

Обзор
УДК 617.741-004.11
doi: 10.25276/0235-4160-2022-4-74-84

Синдром девиации инфузионных потоков: современное состояние вопроса

Е.В. Егорова¹, И.С. Ребриков²

¹НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Новосибирский филиал

²Екатеринбургский центр МНТК «Микрохирургия глаза», Екатеринбург

РЕФЕРАТ

Актуальность. Несмотря на непрерывное совершенствование хирургической техники хирургии катаракты недостаточно изученным остается вопрос патологического распространения инфузионного раствора в задней камере глаза и витреальной полости, известное как синдром девиации инфузионных потоков (СДИП). **Цель.** Систематизировать информацию, касающуюся развития синдрома девиации инфузионных потоков, определить пробелы в знаниях и нерешенные проблемы в отношении профилактики данного состояния. **Материал и методы.** Для поиска источников информации по заданной проблеме использовалась платформа PubMed. Поиск был выполнен по следующим ключевым словам: infusion misdirection syndrome, aqueous misdirection syndrome, intraoperative fluid misdirection syndrome, subcapsular fluid entrapment, acute intraoperative rock-hard eye syndrome – за период с 1992 по 2022 г. Поисковый запрос выдал 167 статей, из которых к настоящей теме относились 10 статей. Дальнейший поиск источников литературы осуществлялся через открытую интернет-библиотеку научной информации Sci-hub. **Результаты.** Несмотря на то, что впервые СДИП был описан R. Mackool в 1993 г., на сегодняшний день не существует общепринятой терминологии, касающейся развития схо-

жих интраоперационных состояний. Авторы данного обзора придерживаются мнения, что этиологически СДИП связан с иридо-зонулярной недостаточностью и структурными нарушениями витреолентикулярного интерфейса (ВЛИ). Проявлениями СДИП являются обнаружение хрусталикового детрита в ретролентальном пространстве, гидратация передних отделов стекловидного тела и развитие синдрома «каменного глаза» (acute intraoperative rock-hard eye syndrome). При интактном капсульном мешке ключевым фактором в затекании ирригационных растворов в заднюю камеру и витреальную полость может являться несостоятельность волокон Цинновой связки. Важным аспектом, связанным с развитием СДИП, является нарушение структур ВЛИ. Такие изменения ВЛИ, как отслойка передней гиалиоидной мембраны и деструкция связки Вигера, могут определяться до операции. Повреждения структур ВЛИ, развивающиеся в ходе факоэмульсификации, вызваны чрезмерным повышением ВГД и его перепадами. **Заключение.** Развитие СДИП – малоизученная проблема, разработка клинического алгоритма профилактики развития СДИП является актуальным направлением дальнейшей исследовательской деятельности.

Ключевые слова: синдром девиации инфузионных потоков, факоэмульсификация, иридо-зонулярная недостаточность, витреолентикулярный интерфейс ■

Для цитирования: Егорова Е.В., Ребриков И.С. Синдром девиации инфузионных потоков: современное состояние вопроса. Офтальмохирургия. 2022;4: 74–84. doi: 10.25276/0235-4160-2022-4-74-84

Автор, ответственный за переписку: Игорь Сергеевич Ребриков, igor.augenarzt@gmail.com

ABSTRACT

Review

Infusion misdirection syndrome: current state of issue

E.V. Egorova¹, I.S. Rebrikov²

¹The S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Novosibirsk Branch, Novosibirsk, Russian Federation

²Ekatereburg Center «Eye Microsurgery», Ekaterinburg, Russian Federation

Relevance. Description of the infusion misdirection syndrome (IMS) was first published by R. Mackool in 1993. Nowadays many definitions of this syndrome are used by different authors that sometimes leads to confusion in understanding of clinical situations. **Purpose.** To summarize current understanding of the etiological factors, the specific pathogenic mechanisms of the infusion misdirection syndrome and possible treatment

and prophylaxis methods of this condition. **Material and methods.** The PubMed web platform was used to find relevant studies since 1992 until 2022 using the following keywords: infusion misdirection syndrome, aqueous misdirection syndrome, intraoperative fluid misdirection syndrome, subcapsular fluid entrapment, acute intraoperative rock-hard eye syndrome. Search query found 167 papers, only 10 papers were

relevant for the topic of search. Other publications were also considered as a potential source of information when referenced in relevant articles.

Results. Authors of this article support the opinion that IMS etiologically relates to irido-zonular dehiscence and disturbance of the vitreolenticular interface barrier. Manifestations of the IMS include retrocapsular lens fragments migration after uneventful phacoemulsification with intact capsular bag and vitreous hydration. The most severe IMS consequence is the acute intraoperative rock-hard eye syndrome. In intact capsules the zonular dehiscence may enable fluid to flow in an unusual pattern,

facilitating its penetration to the posterior chamber. The role of vitreolenticular interface should be mentioned in the aspect of the IMS. Anterior hyaloid membrane detachment or Wieger's ligament destruction are risk factors for IMS development during phacoemulsification. **Conclusion.** IMS is the object of insufficient research in ophthalmology nowadays. There are many descriptions of IMS in literature, but no solutions to avoid this hidden complication of cataract surgery are proposed.

Key words: *infusion misdirection syndrome, phacoemulsification, irido-zonular dehiscence, vitreolenticular interface* ■

For quoting: Egorova E.V., Rebrikov I.S. Infusion misdirection syndrome: the current state of the issue. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery*. 2022;4: 74–84. doi: 10.25276/0235-4160-2022-4-74-84

Corresponding author: Igor' S. Rebrikov, igor.augenarzt@gmail.com

АКТУАЛЬНОСТЬ

Хирургия катаракты – ведущая отрасль офтальмохирургии как по объемам вмешательств, так и по технологичности хирургии. По данным ВОЗ, ежегодно выполняется около 18 млн операций удаления катаракты по всему миру, и эксперты прогнозируют увеличение хирургической активности в данной сфере [1]. За последние десятилетия катарактальная хирургия из операции по восстановлению зрения перешла в разряд рефракционной хирургии. Актуальным остается вопрос коррекции пресбиопии с помощью замены хрусталика, в том числе прозрачного [2, 3]. Высокий функциональный результат и небольшая частота осложнений расширяют показания к хирургии хрусталика у пациентов с исходно высокой остротой зрения. Несмотря на непрерывное совершенствование хирургической техники, в хирургии катаракты остаются нерешенным ряд проблем, одной из которых является патологическое распространение инфузионного раствора в задней камере глаза и витреальной полости, известное как синдром девиации инфузионных потоков.

ЦЕЛЬ

Систематизировать информацию, касающуюся развития синдрома девиации инфузионных потоков и сопутствующих состояний, являющихся факторами риска для развития данного синдрома; определить пробелы в знаниях и нерешенные проблемы в отношении профилактики данного состояния.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для поиска источников информации по заданной проблеме использовалась платформа PubMed. Поиск был выполнен по следующим ключевым словам: infusion

misdirection syndrome, aqueous misdirection syndrome, intraoperative fluid misdirection syndrome, subcapsular fluid entrapment, acute intraoperative rock-hard eye syndrome – за период с 1992 по 2022 г. Поисковый запрос выдал 167 статей, из которых к настоящей теме относились 10 статей. Из найденных работ были выделены этиологические факторы, патогенетические механизмы, клинические проявления, способы лечения и пути профилактики развития синдрома девиации инфузионных потоков. Дальнейший поиск источников литературы осуществлялся через открытую интернет-библиотеку научной информации Sci-hub.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Терминология

Синдром девиации инфузионных потоков (infusion misdirection syndrome) (СДИП) впервые был описан R. Mackool в 1993 г. [4]. Данное состояние характеризовалось критическим прогрессирующим уменьшением глубины передней камеры в ходе факоэмульсификации. Также подобное состояние было описано R.J. Olson при выполнении сквозной кератопластики в сочетании с экстракапсулярной экстракцией катаракты (2 случая) и факоэмульсификации (3 случая) [5]. R.J. Olson использовал термин subcapsular fluid entrapment для описания данного синдрома.

На сегодняшний день не существует общепринятой терминологии, касающейся развития схожих интраоперационных состояний в ходе хирургии хрусталика. Описывая синдром девиации инфузионных потоков, авторы применяют такие термины, как infusion misdirection syndrome [4], aqueous misdirection syndrome [6], ciliovitreal block, ciliary block, intraoperative fluid misdirection syndrome, subcapsular fluid entrapment [5], acute intraoperative rock-hard eye syndrome [7], positive pressure [8].

В литературном обзоре, посвященном СДИП, A. Grzybowski выделяет острую и хроническую формы

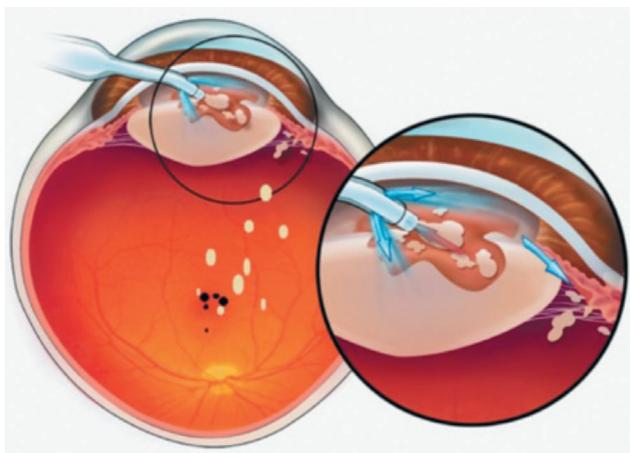


Рис. 1. Механизм развития синдрома девиации инфузионных потоков [Источник: Koplín R, Ritterband D, Dodick J, Donnenfeld E. Improving fluid dynamics in laser cataract surgery. *Cataract Surgery Today*. 2019;4: 30–32.]

Fig. 1. Infusion misdirection syndrome pathogenesis [From: Koplín R, Ritterband D, Dodick J, Donnenfeld E. Improving fluid dynamics in laser cataract surgery. *Cataract Surgery Today*. 2019;4: 30–32.]

данного синдрома и даёт следующее определение острому состоянию. СДИП – это редкое клиническое состояние, характеризующееся прогрессирующим уменьшением глубины передней камеры в ходе вмешательства и резким повышением внутриглазного давления (ВГД), включающее супрахориоидальную эффузию и кровоизлияние, развивающееся при отсутствии значимой патологии со стороны иридо-хрусталиковой диафрагмы [9]. Как правило, данное состояние развивается в ходе неосложненной хирургии катаракты, преимущественно на глазах с гиперметропической рефракцией, т.е. короткой аксиальной длиной глаза. Чаще всего проявления СДИП возникают на завершающем этапе аспирации кортикальных масс хрусталика при использовании автоматизированных систем иригации-аспирации, в результате чего введение когезивного вискоэластика в переднюю камеру для поддержания её объёма становится малоэффективным, что затрудняет выполнение имплантации ИОЛ. Патогенез остро возникающего синдрома связан со скоплением жидкости в ретролентальном пространстве и витреальной полости, вызывающим повышение давления со стороны стекловидного тела, что в свою очередь приводит к смещению иридо-хрусталиковой диафрагмы вперёд и критическому уменьшению глубины передней камеры. Для описания данного состояния используется термин синдром «каменного глаза» (acute intraoperative rock-hard eye syndrome) [7]. Хроническая форма СДИП развивается после проведения оперативного вмешательства в сроки от нескольких часов до нескольких лет и представляет собой различные проявления злокачественной глаукомы [9].

Стоит внести уточнения в терминологию СДИП. Авторами настоящего обзора СДИП рассматривается как бо-

лее широкое понятие, связанное с патологическим распространением инфузионного раствора в задней камере и ретролентальном пространстве интраоперационно, этиологически обусловленное иридо-зонулярной недостаточностью и структурными нарушениями витреолентикулярного интерфейса (ВЛИ), крайним проявлением данного состояния является описанный выше синдром «каменного глаза» (рис. 1). Поскольку основными этиологическими факторами СДИП являются иридо-зонулярная недостаточность и нарушения ВЛИ, далее будут рассмотрены патологические состояния связочного аппарата хрусталика и ВЛИ, а также будет оценена роль структурных изменений радужки в патологическом распространении инфузионного раствора в задней камере глаза.

Проявления СДИП и хирургическая тактика

Одним из проявлений СДИП является обнаружение мелких хрусталиковых фрагментов за задней капсулой при сохранении целостности капсульного мешка. Как правило, данное явление отмечается после этапа удаления ядра хрусталика. А. Ang отмечает наличие хрусталикового детрита за задней капсулой в 16,6% случаев (исследуемая группа – 506 глаз) при неосложненной хирургии катаракты [10]. Авторы определили взаимосвязь между частотой встречаемости данного явления с более высоким значением ЕРТ (Equivalent Phaco Time) и большей плотностью катаракты. А.В. Кам выявил посторонние включения в ретролентальном пространстве у 46,5% пациентов (исследуемая группа – 767 глаз) при неосложненной хирургии катаракты [11]. В 2 случаях наличие хрусталикового материала в передних отделах стекловидного тела было подтверждено гистологически. Авторы выделяют возраст пациента и степень плотности катаракты как факторы, влияющие на частоту встречаемости хрусталикового детрита. В.В. Потёмкин, анализируя результаты хирургии катаракты при псевдоэкзофалиативном синдроме (ПЭС), отмечает наличие хрусталиковых фрагментов в ретролентальном пространстве при неосложненной хирургии катаракты у 16,9% пациентов с ПЭС и у 6% пациентов без данного сопутствующего патологического состояния [12]. Авторы расценивают наличие хрусталикового детрита ретролентально при сохранности целостности капсульного мешка как маркер слабости связочно-капсульного аппарата хрусталика.

Распространение ирригационного раствора через волокна Цинновой связки может привести к развитию такого осложнения, как гидратация передних отделов стекловидного тела [13]. Одним из проявлений гидратации передних отделов стекловидного тела является обнаружение хрусталиковых фрагментов в ретролентальном пространстве и витреальной полости при сохранности целостности капсульного мешка [14]. Стоит отметить, что гидратация стекловидного тела является одним из звеньев в патогенезе синдрома «каменного глаза».

Также наличие хрусталикового детрита в ретролентальном пространстве в сочетании с симптомом «патологической подвижности» задней капсулы может свидетельствовать о наличии отслойки передней гиалоидной мембраны (ПГМ) и деструкции связки Вигера, что может быть подтверждено интраоперационной оптической когерентной томографией (ОКТ) [15, 16, 17]. Данное состояние увеличивает риск разрыва задней капсулы. Высокая частота встречаемости хрусталиковых фрагментов позади задней капсулы при неосложненной хирургии катаракты свидетельствует о том, что эта проблема остаётся актуальной. Влияние наличия хрусталикового детрита в ретролентальном пространстве на функциональные результаты хирургии, степень выраженности воспалительной реакции в послеоперационном периоде и частоту послеоперационных осложнений мало изучено. Методы устранения данного осложнения хирургии катаракты в литературе не представлены. Поэтому разработка технологии эвакуации хрусталикового детрита из ретролентального пространства и методов профилактики развития СДИП являются предметом дальнейших исследований.

Крайним проявлением СДИП является развитие т.н. синдрома «каменного глаза» (*acute intraoperative rock-hard eye syndrome*) [7, 13]. Клиническая картина данного синдрома описана выше в разделе «Терминология». В обзоре A. Grzybowski представлено описание порядка 20 случаев развития синдрома «каменного глаза», причем большая часть работ опубликована в период с 2010 по 2016 г., т.е. в эру фактоэмульсификации [9]. Это может свидетельствовать о влиянии особенностей гидродинамики фактоэмульсификации на патологическое распространение ирригационного раствора в задней камере глаза и его накопление в ретролентальном пространстве и витреальной полости. Синдром «каменного глаза» затрудняет завершение оперативного вмешательства, в том числе этап имплантации ИОЛ вследствие критического уменьшения глубины передней камеры, смещения иридо-хрусталиковой диафрагмы вперед и чрезмерного повышения ВГД. Наибольшее число случаев данного состояния (6 пациентов) представлены O.C. Lau [7]. В 4 случаях данный синдром был ассоциирован с плотными (бурыми) катарактами. Также к факторам риска развития синдрома «каменного глаза» относят глаза с короткой аксиальной длиной, предшествующей хирургией в анамнезе (хирургия глаукомы, витреоретинальная хирургия), наличием признаков нарушения связочного аппарата хрусталика (инволюционный и травматический подвывих хрусталика, псевдоэкзофолиативный синдром (ПЭС), врожденные нарушения связочно-капсульного аппарата хрусталика (СКАХ), пигментный ретинит) [4, 9, 13].

Одной из предложенных техник устранения данного осложнения является технология *vitreous tap*, заключающаяся в аспирации ирригационного раствора и жидкой части стекловидного тела путём введения аспираци-

онной иглы 23–27 Ga через плоскую часть цилиарного тела в 3–3,5 мм от хирургического лимба [7, 18]. Аспирация выполняется пассивно за счёт того, что игла подсоединяется к инсулиновому шприцу без поршня. Аспирируется около 0,2 мл жидкой части стекловидного тела вместе со скопившимся в витреальной полости инфузионным раствором. В результате данной манипуляции в большинстве случаев отмечается нормализация ВГД и углубление передней камеры. Недостатками данной техники являются риск возникновения витреоретинальной тракции, кровоизлияния в полости стекловидного тела, разрыва и отслойки сетчатки. Применение предложенной техники будет эффективно только в случае попадания аспирационной иглы в лауну витреальной полости [18]. Также следует избегать применения технологии *vitreous tap* у молодых пациентов, поскольку пассивная аспирация стекловидного тела возможна только в случае его разжижения, что встречается у возрастных пациентов на фоне инволюционных процессов. Представленные O.C. Lau результаты применения данной техники у 6 пациентов с синдромом «каменного глаза» говорят о её эффективности и безопасности. Однако у одного пациента в послеоперационном периоде наблюдался гемотальм, саморазрешившийся без назначения консервативной терапии [7].

Для устранения синдрома «каменного глаза» D. Chang и K.V. Chalam предложена техника однопортовой селективной 20–25 Ga витрэктомии без подачи инфузионного раствора с высокой частотой резов и низким уровнем вакуума [19, 20]. Основным преимуществом выполнения дозированной (ограниченной) витрэктомии является устранение витреоретинальных тракций и снижение риска формирования ретинального разрыва. Ограничением применения данной технологии является необходимость использования дополнительного оборудования, которое доступно не всем, а также владение навыком выполнения склеротомии для установки порта. Удаление слишком большого объёма стекловидного тела может привести к противоположной ситуации чрезмерного углубления передней камеры и сопутствующим трудностям выполнения фактоэмульсификации, поэтому витрэктомия должна выполняться ограниченно. Ещё одним недостатком данной техники является необходимость наложения шва на склеротомический доступ для профилактики гипотонии и инфекционных осложнений в послеоперационном периоде [18]. Таким образом, выполнение однопортовой селективной витрэктомии для устранения синдрома «каменного глаза» является эффективной и безопасной технологией при наличии необходимого оборудования и мануальных навыков выполнения задней витрэктомии.

Методов интраоперационной профилактики развития синдрома «каменного глаза» в литературе не описано. Учитывая, что синдром «каменного глаза» является крайней степенью проявления СДИП и требует немедленного принятия решения о способе его устра-

нения, разработка мер интраоперационной профилактики развития СДИП остаётся особенно актуальной.

Несостоятельность СКАХ

При интактном капсульном мешке ключевым фактором в затекании ирригационных растворов в заднюю камеру и витреальную полость может являться несостоятельность волокон Цинновой связки. Этим объясняется развитие СДИП у пациентов с наличием ПЭС, бурых, перерезанных катаракт, микросферофакии [4].

Несостоятельность СКАХ может быть обусловлена рядом факторов: возраст пациента [21], ПЭС [12], системные заболевания соединительной ткани (синдром Марфана) [22], пигментный ретинит [23], витреоретинальная хирургия в анамнезе [24], состояние после лазерной иридотомии [25], травма глаза [26]. Одной из наиболее распространенных причин слабости волокон Цинновой связки является ПЭС.

ПЭС – это системный возраст-ассоциированный эластоз, характеризующийся избыточной продукцией патологического внеклеточного материала, накапливающегося в структурах переднего отрезка глаза и других экстраокулярных тканях [27]. Патологический материал откладывается на капсуле хрусталика, зрачковом крае радужки, цилиарном теле, зонулярных волокнах, роговичном эндотелии и структурах угла передней камеры [28]. Наличие данного синдрома ассоциировано с развитием глаукомы, катаракты, ослабленной реакцией зрачка на мидриатики, слабостью волокон Цинновой связки [29, 30, 31]. Хирургия катаракты на фоне ПЭС имеет повышенные риски как интраоперационных, так и послеоперационных осложнений [32, 33, 34]. ПЭС, являясь прогрессирующей зонулопатией, приводит к разрушению волокон Цинновой связки, изменению эластичности капсульного мешка, истончению задней капсулы, что повышает риски таких осложнений, как пролапс стекловидного тела в переднюю камеру, зонулодиализ, разрыв задней капсулы и смещение фрагментов хрусталика в витреальную полость [35, 36, 37]. Среди послеоперационных осложнений в раннем послеоперационном периоде наиболее часто встречаются транзиторная офтальмогипертензия, воспалительная реакция, роговичная реакция [38]. Поздние послеоперационные осложнения включают в себя развитие вторичной катаракты, контракционный синдром (фимоз) капсульного мешка, дислокации комплекса ИОЛ-капсульный мешок [39, 40, 41, 42]. Также стоит отметить, что при ПЭС патологические процессы распространяются и на ВЛИ, что приводит к деструкции связки Вигера и нарушению адгезии ПГМ к периферической зоне хрусталика. Данные патологические изменения со стороны ВЛИ могут способствовать миграции частиц хрусталика в ретролентальное пространство в интраоперационном периоде при факоэмульсификации [43].

Слабость СКАХ может быть определена на предоперационном обследовании для определения корректной хирургической тактики и составления плана хирургиче-

ского лечения с учётом предотвращения возможных осложнений [35]. Дооперационными признаками СКАХ являются асимметрия глубины передней камеры, иридодолез, факодонез, измененное положение хрусталика [32, 44]. Также степень нарушения СКАХ можно оценить по данным ультразвуковой биомикроскопии [45, 46]. В ряде случаев слабость СКАХ выявляется только интраоперационно. В таком случае может отмечаться чрезмерное углубление передней камеры после введения вискоэластика, флюктуация хрусталика и появление складок передней капсулы при выполнении первичного вскрытия передней капсулы и капсулорексиса [47, 48].

Роль витреолентиккулярного интерфейса в развитии СДИП

Одним из важных аспектов, связанных с развитием СДИП, является нарушение целостности барьера задняя камера – передняя гиалоидная мембрана, присутствующее до вмешательства вследствие инволюционных процессов, либо происходящее в ходе факоэмульсификации.

ВЛИ – это соприкосновение и взаимодействие сложноорганизованных структур: СКАХ и ПГМ [49]. ВЛИ, являясь связующим звеном между передним и задним отрезками глаза, представляет собой барьер, отграничивающий витреальную полость и передний отрезок глаза. Согласно классическим представлениям, ВЛИ образован задней капсулой хрусталика спереди и ПГМ сзади, между которыми имеется щелевидное пространство Бергера, ограниченное кольцом гиалоидно-капсулярной адгезии (связкой Вигера). По периферии от пространства Бергера щелевидный Петитов канал разделяет волокна ресничной связки и ПГМ. Наружный край связки Вигера называется линией Этгера и имеет диаметр 8–9 мм. В функциональном плане ВЛИ выполняет роль барьера между полостью стекловидного тела и передним отрезком глаза, обеспечивающего анатомическую и химическую сохранность этих отделов и участвующего в регуляции внутриглазного биохимического баланса. Также нельзя не отметить каркасную функцию ВЛИ. Благодаря наличию тесной связи между ПГМ и СКАХ, ВЛИ осуществляет модуляцию напряжения зонулярных волокон и определяет подвижность передних кортикальных слоев стекловидного тела, что вносит определенный вклад в гидродинамику глаза [50, 51]. Также рядом авторов обсуждается роль ВЛИ в качестве жидкого интерфейса в механизме аккомодации [52, 53].

Изменения ВЛИ в ходе факоэмульсификации и влияние повышения ВГД на состояние структур ВЛИ *in vitro* были рассмотрены в работах Sh. Kawasaki, T. Suzuki и соавт. [54, 55]. Применялись различные техники факоэмульсификации с гидродиссекцией и без, с использованием различных параметров (высота бутылки BSS (сбалансированный солевой раствор) на энуклеированных свиных глазах. Визуализация структур выполнялась с использованием техники Miyake-Apple view и модифицированной техники визуализации изменений в задней камере side-view.

В бутылку с BSS вводилось контрастное вещество гадопентиновая кислота (Gd-DTPA) либо флуоресцеин с целью визуализации распространения ирригационного раствора. При введении Gd-DTPA для отслеживания распространения ирригационных потоков использовалась магнитно-резонансная томография (МРТ) с контрастированием. На основании проведенных экспериментальных исследований были сделаны следующие выводы: повышение и/или перепады внутриглазного давления (ВГД) в ходе вмешательства, в том числе связанные с введением вискоэластиков с высоким молекулярным весом, могут привести к разрушению структур ВЛИ. Были выявлены следующие типы патологического распространения ирригационного раствора: связанный с разрывом ПГМ и развивающийся вследствие отслойки ПГМ. Причём разрыв ПГМ, как правило, происходил в месте прикрепления связки Вигера к задней капсуле хрусталика. Авторы связывают данные изменения ВЛИ с выполнением гидродиссекции, сопровождающейся значительным повышением ВГД. В то же время авторы связывают возникновение отслойки ПГМ с длительной ирригацией и перепадами ВГД, вызванными коллапсом передней камеры.

Первым возможностью индуцирования отслойки ПГМ *in vitro* продемонстрировал G. Wiegert, описав отделение гиалоидо-капсулярной связки от задней капсулы в эксперименте [56]. Возможность индуцировать отслойку ПГМ путём повышения ВГД известна по ряду работ. T. Ikeda сообщил о случае устранения ретроленткулярного кровоизлияния путём введения инфузионного раствора в переднюю камеру и повышения ВГД, за счёт этого происходила отслойка ПГМ и была удалена кровь из ретролентального пространства [57]. R. Menarase отмечает, что для безопасного выполнения заднего капсулорексиса в мануальном исполнении либо фемтосекундным лазером ключевым моментом является наличие отслойки ПГМ [58]. Это очень важно для сохранения целостности ПГМ и предотвращения пролапса СТ при выполнении прокола (первичного разрыва) задней капсулы. Авторы отмечают, что признаками наличия отслойки ПГМ является обнаружение мелких хрусталиковых фрагментов позади задней капсулы после выполнения фактоэмульсификации. При отсутствии отслойки ПГМ применяется техника трансузулярной капсуло-гиалоидной гидросепарации, заключающаяся в введении инфузионного раствора под радужку через волокна Цинновой связки за хрусталик [16]. Данная манипуляция выполняется после этапов фактоэмульсификации. Авторы отмечают появление линии гидросепарации за задней капсулой. Возникающая при этом повышенная подвижность задней капсулы, формирование складок задней капсулы и появление движения микрочастиц вместе с ирригационным раствором за задней капсулой являются признаками отслойки ПГМ. При планировании выполнения фемтосекундной лазерной задней капсулотомии предложенная техника может быть дополнена применением триамцинолона для лучшей визуализации ПГМ при выполнении

интраоперационной ОКТ, интегрированной в платформу фемтосекундного лазера.

Несмотря на первые описания ретролентального пространства, ограниченного циркулярной связкой, относящиеся к XIX в., на сегодняшний день получено не так много данных об анатомических особенностях витреолентиккулярного интерфейса (ВЛИ) и его изменениях при патологических состояниях и после оперативного вмешательства. Сложности визуализации ретролентиккулярных структур связаны с анатомическими особенностями расположения и их высокой оптической прозрачностью [59]. К тому же стоит отметить, что G. Wiegert и E. Berger описали ретролентальное пространство при диссекции изолированных глаз с увеитом в анамнезе [56, 60]. До сих пор пространство Бергера условно считается «виртуальным», поскольку его визуализация при нативном хрусталике крайне затруднительна. Возникает предположение, что ретролентальное пространство возможно визуализировать только у возрастных пациентов, пациентов с высокой миопией и сопутствующими заболеваниями глаз [61].

Настоящий прорыв в визуализации ВЛИ произошёл с внедрением интраоперационной ОКТ, позволяющей оценить состояние ретролентиккулярных структур после фактоэмульсификации, когда капсульный мешок в отсутствие хрусталика становится более мобильным, а задняя капсула смещается вперед. Применение интраоперационной ОКТ позволило M.J. Tassignon исследовать *in vivo* анатомию ВЛИ и подтвердить классические представления о пространстве Бергера [62]. Также описана возможность применения ОКТ, интегрированной в платформу фемтосекундного лазера, для визуализации структур ВЛИ непосредственно после выполнения фактоэмульсификации и имплантации ИОЛ [63, 64]. Ограничением, связанным с применением интраоперационной ОКТ, является то, что исследование выполняется в положении лежа. К тому же интраоперационная ОКТ фиксирует анатомические взаимоотношения различных структур в динамичном состоянии глаза, т.е. при свободном капсульном мешке без хрусталика и ИОЛ, заполненном определенным объёмом вискоэластика, при негерметичной передней камере, также заполненной вискоэластиком. Всё это вносит определенные поправки в получаемые результаты визуализации структур ВЛИ. Стоит отметить, что анатомические взаимоотношения могут несколько изменяться в положении пациента сидя и статичном положении глаза, т.е. при герметичной передней камере и отсутствии дополнительных растворов (вискоэластика) в передней камере и капсульном мешке.

В работе Н.С. Анисимовой и соавт., посвященной визуализации передней отслойки стекловидного тела с использованием интраоперационной ОКТ, описаны 16 случаев выявления инородных включений в пространстве Бергера, в 13 случаях авторы дифференцировали данные включения как мелкие хрусталиковые фрагменты, у одного пациента были отмечены включе-

ния клеточных элементов крови вследствие кровотечения из радужки при имплантации зрачкового кольца Малугина, в двух случаях включения являлись частицами суспензии триамцинолона, который ранее был введен в переднюю камеру для визуального контроля пролапса стекловидного тела [15]. Также по данным интраоперационной ОКТ было подтверждено наличие отслойки передней гиалоидной мембраны. Наличие данных включений в пространстве Бергера было подтверждено на 1-е сутки после операции по данным ОКТ переднего отрезка. Авторы считают, что миграция фрагментов хрусталикового вещества и других инородных включений в ходе факоемульсификации связана с развитием синдрома девиации инфузионных потоков вследствие отслойки передней гиалоидной мембраны, деструкции связки Вигера, скомпрометированных волокон Цинновой связки. Также авторы отмечают, что деструкция связки Вигера может служить фактором, повышающим риск разрыва задней капсулы, поскольку связана с повышенной подвижностью задней капсулы и более высокой вероятностью аспирации задней капсулы на различных этапах факоемульсификации.

При оценке состояния ВЛИ после выполнения факоемульсификации, в том числе на фоне псевдоэксфолиативного синдрома, в раннем и позднем послеоперационном периоде по данным ОКТ переднего отрезка Е.В. Егоровой были выделены 3 типа ВЛИ [14]. При 3 типе ВЛИ, связанном с выраженными инволюционными изменениями структур ВЛИ, в ряде случаев определялись хрусталиковый детрит в ретролентальном пространстве и гидратация передних отделов стекловидного тела. Авторы объясняют данное явление девиацией ирригационных потоков в ходе факоемульсификации.

При использовании Swert-Source ОКТ для оценки состояния ретролентальных структур после выполнения неосложненной факоемульсификации пространство Бергера удалось визуализировать в 19,7% случаев (44 глаза) [65]. Авторы обращают внимание на неравномерность ретролентального пространства после факоемульсификации с увеличением его ширины в нижнем секторе. Наибольшая ширина ретролентального пространства отмечалась в секторе, противоположном основному роговичному доступу. Авторы предполагают, что неравномерность пространства Бергера после факоемульсификации может свидетельствовать о частичном нарушении связки Вигера в этой зоне, а наибольшее расширение ретролентального пространства в секторе, противоположном основному роговичному доступу, связано с избыточными ирригационными потоками от ультразвукового наконечника.

Таким образом, состояние ВЛИ является одним из определяющих факторов в развитии СДИП. Визуализация структур ВЛИ остаётся затруднительной, несмотря на совершенствование технологий визуализации, а интерпретация получаемых результатов имеет большую степень субъективности и вариабельности. Важность

сохранения целостности структур ВЛИ требует уменьшения хирургического стресса на СКАХ путём снижения ирригационной нагрузки на волокна Цинновой связки и выполнения основных этапов факоемульсификации в условиях, приближенных к нормоофтальмотонусу.

Структурные изменения радужки

Волокна Цинновой связки способны пропускать жидкость даже в той ситуации, когда ресничный пояс не поврежден вследствие травматического воздействия или патологического процесса (ПЭС). Одним из барьеров, ограничивающим избыточные ирригационные потоки через волокна Цинновой связки, является радужка в состоянии медикаментозного мидриаза [13]. При структурных изменениях радужки, атонии дилататора зрачка, вызванных инволюционными изменениями, ПЭС, приёмом определенных групп медикаментов, барьерная функция радужки в ходе факоемульсификации нарушается, что приводит к возникновению СДИП. R. Bellucci отмечает, что данное состояние чаще развивается у пациентов с ПЭС, высокой миопией, витректомией в анамнезе [13]. Также автор отмечает влияние скорости инфузионного потока в передней камере на объём жидкости, проникающей через волокна Цинновой связки.

Состояния, связанные со структурными и функциональными нарушениями радужки, приводящие к недостаточному мидриазу и тонусу радужки, относят к синдрому «хлопающей» («болтающейся») радужки. (Intraoperative floppy iris syndrome (IFIS). Данный синдром впервые был описан D. Chang и J. Campbell в 2005 г. [66]. IFIS характеризуется триадой симптомов: 1) колебательные движения атоничной стромы радужки в ответ на введение растворов в переднюю камеру; 2) тенденция к пролапсу радужки через основной и вспомогательный доступы; 3) прогрессирующий миоз в ходе вмешательства. Также при данном синдроме может отмечаться слабая реакция зрачка на эпibuльбарное закапывание мидриатиков и ригидность зрачкового края радужки при хирургических манипуляциях. По данным литературы, частота встречаемости данного состояния варьирует от 2% до 12,6% [67, 68]. В основе патофизиологии IFIS лежит блокада α -1 адренорецепторов, приводящая к снижению тонусу дилататора зрачка [66, 69]. Данное состояние чаще всего связано с приёмом тамсулозина (α -1 адреноблокатора), назначаемого для лечения доброкачественной гиперплазии предстательной железы [66]. Сложности в хирургии катаракты с узким зрачком обусловлены недостаточной визуализацией и необходимостью выполнения ряда манипуляций под радужкой без прямого визуального контроля [70]. IFIS связан с повышенным риском таких осложнений, как ятрогенные повреждения радужки, гифема, иридодиализ, разрыв задней капсулы, пролапс стекловидного тела, погружение ядра хрусталика в полость стекловидного тела [68].

В качестве превентивных мер развития IFIS рекомендуется интракамеральное введение мидриатиков (эпи-

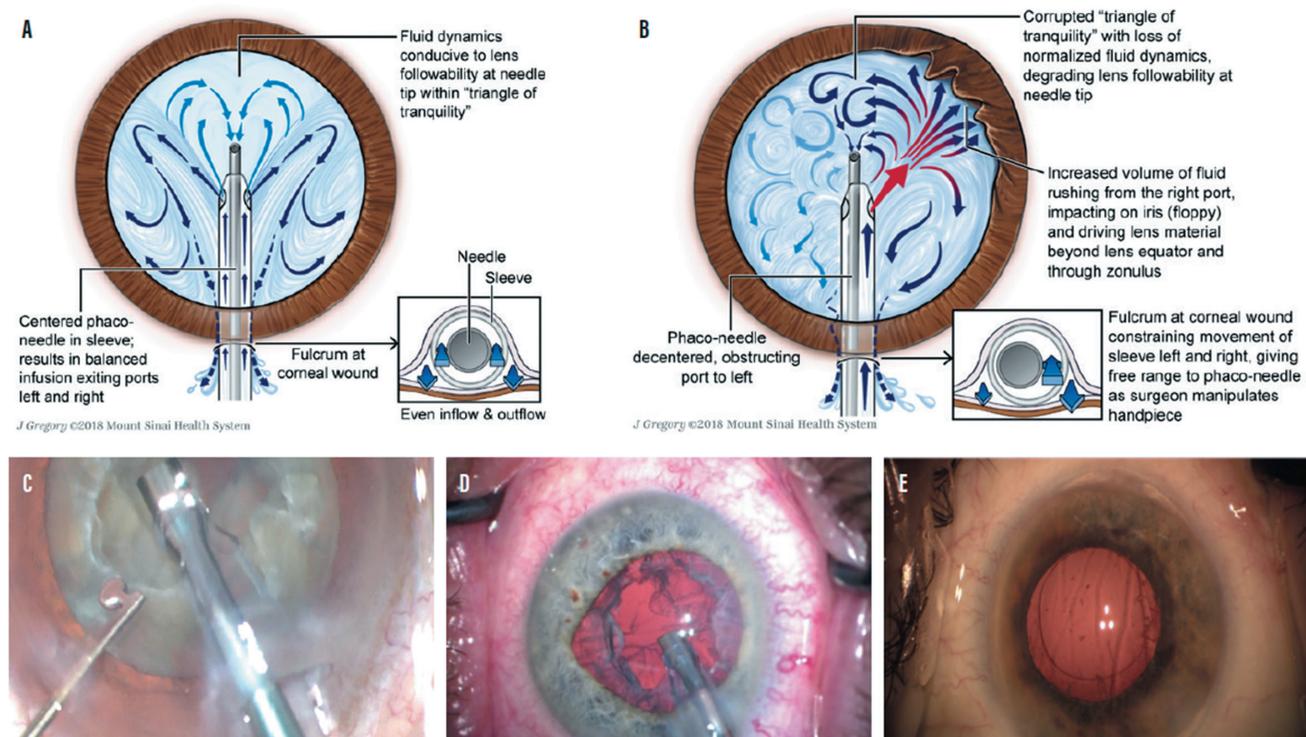


Рис. 2. Формирование aberrантного инфузионного потока вследствие ущемления ирригационного слива в роговичном тоннельном разрезе, приводящего к колебательным движениям радужки по типу «хлопающей радужки» (floppy iris syndrome) и распространению инфузионного раствора в ретролентальное пространство. [Источник: Koplin R, Ritterband D, Dodick J, Donnenfeld E. Improving fluid dynamics in laser cataract surgery. *Cataract Surgery Today*. 2019;4: 30–32.]

Fig. 2. Misdirected infusion to retrolental space and «floppy-iris» syndrome associated with aberrant fluid infusion because of a fulcrum effect at the corneal wound that constrained movement of the standard silicone sleeves. [Koplin R, Ritterband D, Dodick J, Donnenfeld E. Improving fluid dynamics in laser cataract surgery. *Cataract Surgery Today*. 2019;4: 30–32.]

нефрин, фенилэфрин) для создания дополнительного тонуса гладкой мускулатуры радужки [71, 72]. Для предотвращения пролапса радужки необходимым условием является выполнение роговичного тоннельного разреза достаточной длины со входом в переднюю камеру кпереди от корня радужки [68]. Также важным условием для профилактики пролапса радужки и развития миоза в ходе операции является деликатное выполнение гидродиссекции и гидроделинеации с использованием небольшого количества жидкости и без значительного повышения ВГД при данных манипуляциях, что позволяет снизить гидротравму радужки [72]. При невозможности достичь достаточного мидриаза вышеизложенными способами рекомендуется использовать устройства, увеличивающие диаметр зрачка [68, 70]. К таким устройствам относятся зрачковые кольца различных моделей (четырёхугольный ретрактор зрачка (зрачковое кольцо Малюгина), Morcher Pupil Ring, Milvella Perfect Pupil) и ирис-ретракторы различных модификаций. Недостатками применения последних является деформация зрачка при их установке и необходимость выполнения дополнительных вспомогательных доступов, хотя применение ирис-ретракторов более обосновано по сравне-

нию со зрачковыми кольцами, при сопутствующем подвывихе хрусталика.

Особенности гидродинамики факоэмульсификации

Помимо структурных изменений СКАХ, радужки и состояния ВЛИ, одним из ключевых факторов развития СДИП являются особенности гидродинамики факоэмульсификации, на что указывает возросшая частота встречаемости синдрома «каменного глаза» и других проявлений СДИП с повсеместным переходом на технику факоэмульсификации в хирургии катаракты. Факторами, влияющими на состояние и сохранение целостности структур ВЛИ, являются уровень интраоперационного ВГД, определяющийся уровнем высоты бутылки с инфузионным раствором, перепады ВГД в ходе вмешательства, зависящие от уровня вакуума, и скорость инфузионных потоков в передней камере, определяющаяся уровнем аспирации и его соотношением с высотой бутылки с BSS и уровнем вакуума [65, 73].

Факторами, определяющими распространение инфузионного раствора в передней и задней камерах, являются скоростные характеристики инфузионного потока [13]. В этой связи стоит отметить, что R. Koplin опи-

сал явление возникновения aberrантных инфузионных потоков вследствие ущемления ирригационного слива в роговичном тоннельном разрезе [74]. В таком случае движения факонконечника вправо-влево в передней камере для аспирации фрагментов хрусталика при плотно фиксированном в роговичном разрезе ирригационном сливе приводят к окклюзии одного из отверстий ирригационного слива, в результате чего происходит перераспределение ирригационных потоков с формированием избыточного aberrантного потока с противоположной стороны от заблокированного отверстия. В экспериментальном исследовании по данным ультразвуковой доплерографии было показано, что данный aberrантный поток имеет более высокую скорость и при затекании под радужку приводит к её колебательным движениям по типу «хлопающей радужки» (Floppy iris syndrome) (рис. 2). Также ввиду высокой скорости подобного потока aberrантный поток может проходить через волокна Цинновой связки, приводя в некоторых случаях к перемещению хрусталиковых фрагментов в ретролентальное пространство или передние отделы витреальной полости при сохранном капсульном мешке и нескомпрометированной Цинновой связке. Для профилактики возникновения aberrантных потоков авторы предлагают ирригационный слив оригинальной конструкции, ограничивающий движения ультразвуковой иглы в просвете слива.

Важность контроля за уровнем ВГД в ходе факэмульсификации была отмечена рядом авторов [75]. Также экспериментально было исследовано воздействие различных уровней ВГД на внутриглазные структуры, в том числе структуры ВЛИ [54, 55, 73]. Несмотря на это, в настоящее время стандартной высотой ирригационной бутылки считается высота от 85 до 115 см [76]. Т. Kreutzer, производя прижизненное измерение ВГД в витреальной полости в ходе выполнения факэмульсификации, отмечал повышение ВГД до 70 мм.рт.ст. при высоте инфузионной бутылки 85 см [77]. При использовании систем активного поддержания уровня ВГД на сегодняшний день применяется уровень интраоперационного ВГД (ИВГД) 40–60 мм рт.ст. [78]. Опубликован ряд работ, демонстрирующих возможность безопасного проведения факэмульсификации с пониженным уровнем ирригационного потока и уровнем ИВГД, приближенным к нормотонусу (32 мм рт.ст.) [79, 80]. Использование низких ирригационных потоков позволяет снизить гидродинамическую нагрузку на внутриглазные структуры, избежать чрезмерного повышения ВГД и перепадов ВГД в ходе этапов факэмульсификации и таким образом снизить риски интра- и послеоперационных осложнений. Целесообразно рассмотреть вопрос применения щадящих параметров ирригационного потока и уровня ИВГД, приближенного к нормотонусу, при выполнении факэмульсификации на глазах, относящихся к группе риска по развитию СДИП, поскольку низкие ирригационные потоки позволяют снизить объём аспирируемой в ходе вмешатель-

ства жидкости и скорость протекания жидкости через переднюю камеру, а отсутствие перепадов ВГД позволяет избежать ятрогенного повреждения СКАХ, в частности структур ВЛИ. Таким образом возможно избежать возникновения патологического затекания ирригационного раствора в ретролентальное пространство и витреальную полость.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие СДИП в ходе факэмульсификации является мало изученной проблемой. На сегодняшний день не существует единой концепции о механизмах развития данного синдрома и сопутствующих состояниях, способствующих его возникновению. В то же время отсутствие чёткого алгоритма действий, направленных на предотвращение развития СДИП, увеличивает риски интраоперационных осложнений, в частности развитие витреокапсулярного блока, или т.н. синдрома «каменного глаза» (acute intraoperative rock-hard eye syndrome). Купирование данного состояния увеличивает продолжительность операции, в ряде случаев требует отложить окончание вмешательства и сопряжено с рядом небезопасных манипуляций, которые в свою очередь могут привести к развитию геморрагических осложнений. Поэтому актуальной остаётся проблема разработки патогенетически обоснованного (клинического) алгоритма интраоперационной профилактики развития СДИП.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Koopman S. Cataract surgery devices – global pipeline analysis, competitive landscape and market forecasts to 2017. January, 2012; London, UK: GlobalData. Available from: <https://www.prnewswire.com/news-releases/cataract-surgery-devices---global-pipeline-analysis-competitive-landscape-and-market-forecasts-to-2017-13699753.html> [Accessed 19th May 2022]
2. Першин К.Б., Пашинова Н.Ф., Цыганков А.Ю. Хирургические методы коррекции пресбиопии. Катарактальная и рефракционная хирургия. 2016;2: 4–15. [Pershin KB, Pashinova NF, Tsygankov Yu. Presbyopia-correcting surgical options. Kataraktal'naya i refraktsionnaya khirurgiya. 2016;2: 4–15. (In Russ.)]
3. Davidson RS, Dhaliwal D, Hamilton DR, Jackson M, Patterson L, Stonecipher K, Yoo SH, Braga-Mele R, Donaldson K. Surgical correction of presbyopia. J Cataract Refract Surg. 2016;42(6): 920–930. doi: 10.1016/j.jcrs.2016.05.003
4. Mackool RJ, Sirota M. Infusion misdirection syndrome. J Cataract Refract Surg. 1993;19(5): 671–672. doi: 10.1016/s0886-3350(13)80032-6
5. Olson RJ, Younger KM, Crandall AS, Mamalis N. Subcapsular fluid entrapment in extracapsular cataract surgery. Ophthalmic Surg. 1994;25(10): 688–689. doi: 10.3928/1542-8877-19941101-06
6. Grzybowski A, Prasad S. Acute aqueous misdirection syndrome: pathophysiology and management. J Cataract Refract Surg. 2014;40(12): 2167. doi: 10.1016/j.jcrs.2014.10.016
7. Lau OCF, Montfort JM, Sim B, Lim C, Chen T, Ruan C, Agar A, Francis I. Acute intraoperative rock-hard eye syndrome and its management. J Cataract Refract Surg. 2014; 40(5): 799–804. doi: 10.1016/j.jcrs.2013.10.038
8. Chronopoulos A, Thumann G, Schutz J. Positive vitreous pressure: pathophysiology, complications, prevention and management. Surv Ophthalmol. 2017; 62(2): 127–133. doi: 10.1016/j.survophthal.2016.10.002
9. Grzybowski A, Kanclerz P. Acute and chronic fluid misdirection syndrome: pathophysiology and treatment. Graef Arch Clin Exp Ophthalmol. 2018;256(1): 135–154. doi: 10.1007/s00417-017-3837-0
10. Ang A, Shepstone L, Rallo VM, Burton R. Retrocapsular lens fragments after uneventful phacoemulsification cataract surgery. J Cataract Refract Surg. 2004; 30(4): 849–853. doi: 10.1016/j.jcrs.2003.08.026
11. Kam AW, Chen TS, Wang S, Jain N, Goh A, Douglas C, McKelvie P, Agar A, Osher RH, Francis I. Materials in the vitreous demonstrated under the operating microscope during cataract surgery and confirmed histologically. Clin Exp Ophthalmol. 2016;45(2): 206–207. doi:10.1111/ceo.12818
12. Потёмкин В.В., Гольдман Е.В. Хирургия катаракты при псевдоэкзофталмическом синдроме. Офтальмологические ведомости. 2020;13(1): 37–42. doi: 10.17816/

- OV25739 [Potemkin VV, Goltsman EV. Cataract surgery in pseudoexfoliation syndrome. *Ophthalmology Journal*. 2020;15(1): 37–42. doi: 10.17816/OV25739 (In Russ.)]
13. Bellucci R. Vitreous hydration: often a hidden complication of cataract surgery. *Cataract Refract Surg Today*. 2006;8: 26–28.
14. Егорова Е.В. Патогенетически ориентированная технология хирургии катаракты при псевдоэкзофолиативном синдроме на основе исследования витреолентикулярного интерфейса. Дисс. ...док.мед.наук, М.; 2020. [Egorova EV. Pathogenetically oriented technology of cataract surgery in pseudoexfoliation syndrome based on vitreolenticular interface research. [Dissertation]. M; 2020 (In Russ.)]
15. Anisimova NS, Arbiser LB, Shilova NF, Melnik MA, Belodedova AV, Knyazer B, Malugin BE. Anterior vitreous detachment: risk factor for intraoperative complications during phacoemulsification. *J Cataract Refract Surg*. 2020;46(1): 55–62. doi: 10.1016/j.jcrs.2019.08.005
16. Menapace R. Transzonular capsulo-hyaloidal hydroseparation with optional triamcinolone enhancement: a technique to detect or induce anterior hyaloid membrane detachment for primary posterior laser capsulotomy. *J Cataract Refract Surg*. 2019;45(7): 903–909. doi: 10.1016/j.jcrs.2019.03.008
17. Фабрикантов О.Л., Николашин С.И., Пирогова Е.С. Симптом «патологической подвижности» задней капсулы. Офтальмохирургия. 2018;3: 13–18. [Fabrikantov OL, Nikolashin SI, Pirogova ES. The symptom of the posterior capsule pathological mobility. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery*. 2018;3: 13–18. (In Russ.)] doi: 10.25276/0235-4160-2018-3-13-18
18. Nossair AA, Ewais WA, Ali LS. Retrospective study of vitreous tap technique using needle aspiration for management of shallow anterior chamber during phacoemulsification. *J Ophthalmol*. 2017;2017: 2801025. doi: 10.1155/2017/2801025
19. Chang DE. Pars plana vitreous tap for phacoemulsification in the crowded eye. *J Cataract Refract Surg*. 2001;27(12): 1911–1914. doi: 10.1016/s0886-3350(01)00920-8
20. Chalam KV, Gupta SK, Agarwal S, Shah VA. Sutureless limited vitrectomy for positive vitreous pressure in cataract surgery. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging*. 2005; 36(6): 518–522.
21. Bron AJ, Tripathi RC, Wolff E, Tripathi BJ. The lens and zonules. *Wolff's Anatomy of the Eye and Orbit*. London: Chapman&Hall; 1997. P. 411–442.
22. Ladewig MS, Robinson PN, Neumann LM, Holz FG, Foerster MH. Ocular manifestations and surgical results in patients with Marfan syndrome. *Ophthalmol*. 2006;103(9): 777–782. doi: 10.1007/s00347-006-1386-8
23. Najjar DM, Igbre AO, Tsai FF. Late capsular bag contraction and intraocular lens subluxation in retinitis pigmentosa: a case report. *J Med Case Reports*. 2011;14(5): 65. doi: 10.1186/1752-1947-5-65
24. Yasuda A, Ohkoshi K, Orihara Y, Kusano Y, Sakuma A, Yamaguchi T. Spontaneous luxation of encapsulated intraocular lens onto the retina after a triple procedure of vitrectomy, phacoemulsification, and intraocular lens implantation. *Am J Ophthalmol*. 2000;130(6): 836–837. doi: 10.1016/s0002-9394(00)00630-9
25. Mackool RJ. Argon laser iridotomy and crystalline lens dislocation. *J Cataract Refract Surg*. 2009;35(7): 1323. doi: 10.1016/j.jcrs.2009.02.041
26. Canavan YM, Archer DB. Anterior segment consequences of blunt ocular injury. *Br J Ophthalmol*. 1982;66(9): 549–555. doi: 10.1136/bjo.66.9.549
27. Schlotzer-Schrehardt U. Pseudoexfoliation syndrome: the puzzle continues. *J Ophthalmic Vis Res*. 2012;7(3): 187–189.
28. Conway RM, Schlotzer-Schrehardt U, Kuechle M, Naumann G. Pseudoexfoliation syndrome: pathological manifestations of relevance to intraocular surgery. *Clin Exp Ophthalmol*. 2004;32(2): 199–210. doi: 10.1111/j.1442-9071.2004.00806.x
29. Ritch R. Exfoliation – the most common identifiable cause of open-angle glaucoma. *J Glaucoma*. 1994;3(2): 176–178.
30. Schlotzer-Schrehardt U, Naumann GOH. Ocular and systemic pseudoexfoliation syndrome [perspective]. *Am J Ophthalmol*. 2006;141(5): 921–937. doi: 10.1016/j.ajo.2006.01.047
31. Freissler K, Kuechle M, Naumann GO. Spontaneous dislocation of the lens in pseudoexfoliation syndrome. *Arch Ophthalmol*. 1995;113(9): 1095–1096. doi: 10.1001/archophth.1995.0110009017008
32. Shingleton BJ, Crandall AS, Ahmed II. Pseudoexfoliation and the cataract surgeon: preoperative, intraoperative, and postoperative issues related to intraocular pressure, cataract and intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg*. 2009;35(6): 1101–1120. doi: 10.1016/j.jcrs.2009.03.011
33. Vazquez-Ferreiro R, Carrera-Hueso J, Poquet Jarnet J, Fikri-Benbrahim N, Diaz-Rey M, Sanjuan-Cervero R. Intraoperative complications of phacoemulsification in pseudoexfoliation: meta-analysis. *J Cataract Refract Surg*. 2016;42(11): 1666–1675. doi: 10.1016/j.jcrs.2016.09.010
34. Shingleton BJ, Neo YN, Cvinat V, Shaikh AM, Liberman P, O'Donoghue MW. Outcome of phacoemulsification and intraocular lens implantation in eyes with pseudoexfoliation and weak zonules. *Acta Ophthalmol*. 2017;95(2): 182–187. doi: 10.1111/aos.13110
35. Липатов Д.В., Толкачева А.А. Несостоятельность связочно-капсулярного аппарата хрусталика. Классификация, диагностика, лечение и профилактика. *Вестник офтальмологии*. 2007;6: 57–61. [Lipatov DV, Tolkacheva AA. Failure of the ligamentous-capsular apparatus of the lens. Classification, diagnosis, treatment and prevention. *The Russian Annals of Ophthalmology*. 2007;6: 57–61. (In Russ.)]
36. Sveinsson O. Fibrilopathy in a pseudophakic eye. Production of fibrils by remnants of the lens capsule. *Acta Ophthalmol (Copenh)*. 1992;70(6): 806–813. doi: 10.1111/j.1755-3768.1992.tb04892.x
37. Nagashima RJ. Decreased incidence of capsule complications and vitreous loss during phacoemulsification in eyes with pseudoexfoliation syndrome. *J Cataract Refract Surg*. 2004;30(1): 127–131. doi: 10.1016/S0886-3350(03)00465-6
38. Sufi AR, Singh T, Mufti AA, Rather MH. Outcome of phacoemulsification in patients with and without pseudoexfoliation syndrome in Kashmir. *BMC Ophthalmol*. 2012;6(12): 13. doi: 10.1186/1471-2415-12-13
39. Kuechle M, Amberg A, Martus P, Nguyen N, Naumann G. Pseudoexfoliation syndrome and secondary cataract. *Br J Ophthalmol*. 1997;81(10): 862–866. doi: 10.1136/bjo.81.10.862
40. Arleo RJ, Arar HH, Crandall AS, Hoffman RS. Anterior capsular contraction syndrome and PXF. *Cataract Refract Surg Today*. 2007;2: 26–29.
41. Jehan FS, Mamalis N, Crandall AS. Spontaneous late dislocation of intraocular lens within the capsular bag in pseudoexfoliation patients. *Ophthalmology*. 2001; 108(10): 1727–1731. doi: 10.1016/s0161-6420(01)00710-2
42. Шуко А.Г., Мищенко О.П., Сенченко С.Я., Юрьева Т.Н. Факторы риска и осложнения, возникающие при поздних спонтанных дислокациях комплекса «задняя камера ИОЛ – капсулярный мешок» в стекловидное тело. Офтальмохирургия. 2017;1: 21–26. [Shchuko AG, Mishchenko OP, Senchenko NY, Iureva TN. Risk factors and complications arising in case of late spontaneous dislocations of the complex «posterior chamber IOL – capsular bag» into the vitreous body. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery*. 2017;(1): 21–26. (In Russ.)] doi: 10.25276/0235-4160-2017-1-21-26
43. Белодедова А.В., Анисимова Н.С., Шилова Н.Ф., Гелястанов А.М., Малютина Е.А., Власенко А.В., Малюгин Б.Э. Дегградация связки Вигера при слабости связочного аппарата хрусталика: миграция частиц хрусталика в пространство Бергера при фемтолазер-ассистированной факоэмульсификации. Верификация интраоперационным ОКТ (клинический случай). *Современные технологии в офтальмологии*. 2018; 4: 40–42. [Belodedova AV, Anisimova NS, Degradation of the Viger ligament with weakness of the ligamentous apparatus of the lens: migration of lens particles into the Berger space during femtolasers-assisted phacoemulsification. Verification by intraoperative OCT (clinical case). *Modern technology in ophthalmology*. 2018;4: 40–42. (In Russ.)]
44. Юсэф Н.Ю., Мустаев И.А., Мамиконян В.Р., Введенский А.С., Саид Н.Ю. Факоэмульсификация на глазах с дефектами связочного аппарата хрусталика. РМЖ «Клиническая офтальмология». 2001;3: 91. [Usef Nju, Mustaev IA, Mamikonyan VR, Vvedenskii AS, Said Nju. Phacoemulsification on the eyes with lens' ligamentary system defects. *RMJ. Clinical Ophthalmology*. 2001;3: 91. (In Russ.)]
45. Тахчиди Х.П., Зубарев А.Б. Ультразвуковая биомикроскопия в диагностике подвижности хрусталика. Новые технологии микрохирургии глаза. Материалы конференции. Оренбург; 1996: 25–26. [Tachchidi HP, Zubarev AB. Ultrasound biomicroscopy in the diagnosis of lens subluxation. New technologies of eye microsurgery. Conference materials. Orenburg; 1996: 25–26. (In Russ.)]
46. Сатаева М.С., Намазбаева А.Р. Применение ультразвуковой биомикроскопии в диагностике псевдоэкзофолиативного синдрома. Современные технологии в офтальмологии. Материалы конференции. М.; 2016: (4): 209–213. [Sataeva M. S, Namazbaeva AR. Application of ultrasound biomicroscopy in the diagnosis of pseudoexfoliation syndrome. Modern technologies in ophthalmology. Conference materials. M.; 2016;(4): 209–213. (In Russ.)]
47. Потёмкин В.В., Агеева Е.В. Нестабильность связочного аппарата хрусталика у пациентов с псевдоэкзофолиативным синдромом: анализ 1000 последовательных факоэмульсификаций. Офтальмологические ведомости. 2018; 11(1): 41–46. [Potemkin VV, Ageeva EV. Zonular instability in patients with pseudoexfoliation syndrome: the analysis of 1000 consecutive phacoemulsifications. *Ophthalmology Journal*. 2018;11(1): 41–46. doi: 10.17816/OV11141-46 (In Russ.)]
48. Yaguchi S, Yaguchi S, Yagi-Yaguchi Y, Kozawa T, Bissen-Yajajima H. Objective classification of zonular weakness based on lens movement at the start of capsulorhexis. *PLoS ONE*. 12(4): e0176169. doi: 10.1371/journal.pone.0176169
49. Егорова Е.В., Лазарева А.К. Витреолентикулярный интерфейс. Офтальмохирургия. 2019;4: 60–66. doi: 10.25276/0235-4160-2019-4-60-66 [Egorova EV, Lazareva AK. Vitreolenticular interface. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery*. 2019; 4: 60–66. (In Russ.)] doi: 10.25276/0235-4160-2019-4-60-66
50. Lutjen-Drecoll E, Kaufman P, Wasielewski R, Ting-Li L, Croft MA. Morphology and accommodative function of the vitreous zonule in human and monkey eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2010; 51(3): 1554–1564. doi: 10.1167/iovs.09-4008
51. Croft MA, McDonald JP, Katz A, Lin TL, Lutjen-Drecoll E, Kaufmann PL. Extralenticular and lenticular aspects of accommodation and presbyopia in human versus monkey eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2013;54(7): 5035–5048. doi: 10.1167/iovs.12-10846
52. Goldberg D. Computer-animated model of accommodation and presbyopia. *J Cataract Refract Surg*. 2015;41(2): 437–445. doi: 10.1016/j.jcrs.2014.07.028
53. Koshits IN, Svetlova OV, Egemberdiev MB, Guseva MG, Makarov FN, Kesada NM. Theory: Morphological and functional features of the structure of the zonula lens fibers as a key executive link in the mechanism of the human eye accommodation. *J Clin Res and Ophthalmol*. 2020;7(2): 61–74. doi: 10.17352/2455-1414.000075
54. Kawasaki S, Suzuki T, Yamaguchi M, Takaya Y, Shiraiishi A, Uno T, Sadamoto M, Minami N, Naganobu K, Ohashi Yu. Disruption of the posterior chamber – anterior hyaloid membrane barrier during phacoemulsification and aspiration as revealed by contrast-enhanced magnetic resonance imaging. *Arch Ophthalmol*. 2009;127(4): 465–470. doi: 10.1001/archophthol.2008.594
55. Kawasaki S, Tasaka Y, Suzuki T, Zheng X, Shiraiishi A, Uno T, Ohashi Yu. Influence of elevated intraocular pressure on the posterior chamber-anterior hyaloid membrane barrier during cataract operations. *Arch Ophthalmol*. 2011;129(6): 751–757. doi: 10.1001/archophthol.2011.115
56. Wieger G. Ueber den canalis Petitii und ein ligamentum hyaloideo-capsulare. *Strassburg: Inaug. Diss*; 1883.
57. Ikeda T, Sato K, Katano T, Hayashi Y. Surgically induced detachment of the anterior hyaloid membrane from the posterior lens capsule. *Arch Ophthalmol*. 1999;117(3): 408–409. doi: 10.1001/archophth.117.3.408
58. Menapace R. Posterior capsulorhexis combined with optic buttonholing: an alternative to standard in-the-bag implantation of sharp-edged intraocular lenses? A critical analysis of 1000 consecutive cases. *Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2008;246(6): 787–801. doi: 10.1007/s00417-008-0779-6
59. Sebag J. Seeing the invisible: the challenge of imaging vitreous. *J Biomed Opt*. 2004;9(1): 38–47. doi: 10.1117/1.1627359
60. Berger E. Beitrage zur Anatomie des Auges in Normalem und Pathologischem Zustande. Wiesbaden: Bergmann; 1887.
61. Tassignon MJ, Dhubghaill SN. Innovative implantation technique. Bag-in-the-Lens Cataract Surgery. Switzerland: Springer Nature; 2019.
62. Tassignon MJ, Dhubghaill SN. Real-time intraoperative optical coherence tomography imaging confirms older concepts about the Berger space. *Ophthalmic Res*. 2016;56(4): 222–226. doi: 10.1097/jcrs.0000000000000609
63. Haussler-Sinangin Y, Schultz T, Holtmann E, Dick HB. Primary posterior capsulotomy in femtosecond-assisted cataract surgery: in vivo spectral domain optical coherence tomography study. *J Cataract Refract Surg*. 2016;42(9): 1339–1344. doi: 10.1016/j.jcrs.2016.06.037
64. Dick HB, Schultz T. Primary posterior laser-assisted capsulotomy. *J Refract Surg*. 2014;30(2): 128–133. doi: 10.3928/1081597X-20140120-09
65. Zhang Z, Yao J, Chang S, Kanclerz P, Khoramnia R, Deng M, Wang X. Incidence and risk factors for Berger's space development after uneventful cataract surgery:

evidence from swept-source optical coherence tomography. J Clin Med. 2022;11(13): 3580. doi: 10.3390/jcm11133580

66. Chang DF, Campbell JR. Intraoperative floppy iris syndrome associated with tamsulosin. J Cataract Refract Surg. 2005;31(4): 664–673. doi: 10.1016/j.jcrs.2005.02.027

67. Wahl M, Tipotsch-Maca SM, Vecsei-Marlovits PV. Intraoperative floppy iris syndrome and its association with various concurrent medications, bulbus length, patient age and gender. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol. 2017;255(1): 113–118. doi: 10.1007/s00417-016-3515-7

68. Chang DF, Braga-Mele R, Mamilis N, Masket S, Miller KM, Nichamin LD, Packard RB, Packer M. ASCRS Cataract Clinical Committee ASCRS White Paper: Clinical review of intraoperative floppy-iris syndrome. J Cataract Refract Surg. 2008;34(12): 2153–2162. doi: 10.1016/j.jcrs.2008.08.031

69. Christou CD, Tsinopoulos I, Ziakas N, Tzamalīs A. Intraoperative floppy iris syndrome: updated perspectives. Clin Ophthalmol. 2020;14: 463–471. doi: 10.2147/OPHT.S221094

70. Malyugin B. Cataract surgery in small pupils. Indian J Ophthalmol. 2017;65(12): 1323–1328. doi: 10.4103/ijo.IJO_800_17

71. Steinert R. Cataract surgery. 3rd ed. Saunders, 2009.

72. Tint NL, Dhillon AS, Alexander Ph. Management of intraoperative iris prolapse: stepwise practical approach. J Cataract Refract Surg. 2012;38(10): 1845–1852. doi: 10.1016/j.jcrs.2012.08.013

73. Vasavada V, Srivastava S, Vasavada V, Vasavada Sh, Vasavada AR, Sudhalkar A, Bilgic A. Impact of fluidic parameters during phacoemulsification on the anterior face behavior: Experimental study. Indian J Ophthalmol. 2019;67(10): 1634–1637. doi: 10.4103/ijo.IJO_465_19

74. Koplin RS, Ritterband DC, Dodick JM, Donnenfeld ED, Schafer M. Untoward events associated with aberrant fluid infusion during cataract surgery: Laboratory study with corroborative clinical observations. J Cataract Refract Surg. 2016;42(8): 1135–1140. doi: 10.1016/j.jcrs.2016.07.014

75. Khng C, Parcker M, Fine H, Hoffman RS, Moreira FB. Intraocular pressure during phacoemulsification. J Cataract Refract Surg. 2006;32(2): 301–308. doi:10.1016/j.jcrs.2005.08.062

76. Keys T. Customization. Alcon inc. 2006.

77. Kreuzer TC, Saedi RA, Kampik A, Grueterich M. Real-time intraocular pressure measurement in standard and microaxial phacoemulsification. J Cataract Refract Surg. 2010; 36(1): 53–57. doi: 10.1016/j.jcrs.2009.07.035

78. Tjia K, Johansson Ch, Scharioth G. CENTURION® Vision System: insights and experience on leveraging innovative phaco technology. Highlights from the Amsterdam 2015 CENTURION® Vision System Council Meeting.

79. Лаптев Б.В., Шиловских О.В., Фечин О.Б., Ульянов А.Н. Возможность проведения фактоэмульсификации с низким ирригационным потоком. Материалы конференции «Восток-Запад», Уфа; 2013: 141. [Laptev BV, Shilovskikh OV, Fechin OB, Ulyanov AN. The possibility of phacoemulsification with low irrigation flow. Materials of the conference «East-West». Ufa, 2013: 141. (In Russ.)]

80. Терещенко АВ, Трифаненкова ИГ, Окунева МВ, Оганесян АА. Фактоэмульсификация катаракты на пониженных интраоперационных показателях. Современные технологии в офтальмологии. 2021;5: 109–112. doi: 10.25276/2312-4911-2021-5-106-108 [Tereshhenko AV, Trifanenkova IG, Okuneva MV, Oganessian AA.

Phacoemulsification of cataract with low intraoperative parameters. Modern technology in ophthalmology. 2021;5: 109–112. (In Russ.) doi: 10.25276/2312-4911-2021-5-106-108

Информация об авторах

Елена Владиленовна Егорова, д.м.н., evva111@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2901-0902>

Игорь Сергеевич Ребриков, врач-офтальмолог, igor.augenarzt@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4927-9044>

Information about authors

Elena V. Egorova, Doctor of Sciences in Medicine, evva111@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2901-0902>

Igor' S. Rebrikov, Ophthalmologist, evva111@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2901-0902>

Вклад авторов в работу:

Е.Е. Егорова: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

И.С. Ребриков: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, написание текста.

Authors' contribution:

E.E. Egorova: significant contribution to the concept and design of the work, editing, final approval of the version to be published.

I.S. Rebrikov: significant contribution to the concept and design of the work, collection, analysis and processing of material, writing.

Финансирование: Авторы не получили конкретный грант на это исследование от какого-либо финансирующего агентства в государственном, коммерческом и некоммерческом секторах.

Согласие пациента на публикацию: Письменного согласия на публикацию этого материала получено не было. Он не содержит никакой личной идентифицирующей информации.

Конфликт интересов: Отсутствует.

Funding: The authors have not declared a specific grant for this research from any funding agency in the public, commercial or not-for-profit sectors.

Patient consent for publication: No written consent was obtained for the publication of this material. It does not contain any personally identifying information.

Conflict of interest: There is no conflict of interest.

Поступила: 12.09.2022

Переработана: 21.10.2022

Принята к печати: 05.11.2022

Originally received: 12.09.2022

Final revision: 21.10.2022

Accepted: 05.11.2022