

Перспективы использования микрохирургического устройства из никелида титана в хирургии осложненной катаракты

А.Н. Стеблук¹, В.Э. Гюнтер², О.А. Молокова³, С.В. Гюнтер², С.Г. Аникеев², А.Н. Моногенов²

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

² НИИ медицинских материалов и имплантатов с памятью формы Сибирского физико-технического института им. акад. В.Д. Кузнецова при ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет»;

³ ФГБОУ ВО «Тюменский государственный медицинский университет» Минздрава России;

⁴ ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет» Минздрава России, Краснодар

РЕФЕРАТ

Цель. Изучить возможности использования инструмента с изменяемой геометрией формы рабочей части из никелида титана в хирургии малого разреза для удаления осложненной катаракты.

Материал и методы. Материалом для исследования послужили кадаверные глаза 7 пациентов с осложненной катарактой. Материалом для разрушения хрусталика выбран сплав никелида титана, отвечающий медицинским требованиям к конструктивным решениям такого класса хирургических инструментов в их цикличности формоизменения в транспортном и активном состоянии. Рабочее устройство инструмента в виде петли сверхэластичной тонкой нити из никелида титана диаметром 60 мкм с пористым покрытием поверхности использовано для механической фрагментации ядра хрусталика при осложненной катаракте.

Результаты. Уменьшается величина разреза тканей в зоне доступа, наблюдается уменьшение подвижности капсульного мешка на этапах фрагментации ядра хрусталика. Снижается риск осложнений, обусловленных отрицательным энергетическим и другим воздействием на структуры глаза, связанных с ультразвуковым дроблением ядра хрусталика при осложненной катаракте.

Заключение. Использование таких свойств, как сверхэластичность, пластичность и прочность материала на основе никелида титана способствует повышению эффективности вмешательства при осложненной катаракте в хирургии малого разреза.

Ключевые слова: фрагментация ядра хрусталика, кадаверные глаза, режущий инструмент из никелида титана, осложненная катаракта. ■

Авторы не имеют финансовых или имущественных интересов в упомянутых материале и методах.

Офтальмохирургия. 2020;3: 19–23.

ABSTRACT

Perspectives of using a microsurgical device made of titanium nickelide in complicated cataract surgery

A.N. Steblyuk¹, V.E. Gunther², O.A. Molokova³, S.V. Gunther², S.G. Anikeev², A.N. Monogenov²

¹ Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Krasnodar Branch;

² Research Institute of Medical Materials and Shape Memory Impalnts at Kuznetsov Siberian Physical Technical Institute, Tomsk State University;

³ Tyumen State Medical University;

⁴ Kuban State Medical University, Krasnodar;

Purpose. To examine the possibility of using a tool with variable shape geometry of the operational section of titanium nickelide for small incision surgery to remove complicated cataract.

Material and methods. Cadaveric eyes of 7 patients with complicated cataract were used for the study. Nickel titanium alloy was selected as the material for lens destruction, as it meets the medical requirements for design solutions of this class of surgical tools in cycles of

their deformation in active and transportation conditions. The instrument operational mechanism is shaped as a loop of superelastic thin thread of titanium nickelide with a diameter of 60 microns with a porous surface coating, is used for mechanical fragmentation of the lens nucleus in complicated cataracts.

Results. The size of tissue incision in the access zone is reduced. There is a decrease in capsular bag mobility at the stages of nucleus lens

fragmentation. The risk of complications caused by a negative energy and other impacts on eye structures related to ultrasound fragmentation of lens nucleus in complicated cataracts is reduced.

Conclusion. Use of such opportunities as material superelasticity, plasticity and strength, and its cutting properties when changing the shape of operational part of titanium nickelide micro-tool contributes

to improving the intervention efficiency under complicated cataracts in small incision surgery.

Key words: lens nucleus fragmentation, cadaver eyes, titanium nickelide cutting tool, complicated cataract. ■

No author has a financial or proprietary interest in any material or method mentioned

Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery. 2020;3: 19–23.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Глаукома и катаракта в структуре первичной инвалидности по зрению во многих странах мира, в том числе и в России, занимают одно из первых мест и в 17–38,6% случаев носят сочетанный характер [1, 2].

По данным разных авторов, сочетание первичной открытоугольной глаукомы (ПОУГ) и катаракты варьирует в пределах 17–76%; при рефрактерной глаукоме дистрофические изменения в тканях глаза более выражены, поэтому частота встречаемости данной патологии варьирует до 40–85% [3, 4]. Комбинированная факоэмульсификация катаракты (ФЭК) с гипотензивным вмешательством и имплантацией интраокулярной линзы (ИОЛ) находит все более широкое применение в лечении больных с глаукомой и катарактой. Однако ФЭК+НГСЭ (непроникающая глубокая склерэктомия) показана пациентам в начальной или развитой стадии ПОУГ с осложненной катарактой [5–9]. Удаление катаракты в хирургии малого разреза при далеко зашедшей ПОУГ или оперированной глаукоме нередко затруднительно из-за развития синехий, ригидности зрачка, иридоцилиарной дистрофии. При выра-

женных нарушениях гидро- и гемодинамики, количественных и качественных изменениях клеток эндотелия роговицы, дистрофических изменениях радужной оболочки, диструкции стекловидного тела, патологии сетчатки и зрительного нерва тоннельная (мануальная) экстракция катаракты или механическая факофрагментация (МФФ) является востребованным методом хирургии, учитывая высокую чувствительность патологически измененных тканей глаза к энергетическим методам. Основным недостатком традиционной операции МФФ, выполненной инструментально, – это необходимость расширения роговичного или склерального разреза для менее травматичной фрагментации и удаления ядра хрусталика, а иногда и радикальное изменение плана операции с переходом на экстракапсулярную экстракцию катаракты. Однако продление малого разреза повышает риск послеоперационных осложнений, увеличивает сроки заживления, приводит к необходимости наложения швов на операционную рану, формированию индуцированного астигматизма, что снижает остроту зрения.

В случае осложненных форм катаракты с использованием ультразвуковой хирургии возможны изменения структур заднего отрезка глаза [10]. Это необходимо учитывать при наличии у пациентов сопутствующей витреомакулярной адгезии для уменьшения риска появления витреомакулярных тракций в послеоперационном периоде, способствующих понижению зрения. Отмечается увеличение толщины сосудистой оболочки после ис-

пользования энергетических технологий при удалении катаракты, что обусловлено интраоперационным воздействием вакуума и, вследствие этого, резким перепадом ВГД. После проведения операции более заметно изменение задней гиаловидной мембраны (ЗГМ) стекловидного тела в сторону ее увеличения. Одним из повреждающих факторов энергетического воздействия факоэмульсификации (ФЭ) является нагревание наконечника рабочей части аппарата, что вызывает в той или иной степени повреждение роговицы в зоне прямого контакта. Кроме того, повышение температуры усиливает перекисное окисление липидов и приводит к образованию высокоактивных свободных радикалов в полости глаза, что способствует повреждению биологических мембран клеток заднего эпителия роговицы и приводит к гибели клеток [11, 12]. Использование же механических методов факофрагментации не сопряжено с возможностью отрицательного энергетического воздействия на структуры переднего и заднего отрезков глаза и, соответственно, на их функциональное состояние.

Применение инструментов из никелида титана может значительно упрощать методику операции [13]. В конструктивных решениях такого класса хирургических инструментов реализуются пластические и прочностные свойства никелида титана со сверхэластичностью или с эффектом памяти формы. Сплав никелида титана отвечает требованиям биосовместимости, коррозионной стойкости, способен выдерживать 10⁶ циклов деформаций без

Для корреспонденции:

Стеблюк Алексей Николаевич,
канд. мед. наук, врач-офтальмолог,
врач высшей квалификационной категории
Краснодарского филиала
ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза»
им. акад. С.Н. Федорова Минздрава России»
ORCID ID: 0000-0002-9645-4538
E-mail: office@okocentr.ru

разрушений в интервале температур 20–40°C. Режущая кромка инструмента сохраняет свои свойства при изменении формы рабочей части инструмента [14, 15].

ЦЕЛЬ

Изучение возможности использования инструмента с изменяемой геометрией формы рабочей части, выполненной в виде петли сверхэластичной тонкой нити из никелида титана, для микроинвазивной механической фрагментации ядра хрусталика в хирургии осложненной катаракты.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом для исследования послужили кадаверные глаза 7 пациентов с осложненной катарактой. Прижизненный офтальмологический диагноз 4 глаз пациентов: открытоугольная IIIа оперированная глаукома, осложненная катаракта. Прижизненный диагноз 3 глаз пациентов: миопия высокой степени, макулодистрофия, осложненная катаракта. Для работы с биоматериалом получено разрешение этического комитета ФГБОУ ВО Кубанского ГМУ: заключение этического комитета протокол № 30, дата заседания 17.09.2014.

Хирургический инструмент создан на основе никелида титана. Положительное значение имеет инертность, нетоксичность материала к тканям глазного яблока, подтвержденная экспериментальными исследованиями [16, 17]. Рабочим материалом петли выбран сверхэластичный сплав никелида титана, отвечающий требованиям биосовместимости, коррозионной стойкости, полноты и цикличности формоизменения петли в ее транспортном и активном состоянии. Предлагаемое устройство для МФФ обладает изменяемой геометрией формы рабочей части для факофрагментации с элементом послыного разру-

шения хрусталика. Нить из никелида титана (TiNiMoFe) представляет собой многокомпонентный и композиционный материал, состоящий из сердцевинки – сверхэластичного сплава (TiNiMoFe), а также оболочки – оксида титана (TiO), свойства которых значительно отличаются друг от друга. Сердцевина матричного материала нити характеризуется высоким уровнем прочности и пластических свойств, способностью при деформировании релаксировать (ослаблять) повышенные напряжения за счет образования и движения межфазных границ раздела при мартенситном фазовом переходе. Оксидный слой, наоборот, характеризуется низким уровнем пластичности, повышенной хрупкостью, а при волочении поверхность нити является источником образования трещин, сколов и других дефектов. Основным и довольно сложным инструментом в волоочильной технологии производства тонкой нити TiNi является фильера. Отверстие фильеры имеет плавное сужающееся поперечное сечение. Проволока, проходя через фильеру, пластически деформируется, принимая после выхода форму и размеры конечного сечения канала. Для повышения эффективности волочения тонкой никелид-титановой проволоки и уменьшения количества дефектов используется устройство нагрева на основе инфракрасного (ИК) излучения, позволяющее производить круговое ИК-облучение заданной мощностью на локальную поверхность нити непосредственно перед входом в фильеру [18].

Устройство для фрагментации ядра хрусталика (Патент № 2623313) [19] содержит несущую цилиндрическую трубку с внешним диаметром 2 мм, выполненную из сплава никелида титана с формой концевых участков в виде канюли и гофров штуцерной функции. Элемент послыного разрушения хрусталика выполнен в виде сложенного вдвое, с петлеобразным перегибом, отрезка никелид-титановой нитеобразной проволоки, расположенной в поло-

сти цилиндрической трубки с возможностью его продольного перемещения и выступания петлеобразного перегиба за пределы рабочей торца цилиндрической трубки (рисунок). Для увеличения режущей способности петли поверхность нитеобразной проволоки должна быть шероховатой, что достигается технологией пористой текстуры поверхности материала. Диаметр никелид-титановой проволоки 60 мкм с пористым покрытием поверхности. Диаметр петли указанного элемента в активированном состоянии (высвобожденном из полости трубки) – 7x9 мм (овальной формы). Свободные концы сложенной вдвое проволоки выступают за пределы тыльного конца трубки на длину, достаточную для закрепления в цанговой рукояти. Цилиндрическая трубка устройства может быть выполнена с изгибом для удобства манипуляций, а нитеобразной проволоке, расположенной в полости цилиндрической трубки и выходящей с тыльного конца устройства, придается большая жесткость. Аспирацию промывочных суспензий облегчает канюлеобразная форма рабочего конца трубки. Для присоединения шлангов ирригации/аспирации целесообразна штуцерная форма тыльного конца трубки, например, гофрированная форма поверхности, усиливающая герметизацию соединения трубопроводов.

По ходу операции устройство работает следующим образом.

Через выполненный тоннельный разрез роговицы и проведения переднего капсулорексиса устройство в транспортном положении петли вводят рабочим концом до касания с ядром хрусталика. Нажатием на периферию хрусталика последний разворачивают на 90° относительно оптической оси. Вытолкнув из трубки петлю накидывают на край ядра хрусталика и обратной тракцией петли производят срезание слоя ткани. Повторением «пилящих» действий фрагментируют объем ядра хрусталика с одновременным захватом и эвакуацией крупных



Рис. Последовательность работы петли рабочей части устройства

Fig. The sequence of working of operational section loop of the device

фрагментов. Зачистку освобожденной полости капсулы осуществляют ирригацией физиологическим раствором и последующей аспирацией суспензии, пользуясь для удобства и быстроты манипуляций конструктивными завершениями трубки – канюлей и штупцером.

По завершении аспирации устройства произведен забор кадаверного материала для гистологического исследования. Фиксация материала осуществлялась в 10% нейтральном формалине, гистологические срезы окрашивались гематоксилином и эозином, по Ван Гизону.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При гистологическом исследовании кадаверного материала во всех случаях выявлено помутнение хрусталика, преимущественно в зоне ядра. При окраске гематоксилином и эозином определяются очаги распада кристаллиновых волокон, пропитанные белковыми массами. После проведения механической фрагментации ядра хрусталика травматизация прилежащих тканей глазного яблока не обнаруживается. Снижению травматизации внутриглазных структур способствует адаптированное воздействие рабочей части микроинструмента из никелида титана при послойном разрушении ядра хрусталика. Весомым фактором состоятельности и критерием ожидаемого результата является величина разреза тканей в зоне доступа. Современная техника деструкции тканей позволяет минимизировать этот

размер до 1,6–2,0 мм. Использование предлагаемого устройства позволяет сохранять наилучший стандарт размеров малого разреза в катарактальной хирургии до 2,0 мм и даже уменьшить его. При внешнем рабочем диаметре трубки 2 мм адекватный размер тоннельного доступа минимизируется до 2 мм и приближается к разрезу лазерной и ультразвуковой факофрагментации. Кроме того, с помощью предлагаемого устройства выполняются более точные и деликатные манипуляции в передней камере глаза, что уменьшает травму глаза, расход раствора для ирригации, экономит медикаменты для протекции роговицы. Возвращаясь к теме классической ФЭ, важно отметить, что наиболее ответственный этап в работе системы – это разделение ядра хрусталика, которое выполняется ультразвуковым наконечником. Существуют различные варианты дробления ядра хрусталика при ФЭ, но наиболее щадящим является эндокапсулярное вмешательство. Основная техническая задача в ходе операции заключается в уменьшении чрезмерной подвижности капсульного мешка на этапах фрагментации ядра хрусталика и эвакуации вещества хрусталика, что уменьшает вероятность разрыва края капсулорексиса, задней капсулы хрусталика, аспирации капсулы, нарушения целостности функционирующих участков связок, выпадения стекловидного тела в переднюю камеру [20–22]. Нами выявлено, что в ходе проведения механической фрагментации ядра хрусталика устройством в виде петли из

сверхэластичной тонкой нити на основе никелида титана наблюдается снижение подвижности капсульного мешка в сравнении с дроблением ядра хрусталика при ФЭ. Это позволяет успешно осуществить режим ирригации/аспирации хрусталиковых масс после послойного разрушения ядра хрусталика и удаления его фрагментированных остатков. Кроме того, совершенно по-иному может решаться вопрос удаления наиболее плотных катаракт. Например, применение технологии Ozil IP при ФЭК высокой плотности требует установки дополнительного программного обеспечения и теоретически способствует уменьшению операционной травмы. Так как использование максимальной энергии при малоэффективном разрушении и удалении фрагментов плотного ядра во время ФЭ приводят к избыточной операционной травме [23]. Предлагаемое устройство может быть использовано для удаления наиболее плотных катаракт в случаях осложненных форм катаракты и сочетанных заболеваний глаза. Волновое, оптическое и акустическое излучение аппаратов слабо локализовано, и в зону их действия попадают высокочувствительные структуры заднего отрезка глаза, в частности сетчатки. При сочетанном характере заболевания, наличии глаукомы, диабетических изменений сетчатки, дистрофических изменений сетчатки и зрительного нерва применение энергетических способов не безопасно. Совершенствование метода способствует повышению эффективности удаления ядра и уменьшению хирургической травмы внутриглазных структур для достижения необходимого реабилитационного эффекта [24, 25]. Использование таких возможностей, как сверхэластичность, пластичность и прочность материала, режущие свойства при изменении формы рабочей части микроинструмента на основе никелида титана, могут повысить эффективность вмешательства при осложненной катаракте в хирургии малого разреза.

Перспективы использования устройства в клинике:

- 1) отсутствие необходимости наложения и снятия швов;
- 2) уменьшение подвижности капсульного мешка на этапах фрагментации ядра хрусталика;
- 3) снижение риска появления отека роговицы, повреждения капсулы, отека макулы и других осложнений, связанных с отрицательными энергетическими и другими воздействиями на структуры переднего, среднего и заднего отрезков глаза;
- 4) уменьшение риска операционных и послеоперационных осложнений, приводящих к стойкому снижению зрения (экспульсивная геморрагия, другие сосудистые и иные нарушения);
- 5) возможность достижения максимальной остроты зрения;
- 6) отсутствие послеоперационного астигматизма, приводящего к дополнительной коррекции зрения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В предлагаемом варианте удаления осложненной катаракты вместо ультразвукового дробления ядра хрусталика используется наконечник в виде петли из никелида титана для фрагментации ядра хрусталика в ходе операции микроинвазивной МФФ. При этом ядро хрусталика разворачивается по оси глаза, и его разделение путем постепенного срезания тканей ядра производят в передней камере глаза. Это упрощает технику операции и снижает риск возможных осложнений в хирургии малого разреза при наличии «твердого» ядра, слабости цилиарного аппарата глаза, дистрофических изменений радужной оболочки, патологии сетчатки. Результаты проведенных исследований подтверждают технический результат способа в отношении его эффективности, упрощения и облегчения работы хирурга и готовности способа к использованию в клинической практике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бахарев А.В., Батманов Ю.Е. Результаты использования модернизированной комбинированной операции по поводу катаракты и глаукомы. Офтальмохирургия. 2007;3: 24–27. [Bakharov AV, Batmanov YuE. Rezul'taty ispol'zovaniya modernizirovannoi kombinirovannoi operatsii po povodu katarakti i glaukomy. Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery. 2007;3: 24–27. (In Russ.)]
2. Либман Е.С., Шахова Е.В., Чумаева Е.А. Инвалидность вследствие глаукомы в России. Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции. М.; 2004. [Libman ES, Shakhova EV, Chumaeva EA. Invalidnost' vsled-stvie glaukomy v Rossii. Sbornik trudov Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Moskva; 2004. (In Russ.)]
3. Малогиин Б.Э., Джандон Г.Т. Современные аспекты хирургического лечения сочетания открытоугольной глаукомы и катаракты. Глаукома: проблемы и решения. Всероссийская научно-практическая конференция. М.; 2004. [Malyugin BE, Dzhandoyan GT. Sovremennye aspekty khirurgicheskogo lecheniya sochetaniya otkrytougol'noi glaukomy i katarakti. Glaukoma: problemy i resheniya. Vserossiiskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya. Moskva; 2004. (In Russ.)]
4. Передерий В.А. Глазные болезни. М.: Эксмо; 2008. [Perederiy VA. Glaznye bolezni. Moskva: Eksmo; 2008. (In Russ.)]
5. Иванов Д.И., Быков И.Е., Катаева З.В. Результаты комбинированной и двухэтапной хирургии катаракты и глаукомы. Глаукома: проблемы и решения. Всероссийская научно-практическая конференция. М.; 2004. [Ivanov DI, Bykov IE, Kataeva ZV. Rezul'taty kombinirovan-noi i dvukhehtapnoi khirurgii katarakti i glaukomy. Glaukoma: pro-blemy i resheniya. Vserossiiskaya nauchno-prakticheskaya konferen-tsiya. Moskva; 2004. (In Russ.)]
6. Jampel HD, Friedman DS, Lubomski LH, Kempen JH, Quigley H, Congdon N, Levkovitch-Verbin H, Robinson KA, Bass EB. Effect of technique on intraocular pressure after combined cataract and glaucoma surgery: An evidence-based review. Ophthalmology. 2002;109(12): 2215–2224. doi:10.1016/s0161-6420(02)01439-2
7. Gimbel HV, Meyer D, DeBroff BM, Roux CW, Ferensowicz M. Intraocular pressure response to Combined phacoemulsification and trabeculotomy ab externo versus phacoemulsification alone in primary open-angle glaucoma. J Cataract Refract Surg. 1995;21: 653–660. doi:10.1016/s0886-3350(13)80561-5
8. Honjo M, Tanihara H, Negi A, Hangai M, Taniguchi T, Honda Y, Mizoguchi T, Matsumura M, Nagata M. Trabeculotomy ab externo, Cataract extraction and IOL implantation preliminary report. J Cataract Refract Surg. 1996;22: 601–606. doi:10.1016/s0886-3350(96)80017-4
9. Anders N, Pham DT, Holschbach A, Wollensak J. Combined phacoemulsification and filtering surgery with the «no-stitch» technique. Arch Ophthalmol. 1997;115: 1245–1249. doi:10.1001/archoph.1997.01100160415004
10. Егорова Э.В., Порханова А.В., Бронская А.Н., Заболотный А.Г. Проявление тракционного синдрома макулярной зоны у пациентов с высокой близорукостью, выявленного методом оптической когерентной томографии после неосложненной фазоэмульсификации хрусталика. X Международная науч.-практ. конф. Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии – 2009. Сб. науч. статей. М.; 2009. [Egorova EV, Porokhanova AV, Bronskaya AN, Zabolotnii AG. Proyavlenie trakttsionnogo sindroma makulyarnoi zony u patsientov s vysokoi blizorukost'yu, vyjavlennogo metodom opticheskoi koge-rentnoi tomografii posle neoslozhnnoyi fakoehmul'sifikatsii khrustalika. X Mezhdunarodnaya nauch.-prakt. konf. Sovremennye tekhnologii kataraktal'noi i refraktsionnoi khirurgii – 2009. Sb. nauch. statei. Moskva; 2009. (In Russ.)]
11. Gimbel HV. Divide and conquer nucleofractis phacoemulsification. J Cataract Refract Surg. 1991;17: 281–291. doi:10.1016/s0886-3350(13)80824-3
12. Holst F, Rolfsen W, Svenson B, Ollinger K, Lundgren B. Formation of free radicals during phacoemulsification. Curr Eye Res. 1993;12: 359–365. doi:10.3109/02713689308999460
13. Мельник Д.Д., Понтер В.Э., Дамбаев Г.Ц., Гемангиома. Томск; 2001. [Mel'nik DD, Gyunter VEh, Dambaev GTs. Gemangiomy. Tomsk; 2001. (In Russ.)]
14. Понтер В.Э., Дамбаев Г.Ц., Сысолятин П.Г. Медицинские материалы и имплантаты с памятью формы. Томск; 1998. [Gyunter VEh, Dambaev GTs, Syyolyatin PG. Meditsinskie materia-ly i implantaty s pamyat'yu formy. Tomsk; 1998. (In Russ.)]
15. Понтер В.Э., Ходоренко В.Н., Чекалкин Т.Л. Медицинские материалы и имплантаты с памятью формы. Медицинские материалы с памятью формы. Т. 1. Томск; 2011. [Gyunter VEh, Khodorenko VN, Chekalkin TL. Meditsinskie materi-aly i implantaty s pamyat'yu formy. Meditsinskie materi-aly s pa-myat'yu formy. T. 1. Tomsk; 2011. (In Russ.)]
16. Запужалов И.В., Понтер В.Э., Стеблюк А.Н. Медицинские материалы и имплантаты с памятью формы. Имплантаты с памятью формы в офтальмологии. Т. 14. Томск; 2012. [Zapuskalov IV, Gyunter VEh, Steblyuk AN. Meditsinskie materia-ly i implantaty s pamyat'yu formy. Implantaty s pamyat'yu formy v oftal'mologii. T. 14. Tomsk; 2012. (In Russ.)]
17. Yasenchuk Y, Marchenko E, Gunther V, Radkevich A, Kokorev O, Gunther S, Baigonakova G, Hodorenko V, Chekalkin T, Kang JH, Weiss S, Obrosof A. Biocompatibility and Clinical Application of Porous TiNi Alloys Made by Self-Propagating High-Temperature Synthesis (SHS). Materials (Basel). 2019;12(15): 2405. doi:10.3390/ma12152405
18. Понтер С.В., Аникеев С.Г., Kim Ji-soon, Понтер В.Э. Особенности обработки тонких нитей из никелида титана TiNi (MOFE) с использованием инфракрасного (ИК) излучения. Имплантаты с памятью формы. 2017;1-2: 37–42. [Gyunter SV, Anikeev SG, Kim Ji-soon, Gyunter VEh. Osobennosti obrabotki tonkikh nitei iz nikelida titana TiNi (MOFE) s ispol'zovaniem infrakrasnogo (IK) izlucheniya. Implantaty s pamyat'yu formy. 2017;1-2: 37–42. (In Russ.)]
19. Патент РФ на изобретение № 2623313/23.06.2017. Бюл. № 18. Стеблюк А.Н., Понтер С.В., Проскурин А.В., Спиранская К.А., Фатюшин М.Ю. Устройство для факофрагментации. Доступно по: https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet [Ссылка активна на 26.08.2020]. [Patent RUS No 2623313/23.06.2017. Byul. No 18. Steblyuk AN, Gyunter SV, Proskurin AV, Spiranskaya KA, Fatyushin MYu. Ustroistvo dlya fakofragmentatsii. Available from: https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet [Accessed 26.08.2020] (In Russ.)]
20. Assia Ebud I. Capsule anchor to manage subluxated lenses: Initial clinical experience. J Cataract Refract Surg. 2009;35(8): 1372–1379. doi:10.1016/j.jcrs.2009.02.046
21. Lim MCC, Jap AHE, Wong EYM. Surgical management of late dislocated lens capsular bag with intraocular lens and endocapsular tension ring. J Cataract Refract Surg. 2006;32(3): 533–535.
22. Малогиин Б.Э., Головин А.В., Узуян Д.Г., Исачев М.А. Особенности техники и результаты микроинвазивной фазоэмульсификации с использованием оригинальной модели внутрикапсульного кольца у пациентов с обширными дефектами связочного аппарата хрусталика. Офтальмохирургия. 2011;3: 22–26. [Malyugin BEh, Golovin AV, Uzunyan DG, Isaev MA. Osobennosti tekhniki i rezul'taty mikroinvazivnoi fakoehmul'sifikatsii s ispol'zovaniem original'noi modeli vnutrikapsul'nogo kol'tsa u patsientov s obshirnymi defektami svyazochnogo apparata khrustalika. Oftal'mokhirurgiya. Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery. 2011;3: 22–26. (In Russ.)]
23. Бессонов И.Л., Ефимов Д.В. Анализ результатов применения технологии Ozil при микрокоаксиальной фазоэмульсификации катаракты. Сб. науч. статей. М.; 2009. [Bessonov IL, Efimov DV. Analiz rezul'tatov primeneniya tekhnologii Ozil pri mikrokoaksial'noi fakoehmul'sifikatsii katarakti. Sb. nauch. statei. Moskva; 2009. (In Russ.)]
24. Buratto L. Хирургия катаракты; переход от экстракапсулярной экстракции катаракты к фазоэмульсификации. Copyright; 1999. [Buratto L. Khirurgiya katarakti; perekhod ot ehkstrakapsulyarnoi ehkstraktcii katarakti k fakoehmul'sifikatsii. Copyright; 1999. (In Russ.)]
25. Копаяев С.Ю., Копаяева В.Г., Борзенков С.А., Алборова В.У. Состояние эпителия цилиарного тела после лазерной и ультразвуковой факофрагментации. Электронно-микроскопическое исследование в эксперименте. Сообщение 2. Офтальмохирургия. 2014;1: 15–18. [Kopayev SYu, Kopayeva VG, Borzenok SA, Alborova VU. Sostoyanie ehpiteliya tsiliarnogo tela posle lazernoi i ul'trazvukovoi fakofragmentatsii. Ehektronno-mikroskopicheskoe issledovanie v ehksperimente. Soobshchenie 2. Oftal'mokhirurgiya. 2014;1: 15–18. (In Russ.)]

Поступила 07.10.2019