

# ВОССТАНОВЛЕНИЕ АККОМОДАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ АРТИФАКИЧНОГО ГЛАЗА

УДК 617.747-003.215-08

Поступила 25.10.2011 г.

К.С. Ивонин, врач-офтальмолог<sup>1</sup>;А.А. Замыров, к.м.н., зав. экстренного отделения<sup>1</sup>;Ю.В. Кудрявцева, к.м.н., доцент кафедры офтальмологии<sup>2</sup>; зам. главного врача по лечебной работе<sup>1</sup>;А.Д. Чупров, д.м.н., зав. кафедрой офтальмологии<sup>2</sup>; главный врач<sup>1</sup><sup>1</sup>Кировская клиническая офтальмологическая больница, Киров, 610011, Октябрьский проспект, 10а;<sup>2</sup>Кировская государственная медицинская академия, Киров, 610000, ул. Карла Маркса, 88

Рассматриваются три современных перспективных пути решения проблемы артификаческой пресбиопии: создание искусственной анизометропии (моновидение), имплантация аккомодирующих и псевдоаккомодирующих интраокулярных линз (ИОЛ).

Согласно результатам многочисленных исследований, артификачное монозрение позволяет без коррекции достичь хороших результатов остроты зрения вдаль и вблизи. Однако использование монозрения сопряжено с такими ограничениями, как индивидуальная непереносимость анизометропии и отсутствие стереоскопического зрения.

Несмотря на большую перспективность аккомодирующих ИОЛ, аккомодационный эффект после имплантации линз данного типа не всегда может быть гарантирован. Тому может быть несколько причин, в том числе несоответствие между диаметром ИОЛ и диаметром капсульного мешка, неправильный диаметр капсулорексиса, повышенное или пониженное сокращение цилиарной мышцы, фиброз капсульного мешка, разжижение стекловидного тела, задняя отслойка стекловидного тела, изменение упругости связок хрусталика.

На сегодняшний день использование псевдоаккомодирующих ИОЛ является наиболее эффективным путем коррекции артификаческой пресбиопии. В этой группе наиболее результативны бифокальные рефракционно-дифракционные ИОЛ. Однако наряду с признанными достоинствами этих линз у них отмечается и ряд недостатков, одним из которых является низкое зрение на промежуточных дистанциях.

**Ключевые слова:** катаракта; пресбиопия; артификачное монозрение; аккомодирующие ИОЛ; псевдоаккомодирующие ИОЛ; мультифокальные ИОЛ.

## English

## Recovery of Accommodative Capabilities of Ocular Pseudophakia

K.S. Ivonin, Ophthalmologist<sup>1</sup>;A.A. Zamyrov, PhD, Head of Emergency Department<sup>1</sup>;Y.V. Kudryavtseva, PhD, Associate Professor, the Department of Ophthalmology<sup>2</sup>; Deputy Chief Doctor for Clinical Work<sup>1</sup>;A.D. Chuprov, D.Med.Sc., Head of the Department of Ophthalmology<sup>2</sup>; Chief Doctor<sup>1</sup><sup>1</sup>Kirov Clinical Ophthalmological Hospital, Oktyabrsky Avenue, 10a, Kirov, Russian Federation, 610011;<sup>2</sup>Kirov State Medical Academy, Karl Marx St., 88, Kirov, Russian Federation, 610000

There are considered three modern prospective ways to solve the problem of pseudophakic presbyopia: development of induced anisometropia (monovision), and implantation of accommodative and pseudo-accommodative intraocular lens (IOL).

According to the findings of numerous studies, pseudophakic monovision enables to achieve good results of close-up and distant acuity of vision without correction. However, monovision use involves such limitations as individual intolerance to anisometropia, and the lack of stereoscopic vision.

Despite accommodative IOL have more potential, accommodative effect after the implantation of this type of lens is not always guaranteed. There can be several reasons for that, including inconsistency between IOL diameter and capsular sac diameter, incorrect capsulorrhexis diameter, increased or reduced ciliary muscle contraction, capsular sac fibrosis, synchysis corporis vitrei, posterior vitreous detachment, the change of lens ligament elasticity.

Currently, the use of pseudo-accommodative IOL is the most effective way of pseudophakic presbyopia correction, and among them the most effective ones are bifocal refractive and diffractive IOL. But along with the recognized advantages of the lens, they have a number of disadvantages, e.g. low intermediate vision.

**Key words:** cataract; pseudophakic presbyopia; pseudophakic monovision; accommodative IOL; pseudo-accommodative IOL; multifocal IOL.

Для контактов: Ивонин Константин Сергеевич, тел. раб. +7 951-351-78-08; e-mail: doctor\_ivonin@mail.ru

Анализ данных по слепоте в мире показывает, что катаракта — это наиболее частая причина предотвратимой слепоты как в развитых, так и в развивающихся странах.

Хирургия катаракты всегда неразрывно связана с решением вопроса оптической коррекции оперированного глаза. Имплантация искусственного хрусталика стала традиционной операцией во всем мире.

Большинство интраокулярных линз (ИОЛ), выпускаемых в мире, — однофокусные. После их имплантации требуется дополнительная оптическая коррекция, так как пропадает главная функция здорового хрусталика — аккомодация. Поэтому восстановление аккомодации искусственного глаза является одной из актуальных проблем в офтальмологии [1–3].

За последние годы наметилось три перспективных пути решения проблемы артификаческой пресбиопии: создание искусственной анизометропии (моновидения), имплантация аккомодирующих и псевдоаккомодирующих ИОЛ [4–6].

## Монозрение

Монозрение — это метод коррекции пресбиопии, когда один глаз ориентируется для зрения вдаль, а другой для зрения вблизи.

При артификации монозрение достигается за счет имплантации ИОЛ различной оптической силы на оба глаза.

Моновидение у артификачных пациентов было впервые описано в 1984 г. С.Ф. Voerner и В.Н. Thrasher. Они предложили достигать разницы в оперированных глазах в 2–3 Д [7]. Оптимальное количество анизометропии для артификачного моновидения было исследовано К. Nayashi с соавт. в 2011 г. Они установили, что наиболее полезная анизометропия для получения высокой остроты зрения как вдаль, так и вблизи составляет 1,5–2,0 Д [8]. Согласно результатам многочисленных исследований [9–12], артификачное монозрение позволяет достичь хороших результатов остроты зрения без коррекции его вдали и вблизи.

Однако монозрение сопряжено с ограничениями, такими как индивидуальная непереносимость анизометропии и отсутствие стереоскопического зрения [13–15].

## Аккомодирующие интраокулярные линзы

Хотя механизм пресбиопии до настоящего времени не изучен полностью, имеющиеся данные позволяют предположить, что некоторая потеря активности цилиарного тела может способствовать сокращению аккомодации. Несмотря на это, функция цилиарного тела сохраняется даже при зрелой катаракте, а потеря аккомодации обусловлена потерей эластичности хрусталика и капсулы в сочетании с изменениями в геометрии связочного аппарата хрусталика [16].

Интересными представляются исследования по заполнению капсульного мешка после удаления вещества хрусталика деформируемыми гелями [17]. Факоэмульсификация выполняется через небольшое

отверстие в капсульном мешке [18], который после факоэмульсификации заполняется прозрачным, нетоксичным, эластичным материалом. Однако эксперименты на животных показали неразрешимые проблемы, такие как непредсказуемая послеоперационная рефракция и вторичная катаракта [19, 20].

Другим направлением решения проблемы является ИОЛ Medennium SmartIOL (США), основанная на идее заполнения капсульного мешка [21, 22]. В SmartIOL используется термодинамический гидрофобный акриловый материал (SmartMaterial), упакованный в виде твердого стержня около 30 мм длиной и 2 мм шириной. Стержень вводится через микроразрез. Температура тела преобразует твердый стержень в мягкий гель, который имеет форму двояковыпуклой линзы и полностью заполняет капсульный мешок.

Доступные офтальмологам аккомодирующие ИОЛ включают в себя оптическую часть и гибкую гаптическую часть. Данная конструкция позволяет оптической части ИОЛ двигаться вперед во время аккомодационного усилия и тем самым осуществлять аккомодацию глаза.

В настоящее время используется ИОЛ Crystalens (США). Она изготовлена из силикона с показателем преломления 1,43, диаметр оптической части составляет 4,5 мм, на гаптической части имеются канавки для облегчения движения ИОЛ, гаптические элементы заканчиваются элементами из полиамида. По данным исследований FDA, Crystalens позволила примерно 73% пациентам избавиться от очков для близи [23].

Другой тип ИОЛ — Akkommodative 1Cu (HumanOptics, Германия) — сделан из гидрофильного акрилового материала [24]. Эта линза имеет четыре противоположных гаптических элемента, сужающихся при переходе от оптики к гаптике.

Теоретически механизм действия Crystalens основан на концепции аккомодации. В результате перестройки объема цилиарного тела повышается давление в стекловидном теле. Поэтому происходит движение оптической части линзы вперед вдоль оптической оси, вследствие чего изменяется диоптрийность оптической системы глаза, что позволяет иметь хорошее зрение на близком, промежуточном и дальнем расстоянии. Механизм аккомодации ИОЛ Akkommodative 1Cu отличается. Релаксация цинновых связок при сокращении цилиарного тела приводит к релаксации капсульного мешка и движению линзы за счет сгиба четырех гаптических элементов. Главный недостаток этой конструкции следующий: ИОЛ меньшей оптической силы будут хуже аккомодировать, чем ИОЛ с более высокой оптической силой [25, 26].

В проведенном А. Рапа исследовании [27] показано, что ИОЛ данной конструкции смещаются вперед при адаптивном усилии менее чем на 1 мм, что определяется по ультразвуковой биомикроскопии. Поэтому конструкция линз такого типа вряд ли может быть эффективной в широком диапазоне диоптрийностей ИОЛ. Кроме того, для ИОЛ данного типа остается нерешенной проблема изменения гибкости капсульного мешка вследствие фиброза [27].

Компания Visiogen (США) разработала двойную, оптически монолитную силиконовую складную аккомодирующую ИОЛ Synchrony [28]. При смещении двойной оптической системы, помещенной в глаз, с диоптрийностью передней линзы +32 Д, дистанцией между линзами 0,5 мм и диоптрийностью задней линзы -12 Д, 1 мм смещения передней линзы приводит к изменению диоптрийности глаза примерно на 2,2 Д. Из компьютерного моделирования известно, что большее изменение рефракционной мощности на единицу осевого смещения может быть получено путем выбора более мощной передней линзы.

Новое поколение аккомодирующих ИОЛ основано на магнитно-индуцированном переднезаднем смещении комплекса «ИОЛ — капсульный мешок» [29]. Для этого наружные магниты фиксируются под мышцами с целью достижения долгосрочного эффекта. Необходимы не один, а два внешних магнита для стабилизации внутренних магнитов, что позволяет избежать вращения внутреннего имплантата, содержащего внутренние магниты. Внутренние магниты крепятся на внутрикапсульном кольце посредством маленьких цилиндров, внутри которых они располагаются. Кольцо с внутренними магнитами легко имплантируется и может быть фиксировано к любой ИОЛ.

Две модели ИОЛ, разработанные фирмой Morcher (Германия), представляют собой интересную разработку концепции, основанной на аккомодации за счет сдвига оптики. В отличие от других аккомодирующих ИОЛ (Akkommodative 1CU, Crystalens), их принцип основан на освобождении энергии, заключенной в самой линзе, за счет чего происходит смещение оптической части ИОЛ, при этом цилиарная мышца выступает только в качестве триггера для освобождения энергии, заключенной в ИОЛ. Послеоперационные фиброз или адгезия двух капсульных листков не препятствуют аккомодации [30].

Первая модель ИОЛ фиксируется на передней капсулорексис гаптическими элементами. У второй модели гаптические элементы размещаются в иридоцилиарной борозде, а оптический элемент фиксируется на переднем капсулорексисе. Преимуществом второй модели является то, что с ростом фиброза или адгезии капсульного мешка аккомодация увеличивается.

Несмотря на большую перспективность аккомодирующих ИОЛ, аккомодационный эффект после имплантации линз данного типа не всегда может быть гарантирован, так как лишь небольшой процент пациентов показывает хорошие результаты после имплантации. Тому виной служит ряд причин, в том числе несоответствие между диаметром ИОЛ и диаметром капсульного мешка, неправильный диаметр капсулорексиса, повышенное или пониженное сокращение цилиарной мышцы, фиброз капсульного мешка, разжижение стекловидного тела, задняя отслойка стекловидного тела, изменение упругости связок хрусталика [30–32].

### Псевдоаккомодирующие ИОЛ

Принцип действия псевдоаккомодирующих (мультифокальных) ИОЛ основан на создании на сетчатке не-

скольких фокусов, что обеспечивает хорошее зрение на различных дистанциях [33]. Можно выделить три основных направления разработки таких линз: деление по крайней мере одной из оптических поверхностей ИОЛ на зоны, отличающиеся кривизной поверхности (рефракционные ИОЛ); деление линзы на зоны, материал которых различается показателем преломления света (градиентные ИОЛ); формирование на одной из оптических поверхностей ИОЛ дополнительной дифракционной линзы (дифракционно-рефракционные ИОЛ) [34].

На сегодняшний день псевдоаккомодирующие ИОЛ являются наиболее эффективным средством коррекции артификаческой пресбиопии [35–37].

Одними из наиболее распространенных в мире являются рефракционные мультифокальные ИОЛ: ReZoom (AMO, США) и M-Flex 630F (Rayner, Англия) [38].

В исследовании R. Forte и P. Ursolo [39] оценивали остроту зрения, удовлетворенность пациентов, наличие в послеоперационном периоде ореолов и бликов вокруг источников света в течение 2 лет после имплантации ИОЛ ReZoom. В исследовании участвовали 35 пациентов (50 глаз). Некорригированная острота зрения вдаль в среднем составила 0,5, вблизи — в среднем 0,3. Через 3 мес после имплантации 10% пациентов отмечали блики и 13% — ореолы вокруг источников света, через 24 мес их число снизилось до 7 и 5% соответственно. При этом в течение всего срока наблюдения авторы не отметили изменений остроты зрения и пришли к выводу, что ReZoom обеспечивает качественное зрение вблизи без дополнительной коррекции.

В работе J. Cezón Prieto и M.J. Bautista [40] оценивались острота зрения, независимость от очков, контрастная чувствительность в течение 12 мес после имплантации ИОЛ M-Flex 630F. В исследовании участвовали 22 пациента (32 глаза). Некорригированная острота зрения вдаль в среднем составила 0,5, с коррекцией 0,8, вблизи — в среднем 0,5, с коррекцией 1,0. Независимость от очков составила 70%. Не установлены пациенты, которые бы отмечали блики и ореолы вокруг источников света. В целом авторы сделали заключение об эффективности ИОЛ для достижения высокой некорригированной остроты зрения вблизи.

Т.А. Морозова и Б.Э. Малюгин [41] оценивали остроту зрения, контрастную чувствительность после имплантации ИОЛ «МИОЛ-Градиол» («Репер-НН», Россия). В исследовании участвовали 10 пациентов (11 глаз). Некорригированная острота зрения вдаль в среднем составила 0,76, с коррекцией 0,9, вблизи — в среднем 0,64, с коррекцией 0,9. Независимость от очков составила 91%. 1 пациент отмечал оптические явления, связанные с мультифокальной оптикой. Авторы считают, что имплантация градиентных мультифокальных ИОЛ третьего поколения — без переходной зоны — является эффективным и безопасным методом коррекции артификаческой пресбиопии.

К рефракционно-дифракционным ИОЛ относятся: AcrySof ReSTOR (Alcon, США), Tecnis (AMO, США), «МИОЛ-Аккорд» («Репер-НН», Россия).

Глобальное многоцентровое открытое исследование было проведено в США и Европе в 2005 г. В нем срав-

нивалась двусторонняя имплантация AcrySof ReSTOR (n=566) с монофокальными ИОЛ AcrySof MA60BM (n=194). Данные изучались в течение 180 дней после операции на второй глаз пациента. Оценивались острота зрения, размер зрачка, контрастная чувствительность, ночное вождение, качество жизни. Послеоперационная средняя бинокулярная некорригированная острота зрения вблизи составляла 0,8 для AcrySof ReSTOR и 0,4 — для монофокальных ИОЛ. У пациентов с AcrySof ReSTOR она достигла 0,8 или лучше у 96,7% человек, 1,0 или лучше — у 40% из них. У 40,8% пациентов в контрольной группе острота зрения вблизи была 0,5 или лучше, и у 3,2% достигала 1,0 или лучше. Некорригированная острота зрения вдаль в основной и контрольной группах была сопоставима и составила в среднем 0,8.

У 80% пациентов с ReSTOR не было необходимости в дополнительной очковой коррекции вблизи, в контрольной группе эта цифра составила 8%. Пациенты с ReSTOR показали более высокую удовлетворенность качеством зрения, чем пациенты контрольной группы, однако в основной группе число пациентов, которые предъявляли жалобы на блики и ореолы вокруг источников света, было больше по сравнению с контрольной.

Результаты тестирования контрастной чувствительности не выявили клинически значимых различий между пациентами с монофокальными ИОЛ и линзами ReSTOR в условиях мезопического и дневного освещения. Тестирование способности обнаруживать опасности в сельских и городских условиях вождения показало, что при всех условиях разница между контрольной группой и группой пациентов с ReSTOR была менее 15%. За все исследование зарегистрировано 6 случаев эксплантации, при этом только один случай был из-за зрительной непереносимости пациентом ИОЛ ReSTOR. По полученным данным сделано заключение о большей эффективности AcrySof ReSTOR в сравнении с монофокальными ИОЛ [42].

Л. Akaishi с соавт. [43] оценивали остроту зрения, удовлетворенность пациентов, жалобы на световые явления после имплантации ИОЛ Tecnis ZM900. В исследовании участвовали 1558 пациентов (2500 глаз). Некорригированная острота зрения вдаль в среднем составила 0,7 и выше в 85% случаев, вблизи — в среднем 0,8 в 93,7% случаев. Независимость от очков составила 97%. Только 6,1% пациентов тяжело переносили блики и ореолы вокруг источников света. Авторы сделали заключение об эффективности данных ИОЛ для достижения высокой некорригированной остроты зрения вблизи.

И.А. Искаков [44] оценивал остроту зрения и остальные параметры у пациентов после имплантации ИОЛ «МИОЛ-Аккорд». В исследовании участвовали 24 пациента (35 глаз). Некорригированная острота зрения вдаль в среднем составила 0,8, вблизи — в среднем 0,6. Дополнительная очковая коррекция потребовалась лишь 7,27% пациентов. По полученным результатам сделан вывод, что после имплантации бифокальной дифракционной линзы «МИОЛ-Аккорд» достигаются высокие показатели остроты зрения вдаль и вблизи.

Несмотря на возможность обеспечения хорошего зрения вблизи, существующие псевдоаккомодирующие интраокулярные линзы имеют ряд недостатков.

1. У большинства мультифокальных линз при уменьшении диаметра зрачка до диаметра центральной части линзы в условиях яркого освещения ее периферийная часть «выключается» и линза перестает быть мультифокальной [45]. Данного недостатка лишены только часть рефракционно-дифракционных линз (Tecnis ZM900 и «МИОЛ-Аккорд») за счет особенностей нанесения дифракционного профиля на поверхность оптической части ИОЛ [46].

2. Наличие неблагоприятных субъективных визуальных явлений: засветы, проблески, вспышки, ореолы, блики вокруг источников света. Несмотря на распространенность этих явлений, абсолютное большинство пациентов не воспринимают их как тяжелые, и наличие их существенно не сказывается на результатах опросов удовлетворенности пациентов [47, 48].

3. Потеря контрастной чувствительности, связанная с делением световой энергии на несколько фокусов [49, 50]. Рандомизированными контролируемые исследованиями по сравнению моно- и мультифокальных ИОЛ показано отсутствие существенного влияния изменения показателей контрастной чувствительности на удовлетворенность пациентов результатами послеоперационного зрения [51–54].

4. Низкое зрение на промежуточном расстоянии. Данную проблему ряд авторов решают путем имплантации бифокальных ИОЛ с различными показателями аддидации, так называемая технология смешивания и сочетания (mix and match).

В многоцентровом исследовании, проведенном в Европе, участвовало 240 пациентов (480 глаз), которым в ведущий глаз была имплантирована рефракционная бифокальная ИОЛ ReZoom (аддидация +3,5 Д), а в парный глаз — рефракционно-дифракционная бифокальная ИОЛ Tecnis ZM900 (аддидация +4,0 Д). В результате была достигнута хорошая некорригированная острота зрения вблизи (0,97), на промежуточном расстоянии (0,58) и вдаль (0,85). 96,5% участников не требовалось дополнительной коррекции очками для близи. 25% пациентов отмечали до операции неблагоприятные световые явления, после имплантации бифокальных ИОЛ число таких пациентов увеличилось до 39% [55].

Однако технология «смешивания и сочетания» несет в себе существенный недостаток — потерю стереоскопического зрения [56, 57].

## Заключение

Анализ трех направлений развития способов восстановления артифактической пресбиопии показал, что имплантация псевдоаккомодирующих интраокулярных линз является наиболее эффективным способом коррекции зрения после хирургии катаракты. В этой группе наиболее результативны бифокальные рефракционно-дифракционные ИОЛ. Наряду с признанными достоинствами этих линз отмечается и ряд недостатков, одним



из которых является низкое зрение на промежуточных дистанциях. Поэтому разработка рефракционно-дифракционной ИОЛ, которая может обеспечить достаточно высокое зрение на промежуточных дистанциях, является актуальной задачей офтальмологии.

## Литература

- Искаков И.А., Егорова Е.В., Корольков В.П. Новая модель дифракционно-рефракционной ИОЛ: оптические свойства и первые клинические результаты. В кн.: Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии. М; 2006; с. 73–78.
- Коронкевич В.П., Ленкова Г.Н., Корольков В.П. Бифокальная интраокулярная линза вместо хрусталика. Фотоника 2008; 1: 10–13.
- Hug D. Intraocular lens use in challenging pediatric cases. *Curr Opin Ophthalmol* 2010 Sep; 21(5): 345–349.
- Buznego C., Trattler W.B. Presbyopia-correcting intraocular lenses. *Curr Opin Ophthalmol* 2009 Jan; 20(1): 13–18.
- Pepose J.S. Maximizing satisfaction with presbyopia-correcting intraocular lenses: the missing links. *Am J Ophthalmol* 2008 Nov; 146(5): 641–648.
- Stürmer J. Cataracts — trend and new developments. *Ther Umsch* 2009 Mar; 66(3): 167–171.
- Boerner C.F., Thrasher B.H. Results of monovision correction in bilateral pseudophakias. *J Am Intraocul Implant Soc* 1984; 10(1): 49–50.
- Hayashi K., Yoshida M., Manabe S.I., et al. Optimal amount of anisometropia for pseudophakic monovision. *J Refract Surg* 2011 May; 27(5): 332–338.
- Greenbaum S. Monovision pseudophakia. *J Cataract Refract Surg* 2002 Aug; 28(8): 1439–1443.
- Marques F.F., Sato R.M., Chiacchio B.B., et al. Evaluation of visual performance and patient satisfaction with pseudophakic monovision technique. *Arq Bras Oftalmol* 2009 Mar–Apr; 72(2): 164–168.
- Ito M., Shimizu K., Amano R., et al. Assessment of visual performance in pseudophakic monovision. *J Cataract Refract Surg* 2009 Apr; 35(4): 710–714.
- Finkelman Y.M., Jonathon Q., Barrett G.D. Patient satisfaction and visual function after pseudophakic monovision. *J Cataract Refract Surg* 2009 Jun; 35(6): 998–1002.
- Evans B.J. Monovision: a review. *Ophthalmic Physiol Opt* 2007 Sep; 27(5): 417–439.
- Potop V. Presbyopia — the last major challenge in ocular surgery. *Oftalmologia* 2008; 52(2): 103–107.
- Stanojcic N., Wilkins M., Bunce C., et al. Visual fields in patients with multifocal intraocular lens implants and monovision: an exploratory study. *Eye (Lond)* 2010 Nov; 24(11): 1645–1651.
- Klaproth O.K., Titke C., Baumeister M., et al. Accommodative intraocular lenses — principles of clinical evaluation and current results. *Klin Monbl Augenheilkd* 2011 Aug; 228(8): 666–675.
- Hettlich H.J., Lucke K., Asiyo-Vogel M., et al. Lens refilling and endocapsular polymerization of an injectable intraocular lens: in vitro and in vivo study of potential risks and benefits. *J Cataract Refract Surg* 1994 Mar; 20(2): 115–123.
- Parel J.M., Gelender H., Trefers W.F., et al. Phaco-Ersatz: cataract surgery designed to preserve accommodation. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 1986; 224(2): 165–173.
- Hara T., Sakka Y., Sakanishi K., et al. Complications associated with endocapsular balloon implantation in rabbit eyes. *J Cataract Refract Surg* 1994 Sep; 20(5): 507–512.
- Hettlich H.J., Lucke K., Asiyo-Vogel M., et al. Experimental studies of the risks of endocapsular polymerization of injectable intraocular lenses. *Ophthalmologie* 1995 Jun; 92(3): 329–334.
- Haefliger E., Parel J.M. Accommodation of an endocapsular silicone lens (phaco-ersatz) in the aging rhesus monkey. *J Refract Corneal Surg* 1994 Sep–Oct; 10(5): 550–555.
- Fine I.H. Perspectives in lens & IOL surgery the SmartLens: A fabulous new IOL technology. *Eye World* 2004; 23(10): 550–555.
- Doane J.F. Accommodating intraocular lenses. *Curr Opin Ophthalmol* 2004 Feb; 15(1): 16–21.
- Kuchle M., Seitz B., Langenbacher A., et al. Stability of refraction, accommodation, and lens position after implantation of the 1CU accommodating posterior chamber intraocular lens. *J Cataract Refract Surg* 2003 Dec; 29(12): 2324–2329.
- Preussner P.R., Wahl J., Lahdo H., et al. Ray tracing for intraocular lens calculation. *J Cataract Refract Surg* 2002 Aug; 28(8): 1412–1419.
- Nawa Y., Ueda T., Nakarsuka M., et al. Accommodation obtained per 1.0 mm forward of a posterior chamber intraocular lens. *J Cataract Refract Surg* 2003 Nov; 29(11): 2069–2072.
- Rana A., Miller D., Magnante P. Understanding the accommodating intraocular lens. *J Cataract Refract Surg* 2003 Dec; 29(12): 2284–2287.
- McLeod S.D., Portney V., Ting A. A dual optic accommodating foldable intraocular lens. *Br J Ophthalmol* 2003 Sep; 87(9): 1083–1085.
- Preussner P.R., Wahl J., Gerl R., et al. Akkommodatives linsenimplantat. *Ophthalmologie* 2001; 98(1): 97–102.
- Werblin T.P. Clinical evaluation of the model AT-45 silicone accommodating intraocular lens: results of feasibility and the initial phase of a Food and Drug Administration clinical trial. *Ophthalmology* 2001 Nov; 108(11): 2005–2009.
- Kuchle M., Nguyen N.X., Gusek-Schneider G.C., et al. Two years experience with the new accommodating 1 CU intraocular lens. *Ophthalmologie* 2002 Nov; 99(11): 820–824.
- Dick H.B. Accommodative intraocular lenses: current status. *Curr Opin Ophthalmol* 2005 Feb; 16(1): 8–26.
- McAlinden C., Moore J.E. Multifocal intraocular lens with a surface-embedded near section: Short-term clinical outcomes. *J Cataract Refract Surg* 2011 Mar; 37(3): 441–445.
- Треушников В.М., Чередник В.И. Об основных характеристиках псевдо-аккомодирующих ИОЛ. Визит к офтальмологу 2008; 10: 4–30.
- Тахтаев Ю.В., Балашевич Л.И. Первый опыт клинического применения мультифокальных интраокулярных линз AcrySof Restor. Офтальмохирургия 2004; 3: 30–34.
- Тахчиди Х.П., Малюгин Б.Э., Морозова Т.А. Первые результаты имплантации мультифокальных градиентных линз «Градиол-1» и «Градиол-2». В кн.: Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии. М; 2004; с. 296–301.
- Hoffmann M.B., Spors F., Langenbacher A., et al. Minor effect of blue-light filtering on multifocal electroretinograms. *J Cataract Refract Surg* 2010 Oct; 36(10): 1692–1699.
- Auffarth G.U., Rabsilber T.M., Kohnen T., et al. Design and optical principles of multifocal lenses. *Ophthalmologie* 2008 Jun; 105(6): 522–526.
- Forte R., Ursileo P. The ReZoom multifocal intraocular lens: 2-year follow-up. *Eur J Ophthalmol* 2009 May–Jun; 19(3): 380–383.
- Cezón Prieto J., Bautista M.J. Visual outcomes after implantation of a refractive multifocal intraocular lens with a +3.00 D addition. *J Cataract Refract Surg* 2010 Sep; 36(9): 1508–1516.
- Морозова Т.А., Малюгин Б.Э. Результаты мультицентровых исследований имплантации мультифокальной градиентной ИОЛ третьего поколения. В кн.: Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии 2010. М; 2010; с. 64–67.
- Davison U.S. Global results with the AcrySof ReSTOR apodized diffractive IOL. In: Congress of the ASCRS. Washington; 2005; p. 44–45.
- Akaishi L., Vaz R., Vilella G., et al. Visual performance of Tecnis ZM900 diffractive multifocal IOL after 2500 implants: a 3-year followup. *J Ophthalmol* 2010; 5: 2010.
- Искаков И.А. Функциональные результаты имплантации бифокальной дифракционно-рефракционной линзы «МИОЛ-Аккорд» в отдаленные сроки. В кн.: Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии 2007. М; 2007; с. 102–106.
- Чередник В.И. Моделирование оптической линзы. Известия РАЕН, сер. Математика. Математическое моделирование. Информатика и управление 2004; 8(1–2): 68–86.

46. Черных В.В. Клинические преимущества зрачковой независимости бифокальной дифракционно-рефракционной линзы «МИОЛ-Аккорд». Глаукома 2009; 1: 43–45.

47. Wang W.Y., Wang J., Zhang J., et al. Clinical observation on visual quality in patients implanted with monofocal and multifocal aspheric intraocular lens. Zhonghua Yan Ke Za Zhi 2010 Aug; 46(8): 86–690.

48. Lane S.S., Javitt J.C., Nethery D.A., et al. Improvements in patient-reported outcomes and visual acuity after bilateral implantation of multifocal intraocular lenses with +3.0 diopter addition: multicenter clinical trial. J Cataract Refract Surg 2010 Nov; 36(11): 1887–1896.

49. Mesci C., Erbil H.H., Olgun A., et al. Differences in contrast sensitivity between monofocal, multifocal and accommodating intraocular lenses: long-term results. Clin Experiment Ophthalmol 2010 Nov; 38(8): 768–777.

50. Ferrer-Blasco T., Madrid-Costa D., Garcia-Lázaro S., et al. Stereopsis in bilaterally multifocal pseudophakic patients. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol 2011 Feb; 249(2): 245–251.

51. Kamlesh M., Dadeya S., Kaushik S. Contrast sensitivity and depth of focus with aspheric multifocal versus conventional monofocal intraocular lens. Can J Ophthalmol 2001 Jun; 36(4): 197–201.

52. Leyland M., Langan L., Goolfee F., et al. Prospective randomised double-masked trial of bilateral multifocal, bifocal or monofocal intraocular lenses. Eye 2002; 16(4): 481–490.

53. Nijkamp M.D., Dolders M.G., de Brabander J., et al. Effectiveness of multifocal intraocular lenses to correct presbyopia after cataract surgery: a randomized controlled trial. Ophthalmology 2004 Oct; 111(10): 1832–1839.

54. Sen H.N., Sarikkola A.U., Uusitalo R.J., et al. Quality of vision after AMO Array multifocal intraocular lens implantation. J Cataract Refract Surg 2004 Dec; 30(12): 2483–2493.

55. Guttman C. European study results indicate multifocal IOL mixing, matching is a valuable option: tailoring lens choice based on patient's needs helps achieve satisfaction, spectacle independence. Ophthalmology Times 2009; 34(1): 20.

56. Lacmanović-Loncar V., Pavčić-Astalos J., Petric-Vicković I. Multifocal intraocular "mix and match" lenses. Acta Clin Croat 2008 Dec; 47(4): 217–220.

57. Hütz W.W., Bahner K., Röhrig B., et al. The combination of diffractive and refractive multifocal intraocular lenses to provide full visual function after cataract surgery. Eur J Ophthalmol 2010 Mar–Apr; 20(2): 370–375.

## References

1. Iskakov I.A., Egorova E.V., Korol'kov V.P. Novaya model' difrakcionno-refraktsionnoy IOL: opticheskie svoystva i pervye klinicheskie rezultaty. V kn.: *Sovremennyye tekhnologii katarakta'noy i refraktsionnoy khirurgii* [New model of diffractive and refractive IOL: optical properties and first clinical results. In: Modern technologies of cataract and refraction surgery]. Moscow; 2006; p. 73–78.

2. Koronkevich V.P., Lenkova G.N., Korol'kov V.P. *Fotonika — Photonics* 2008; 1: 10–13.

3. Hug D. Intraocular lens use in challenging pediatric cases. *Curr Opin Ophthalmol* 2010 Sep; 21(5): 345–349.

4. Buznego C., Trattler W.B. Presbyopia-correcting intraocular lenses. *Curr Opin Ophthalmol* 2009 Jan; 20(1): 13–18.

5. Pepose J.S. Maximizing satisfaction with presbyopia-correcting intraocular lenses: the missing links. *Am J Ophthalmol* 2008 Nov; 146(5): 641–648.

6. Stürmer J. Cataracts — trend and new developments. *Ther Umsch* 2009 Mar; 66(3): 167–171.

7. Boerner C.F., Thrasher B.H. Results of monovision correction in bilateral pseudophakes. *J Am Intraocul Implant Soc* 1984; 10(1): 49–50.

8. Hayashi K., Yoshida M., Manabe S.I., et al. Optimal amount of anisometropia for pseudophakic monovision. *J Refract Surg* 2011 May; 27(5): 332–338.

9. Greenbaum S. Monovision pseudophakia. *J Cataract Refract Surg* 2002 Aug; 28(8): 1439–1443.

10. Marques F.F., Sato R.M., Chiacchio B.B., et al. Evaluation of visual performance and patient satisfaction with pseudophakic

monovision technique. *Arq Bras Oftalmol* 2009 Mar–Apr; 72(2): 164–168.

11. Ito M., Shimizu K., Amano R., et al. Assessment of visual performance in pseudophakic monovision. *J Cataract Refract Surg* 2009 Apr; 35(4): 710–714.

12. Finkelman Y.M., Jonathon Q., Barrett G.D. Patient satisfaction and visual function after pseudophakic monovision. *J Cataract Refract Surg* 2009 Jun; 35(6): 998–1002.

13. Evans B.J. Monovision: a review. *Ophthalmic Physiol Opt* 2007 Sep; 27(5): 417–439.

14. Potop V. Presbyopia — the last major challenge in ocular surgery. *Ophthalmologia* 2008; 52(2): 103–107.

15. Stanojic N., Wilkins M., Bunce C., et al. Visual fields in patients with multifocal intraocular lens implants and monovision: an exploratory study. *Eye (Lond)* 2010 Nov; 24(11): 1645–1651.

16. Klaproth O.K., Titke C., Baumeister M., et al. Accommodative intraocular lenses — principles of clinical evaluation and current results. *Klin Monbl Augenheilkd* 2011 Aug; 228(8): 666–675.

17. Hettlich H.J., Lucke K., Asiyovogel M., et al. Lens refilling and endocapsular polymerization of an injectable intraocular lens: in vitro and in vivo study of potential risks and benefits. *J Cataract Refract Surg* 1994 Mar; 20(2): 115–123.

18. Parel J.M., Gelender H., Trefers W.F., et al. Phaco-Ersatz: cataract surgery designed to preserve accommodation. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 1986; 224(2): 165–173.

19. Hara T., Sakka Y., Sakanishi K., et al. Complications associated with endocapsular balloon implantation in rabbit eyes. *J Cataract Refract Surg* 1994 Sep; 20(5): 507–512.

20. Hettlich H.J., Lucke K., Asiyovogel M., et al. Experimental studies of the risks of endocapsular polymerization of injectable intraocular lenses. *Ophthalmologie* 1995 Jun; 92(3): 329–334.

21. Haefliger E., Parel J.M. Accommodation of an endocapsular silicone lens (phaco-ersatz) in the aging rhesus monkey. *J Refract Corneal Surg* 1994 Sep–Oct; 10(5): 550–555.

22. Fine I.H. Perspectives in lens & IOL surgery the SmartLens: A fabulous new IOL technology. *Eye World* 2004; 23(10): 550–555.

23. Doane J.F. Accommodating intraocular lenses. *Curr Opin Ophthalmol* 2004 Feb; 15(1): 16–21.

24. Kuchle M., Seitz B., Langenbacher A., et al. Stability of refraction, accommodation, and lens position after implantation of the 1CU accommodating posterior chamber intraocular lens. *J Cataract Refract Surg* 2003 Dec; 29(12): 2324–2329.

25. Preussner P.R., Wahl J., Lahdo H., et al. Ray tracing for intraocular lens calculation. *J Cataract Refract Surg* 2002 Aug; 28(8): 1412–1419.

26. Nawa Y., Ueda T., Nakarsuka M., et al. Accommodation obtained per 1.0 mm forward of a posterior chamber intraocular lens. *J Cataract Refract Surg* 2003 Nov; 29(11): 2069–2072.

27. Rana A., Miller D., Magnante P. Understanding the accommodating intraocular lens. *J Cataract Refract Surg* 2003 Dec; 29(12): 2284–2287.

28. McLeod S.D., Portney V., Ting A. A dual optic accommodating foldable intraocular lens. *Br J Ophthalmol* 2003 Sep; 87(9): 1083–1085.

29. Preussner P.R., Wahl J., Gerl R., et al. Akkommodatives linsenimplantat. *Ophthalmologie* 2001; 98(1): 97–102.

30. Werblin T.P. Clinical evaluation of the model AT-45 silicone accommodating intraocular lens: results of feasibility and the initial phase of a Food and Drug Administration clinical trial. *Ophthalmology* 2001 Nov; 108(11): 2005–2009.

31. Kuchle M., Nguyen N.X., Gusek-Schneider G.C., et al. Two years experience with the new accommodative 1 CU intraocular lens. *Ophthalmologie* 2002 Nov; 99(11): 820–824.

32. Dick H.B. Accommodative intraocular lenses: current status. *Curr Opin Ophthalmol* 2005 Feb; 16(1): 8–26.

33. McAlinden C., Moore J.E. Multifocal intraocular lens with a surface-embedded near section: Short-term clinical outcomes. *J Cataract Refract Surg* 2011 Mar; 37(3): 441–445.

34. Treushnikov V.M., Cherednik V.I. *Vizit k oftalmologu — Visit to an Ophthalmologist* 2008; 10: 4–30.

35. Takhtaev Yu.V., Balashevich L.I. *Oftal'mokhirurgiya — Ophthalmosurgery* 2004; 3: 30–34.

36. Takhchidi Kh.P., Malyugin B.E., Morozova T.A. Pervye rezul'taty implantatsii mul'tifokal'nykh gradientnykh linz "Gradiol-1" i "Gradiol-2". V kn.: *Sovremennye tekhnologii kataraktal'noy i refraktsionnoy khirurgii* [First results of multifocal gradient lens implantation "Gradiol-1" and "Gradiol-2". In: Modern technologies of cataract and refraction surgery]. Moscow; 2004; p. 296–301.
37. Hoffmann M.B., Spors F., Langenbucher A., et al. Minor effect of blue-light filtering on multifocal electroretinograms. *J Cataract Refract Surg* 2010 Oct; 36(10): 1692–1699.
38. Auffarth G.U., Rabsilber T.M., Kohnen T., et al. Design and optical principles of multifocal lenses. *Ophthalmologe* 2008 Jun; 105(6): 522–526.
39. Forte R., Ursolo P. The ReZoom multifocal intraocular lens: 2-year follow-up. *Eur J Ophthalmol* 2009 May–Jun; 19(3): 380–383.
40. Cezón Prieto J., Bautista M.J. Visual outcomes after implantation of a refractive multifocal intraocular lens with a +3.00 D addition. *J Cataract Refract Surg* 2010 Sep; 36(9): 1508–1516.
41. Morozova T.A., Malyugin B.E. Rezul'taty mul'titsentrovnykh issledovaniy implantatsii mul'tifokal'noy gradientnoy IOL tret'ego pokoleniya. V kn.: *Sovremennye tekhnologii kataraktal'noy i refraktsionnoy khirurgii 2010* [The multicentre study results of third generation multifocal gradient IOL implantation. In: Modern technologies of cataract and refraction surgery 2010]. Moscow; 2010; p. 64–67.
42. Davison U.S. Global results with the AcrySof ReSTOR apodized diffractive IOL. In: *Congress of the ASCRS*. Washington; 2005; p. 44–45.
43. Akaishi L., Vaz R., Vilella G., et al. Visual performance of Tecnis ZM900 diffractive multifocal IOL after 2500 implants: a 3-year follow-up. *J Ophthalmol* 2010; 5: 2010.
44. Iskakov I.A. Funktsional'nye rezul'taty implantatsii bifokal'noy difraktsiono-refraktsionnoy linzy «MIOL-Akkord» v otdalennye sroki. V kn.: *Sovremennye tekhnologii kataraktal'noy i refraktsionnoy khirurgii 2007* [Long-term functional results of bifocal diffractive and refractive lens "MIOL-Accord" implantation. In: Modern technologies of cataract and refraction surgery 2007]. Moscow; 2007; p. 102–106.
45. Cherednik V.I. *Izvestiya RAEN, ser. Matematika. Matematicheskoe modelirovanie. Informatika i upravlenie — Proceedings of RANS, series Mathematics. Mathematical modeling. Computer technology and management* 2004; 8(1–2): 68–86.
46. Chernykh V.V. *Glaukoma — Glaucoma* 2009; 1: 43–45.
47. Wang W.Y., Wang J., Zhang J., et al. Clinical observation on visual quality in patients implanted with monofocal and multifocal aspheric intraocular lens. *Zhonghua Yan Ke Za Zhi* 2010 Aug; 46(8): 86–90.
48. Lane S.S., Javitt J.C., Nethery D.A., et al. Improvements in patient-reported outcomes and visual acuity after bilateral implantation of multifocal intraocular lenses with +3.0 diopter addition: multicenter clinical trial. *J Cataract Refract Surg* 2010 Nov; 36(11): 1887–1896.
49. Mesci C., Erbil H.H., Olgun A., et al. Differences in contrast sensitivity between monofocal, multifocal and accommodating intraocular lenses: long-term results. *Clin Experiment Ophthalmol* 2010 Nov; 38(8): 768–777.
50. Ferrer-Blasco T., Madrid-Costa D., García-Lázaro S., et al. Stereopsis in bilaterally multifocal pseudophakic patients. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2011 Feb; 249(2): 245–251.
51. Kamlesh M., Dadeya S., Kaushik S. Contrast sensitivity and depth of focus with aspheric multifocal versus conventional monofocal intraocular lens. *Can J Ophthalmol* 2001 Jun; 36(4): 197–201.
52. Leyland M., Langan L., Goolfee F., et al. Prospective randomised double-masked trial of bilateral multifocal, bifocal or monofocal intraocular lenses. *Eye* 2002; 16(4): 481–490.
53. Nijkamp M.D., Dolders M.G., de Brabander J., et al. Effectiveness of multifocal intraocular lenses to correct presbyopia after cataract surgery: a randomized controlled trial. *Ophthalmology* 2004 Oct; 111(10): 1832–1839.
54. Sen H.N., Sarikkola A.U., Uusitalo R.J., et al. Quality of vision after AMO Array multifocal intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg* 2004 Dec; 30(12): 2483–2493.
55. Guttman C. European study results indicate multifocal IOL mixing, matching is a valuable option: tailoring lens choice based on patient's needs helps achieve satisfaction, spectacle independence. *Ophthalmology Times* 2009; 34(1): 20.
56. Lacmanović-Loncar V., Pavčić-Astalos J., Petric-Vicković I. Multifocal intraocular "mix and match" lenses. *Acta Clin Croat* 2008 Dec; 47(4): 217–220.
57. Hütz W.W., Bahner K., Röhrig B., et al. The combination of diffractive and refractive multifocal intraocular lenses to provide full visual function after cataract surgery. *Eur J Ophthalmol* 2010 Mar–Apr; 20(2): 370–375.