

Вторичные катаракты после внутрикапсульной имплантации интраокулярных линз: факторы риска и пути профилактики. Сообщение 2

С.Г. Торопыгин — д-р мед. наук, доцент, заведующий кафедрой офтальмологии

Е.В. Глушкова — ассистент кафедры офтальмологии

ФГБОУ ВО «Тверской ГМУ» Минздрава России, 170100, г. Тверь, ул. Советская, д. 4

Во второй части обзора (первую часть см. РОЖ, 2017; 10 (4): 105–12), посвященного вторичным катарактам, анализируются факторы риска их развития и пути профилактики, а именно методы предупреждения миграции эпителиоцитов капсульного мешка.

Ключевые слова: вторичная катаракта, помутнение задней капсулы, помутнение передней капсулы, хирургия катаракты, материал интраокулярной линзы, дизайн интраокулярной линзы, внутрикапсульное кольцо, ИАГ-лазерная капсулотомия.

Для цитирования: Торопыгин С.Г., Глушкова Е.В. Вторичные катаракты после внутрикапсульной имплантации интраокулярных линз: факторы риска и пути профилактики. Сообщение 2. Российский офтальмологический журнал. 2018; 11 (1): 103–110. doi: 10.21516/2072-0076-2018-11-1-103-110.

Основные факторы риска и пути профилактики развития вторичных катаракт. Из материала, изложенного в нашем первом сообщении [1], следует, что для предупреждения развития вторичных катаракт необходимо либо уничтожить источник (т. е. эпителиоциты) или матрицу (капсулу хрусталика) для их развития, либо не допустить миграцию и пролиферацию клеток в капсульном мешке. Известные направления такой профилактики обобщены нами в таблице.

Предупреждение миграции эпителиоцитов капсульного мешка. Уже в конце 1970-х годов было замечено, что имплантация ИОЛ в капсульный мешок снижает риск помутнения задней капсулы хрусталика (ЗКХ). Было высказано мнение, что оптика ИОЛ представляет собой механический барьер для миграции эпителиоцитов к центру ЗКХ [2]. В крупном исследовании О. Nishi [3], выполненном на более чем 600 глазах, продемонстрировано, что клинически значимое помутнение ЗКХ при афакии наблюдалось в 15 %, тогда как при артифакии — лишь в 7,1 % случаев. Подобные результаты были получены и G. Auffarth и соавт. [4] при сравнении методик

внутрикапсульной и внекапсульной (в *sulcus ciliaris*) имплантации ИОЛ.

В середине 1990-х годов Т. Nagata и I. Watanabe [5] доказали зависимость частоты развития помутнений ЗКХ от формы края оптики ИОЛ. В ретроспективном анализе около 400 экстракций катаракты помутнение ЗКХ в течение 2 лет после операции выявлялось в 66–82 % случаев при имплантации ИОЛ с круглым краем и только у 9–17 % пациентов, если край оптики линзы имел прямоугольное сечение. Впервые же превентивное влияние края оптики на развитие помутнений ЗКХ было замечено К. Hoffer в конце 1970-х годов [6].

В крупной серии экспериментальных работ О. Nishi и соавт. [7–12] показано, что при имплантации ИОЛ с прямоугольным краем оптики в процессе *capsular bag fusion and sealing* происходит следующее. ЗКХ прилегает к задней поверхности линзы и огибает ее заднее ребро, повторяя тем самым прямой угол изгиба края оптики. Этот феномен получил название *posterior capsular bend formation* — формирование заднего изгиба капсулы хрусталика (англ.) Выяснилось, что именно в месте изгиба ЗКХ создается

Таблица. Направления профилактики развития вторичных катаракт
Table. Pathways of secondary cataracts' prevention

<p>Предупреждение инвазии (барьер для миграции) эпителиоцитов капсулы хрусталика Prevention of lens epithelial cells (LECs) invasion (barrier against migration)</p>	<p>Острый (прямоугольный) задний край оптики интраокулярной линзы (ИОЛ) Sharp (rectangular) posterior IOL optic edge Минимальное, но полное покрытие оптики ИОЛ краем переднего капсулорексиса Minimal but full optic covering with anterior capsulorhexis edge Диаметр оптики ИОЛ — 6,0 мм 6,0-mm optic diameter Ангуляция гаптики ИОЛ Optic-haptic angulation of IOL Выпуклая задняя поверхность оптики? Convex configuration of posterior surface of IOL optic? Тонкая гаптика ИОЛ Thin IOL haptic Материал оптики ИОЛ: гидрофобный акрил? IOL material: hydrophobic acrylic? Внутрикапсульные кольца Capsular bending rings Газовая тампонада витреальной полости при факовитректомии Vitreous gas tamponade following phacovitrectomy Соответствие величины ИОЛ размерам капсульного мешка — отсутствие складок задней капсулы хрусталика (ЗКХ) [1] Correspondence between IOL and capsular bag dimensions: absence of posterior capsular folds [1]</p>
<p>Ликвидация источника развития вторичных катаракт — эпителиоцитов капсульного мешка Removal of LECs, main cause of secondary cataracts formation</p>	<p>Аспирация эпителия хрусталика Aspiration of LECs Химическое (фармакологическое) уничтожение эпителия хрусталика Chemical (pharmacological) elimination of LECs</p>
<p>Ликвидация матрицы для развития вторичных катаракт Removal of basis for secondary cataracts formation</p>	<p>Задний капсулорексис Posterior capsulorhexis Ущемление оптики ИОЛ в отверстии заднего капсулорексиса Posterior optic button holing Передняя витректомия Anterior vitrectomy</p>
<p>Предупреждение пролиферации клеток Prevention of LECs proliferation</p>	<p>Профилактика послеоперационного воспаления: минимизация операционной травмы; хирургия в период ремиссии увеита; противовоспалительное лечение? Prevention of postoperative inflammation: minimization of surgical trauma; surgery within the remission of uveitis; anti-inflammatory treatment?</p>

механическое препятствие для миграции клеток к центру капсулы (см. рис. 2 [1]). Такое же контактное сдерживание миграции клеток было продемонстрировано и в культуре ткани эпителия хрусталика. Когда клетки, культивируемые в пробирке, достигали стенки, образующей прямой угол с дном, то их рост останавливался. Напротив, эпителиоциты без труда росли по стенкам пробирки, имеющей U-образную форму [7] (рис. 1).

Авторы пришли к выводу, что значение имеет только задний край оптики. Передний же край на формирование *posterior capsular bend* не влияет [10]. Предполагают, что чем острее задний край, тем острее *capsular bend* и тем более эффективно предупреждается помутнение ЗКХ [13]. Напротив, при округлом заднем крае ИОЛ *capsular bend formation* не происходит, поэтому и препятствие для инвазии эпителиоцитов на ЗКХ в таких случаях отсутствует [8].

В течение многих лет острый край оптики ИОЛ считали основным и самым эффективным барьером на пути центростремительной миграции эпителиальных клеток хрусталика. Однако в 2009 г. L. Vock

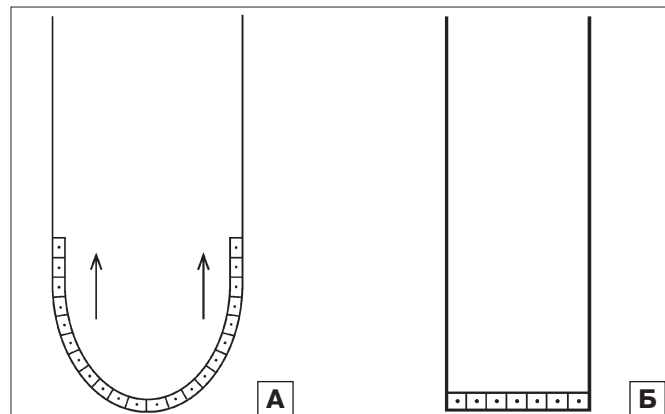


Рис. 1. Схема контактного сдерживания миграции клеток в культуре ткани по О. Nishi, K. Nishi, 1999 [7]. А — непрерывная миграция и пролиферация клеток по стенке пробирки с U-образным дном; Б — контактное сдерживание миграции клеток в пробирке, имеющей прямой угол между стенками и дном.

Fig. 1. Scheme of contact inhibition of LECs migration cultured in a well (according O. Nishi, K. Nishi, 1999 [7]). А — continuous migration and proliferation of LECs along the wall of well with the U-shaped bottom; Б — contact inhibition of LECs migration in a well with the rectangular wall.

и соавт. [14] опубликовали отдаленные результаты ретроспективного анализа, показавшего, что с течением времени профилактический эффект острого края оптики постепенно утрачивается. Так, через 10 лет после имплантации таких ИОЛ частота ИАГ-лазерных дисцизий оказалась высокой и составила 42 % из 99 наблюдаемых глаз. Авторы объяснили это поздним (вторичным) прорывом капсульного барьера за счет пролиферации клеток в кольце *Soemmering* и сделали вывод, что, к сожалению, острый край оптики ИОЛ, по всей видимости, предоставляет лишь отсрочку в развитии помутнения ЗКХ.

Помимо прямоугольного края вторым неизменным условием для полноценного *capsular bend formation* является покрытие оптики ИОЛ краем переднего капсулорексиса. Первыми это заметили R. Ravalico и соавт. [15]. В их наблюдениях в течение 2 лет при полном (360°) покрытии оптики краем передней капсулы хрусталика (ПКХ) помутнение центра ЗКХ происходило только у 18,5 % пациентов. Напротив, если диаметр переднего капсулорексиса превышал диаметр оптики ИОЛ, то центральное помутнение ЗКХ развивалось в 45 % случаев. При этом выполнение задней ИАГ-лазерной капсулотомии в первом случае потребовалось у 7,4 %, а во втором — уже у 35 % пациентов.

Как отмечено выше, при соприкосновении оптики ИОЛ с краем ПКХ происходит фиброзная трансформация А-клеток, особенно выраженная в месте этого контакта. Если при этом край переднего капсулорексиса покрывает край оптики на 360°, то, по предположению R. Ravalico и соавт. [15], плотное фиброзное кольцо на ПКХ как бы вдавливает ИОЛ в ЗКХ, обеспечивая тем самым *capsular bend formation* (см. рис. 2 [1]). Позднее эта гипотеза была подтверждена в исследовании O. Nishi и K. Nishi [7].

Таким образом, было показано, что фиброзное помутнение ПКХ играет положительную роль в формировании *capsular bend*. С одной стороны, помутнение ПКХ ограничивает осмотр периферии глазного дна [15], может прикрывать дифракционные кольца мультифокальной ИОЛ [16], зато с другой — обеспечивает лучшую прозрачность ЗКХ и более высокое центральное зрение [15].

Со времен исследования R. Ravalico и соавт. [15] идеальным принято считать передний капсулорексис, равномерно и минимально (примерно на 0,5 мм) покрывающий край ИОЛ. При этом если передний рексис слишком узкий, то площадь контакта края ПКХ с ИОЛ увеличивается. Материал оптики при этом катализирует метаплазию более значительного количества А-клеток в фибробласты, что приводит к избыточному фиброзу ПКХ и капсулофимозу. К состояниям, предрасполагающим к капсулофимозу, относятся псевдоэкзофоллиативный синдром (ПЭС), пигментная дистрофия сетчатки и сахарный диабет [17, 18]. Так, при ПЭС слабые цинновы связи не оказывают противодействия центростремитель-

ному сокращению фиброзного кольца на ПКХ [17]. При пигментном ретините и сахарном диабете склонность к капсулофимозу объясняют повышенной продукцией медиаторов воспаления, которые провоцируют избыточную фиброзную трансформацию А-эпителиоцитов [19, 20].

Напротив, при слишком широком переднем капсулорексисе контакт А-клеток с оптикой линзы отсутствует. При этом фиброзное кольцо на ПКХ не формируется, поэтому вдавления оптики ИОЛ в ЗКХ и *capsular bend formation* не происходит. В этом случае мигрирующие клетки получают свободный доступ к центру ЗКХ с развитием ее помутнения [7, 15] (рис. 2). Таким образом, передний капсулорексис должен быть круглым, центрированным и иметь диаметр примерно на 1,0 мм меньше размера оптики ИОЛ [15].

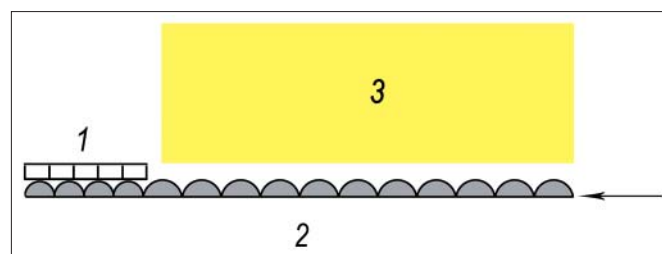


Рис. 2. Схема развития регенераторного помутнения ЗКХ при переднем капсулорексисе избыточной ширины на сагиттальном разрезе. 1 — передняя капсула хрусталика с эпителием (передний капсулорексис имеет избыточный диаметр; при этом край переднего капсулорексиса не покрывает оптику линзы), 2 — задняя капсула хрусталика с шарами Elschnig, 3 — оптика интраокулярной линзы.

Fig. 2. Scheme of regenerative posterior capsule opacification with excessive diameter of anterior capsulorhexis in sagittal section. 1 — anterior capsule with LECs (anterior capsulorhexis has an excessive diameter, herewith anterior capsulorhexis edge does not cover IOL optic), 2 — posterior capsule with Elschnig pearls, 3 — IOL optic.

Размер оптики ИОЛ также имеет значение в развитии *capsular bend*. В эксперименте, проведенном O. Nishi и K. Nishi [21], при имплантации нестандартной моноблочной линзы с широкой 7,0-мм оптикой формирования *capsular bend* не наблюдалось. При этом, несмотря на то, что оптика линзы имела прямоугольный край, во всех глазах происходило помутнение ЗКХ. Напротив, при имплантации ИОЛ с диаметром оптики 5,5 мм и прямоугольным краем во всех случаях наблюдали *capsular bend* и, соответственно, прозрачную ЗКХ. Дело в том, что громоздкие габариты нестандартной ИОЛ препятствовали коллапсу капсульного мешка, поэтому из-за отсутствия достаточного контакта между ПКХ и ЗКХ адгезии между ними не происходило. Был сделан важный вывод: барьерный эффект прямоугольного края оптики не реализуется в отсутствие *capsular bend*. В свою очередь неизменными условиями для полноценного *capsular bend formation* являются коллапс и адгезия листков хрусталиковой сумки (т. е. *capsular bag fusion and sealing*) (см. рис. 2 [1]).

Из вышесказанного также следует, что теоретически чем меньше диаметр оптики ИОЛ, тем ниже вероятность развития помутнений ЗКХ. Однако W. Meacock и соавт. [22] показали, что, возможно, это не совсем так. В проспективном исследовании авторы использовали одну и ту же модель ИОЛ, но с двумя разными диаметрами оптики: 5,5 и 6,0 мм. Через год после операции площадь помутнений ЗКХ при 5,5-мм оптике составила в среднем 6,9 %, тогда как при диаметре оптики 6,0 мм — лишь 1,5 %. Был сделан вывод, что оптимальным в плане предупреждения помутнений ЗКХ является не 5,5-мм, а 6,0-мм диаметр оптики. Вместе с тем необходимо отметить, что помимо разного диаметра оптики используемые в данной работе ИОЛ имели и разную ангуляцию гаптики: 5° при 5,5-мм и 10° при 6,0-мм оптике. Авторы полагали, что именно благодаря большей ангуляции гаптики линзы с 6,0-мм оптикой представляли собой более эффективный барьер для миграции эпителиоцитов на ЗКХ (см. ниже). Так или иначе, в современных ИОЛ стандартным размером оптики у большинства производителей является именно диаметр 6,0 мм.

Предполагалось, что *capsular bend formation* может облегчать ангулированная гаптика (т. е. расположенная под углом к оптике), за счет которой оптика ИОЛ плотнее прижимается к ЗКХ. Однако морфологические исследования в эксперименте не выявили достоверной разницы в выраженности помутнений ЗКХ при сравнении ИОЛ без ангуляции и с ангуляцией до 15° [23]. Это нашло подтверждение и в клинике [24]. Так, в одном проспективном исследовании в один глаз имплантировали ИОЛ с ангуляцией 10°, а в парный — без ангуляции. Выраженность помутнения ЗКХ оценивали по 11-балльной (от 0 до 10) шкале через 1,5 года после операции. Достоверной разницы между сравниваемыми группами не было найдено: 2,35 балла без ангуляции и 2,07 балла с ангуляцией. Был сделан вывод, что ангуляция гаптики не является важной для предотвращения помутнения ЗКХ. В то же время ангулированные ИОЛ показывали достоверно меньшую частоту помутнения ПКХ: 6,5 % против 71 % случаев в глазах без ангуляции гаптики. Это объясняется наличием зазора между ПКХ и оптикой ангулированной ИОЛ. По-видимому, зазор предотвращает контакт оптики ИОЛ с клетками ПКХ и, соответственно, трансформацию последних в фибробласты.

Теоретически по аналогии с ангулированной гаптикой ведет себя и выпуклая (*convex*) задняя поверхность оптики. Вдавление выпуклой оптики в ЗКХ может способствовать формированию *capsular bend* и предупреждению помутнения ЗКХ. Однако клинические данные на этот счет противоречивы. Так, в двух крупных (248 и 212 глаз) исследованиях в один глаз имплантировали ИОЛ с *convex*, а в другой — с плоской задней поверхностью оптики. В первом исследовании выполнение ИАГ-лазерной

задней капсулотомии в глазах с плоской задней поверхностью оптики потребовалось в 29,3 %, тогда как в глазах с *convex* задней поверхностью — лишь в 17,6 % случаев [25]. Однако в другой работе данные были противоположными: 32,5 % лазерных дисцизий в глазах с выпуклой задней поверхностью оптики против 5,9 % случаев в глазах с плоской задней поверхностью [26].

Одним из препятствий для полноценного *capsular bend formation* может являться чрезмерно объемистая гаптика моноблочных ИОЛ. O. Nishi и соавт. [27] показали в эксперименте, что при имплантации таких линз площади листков капсулы недостаточно для их коллапса и адгезии, особенно у корня гаптики. Кроме того, если гаптика моноблочной ИОЛ имеет ту же толщину, что и оптика, то в месте их слияния оптическая часть линзы теряет задний край как таковой. В первую очередь именно здесь и происходит инвазия эпителия на ЗКХ (*haptic-optic junction phenomenon*, феномен слияния гаптики и оптики). В трехчастной ИОЛ, напротив, край оптики непрерывен по всему своему периметру. Более того, тонкие гаптические элементы в меньшей степени противодействуют *capsular bag fusion and sealing*, поэтому при использовании трехчастных линз помутнение ЗКХ встречалось достоверно реже.

Однако клинические данные о влиянии толщины гаптики на развитие вторичной катаракты несколько противоречивы. Так, в наблюдениях T. Wallin и соавт. [28] и G. Mylonas и соавт. [29] имплантация трехчастных ИОЛ (с тонкой гаптикой) сопровождалась несколько меньшим развитием помутнения ЗКХ по сравнению с моноблочными линзами из того же материала, имеющими более толстую гаптику. Это подтверждало результаты экспериментальных работ O. Nishi и соавт. [21, 27]. Напротив, в проспективных исследованиях R. Nejima и соавт. [30] и S. Sacu и соавт. [31] при сравнении аналогичных ИОЛ достоверной разницы в степени помутнения ЗКХ не было получено. Позднее эти сведения подтвердили еще несколько авторов [32–34].

Еще одним фактором, влияющим на формирование вторичных катаракт, следует считать материал оптики ИОЛ [35]. Линзы из гидрофобного акрила зарекомендовали себя высокой клейкостью (адгезивностью) как к инструментарию, так и по отношению частей ИОЛ друг к другу [36, 37]. Известно, что, размягчаясь уже при температуре тела, акрил заполняет неровности материала, с которым находится в соприкосновении, и прилипает к последнему за счет сил межмолекулярного притяжения [38]. В экспериментальных исследованиях T. Nagata и соавт. [36] и K. Fukuzawa [38] было показано, что гидрофобный акрил имеет в 3,4 раза более выраженную адгезию к коллагеновым мембранам (в том числе к капсуле хрусталика), чем полиметилметакрилат (ПММА), а оптика ИОЛ, выполненная из силикона, адгезивными свойствами не обладает вообще.

Позже [39, 40] было обнаружено, что основным «посредником» для адгезии ИОЛ к капсуле хрусталика является белок фибронектин. При этом чем выше способность материала адсорбировать на своей поверхности фибронектин, тем большую клейкость оптика проявляет по отношению к капсуле хрусталика. Показано, что наибольшей адсорбцией фибронектина (а соответственно, и самой высокой адгезией к капсуле) обладает гидрофобный акрил. В то же время ПММА адсорбирует фибронектин в меньшей степени, а силикон и гидрогель этим качеством не обладают.

Имея высокие адгезивные свойства, оптика ИОЛ из гидрофобного акрила прилипает к ПКХ и катализирует трансформацию А-эпителиоцитов в фибробласты [41]. При этом ПКХ, особенно находящаяся в соприкосновении с оптикой, мутнеет в 100 % случаев. Помутнение же ПКХ при имплантации ИОЛ с оптикой из гидрофильного акрила наблюдается в 87 % случаев и при этом имеет менее выраженный характер [24].

В то же время высокая адгезия гидрофобного акрила к капсуле хрусталика предупреждает децентрацию ИОЛ [42], а также теоретически должна облегчать *capsular bend formation* [35] и тем самым препятствовать помутнению ЗКХ [37]. Учитывая это, некоторые производители ИОЛ обрабатывают поверхность гидрофильной оптики гидрофобным материалом. Так, например, для придания гидрофильному акрилу адгезивных свойств, схожих с гидрофобным, предложено покрытие поверхности ИОЛ адгезивным RGD-пептидом [43].

В клиническом исследовании О. Nishi и соавт. [9] было выявлено, что гидрофобный акрил способствует увеличению скорости *capsular bend formation*. Так, к концу первого месяца после операции формирование изгиба капсулы полностью заканчивалось при имплантации линз из гидрофобного акрила, но было незавершенным, если ИОЛ состояла из ПММА. Возможно, чем быстрее образуется *capsular bend*, тем ниже вероятность центростремительной инвазии эпителиальных клеток на ЗКХ. При этом силиконовые ИОЛ не уступали по скорости *capsular bend formation* линзам из гидрофобного акрила. Ограничением исследования являлось то, что оптика линз из ПММА (в отличие от акриловых ИОЛ) имела круглый край.

В последние два десятилетия вопрос о влиянии материала оптики ИОЛ на развитие помутнений ЗКХ широко изучался, при этом до сих пор он остается дискуссионным. Так, в серии морфологических исследований на животных О. Nishi и соавт. [7, 8] показали, что степень адгезии линзы к капсуле хрусталика имеет все же второстепенное значение в предупреждении помутнения ЗКХ. Так, при имплантации ИОЛ как из гидрофобного акрила, так и из ПММА и силикона острый край оптики всех трех линз одинаково эффективно способствовал

формированию *capsular bend* и останавливал миграцию клеток [7, 10]. Если же край ИОЛ (в том числе и акриловых) шлифовался и становился округлым, то *capsular bend formation* не наблюдалось и эффект контактного сдерживания миграции эпителиальных клеток полностью утрачивался [8, 10].

Перспективные сравнительные исследования в клинике подтвердили, что материал ИОЛ не оказывает существенного влияния на развитие помутнения ЗКХ. Показано, что при имплантации ИОЛ из гидрофобного акрила и силикона, имеющих оптику с острым задним краем, наблюдаются схожие низкие показатели помутнения задней капсулы в течение 3 лет [44]. Если же задний край оптики закруглялся, то это приводило к достоверно худшим результатам: ЗКХ теряла прозрачность в 100 % случаев при имплантации силиконовых линз [45], при использовании же линз из гидрофобного акрила выраженность помутнений ЗКХ увеличивалась более чем в два раза [46].

В нашей стране налажено производство ИОЛ из гидрофобного полимера на основе полиоксипропилена. Эти ИОЛ изготавливаются оригинальным одностадийным методом посредством фотополимеризации. На большом клиническом материале (более 5 тыс. операций) показано, что частота развития помутнений ЗКХ после имплантации таких линз составила 4,4 % [47]. Однако сравнительных исследований данного типа ИОЛ, изготовленных другими производителями линз, в доступной литературе мы не нашли.

Формированию *capsular bend* также может способствовать и внутрикапсульное кольцо (ВКК) [48]. Впервые применение ВКК было описано Т. Нага соавт. [49] в начале 1990-х годов для поддержания формы капсульного мешка при несостоятельности цинновых связок. Силиконовое кольцо Т. Нага имело замкнутую конфигурацию, ввиду чего оно не могло соответствовать различным диаметрам хрусталиковой сумки. Для решения этой проблемы Т. Nagamoto и Н. Bissen-Miyajima [50] было предложено незамкнутое ВКК; кольцо диаметром 12,5 мм из ПММА адаптировалось при имплантации к экватору любого капсульного мешка. Позже подобные ВКК стали называть *capsular tension ring* («кольцо, растягивающее капсульный мешок» — англ.) [51]. Было замечено, что помимо поддержания формы мешка имплантация *tension ring* предупреждает также развитие складок и помутнений ЗКХ. Последнее авторы объяснили механической компрессией эпителиальных клеток в области экватора [49, 51].

В конце 1990-х годов О. Nishi и соавт. [48] было представлено модифицированное незамкнутое кольцо из ПММА, имеющее прямоугольное сечение. Авторы показали, что прямоугольный край ВКК приводит к *capsular bend formation* в области экватора, останавливает миграцию эпителиоцитов к центру ЗКХ и тем самым предотвращает ее помутнение.

Такое ВКК было названо *capsular bending ring* («кольцо, формирующее изгиб капсулы»). Кроме того, при имплантации кольца край ПКХ отстоит от края оптики ИОЛ (рис. 3). Отсутствие контакта между передней капсулой и ИОЛ предупреждает трансформацию А-клеток в фибробласты и развитие фиброза ПКХ.

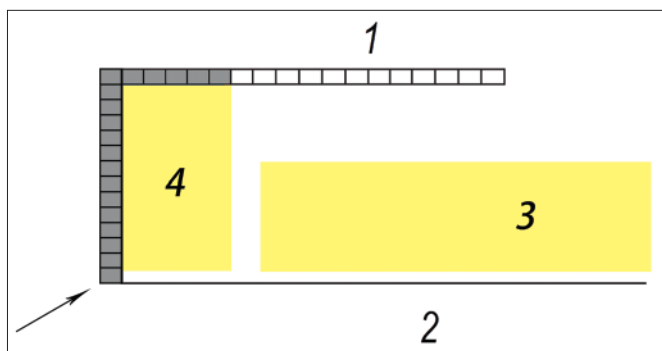


Рис. 3. Схема образования *capsular bend formation* при имплантации внутрикапсульного кольца на сагиттальном срезе. 1 — передняя капсула хрусталика, 2 — задняя капсула хрусталика, 3 — оптика интраокулярной линзы, 4 — внутрикапсульное кольцо. Стрелка указывает на сформированный *posterior capsular bend* на заднем крае внутрикапсульного кольца.

Fig. 3. Scheme of *capsular bag formation* following capsular bending ring implantation in sagittal section. 1 — anterior capsule, 2 — posterior capsule, 3 — optic of IOL, 4 — capsular bending ring. The arrow indicates formed *posterior capsular bend* on posterior edge of capsular bending ring.

В проспективном рандомизированном исследовании R. Menarase и соавт. [16] использование *capsular bending ring* в модификации O. Nishi и соавт. [48] статистически достоверно предупреждало развитие вторичной катаракты. В течение 3-летнего периода наблюдения в глазах, в которых была выполнена имплантация ИОЛ и ВКК, интенсивность помутнения ЗКХ по 10-балльной шкале составила 2,1 балла против 4,6 в парных глазах, где ВКК не применялось. В то время как в группе с ВКК лазерная дисцизия задней капсулы потребовалась только в одном (3,3%) глазу, в глазах без кольца — в 53,3% случаев. Более того, в 82% случаев применение *capsular bending ring* предупреждало контакт между ПКХ и ИОЛ и, соответственно, развитие фиброза передней капсулы. В 18% глаз с ВКК передняя капсула все же помутнела из-за наличия контакта с оптикой ИОЛ, который объяснялся небольшим диаметром переднего капсулорексиса (менее 5,0 мм) и толстой оптикой линз, имеющих большую оптическую силу. В контрольной группе глаз без ВКК фиброз ПКХ развивался в 100% случаев из-за контакта капсулы с линзой.

Препятствуя коллапсу капсульного мешка, *capsular bending ring* делает невозможным *capsular bag fusion and sealing*, а следовательно, и классическое *capsular bend formation* у заднего края оптики ИОЛ. Авторы отметили, что это является недостатком технологии, так как если все же происходит инвазия эпителиальных клеток на ЗКХ, то уже ничто не

удерживает их от центростремительной миграции. Прорыв эпителиальных клеток на ЗКХ возможен между кончиками кольца, особенно если оно оказывается короче окружности экватора капсульного мешка. Кроме того, предложенное ВКК имело не вполне острые края, с которых снималась фаска во время полировки. Наконец, высоты кольца (0,7 мм) теоретически могло не хватать, чтобы отгородить все экваториальные клетки от ЗКХ. Именно этими факторами объясняется возможность помутнения ЗКХ при использовании *capsular bending ring* в описанной модификации [16].

Позже в экспериментальном исследовании R. Alon и соавт. [52] на животных было представлено ВКК с удвоенной высотой — 1,5 мм, имеющее сечение сложной конфигурации с несколькими острыми краями. При гистологическом изучении глаз через 6 нед после имплантации ВКК эффективно препятствовало коллапсу капсульного мешка, контакту оптики с ПКХ и достоверно (по сравнению с глазами без кольца) предупреждало развитие помутнения ЗКХ. Однако кольцо было замкнутым, что, несомненно, является недостатком его конструкции (см. выше).

В подобное по дизайну ВКК L. Leishman и соавт. [53] была интегрирована ИОЛ. Такой комплекс ИОЛ — ВКК изготавливается единым блоком из гидрофильного акрила и имеет общий диаметр 10,0 мм. Имплантация комплекса также поддерживает капсульный мешок в зияющем состоянии и делает невозможным контакт оптики с ПКХ; при этом за счет ангуляции гаптики оптика вдавливается в ЗКХ. В эксперименте на животных авторы продемонстрировали эффективность комплекса в плане профилактики развития вторичных катаракт. В частности, через месяц после операции в глазах с комплексом ИОЛ — ВКК степень помутнения ЗКХ составляла 0,0, тогда как в глазах без ВКК — 1,75 по 11-балльной шкале. Недостатком комплекса следует считать замкнутый дизайн кольца.

Заполнение витреальной полости газом также может влиять на *capsular bend formation* и развитие вторичной катаракты. Показано, что после витрэктомии при газовой эндотампонаде без соблюдения в послеоперационном периоде положения лицом вниз частота и выраженность помутнения ЗКХ достоверно уменьшаются. Предполагают, что это связано с плотным прижатием ЗКХ к оптике пузырем газа, что облегчает *capsular bend formation* и препятствует центростремительной миграции клеток эпителия хрусталика [54].

Таким образом, описанные способы предупреждения инвазии эпителиоцитов хрусталика к центру задней капсулы являются, к сожалению, самыми паллиативными, так как способны лишь отсрочить развитие вторичных катаракт, но не радикально предотвратить их. При этом наиболее важными в этих направлениях, по-видимому, следует считать

геометрию переднего капсулорексиса, дальнейшее совершенствование дизайна и материала заднекамерных ИОЛ. Несмотря на то, что вопрос о влиянии материала оптики ИОЛ на создание барьера для центростремительной миграции эпителиоцитов остается открытым, нет сомнений, что этой проблеме и в будущем будет уделяться самое пристальное внимание.

Конфликт интересов: отсутствует.

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

Литература/References

1. *Торопыгин С.Г., Глушкова Е.В.* Вторичные катаракты после внутрикапсульной имплантации интраокулярных линз: патоморфология, патогенез и типы. Сообщение 1. Российский офтальмологический журнал. 2017; 10 (4): 105–12. doi: 10.21516/2072-0076-2017-10-4-105-112.
2. *Toropygin S.G., Glushkova E.V.* Secondary cataracts after in-the-bag intraocular lens implantation: pathomorphology, pathogenesis and types (Part 1). Russian ophthalmological journal. 2017; 10 (4): 105–12. doi: 10.21516/2072-0076-2017-10-4-105-112 (in Russian).
3. *Lindstrom R.L., Harris W.S.* Management of the posterior capsule following posterior chamber lens implantation. Am. Intra-Ocular Implant Soc. J. 1980; 6 (3): 255–8.
4. *Nishi O.* Incidence of posterior capsule opacification in eyes with and without posterior chamber intraocular lenses. J. Cataract Refract. Surg. 1986; 12 (5): 519–22.
5. *Auffarth G.U., Anatkov S., Schmidt B., et al.* Morphologische Analyse der Nachstarentwicklung nach Kataraktoperation und Einfluß des Fixationsverhaltens. In: Duncker G., Ohrloff C., Wilhelm F., eds. Kongress der Deutschsprachigen Gesellschaft fuer Intraokularlinsen Implantation und Refraktive Chirurgie. Sept. 23–25, 1998. Berlin, Springer. — 1998: 298–302. doi: 10.1007/978-3-642-60015-9.
6. *Nagata T., Watanabe I.* Optic sharp edge or convexity: comparison of effects on posterior capsular opacification. Jpn. J. Ophthalmol. 1996; 40 (3): 397–403.
7. *Hoffer K.J.* Posterior chamber lens ridge for prevention of capsule opacification. In: 2nd U.S. Intraocular Lens Symposium. Los Angeles; 1979; April: 12–14.
8. *Nishi O., Nishi K.* Preventing posterior capsule opacification by creating a discontinuous sharp bend in the capsule. J. Cataract Refract. Surg. 1999; 25 (4): 521–6. doi: 10.1016/S0886-3350(99)80049-2.
9. *Nishi O., Nishi K., Akura J., Nagata T.* Effect of round-edged acrylic intraocular lenses on preventing posterior capsule opacification. J. Cataract Refract. Surg. 2001; 27 (4): 608–13. doi: 10.1016/S0886-3350(00)00644-1.
10. *Nishi O., Nishi K., Acuna J.* Speed of capsular bend formation at the optic edge of acrylic, silicone, and poly(methyl methacrylate) lenses. J. Cataract Refract. Surg. 2002; 28(3): 431–7. doi: 10.1016/S0886-3350(01)01094-X.
11. *Nishi O., Nishi K., Osakabe Y.* Effect of intraocular lenses on preventing posterior capsule opacification: design versus material. J. Cataract Refract. Surg. 2004; 30 (10): 2170–6. doi: 10.1016/j.jcrs.2004.05.022.
12. *Nishi O., Nishi K., Sakanishi K.* Inhibition of migrating lens epithelial cells at the capsular bend created by the rectangular optic edge of the posterior chamber intraocular lens. Ophthalmic Surg. Lasers. 1998; 29 (7): 587–94.
13. *Nishi O., Nishi K., Wickstrom K.* Preventing lens epithelial cell migration using intraocular lenses with sharp rectangular edges. J. Cataract Refract. Surg. 2000; 26 (10): 1543–9. doi: 10.1016/S0886-3350(00)00426-0.
14. *Nishi O., Nishi K.* Preventive effect of a second-generation silicone intraocular lens on posterior capsule opacification. J. Cataract Refract. Surg. 2002; 28 (7): 1236–40. doi: 10.1016/S0886-3350(02)01430-X.
15. *Vock L., Menapace R., Stifter E., et al.* Posterior capsule opacification and neodymium: YAG laser capsulotomy rates with a round-edged silicone and a sharp-edged hydrophobic acrylic intraocular lens 10 years after surgery. J. Cataract Refract. Surg. 2009; 35 (3): 459–65. doi: 10.1016/j.jcrs.2008.11.044.
16. *Ravalico G., Tognetto D., Palomba M.A.* Capsulorhexis size and posterior capsule opacification. J. Cataract Refract. Surg. 1996; 22 (1): 98–103. doi: 10.1016/S0886-3350(96)80277-X.
17. *Menapace R., Sacu S., Georgopoulos M., et al.* Efficacy and safety of capsular bending ring implantation to prevent posterior capsule opacification. Three-year results of a randomized clinical trial. J. Cataract Refract. Surg. 2008; 34 (8): 1318–28. doi: 10.1016/j.jcrs.2008.04.034.
18. *Davison J.A.* Inflammatory sequelae with silicone-polypropylene IOLs (letter). J. Cataract Refract. Surg. 1992; 18 (4): 421–2. DOI: 10.1016/S0886-3350(13)80086-7.
19. *Kimura W.* Significance of lens epithelial cell removal. Atarashii Ganka. 1996; 13:1903–7.
20. *Jackson H., Garway-Heath D., Rosen P., et al.* Outcome of cataract surgery in patients with retinitis pigmentosa. Br. J. Ophthalmol. 2001; 85 (8): 936–8. doi: 10.1136/bjo.85.8.936.
21. *Takamura Y., Tomomatsu T., Arimura S., et al.* Anterior capsule contraction and flare intensity in the early stages after cataract surgery in eyes with diabetic retinopathy. J. Cataract Refract. Surg. 2013; 39 (5): 716–21. doi: 10.1016/j.jcrs.2012.12.029.
22. *Nishi O., Nishi K.* Effect of the optic size of a single-piece acrylic intraocular lens on posterior capsule opacification. J. Cataract Refract. Surg. 2003; 29 (2): 348–53. doi: 10.1016/S0886-3350(02)01530-4.
23. *Meacock W.R., Spalton D.J., Boyce J.F., et al.* Effect of optic size on posterior capsule opacification: 5.5 mm versus 6.0 mm AcrySof intraocular lenses. J. Cataract Refract. Surg. 2001; 27 (8): 1194–8. doi: 10.1016/S0886-3350(01)00855-0.
24. *Schmidbauer J.M., Escobar-Gomez M., Apple D.J., et al.* Effect of haptic angulation on posterior capsule opacification in modern foldable lenses with a square, truncated optic edge. J. Cataract Refract. Surg. 2002; 28: 1251–5. doi: 10.1016/S0886-3350(02)01214-2.
25. *Vock L., Georgopoulos M., Neumayer T., et al.* Effect of the hydrophilicity of acrylic intraocular lens material and haptic angulation on anterior capsule opacification. Br. J. Ophthalmol. 2007; 91 (4): 476–80. doi: 10.1136/bjo.2006.103390.
26. *Sterling S., Wood T.O.* Effect of intraocular lens convexity on posterior capsule opacification. J. Cataract Refract. Surg. 1986; 12 (6): 655–7. doi: 10.1016/S0886-3350(86)80080-3.
27. *Yamada K., Nagamoto T., Yozawa H., et al.* Effect of intraocular lens design on posterior capsule opacification after continuous curvilinear capsulorhexis. J. Cataract Refract. Surg. 1995; 21 (6): 697–700. doi: 10.1016/S0886-3350(13)80569-X.
28. *Nishi O., Nishi K., Osakabe Y.* Evaluation of posterior capsule opacification using a new posterior view method in rabbits. Single-piece acrylic versus 3-piece acrylic intraocular lens. J. Cataract Refract. Surg. 2005; 31 (12): 2369–74. doi: 10.1016/j.jcrs.2005.05.031.
29. *Wallin T.R., Hinckley M., Nilson C., Olson R.J.* A clinical comparison of single-piece and three-piece truncated hydrophobic acrylic intraocular lenses. Am. J. Ophthalmol. 2003; 136 (4): 614–9. doi: 10.1016/S0002-9394(03)00418-5.
30. *Mylonas G., Prskavec M., Baradaran-Dilmaghani R., et al.* Effect of a single-piece and a three-piece acrylic sharp-edged IOL on posterior capsule opacification. Curr. Eye Res. 2013; 38 (1): 86–90. doi: 10.3109/02713683.2012.717242.
31. *Nejima R., Miyata K., Honbou M., et al.* A prospective, randomised comparison of single and three piece acrylic foldable intraocular lenses. Br. J. Ophthalmol. 2004; 88 (6): 746–9. doi: 10.1136/bjo.2003.037663.
32. *Sacu S., Findl O., Menapace R., et al.* Comparison of posterior capsule opacification between the 1-piece and 3-piece AcrySof intraocular lenses: two-year results of a randomized trial. Ophthalmology. 2004; 111 (10): 1840–6. doi: 10.1016/j.ophtha.2004.03.028.
33. *Duman R., Karel F., Özyol P., et al.* Effect of four different intraocular lenses on posterior capsule opacification. Int. J. Ophthalmol. 2015; 8 (1): 118–21. doi: 10.3980/j.issn.2222-3959.2015.01.22.
34. *Leydolt C., Davidovic S., Sacu S., et al.* Long-term effect of 1-piece and 3-piece hydrophobic acrylic intraocular lens on posterior capsule opacification: a randomized trial. Ophthalmology. 2007; 114 (9): 1663–9. doi: 10.1016/j.ophtha.2006.12.016.
35. *Zemaitiene R., Jasinskas V., Auffarth G.U.* Influence of three-piece and single-piece designs of two sharp-edge optic hydrophobic acrylic intraocular lenses on the prevention of posterior capsule opacification: a prospective, randomised, long-term clinical trial. Br. J. Ophthalmol. 2007; 91 (5): 644–8. doi: 10.1136/bjo.2006.103648.
36. *Nishi O.* Posterior capsule opacification. Part I: Experimental investigations. J. Cataract Refract. Surg. 1999; 25 (1): 106–17. doi: 10.1016/S0886-3350(99)80020-0.
37. *Nagata T., Minakata A., Watanabe I.* Adhesiveness of AcrySof to a collagen film. J. Cataract Refract. Surg. 1998; 24 (3): 367–70.
38. *Oshika T., Nagata T., Ishii Y.* Adhesion of lens capsule to intraocular lenses of polymethylmethacrylate, silicone, and acrylic foldable materials: an experimental study. Br. J. Ophthalmol. 1998; 82 (5): 549–53. doi: 10.1136/bjo.82.5.549.
39. *Fukuzawa K.* Fundamentals and applications of adhesion. Engineering Materials. 1981; 29: 75–80.
40. *Johnston R.L., Spalton D.J., Hussain A., et al.* In vitro protein adsorption to 2 intraocular lens materials. J. Cataract Refract. Surg. 1999; 25 (8): 1109–15. doi: 10.1016/S0886-3350(99)00137-6.
41. *Linnola R.J., Werner L., Pandey S.K., et al.* Adhesion of fibronectin, vitronectin, laminin, and collagen type IV to intraocular lens materials in pseudophakic human autopsy eyes. Part 1: histological sections. J. Cataract Refract. Surg. 2000; 26 (12): 1792–806. doi: 10.1016/S0886-3350(00)00748-3.
42. *Saika S., Miyamoto T., Ohnishi Y.* Histology of anterior capsule opacification with a poly(HEMA)/HOHEXMA hydrophilic hydrogel intraocular lens compared to poly(methyl methacrylate), silicone, and acrylic lenses. J. Cataract Refract. Surg. 2003; 29 (6): 1198–203. doi: 10.1016/S0886-3350(02)01988-0.

42. Yoshida S., Nakamura M., Obara Y., Meya C. Postoperative visual function of eyes with implanted foldable IOL (for small incision). *Jpn. J. Cataract Refract. Surg.* 1996; 10: 32–6.
43. Huang Y., Bertrand V., Bozukova D. RGD surface functionalization of the hydrophilic acrylic intraocular lens Material to control posterior capsular opacification. *PLoS One.* 2014; 9 (12). Available at: <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0114973> doi: 10.1371/journal.pone.0114973.
44. Schauersberger J., Amon M., Kruger A., et al. Comparison of the biocompatibility of 2 foldable intraocular lenses with sharp optic edges. *J. Cataract Refract. Surg.* 2001; 27: 1579–85. doi: 10.1016/S0886-3350(01)01019-7.
45. Kruger A.J., Schauersberger J., Abela C., et al. Two year results: sharp versus rounded optic edges on silicone lenses. *J. Cataract Refract. Surg.* 2000; 26 (4): 566–70. doi: 10.1016/S0886-3350(00)00323-0.
46. Buehl W., Findl O., Menapace R., et al. Effect of an acrylic intraocular lens with sharp posterior optic edge on posterior capsule opacification. *J. Cataract Refract. Surg.* 2002; 28 (7): 1105–11. doi: 10.1016/S0886-3350(02)01371-8.
47. Пахтаев Н.П., Шленская О.В., Поздеева Н.А. и др. Отечественные эластичные интраокулярные линзы для хирургии малых разрезов. Вестник Оренбургского государственного университета. 2004; 5: 20–3. Pashtaev N.P., Shlenskaya O.V., Pozdeeva N.A., et al. Native elastic intraocular lenses for surgery of small incisions. *Vestnik Orenburgskogo universiteta.* 2004; 5: 20–3 (in Russian).
48. Nishi O., Nishi K., Menapace R. Capsule-bending ring for the prevention of capsular opacification: a preliminary report. *Ophthalmic Surg. Lasers.* 1998; 29 (9): 749–53.
49. Hara T., Hara T., Yamada Y. “Equator ring” for maintenance of the completely circular contour of the capsular bag equator after cataract removal. *Ophthalmic Surg.* 1991; 22 (6): 358–9.
50. Nagamoto T., Bissen-Miyajima H. A ring to support the capsular bag after continuous curvilinear capsulorhexis. *J. Cataract Refract. Surg.* 1994; 20 (4): 417–20. doi: 10.1016/S0886-3350(13)80177-0.
51. Menapace R., Findl O., Georgopoulos M., et al. The capsular tension ring: designs, applications, and techniques. *J. Cataract Refract. Surg.* 2000; 26 (6): 898–912. doi: 10.1016/S0886-3350(00)00446-6.
52. Alon R., Assia E.I., Kleinmann G. Prevention of posterior capsular opacification by an intraocular open capsule device. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2014; 55 (7): 4005–13. doi: 10.1167/iovs.14-14364.
53. Leishman L., Werner L., Bodnar Z., et al. Prevention of capsular bag opacification with a modified hydrophilic acrylic disk-shaped intraocular lens. *J. Cataract Refract. Surg.* 2012; 38 (9): 1664–70. doi: 10.1016/j.jcrs.2012.04.040.
54. Rahman R., Briffa B.V., Gupta A., Chinn D.J. Factors contributing to posterior capsule opacification following 23-gauge transconjunctival phacovitrectomy. *Ophthalmic Surg. Lasers Imaging.* 2011; 42 (3): 229–33. doi: 10.3928/15428877-20110420-02.

Поступила: 03.02.2017

Secondary cataracts after in-the-bag intraocular lens implantation: risk factors and ways of prevention. Part 2

S.G. Toropygin — MD, Dr. Med. Sci., assistant professor, head of the chair of ophthalmology
E.V. Glushkova — assistant professor, the chair of ophthalmology

Tver State Medical University, 4, Sovetskaya St., Tver, 170100, Russia
doctorop@mail.ru

In the second part of review (see Part 1 in ROJ, 2017, issue 4), secondary cataracts' risk factors and ways of prevention of epithelial cells migration within the capsular bag are updated.

Keywords: secondary cataract, posterior capsule opacification, anterior capsule opacification, cataract surgery, intraocular lens materials, intraocular lens design, capsular tension ring, Nd:YAG laser posterior capsulotomy.

For citation: Toropygin S.G., Glushkova E.V. Secondary cataracts after in-the-bag intraocular lens implantation: risk factors and ways of prevention. Part 2. *Russian ophthalmological journal.* 2018; 11 (1): 103–110. doi: 10.21516/2072-0076-2018-11-1-103-110 (In Russian).

Conflict of interests: there is no conflict of interests.

Financial disclosure: No author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

Для контактов: Торопыгин Сергей Григорьевич
E-mail: doctorop@mail.ru