

Возможности применения вискоэластиков в витреоретинальной хирургии

Д.В. Петрачков¹А.Л. Сидамонидзе¹К.В. Барышев¹К.Н. Шабалина²

¹ ФГБНУ «Научно-исследовательский институт глазных болезней имени М.М. Краснова»
ул. Россолимо, 11а, б, Москва, 119021, Российская Федерация

² ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи
и медицинских технологий Федерального медико-биологического агентства»
Ореховый бульвар, 28, Москва, 115682, Российская Федерация

РЕЗЮМЕ

Офтальмология. 2023;20(2):239–244

Вискоэластичные вещества (ВЭ) являются неотъемлемой составляющей современной офтальмохирургии. В настоящем обзоре кратко освещены основные характеристики, классификация ВЭ, области их применения, влияние на агрегацию тромбоцитов. В научной литературе уделено мало внимания применению ВЭ в хирургии заднего отрезка глаза, в связи с этим основной целью настоящего обзора явилось подробное изложение возможностей и перспектив использования ВЭ при различной патологии сетчатки и стекловидного тела. В витреоретинальной хирургии (ВРХ) наибольшее распространение получили когезивные ВЭ в связи с простотой их удаления из витреальной полости в сравнении с дисперсными ВЭ. Главным недостатком применения ВЭ является их влияние на офталмотонус, что требует тщательного контроля, касающегося полноты удаления ВЭ из глаза при завершении операции. В обзоре рассмотрены вопросы применения ВЭ при макулярной патологии с целью механической и химической защиты сетчатки при работе с люксированным хрусталиком или введении красителей, оказывающих токсическое воздействие на ретикулярную ткань. При хирургии макулярных отверстий ВЭ могут применять с целью стабилизации лоскута внутренней пограничной мембраны, а также для предотвращения субретинальной миграции ретикулярного красителя. Описаны возможности применения ВЭ в ВРХ в педиатрической практике с целью вискоделаминации ретролентальных стриктур во время выполнения витрэктомии в глазах с тракционной витреоретинопатией и сохранением нативного хрусталика. Отдельное внимание уделено использованию ВЭ при наиболее сложной хирургической патологии, требующей ВРХ — пролиферативной диабетической ретинопатии. Продемонстрированы их преимущества в аспектах сокращения времени вмешательства, что, в свою очередь, снижает риск развития интраоперационных осложнений. Применение методики вискодиссекции позволяет повысить безопасность хирургии во время наиболее травматичных этапов операции: отделения задней гиалоидной мембраны и в особенности при работе с пролиферативными фиброваскулярными мембранами. Появление способа окрашивания ВЭ открыло новые перспективы использования методики вискодиссекции и вискоделаминации.

Ключевые слова: вискоэластичные вещества, офтальмохирургия, витреоретинальная хирургия, диабетическая ретинопатия, вискодиссекция

Для цитирования: Петрачков ДВ, Сидамонидзе АЛ, Барышев КВ, Шабалина КН. Возможности применения вискоэластиков в витреоретинальной хирургии. *Офтальмология*. 2023;20(2):239–244. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2023-2-239-244>

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

Конфликт интересов отсутствует

Possibilities of Applying Viscoelastics in Vitreoretinal Surgery

D.V. Petrachkov¹, A.L. Sidamonidze¹, K.V. Baryshev¹, K.N. Shabalina²

¹ M.M. Krasnov Research Institute of Eye Diseases
Rossolimo str., 11A, B, Moscow, 119021, Russian Federation

² Federal Scientific and Clinical Center for Specialized Medical Assistance and Medical Technologies
of the Federal Medical Biological Agency
Orkhovy blvd, 28, Moscow, 115682, Russian Federation



D.V. Petrachkov, A.L. Sidamonidze, K.V. Baryshev, K.N. Shabalina

Contact information: Baryshev Konstantin V. kosttt1995@gmail.com

Possibilities of Applying Viscoelastics in Vitreoretinal Surgery

ABSTRACT**Ophthalmology in Russia. 2023;20(2):239–244**

Viscoelastic substances (VS) are an integral part of modern ophthalmic surgery. This review briefly highlights the main characteristics, classification of VS, their areas of application, and their effect on platelet aggregation. In the scientific literature, little attention has been paid to the use of VE in surgery of the posterior segment of the eye; therefore, the main goal of this review was a detailed presentation of the possibilities and prospects for the use of VS in various pathologies of the retina and vitreous body. In vitreoretinal surgery (VRS), cohesive VS are more widely used due to the ease of their removal from the vitreal cavity compared to dispersed VS. The main disadvantage of using VS is their effect on ophthalmotonus, which requires careful monitoring of the completeness of the removal of VEs from the eye at the end of the operation. The review deals with the use of VE in macular pathology for the purpose of mechanical and chemical protection of the retina when working with a luxed lens or introducing dyes that have a toxic effect on the retinal tissue. In macular hole surgery, VS can be used to stabilize the ILM flap, as well as to prevent subretinal migration of retinal dye. The possibilities of using VS in VRS in pediatric practice for the purpose of viscodelamination of retrolental strictures during vitrectomy in eyes with traction vitreoretinopathy and preservation of the native lens are described. Special attention is paid to the use of VS in the most complex surgical pathology requiring VRS — proliferative diabetic retinopathy. Their advantages have been demonstrated in terms of reducing the time of intervention, which, in turn, reduces the risk of intraoperative complications. The use of the viscodissection technique makes it possible to increase the safety of surgery during the most traumatic stages of the operation: separation of the posterior hyaloid membrane and, in particular, when working with proliferative fibrovascular membranes. The advent of the VS staining method opened up new prospects for the use of viscodissection and viscodelamination techniques.

Keywords: viscoelastic substances, ophthalmic surgery, vitreoretinal surgery, diabetic retinopathy, viscodissection

For citation: Petrachkov DV, Sidamonidze AL, Baryshev KV, Shabalina HN. Possibilities of Applying Viscoelastics in Vitreoretinal Surgery. *Ophthalmology in Russia*. 2023;20(2):239–244. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2023-2-239-244>

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

There is no conflict of interests

Вискоэластичные вещества (ВЭ) представляют собой биологически неактивную прозрачную субстанцию, одновременно обладающую свойствами как жидкости, так и твердого тела [1]. Степень выраженности этих свойств зависит от длины полимерной цепи (молекулярной массы) и концентрации ВЭ, что определяет их тип, место использования в процессе хирургического вмешательства.

Начиная с 1970-х годов широкое распространение в офтальмологии получили ВЭ на основе гиалуроната натрия, метилцеллюлозы, сульфата хондроитина, полиакриламида и коллагена [2–6].

Традиционно ВЭ применяются при оперативных вмешательствах на переднем сегменте глаза, таких как экстракция катаракты и имплантация интраокулярной линзы (ИОЛ), антиглаукомные операции и др. [2–8]. В витреоретинальной хирургии (ВРХ) ВЭ используются в лечении регматогенной отслойки сетчатки, пролиферативной диабетической ретинопатии (ПДР), однако внимания данному направлению, особенно в отечественной литературе, уделено крайне мало. В связи с развитием ВРХ, а также необходимости повышения безопасности данного направления хирургии, изучение использования ВЭ является, безусловно, актуальным.

Данный обзор посвящен работам по применению ВЭ в витреоретинальной хирургии.

Свойства ВЭ характеризуются такими физическими понятиями, как вязкость и псевдопластичность. Вязкость — свойство текучих тел (жидкостей и газов) оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой. Относительно ВЭ под термином «вязкость» подразумевают динамическую вязкость, измеряемую в миллипаскаль-секундах (мПа·с). Псевдопластичность — свойство, суть которого заключается в уменьшении вязкости жидкости при увеличении напряжений сдвига. Это свойство позволяет ВЭ, с одной стороны, легко вытекать через канюлю

из шприца, а с другой стороны, сохранять свою форму в камерах глаза, так как в статическом состоянии ВЭ обладает высокой вязкостью, однако при движении она существенно снижается [8].

В зависимости от биологических характеристик ВЭ делятся на два основных типа. Первый тип — когезивные, для которых характерно относительно прочное соединение молекулярных цепочек, благодаря чему раствор является единой цельной массой, хорошо поддерживающей заданный объем любой полости, довольно просто удаляется из камер глаза единым блоком [9]. Второй тип представляет собой дисперсные вискоэластики, которые отличаются от когезивных менее прочными молекулярными цепочками, за счет этого их консистенция является не такой плотной и более текучей. Длинноцепочечные молекулы, как правило, более эластичны, чем короткоцепочечные. Когезивные вискоэластики имеют длинные и запутанные молекулярные цепи (с высокой молекулярной массой), в то время как дисперсные — низкую молекулярную массу и короткие молекулярные цепи. Поддержание глубины передней камеры в ходе хирургического вмешательства и простой процесс аспирации из внутриглазных полостей являются несомненными преимуществами когезивных материалов, в то время как более надежную защиту эндотелиальных клеток роговицы обеспечивают дисперсные вискоэластики [10].

Когезивные вискоэластичные растворы наиболее часто используются с целью формирования полостей необходимой глубины и стабилизации глазных тканей, а также для вискомидриаза и разделения различных синехий. Появление в 1998 году вискоадаптивных материалов и дисперсных вискоэластиков с высокой вязкостью потребовало пересмотра классификации вискоэластичных материалов с включением когезивно-дисперсного индекса, предложенного в 1998 г. S.A. Arshinoff и соавт.

Д.В. Петрачков, А.Л. Сидамонидзе, К.В. Барышев, К.Н. Шабалина

Контактная информация: Барышев Константин Владимирович kosttt1995@gmail.com

Возможности применения вискоэластиков в витреоретинальной хирургии

[11] (табл.). По этой классификации дисперсные вискоэластики имеют когезивно-дисперсный индекс ниже 30, а когезивные — выше 30.

Одной из стратегически важных задач при использовании ВЭ в офтальмохирургии является их максимально полное удаление из глаза, поскольку присутствие даже небольшого их количества во внутриглазных средах в послеоперационном периоде может способствовать возникновению офтальмогипертензии. Для удаления вискоэластиков из передней камеры глаза использовались различные методики, такие как техника «рок-н-ролл» [12] и «softshell» [13–16]. Использование ВЭ нашло также широкое применение и в хирургическом лечении глаукомы [8].

Существуют методики, позволяющие использовать ВЭ с целью улучшения условий для гемостаза. При этом на данный момент нет единого мнения по поводу влияния ВЭ на агрегацию тромбоцитов и коагуляцию крови [17–21].

С. Aras исследовал вискоэластики, содержащие гиалуронат натрия (Healon, Healon GV, Healon 5, Viscoat) и сульфат хондроитина (OcuCoat). Эксперимент проводился с использованием богатой тромбоцитами плазмы с агрегометром. Агрегацию индуцировали тремя различными агонистами, включая 5-аденозиндифосфат, адреналин и коллаген. Результаты были представлены в доле (%) от максимальной агрегации и сравнивались с контролем при использовании однофакторного дисперсионного анализа. По результатам исследования выяснилось, что ВЭ, содержащие гиалуронат натрия и сульфат хондроитина, оказывают очень схожее ингибирующее действие на агрегацию тромбоцитов, но эффект не является статистически достоверным, при этом нет различий между этими ВЭ в отношении ингибирующего действия на агрегацию тромбоцитов [22].

Лабораторные исследования продемонстрировали также антикоагуляционный эффект гиалуроната натрия и сульфата хондроитина [17]. Pandolfi и соавт. по результатам собственного исследования установили, что сульфат

хондроитина оказывает ингибирующее действие на свертывающую способность крови, которое, вероятно, является следствием структурного сходства с гепарином. Авторы утверждают, что ВЭ на основе гиалуроната натрия практически не обладает антитромбиновой активностью в концентрациях до 0,6 мг/мл. Исследование показало отсутствие ингибирующего влияния гиалуроната натрия на коагуляцию, в отличие от сульфата хондроитина [18]. В более ранних работах было показано, что гиалуриновая кислота ингибирует агрегацию и адгезию тромбоцитов, а также увеличивает время кровотечения при системном введении [19, 20].

Однако клиническое исследование Packer и соавт. показало, что ВЭ на основе гиалуроната натрия (Healon) оказывали прокоагуляционное действие во время витректомии при ПДР [21].

По данным литературы, еще до начала широкого применения ВЭ при экстракции катаракты гиалуронат натрия использовался в качестве заменителя стекловидного тела в хирургии отслойки сетчатки [23]. В настоящее время сообщения о применении гиалуроната натрия в эндовитреальной хирургии появляются достаточно редко, так как в настоящее время он не используется для интраоперационной тампонады [24] и в основном был заменен перфторуглеродными жидкостями и силиконовым маслом [25]. Однако вискодиссекция и вискоделаминация с использованием данного вискоэластика по-прежнему являются эффективными методами, применяемыми в витреоретинальной хирургии, например для бережного отделения измененной задней гиалоидной мембраны (ЗГМ) от внутренней пограничной мембраны (ВПМ) сетчатки [26–28].

Сравнительно недавно появилось новое направление, касающееся применения гиалуроната натрия в эндовитреальной хирургии, суть которого заключается в защите ретиальной поверхности от химических или механических повреждений во время различных хирургических манипуляций [29, 30].

Таблица. Классификация вискоэластиков

Table. Classification of viscoelastics

Динамическая вязкость при нулевой скорости сдвига, мПа·с / Dynamic viscosity at zero shear rate, mPa·s	Когезивные ВЭ, когезивно-дисперсный индекс >30 / Cohesive VS, cohesive-dispersed index >30	Дисперсные ВЭ, когезивно-дисперсный индекс <30 / Dispersed VS, cohesive-dispersed index <30
(7–18)×10 ⁶	Псевдодисперсные вискоадаптивные ВЭ, отнесены к когезивным и дисперсным материалам, поскольку они изменяют свои свойства в зависимости от скорости потока жидкости / Pseudo-dispersed visco-adaptive VS are classified as cohesive and dispersed materials, since they change their properties depending on the fluid flow rate (Healon5, iVisc (MicroVisc) Phaco, BD MultiVisc)	
(1–5)×10 ⁶	Когезивные ВЭ с очень высокой вязкостью (Cohesive VS with very high viscosity) (Healon GV, iVisc (MicroVisc, HyVisc) Plus, BD Visc)	
10 ⁵ –10 ⁶	Когезивные ВЭ с высокой вязкостью / Cohesive VS with high viscosity (Healon, iVisc (MicroVisc, HyVisc), ViscoReal Plus, Provisc, Opegan Hi, ViscoReal, Biolon Prime, Bilon, Amvisc Plus, Amvisc, Coese, Biocorneal)	Дисперсные ВЭ с высокой вязкостью / Dispersed VS with high viscosity (DisCoVisc)
10 ⁴ –10 ⁵		Дисперсные ВЭ с низкой вязкостью / Dispersed VS with low viscosity (Viscoat, Biovisc, Opelead, Vitrac, Celoftal)
10 ³ –10 ⁴		Дисперсные ВЭ с очень низкой вязкостью / Dispersed VS with very low viscosity (Opegan, Occucoat, iCell, Ocuvis, Visilon, Hymecel, Adatocel, Celoftal)

Использование раствора индоцианинового зеленого, применяемого с целью облегчения визуализации ВПМ для последующего пилинга, широко распространено в ВРХ, в частности у пациентов со сквозным макулярным разрывом (СМР) [31]. Однако клинические и экспериментальные исследования показали наличие выраженного токсического воздействия данного красителя на пигментный эпителий [32, 33] и на ганглиозные клетки сетчатки [34, 35], в результате этого были даны рекомендации о снижении концентрации и времени эпиретинальной экспозиции красителя.

С целью предотвращения субретинальной миграции ретинального красителя через СМР на его поверхность наносили гиалуронат натрия 2,3 %. Данный метод также показал свою эффективность при сочетании регматогенной отслойки сетчатки и СМР, особенно в глазах с осевой миопией [29, 30].

Существует также способ окрашивания ВПМ с помощью смеси индоцианинового зеленого с низкомолекулярными ВЭ (конечная концентрация 0,06 %; осмолярность 270 мосм/л) [31].

T. Hanemoto и соавт. сообщили, что интравитреально введенный вискоэластик адгезировался к поверхности сетчатки, покрывал задний полюс глаза и предотвращал повреждение сетчатки во время интравитреальной фактофрагментации люксированного хрусталика [36]. В послеоперационном периоде повышение внутриглазного давления не наблюдалось.

Chi-Chun Lai и соавт. успешно продемонстрировали возможность применения ВЭ в качестве средства стабилизации лоскута внутренней пограничной мембраны при хирургии отслойки сетчатки у пациентов со сквозными макулярными разрывами. В качестве способа закрытия макулярного разрыва применяли метод перевернутого лоскута. Лоскут внутренней пограничной мембраны выделяли и накрывали СМР под перфторорганическим соединением (ПФОС), после этого вводили ВЭ непосредственно над лоскутом, что предотвращало его дислокацию после удаления ПФОС [37].

В 2012 году группа ученых из Иокогамы изучала интраоперационную применимость и безопасность смеси brilliant blue G и гиалуроната натрия (visco-BBG) для окрашивания внутренней пограничной мембраны. Исследование проходило на 74 глазах, на которых была проведена витрэктомия с последующим пилингом внутренней пограничной мембраны сетчатки. Окрашивание ВПМ с помощью visco-BBG выполнено на 40 глазах. Окрашивание ВПМ с помощью BBG, растворенного в сбалансированном солевом растворе (BSS-BBG), было выполнено на 34 глазах. Исследователями отмечено отсутствие распределения Visco-BBG по всей стекловидной полости или в субретинальном пространстве. BSS-BBG, напротив, распространялся по всей полости стекловидного тела, и его распределение было трудно контролировать. Оба раствора не окрашивали эпиретинальные мембраны или заднюю гиалоидную

мембрану. Разница чувствительности сетчатки в обеих группах не была значимой [38].

Витрэктомия при пролиферативной диабетической ретинопатии (ПДР) остается одной из самых сложных и трудно прогнозируемых операций в офтальмологии. Schreug и соавт. опубликовали работу, посвященную изучению отдаленных результатов витреоретинальной хирургии при ПДР. Авторы отметили, что через 10 лет после первичного хирургического вмешательства по поводу ПДР около четверти всех пациентов нуждались в повторном эндовитреальном вмешательстве, в то же время больше половины исследуемых пациентов нуждались в хирургическом лечении парного глаза [39].

В настоящее время одним из основных направлений научных исследований в области витреоретинальной хирургии является поиск путей и методов, уменьшающих длительность хирургического вмешательства, а также снижающих травму, наносимую тканям во время отдельных этапов витрэктомии. В случае эндовитреальной хирургии при ПДР самым длительным и травматичным этапом операции можно считать отделение измененной задней гиалоидной мембраны и васкуляризированных пролиферативных мембран от ретинальной поверхности [28, 40, 41].

Группа витреоретинальных хирургов из Джорджии сообщила об успешном опыте применения вискодиссекции в хирургическом лечении тракционных отслоек сетчатки при тяжелой ПДР. В одно из первых исследований авторов было включено 20 пациентов с тяжелой ПДР и широкими, диффузно адгезивными фиброваскулярными мембранами и тракционной отслойкой сетчатки, которым была проведена вискодиссекция во время эндовитреального вмешательства. 12 пациентам из 20 предварительно выполняли интравитреальное введение антиангиогенного препарата. По заключению авторов, только в одном случае из 20 потребовалось дополнительное рассечение эпиретинальных мембран эндовитреальными ножницами. У всех пациентов удалось добиться полного прилегания сетчатки. В 10 случаях наблюдалось улучшение остроты зрения, в 4 удалось добиться сохранения исходных зрительных функций. Только в одном глазу потребовалось повторное эндовитреальное вмешательство в связи с рецидивирующим гемофтальмом [40].

J.A. Fortun и соавт. сообщили о результатах хирургического лечения тракционной отслойки сетчатки у пациентов с пролиферативной диабетической ретинопатией при помощи 25G витрэктомии с использованием нового инструмента для проведения вискодиссекции. В исследование вошли 30 глаз с отслойкой сетчатки на фоне ПДР. Представленный инструмент состоял из выдвижного изогнутого нитинолового зонда 25G, соединенного с 10 мл шприцем, заполненным ВЭ. Шприц, в свою очередь, соединялся с автоматизированной системой введения вязких жидкостей, что позволяло плавно вводить вискоэластик с помощью ножной педали, как это реализовано для введения силиконового масла. После выполнения этапа витрэктомии в задней гиалоидной мембране, прилегающей

к пролиферативной ткани, создавали небольшое отверстие, особое внимание при этом уделялось сохранению непрерывности ЗГМ. Затем канюлю для вискодиссекции протягивали через отверстие в ЗГМ так, чтобы кончик канюли был ориентирован параллельно поверхности сетчатки. Контролируемое введение вискоэластика, наряду с мягким тупым рассечением с использованием самой канюли постепенно приводило к отслоению гиалоидной и фиброваскулярной мембран от поверхности сетчатки. Операция завершалась газовой или воздушной тампонадой. Средняя дооперационная острота зрения составляла 0,05, средняя продолжительность наблюдения — 170 дней. У всех пациентов было достигнуто прилегание сетчатки. Средняя послеоперационная острота зрения составила 0,3, острота зрения улучшилась в 17 глазах, в 11 случаях острота зрения оставалась стабильной [41].

Поиском методик по сокращению времени операции, а также уменьшению травматизации тканей во время ВРХ руководствовались ученые из ФГБНУ НИИ ГБ, разработавшие и внедрившие способ вискодиссекции с контрастированием эпиретинальных структур в хирургию ПДР. Эффективность и безопасность способа была подтверждена у 30 пациентов с сахарным диабетом 1-го типа и ПДР с тракционной отслойкой сетчатки. Учитывая результаты исследования, можно сделать вывод, что использование данного метода сокращает общее время операции. Повышается качество визуального контроля над процессом отделения измененной задней гиалоидной мембраны от ретинальной поверхности, что, в свою очередь, минимизирует риск возникновения ятрогенных разрывов сетчатки и уменьшает необходимость повторных хирургических манипуляций [28].

Применение вискоэластиков в витреоретинальной хирургии нашло место и в педиатрической практике. Луц и соавт. успешно продемонстрировали возможность проведения нитинолового зонда при ретролентальных стриктурах во время выполнения витрэктомии в глазах с тракционной витреоретинопатией и сохранением нативного хрусталика. Вискоделаминация ретролентальных стриктур была выполнена во время проведения 23G витрэктомии на 11 глазах у 11 детей в возрасте от 4 до 58 месяцев. Ретролентальные стриктуры отделяли от задней капсулы

хрусталика путем введения вискоэластика в пространство Бергера. Количество использованного вискоэластика составляло от 0,1 до 0,3 мл. В результате в 10 из 11 прооперированных глаз ретролентальные стриктуры были удалены с задней поверхности хрусталика без повреждения задней капсулы. В течение всего периода наблюдения (от 12 до 18 месяцев) прозрачность хрусталика вдоль зрительной оси сохранялась в 5 глазах с семейной экссудативной витреоретинопатией, в одном глазу с ретинопатией недоношенных и в 2 из 5 глаз с персистирующей сосудистой системой. Атравматическую вискоделаминацию выполняли только при отсутствии врастания ретролентальных стриктур в заднюю капсулу хрусталика. Прилегание сетчатки было отмечено во всех 11 глазах [42].

Внедрение вискоэластичных веществ в офтальмологию открыло новые возможности для более быстрого и безопасного проведения хирургических вмешательств, в том числе в области витреоретинальной хирургии. При патологии сетчатки основной областью применения ОВЭ является защита поверхности сетчатки от интраоперационного механического (при отделении ЗГМ или разделении пролиферативных мембран) или химического (при использовании различных красителей) воздействия.

Главным недостатком применения ВЭ является их влияние на офтальмотонус глаза, что вынуждает хирурга тщательно контролировать полноту удаления ВЭ из глаза при завершении операции. Несмотря на это, в литературе нет сведений об осложнениях или неудачам опыте применения вискоэластиков в витреоретинальной хирургии.

В связи с активным развитием витреоретинальной хирургии, в частности хирургии ПДР, при которой одной из основных проблем является безопасное удаление задней гиалоидной и пролиферативных мембран, применение ВЭ с целью более быстрого и безопасного удаления вышеперечисленных структур путем выполнения вискодиссекции и вискоделаминации является актуальным направлением для дальнейших исследований.

УЧАСТИЕ АВТОРОВ:

Петрачков Д.В. — редактирование текста, окончательное утверждение рукописи;
Сидамонидзе А.Л. — написание текста;
Барышев К.В. — написание текста;
Шабалина К.Н. — написание текста.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Arshinoff S. New terminology: ophthalmic viscosurgical devices. *J Cataract Refract Surg.* 2000; May;26(5):627–628. doi: 10.1016/s0886-3350(00)00450-8.
- Balazs EA. Sodium hyaluronate and viscosurgery. In Miller D, Stegmann R (eds). *Healon, A guide to its use in ophthalmic surgery.* New York: Wiley Medical Publishers. 1983;5–28.
- Y, Zhao Z, Shao Y, Waller SG, Jhanji V, Chen W. Viscoelastic-Assisted Non-Desemet Stripping Automated Endothelial Keratoplasty in Vitrectomized and Iris-Lens Diaphragm Injured Eyes. *Eye Contact Lens.* 2015;41(6):398–402. doi: 10.1097/ICL.0000000000000156.
- Balazs EA. Ultrapurine hyaluronic acid and the use thereof. Inventor; US patent 4 141 973. Biotrics, Inc, assignee. 1979; October 17.
- Koçluk Y, Kasım B, Sukgen EA. Use of viscoelastic substance for preventing Desemet's membrane rupture in deep anterior lamellar keratoplasty. *Arq Bras Oftalmol.* 2021;84(3):230–234. doi: 10.5935/0004-2749.20210037.
- Goa KL, Benfield P. Hyaluronic acid. A review of its pharmacology and use as a surgical aid in ophthalmology, and its therapeutic potential in joint disease and wound healing. *Drugs.* 1994; Mar;47(3):536–566. doi: 10.2165/00003495-199447030-00009.
- Юсеф ЮН, Юсеф СН, Иванов МН, Введенский АС, Фокина НД, Алхарки Л, Шашорина СА. Эволюция реимплантации интраокулярных линз. Часть 1. Развитие методов реимплантации интраокулярных линз. *Вестник офтальмологии.* 2020;136(5):248–253. Yusef YuN, Yusef SN, Ivanov MN, Vvedenskiy AS, Fokina ND, Alkharki L, Shashorina SA. Evolution of IOL exchange. Part 1. Development of methods for IOL exchange. *Annals of Ophthalmology* 2020;136(5):248–253 (In Russ.). doi: 10.17116/oftalma2020136052248.
- Петров СЮ, Мазурова ЮВ, Асламазова АЭ, Фокина НД, Вострухин СВ. Применение вискоэластиков в офтальмохирургии. *Национальный журнал глаукома.* 2016;15(1):97–108. Petrov SYu, Mazurova YuV, Aslamazova AE, Fokina ND, Vostruhin SV. Viscoelastics in ophthalmosurgery. *National Journal glaucoma* 2016;15(1):97–104 (In Russ.).
- Liesegang TJ. Viscoelastic substances in ophthalmology. *Surv Ophthalmol.* 1990; Jan-Feb;34(4):268–93. doi: 10.1016/0039-6257(90)90027-s.
- Arshinoff SA, Wong E. Understanding, retaining, and removing dispersive and pseudodispersive ophthalmic viscosurgical devices. *J Cataract Refract Surg.* 2003 Dec;29(12):2318–2323. doi: 10.1016/j.jcrs.2003.09.045.

11. Arshinoff SA, Jafari M. New classification of ophthalmic viscosurgical devices—2005. *J Cataract Refract Surg.* 2005; Nov;31(11):2167–2171. doi: 10.1016/j.jcrs.2005.08.056.
12. Arshinoff SA. Rock'n roll removal of Healon GV. In Arshinoff SA (ed). Proceedings of the 7th Annual National Ophthalmic Speakers Program. *Quebec: Medicopea,* 1997;29–30.
13. Tetz MR, Holzer MP. Two-compartment technique to remove ophthalmic viscosurgical devices. *J Cataract Refract Surg.* 2000; May;26(5):641–643. doi: 10.1016/s0886-3350(99)00420-4.
14. Zetterström C, Wejde G, Taube M. Healon5: comparison of 2 removal techniques. *J Cataract Refract Surg.* 2002; Sep;28(9):1561–1564. doi: 10.1016/s0886-3350(02)01271-3.
15. Cionni RJ, Temel M, Marques DM, Marques FF. Empty-bag technique for acrylic intraocular lens implantation using Healon5. *J Cataract Refract Surg.* 2004 Feb;30(2):453–456. doi: 10.1016/S0886-3350(03)00673-4.
16. Arshinoff SA. Using BSS with viscoadapives in the ultimate soft-shell technique. *J Cataract Refract Surg.* 2002 Sep;28(9):1509–1514. doi: 10.1016/s0886-3350(01)01251-2.
17. Teien AN, Abildgaard U, Höök M. The anticoagulant effect of heparan sulfate and dermatan sulfate. *Thromb Res.* 1976; Jun;8(6):859–867. doi: 10.1016/0049-3848(76)90014-1.
18. Pandolfi M, Hedner U. The effect of sodium hyaluronate and sodium chondroitin sulfate on the coagulation system *in vitro.* *Ophthalmology.* 1984; Jul;91(7):864–866. doi: 10.1016/s0161-6420(84)34224-5.
19. Barbucci R, Ito Y, Favia P. New materials containing HyalSx. *Soc Biomaterials Trans* 1998; 21:171.
20. Mitchell JD, Lee R, Hodakowski GT, Neya K, Harringer W, Valeri CR, Vlahakes GJ. Prevention of postoperative pericardial adhesions with a hyaluronic acid coating solution. Experimental safety and efficacy studies. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1994 Jun;107(6):1481–1488.
21. Packer AJ, McCuen BW 2nd, Hutton WL, Ramsay RC. Procoagulant effects of intraocular sodium hyaluronate (Healon) after phakic diabetic vitrectomy. A prospective, randomized study. *Ophthalmology.* 1989 Oct;96(10):1491–1494. doi: 10.1016/s0161-6420(89)32686-8.
22. Aras C, Baslar Z, Unal M, Horoz H. Comparison of the effect of Healon, Healon GV, Healon 5, Viscoat, and Ocucoat on platelet aggregation under *in vitro* conditions. *Eur J Ophthalmol.* 2006 Mar-Apr;16(2):306–310. doi: 10.1177/112067210601600218.
23. Balazs EA, Freeman MI, Klöti R, Meyer-Schwickerath G, Regnault F, Sweeney DB. Hyaluronic acid and replacement of vitreous and aqueous humor. *Mod Probl Ophthalmol.* 1972;10:3–21.
24. Pruett RC, Schepens CL, Swann DA. Hyaluronic acid vitreous substitute. A six-year clinical evaluation. *Arch Ophthalmol.* 1979 Dec;97(12):2325–2330. doi: 10.1001/archophth.1979.01020020541006.
25. Chang S. Low viscosity liquid fluorochemicals in vitreous surgery. *Am J Ophthalmol.* 1987 Jan 15;103(1):38–43. doi: 10.1016/s0002-9394(14)74166-2.
26. McLeod D, James CR. Viscodelamination at the vitreoretinal juncture in severe diabetic eye disease. *Br J Ophthalmol.* 1988 Jun;72(6):413–419. doi: 10.1136/bjo.72.6.413.
27. Grigorian RA, Castellarin A, Fegan R, Seery C, Del Priore LV, Von Hagen S, Zarkin MA. Epi-retinal membrane removal in diabetic eyes: comparison of viscodissection with conventional methods of membrane peeling. *Br J Ophthalmol.* 2003 Jun;87(6):737–741. doi: 10.1136/bjo.87.6.737.
28. Петрачков ДВ, Будзинская МВ, Матюченко АГ, Сидамонидзе АЛ, Филиппов ВМ. Вискодиссекция с контрастированием эпиретинальных мембран в хирургии пролиферативной диабетической ретинопатии. *Вестник офтальмологии.* 2021;137(4):18–23.
29. Petrachkov DV, Budzinskaya MV, Matyushchenko AG, Sidamonidze AL, Filippov VM. Viscodissection with staining of epiretinal membranes in surgery of proliferative diabetic retinopathy. *Annals of Ophthalmology.* 2021;137(4):18–23 (In Russ.). doi: 10.17116/oftalma202113704118.
30. Cacciatori M, Azzolini M, Sborgia M, Coppola M, De Molfetta V. Sodium hyaluronate 2.3% prevents contact between indocyanine green and retinal pigment epithelium during vitrectomy for highly myopic macular hole retinal detachment. *Retina.* 2004 Feb;24(1):160–161. doi: 10.1097/00006982-200402000-00025.
31. Saito M, Iida T. A surgical technique to protect the macular hole in indocyanine green-assisted vitrectomy. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging.* 2006 Nov-Dec;37(6):511–515. doi: 10.3928/15428877-20061101-15.
32. Kadonosono K, Itoh N, Uchio E, Nakamura S, Ohno S. Staining of internal limiting membrane in macular hole surgery. *Arch Ophthalmol.* 2000; Aug;118(8):1116–1118. doi: 10.1001/archophth.118.8.1116.
33. Engelbrecht NE, Freeman J, Sternberg P Jr, Aaberg TM Sr, Aaberg TM Jr, Martin DF, Sippy BD. Retinal pigment epithelial changes after macular hole surgery with indocyanine green-assisted internal limiting membrane peeling. *Am J Ophthalmol.* 2002 Jan;133(1):89–94. doi: 10.1016/s0002-9394(01)01293-4.
34. Ho JD, Tsai RJ, Chen SN, Chen HC. Cytotoxicity of indocyanine green on retinal pigment epithelium: implications for macular hole surgery. *Arch Ophthalmol.* 2003 Oct;121(10):1423–1429. doi: 10.1001/archophth.121.10.1423.
35. Iriyama A, Uchida S, Yanagi Y, Tamaki Y, Inoue Y, Matsuura K, Kadonosono K, Arae M. Effects of indocyanine green on retinal ganglion cells. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2004 Mar;45(3):943–947. doi: 10.1167/iov.03-1026.
36. Yamashita T, Uemura A, Kita H, Sakamoto T. Analysis of the retinal nerve fiber layer after indocyanine green-assisted vitrectomy for idiopathic macular holes. *Ophthalmology.* 2006 Feb;113(2):280–284. doi: 10.1016/j.ophtha.2005.10.046.
37. Hanemoto T, Ideta H, Kawasaki T. Retinal protection using a viscoadaptive viscoelastic agent during removal of a luxated crystalline lens by intravitreal phacoemulsification. *Am J Ophthalmol.* 2004 May;137(5):936–938. doi: 10.1016/j.ajo.2003.10.022.
38. Lai CC, Wu AL, Chou HD, Teh WM, Chen KJ, Chen YP, Liu L, Hwang YS, Wu WC. Sub-perfluoro-n-octane injection of ocular viscoelastic device assisted inverted internal limiting membrane flap for macular hole retinal detachment surgery: a novel technique. *BMC Ophthalmol.* 2020;20(1):116. Published 2020 Mar 21. doi: 10.1186/s12886-020-01393-1.
39. Uemoto R, Nakasato-Sonn H, Meguro A, Ito N, Yazama F, Mizuki N. Staining internal limiting membrane with a mixture of BBG and sodium hyaluronate. *Br J Ophthalmol.* 2013 Jun;97(6):690–693. doi: 10.1136/bjophthalmol-2012-302289.
40. Schreur V, Brouwers J, Van Huet RAC, Smeets S, Phan M, Hoyngh CB, de Jong EK, Klevering BJ. Long-term outcomes of vitrectomy for proliferative diabetic retinopathy. *Acta Ophthalmol.* 2021 Feb;99(1):83–89. doi: 10.1111/aos.14482.
41. Fortun JA, Hubbard JB 3rd. Viscodissection assisted 25 gauge vitrectomy for the surgical management of tractional retinal detachments in proliferative diabetic retinopathy. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2009;50(13):4195.
42. Fortun JA, Hubbard GB 3rd. New viscodissection instrument for use with micro-incisional vitrectomy in the treatment of diabetic tractional retinal detachments. *Arch Ophthalmol.* 2011 Mar;129(3):352–355. doi: 10.1001/archophth.2011.15. PMID: 21402994.
43. Lyu J, Zhang Q, Zhao P. Viscodelamination of Localized Retrolental Plaques During Lens-Sparing Vitrectomy in Eyes With Pediatric Tractional Vitreoretinopathy. *Retina.* 2020; Jun 8. doi: 10.1097/IAE.0000000000002834.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт глазных болезней имени М.М. Краснова»

Петрачков Денис Валериевич
кандидат медицинских наук, заведующий отделом инновационных витреоретинальных технологий, старший научный сотрудник
ул. Россолимо, 11а, б, 119021, Москва, Российская Федерация

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт глазных болезней имени М.М. Краснова»

Сидамонидзе Александр Леванович
кандидат медицинских наук, младший научный сотрудник отдела инновационных витреоретинальных технологий
ул. Россолимо, 11а, б, 119021, Москва, Российская Федерация

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт глазных болезней имени М.М. Краснова»

Барышев Константин Владимирович
аспирант отдела инновационных витреоретинальных технологий
ул. Россолимо, 11а, б, 119021, Москва, Российская Федерация

ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий Федерального медико-биологического агентства»

Шабалина Ксения Николаевна
врач-офтальмолог
Ореховый бульвар, 28, Москва, 115682, Российская Федерация

ABOUT THE AUTHORS

M.M. Krasnov Research Institute of Eye Diseases
Petrachkov Denis V.

PhD, head of the Innovative vitreoretinal technologies department, senior researcher
Rossolimo str., 11A, B, Moscow, 119021, Russian Federation

M.M. Krasnov Research Institute of Eye Diseases
Sidamonidze Alexander L.

PhD, junior researcher
Rossolimo str., 11A, B, Moscow, 119021, Russian Federation

M.M. Krasnov Research Institute of Eye Diseases
Baryshev Konstantin V.

postgraduate of the Innovative vitreoretinal technologies department
Rossolimo str., 11A, B, Moscow, 119021, Russian Federation

Federal Scientific and Clinical Center for Specialized Medical Assistance and Medical Technologies of the Federal Medical Biological Agency
Shabalina Ksenija N.

ophthalmologist
Orehovoy blvd, 28, Moscow, 115682, Russian Federation

Д.В. Петрачков, А.Л. Сидамонидзе, К.В. Барышев, К.Н. Шабалина

Контактная информация: Барышев Константин Владимирович kosttt1995@gmail.com

Возможности применения вискоэластиков в витреоретинальной хирургии