

УДК 681.327.68 : 535.4

ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА МУЛЬТИФОКАЛЬНЫХ ДИФРАКЦИОННО-РЕФРАКЦИОННЫХ ИНТРАОКУЛЯРНЫХ ЛИНЗ

И. А. Искаков

*ФГАУ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С. Н. Федорова» Минздрава РФ,
Новосибирский филиал,
630071, г. Новосибирск, ул. Колхидская, 10
E-mail: i.iskakov@mntk.nsk.ru*

Представлены способы изготовления и конструктивные особенности современных дифракционно-рефракционных интраокулярных линз. Мультифокальные интраокулярные линзы являются наиболее оптимальным способом восстановления утраченной аккомодативной функции после удаления хрусталика. Дифракционно-рефракционные интраокулярные линзы занимают наибольший объём среди имплантируемых мультифокальных линз во всём мире. Существующие способы изготовления таких линз позволяют реализовать различные конструктивные решения для достижения наилучших показателей зрения после операции. Многообразие современных конструкций дифракционно-рефракционных интраокулярных линз отражает востребованность этого способа коррекции зрения в клинической практике, актуальность дальнейших прикладных исследований и поиска новых технологических решений для создания более совершенных моделей линз.

Ключевые слова: дифракционно-рефракционная интраокулярная линза, мультифокальная линза, хрусталик, аккомодативная функция, коррекция зрения, имплантация.

DOI: 10.15372/AUT20170503

Введение. По данным Всемирной организации здравоохранения катаракта является излечимой слепотой и составляет 47 % от общего числа заболеваний глаз. К 2020 году численность пожилых людей, страдающих от катаракты, будет составлять около 40 миллионов [1]. В настоящее время имплантация искусственных хрусталиков — интраокулярных линз (ИОЛ), стандартна при проведении операций на хрусталике. Интраокулярные линзы прошли длительное историческое развитие от монофокальных к бифокальным, а затем к мультифокальным (или много-, полифокальным) линзам. По принципу оптического действия и количеству фокусов все клинически используемые ИОЛ можно классифицировать следующим образом [2]:

- 1) ИОЛ рефракционного типа: монофокальные и мультифокальные (зональные рефракционные, аккомодирующие, градиентные, диафрагмальные (с малой апертурой));
- 2) ИОЛ дифракционно-рефракционного (ДР) типа: мультифокальные дифракционно-рефракционные ИОЛ.

Оптическое действие мультифокальных ИОЛ базируется на использовании преломления света по законам рефракции или его преобразования на основе дифракции. В зональных мультифокальных рефракционных линзах каждая зона работает как отдельная линза с разным фокусным расстоянием. В аккомодирующих линзах преломление света сочетается с изменением положения линзы вдоль оптической оси глаза и соответственно изменением положения фокуса относительно сетчатки при взгляде на разноудалённые предметы. В линзах с градиентной оптикой дополнительный фокус создаётся путём изменения коэффициента преломления материала в разных частях оптического элемента ИОЛ.

В диафрагмальных ИОЛ искусственное уменьшение просвета зрачка приводит к расширению глубины фокусной зоны и объёма псевдоаккомодации.

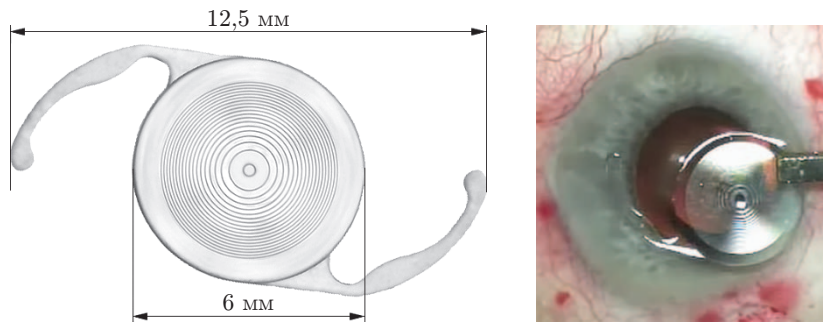
Целью данной работы является обзор технологий производства конструкций ДР ИОЛ.

Дифракционно-рефракционные интраокулярные линзы. Первые сообщения о конструкциях таких средств интраокулярной коррекции относятся к 1980-м годам [3, 4]. Предлагаемые конструкции наряду с принципами рефракции при формировании фокуса дальнего зрения используют явление дифракции света для создания дополнительной оптической силы, обеспечивающей зрение вблизи или на промежуточных дистанциях.

Неоспоримым достоинством первых бифокальных ДР ИОЛ являлось то, что дифракционная структура покрывала всю оптическую часть одной из сторон линзы. При клиническом применении ДР ИОЛ были менее чувствительны к децентрации в глазу и в отличие от первых зональных рефракционных ИОЛ обладали зрачковой независимостью бифокального функционирования [5, 6]. Сдерживающим фактором широкого использования ДР ИОЛ было то, что линзы изготавливались из полиметилметакрилата (ПММА). Для имплантации в глаз жёсткой линзы требовался большой разрез, после заживления которого часто формировался роговичный астигматизм, нивелировавший визуальный результат. Дифракционно-рефракционные ИОЛ из ПММА не производятся с конца 1990-х годов, однако технологии их изготовления послужили основой для разработки новых моделей линз из мягких полимеров.

Все известные зарубежные модели ДР ИОЛ изготавливаются с использованием дорогостоящего прецизионного оборудования способом алмазного точения дифракционной структуры на поверхности ИОЛ или негативной дифракционной структуры на поверхности матрицы для последующего литья линзы в форме [7, 8]. Однако размер микрорезца не допускает изготовление периферических дифракционных зон, глубина и ширина которых составляют несколько микрон. Чтобы преодолеть это технологическое затруднение, зоны последовательно объединяют [4], что не позволяет формировать дифракционный профиль с нестандартными изменениями глубины и использовать возможности дифракционной оптики в полной мере. Решением проблемы периферических зон стали модели, в которых дифракционная структура нанесена только в центре линзы [9], что вызвало зрачковую зависимость эффективного функционирования линз. Кроме того, создаваемые резцом резкие переходы от основания к вершинам дифракционных ступенек, острые края на их вершинах [10], микронеровности и следы резца по всей поверхности дифракционного профиля [11] служат причиной побочных световых явлений и, как следствие, повышенной чувствительности пациентов к слепящим и боковым засветам [12]. Производители ДР ИОЛ пытаются сгладить переходы и вершины дифракционных ступенек, что приводит к усложнению формы профиля структуры и, в свою очередь, требует усложнения расчётных параметров и технологических процессов. Способ алмазного точения не позволяет наносить асимметричный рисунок дифракционного профиля, поэтому невозможно изготавливать линзы с коррекцией асимметричных aberrаций, например правильным роговичным астигматизмом. Вследствие создания торических ДР ИОЛ коррекция астигматизма осуществляется рефракционной поверхностью линзы, а дифракционная структура остаётся неизменной. Несмотря на очевидные недостатки алмазной нарезки дифракционной структуры, производители ДР ИОЛ не отказываются от такой технологии. Связано это, по-видимому, с тем, что разрабатывать альтернативные способы изготовления ДР ИОЛ и выделять их в отдельное производство экономически невыгодно.

В Институте автоматики и электрометрии СО РАН (г. Новосибирск) разработан оригинальный способ создания бифокальной ДР ИОЛ путём объединения методов фотолитографии и тиснения (штамповки) [13]. Для этого был изготовлен специальный штамп,



Внешний вид отечественной бифокальной дифракционно-рефракционной линзы МИОЛ-Аккорд®

состоящий из пуансона и стеклянной матрицы с дифракционным микрорельефом. Пуансон предназначался для оттиска в ПММА передней рефракционной части ИОЛ. Матрица должна быть использована при формировании дифракционного элемента на задней плоской поверхности ИОЛ. Изготовление матрицы с дифракционным микрорельефом осуществлялось в два этапа: первый — синтез комплекта амплитудных фотошаблонов с расчётной дифракционной структурой, второй — перевод рисунка шаблонов в стекло методами фотолитографии и травления микрорельефа. Амплитудные шаблоны для получения дифракционной структуры были синтезированы на лазерном фотопостроителе с использованием термохимической технологии [14]. Способ рассчитан на изготовление ДР ИОЛ из жёсткого полимера, поэтому не нашёл практического применения. Вместе с тем разработанный способ позволял соблюдать все расчётные показатели линзы в готовом изделии. Кроме того, варьируя ширину и глубину зон дифракционной структуры, впервые в мире удалось получить линзу с исправленными аберрациями для ближнего фокуса [15]. В результате был накоплен опыт, который позволил авторам перейти к разработке способа производства бифокальной ДР ИОЛ из мягкого полимера [16, 17].

Произошло объединение двух российских технологий, разработанных в Институте автоматизации и электрометрии СО РАН и в НПП «Репер-НН» (г. Нижний Новгород). Лазерная фототехнология создания дифракционной структуры [14] лишена недостатков алмазного точения и в сочетании с методом УФ-фотополимеризации жидких олигомеров в форме [18] позволила реализовать новое конструктивное решение, такое как снижение в ближнем фокусе симметричных аберраций рефракционного компонента самой ИОЛ, роговицы и глаза в целом за счёт изменения оптической силы на периферии линзы. Удалось получить высокое оптическое качество, упростить процесс изготовления и значительно снизить себестоимость интраокулярных линз [19]. Новая бифокальная ДР ИОЛ получила название МИОЛ-Аккорд® (см. рисунок), прошла клиническую апробацию и была разрешена для применения в офтальмологической практике в нашей стране [20].

Поиск альтернативных, экономичных способов изготовления ДР ИОЛ, более полно использующих возможности дифракционной оптики, продолжает оставаться актуальным. Особенности производства ДР ИОЛ являются предметом "know-how" производителей и практически не отражены в доступной литературе. Между тем технологические возможности того или иного способа производства дифракционно-рефракционных ИОЛ накладывают отпечаток на их конструкцию.

Современные конструкции ДР ИОЛ. Современные дифракционно-рефракционные ИОЛ составляют целое семейство мультифокальных интраокулярных линз, различающихся в конструкциях дифракционного элемента. Эти отличия соответственно проявляются и в зрительных функциях пациентов после имплантации ДР ИОЛ разных моделей. В таблице приведены основные конструктивные характеристики современных ДР ИОЛ разных производителей [21–28].

Характеристики линз различных производителей

Фирма, страна	Торговое название базовой модели	Коли- чество фоку- сов	Модель, дополнительная сила линзы для ближнего/ промежуточного зрения (дптр)	Конструкция дифракционной структуры, её диаметр и расположение по отношению к передней или задней поверхности линзы	Зрачковая зависимость/ независимость мульти- фокального функциони- рования линзы (+/-)	Распределение эфективной фокуса ИОЛ, дальний/ ближний/ промежу- точный (%)	Асферический профиль рефракци- онной/ базовой дифрак- ционной поверхности (+/-)	Наличие моделей с тори- ческой оптикой (+/-)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
НПП «Релер-НН», РФ	МИОЛ- Аккорд® [19]	2	МИОЛ- Аккорд® +4,0	полноапертурная, задняя	–	50/50	–	–
Abbott Medical Optics Inc., США	Tecnis™	2	ZMB00 +4,0 ZLB00 +3,25 ZKB00 +2,75	полноапертурная, задняя	–	50/50	+	+
Carl Zeiss Meditec AG, Германия	AT LISA® [10, 21]	2	809M+3,75	полноапертурная, задняя	–	65/35	+	+
Alcon Laboratories Inc., США	AcuSof® IQ ReSTOR® [22, 23]	2	SN6AD3 +4,0 SN6AD1 +3,0 MN6AD1 +3,0 SV25T0 +2,5	аполдизованная, в центре 3,6 мм, передняя	+	динамичное, в зависимости от ширины зрачка	+	+
Human Optics AG, Германия	Diffractiva®	2	DIFF-aA +3,5 DIFF-aAY +3,5 Diffractiva©-ss +3,5	аполдизованная, в центре 3,6 мм, передняя	+	динамичное, в зависимости от ширины зрачка	–	–
Hanita Lenses, Израиль	SeeLens	2	SeeLens MF +3,0 BunnyLens MF +3,0	в центре 4,0 мм, передняя	+	динамичное, в зависимости от ширины зрачка	+	–

Характеристики линз различных производителей						Продолжение		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Medicontur Medical Engineering Ltd, Inc., Швейцария	Bi-FlexM	2	Bi-FlexM +3,5	в центре 3,0 мм, передняя	+	динамичное, в зависимости от ширины зрачка	+	-
VSY Biotechnologies, Нидерланды	Acriva ^{UD} Reviol	2	MF 613 +3,75 MFB 625 +3,75 MFM 611 +3,75 MFBV 613 +3,75 VVMFM 611 +3,75 VVTMFM 611 +3,75	полноапертурная, передняя	-	60/40	+	-
Eyeol U.K. Limited, Великобритания	EYE DIFF [24, 25]	2	EYE DIFF Plus R +3,0; +3,5; +4,0 HYDIFF +3,25	полноапертурная, передняя	-	60/40	+	-
Bio-Tech Vision Care Pvt. Ltd., Индия	EYECRYL ACTV	2	DIYHS 600ROH +3,75 DIFY 600 +3,0	полноапертурная, передняя	-	60/40	-	+
CRISTALENCE, Франция	Artis [®] Multifocal	2	Artis [®] Multifocal от +2,0 до +3,5	в центре 4,0 мм, аполизованная от 3,0 мм, передняя	+	динамичное, в зависимости от ширины зрачка	+	-
Appasamy Associates, Индия	Supra Phob Regen	2	Supra Phob Regen +3,5	в центре 4,2 мм, передняя	+	не указано	+	-
Human Optics AG, Германия	add-on Diffractiva [®]	2	DIFF-sPB +3,5	аполизованная, в центре 3,6 мм, передняя	+	динамичное, в зависимости от ширины зрачка	-	+
1stQ, Германия	Add-on [®]	2	Add-on [®] +3,0	в центре 3,0 мм, передняя	+	50/50	-	-

Характеристики линз различных производителей							Окончание	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
CRISTALENCE, Франция	add-on Reverso® Multifocal	2	Reverso® Multifocal +1,5 / 2,0 / 2,5 / 3,0 / 3,5	в центре 3,0 мм, затем аподизованная до 4,0 мм, передняя	+	динамичное, в зависимости от ширины зрачка	+	–
PhysIOL, Бельгия	Fine Vision [26]	3	Fine Vision +3,75 / +1,75	аподизованная полноапертурная, передняя	+	динамичное, в зависимости от ширины зрачка	+	+
Zeiss, Германия	AT LISA tri® [27]	3	AT LISA tri® 839 MP +3,33 / +1,66	в центре трифокальная до 4,34 мм, затем бифокальная до края линзы, передняя	+	50/30/20	+	+
VSY Biotechnologies, Нидерланды	Activa ^{UD} Reviol Tri-ED	3	Activa ^{UD} Reviol Tri-ED 611 +3,0 / 1,5	аподизованная, полноапертурная, передняя	–	46/25/29	не указано	–
Alcon Laboratories Inc., США	AcrySof® IQ PanOptix® [28]	4 ¹	AcrySof® IQ PanOptix® +3,25 / +2,17	в центре 4,5 мм, передняя	+	50/25/25	+	–
Abbott Medical Optics Inc., США	Tecnis™ Symfony	EDOF ²	ZRX00 расширенный диапазон фокусной зоны около 1,1 дптр	полноапертурная, передняя	–	92	+	+

Примечания. 1. В линзе AcrySof® IQ PanOptix® фокус на расстоянии около 120 см от глаза фактически «нерабочий», так как количество энергии в нём недостаточно для зрительного восприятия.

2. Tecnis™ Symfony позиционируется производителем как «линза с расширенным диапазоном ясного зрения» (Extended Depth of Focus — EDOF) за счёт расширения фокуса дальнего зрения.

Дифракционная структура может располагаться на передней, обращённой к роговице, или задней поверхности ИОЛ, занимать практически всю площадь оптического элемента или только его центральную часть. Уменьшение диаметра дифракционной структуры в сочетании с постепенно уменьшающейся к периферии высотой дифракционных ступенек (так называемая аподизация структуры) приводит к увеличению количества световой энергии в дальнем фокусе по мере расширения зрачка в условиях сумеречного освещения [29]. Коррекция сферических aberrаций ДР ИОЛ осуществляется путём создания асферического профиля на рефракционной поверхности линзы [30] или на базовой поверхности с дифракционной структурой. Кроме того, коррекция может достигаться самой дифракционной структурой. Для уменьшения хроматической aberrации ИОЛ используются мягкие полимеры с высоким числом Аббе [31]. Распределение энергии в фокусах ДР ИОЛ приводится по данным производителей и может отличаться от экспериментальных исследований [32].

Бифокальные ИОЛ в силу наличия двух основных фокусов (дальнего и ближнего) не обеспечивают высокого зрения на промежуточных расстояниях. Решением этой проблемы стало появление бифокальных ДР ИОЛ с уменьшенной дополнительной силой, что призвано отодвинуть от глаза ближний фокус и тем самым улучшить зрение на промежуточной дистанции [33].

Трифокальные, квадрофокальные и ДР ИОЛ с расширенной глубиной фокусной зоны также призваны решить проблему «промежуточного зрения». Конструкции трифокальных ДР ИОЛ известны с начала 1990-х годов [34, 35]. Анализ этой конструкции позволяет прогнозировать особенности зрения при клиническом использовании таких линз. Изображения, создаваемые в глазу каждым из трёх фокусов, расположенных друг к другу ближе, чем в бифокальной линзе, оказывают более выраженное качественное влияние друг на друга [36, 37]. Расфокусированная световая энергия «нерабочих» фокусов накладывается на изображение «рабочего» в данный момент времени фокуса. Клинически это проявляется в активных жалобах пациентов на наличие ореола, особенно заметного при низком общем освещении. Дифракционно-рефракционные ИОЛ с расширенной глубиной фокусной зоны также не гарантируют отсутствие побочных оптических эффектов [38].

Дополнительные бифокальные ДР-линзы применяются для создания бифокальности и коррекции аметропий после имплантации монофокальных ИОЛ [39, 40]. Дополнительная линза имеет «нулевую» или соответственно степени аметропии диоптрийность для дали. За этими линзами постепенно закрепился термин "Add-on", хотя Add-on® — это зарегистрированный товарный знак фирмы 1stQ. Форма оптического элемента у линз Add-on выпукло-вогнутая (менискообразная). Такая форма позволяет избежать контакта с ранее имплантированной ИОЛ и предотвратить помутнение линз и развитие фиброзной тканевой мембраны между линзами.

Сравнительная экспериментальная оценка ДР ИОЛ разных конструкций затруднена, так как методы, рекомендованные Международным стандартом для мультифокальных ИОЛ [41], не всегда позволяют выполнить исследования заявленных производителем оптических свойств линз с асферической оптикой и новыми конструкциями дифракционной структуры [42]. Это, в частности, касается ДР ИОЛ с расширенной глубиной фокусной зоны. В некоторых исследованиях модель глаза, рекомендованная стандартом, подвергается модификациям и высказываются мнения о необходимости проведения ревизии некоторых положений стандарта.

Заключение. Дифракционно-рефракционные ИОЛ составляют наиболее значительную часть мультифокальных ИОЛ, различающихся по принципу оптического действия. Во всех странах это наиболее часто используемый в клинической практике тип мультифокальных ИОЛ. Дифракционная оптика способна обеспечить оптическое качество, превосходящее рефракционную оптику. Видимо, поэтому интерес производителей и клини-

цистов к ДР ИОЛ не ослабевает, а наоборот проявляется в создании новых моделей и конструкций. При этом конструкции ДР ИОЛ становятся всё сложнее, что затрудняет их экспериментальную оценку. Между тем разноплановые исследования ДР ИОЛ позволяют понять, прогнозировать особенности зрительных функций, побочных оптических явлений при их клиническом использовании и правильно интерпретировать послеоперационные результаты.

Автор выражает благодарность коллективу лаборатории дифракционной оптики Института автоматики и электрометрии СО РАН за многолетнее совместное сотрудничество по разработке и экспериментальным исследованиям дифракционно-рефракционных линз, коллективу НПП «Репер-НН» за изготовление линзы МИОЛ-Аккорд[®].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Brian G., Taylor H.** Cataract blindness — challenges for the 21 century // *Bull. World Health Organ.* 2001. **79**. P. 249–256.
2. **Искаков И. А., Тахчиди Х. П.** Интраокулярная коррекция дифракционно-рефракционными линзами. М.: Издательская группа «ГЭОТАР-Медиа», 2016. 240 с.
3. **Pat. 4936666 US.** Ophthalmic lens with diffractive power /M. H. Freeman. Publ. 10.02.1987.
4. **Futhey J. A.** Diffractive bifocal intraocular lens // *Proc. SPIE.* 1989. **1052**. P. 142–149.
5. **VI Kongreß der Deutschsprachigen Gesellschaft für Intraokularlinsen Implantation** /Eds. T. Neuhann, C. Hartmann, R. Rochels. München — Berlin — Heidelberg: Springer-Verlag GmbH, 1992. 609 p.
6. **Multifocal Intraocular Lenses: The Art and the Practice** /Eds. J. L. Alió, J. Pikkol. Springer, 2014. 266 p.
7. **Stork W., Kreiner C. F., Rentsch F.** Bifocal ultra thin intraocular lens — optical properties and clinical results // *Biomed. Tech.* 2002. **47**, N 1. P. 184–185.
8. **Pat. 6511178 US.** Multifocal ophthalmic lenses and processes for their production /J. H. Roffman, D. F. Ross, M. Guillon. Publ. 28.01.2003.
9. **Pat. 5699142 A US.** Diffractive multifocal ophthalmic lens /C.-S. Lee, M. J. Sympton. Publ. 16.12.1997.
10. **Pat. 6536899 B1 US.** Multifocal lens exhibiting diffractive and refractive powers /W. Fiala. Publ. 25.03.2003.
11. **Wenzel M. R., Imkamp E. M., Apple D. J.** Variations in manufacturing quality of diffractive multifocal lenses // *Journ. Cataract Refract. Surg.* 1992. **18**, N 2. P. 153–156.
12. **Eisenmann D., Jacobi K. W.** The array multifocal lens-functional principle and clinical results // *Klin. Monatsbl. Augenheilkd.* 1993. **203**, N 3. P. 189–194.
13. **Коронкевич В. П., Ленкова Г. А., Искаков И. А. и др.** Бифокальная дифракционно-рефракционная интраокулярная линза // *Автометрия.* 1997. № 6. С. 26–41.
14. **Коронкевич В. П., Корольков В. П., Полецук А. Г.** Лазерные технологии в дифракционной оптике // *Автометрия.* 1998. № 6. С. 5–26.
15. **Пат. 2189117 РФ.** Дифракционная интраокулярная линза /В. П. Коронкевич, Г. А. Ленкова, И. А. Искаков, С. Н. Федоров. Оpubл. 27.07.2002.
16. **Ленкова Г. А.** Оптические характеристики интраокулярных линз в воздухе, воде и кювете // *Автометрия.* 1997. № 3. С. 35–47.
17. **Ленкова Г. А., Коронкевич В. П., Искаков И. А. и др.** Исследование оптического качества интраокулярных линз // *Автометрия.* 1997. № 3. С. 18–29.

18. **Треушников В. М., Викторова Е. А., Чупров Е. А. и др.** Новые полимерные материалы и способ изготовления из них ИОЛ // Актуальные проблемы офтальмологии. Киров, 1996. С. 4–7.
19. **Пат. 2303961 РФ.** Мультифокальная интраокулярная линза и способ ее изготовления /Г. А. Ленкова, В. П. Коронкевич, В. П. Корольков, И. А. Исаков. Опубл. 10.08.2007; Бюл. № 22.
20. **Исаков И. А.** Современная концепция оптико-функциональной реабилитации больных с афакией на основе использования отечественной бифокальной дифракционно-рефракционной ИОЛ: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. М., 2009. 40 с.
21. **Pat. 1194797 A1 EP.** Brechende/beugende multifokallinse /W. Fiala. Publ. 10.04.2002.
22. **Pat. 5116111 US.** Multi-focal diffractive ophthalmic lenses /M. J. Simpson, J. A. Futhey. Publ. 26.05.1992.
23. **Pat. 5699142 A US.** Diffractive multifocal ophthalmic lens /C.-S. Lee, M. J. Sympton. Publ. 16.12.1997.
24. **Pat. 20120165932 A1 US.** Refractive-diffractive lens /R. S. A. Sanjay, T. H. Munavvar. Publ. 28.06.2012.
25. **Pat. 20130107201 A1 US.** Refractive-diffractive ophthalmic device and compositions useful for producing same /R. S. A. Sanjay, T. H. Munavvar, C. M. Vinod, B. P. Abhijit. Publ. 02.05.2013.
26. **Pat. 092169 WO.** Intraocular lens /Y. A. J. Houbrechts, C. R. M. A. Pagnouille, D. Gatinel. Publ. 04.08.2011.
27. **Pat. 134948 WO.** Multifocal lens /W. Fiala, M. Gerlach. Publ. 03.11.2011.
28. **Pat. 20150331253 A1 US.** Multifocal diffractive ophthalmic lens using suppressed diffractive order /M.-T. Choi, X. Hong, Y. Liu. Publ. 19.11.2015.
29. **Davison J. A., Simpson M. J.** History and development of the apodized diffractive intraocular lens // Journ. Cataract Refract. Surg. 2006. **32**, N 5. P. 849–858.
30. **Hong X., Zhang X.** Optimizing distance image quality of an aspheric multifocal intraocular lens using a comprehensive statistical design approach // Opt. Express. 2008. **16**, N 25. P. 20920–20934.
31. **Zhao H., Mainster M. A.** The effect of chromatic dispersion on pseudophakic optical performance // Br. Journ. Ophthalmol. 2007. **91**, N 9. P. 1225–1229.
32. **Vega F., Alba-Bueno F., Millán M. S.** Energy distribution between distance and near images in apodized diffractive multifocal intraocular lenses // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 2011. **52**, N 8. P. 5695–5701.
33. **Kim J. S., Jung J. W., Lee J. M. et al.** Clinical outcomes following implantation of diffractive multifocal intraocular lenses with varying add powers // Amer. Journ. Ophthalmol. 2015. **160**, N 4. P. 702–709.
34. **Pat. 5017000 US.** Multifocals using phase shifting /A. L. Cohen. Publ. 21.05.1991.
35. **Pat. 5344447 US.** Diffractive trifocal intra-ocular lens design /G. J. Swanson. Publ. 06.09.1994.
36. **Alba-Bueno F., Vega F., Millán M. S.** Halos and multifocal intraocular lenses: origin and interpretation // Arch. Soc. Esp. Oftalmol. 2014. **89**, N 10. P. 397–404.
37. **Carson D., Hill W. E., Hong X., Karakelle M.** Optical bench performance of AcrySof® IQ ReSTOR®, AT LISA® tri, and FineVision® intraocular lenses // Clin. Ophthalmol. 2014. N 8. P. 2105–2113.
38. **Weeber H. A., Meijer S. T., Piers P. A.** Extending the range of vision using diffractive intraocular lens technology // Journ. Cataract Refract. Surg. 2015. **41**, N 12. P. 2746–2754.
39. **Gerten G., Kermani O., Schmiedt K. et al.** Dual intraocular lens implantation: Monofocal lens in the bag and additional diffractive multifocal lens in the sulcus // Journ. Cataract Refract. Surg. 2009. **35**, N 12. P. 2136–2143.

-
40. **Liekfeld A., Ehmer A., Schröter U.** Visual function and reading speed after bilateral implantation of 2 types of diffractive multifocal intraocular lenses: Add-on versus capsular bag design // Journ. Cataract Refract. Surg. 2015. **41**, N 10. P. 2107–2114.
 41. **ISO 11979-9.** International Organization for Standardization. Ophthalmic Implants — Intraocular Lenses. Pt. 9: Multifocal Intraocular Lenses. Geneva, Switzerland, 2006. 20 p.
 42. **Eppig T., Scholz K., Langenbacher A.** Assessing the optical performance of multifocal (diffractive) intraocular lenses // Ophthal. Physiol. Opt. 2008. **28**, N 5. P. 467–474.

Поступила в редакцию 15 мая 2017 г.
