

Гидродинамика глаза и анатомо-топографические особенности переднего отрезка глаза до и после факоэмульсификации осложненной катаракты



Ю. А. Гусев



С. М. Макхаева



Е. В. Маслова



Е. Б. Третьяк

Центральное отделение микрохирургии глаза ФГБУЗ КБ № 86 ФМБА, Москва,
ул. Гамалеи д. 15, 129327, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Офтальмология. — 2014. — Т. 11, № 1. — С. 12–20

Статья посвящена аспектам гидродинамики глаза до и после удаления осложненной катаракты и влиянию факоэмульсификации катаракты на уровень ВГД. Рассмотрены особенности функционирования путей оттока внутриглазной жидкости и состояния переднего отрезка глаза в пожилом возрасте, а также взаимосвязь между аккомодацией и регуляцией оттока водянистой влаги. Отдельное внимание уделено выбору оптимальной клинической рефракции и модели ИОЛ при офтальмо-гипертензии.

Ключевые слова: катаракта, ВГД, увеосклеральный путь оттока, ИОЛ аккомодирующего типа

Прозрачность финансовой деятельности: Никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The Article in English see at <http://www.ophtalmojournal.com>

ENGLISH

Eye hydrodynamics and anatomical topographic features of anterior eye segment before and following cataract phacoemulsification

Yu. A. Gusev, S. M. Makhaeva, E. V. Maslova, E. B. Tretyak

Central Eye Microsurgery Department, Clinical Hospital #86, Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia
Gamalei Str. 15, 129327, Moscow, Russia

SUMMARY

Different aspects of eye hydrodynamics before and following complicated cataract surgery as well as its impact on IOP levels are observed. Trabecular and uveoscleral outflow features, anterior eye segment anatomy and topography, associations between accommodation and aqueous humor outflow regulation in elderly patients are analyzed. Besides, optimal clinical refraction and IOL model selection are of special importance in cataract and glaucoma patients.

Keywords: cataract, IOP, uveoscleral outflow, accommodative IOLs

Financial Disclosure: Authors has no financial or property interests related to this article.

Возрастные изменения соединительнотканых структур глаза значительно влияют на гидродинамику. В норме объем передней камеры у человека составляет 0,15-0,25 см³, а глубина равняется 2,6-4,4 мм. Однако после 40 лет объем передней камеры начинает про-

грессивно уменьшаться — примерно, на 0,01 мм в год. В гиперметропическом глазу это уменьшение выражено в большей степени, чем в близорукое (при миопии камера углубляется на 0,06 мм для каждой диоптрии). Этот эффект объясняется постоянным ростом хруста-

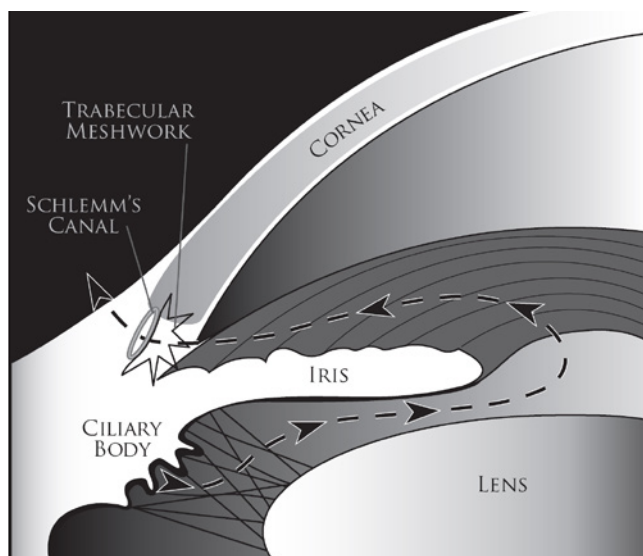


Рис. 1. Схематическое изображение увеосклерального пути оттока внутриглазной жидкости (Goel et al., 2010).

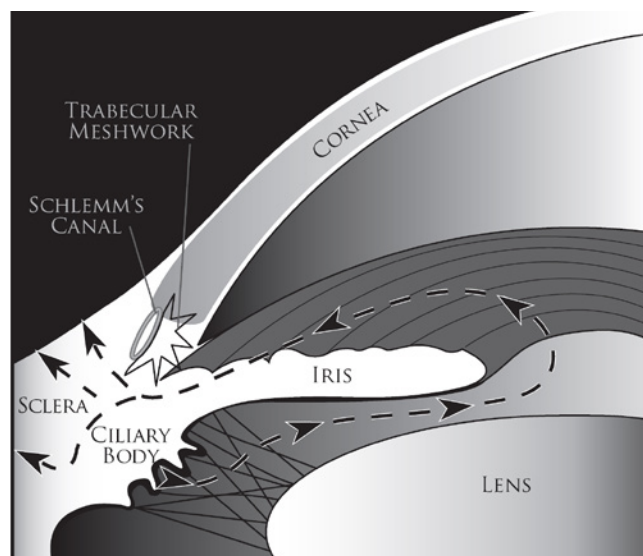


Рис. 2. Схематическое изображение трабекулярного пути оттока внутриглазной жидкости (Goel et al., 2010).

лика в течение всей жизни человека и смещением кпереди иридохрусталиковой диафрагмы в пожилом возрасте. Причиной смещения диафрагмы служит разжижение или отслоение заднего отдела стекловидного тела и скопление в нем жидкости [1-5].

Возрастные изменения цилиарного тела происходят после 50 лет. Они выявляются в цилиарной мышце и отростках — масса цилиарного тела увеличивается, а отростки с возрастом удлиняются и утолщаются, следствием этого становится смещение иридохрусталиковой диафрагмы кпереди и постепенное закрытие угла передней камеры. Эти изменения ведут к снижению оттока внутриглазной жидкости [2]. Происходит инволюционное перерождение мышечной ткани с формированием на ее месте структур, гистологически схожих с соединительнотканными. Имеет место повышение плотности соединительной ткани, занимающей пространство между мышечными волокнами. С возрастом также отмечено уменьшение совокупной длины цилиарной мышцы и ослабление интенсивности ее сокращений. Изменения составляющих ее разнонаправленных мышечных волокон неодинаковы — количество меридиональных и радиальных волокон уменьшается, а численность циркулярных волокон значительно увеличивается. Следствием этого является смещение всего массива цилиарной мышцы в сторону передней камеры. Морфологические изменения в цилиарной мышце заключаются также в увеличении количества пигментных клеток между связками мышечных волокон, что ведет к снижению оттока через цилиарное тело [6].

В человеческом глазу сосуществуют две системы регуляции: первого порядка — аккомодация и второго порядка — регуляция оттока водянистой влаги. Обе системы имеют общий исполнительный механизм, со-

стоящий из ресничной мышцы и поддерживающего аппарата хрусталика с задней камерой.

От животных у человека сохранился увеосклеральный путь оттока (рис. 1). Передняя часть ресничного тела, увеосклеральная часть трабекулярного аппарата и передняя поверхность радужки являются потенциальными направлениями для оттока камерной влаги в супрахориоидальное пространство, что и было показано многими исследователями [7-9]. После проникновения камерной влаги в строуму перечисленных структур она поступает в супрахориоидальное пространство, а затем распространяется через склеру в сосудистую систему, в том числе, и в вортикозные вены. По разным оценкам от 5% до 25% объема оттока камерной влаги проходит именно этим путем [7, 10].

В 2006 г. А.В. Золотарев с соавт. высказали точку зрения, согласно которой имеется один путь оттока, но с двумя функциональными ветвями. На начальном этапе отток водянистой влаги является единым и осуществляется через трабекулярную сеть. Различия заключаются в направлении движения жидкости, поскольку в трабекулярной сети имеются два типа пространств: отверстия в трабекулярных пластинках и щели между ними. По внутритрабекулярным отверстиям влага движется поперек трабекул (транстрабекулярно) и поступает к юстаканаликулярному слою, а далее — в шлеммов канал (трабекулярный путь). По межтрабекулярным щелям внутриглазная жидкость оттекает вдоль увеальных трабекул (паратрабекулярно) в пространства между пучками цилиарной мышцы (увеосклеральный путь) [11]. В условиях снижения тонуса цилиарной мышцы страдает отток как по трабекулярному, так и по увеосклеральному пути, особенно, при плотном набухшем хрусталике.

Новый путь оттока — трабекулярный — появил-

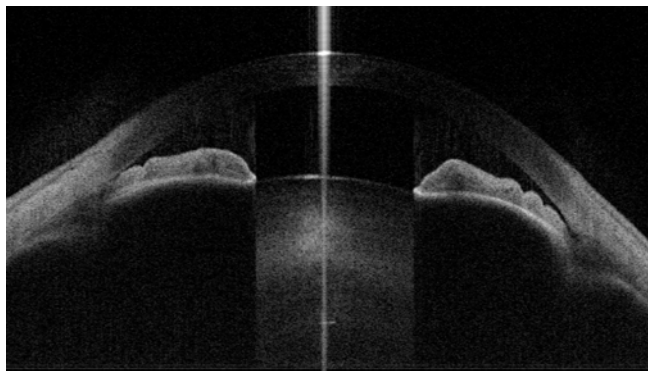


Рис. 3. Состояние структур угла передней камеры до имплантации ИОЛ аккомодирующего типа (обследование на 3 D оптическом когерентном томографе SS-1000 Casia).

ся у человека и высших приматов в процессе эволюции (см. рис. 2). Он более значим в гидродинамическом плане, т.к. именно на нем лежит основная функция по регуляции тонуса глазного яблока. Жизнедеятельность человекообразных обезьян и человека обуславливает необходимость частой и значительной аккомодации. Это привело к развитию аккомодационного аппарата, увеличению объема цилиарной мышцы и соответствующему уменьшению объема передней камеры (от низших млекопитающих к человеку). В момент аккомодации вблизи, т.е. при сокращении ресничной мышцы, увеосклеральный путь оттока, как правило, перекрывается. В моменты ее расслабления, т.е. при взгляде вдаль, трабекулярный путь закрывается, а увеосклеральный путь открывается, хотя его возможности не могут обеспечить выход всего объема отработанной водянистой влаги, иначе бы трабекулярный путь эволюционно не появился. Активно функционирующая цилиарная мышца обуславливает вариабельность объема камер глаза, изменяя тем самым его гидродинамическую систему. Эволюционно это реализовалось в развитии такого трабекулярного аппарата у человека, который четко не представлен у животных [6].

С возрастом развиваются структурные изменения дренажной системы, увеличивающие сопротивление оттоку камерной влаги и способствующие развитию глаукомного процесса. Результаты гистологических исследований свидетельствуют о том, что по мере старения происходит несколько процессов, в частности, накопление внеклеточного материала в трабекулярной сети и цилиарной мышце, а также гибель клеток трабекулярной сети. Все это способствует ослаблению оттока внутриглазной жидкости и повышению уровня ВГД. Уменьшение содержания гиалуроновой кислоты и повышение уровня фибронектина и тромбоспондина также имеет самое непосредственное отношение к изменению внеклеточного микроокружения. Нарушение реакций, развивающихся в ответ на окислительный стресс, перекрестное связыва-

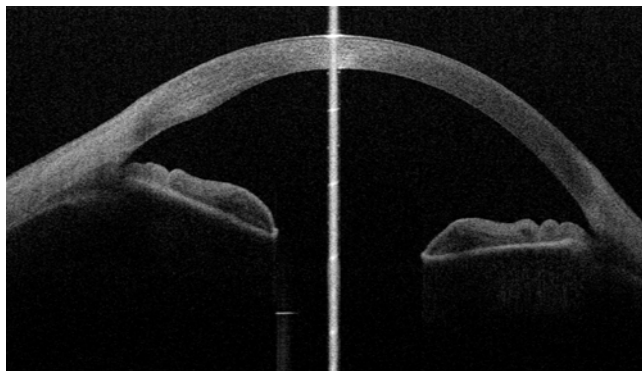


Рис. 4. Состояние структур угла передней камеры после имплантации ИОЛ аккомодирующего типа (обследование на 3 D оптическом когерентном томографе SS-1000 Casia).

ние белков и потеря эластичности могут служить в качестве триггера для избыточной выработки таких факторов, как интерлейкин-1, трансформирующий фактор роста β и CD44s, что ведет к росту содержания фибронектина, миоэпителиальной трансформации клеток трабекулярной сети и замедлению распада внеклеточного матрикса. Естественным следствием этого является ослабление трабекулярного и увеосклерального оттока и подъем ВГД [12]. По мере старения наблюдается утолщение трабекул в 2-3 раза, что преимущественно обусловлено накоплением спиралевидного коллагена. Увеличивается количество базального материала, но содержание протеогликанов (хондроитинсульфата) уменьшается. Исчезает микрофибриллярный компонент эластических волокон [13].

Кроме того, показано, что в процессе физиологического старения в дренажной зоне глаза происходят незначительные нарушения в виде мукоидного набухания. Эти изменения могут спровоцировать нарушение оттока водянистой влаги, но глаукома при этом не развивается, так как гомеостатические механизмы, обеспечивающие поддержание внутриглазного давления на физиологическом уровне, компенсируют этот сдвиг [14].

Рядом авторов выявлены дегенеративные изменения трабекулярных клеток, число которых прогрессивно снижается. Слой клеток истончается, трабекулы «сливаются». Это расценивается как «гиалиноз» трабекулярного аппарата, а следствием является увеличение сопротивляемости оттоку камерной влаги и повышение ВГД. Отмечается и уменьшение числа клеток в юкстаканаликулярной ткани. В ней накапливается материал, являющийся продуктом распада эластических волокон и других молекул типа спиралевидного коллагена. Содержание в этой области гиалуроновой кислоты с возрастом также снижается. Биохимическими исследованиями доказано увеличение количества фибронектина, коллагена VI типа и тромбоспондина, а также уменьшение количества ламинина [16-17].

Возрастное увеличение размера хрусталика и нарушение процессов аккомодации могут играть зна-

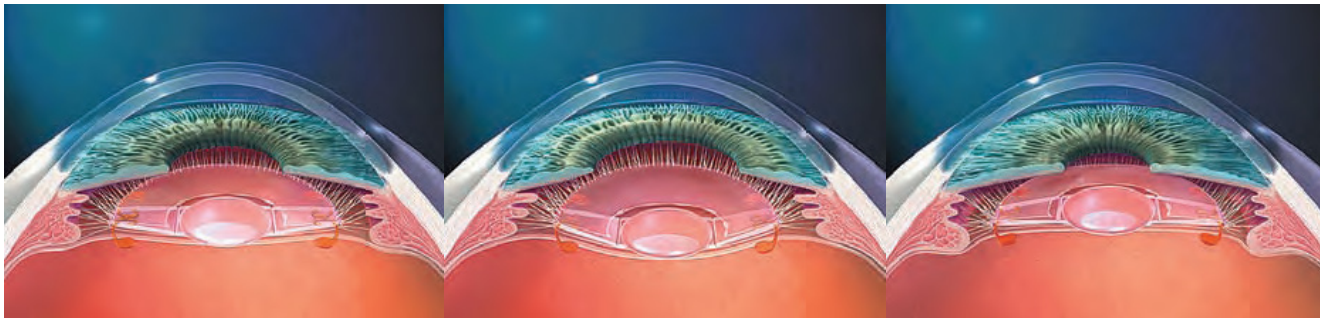


Рис. 5. ИОЛ Crystalens при взгляде вблизи, на промежуточном расстоянии и вдаль (адаптировано из интернета).

чительную роль в патогенезе офтальмогипертензии и развитии глаукомы. Сами по себе изменения в хрусталике, не являясь причиной глаукомы, могут приводить к повышению ВГД. В небольших по размеру глазах с узким углом передней камеры возможно развитие блокады угла и появление закрытоугольной глаукомы. Чаще всего эти глаза имеют гиперметропическую рефракцию. В глазах с широким углом передней камеры могут возникать изменения другого характера. Увеличение размера и уплотнение хрусталика приводит к уменьшению амплитуды экскурсий цилиарного тела, что, в свою очередь, уменьшает объем жидкости, вытесняемой из передней камеры. Это приводит к состоянию гипоперфузии дренажной системы глаза [17].

Гипотетически можно предполагать, что внесение направленных оптических изменений в статическую рефракцию глаза позволяет изменить тонус работы ресничной мышцы за счет активизации работы механизмов аккомодации и обеспечить адекватное направленное изменение оттока внутриглазной жидкости как по трабекулярному, так и по увеосклеральному пути [18].

В осуществлении увеосклерального оттока особенно важную роль играет цилиарная мышца. Сокращаясь, она не только запускает механизм аккомодации, но и способствует оттоку жидкости по увеосклеральному пути. На сегодняшний день этот процесс, очевидно, является единственным возможным способом перемещения жидкости из переднего отрезка глаза в задний. Такое перемещение необходимо для того, чтобы компенсировать недостаток объема, возникающий в заднем отделе глаза при аккомодации, когда хрусталик смещается кпереди, таким образом, в процессе аккомодации происходит не только увеличение кривизны поверхности хрусталика, но и его смещение кпереди [19-21]. Поскольку перед хрусталиком в передней камере находится несжимаемая жидкость, то при аккомодации она вытесняется из передней камеры по путям оттока. Логично предположить, что она вытекает из передней камеры через трабекулярную сеть в шлемов канал. Однако кзади от хрусталика также находятся несжимаемые жидкости. Следовательно, недостаток объема, образовавшийся в результате смещения

хрусталика вперед, должен быть восполнен притоком жидкости извне. Математическое моделирование процессов перемещения жидкости внутри глаза [22] свидетельствует о том, что продукция водянистой влаги происходит слишком медленно, чтобы играть существенную роль в этом процессе. Видимо, жидкость в достаточном количестве поступает в задний отрезок глаза из переднего отрезка по увеосклеральному пути, а ее движению в данном направлении способствует сокращение цилиарной мышцы. Таким образом, дренажная система глаза морфологически связана с аккомодационным аппаратом, что обеспечивает их активное функциональное взаимодействие.

Существует активный механизм перемещения внутриглазной жидкости в камерах глаза, напрямую связанный с аккомодацией. Картину этого взаимодействия по отношению к покою аккомодации можно представить следующим образом: при напряжении цилиарной мышцы (аккомодация вблизи) уменьшается объем орбикулярного отдела, увеличивается объем презонулярного отдела и уменьшается объем передней камеры. Расслабление цилиарной мышцы (аккомодация вдаль), наоборот, сопровождается увеличением объема орбикулярного пространства, уменьшением объема презонулярного пространства и увеличением объема передней камеры, особенно, по отношению к состоянию напряжения аккомодации вблизи. Следовательно, постоянная смена напряжения аккомодации вдаль и вблизи, или флюктуация аккомодации, обеспечивает активный компонент перемещения жидкости по камерам глаза в направлении от орбикулярного пространства до угла передней камеры [23].

Работами многочисленных авторов показано, что факоэмульсификация катаракты с имплантацией интраокулярной линзы, как правило, сопровождается изменениями уровня ВГД. Однозначного мнения по этому вопросу нет. Согласно результатам некоторых исследований, факоэмульсификация катаракты остается и фактором риска транзиторной офтальмогипертензии [24-26]. Однако, как правило, речь идет о достаточно выраженном гипотензивном эффекте [27-30]. Это объясняется расширением угла передней камеры вследствие удаления хрусталика [31, 32], изменении

ем топографии передней и задней камер глаза после замены мутного хрусталика на тонкую интраокулярную линзу с открытием участка трабекулярной зоны, ранее не участвовавшей в фильтрации водянистой влаги (рис. 3 и 4) [33, 34], изменением величины аккомодационного стимула, полученного в результате «перенастройки» оптической системы глаза, который, в свою очередь, определяется полученной после операции клинической рефракцией [35]. Все это позволяет с высокой степенью вероятности говорить об изменении путей оттока внутриглазной жидкости из глаза. Но на данный момент факт усиления этого пути оттока камерной влаги остается только в теории, поскольку количественные исследования не проведены [36].

Активация работы цилиарной мышцы приводит к увеличению оттока внутриглазной жидкости по увеосклеральному пути, и, соответственно, к снижению офтальмотонуса [37]. Степень аккомодационной нагрузки зависит от вида клинической рефракции, а, следовательно, существует зависимость уровня офтальмотонуса после удаления катаракты от вида клинической рефракции и эластичности интраокулярной мышцы. Максимальное снижение уровня ВГД от исходного имеет место при послеоперационной гиперметропической рефракции вследствие более интенсивной работы цилиарной мышцы и экскурсий иридо-хрусталиковой диафрагмы [38], минимальное — при миопической. Такой результат позволяет считать, что создание послеоперационной слабой гиперметропической рефракции у пациентов, оперируемых по поводу катаракты, может стать патогенетически обоснованным способом лечения нарушений офтальмотонуса [35].

Кроме того, можно предположить, что наличие эластичной интраокулярной линзы, обладающей экскурсией, способствует активизации гидродинамических процессов, что ведет к усилению оттока внутриглазной жидкости и снижению уровня ВГД. Соответственно, здесь встает вопрос о выборе модели ИОЛ. Столь популярные сегодня мультифокальные линзы позволяют избавиться от очков и для близи, и для дали. Однако принцип их функционирования основан на делении светового потока между двумя фокусами, и контрастность изображения в обоих этих фокусах снижена. У пациентов с глаукомой они еще более усугубляют и без того сниженную контрастную чувствительность. Мало того, по мере прогрессирования глаукомы происходит дальнейшее снижение контрастной чувствительности. Таким образом, функциональное зрение еще больше усугубляется. Мультифокальные ИОЛ затрудняют мониторинг прогрессии глаукомы у пациентов, поскольку могут давать артефакты при проведении периметрии и оптической когерентной томографии. Кроме того, за счет своего дизайна мультифокальные линзы имеют большую толщину и меньшую эластичность по сравнению с монофокальными ИОЛ.

Механизм функционирования ИОЛ, которые обладают существенной эластичностью (Crystalens АО, Crystalens HD500, MI-60), принципиально иной. Известно, что через них проходит весь поток световых лучей, однако подробно механизм пока не описан. Существует предположение, что они способны в той или иной степени к «аккомодирующему прогибанию», за счет которого создается большая по сравнению с линзами прочих моделей глубина фокуса [39-42]. Это аналогично тому, что происходит в процессе аккомодации с собственным хрусталиком. Изменяя свою кривизну, хрусталик приобретает градиент оптической силы. Вероятно, механизм функционирования Crystalens складывается из небольших смещений ИОЛ в аксиальной оси в пределах от 0,1 мм до 1,4 мм в ответ на сокращение цилиарной мышцы [43, 44], что сочетается с незначительным аккомодирующим прогибанием и минимальной статической псевдоаккомодацией [45] (рис. 5). Под термином «псевдоаккомодация» подразумевается возможность сформировать объемное изображение иными способами, помимо аккомодации. Это достигается разными путями, например, за счет усиления аберраций высших порядков, особенно, первичных сферических аберраций, что обеспечивает большую глубину фокуса [46-47].

В ряде работ [48, 49] показано, что после имплантации ИОЛ аккомодирующего типа, в частности, Crystalens, имеет место смещение иридо-хрусталиковой диафрагмы в диапазоне порядка 0,25-0,5 мм, что свидетельствует об экскурсии цилиарного тела и активации цилиарной мышцы. Учитывая вышеизложенное, с высокой степенью вероятности можно предполагать, что на этом фоне имеет место активация оттока водянистой влаги по трабекулярному и увеосклеральному путям.

ИОЛ аккомодирующего типа имплантируют через операционный разрез длиной 2,8-3,2 мм с использованием специальных инжекторов. Одно из необходимых условий для проведения этой операции — максимальный мидриаз, который достигается посредством инстилляций препаратов Ирифрин/Цикломед и Мидримакс (ПромедЭкспортс, Нью-Дели, Индия) за 30-90 мин. до начала хирургического вмешательства. Рекомендуется проводить капсулорексис диаметром 5,5-6,0 мм и ротировать линзу в момент имплантации. Все это позволяет разгладить капсульную сумку и добиться ее адекватного натяжения, что обеспечивает правильную центровку ИОЛ и расправление ее гаптических элементов.

Таким образом, удаление катарактального хрусталика существенно влияет на гидродинамику глаза. Эти изменения обусловлены достоверным увеличением глубины передней камеры, дистанции трабекула-радужка, угла передней камеры, угла склера-радужка и угла склера-цилиарные отростки. Кроме того,

имеет место тенденция к уменьшению толщины радужки у корня, несколько меняется максимальная глубина задней камеры, расстояние трабекула-цилиарные отростки и толщина цилиарного тела. При этом, гипотензивный эффект зависит от стадии глаукомы — на начальной и развитой стадиях он более значительный и продолжительный.

Имеющиеся данные о морфологии и взаимодействии трабекулярного и увеосклерального оттока подтверждают тесную взаимосвязь процессов аккомодации и гидродинамики глаза. Это подразумевает возможное влияние аккомодации на регуляцию офтальмотонуса. Не исключено, что активизация работы цилиарной мышцы приведёт к увеличению оттока внутриглазной жидкости и снижению офтальмотонуса. Степень аккомодационной нагрузки цилиарной мышцы определяется видом клинической рефракции, а, следовательно, внесение направленных изменений в рефракцию позволит добиться и соответствующих изменений в работе ресничной мышцы. Следовательно, существует физиологический способ повли-

ять на регуляцию офтальмотонуса, т.е. фактически перевести цилиарную мышцу на такой режим её работы, который более благоприятно скажется на уровне ВГД. Оптимальным для планирования является небольшая гиперметропическая рефракция порядка 0,5 Дптр.

Наличие в глазу эластичной ИОЛ, обладающей экскурсией, способствует активизации гидродинамических процессов, что становится возможным благодаря смещению иридо-хрусталиковой диафрагмы и передней гиалоидной мембраны, а также вследствие экскурсии цилиарного тела с активацией цилиарной мышцы. Это ведет к усилению оттока внутриглазной жидкости и снижению уровня ВГД. Соответственно, выбор определенной модели линзы также можно рассматривать в качестве одного из факторов, влияющих на показатели ВГД в послеоперационном периоде. С учетом вышеизложенного, существует необходимость в проведении дальнейших исследований, цель которых заключается в разработке персонализированного подхода к подбору ИОЛ у пациентов с офтальмогипертензией.

ЛИТЕРАТУРА

- Ерошевский Т.И. Глазные болезни. Москва, 2008.
- Toriz C.B., Yablonski M.E., Wang Y.L., Camras C.B. Aqueous humor dynamics in the aging human eye. *Am.J. Ophthalmol.* 1999; 127 (4): 407-412.
- Tamm E.R. The trabecular meshwork outflow pathways: structural and functional aspects. *Exp. Eye Res.* 2009; 88 (4): 648-655.
- Chen Y., Bao Y.Z., Pei X.T. Morphologic changes in the anterior chamber in patients with cortical or nuclear age-related cataract. *J. Cataract Refract. Surg.* 2011; 37 (1): 77-82.
- Sun J.H., Sung K.R., Yun S.C., Cheon M.H., Tchah H.W., Kim M.J., Kim J.Y. Factors associated with anterior chamber narrowing with age: an optical coherence tomography study. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2012; 53 (6): 2607-2610.
- Лебедев О.И., Столяров Г.М. Особенности анатомического строения увеосклерального пути оттока внутриглазной жидкости. *Клин. офтальмол.* 2011; 1: 7-9.
- Bill A. Uveoscleral drainage of aqueous humor: physiology and pharmacology. *Prog. Clin. Biol. Res.* 1989; 312: 417-427.
- Alm A., Nilsson S.F. Uveoscleral outflow — a review. *Exp. Eye Res.* 2009; 88 (4): 760-768.
- Sedacca K., Samuelson D., Lewis P. Examination of the anterior uveoscleral pathway in domestic species. *Vet. Ophthalmol.* 2012; 15: 1-7.
- Nilsson S.F. The uveoscleral outflow routes. *Eye (Lond).* 1997; 11: 149-154.
- Золотарев А.В., Карлова Е.В., Николаева Г.А. Роль трабекулярной сети в осуществлении увеосклерального оттока. *Клин. офтальмол.* 2006; 2: 67-69.
- Gabelt B.T., Kaufman P.L. Changes in aqueous humor dynamics with age and glaucoma. *Prog. Retin. Eye Res.* 2005; 24 (5): 612-637.
- Gabelt B.T., Gottanka J., Lütjen-Drecoll E., Kaufman P.L. Aqueous humor dynamics and trabecular meshwork and anterior ciliary muscle morphologic changes with age in rhesus monkeys. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2003; 44 (5): 2118-2125.
- Филина Н.В. Характеристика дренажной зоны глаза в онтогенезе человека. Дисс. ... канд. мед. наук. Владивосток 2010.
- Marshall G.E., Konstas A.G., Lee W.R. Immunogold localization of type IV collagen and laminin in the aging human outflow system. *Exp. Eye Res.* 1990; 51 (6): 691-699.
- Вит В.В. Строение зрительной системы человека, Москва: Астропринт. 2003
- Аккомодация: Руководство для врачей под ред. Л.А. Катаргиной, Москва, Апрель, 2012.
- Светлова О.В., Кошиц И.Н. Взаимодействие основных путей оттока внутриглазной жидкости с механизмом аккомодации: Учебное пособие, Издательский Дом СПб. МАПО, 2002.
- Ni Y., Liu X.L., Wu M.X., Lin Y., Sun Y.Y., He C., Liu Y.Z. Objective evaluation of the changes in the crystalline lens during accommodation in young and presbyopic populations using Pentacam HR system. *Int.J. Ophthalmol.* 2011; 4 (6): 611-615.
- Zheng S.L., Zhang A., Shi J.J., Zhou Y.X. [Magnetic resonance imaging study of effects of accommodation on human lens morphological characters]. *Zhonghua Yi. Xue. Za. Zhi.* 2013; 93 (41): 3280-3283.
- Gambra E., Ortiz S., Perez-Merino P., Gora M., Wojtkowski M., Marcos S. Static and dynamic crystalline lens accommodation evaluated using quantitative 3-D OCT. *Biomed. Opt. Express.* 2013; 4 (9): 1595-1609.
- Пересыпкин В.П., Золотарев А.В., Пересыпкин К.В., Иванова Е.А. Исследование механизма аккомодации глаза человека на основе конечно — элементного моделирования. *Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. акад. С.П. Королева* 2006; 1 (9): 176-186.
- Золотарев А.В., Карлова Е.В., Стебнева М.Г., Павлова О.В. Увеосклеральный отток и аккомодация: морфологическая и функциональная взаимосвязь. *Клин. офтальмол.* 2009; 1: 15-17.
- Dietlein T.S., Jordan J., Dinslage S., Lüke C., Krieglstein G.K. [Early postoperative spikes of the intraocular pressure (IOP) following phacoemulsification in late-stage glaucoma]. *Klin. Monbl. Augenheilkd.* 2006; 223 (3): 225-229.
- Levkovitch-Verbin H., Hahot-Wilner Z., Burla N., Melamed S., Goldenfeld M., Barsela S.M., Sachs D. Intraocular pressure elevation within the first 24 hours after cataract surgery in patients with glaucoma or exfoliation syndrome. *Ophthalmology* 2008; 115 (1): 104-108.
- Fogagnolo P., Centofanti M., Figus M., Frezzotti P., Fea A., Ligorio P., Lembo A., Digiuni M., Lorenzi U., Rossetti L. Short-term changes in intraocular pressure after phacoemulsification in glaucoma patients. *Ophthalmologica* 2012; 228 (3): 154-158.
- Shrivastava A., Singh K. The effect of cataract extraction on intraocular pressure. *Curr. Opin. Ophthalmol.* 2010; 21 (2): 118-122.
- Augustinus C.J., Zeyen T. The effect of phacoemulsification and combined phaco/glaucoma procedures on the intraocular pressure in open-angle glaucoma. A review of the literature. *Bull. Soc. Belge Ophtalmol.* 2012; 320: 51-66.
- Агафонова В.В., Франковска-Герлак М.З., Чубарь В.С. Изменение уровня внутриглазного давления у пациентов с открытоугольной глаукомой после фактоэмульсификации катаракты (обзор литературы 2012 г.). Глаукома: теории, тенденции, технологии: Сборн. научн. ст. XI Междунар. конгр. Москва, 2013; 16-18.
- Апостолова А.С., Курышева Н.И. Роль фактоэмульсификации катаракты в снижении офтальмотонуса при псевдоэксфолиативной глаукоме. Глаукома: те-

- ории, тенденции, технологии: Сборн. научн. ст. XI Междунар. конгр. Москва, 2013; 40-43.
31. Gusev Yu.A. Comparative study of anterior chamber parameters following Crystalens HD and Acrysof implantation. European Society Of Cataract And Refractive Surgeons, XXIX Congress, 2011; 52
 32. Yang H.S., Lee J., Choi S. Ocular biometric parameters associated with intraocular pressure reduction after cataract surgery in normal eyes. *Am.J. Ophthalmol.* 2013; 156 (1): 89-94.
 33. Liu X.Q., Zhu H.Y., Su J., Hao X.J. Effects of phacoemulsification on intraocular pressure and anterior chamber depth. *Exp. Ther. Med.* 2013; 5 (2): 507-510.
 34. Slabaugh M.A., Bojikian K.D., Moore D.B., Chen P.P. The effect of phacoemulsification on intraocular pressure in medically controlled open-angle glaucoma patients. *Am.J. Ophthalmol.* 2014; 157 (1): 26-31.
 35. Золотарев А.В., Стебнева И.Г., Карлова Е.В., Павлова О.В. Гипотензивный эффект фактоэмulsификации и послеоперационная клиническая рефракция: существует ли взаимосвязь? Материалы VIII Всерос. Научн.-практ. конф. с междунар. участием «Федоровские чтения». Москва, 2009.
 36. Калижникова Е.А., Лебедев О.И. Гипотензивный эффект экстракции катаракты: вопросы остаются // Мат-лы X Междунар. конг. «Глаукома: теории, тенденции, технологии. HRT Клуб Россия – 2012»: Сб. научн. ст. Москва, 2012.
 37. Kee C., Moon S.-H. Effect of cataract extraction and posterior chamber lens implantation on outflow facility and its response to pilocarpine in Korean subjects. *Br.J. Ophthalmol.* 2000; 84: 987-989.
 38. Pereira FA., Cronemberger S. Ultrasound biomicroscopic study of anterior segment changes after phacoemulsification and foldable intraocular lens implantation. *Ophthalmology.* 2003; 110 (9): 1799-1806.
 39. Langenbucher A., Huber S., Nguyen N.X., Seitz B., Gusek-Schneider G.C., Kuchle M. Measurement of accommodation after implantation of an accommodating posterior chamber intraocular lens. *J. Cataract Refract Surg.* 2003; 29: 677-685.
 40. Ульянов А.Н. Первый опыт использования аккомодационной ИОЛ Crystalens HD500. Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии: Мат. конф., М., 2009; 207-210.
 41. Шиловских О.В., Ульянов А.Н. Первый опыт использования аккомодационной ИОЛ Crystalens HD 500. Международная научно-практическая конференция по офтальмохирургии «Восток-Запад»: Сб. научных трудов Уфа, 2010; 148-150.
 42. Dhital A., Spalton D.J., Gala K.B. Comparison of near vision, intraocular lens movement, and depth of focus with accommodating and monofocal intraocular lenses. *J. Cataract Refract. Surg.* 2013; 39 (12): 1872-1878.
 43. Pérez-Vives C., Montés-Micó R., López-Gil N., Ferrer-Blasco T., García-Lázaro S. Crystalens HD intraocular lens analysis using an adaptive optics visual simulator. *Optom. Vis. Sci.* 2013; 90 (12): 1413-1423.
 44. Marcos S., Ortiz S., Pérez-Merino P., Birkenfeld J., Durán S., Jiménez-Alfaro I. Three-dimensional evaluation of accommodating intraocular lens shift and alignment in vivo. *Ophthalmology.* 2014; 121 (1): 45-55.
 45. Waltz K. The Crystalens™ changes its radius of curvature. *Cataract Refract. Surg. Today.* 2005; 20: 66-68.
 46. Wolffsohn J.S., Davies L.N., Gupta N., Naroo S.A., Gibson G.A., Mihashi T., Shah S. Mechanism of action of the Tetraflex accommodative intraocular lens. *J. Refract. Surg.* 2010; 26 (11): 858-862.
 47. Tahir H.J., Tong J.L., Geissler S., Vedamurthy I., Schor C.M. Effects of accommodation training on accommodation and depth of focus in an eye implanted with a Crystalens intraocular lens. *J. Refract. Surg.* 2010; 26 (10): 772-779.
 48. Marchini G., Pedrotti E., Sartori P., Tosi R. Ultrasound biomicroscopic changes during accommodation in eyes with accommodating intraocular lenses: pilot study and hypothesis for the mechanism of accommodation. *J. Cataract Refract. Surg.* 2004; 30 (12): 2476-2482.
 49. Исаев М.А. Исследование клинко-функциональных характеристик аккомодационной функции глаз пациентов с монофокальными иол различных конструкций. Автореф. дисс. ... канд. мед. наук, Москва, 2013, 24 с.

REFERENCES

1. Eroshevskij T.I. [Eye diseases]. *Glaznye bolezni. Moskva*, [Moscow], 2008. [in Russ.].
2. Toris C.B., Yablonski M.E., Wang Y.L., Camras C.B. Aqueous humor dynamics in the aging human eye. *Am.J. Ophthalmol.* 1999; 127 (4): 407-412.
3. Tamm E.R. The trabecular meshwork outflow pathways: structural and functional aspects. *Exp. Eye Res.* 2009; 88 (4): 648-655.
4. Chen Y., Bao Y.Z., Pei X.T. Morphologic changes in the anterior chamber in patients with cortical or nuclear age-related cataract. *J. Cataract Refract. Surg.* 2011; 37 (1): 77-82.
5. Sun J.H., Sung K.R., Yun S.C., Cheon M.H., Tchah H.W., Kim M.J., Kim J.Y. Factors associated with anterior chamber narrowing with age: an optical coherence tomography study. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2012; 53 (6): 2607-2610.
6. Lebedev O.I., Stoljarov G.M. [Features of an anatomic structure of uveoscleral way outflow's intraocular liquid's]. *Osobennosti anatomicheskogo stroenija uveoskleroal'nogo puti ottoka vnutriglaznoj zhidkosti. Klin. oftal'mol.* [Clinical ophthalmology]. 2011; 1: 7-9. [in Russ.].
7. Bill A. Uveoscleral drainage of aqueous humor: physiology and pharmacology. *Prog. Clin. Biol. Res.* 1989; 312: 417-427.
8. Alm A., Nilsson SF. Uveoscleral outflow – a review. *Exp. Eye Res.* 2009; 88 (4): 760-768.
9. Sedacca K., Samuelson D., Lewis P. Examination of the anterior uveoscleral pathway in domestic species. *Vet. Ophthalmol.* 2012; 15: 1-7.
10. Nilsson S.F. The uveoscleral outflow routes. *Eye (Lond).* 1997; 11: 149-154.
11. Zolotarev A.V., Karlova E.V., Nikolaeva G.A. [Role of trabecular network in implementation of uveoscleral outflow]. *Roľ trabekuljarnoj seti v osushhestvlenii uveoskleroal'nogo ottoka. Klin. oftal'mol.* [Clinical ophthalmology]. 2006; 2: 67-69. [in Russ.].
12. Gabelt B.T., Kaufman P.L. Changes in aqueous humor dynamics with age and glaucoma. *Prog. Retin. Eye Res.* 2005; 24 (5): 612-637.
13. Gabelt B.T., Gottanka J., Lütjen-Drecoll E., Kaufman P.L. Aqueous humor dynamics and trabecular meshwork and anterior ciliary muscle morphologic changes with age in rhesus monkeys. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2003; 44 (5): 2118-2125.
14. Filina N.V. [The characteristic of eye drainage zone in the person's ontogenesis]. *Narakteristika drenazhnoj zony glaza v ontogeneze cheloveka. Diss. ... kand. med. nauk. Vladivostok*, [PhD diss (Med Sci). Vladivostok]. 2010, 119. [in Russ.].
15. Marshall G.E., Konstas A.G., Lee W.R. Immunogold localization of type IV collagen and laminin in the aging human outflow system. *Exp. Eye Res.* 1990; 51 (6): 691-699.
16. Vit V.V. [Structure of visual system of the person]. *Stroenie zritel'noj sistemy cheloveka. Moskva*, 2003. [Moscow: Astroprint]. [in Russ.].
17. [Accommodation: The management for doctors. ed. L.A. Katargina], *Akkomodacija: Rukovodstvo dlja vrachej. Pod red. L.A. Katarginoj, Moskva, April*, [Moscow, April]. 2012. [in Russ.].
18. Svetlova O.V., Koshic I.N. [Interaction of the outflow main ways intraocular liquid's with the accommodation mechanism: Manual], *Vzaimodejstvie osnovnyh putej ottoka vnutriglaznoj zhidkosti s mehanizmom akkomodacii: Uchebnoe posobie, Izdatel'skij Dom SPb. SPb* [Publishing House. MAPO], MAPO, 2002, 50. [in Russ.].
19. Ni Y., Liu X.L., Wu M.X., Lin Y., Sun Y.Y., He C., Liu Y.Z. Objective evaluation of the changes in the crystalline lens during accommodation in young and presbyopic populations using Pentacam HR system. *Int.J. Ophthalmol.* 2011; 4 (6): 611-615.
20. Zheng S.L., Zhang A., Shi J.J., Zhou Y.X. [Magnetic resonance imaging study of effects of accommodation on human lens morphological characters]. *Zhonghua Yi.Xue. Za. Zhi.* 2013; 93 (41): 3280-3283.
21. Gamba E., Ortiz S., Perez-Merino P., Gora M., Wojtkowski M., Marcos S. Static and dynamic crystalline lens accommodation evaluated using quantitative 3-D OCT. *Biomed. Opt. Express.* 2013; 4 (9): 1595-1609.
22. Peresypkin V.P., Zolotarev A.V., Peresypkin K.V., Ivanova E.A. [Research eye accommodation mechanism's of the person final and element modeling basis's]. *Issledovanie mehanizma akkomodacii glaza cheloveka na osnove konechno – jelementnogo modelirovaniya. Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo ajerokosmicheskogo universiteta im. akad. S.P. Koroleva*, [The messenger of the Samara state space University of Akkad. S.P. Koroleva]. 2006; 1 (9): 176-186. [in Russ.].
23. Zolotarev A.V., Karlova E.V., Stebneva M.G., Pavlova O.V. [Uveoscleral outflow and accommodation: morphological and functional interrelation]. *Uveoskleroal'nyj ottok i akkomodacija: morfologicheskaja i funkcional'naja vzaimosvjaz'. Klin. oftal'mol.* [Clinical ophthalmology]. 2009; 1: 15-17. [in Russ.].
24. Dietlein T.S., Jordan J., Dinslage S., Lücke C., Krieglstein G.K. [Early postoperative spikes of the intraocular pressure (IOP) following phacoemulsification in late-stage glaucoma]. *Klin. Monbl. Augenheilkd.* 2006; 223 (3): 225-229.
25. Levkovitch-Verbin H., Habot-Wilner Z., Burla N., Melamed S., Goldenfeld M., Bar-

МИДРИМАКС®

фенилэфрин 5% + тропикамид 0,8%

УВЕРЕННОСТЬ ВРАЧА В УСПЕХЕ



Эффективный и длительный мидриаз



Возможность контроля непредвиденных ситуаций во время операции



Экономия времени и медикаментов на предоперационную подготовку пациента



Быстрое достижение максимального эффекта

**Оптимальная
комбинация
для диагностики и
предоперационной
подготовки в
офтальмохирургии**



Reg. номер: ЛП-000966

111033, Москва, Золоторожский Вал, д. 11, стр. 21
тел.: + 7 (495) 229 -76-63; факс: + 7 (495) 229 -76-64;
promed@promed.ru; www.promed.ru

Информация предназначена для медицинских и фармацевтических работников.


SENTISS

- Sela S.M., Sachs D. Intraocular pressure elevation within the first 24 hours after cataract surgery in patients with glaucoma or exfoliation syndrome. *Ophthalmology*. 2008; 115 (1): 104-108.
26. Fogagnolo P., Centofanti M., Figus M., Frezzotti P., Fea A., Ligorio P., Lembo A., Digiuni M., Lorenzi U., Rossetti L. Short-term changes in intraocular pressure after phacoemulsification in glaucoma patients. *Ophthalmologica*. 2012; 228 (3): 154-158.
 27. Shrivastava A., Singh K. The effect of cataract extraction on intraocular pressure. *Curr. Opin. Ophthalmol.* 2010; 21 (2): 118-122.
 28. Augustinus C.J., Zeyen T. The effect of phacoemulsification and combined phaco/glaucoma procedures on the intraocular pressure in open-angle glaucoma. A review of the literature. *Bull. Soc. Belge Ophtalmol.* 2012; 320: 51-66.
 29. Agafonova V.V., Frankovska-Gerlak M.Z., Chubar' V. S. [Change of intraocular pressure level at patients with open-angle glaucoma after cataract facoemulsification (the review of literature of 2012)]. [Glaucoma: theories, tendencies, technologies: in Conf. proc. XI International congress. Moscow]. *Izmenenie urovnya vnutriglaznogo davleniya u pacientov s otkrytougol'noj glaukomoj posle fakojemul'sifikacii katarakty (obzor literatury 2012 g.). Glaukoma: teorii, tendencii, tehnologii: Sborn. nauchn. st. XI Mezhdunar. kongr. – Moskva, 2013; 16-18.* [in Russ.].
 30. Apostolova A.S., Kuryshva N.I. [Role of cataract facoemulsification in intraocular pressure decrease at pseudoexfoliative glaucoma]. *Rol' fakojemul'sifikacii katarakty v snizhenii oftal'motonusa pri psevdoksefoliativnoj glaukome. Glaukoma: teorii, tendencii, tehnologii: Sborn. nauchn. st. XI Mezhdunar. kongr. – Moskva, [Glaucoma: theories, tendencies, technologies: in Conf. proc. XI International congress. Moscow]. 2013; 40-43.* [in Russ.].
 31. Gusev Yu.A. Comparative study of anterior chamber parameters following Crystalens HD and Acrysof implantation. *European Society Of Cataract And Refractive Surgeons, XXIX Congress, 2011, P. 52*
 32. Yang H.S., Lee J., Choi S. Ocular biometric parameters associated with intraocular pressure reduction after cataract surgery in normal eyes. *Am.J. Ophthalmol.* 2013; 156 (1): 89-94.
 33. Liu X.Q., Zhu H.Y., Su J., Hao X.J. Effects of phacoemulsification on intraocular pressure and anterior chamber depth. *Exp. Ther. Med.* 2013; 5 (2): 507-510.
 34. Slabaugh M.A., Bojikian K.D., Moore D.B., Chen P.P. The effect of phacoemulsification on intraocular pressure in medically controlled open-angle glaucoma patients. *Am.J. Ophthalmol.* 2014; 157 (1): 26-31.
 35. Zolotarev A.V., Stebneva I.G., Karlova E.V., Pavlova O.V. [Hypotensive facoemulsification effect and postoperative clinical refraction: whether there is an interrelation?]. *Gipotenzivnyj jeffekt fakojemul'sifikacii i posleoperacionnaja klinicheskaja refrakcija: sushhestvuet li vzaimosvjaz? Mat-ly VIII Vseros. Nauchn.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem «Fedorovskie chtenija». Moskva. [Materials VIII of Russ. scientific and practical conference with international participation «Fedorovsky readings». Moscow]. 2009.* [in Russ.].
 36. Kalizhnikova E.A., Lebedev O.I. [Hypotensive effect of cataract extraction: questions remain]. *Gipotenzivnyj jeffekt jekstrakcii katarakty: voprosy ostajutsja. Mat-ly Mezhdunar. kong. «Glaukoma: teorii, tendencii, tehnologii. HRT Klub Rossija. Sb. nauchn. st. – Moskva. [Glaucoma: theories, tendencies, technologies: in Conf. proc. XI International congress. Moscow]. 2012.* [in Russ.].
 37. Kee C., Moon S.-H. Effect of cataract extraction and posterior chamber lens implantation on outflow facility and its response to pilocarpine in Korean subjects. *Br.J. Ophthalmol.* 2000; 84: 987-989.
 38. Pereira FA., Cronemberger S. Ultrasound biomicroscopic study of anterior segment changes after phacoemulsification and foldable intraocular lens implantation. *Ophthalmology*. 2003; 110 (9): 1799-1806.
 39. Langenbacher A., Huber S., Nguyen N.X., Seitz B., Gusek-Schneider G.C., Küchle M. Measurement of accommodation after implantation of an accommodating posterior chamber intraocular lens. *J. Cataract Refract. Surg.* 2003; 29: 677-685.
 40. Ul'janov A. N. [First experience of use of accommodate IOL Crystalens HD500]. *Pervyj opyt ispol'zovanija akkomodacionnoj IOL Crystalens HD500. Sovremennye tehnologii kataraktal'noj i refrakcionnoj hirurgii. [Modern technologies of cataract and refraction surgery: in Conf. proc.]. 2009; 207-210.* [in Russ.].
 41. Shilovskih O.V., Ul'janov A. N. [First experience of use of accommodate IOL's Crystalens HD 500]. *Pervyj opyt ispol'zovanija akkomodacionnoj IOL Crystalens HD 500. Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija po oftal'mohirurgii «Vostok-Zapad»: Sb. nauchnyh trudov. Ufa, [in conf. proc. International scientific and practical conference on an ophthalmosurgery «East-West». Ufa]. 2010; 148-150.* [in Russ.].
 42. Dhital A., Spalton D.J., Gala K.B. Comparison of near vision, intraocular lens movement, and depth of focus with accommodating and monofocal intraocular lenses. *J. Cataract Refract. Surg.* 2013; 39 (12): 1872-1878.
 43. Pérez-Vives C., Montés-Micó R., López-Gil N., Ferrer-Blasco T., García-Lázaro S. Crystalens HD intraocular lens analysis using an adaptive optics visual simulator. *Optom. Vis. Sci.* 2013; 90 (12): 1413-1423.
 44. Marcos S., Ortiz S., Pérez-Merino P., Birkenfeld J., Durán S., Jiménez-Alfaro I. Three-dimensional evaluation of accommodating intraocular lens shift and alignment in vivo. *Ophthalmology*. 2014; 121 (1): 45-55.
 45. Waltz K. The Crystalens™ changes its radius of curvature. *Cataract Refract. Surg. Today*. 2005; 20: 66-68.
 46. Wolffsohn J.S., Davies L.N., Gupta N., Naroo S.A., Gibson G.A., Mihashi T., Shah S. Mechanism of action of the Tetraflex accommodative intraocular lens. *J. Refract. Surg.* 2010; 26 (11): 858-862.
 47. Tahir H.J., Tong J.L., Geissler S., Vedamurthy I., Schor C.M. Effects of accommodation training on accommodation and depth of focus in an eye implanted with a Crystalens intraocular lens. *J. Refract. Surg.* 2010; 26 (10): 772-779.
 48. Marchini G., Pedrotti E., Sartori P., Tosi R. Ultrasound biomicroscopic changes during accommodation in eyes with accommodating intraocular lenses: pilot study and hypothesis for the mechanism of accommodation. *J. Cataract Refract. Surg.* 2004; 30 (12): 2476-2482.
 49. Isaev M.A. [Research of clinic-functional characteristics of accommodate function of patients eyes's with monofocal IOL various designs]. *Issledovanie kliniko-funkcional'nyh harakteristik akkomodacionnoj funkcii glaz pacientov s monofokal'nymi iol razlichnyh konstrukcij. Avtoref. diss. ... kand. med. nauk, Moskva, [PhD diss (Med Sci) Synopsis]. 2013.* [in Russ.].

ИЗДАНИЕ МОСКОВСКОГО НАУЧНОГО ОБЩЕСТВА ОФТАЛЬМОЛОГОВ

ПОЛЕ ЗРЕНИЯ