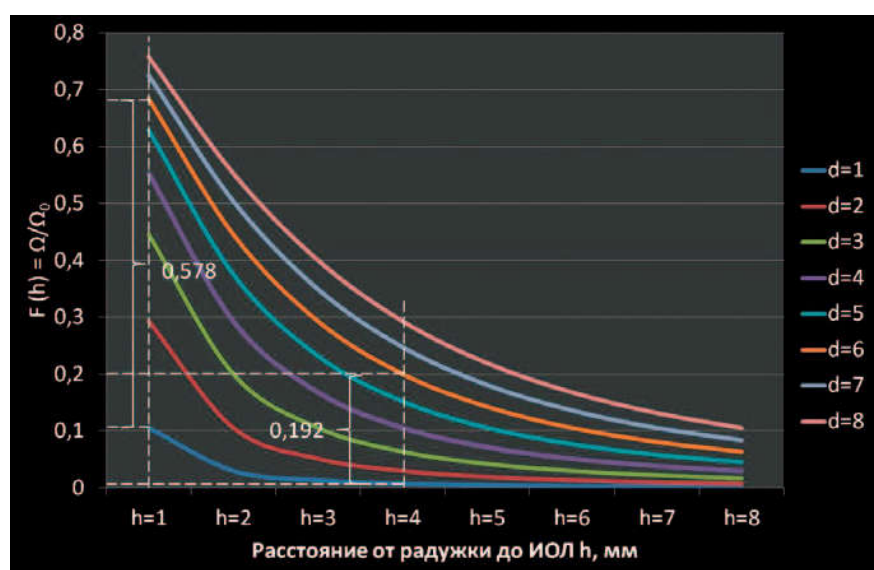


Рис. 6. Зависимость отношения угла возникновения ФОС к максимальному углу Ω / Ω_0 от положения ИОЛ в глазу (расстояние от ИОЛ до радужки h) для различных значений диаметра зрачка d в диапазоне от 1 до 8 мм

Fig. 6. Dependence of the ratio of the angle of the PLR occurrence to the maximum angle of Ω / Ω_0 from the position of the IOL in the eye (distance from the IOL to the iris h) for different values of the pupil diameter d in the range from 1 to 8 mm

зана зависимость отношения угла возникновения ФОС к максимальному Ω / Ω_0 от ширины зрачка d для ИОЛ с различным расстоянием от радужки до линзы h от 1 до 8 мм. По оси абсцисс показан диаметр зрачка в мм; по оси ординат — отношение угла возникновения ФОС к максимальному углу Ω / Ω_0 (безразмерная величина). Графики для различного положения ИОЛ в глазу (h) обозначены

цветами согласно легенде. Белым цветом показаны линии линейного тренда для $h = 1$ мм и $h = 4$ мм.

С очевидностью следует, что в зависимости от ширины зрачка d для любого из значений h отношение Ω / Ω_0 возрастает, причем для больших h — с гораздо меньшей скоростью. Так, при $h = 4$ мм скорость возрастания функции, характеризуемая углом наклона линейной аппроксиматы к оси x , в 2,25 раза меньше, чем при $h = 1$ мм. Следовательно, при более глубоком расположении линзы влияние ширины зрачка на возникновение ФОС становится менее значимым.

Еще более убедительно демонстрирует преимущественное влияние фактора положения ИОЛ относительно фактора диаметра зрачка на уменьшение возможности проявления ФОС от ее поверхности анализ влияния на отношение угла возникновения ФОС к максимальному расстоянию от радужки до ИОЛ h при различном диаметре зрачка d (рис. 5). И наоборот, влияния диаметра зрачка при различном расстоянии от радужки до ИОЛ (рис. 6, представляющий собой график рис. 5 с инвертированными осями, где по оси абсцисс дано расстояние от ИОЛ до радужки в мм; по оси ординат — отношение угла возникновения ФОС к максимальному углу Ω / Ω_0 (безразмерная величина). Графики для различного диаметра зрачка (d) обозначены цветами согласно легенде).

Из графика на рис. 6 следует, что при одном и том же d изменение расстояния h существенно сужает угол ФОС: для $d = 3$ мм углубление линзы на 1–4 мм изменяет Ω / Ω_0 от 0,445 до 0,064, т.е. на 0,382 (\approx на 69°), а для $d = 5$ мм — от 0,628 до 0,152, т.е. на 0,477 (\approx на 86°). В то же время при одном и том же значении h (рис. 6) ширина зрачка существенно влияет на отношение Ω / Ω_0 только при малых значениях h ; так, при $h = 1$ мм изменение ширины зрачка от 1 до 6 мм повышает Ω / Ω_0 от 0,106 до 0,684, т.е. на 0,578 (\approx на 104°), а при $h = 4$ мм — от 0,008 до 0,200, т.е. на 0,192 (\approx на 34°).

ОБСУЖДЕНИЕ

Данная работа теоретически обосновывает возможность уменьшать ФОС от поверхностей ИОЛ путем размещения ее дальше от зрачка и ближе к сетчатке. Таким способом решается, в частности, важная косметическая проблема интраокулярной коррекции, заключающаяся в возникновении ФОС от линзы и появлении регистрируемого наблюдателем блика от ее поверхностей, что, безусловно, должно положительно сказаться на качестве жизни пациентов с артификацией. Другие известные на сегодняшний день пути решения данной проблемы, такие как уменьшение коэффициента преломления материала ИОЛ или просветление поверхности линзы путем нанесения однослойной или многослойной интерференционной пленки, либо приводят к увеличению толщины ИОЛ, либо неприемлемы по спектральным характеристикам ИОЛ или с точки зре-

ния подбора материала для нахождения внутри глаза. Применение многослойных покрытий ИОЛ оптическим материалом с уменьшающимися снаружы показателями преломления периферийных слоев имеет в настоящее время лишь теоретическое обоснование [1, 10]. В то же время предложенный в данной работе способ прост и реален уже сегодня. В частности, нами разработаны объемозамещающие модели ИОЛ на базе концепции плоскостной торсионной гаптики [11], которые обеспечивают положение оптической части линзы на месте задней капсулы нативного хрусталика до операции. Как показали опубликованные нами ранее отдаленные результаты 256 имплантаций данных ИОЛ [12], разница в положении задней капсулы хрусталика до и после операции составила от 0,4 до -0,7 мм, в среднем $-0,12 \pm 0,07$ мм с пограничной статистической достоверностью различий ($p = 0,048$ по t -тесту Стьюдента и критерий Манна — Уитни, находящийся в зоне неопределенности: $U_{\text{эмп}} = 1120$ при $U_{\text{кр}} = 1143$ для $p = 0,05$ и 1035 для $p = 0,01$). Измеренная нами дистанция от передней поверхности роговицы до задней капсулы хрусталика составила до операции $7,52 \pm 0,08$ мм, а после операции — $7,40 \pm 0,09$ мм, что с учетом средней глубины передней камеры по данным ряда авторов (3,38–3,58 мм) [13] означает, что расстояние от радужки до объемозамещающей ИОЛ в среднем составляет около 4 мм.

При теоретическом обосновании способа профилактики ФОС, основанного на положительном влиянии более глубокого расположения ИОЛ в отношении вероятности его возникновения, нами использованы реальные значения диаметра зрачка и дистанции от радужки до большинства стандартных моделей заднекамерных ИОЛ, что составляет около 1,0 мм. Это позволяет с высокой долей вероятности полагать, что предложенный способ уменьшения ФОС в артификационном глазу получит практическое подтверждение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Теоретически на основе законов физической оптики и математических расчетов обоснована ведущая роль фактора положения ИОЛ в глазу в возникновении и интенсивности ФОС от ИОЛ.

При увеличении дистанции от радужной оболочки до ИОЛ существенно уменьшается угол возникновения ФОС от линзы, причем наиболее значимое изменение наблюдается при увеличении дистанции от 1 до 3 мм (сужение угла от 80 до 19°), что вполне достижимо на современном этапе развития интраокулярной коррекции.

Предложенный способ уменьшения возникновения ФОС от ИОЛ, проявляющихся в виде бликов в глазу, заметных окружающим, на основе увеличения расстояния от радужки до ИОЛ является оптимальным решением важной проблемы повышения качества жизни пациентов с артификацией.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Жабоедов Д.Г. Особенности оптических феноменов естественного и искусственного хрусталиков человеческого глаза. *Проблемы экологичной та медичної генетики і клінічної імунології*. 2012;5:529–553. [Zhaboedov D.G. Features of optical phenomena of natural and artificial lenses of the human eye. *Problems of ecology and medicine genetics and clinical immunology = Проблеми екологічної та медичної генетики і клінічної імунології*. 2012; 5:529–553 (In Ukr.)]
2. Colin J.L., Orignac I. Glistenings in intraocular lenses in healthy eyes: effects and associations. *J Refract Surg*. 2011;27(12):869–75. DOI: 10.3928/1081597X-20110725-01
3. Davison J.A. Positive and negative dysphotopsias in patients with acrylic intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg*. 2000;26:1346–1355. DOI: 10.1016/S0886-3350(00)00611-8
4. Holladay J.T., Zhao H., Reisin C.R. Negative dysphotopsias: The enigmatic penumbra. *J Cataract Refract Surg*. 2012;38:1251–1265. DOI: 10.1016/j.jcrs.2012.01.032
5. Limona O., Zalevskyb Z. Ophthalmic halo reduced lenses design. *Optics Communications*. 2015;342:253–258. DOI: 10.1016/j.optcom.2014.12.049
6. Masket S., Fram N. Pseudophakic negative dysphotopsia: Surgical management and new theory of etiology. *J Cataract Refract Surg*. 2011;37:1199–1207. DOI: 10.1016/j.jcrs.2011.02.022
7. Lundstrom M., Fregell G., Sjoblom A. Vision related daily life problems in patients waiting for a cataract extraction. *Br J Ophthalmol*. 1994;78:608–611.
8. Малюгин Б.Э. Хирургия катаракты и интраокулярная коррекция на современном этапе развития офтальмохирургии. *Вестник офтальмологии*. 2014;6:80–88. [Maljugin B.E. Cataract surgery and intraocular correction at the present stage of development of ophthalmic surgery. *Annals of Ophthalmology = Vestnik oftalmologii*. 2014;6:80–88 (In Russ.)]
9. Klein B.E., Klein R., Knudtson M.D. Lens opacities associated with performance-based and self-assessed visual functions. *Ophthalmology*. 2006;113:1257–1263.
10. Жабоедов Д.Г. Отражения света на поверхностях интраокулярной линзы и способы их уменьшения. [Zhaboedov D.G. Reflections of light on the intraocular lens surfaces and ways to reduce them. 2012;2. Available at: <http://www.sworld.com.ua/index.php/en/veterinary-medicine-and-pharmaceuticals-412/clinical-medicine-412/15566-412-0570> (In Russ.)]
11. Кузнецов С.Л. Эластичная интраокулярная линза с торсионной гапстикой: Патент RU 2208418, 20.07.2003. [Kuznetsov S.L. Elastic intraocular lens with torsion haptics. RU Patent 2208418, 20.07.2003 (In Russ.)]
12. Кузнецов С.Л., Логунов Д.В., Бражалович Е.Е. Положение задней капсулы артифакчного глаза после имплантации объемозамещающей ИОЛ с «торсионной» гапстикой МИОЛ-28. *Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки*. 2016;21(4):1591–1596. [Kuznetsov S.L., Logunov D.V., Brazhalovich E.E. The position of the posterior capsule of pseudofacetic eye after implantation of volume-changing IOL with the “torsion” haptic MIOL-28. *Annals of Tambov University. Series: Natural and technical sciences = Vestnik Tambovskogo universiteta. Serija: Estestvennye i tehnicheckie nauki*. 2016;21(4):1591–1596 (In Russ.)]. DOI: 10.20310/1810-0198-2016-21-4-1591-1596
13. Курушина С.Е., Ратис Ю.Л. Математическая модель хрусталика, адекватно воспроизводящая его анатомическую структуру и оптические свойства системы глаза. *Компьютерная оптика*. 2001;21:81–87. [Kurushina S.E., Ratis Ju.L. The mathematical model of the crystalline lens, adequately reproducing its anatomical structure and optical properties of the eye system. *Computer Optics = Komp'juternaja optika*. 2001;21:81–87 (In Russ.)]

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Пензенский институт усовершенствования врачей — филиал ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации
Кузнецов Сергей Леонидович
кандидат медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой офтальмологии, заслуженный врач РФ
ул. Стасова, 8а, Пенза, 440062, Российская Федерация
ORCID 0000-0002-3105-1623

ABOUT THE AUTHOR

Penza Institute for Further Training of Physicians — Branch Campus of the Federal State Budgetary Educational Institution of Further Professional Education “Russian Medical Academy of Continuing Professional Education”
Kuznetsov Sergey L.
PhD, Head of Ophthalmology Chair, docent
Stasova str., 8a, Penza, 44060, Russia
ORCID 0000-0002-3105-1623