

О.И. Розанова

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ ИРИДО-ЦИЛИАРНО-ХРУСТАЛИКОВЫХ
ВЗАИМООТНОШЕНИЙ ПРИ РАЗВИТИИ ПРЕСБИОПИИ У ПАЦИЕНТОВ
С РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ РЕФРАКЦИИ***Иркутский филиал Межотраслевого научно-технического комплекса «Микрохирургия глаза»
им. акад. С.Н. Фёдорова Минздрава РФ, Иркутск, Россия*

Целью исследования было выявление закономерностей иридо-цилиарно-хрусталиковых изменений при формировании пресбиопии в различных рефракционных условиях. С применением инфракрасной пупиллометрии, ультразвуковой биомикроскопии, Шеймпflug-фотографирования обследованы 170 пациентов с различными видами рефракции (эметропия, миопия, гиперметропия), с наличием или отсутствием пресбиопии. Закономерности изменений иридо-цилиарно-лентикулярных взаимоотношений при развитии пресбиопии у пациентов с разными типами рефракции различаются.

Ключевые слова: пресбиопия, цилиарная мышца, интраокулярная асимметрия, зрачковая экскурсия

**REGULARITIES OF CHANGES OF IRIDO-CILIARY-LENTICULAR INTERRELATIONS
DURING PRESBYOPIA DEVELOPMENT IN PATIENTS WITH DIFFERENT TYPES
OF REFRACTION**

O.I. Rozanova

Irkutsk Branch of Sv. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Irkutsk, Russia

The presbyopia formation in patients with different types of refractive errors has its own characteristics, which are unexplored. The purpose of this study was to identify the regularities of changes of irido-ciliary-lenticular relationships in presbyopia formation in different refractive conditions.

170 patients with various types of refraction (emmetropia, myopia, hyperopia) with or without presbyopia were examined. The infrared pupillometry, the ultrasound biomicroscopy and examination of the eye anterior segment under rotary Scheimpflug camera («Pentacam») were performed besides standard ophthalmic examination.

In patients with emmetropic refraction the increase in the size of the lens, the reduction of the thickness of the ciliary body, the narrowing the diameter of the pupil in both photopic and scotopic conditions, the increase in the largest range of pupillary excursion and the first signs of intraocular asymmetry were noted during the formation of presbyopia. Presbyopes with axial myopia were distinguished from presbyopes with emmetropia by more pronounced constriction of the pupil in scotopic lighting conditions and increased intraocular initial asymmetry. The degree of increase in the anterior-posterior size of the lens in presbyopia formation was the most pronounced in the hyperopic eyes. The loss of accommodation in hyperopes was accompanied by hypertrophy of anterior part of the ciliary muscle and an increase in pupil diameter.

The development of presbyopia in patients with different types of refraction increases the initial differences of irido-ciliary-lenticular relationships.

Key words: presbyopia, ciliary muscle, intraocular asymmetry, pupillary excursion

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что аккомодация глаза представляет собой многокомпонентный механизм, обеспечивающий ясное зрение на разных расстояниях за счет изменения преломляющей силы оптической системы. Основным компонентом аккомодации является активная трансформация хрусталика вследствие напряжения цилиарной мышцы [1, 11, 13, 14, 15].

Пресбиопия, согласно Международной классификации болезней, относится к классу нарушений рефракции и аккомодации и представляет собой постепенное естественное, обусловленное возрастом необратимое снижение аккомодационной способности глаза. Основной причиной развития пресбиопии признано является именно склерозирование хрусталика и потеря его эластичности, невозможность к изменению формы, что обусловлено генетически детерминированными инволюционными изменениями [12, 15, 17, 21]. Изменения цилиарной мышцы при развитии пресбиопии считаются вторичными, но, тем не менее, ведущими к

снижению сократительной способности. Несмотря на многочисленные исследования [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 19, 20], представления о закономерностях и механизмах нарушений деятельности зрительной системы при формировании пресбиопии носят несистематизированный характер, четкое представление о патогенезе пресбиопии до сих пор отсутствует [18].

Вместе с этим формирование пресбиопии у пациентов с различными видами рефракции имеет свои особенности, которые практически не исследованы. Закономерности изменений внутрисистемных структурно-функциональных взаимоотношений зрительного анализатора при формировании пресбиопии в различных рефракционных условиях остаются terra incognita. Безусловно, раскрытие механизмов формирования пресбиопии является одной из наиболее актуальных задач теоретической и практической офтальмологии.

Цель работы: выявить закономерности изменений иридо-цилиарно-хрусталиковых взаимоотно-

ношений формированию пресбиопии в различных рефракционных условиях.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Было обследовано 170 человек, разделенных в зависимости от наличия и отсутствия пресбиопии (ПР) и вида рефракции (эметропия, миопия, гиперметропия). Критериями отбора пациентов в группы исследования служили отсутствие офтальмопатологии, максимальная острота зрения вдаль 0,9 и выше. В группах с аметропией степень аномалии рефракции определена в пределах от 2 до 4 Дптр, с целью исключения обременяющих факторов. Распределение по полу в группах было одинаковым, клиническая характеристика групп представлена в таблице 1.

Исследование проводилось стандартизованно с применением высокотехнологичных методов, направленных на оценку анатомических и оптических параметров глаза. В протокол исследования были включены следующие анатомические параметры: толщина хрусталика (Pentacam), диаметр зрачка (в фотопических и скотопических условиях освещенности, OPD-scan), угол внутренней вершины цилиарного тела (ЦТ) (Hi-scan), толщина ЦТ в проекции внутренней вершины в четырех сегментах (Hi-scan), дистанция «трабекула – цилиарные отростки» (Hi-scan) в четырех сегментах (в меридианах 12, 3, 6, 9 часов) по методике С. Pavlin [18].

Были вычислены средние арифметические *M*, стандартные отклонения от среднего *s*. Правильность распределения значений в группах оценена с использованием критерия Колмогорова – Смирнова. Проведен сравнительный анализ (Т-критерий):

- между группами лиц с различной рефракцией без пресбиопии;
- между группами лиц без пресбиопии и с пресбиопией в тех же рефракционных условиях;
- между группами лиц с различной рефракцией с пресбиопией.

Внутри групп проведен сравнительный анализ между структурными параметрами в различных квадрантах (критерий Манна – Уитни). Степень асимметрии интраокулярных структур определена от 0 до 3 (при значимом различии признака в двух различных квадрантах степень асимметрии принята за I степень, при наличии различий между 3 сегментами – за II степень, между 4 сегментами – за III степень).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Формирование пресбиопии характеризуется не только увеличением размеров хрусталика, но и сдвигом иридо-хрусталиковой диафрагмы кпереди, изменением структуры и объема цилиарной мышцы, изменением показателей зрачковой экскурсии (табл. 2). При этом изменения у пациентов в каждой рефракционной группе имели свои особенности.

Так, увеличение толщины хрусталика у пациентов с пресбиопией различалось по степени выраженности. В группе с гиперметропией размеры хрусталика были увеличены на 23–24 %, с эметропией – на 17–19 %, с миопией – на 14–16 %. Разницу в степени увеличения размеров хрусталика при формировании пресбиопии можно объяснить различиями генетически детерминированного белкового состава хрусталика у пациентов с различными видами рефракции, оказывающего влияние на процессы склерозирования хрусталиковых волокон.

Строение цилиарной мышцы в каждой рефракционной группе имеет свои особенности. У пациентов без признаков пресбиопии выявлены значимые различия в расположении внутренней вершины ЦТ, в расстоянии между трабекулой и внутренней вершиной ЦТ (длине передней порции ЦТ), в толщине передней порции цилиарной мышцы, в проявлении топографической асимметрии структур ЦТ.

У молодых пациентов без признаков пресбиопии определена следующая картина. Толщина цилиарной мышцы у пациентов с миопией незначительно отличается от параметров, характерных для эметропической рефракции. Однако в сравнении с показателями у пациентов с эметропией, внутренняя вершина на 30–44 % расположена дальше от трабекулы, а угол внутренней вершины ЦТ превалирует на 17–19 %. Также выявлена дисгармоничность интраокулярных компонентов, в частности асимметрия со стороны толщины цилиарной мышцы и расположения внутренней вершины ЦТ по отношению к трабекуле. Диаметр зрачка в фотопических условиях у пациентов с миопией не имеет значимых различий с аналогичными показателями у пациентов с эметропией, однако диаметр зрачка в скотопических условиях освещенности и диапазон максимальной зрачковой экскурсии у пациентов миопией значимо превышает данные параметры пациентов с эметропией. Полученные результаты говорят о наличии у пациентов

Таблица 1

Характеристика больных в группах исследования

Показатель	Эметропия		Миопия		Гиперметропия	
	Без ПР	ПР	Без ПР	ПР	Без ПР	ПР
	1	2	3	4	5	6
Количество	30 человек, 60 глаз	30 человек, 60 глаз	30 человек, 60 глаз	30 человек, 60 глаз	30 человек, 60 глаз	20 человек, 40 глаз
Возраст, года	22,3 ± 3,2	52,4 ± 2,2	22,1 ± 3,3	52,1 ± 2,4	22,2 ± 3,3	52,3 ± 2,6
Рефракция, Дптр	0,2 ± 0,1	0,2 ± 0,2	-3,5 ± 0,3	-3,4 ± 0,3	3,4 ± 0,3	2,7 ± 0,1
ПЗО, мм	23,5 ± 0,5	23,2 ± 0,4	24,5 ± 0,6	24,5 ± 0,6	22,2 ± 0,4	22,1 ± 0,6
Запас относительной аккомодации, Дптр	4,8 ± 2,1	1,3 ± 0,4	4,4 ± 0,3	0,6 ± 0,2	5,4 ± 0,2	1,3 ± 0,2

Таблица 2

Изменение структурно-функциональных параметров глаза при развитии пресбиопии у пациентов с различными видами рефракции

Показатель	Эмметропия		Миопия		Гиперметропия	
	Без ПР	ПР	Без ПР	ПР	Без ПР	ПР
	1	2	3	4	5	6
Толщина хрусталика, мм	3,72 ± 0,23 $p_{1-2} < 0,001$	4,40 ± 0,11 $p_{1-2} < 0,001$ $p_{2-4} < 0,01$	3,66 ± 0,21 $p_{3-4} < 0,001$	4,23 ± 0,23 $p_{2-4} < 0,01$ $p_{3-4} < 0,001$	3,69 ± 0,29 $p_{5-6} < 0,001$	4,51 ± 0,29 $p_{5-6} < 0,001$
Вершина ЦТ, град	105,2 ± 2,3 $p_{1-2} < 0,05$	100,1 ± 2,6 $p_{1-2} < 0,05$ $p_{2-4} < 0,001$ $p_{2-6} < 0,001$	124,4 ± 4,3	123,7 ± 4,8 $p_{2-4} < 0,001$ $p_{4-6} < 0,001$	96,4 ± 5,2 $p_{5-6} < 0,001$	89,2 ± 4,3 $p_{5-6} < 0,001$ $p_{2-6} < 0,001$ $p_{4-6} < 0,001$
Толщина ЦТ в области вершины, мм	0,82 ± 0,16 $p_{1-5} < 0,001$	0,80 ± 0,11 $p_{2-4} < 0,001$ $p_{2-6} < 0,001$	0,86 ± 0,38 $p_{1-3} < 0,001$ $p_{3-4} < 0,001$	0,64 ± 0,38 $p_{2-4} < 0,001$ $p_{3-4} < 0,001$ $p_{4-6} < 0,001$	1,21 ± 0,30 $p_{1-5} < 0,001$ $p_{5-6} < 0,05$	1,32 ± 0,20 $p_{5-6} < 0,05$ $p_{2-6} < 0,001$ $p_{4-6} < 0,001$
Асимметрия толщины ЦТ	нет	I	I	II	нет	нет
Длина передней части ЦТ, мм	0,79 ± 0,10 $p_{1-3} < 0,001$ $p_{1-5} < 0,001$	0,72 ± 0,11 $p_{2-4} < 0,001$ $p_{2-6} < 0,05$	1,14 ± 0,38 $p_{1-3} < 0,001$ $p_{3-4} < 0,001$	1,34 ± 0,16 $p_{2-4} < 0,001$ $p_{3-4} < 0,001$ $p_{4-6} < 0,001$	0,64 ± 0,17 $p_{1-5} < 0,001$ $p_{5-6} < 0,01$	0,84 ± 0,30 $p_{5-6} < 0,01$ $p_{2-6} < 0,05$ $p_{4-6} < 0,001$
Асимметрия длины передней части ЦТ	нет	I	I	II	нет	нет
Диаметр зрачка, фотопич., мм	5,11 ± 0,76 $p_{1-2} < 0,001$ $p_{1-5} < 0,001$	3,75 ± 0,78 $p_{1-2} < 0,001$ $p_{2-6} < 0,01$	5,09 ± 0,79 $p_{3-4} < 0,001$	3,96 ± 0,86 $p_{3-4} < 0,001$ $p_{4-6} < 0,001$	3,00 ± 0,22 $p_{1-5} < 0,001$ $p_{5-6} < 0,01$	3,26 ± 0,48 $p_{5-6} < 0,01$ $p_{2-6} < 0,01$ $p_{4-6} < 0,001$
Диаметр зрачка, скотопич., мм	6,47 ± 0,56 $p_{1-2} < 0,001$ $p_{1-3} < 0,01$ $p_{1-5} < 0,001$	5,50 ± 0,94 $p_{1-2} < 0,001$	6,75 ± 0,77 $p_{1-3} < 0,01$ $p_{3-4} < 0,001$	5,22 ± 0,87 $p_{3-4} < 0,001$ $p_{4-6} < 0,05$	5,69 ± 0,68 $p_{1-5} < 0,001$ $p_{5-6} < 0,01$	5,55 ± 0,62 $p_{5-6} < 0,01$ $p_{4-6} < 0,05$
Диапазон максимальной зрачковой экскурсии, мм	1,36 ± 0,10 $p_{1-5} < 0,001$ $p_{1-2} < 0,001$ $p_{1-3} < 0,001$	1,80 ± 0,11 $p_{1-2} < 0,001$ $p_{2-4} < 0,001$ $p_{2-6} < 0,001$	1,66 ± 0,08 $p_{1-3} < 0,001$ $p_{3-4} < 0,001$	1,26 ± 0,05 $p_{2-4} < 0,001$ $p_{3-4} < 0,001$ $p_{4-6} < 0,001$	2,43 ± 0,10 $p_{1-5} < 0,001$	2,55 ± 0,10 $p_{2-6} < 0,001$ $p_{4-6} < 0,001$

с осевой миопией структурно-функционального дисбаланса со стороны мышц сосудистой оболочки глаза – цилиарной мышцы, *m. sphincterpupillae*, *m. dilatatorpupillae*.

У молодых пациентов с гиперметропией без признаков пресбиопии толщина ЦТ заметно увеличена, по сравнению с аналогичными данными у пациентов с эмметропией и миопией. В сравнении с показателями у пациентов с эмметропией, внутренняя вершина на 18–20 % расположена ближе к трабекуле, а угол внутренней вершины ЦТ уменьшен на 8–10 %. Также на глазах с гиперметропией отмечены наименьшие показатели диаметра зрачка (как в фотопических, так и в скотопических условиях освещенности), и наибольшие пределы максимальной зрачковой экскурсии. Выявленные признаки гипертрофии цилиарного тела и усиленного миоза при сохранении высокого диапазона зрачковой экскурсии у пациентов с гиперметропией могут быть следствиями подчинения всех структурно-функциональных аккомодационных компонентов для получения максимально качественного зрительного изображения.

У пациентов с пресбиопией различия в состоянии иридо-цилиарно-хрусталиковых взаимоотношений усиливаются. При этом у пациентов с эмметропией и осевой миопией отмечена тенденция к уменьшению толщины передней порции ЦТ, тогда как на коротких глазах отмечено нарастание массы ЦТ с его утолщением в проекции внутренней вершины. Формирование

пресбиопии у пациентов с эмметропией характеризуется появлением интраокулярной асимметрии, а у пациентов с осевой миопией – усугублением исходной асимметрии и перераспределением взаимоотношений структур иридо-цилиарно-хрусталикового комплекса.

Исследуя состояние зрачковой функции у пациентов с различными видами рефракции с помощью инфракрасного светового пучка, мы получили крайне интересные результаты. У пациентов с эмметропической и миопической рефракцией диаметр зрачка как в фотопических, так и в скотопических условиях освещенности при формировании пресбиопии значительно меньше, чем у лиц молодого возраста, однако у пациентов с гиперметропией диаметр зрачка при утрате аккомодации несколько увеличивается. Вместе с тем диапазон максимальной экскурсии зрачка значимо снижен в группе с миопией и увеличен у лиц с эмметропией.

Выявленные отличия в характере и степени изменения зрачковой экскурсии у пациентов с пресбиопией с различными видами рефракции можно расценивать как следствие различного напряжения аккомодации и физиологических взаимоотношений *m. sphincterpupillae* и *m. dilatatorpupillae* при аметропиях. Именно поэтому более выраженное сужение зрачка в скотопических условиях освещенности при развитии пресбиопии у пациентов с миопией можно объяснить исходной слабостью зрачкового

сфинктера и преобладанием функции дилатора, что согласуется с данными литературы [16, 21] о том, что степень сенильного миоза зависит от баланса между состоянием мышц, сужающих и расширяющих зрачок. Уменьшение зрачка при сохранении достаточного диапазона зрачковой экскурсии можно также расценивать как попытку компенсации нарастания оптических аберраций, сопровождающего развитие пресбиопии.

В целом представленные результаты свидетельствуют о том, что, несмотря на наличие единого общего механизма развития пресбиопии – склерозирования хрусталика, закономерности изменений иридо-цилиарно-лентикулярных взаимоотношений для глаз с разными типами рефракции имеют свои отличительные признаки со стороны толщины и длины передней порции цилиарной мышцы, параметров зрачковой диафрагмальной функции.

ВЫВОДЫ

1. При развитии пресбиопии у пациентов с различными видами рефракции исходные отличия иридо-цилиарно-лентикулярных взаимоотношений усугубляются.

2. Формирование пресбиопии у пациентов с эметропической рефракцией характеризуется не только увеличением размеров хрусталика, но и уменьшением толщины цилиарного тела, уплощением внутренней вершины ЦТ, сужением диаметра зрачка (как в фотопических, так и скотопических условиях освещенности), увеличением максимального диапазона зрачковой экскурсии и появлением интраокулярной асимметрии.

3. У пациентов с осевой миопией при развитии пресбиопии, помимо увеличения хрусталика, определено увеличение длины передней порции ЦТ, уменьшение толщины цилиарной мышцы и усиление исходной интраокулярной асимметрии. Наиболее выраженное сужение зрачка выявлено в скотопических условиях освещенности, при этом диапазон максимальной экскурсии зрачка уменьшается.

4. Степень увеличения передне-заднего размера хрусталика при формировании пресбиопии наиболее выражена на глазах с гиперметропической рефракцией. Утрата аккомодации на глазах с гиперметропией сопровождается гипертрофией передней порции цилиарной мышцы и увеличением диаметра зрачка.

ЛИТЕРАТУРА REFERENCES

1. Аккомодация: руководство для врачей / Под ред. Л.А. Катаргиной. – М.: Апрель, 2012. – 136 с.

Katargina LA (ed.) (2012). Accommodation: guidelines for physicians [Akkomodacija: rukovodstvo dlja vrachej], 136.

2. Балашевич Л.И. Хирургическая коррекция аномалий рефракции и аккомодации. – СПб.: СПбМАПО, 2009. – 296 с.

Balashевич LI (2009). Surgical correction of refractive and accommodative anomalies [Hirurgicheskaia korrekcija anomalij refrakcii i akkomodacii], 296.

3. Иомдина Е.Н., Полоз М.В. Возможности использования биомеханической модели глаза для изучения возрастных изменений аккомодационной способности // Российский офтальмологический журнал. – 2011. – № 1. – С. 17–21.

Iomdina EN, Poloz MV (2011). Possibilities of use of biomechanical eye model to study age-related changes of accommodative capability [Vozmozhnosti ispol'zovanija biomechanicheskoi modeli glaza dlja izuchenija vozrastnyh izmenenij akkomodacionnoj sposobnosti]. *Rossijskij oftal'mologicheskij zhurnal*, 1, 17-21.

4. Минева Л.А. Инволюционные изменения аккомодационного аппарата глаза и их клинические проявления: дис. ... канд. мед. наук. – Ярославль, 2007. – 145 с.

Mineeva LA (2007). Involution changes of ocular accommodative apparatus and its clinical manifestations: Dissertation of Candidate of Medical Sciences [Involyutsionnye izmeneniya akkomodatsionnogo apparata glaza i ikh klinicheskie proyazvleniya], 145.

5. Мищенко Т.С. Раскрытие закономерностей структурно-функциональных изменений зрительной системы при формировании пресбиопии: автореф. дис. ... канд. мед. наук. – Иркутск, 2013. – 23 с.

Mishhenko TS. (2013). Discovery of regularities of structural and functional changes of visual system in presbyopia formation: Abstract of Dissertation of Candidate of Medical Sciences [Raskrytie zakonomernostey strukturno-funktsional'nykh izmeneniy zritel'noy sistemy pri formirovanii presbiopii: avtoref. dis. ... kand. med. nauk], 23.

6. Пучковская Н.А. Офтальмогериятрия. – М.: Медицина, 1982. – 304 с.

Puchkovskaya NA (1982). Ophthalmogeriatrics [Oftal'mogeriatryia], 304.

7. Розанова О.И., Шуко А.Г., Михалевич И.М. и др. Закономерности и механизмы трансформации зрительного восприятия при формировании пресбиопии // Вестник офтальмологии. – 2011. – № 3. – С. 17–20.

Rozanova OI, Shchuko AG, Mikhalevich IM (2011). Regularities and mechanisms of transformation of visual perception at presbyopia formation [Zakonomernosti i mekhanizmy transformatsii zritel'nogo vospriyatiya pri formirovanii presbiopii]. *Vestnik oftal'mologii*, 3, 17-20.

8. Розанова О.И., Шуко А.Г., Михалевич И.М. и др. Закономерности структурно-морфологических изменений глазного яблока при развитии пресбиопии // Российский офтальмологический журнал. – 2011. – Т. 4, № 1. – С. 62–66.

Rozanova OI, Shchuko AG, Mikhalevich IM (2011). Regularities of structural and morphological changes of eyeball in presbyopia development [Zakonomernosti strukturno-morfologiyetseskikh izmeneniy glaznogo yabloka pri razvitii presbiopii]. *Rossijskij oftal'mologicheskij zhurnal*, 4 (1), 62-66.

9. Светлова О.В. Функциональные особенности взаимодействия склеры, аккомодационной и дренажной систем глаза при глаукомной и миопической патологии: дис. ... докт. мед. наук. – М., 2010. – 213 с.

Svetlova OV (2010). Functional features of interaction of sclera, accommodative and drainage ocular system in glaucomatous and myopic pathology: Abstract of Dis-

sertation of Doctor of Medical Sciences [Funktsional'nye osobennosti vsaimodeystviya sklery, akkomodatsionnoy i drenazhnoy system gkaza pri glaukomnoy i miopatcheskoй patologii: dis. ... doct. med. nauk], 213.

10. Селиверстова Н.Н., Розанова О.И. Закономерности изменений зрительных функций у пациентов с миопической рефракцией при формировании пресбиопии // Актуальные проблемы офтальмологии. – М., 2012. – С. 188–189.

Seliverstova NN, Rozanova OI (2012). Regularities of visual function changes in patients with myopic refraction in presbyopia formation [Zakonomernosti izmeneniy zritel'nykh funktsiy u patsientov s miopicheskoy refraktsiey prу formirovaniі presbiopii]. *Aktual'nye problemy oftal'mologii*, 188-189.

11. Страхов В.В., Минеева Л.А., Бузыкин М.А. Инволюционные изменения аккомодационного аппарата глаза человека по данным ультразвуковой биометрии и биомикроскопии // Вестн. офтальмол. – 2007. – № 4. – С. 32–35.

Strakhov VV, Mineeva LA, Buzikin MA (2007). Involution changes of human ocular accommodative apparatus according ultrasound biometry and biomicroscopy data [Involutionnyye izmeneniya akkomodatsionnogo apparata glaza cheloveka po dannym ul'trazvukovoy biometrii i biomikroskopii]. *Vestnik oftal'mologii*, 4, 32-35.

12. Croft MA, Kaufman PL (2012). Role of the ciliary muscle and zonula in accommodation and presbyopia. *Presbyopia: origins, effects, and treatment*, 69-76.

13. Croft MA, McDonald JP, Katz A et al. (2013). Extralenticular and lenticular aspects of accommodation and presbyopia in human versus monkey eyes. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 54 (7), 5035-5048.

14. Dubellman M, Van der Heijde GL, Weeber HA et al. (2003). Changes in the internal structure of the human crystalline lens with age and accommodation. *Vision. Res.*, 43 (22), 2363-2375.

15. Glasser A, Campbell M (1998). Presbyopia and the optical changes in the human crystalline lens with age. *Vision Res.*, 38 (2), 209-229.

16. Loewenfeld IE (1993). The pupil: anatomy, physiology and clinical applications, 798.

17. Pallikaris I, Plainis S, Charman WN (2012). Presbyopia, 318.

18. Pavlin CJ, Foster FS (1998). Ultrasound biomicroscopy. High-frequency ultrasound imaging of the eye at microscopic resolution. *Radiol. Clin. North. Am.*, 36, 1047-1058.

19. Richdale K, Sinnott LT, Bullimore MA et al. (2013). Quantification of age-related and per diopter accommodative changes of the lens and ciliary muscle in the emmetropic human eye. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 7, 1095-1105.

20. Schachar RA, Bax AJ (2001). Mechanism of human accommodation as analyzed by nonlinear finite element analysis. *Compr. Ther.*, 27 (2), 122-132.

21. Timiras S (2007). Physiological Basis of Aging and Geriatrics, 536.

Сведения об авторах Information about the authors

Розанова Ольга Ивановна – кандидат медицинских наук, заведующая лечебно-консультационным отделением Иркутского филиала Межотраслевого научно-технического комплекса «Микрохирургия глаза» (664017, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 337; e-mail: olgrozanova@gmail.com)

Rozanova Olga Ivanovna – Candidate of Medical Sciences, Head of Treatment-and-Consultation Unit of Irkutsk Branch of Sv. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution (664017, Irkutsk, ul. Lermontova, 337; e-mail: olgrozanova@gmail.com)