DOI: https://doi.org/10.25276/0235-4160-2018-4-11-17 УДК 617.741-004.1

О зависимости освещенности сетчатки и глубины резкости глаза от местоположения искусственного хрусталика. Теоретическое обоснование

С.Л. Кузнецов¹, В.В. Евстифеев²

ПИУВ – филиал ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, Пенза;
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет» Минобрнауки России, Пенза

ΡΕΦΕΡΑΤ

Цель. Анализ влияния положения ИОЛ в глазу на параметры освещенности сетчатки и глубины резкости глаза.

Материал и методы. Путем математического моделирования и на основе законов геометрической оптики изучали влияние изменения положения ИОЛ в глазу на изменение величин физических параметров освещенности сетчатки и глубины резкости глаза.

Результаты. Проведена оценка освещенности сетчатки и глубины резкости глаза (как оптической системы) в зависимости от перемещения ИОЛ в сагиттальном направлении из крайнего переднего положения (передний листок нативного капсульного мешка хрусталика (КМХ)) в крайнее заднее положение (задний листок нативного КМХ). Установлено, что по мере отдаления ИОЛ от вершины роговицы и приближения его к сетчатке ее освещенность в зависимости от диаметра зрачка возрастает с 1,60 раза (в условиях средней освещенности) до 2,31 раза (в условиях сумеречного освещения). Вместе с тем глубина резкости увеличивается в 1,21 раза. Заключение. Положение ИОЛ в КМХ существенным образом влияет на освещенность сетчатки и глубину резкости глаза. По мере удаления ИОЛ в КМХ от вершины роговицы и приближения ее к сетчатке освещенность возрастает, особенно в условиях сумеречного освещения. Также при приближении хрусталика к сетчатке возрастает и глубина резкости. Из этого следует, что расположение ИОЛ в КМХ ближе к его заднему листку (на уровень нативного хрусталика) является обоснованным резервом для улучшения исследуемых параметров глаза. С учетом полученных результатов можно с определенной уверенностью полагать, что и контрастная чувствительность, зависящая от параметров освещенности и глубины резкости, также должна возрастать при приближении ИОЛ к сетчатке, что должно положительно влиять на качество зрения.

Ключевые слова: оптическая система глаза, положение ИОЛ, освещенность сетчатки, глубина резкости глаза, математическое моделирование.

Авторы не имеют финансовых или имущественных интересов в упомянутых материале и методах.

Офтальмохирургия.- 2018.- № 4.- С. 11-17.

ABSTRACT

About a dependence of retina luminosity and depth of eye sharpness on the artificial lens position. Theoretical rationale

S.L. Kuznetsov¹, V.V. Evstifeev²

¹ PIFTPh - Branch Campus of the FSBEI FPE RMACPE MOH Russia; ² The Pares State University Pares

² The Penza State University, Penza

Purpose. Analysis of the influence of IOL position in the eye on parameters of retina luminosity and depth of eye sharpness.

Material and methods. The effect of changing of the IOL position in the eye on changes in the values of physical parameters of retina luminosity and depth of eye sharpness was studied by the method of mathematical modeling and on the basis of the laws of geometrical optics.

Results. The retina luminosity and the depth of eye sharpness (as an optical system) were evaluated depending on the movement of the IOL in the sagittal direction from the extreme forward position (anterior leaf of the native capsular bag, CB) to the extreme posterior position (posterior

leaf of the native CB). It was determined that as the IOL moves away from the apex of the cornea and approaches the retina, its luminosity, depending on the diameter of the pupil, increases from 1.60 times (in medium illumination conditions) to 2.31 times (in twilight conditions). At the same time, the depth of eye sharpness has an increase of 1.21 times.

Conclusion. The position of the IOL in the CB significantly influences the retina luminosity and the depth of eye sharpness. As the IOL moves away in the CB from the apex of the cornea and approaches to the retina, the luminosity increases, especially in twilight conditions. Also, when the lens approaches the retina, the depth of eye sharpness increases too.



which should positively influence the quality of vision.

of eye sharpness, mathematical modeling.

rial or method mentioned

Key words: eye optical system, IOL position, retina luminosity, depth

No author has a financial or proprietary interest in any mate-

From this it follows that the location of the IOL in the CB closer to its posterior leaf (to the level of the native lens) is a reasonable reserve for an improvement of the investigated parameters of the eye. Taking into account the obtained results, we can assume with definite certainty that contrast sensitivity, depending on the parameters of luminosity and depth of eye sharpness, should also increase when the IOL approaches the retina,

Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery.- 2018.- No. 4.- P. 11-17.

АКТУАЛЬНОСТЬ

овременные тенденции развития интраокулярной коррекции афакии, рост значимости ее рефракционной составляющей подталкивают исследователей к тому, чтобы по-новому взглянуть на возможности глаза как оптической системы в плане улучшения качественных характеристик зрения. Появление высокотехнологичных мультифокальных ИОЛ заострило внимание на проблеме оптических феноменов, а также важности изучения таких оптических параметров, как освещенность сетчатки, контрастная чувствительность, глубина резкости и фокусной зоны и др. «Офтальмологу становится необходимо углублять свои знания в оптике, математике... Наступает время, когда нужно понимать, что такое «мира», «кома» и т.д., для того, чтобы добиваться результата наивысшей остроты зрения (ОЗ) со всеми физиологическими зрительными компонентами» [5].

Всеобщее признание о наиболее оптимальном расположении ИОЛ в капсульном мешке хрусталика (КМХ) не претерпело существенных изменений с момента первой эндокапсулярной имплантации искусственного хрусталика [1]. Вместе с тем толщина нативного хрусталика составляет, по данным разных авторов [2, 6, 12], от 3,5 до 5,0 мм, в среднем 3,87 мм, а толщина ИОЛ в среднем от 0,4 до 1,0 мм [3, 8]. Насколько максимально современные конструкции ИОЛ используют физиоло-

Для корреспонденции:

Кузнецов Сергей Леонидович, канд. мед. наук, зав. кафедрой офтальмологии ORCID ID: 0000-0002-3105-1623 E-mail: slkclinic@qmail.com гические возможности эндокапсулярной фиксации и есть ли дополнительные резервы в плане оптимизации параметров оптической системы глаза для улучшения качества зрения – вот вопросы, изучению которых и посвящена данная работа.

ЦЕЛЬ

Анализ влияния положения искусственного хрусталика в глазу на параметры освещенности сетчатки и глубины резкости глаза.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Путем математического моделирования и на основе законов геометрической оптики изучали влияние изменения положения искусственного хрусталика в глазу на изменение величин физических параметров освещенности сетчатки и глубины резкости глаза.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведем оценку освещенности сетчатки и глубины резкости глаза (как оптической системы) в зависимости от перемещения искусственного хрусталика в сагиттальном направлении из крайнего переднего положения (передний листок КМХ) в крайнее заднее положение (задний листок КМХ), сохраняя при этом условие четкого изображения предмета на сетчатке. (Четкое изображение получается в параксиальных лучах, т.е. при их диафрагмировании.) За точку отсчета примем точку О (вершина роговицы) (рис. 1). Крайнее переднее положение хрусталика примерно совпадает с плоскостью зрачка (плоскость радужки), определяющего апертуру глаза,

и отстоит от точки О на расстояние 11=3,36 мм [6]. В крайнем заднем положении хрусталик отстоит от точки О на расстояние 13=7,23 мм (данное расстояние складывается из расстояния 11 и толщины хрусталика, равной 3,87 мм [6]).

Изображение плоского предмета на сетчатке будет четким тогда, когда удовлетворяется для глаза уравнение тонкой собирающей линзы:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{L} + \frac{1}{b} \quad , \tag{1}$$

где: f – фокусное расстояние глаза; L – расстояние от предмета до глаза и b – расстояние от хрусталика до сетчатки.

Для редуцированного глаза по Гульстранду f=17,055 мм [9, 10, 12], оптическая сила глаза D=58,64 дптр [9, 12]. Приняв за L расстояние наилучшего зрения L=L₀=250 мм [7], из формулы (1) найдем b:

$$b = \frac{f \cdot L_0}{L_0 - f} = 18,304 \text{ MM}.$$
 (2)

Согласно уравнению (1), при постоянном расстоянии L по мере перемещения искусственного хрусталика к сетчатке (т.е. по мере уменьшения расстояния b) оптическую силу глаза (следовательно, хрусталика) необходимо увеличивать, чтобы сохранить условие (1).

Рассчитаем оптическую силу глаза и искусственного хрусталика для трех положений хрусталика в КМХ: крайнего переднего I, среднего II и крайнего заднего III. Пусть плоский предмет в виде диска радиусом $r_0=5$ мм находится от глаза на расстоянии наилучшего зрения L_0 . Радиус зрачка для данного расчета принят нами за постоянную величину: $r_{3_0}=2,0$ мм.

1. Хрусталик находится в положении I: $b_I = L_0 - 11$, где $l_0 = 24$ мм – расстояние от точки О до сетчатки [6]; $l_1 = 3,36$ мм – расстояние от искус-

ственного хрусталика до точки О *(рис. 1)*; b_I=20,64 мм. Согласно уравнению (1), оптическая сила глаза равна

$$D_I = \frac{\mathbf{1}}{f_I} = \frac{b_I + L_0}{b_I \cdot L_0} = 52,45 \, \text{дптр.} (3)$$

Оптическая сила глаза складывается из оптической силы роговицы D_{por}=43,05 дптр [9, 12] и оптической силы хрусталика DxpI:

$$D_I = D_{\text{por}} + D_{\text{xp}I} \,, \tag{4}$$

откуда $D_{xpI}=D_I - D_{por}=9,40$ дптр.

2. Хрусталик находится в положении II: b_{II} =10 – 12, где 12=4,86 мм – расстояние от хрусталика до точки О, принятое нами на 1,5 мм больше, чем расстояние 11; b_{II} =19,14 мм. Тогда, согласно формуле (1), оптическая сила глаза будет равна:

$$D_{II} = \frac{b_{II} + L_0}{b_{II} \cdot L_0} = 56,25 \text{ дптр}.$$
 (5)

Оптическая сила хрусталика D_{xpII}=D_{II} – D_{por}=13,20 дптр.

3. Хрусталик находится в положении III: b_{III}=l0 – l3, где l3=7,23 мм – расстояние от хрусталика до точки О; b_{III}=16,77 мм. Тогда оптическая сила глаза будет равна:

$$D_{III} = \frac{b_{III} + L_0}{b_{III} \cdot L_0} = 63,63 \text{ дптр}.$$
 (6)

Оптическая сила хрусталика $D_{xpIII}=D_{III} - D_{por}=20,58$ дптр.

Теперь найдем радиус ги изображения диска г0 на сетчатке *(рис. 2)*. Считая лучи параксиальными (L >> r₀), можно записать:

$$\operatorname{tg} \boldsymbol{\alpha} \cong \boldsymbol{\alpha} = \frac{r_{\mathbf{o}}}{L} = \frac{r_{u}}{f} \,, \tag{7}$$

откуда:

$$r_u = f \cdot \frac{r_0}{L} \quad , \tag{8}$$

где: f – фокусное расстояние глаза.

При перемещении искусственного хрусталика в КМХ изменяется фокусное расстояние глаза, следовательно, будет изменяться величина изображения плоского предмета на сетчатке. В *таблице 1* приведены радиусы (и площади) изображения диска г₀ на сетчатке для разных положений хрусталика (L=L₀=250 мм). Далее переходим к освещенности

сетчатки. Увеличение освещаемой поверхности сетчатки при сохране-



Рис. 1. Схема хода лучей от плоского предмета до сетчатки глаза: $AA' - плоскость установки (плоскость предмета); <math>A_1A_1' - плоскость сетчатки (плоскость изображения); О - вершина роговицы; I, II, III - положения хрусталика в KMX; <math>O_1O_2 - оптическая ось; r_0 - радиус плоского диска (предмета); <math>r_u - радиус изображения плоского диска <math>r_0$ на сетчатке; $r_{3p} - радиус зрачка; Р - точка предмета; P' - изображение точки P на сетчатке; <math>L_0 - расстояние от предмета до глаза (расстояние наилучшего зрения); I_1, I_2, I_3 - расстояние от искусственного хрусталика до точки О для положений I, II, III соответственно; <math>\Theta -$ апертурный угол со стороны изображения; Θ_6 - наименьший угол, под которым видна диафрагма (зрачок) из точки P предмета. Красным цветом показан ход лучей света из точки P предмета с преломлением в искусственном хрусталике для положения III и формированием изображения точки P'

Fig. 1. Schematic diagram of the ray path from a flat object to the retina of the eye: AA´ – the installation plane (the plane of the object): $A_1A_1`$ – retinal plane (image plane): O – the top of the cornea; I, II, III – the position of the lens in CB; O_1O_2 – optical axis; r_0 – the radius of the flat disk (the object): r_u – the radius of the image of the flat disk r_0 on the retina; r_p – the radius of the pupil; P – the point of the object; P´ – the image of point P on the retina; L_0 – the distance from the subject to the eye (distance of the best view); I_1 , I_2 , I_3 – the distance from the IOL to point O for positions I, II, III respectively; Θ_1 – the aperture angle from the image side; Θ_6 – the smallest angle at which the diaphragm (pupil) is visible from the point P of the object. The red color shows the path of the light rays from the point P of the object with refraction in the artificial lens for position III and the formation of the image of the point P´

нии неизменной ее освещенности не увеличивает интенсивности светового раздражения отдельного световоспринимающего элемента, а увеличивает лишь число освещенных элементов. Глаз как оптическая система воспринимает яркость предмета не по общему световому потоку ф, попавшему в него, а по потоку, приходящемуся на единицу площади сетчатки, т.е. по освещенности Е сетчатки:

$$E = \frac{\phi}{S_u} \,. \tag{9}$$

Поток света φ , попадающий в глаз от диска r_0 и фокусируемый на сетчатку оптической системой глаза «роговица-хрусталик», распространяется в конусе Ω :

$$\Omega = 4\pi \sin^2 \frac{\Theta}{2}, \qquad (10)$$

где
$$tg\frac{\Theta}{2} = \frac{r_{_{3p}} - r_u}{l_0 - l_I}$$
 создает на сет

чатке четкое изображение диска (рис. 1).

Если считать величину светового потока, распространяющегося в конусе Ω, неизменной (пренебрегая также рассеянием и поглощением света в прозрачной среде глаза), освещенность сетчатки (следовательно, яркость изображения) будет согласно формуле (9) зависеть от площади S_u изображения диска r₀ на сетчатке для разных положений хрусталика. На рисунке 3 показана зависимость освещенности сетчатки от расстояния ИОЛ до вершины роговицы и, в обратном соотношении, до сетчатки при величине светового потока, выбранной 5.10-4 лм (среднее значение для открытой местности в солнечный день в тени). Видно, что по мере отдаления хрусталика от вершины роговицы и, соответственно, приближения его к сетчатке ее освещенность возрастает: так, для положения хрусталика I ее значение составляет 1,095·10-3 лм/мм², для положения хрусталика II – 1,259 · 10-3 лм/мм², а для положения хрусталика III - 1,611 • 10-3 лм/мм², т.е. в 1,47 раза больше.



Рис. 2. Схема для определения размеров изображения на сетчатке: АА´ – плоскость установки (плоскость предмета); A₁A₁´ – плоскость сетчатки (плоскость изображения); O₁O₂ – оптическая ось; r₀ – радиус плоского диска (предмета); r_u – радиус изображения плоского диска r₀ на сетчатке; L – расстояние от предмета до глаза (условно редуцированного до одной линзы); f – фокусное расстояние глаза;∝– угол между оптической осью и лучами света от крайних точек предмета

Fig. 2. Schematic diagram of determining the size of the image on the retina: AA' – the installation plane (the plane of the object); A_1A_1' – retinal plane (image plane); O_1O_2 – optical axis; r_0 – the radius of the flat disk (the object); r_u – the radius of the image of the flat disk r_0 on the retina; L – the distance from the subject to the eye (conditionally reduced to one lens); f – the focal length of the eye; α – the angle between the optical axis and the light rays from the extreme points of the object



Рис. 3. Зависимость освещенности сетчатки от положения ИОЛ в глазу при одинаковой величине светового потока. По оси абсцисс: расстояние от вершины роговицы до искусственного хрусталика (I), мм. По оси ординат: освещенность изображения (E), лм/мм²

Fig. 3. Dependence of the illumination of the retina on the position of the IOL in the eye with the same magnitude of the light flux. On the abscissa axis: distance from the apex of the cornea to the artificial lens (I), mm. On the ordinate axis: the illumination of the image (E), Im/mm²

Однако при более детальном рассмотрении оказывается, что величина светового потока при постоянной силе света опосредованно изменяется с приближением хрусталика к сетчатке, так как при этом изменяется величина ретинального изображения (формула 8) и, соответственно, величина конуса Ω (формула 10):

$$\phi = 4\pi J \sin^2 \arctan \frac{r_{\rm sp} - r_u}{l_0 - l_I} , \qquad (11)$$

где: Ј – сила света (кд).

Рассмотрим также различные условия внешней освещенности: так, в условиях яркого солнечного дня величина силы света, а значит, и светового потока приблизительно в 100 раз больше, а в условиях сумерек – примерно в 50 раз меньше выбранной нами ранее. С учетом этого, а также того, что увеличение или уменьшение светового потока приводит к рефлекторному изменению размера зрачка (сужению его до гзр в среднем до 1 мм и расширению до гзр в среднем до 4 мм соответственно), из формул (9) и (11) получаем следующую зависимость освещенности ретинального изображения от положения хрусталика и условий внешней освещенности (табл. 2).

Из данных таблицы видно, что в условиях средней освещенности (солнечный день в тени) освещенность ретинального изображения по мере приближения хрусталика к сетчатке из положения I в положение III с учетом изменения величины светового потока увеличивается в 1,60 раза. В условиях яркого солнечного света при соответствующем изменении размера зрачка отдаление хрусталика от вершины роговицы и, соответственно, приближение его к сетчатке из положения I в положение III влечет за собой увеличение освещенности ретинального изображения уже в 1,81 раза, а в условиях сумерек отмечается наибольшее увеличение освещенности ретинального изображения в зависимости от положения хрусталика в 2,31 раза. Следовательно, артифакичный глаз с ИОЛ, приближенной к сетчатке, находится в наиболее выгодном положении в плане адаптации не только к средним, но и к крайним условиям освещенности, как высокой, так и низкой.

Рассмотрим вопрос, связанный с глубиной резкости глаза как оптического прибора в зависимости от местоположения искусственного хрусталика. Глубина резкости это величина смещения плоскости установки (наведения) оптического прибора, при котором качество оптического изображения (на пленке или сетчатке глаза) практически не меняется [11]. Плоскостью установки называется плоскость в пространстве предметов, оптически сопряженная с плоскостью изображения (плоскостью, в которой располагается пленка или сетчатка). Глубина резкости напрямую зависит от размера апертурной диафрагмы.

Если точка Р предмета лежит в плоскости установки, то ее изо-

Таблица 1

Радиусы r_u и площади S_u изображения диска r_0 на сетчатке для разных положений хрусталика b

Table 1

The radii r_u and the image area S_u of the disc r_0 on the retina for different positions of the IOL b

	b _l	ь _{II}	b _{III}		
D, дптр D	52,45	56,25	63,63		
f, мм f, mm	19,07	17,78	15,72		
г _и , мм r _u , mm	0,381	0,356	0,314		
S _u , мм² S _u , mm²	0,456	0,398	0,310		

Таблица 2

Освещенность ретинального изображения E (лм/мм²) для разных положений хрусталика b и разных размеров (радиусов) зрачка г_{зо} в условиях различной внешней освещенности

Table 2

Illumination of the retinal image E (lm / mm^2) for different positions of the IOL b and different sizes (radii) of the pupil r_p under conditions of various outdoor illumination

	b _l	b _{II}	b _{III}
Яркий солнечный свет (r _{зр} =1 мм) Bright sunlight (r _p =1 mm)	16,028 · 10-3	19,871 · 10-3	28,982 · 10-3
Солнечный день в тени (r _{зp} =2 мм) Sunny day in the shade (r _p =2 mm)	1,095 · 10-3	1,295 · 10-3	1,751 · 10-3
Сумеречное освещение (r _{зр} =4 мм) Twilight lighting (r _p =4 mm)	0,110 · 10-3	0,148 · 10-3	0,253 · 10-3

Таблица З

Глубина резкости ΔL (мм) для разных положений хрусталика b при различной ширине (радиусе) r_{зр} зрачка Table 3

Depth of eye sharpness AL (mm) for different positions of the IOL b with different pupil sizes (radii) r_p

	Положение хрусталика Positions of the IOL			
	b _l	b _{II}	b _{III}	
г _{зр} =1 мм г _р =1 mm	262.248	281,233	318,152	
r _{зр} =2 мм r _p =2 mm	131,124	140,617	159,076	
r _{зр} =4 мм r _p =4 mm	65,562	70,308	79,538	

бражение Р' будет резким. Если же она не лежит в плоскости установки (объемный предмет), то ее изображение получится в виде кружка светорассеяния диаметром d (puc. 4). Центр этого кружка является изображением проекции точки Р из центра апертурной диафрагмы (зрачка) на плоскость установки.

Диафрагма NN', которая видна под наименьшим углом точки Р предмета, лежащей на главной оптической оси O1O2 системы, максимально ограничивает лучи, исходящие из точки Р. Она называется входным зрачком (входным отверстием системы). Угол Θ_{δ} , под которым виден входной зрачок из точ-



Рис. 4. Схема, поясняющая резкость изображения: АА´ – плоскость установки (плоскость предмета): A₁A₁´ – плоскость сетчатки (плоскость изображения): O₁O₂ – оптическая ось; NN´ и N₁N₁´ – соответственно входной и выходной зрачки; точки P´, P₁´ и P₂´ – соответственно изображения точек P, P₁ и P₂ объемного предмета (точки P₁ и P₂ не лежат в плоскости установки AA´); Θ – апертурный угол со стороны изображения; Θ_6 – наименьший угол, под которым видна диафрагма (зрачок) из точки P предмета

Fig. 4. Schematic diagram explaining the sharpness of the image: AA' – the installation plane (the plane of the object); A_1A_1' – retinal plane (image plane); O_1O_2 – optical axis; NN' and N_1N_1' – respectively, the entrance and exit pupils; points P', P₁' and P₂' – respectively, images of points P, P₁ and P₂ of a three-dimensional object (points P₁ and P₂ do not lie in the installation plane AA'); Θ – the aperture angle from the image side; Θ_{δ} – the smallest angle at which the diaphragm (pupil) is visible from the point P of the object



Рис. 5. Зависимость глубины резкости глаза от положения хрусталика в глазу. По оси абсцисс: расстояние от вершины роговицы до искусственного хрусталика (I), мм. По оси ординат: глубина резкости (ΔL), мм

Fig. 5. Dependence of the depth of the eye sharpness on the position of the lens in the eye. On the abscissa axis: distance from the apex of the cornea to the artificial lens (I), mm. On the ordinate axis: depth of sharpness (Δ L), mm

ки Р, называется апертурным углом со стороны предмета.

Диафрагма N_1N_1 ', которая видна под углом Θ из точки Р' изобра-

жения, лежащей на главной оптической оси, называется выходным зрачком (выходным отверстием) системы. Угол Θ, под которым виден выходной зрачок из точки Р' изображения, называется апертурным углом со стороны изображения. У глаза диафрагмы NN'и N₁N₁' примерно совпадают и располагаются в плоскости радужки (зрачка глаза).

Чем больше апертурная диафрагма, тем шире пучки, исходящие из точек предмета, и, следовательно, тем больше размеры соответствующих кружков светорассеяния. Если бы пучки света совсем не были ограничены диафрагмами, то кружки светорассеяния занимали бы всю плоскость изображения, в результате чего изображения предмета не получилось бы [11].

Для резкости изображения необходимо, чтобы диаметр кружка светорассеяния d не превосходил известного предела: например, для глаза d<0,08 мм (размера палочки или колбочки сетчатки) [4].

Длина $\Delta L=P_1P_2$ называется глубиной резкости. Приняв оптическую систему глаза за фотоаппарат, можно найти глубину резкости по формуле:

$$\Delta L = \frac{L^2 \cdot d}{f \cdot r_{\rm sp}} \,, \tag{12}$$

где: f – фокусное расстояние глаза, r_{3D} – радиус зрачка.

Положив L=L₀=250 мм и диаметр кружка светорассеяния d=0,08 мм, по формуле (12) можно рассчитать глубину резкости Δ L глаза для разных положений хрусталика и различной ширины зрачка, наблюдающейся при условиях яркого дневного света (диаметр зрачка 2 мм), средней освещенности в ясный день в тени (диаметр зрачка 4 мм) и сумеречной обстановки (диаметр зрачка 8 мм). В *таблице 3* приведены ее значения.

На рисунке 5 показана зависимость глубины резкости глаза от расстояния искусственного хрусталика до вершины роговицы и соответственно, в обратном соотношении, до сетчатки. Как следует из табл. 3 и рис. 5, по мере отдаления хрусталика от вершины роговицы и, следовательно, приближения его к сетчатке глубина резкости увеличивается: так, для ширины зрачка 4 мм и положения хрусталика I ее значение составляет 131,124 мм, для положения хрусталика II - 140,617 мм, а для положения хрусталика III – 159,076 мм, т.е. в 1,21 раза больше.

ОБСУЖДЕНИЕ

Впервые на основе математического моделирования и законов геометрической оптики проведено изучение влияния изменения положения ИОЛ в глазу на изменение величин физических параметров освещенности сетчатки и глубины резкости глаза. Исследование проведено в условиях «максимального приближения» к реальным с учетом анатомической структуры оптической системы глаза и параметров нативного хрусталика. Важными аспектами результатов является обоснованная возможность положительного влияния изменения положения ИОЛ в КМХ на такие важные параметры зрения, как освещенность сетчатки и глубина резкости глаза. В клинической практике полученные результаты могут явиться обоснованным критерием при разработке новых моделей ИОЛ, которые будут обладать улучшенными характеристиками, в частности при сумеречном освещении и зрении на различной дистанции только за счет своего положения в КМХ. Также представляет интерес сравнительное изучение параметров освещенности и глубины резкости глаза

таких новых ИОЛ с традиционно расположенными на экваторе КМХ ИОЛ, а также сравнение их с глазами с нативным хрусталиком, что явится темой предстоящих исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Положение искусственного хрусталика в КМХ существенным образом влияет на освещенность сетчатки и глубину резкости глаза. По мере удаления ИОЛ в КМХ от вершины роговицы и приближения ее к сетчатке освещенность возрастает, особенно в условиях сумеречного освещения. Также при приближении хрусталика к сетчатке возрастает и глубина резкости. Из этого следует, что расположение ИОЛ в КМХ на уровне задней капсулы нативного хрусталика обоснованно является оптимальным путем улучшения исследуемых параметров глаза. С учетом полученных результатов можно с определенной уверенностью полагать, что и контрастная чувствительность, зависящая от параметров освещенности и глубины резкости, также должна возрастать при приближении ИОЛ к сетчатке, что должно положительно влиять на качество зрения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев Б.Н. Интракапсулярная имплантация искусственного хрусталика // Вестник офтальмологии. – 1976. – № 5. – С. 31-36.

 Вит В.В. Строение зрительной системы человека. – Одесса: «Астропринт», 2003. – С. 205.

 ГОСТ 31580.2-2012 (ISO 11979-2:1999) Межгосударственный стандарт. Имплантаты офтальмологические. Интраокулярные линзы. Ч. 2. Оптические свойства и методы испытаний. – URL: http:// docs.cntd.ru/document/1200100323

4. Евстифеев Викт.В., Евстифеев Вас.В. Физические основы оптики. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2014. – 252 с.

 Искаков И.А., Тахчиди Х.П. Интраокулярная коррекция дифракционно-рефракционными линзами. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2016. – 240 с.

 Курушина С.Е., Ратис Ю.Л. Математическая модель хрусталика, адекватно воспроизводящая его анатомическую структуру и оптические свойства системы глаза // Компьютерная оптика. – 2001. – Вып. 21. – С. 81-87.

7. Ландсберг Г.С. Оптика. – М., 1976. – 107 с.

 Патент РФ № 2438620. Интраокулярная линза / Морган Дрю (US); Заявитель и патентообладатель Алькон Рисерч, ЛТД (US); Заявл. 22.04.2008 г.; Опубл. 10.01.2012 г. // Бюл. – 2012. – № 1.

 Сергиенко Н.М. Офтальмологическая оптика. – Киев: Кафедра офтальмологии НМАПО им. П.Л. Шупика, 2015. – С. 43-46.

 Сергиенко Н.М., Тутченко Н.Н. Измерение глубины фокуса и псевдоаккомодации при артифакии // Офтальмолог. журн. – 2006. – № 2. – С. 26-30.
Сивухин Д.В. Общий курс физики. – М.: Изд-

во «Наука», 1980. – 752 с.

12. Gullstrand A. Appendix II in Handbuch der Physiologischen Optic, H. von Helmholtz, ed., 3rd ed. (Voss, Hamburg, 1909). – Bd. 1. – P. 299.

Поступила 23.01.2018.

книги



Коровенков Р.И.

ОЧЕРКИ ИЗ ИСТОРИИ ОФТАЛЬМОЛОГИИ

Коровенков Р.И. Очерки из истории офтальмологии. — СПб: Русская коллекция, 2018. — 384 с.

В книге отражены интересные моменты из истории офтальмологии и значимые события в жизни и деятельности более 500 офтальмологов прошлых веков, а также кратко сообщено о знаменитых художниках, писателях, музыкантах, политических и государственных деятелях, имевших проблемы со зрением. Возможно, о многих этих персонах и событиях в их жизни читатели узнают впервые. Книга представит интерес для практикующих врачей-офтальмологов, преподавателей, аспирантов, ординаторов и студентов медицинских вузов.