

# НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ

© БЫВАЛЬЦЕВ В.А., ЖДАНОВИЧ Г.С., БЕЛЫХ Е.Г. — 2015  
УДК: 616.8-089

## ОПЕРАЦИОННЫЙ МИКРОСКОП ПРИ ВЕРТЕБРОЛОГИЧЕСКИХ И КРАНИАЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЯХ: ОТ МОНОКУЛЯРА ДО 3D ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Вадим Анатольевич Бывальцев<sup>1,2,3,4,5</sup>, Глеб Сергеевич Жданович<sup>1</sup>, Евгений Георгиевич Белых<sup>4</sup>

(<sup>1</sup>Иркутский государственный медицинский университет, ректор — д.м.н., проф. И.В. Малов, кафедра госпитальной хирургии с курсом нейрохирургии, зав. — чл.-корр. РАН Е.Г. Григорьев; <sup>2</sup>Дорожная клиническая больница на ст. Иркутск-Пассажирский, гл. врач — к.м.н., Е.А. Семенищева; <sup>3</sup>Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования, ректор — д.м.н., проф. В.В. Шпрах; <sup>4</sup>Иркутский научный центр хирургии и травматологии, директор — чл.-корр. РАН Е.Г. Григорьев; <sup>5</sup>Институт ядерной физики СО РАН, и.о. директора — акад. РАН А.Н. Скринский)

**Резюме.** В статье представлены основные этапы развития операционного микроскопа — от простых выпуклых линз до современных многофункциональных моделей, а так же краткая история его применения в различных областях хирургии. Особое внимание авторы уделили этапам его введения в нейрохирургическую практику. Рассмотрено устройство операционного микроскопа, которое, несмотря на огромную разницу между первой и современными моделями, принципиально не изменилось. Особое внимание авторы уделили возможности современных микроскопов выводить операционное видео в 3D формате — в связи с чем рассмотрена физиология стереоскопического зрения у человека, значимость его для микрохирургии, а так же современные технологии передачи трехмерного изображения. Завершает статью описание клинического случая удаления невринома L2 корешка с использованием операционного микроскопа Pentero 900 и перспективы развития применения трехмерного изображения в обучении нейрохирургов.

**Ключевые слова:** нейрохирургия, операционный микроскоп, 3D визуализация, трехмерное изображение, микрохирургия, невринома, история операционного микроскопа.

## OPERATING MICROSCOPE AT SPINE AND CRANIAL OPERATIONS: FROM MONOCULAR TO 3D VISUALIZATION

V.A. Byvaltsev<sup>1,2,3,4,5</sup>, G.S. Zhdanovich<sup>1</sup>, E.G. Belykh<sup>4</sup>

(<sup>1</sup>Irkutsk State Medical University; <sup>2</sup>Railway Clinical Hospital on the station Irkutsk-Passazhirskiy of Russian Railways Ltd.; <sup>3</sup>Irkutsk State Medical Academy of Continuing Education; <sup>4</sup>Irkutsk Scientific Center of Surgery and Traumatology; <sup>5</sup>Budker Institute of Nuclear Physics, Russia)

**Summary.** The article presents the main stages of development of the surgical microscope, as well as a brief history of its use in various fields of surgery. Special attention is paid to the history of its introduction in neurosurgical practice. Considered the device of operating microscope, which despite the huge differences between the first and modern models, are not fundamentally changed. Special attention is paid to the possibilities of modern operating microscopes to display operating video in 3D format — for that considered the physiology of human stereoscopic vision, the importance of it for microneurosurgery, as well as modern transmission technology of three-dimensional image. Concluded with a description of a clinical case with using a surgical microscope 900 Pentero and prospects of application of three-dimensional images in the training of neurosurgeons.

**Key words:** neurosurgery, operating microscope, 3D visualisation, three-dimensional image, microneurosurgery, neuroma, history of operating microscope.

### История операционного микроскопа

Ещё в древние времена люди заметили, что предметы кажутся больше, когда находятся в воде [22]. В древнегипетских иероглифах, датированных 800 г. до Р.Х., имеется упоминание о выпуклых линзах — на данный момент это самое древнее упоминание о подобных предметах [8]. Первое же достоверное упоминание о практическом применении линз относится к времени правления римского императора Нерона (I век н.э.) — один из его учителей оставил нам запись о том, что мелкие и неразборчивые буквы становятся больше, если смотреть на них через шаровидную стеклянную вазу, заполненную водой [8]. Но самое раннее упоминание об оптическом устройстве, состоящим из выпуклых линз, встречается не ранее 10 века н.э., а во флорентийском манускрипте 1299 года имеется первое свидетельство использования людьми очков [21].

Интересным является факт, что до сих пор нет точной информации о том, кто же был первым изобретателем первого микроскопа — так, есть весомые доказательства того, что в 1590 году два датских исследователя — Z. Janssen и H. Janssen — разместили две линзы внутри складной трубы и получили прототип первого микроскопа [21]. Приблизительно в то же время известный итальянский учёный Галилео Галилей изобрёл оптическую трубу (телескоп), а четверть века спустя коллега Галилея — G. Faber ввел термин «микроскоп» [30].

Возможно, что первым изобретателем полноценного

микроскопа должен быть признан А. Leeuwenhoek, который сконструировал, хоть и примитивную, но вместе с тем и самую лучшую оптическую увеличительную систему для своего времени, способную давать увеличение в 270 раз [35].

Первые технические улучшения сделал Р. Нюок в XVIII веке, например, добавил шарниры для большей подвижности микроскопа [22].

Следующая веха в истории микроскопа связана с именем J.J. Lister'a, который первым использовал более сложную конструкцию микроскопа, что позволило значительно снизить абберацию, а так же сконструировал более мощную платформу, благодаря чему увеличилась вибрационная устойчивость конструкции [21].

В 1848 г. немецкий машинист С. Zeiss открыл в Йене мастерскую по производству микроскопов [22]. Несколько позже, физик Е.К. Abbe присоединился к работе С. Zeiss и разработал новые математические формулы и теории, которые произвели революцию в деле производства линз, позволив компании Zeiss стать первым крупным производителем микроскопов высокого качества [22].

Однако первый монокулярный операционный микроскоп сконструирован С. Nylen в 1921 г., который, вдохновившись лабораторными результатами своих коллег — Maier и Lion — использовал своё изобретение для излечения хронического среднего отита [11,26]. Но руководитель Nylen'a — Gunnar Holmgren — забрал проект своего

подчиненного себе и в 1922 г., усовершенствовав модель диссекционного микроскопа от Zeiss (предназначенной для работы в лаборатории), изобрел первый в мире бинокулярный операционный микроскоп [11].

Конечно, первые модели операционных микроскопов имели существенные недостатки — например, фиксация к костным структурам черепа, очень малое поле обзора (всего 6-12 мм) [31]. Однако уже в 1953 г. Zeiss выпустили первый серийный операционный микроскоп — Zeiss OpMi 1, над дизайном и улучшением технических характеристик которого поработал перед этим Hans Littman [16,23], но данная модель предназначалась только для хирургии среднего уха. Позднее Zollner и Wullstein адаптировали её для операций по тимпанопластике, а Shambaugh — для хирургии стремянки [11]. В конце 1950-х гг. Howard и William House расширили возможности отоларингологической хирургии до операций на теменной кости [11, 9, 17].

Вслед за отоларингологами преимущества использования операционного микроскопа оценили офтальмохирурги — Perritt, офтальмолог из Чикаго, впервые привез в Америку операционный микроскоп в 1946 году [12]. Первое же упоминание об использовании операционного микроскопа в офтальмологической литературе принадлежит Harms и Mackensen в 1953 и в том же году J.J. Barraquer начал использовать новейший микроскоп от Zeiss, предназначенный для отоларингологических операций, для хирургии глаза [31, 6]. Позднее Littman и Barraquer работали вместе над модификацией микроскопов от Zeiss, чтобы приспособить их для офтальмохирургии и в 1955 году появился первый операционный микроскоп с креплением к потолку, а позднее — первый микроскоп с замкнутой телевизионной системой [23,33]. Richard Troutman изобрел первую электро-гидравлическую панель управления, которая была вмонтирована в микроскопы Zeiss в специальное кресло [33, 34]. В 1961 году Keeler Corporation представила первый операционный микроскоп с подголовником и специальными ручками, а позднее, при поддержке Troutman'a компания добавила к комплектации ножную педаль-контроллер [33, 34].

#### **Внедрение операционных микроскопов в нейрохирургическую практику**

Theodore Kurze является первым нейрохирургом, применившим операционный микроскоп — 1 августа 1957 г. он удалил нейролипому седьмого нерва у 5-ти летнего пациента, и уже в начале 1960-х смог основать, не без помощи одного из своих пациентов, самую первую в мире лабораторию по микронеурхирургии основания черепа [22,12]. Т. Kurze так же смог повлиять на многих других нейрохирургов, продемонстрировав им возможность микронеурхирургии, среди которых были Robert Rand, Lawrence Pool и Charles Drake [22].

В 1958 г. нейрохирург R.M.P. Donaghy основал первую в мире исследовательскую и тренировочную микрохирургическую лабораторию [12].

В 1960 г. Jacobson и Suarez — два сосудистых хирурга — опубликовали результаты своих работ и продемонстрировали преимущества применения операционного микроскопа на примере улучшения исходов после создания анастомозов мелких сосудов [18]. Jacobson так же разработал первый микроиглодержатель и ряд других микроинструментов, которые позже улучшил пластический хирург Buncke [10]. Следует отметить, что впервые именно для Jacobson и Suarez Zeiss разработала дипломат — операционный микроскоп с дополнительным модулем для ассистента [14]. В этом же году Donaghy выполнил первую эмболектомию средней мозговой артерии с использованием микроскопа [12].

В апреле 1964 г. еще один пластический хирург — J. Smith — опубликовал результаты 17 успешных операций по восстановлению периферических нервов с использованием дипломатоскопа [32].

В 1965 г. J. Lawrence Pool опубликовал первый отчет об использовании микроскопа в хирургии внутримозговых аневризм [28]. Практически в это же время два других нейрохирурга — John Adams и J. Witt — опубликовали результаты аналогичного опыта [12]. Однако из-

вестно, что Т. Kurze уже с 1958 г. использовал операционный микроскоп при лечении аневризм, но не публиковал результаты своих работ [22].

Несомненно важным событием является впервые выполненный анастомоз между поверхностной височной и средней мозговой артериями, выполненный M.G. Yasargil 30 октября 1967 г. после года тренировок в лаборатории Donaghy [13].

Именно после 1960-х гг. нейрохирурги стали повсеместно уделять внимание навыкам работы с операционным микроскопом, подтверждением чего является впервые организованный в 1966 г. Donaghy и Yasargil' ом микрососудистый симпозиум, а уже в 1968 г. Rand, Kurze и Jannetta организовали первый микронеурхирургический симпозиум [9,10].

Со времен этих знаковых для нейрохирургии событий прошло много лет, однако и сегодня используемые операционные микроскопы продолжают совершенствоваться. Современную операционную, ориентированную на выполнение сложных нейрохирургических операций, трудно представить без операционного микроскопа, последние модели которых включают широкие функциональные возможности.

В спинальной хирургии операционный микроскоп впервые применили в 1967 г. при операции дискэктомии.

#### **«Анатомия» современного операционного микроскопа**

Несмотря на огромную разницу между первыми операционными микроскопами и их современными моделями, устройство последних, принципиально схоже. Операционный микроскоп либо жестко фиксирован, либо имеет основание — тяжелую платформу, позволяющую устойчиво установить микроскоп и избежать колебаний. У современных микроскопов там же находится встроенный компьютер с программным обеспечением и дублирующая система контроля [1]. Рабочая «голова» микроскопа включает объектив с линзой, направленный на операционное поле, окуляры — основной для хирурга и дополнительные для ассистентов, ручки с кнопками-манипуляторами, а так же, манипулятора, зажимаемого губами и переносных педалей управления [1]. Рычажные механизмы позиционирования дополнены электрическими моторами, обеспечивающими автоматическую балансировку и плавность движений микроскопа.

За счет акцепции отраженного света в объективе посредством двойной системы линз, воспринимается трехмерное пространственное изображение. При этом вмонтированный в голову микроскопа источник света, либо освещение, доставленное по гибкому стекловолокну коаксиально освещает операционное поле, что особенно актуально при выполнении минимально-инвазивных вертебрологических и краниотомных доступов [1]. Помимо перечисленных, к техническим достижениям современных операционных микроскопов следует отнести функцию автофокусировки, интеграцию с нейронавигационным оборудованием, отображающее положение фокусировки на анатомической модели, а так же роботизированное автопозиционирование и вращение вокруг заданной точки [27].

#### **Физиология стереоскопического зрения**

Возможность бинокулярного (стереоскопического) восприятия особенно актуальна для хирургических специальностей [7].

Ощущение объема объекта и расстояния до него возникает на основе феномена ретиальной диспаратности, возникающего при фиксации взгляда в одной точке. При этом зрительные оси глазных яблок сходятся на фиксируемой точке, их параллельность нарушается и изображения предметов, находящихся ближе либо дальше от фиксируемого объекта проецируются на диспаратные участки сетчатки. Близлежащие предметы, проецируются на височных, а отдаленные — на носовых диспаратных участках, вызывая эффект прямого двоения. При этом находящиеся вне макулы проекции не включаются рельефно в зрительный образ и служат ориентирами относительного положения объекта.

Бинокулярное зрение представляет собой сложный

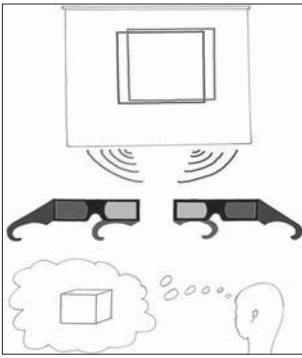


Рис. 1. Схема работы активной затворной поляризации. Две разные перспективы попеременно отображаются на экране, встроенный излучатель посылает сигналы очкам и в зависимости от перспективы закрывается одна линза. Та ким образом, очки с большой скоростью поочередно закрывают глаза и человеческий мозг совмещает две полученных картинки в одно объемное изображение.

ния относительных различий и конечной трехмерной формы поверхности объекта в пространстве [5].

Значимость стереоскопического изображения для микрохирургии

Бинокулярный операционный микроскоп сразу завоевал популярность по сравнению с монокулярным [4]. На протяжении длительного времени преимущество трехмерного изображения в узкой микрохирургической операционной ране мог оценить только оперирующий хирург, а ассистент довольствовался лишь монокулярным «шпионом». Кроме того, были и противники внедрения микроскопа, заявлявшие, что это лишь замедляет операцию и ограничивает движения хирурга [14]. На протяжении длительного периода времени, передача иллюстрационного материала с операционного микроскопа осуществлялась посредством подключения видео и фотокамер, которые передавали лишь двумерное изображение. А. Rhoton одним из первых стал применять стереоскопическое фотографирование и красно-синее проецирование для обучения нейрохирургической анатомии. Тем не менее, для получения изображения использовались фотоаппараты, что не может в полной мере передать интраоперационную картину и увеличение операционного микроскопа. Такие достижения в киноиндустрии как 3D технологии одними из первых оценили нейрохирурги. Первой системой для захвата и воспроизведения микроскопического трехмерного изображения операционной раны высокого разрешения, в точности такого же, как и у оперирующего хирурга, явилась представленная в 2012 г. приставка Trenion от Zeiss (Germany). Технология захвата изображения заключается в подключении к оптической системе микроскопа двух High Definition видеокамер, которые отдельно записывают изображения для левого и правого глаза, и введении изображения на 3D монитор с технологией

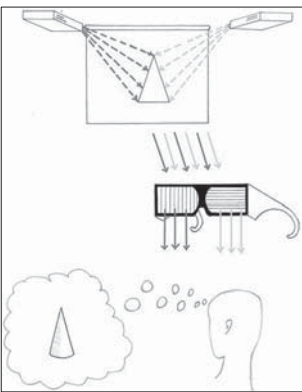


Рис. 2. Схема работы пассивной поляризации. Два изображения с различными углами зрения и разной поляризацией одновременно синхронизируются на экране. Каждая поляризационная линза 3D очков пропускает только одну поляризационную картинку у для глаза. В головном мозге происходит слияние двух отдельных картинок с получением объемного изображения.

процесс, обеспечивающийся благодаря слиянию монокулярных зрительных образов, проецируемых через ретиногеникулярный и геникулокорковый пути, межполушарные пути и зрительные поля 17, 18, которые связаны с нейронами восприятия глубины, локализованными в средней и нижней височной извилинах [5,15,19,20,28]. Координированная работа наружных мышц глаза обеспечивает ориентацию зрительных осей на объект с формированием пары сходных монокулярных изображений. В нейронах шпорной борозды происходит первичное слияние изображений, обработка цвета и контуров объекта, с дальнейшей передачей импульсов в ассоциативные центры для определе-

ния относительных различий и конечной трехмерной формы поверхности объекта в пространстве [5]. Значимость стереоскопического изображения для микрохирургии Бинокулярный операционный микроскоп сразу завоевал популярность по сравнению с монокулярным [4]. На протяжении длительного времени преимущество трехмерного изображения в узкой микрохирургической операционной ране мог оценить только оперирующий хирург, а ассистент довольствовался лишь монокулярным «шпионом». Кроме того, были и противники внедрения микроскопа, заявлявшие, что это лишь замедляет операцию и ограничивает движения хирурга [14]. На протяжении длительного периода времени, передача иллюстрационного материала с операционного микроскопа осуществлялась посредством подключения видео и фотокамер, которые передавали лишь двумерное изображение. А. Rhoton одним из первых стал применять стереоскопическое фотографирование и красно-синее проецирование для обучения нейрохирургической анатомии. Тем не менее, для получения изображения использовались фотоаппараты, что не может в полной мере передать интраоперационную картину и увеличение операционного микроскопа. Такие достижения в киноиндустрии как 3D технологии одними из первых оценили нейрохирурги. Первой системой для захвата и воспроизведения микроскопического трехмерного изображения операционной раны высокого разрешения, в точности такого же, как и у оперирующего хирурга, явилась представленная в 2012 г. приставка Trenion от Zeiss (Germany). Технология захвата изображения заключается в подключении к оптической системе микроскопа двух High Definition видеокамер, которые отдельно записывают изображения для левого и правого глаза, и введении изображения на 3D монитор с технологией

пассивной линейной поляризации. Данная технология стала революционной и значительно продвинула возможности коммуникации операционной бригады, оценки операционного видео и профессионального обучения.

### Технологии передачи трехмерного изображения

Отдельно стоит остановиться на интеграционных возможностях передачи 3D видеоизображения с операционных микроскопов. Данная технология реализуется за счёт раздельной для левого и правого глаз демонстрации изображения. Известно несколько способов реализации такой технологии, наиболее распространенными из которых являются технология пассивная поляризации и света и активная затворная технология.

#### Активная затворная технология

Суть последней заключается в попеременной передаче смещенных относительно друг друга изображений на каждый глаз по очереди — для этого нужны специальные очки, линзы которых выполнены из жидкокристаллических материалов, т.е. они выполняют роль фильтра, который синхронно с кадрами на экране поочередно закрывает глаза. В человеческом мозге происходит совмещение этих кадров и поэтому изображение воспринимается как объемное. Работают такие очки от источника питания, расположенного между линз (рис. 1).

#### Пассивная поляризация

Принцип формирования объемного изображения при пассивной поляризационной технологии основан на волновых свойствах исходящего света. Два изображения с разным направлением поляризации светового пучка одновременно проецируются на экран. Для этого на пути естественного света от проектора устанавливаются поляризационный светофильтр, который пропускает только волны, поляризованные в одном направлении. Отраженные от экрана волны сохраняют направление поляризации и проходят через специальные очки зрителя. Последние представляют собой два поляризационных светофильтра, либо очки, покрытые искусственной дихроичной пленкой, установленной под углом 90° комплиментарно со светофильтрами проекторов [3]. Таким образом, в каждый глаз проецируется световой поток от отдельного проектора (рис. 2).

Пассивная круговая технология осуществляется по принципу круговой поляризации — при прохождении анизотропного пучка света через светофильтры, волнам придаются противоположные вращательные направления для каждого глаза. Очки с фильтрами круговой поляризации пропускают комплиментарно поляризованные волны света и каждый глаз воспринимает предназначенное для него изображение [2].

**Клинический пример.** Пациентка Т., 56 лет, поступила в нейрохирургическое отделение Дорожной клинической больницы на станции Иркутск-Пассажирский с жалобами на боли в пояснично — крестцовой области, усиливающиеся при статических и динамических нагрузках, с иррадиацией в правую ногу и правый тазобедренный сустав в течение двух лет, резистентные к консервативной терапии. На МРТ выявлено интрадуральное объемное образование на уровне L1-LII. На ЭНМГ нижних конечностей выявлено увеличение латентного периода М-ответа с правой бедренной мышцы (L2-L4, правая бедренная мышца).

Пациентке выполнена ламинэктомия L<sub>p</sub>, парциально L<sub>II</sub> позвонков и тотальное микрохирургическое удаление экстрамедуллярного интрадурального образования L2 правого корешка (невринома) под увеличением микроскопа OPMI Pentero 900 (рис. 3; интраоперационное видео: <https://www.youtube.com/watch?v=i75RN1wpw4o&feature=youtu.be>). Послеоперационный период протекал без осложнений, болево й синдром купирован, без дополнительной неврологической симптоматики.

Описанные возможности современных операционных микроскопов, а именно встроенной системы трехмерной визуализации, уже давно интересуют нейрохирургов с точки зрения их обучающей пользы. Данное направление видится перспективным для создания обучающих программ для студентов, ординаторов и молодых нейрохирургов.

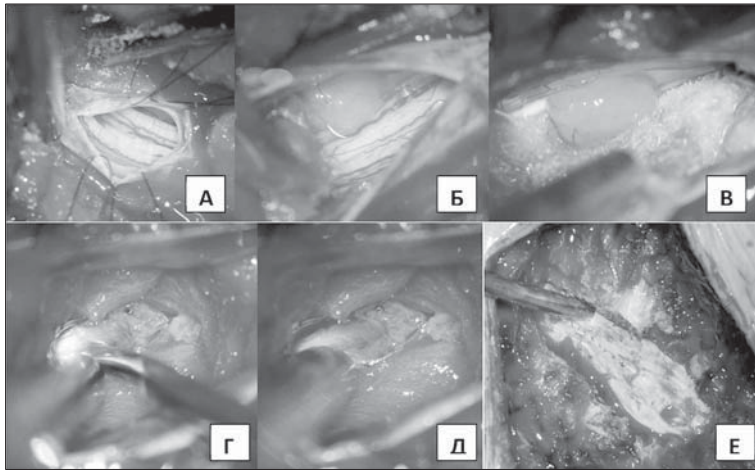


Рис. 3. Интраоперационные фотографии под увеличением операционного микроскопа ORMI Pentero 900. А — вскрытие твердой мозговой оболочки (ТМО), Б-В — локализация менингиомы, Г-Д — удаление менингиомы, Е — ушивание ТМО.

Авторы провели анкетирование среди студентов (n=14) и ординаторов (n=4) после демонстрации видео операции с 3D визуализацией — 100% респондентов отметили реалистичность показанного видео, а так же явное преимущество такого подхода обучения, по сравнению с демонстрацией 2D видео операции — в 89% (n=16). Выявленные преимущества системы трехмерной визуализации для профессионального обучения позволяют прогнозировать, что в ближайшем будущем данные технологии полу чат широкое распространение в хирургических специальностях. Трехмерная визуализация позволяет создать эффект присутствия и передать детали операционной техники, которые невозможно оценить с помощью традиционного двухмерного видео. Кроме того трехмерные технологии займут лидирующее место в преподавании хирургической анатомии — в связи с тем, что наиболее ценным является как раз получение «сквозного» трехмерного видения анатомической области. Кроме того, современные диа-

гностические исследования, такие как ангиография и МРТ-трактография возможно оценить только в трехмерном пространстве, для чего в настоящее время применяется технология трехмерной реконструкции с возможностью оценки пространственных взаимоотношений при движении модели. Главным недостатком такой технологии является сложность интерпретации неподвижного объекта — «скриншота».

Описанные в статье подходы к передаче и восприятию трехмерного изображения позволяют создавать сквозное видение различных диагностических визуализационных моделей (МРТ, КТ) в стационарном режиме [25].

Таким образом, интегрированное применение операционного микроскопа позволяет радикально удалять невриномы, локализуемые на различных уровнях пояснично-крестцового сегмента позвоночника, используя при этом малотравматичные методики — Anterior Lumbar Interbody Fusion (ALIF), Transforaminal Lumbar Interbody Fusion (TLIF), Posterior Lumbar Interbody Fusion (PLIF), eXtreme Lateral Interbody Fusion (XLIF), Facet Wedge и др. Использование указанных малотравматичных методик под контролем операционного микроскопа минимизирует возможность развития различных осложнений в послеоперационном периоде.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Прозрачность исследования:** исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы несут полную ответственность за предоставление окончательной версии рукописи в печать.

**Декларация о финансовых и иных взаимодействиях:** все авторы принимали участие в написании рукописи. Окончательная версия рукописи была одобрена всеми авторами. Работа выполнена при поддержке грантов Президента Российской Федерации МД-6662.2012.7 и СП-156.2013.4.

**Работа поступила в редакцию:** 13.07.2015.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бывальцев В.А., Белых Е.Г., Сороковиков В.А. Микрохирургический тренинг в нейрохирургии. — Новосибирск: Наука, 2013. — 144 с.
2. Ли И.Х., Дзунг И.Б. Проекционная система стереоскопического изображения с помощью модуля фильтра с круговой поляризацией / патент на изобретение. RU 2444033 06.11.2007
3. Одинокое С.Б., Маркин В.В., Павлов А.Ю. и др. Исследование амплитудной и фазовой модуляционных характеристик жидкокристаллического пространственного модулятора света в оптической системе голографической памяти // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия: Приборостроение. — 2011. — № 3. — С. 34-50.
4. Офтальмология. Учебник / Под ред. Е.И. Сидоренко — М.: ГЭОТАР-МЕД, 2002. — 408 с.
5. Anzai A., DeAngelis G.C. Neural computations underlying depth perception // Curr Opin Neurobiol. — 2010. — Vol. 20(3). — P. 367-375.
6. Barraquer J.I., Barraquer J., Littman H. A new operating microscope for ocular surgery // Am J Ophthalmol. — 1967. — Vol. 63(1). — P. 90-97.
7. Bloch E., Uddin N., Gannon L., et al. The effects of absence of stereopsis on performance of a simulated surgical task in two-dimensional and three-dimensional viewing conditions // Br J Ophthalmol. — 2015. — Vol. 99(2). — P. 240-245.
8. Bradbury S. The evolution of the microscope — New York: Pergamon, 1967. — 367 p.
9. Buncke H.J. Microsurgery — retrospective // Clin Plast Surg. — 1986. — Vol. 13(2). — P. 315-318.
10. Buncke H.J. Forty years of microsurgery: what's next? // J Hand Surg Am. — 1995. — Vol. 20(3 Pt 2). — S34-45.
11. Dohlman G.F. Carl Olof Nylen and the birth of the otomicroscope and microsurgery // Arch Otolaryngol. — 1969. — Vol. 90 (6). — P. 813-817.
12. Donaghy R.M. The history of microsurgery in neurosurgery // Clin Neurosurg. — 1979. — Vol. 26. — P. 619-625.
13. Donaghy R.M. Neurosurgeon of the year: Mahmut Gazi Yasargil // Surg Neurol. — 1980. — Vol. 13(1). — P. 1-3.
14. Eivazi S., Afsari H., Bednarik R., et al. Analysis of disruptive events and precarious situations caused by interaction with neurosurgical microscope // Acta Neurochir (Wien). — 2015. — Vol. 157 (7). — P. 1147-1154.
15. Freeman R.D. Stereoscopic vision: Which parts of the brain are involved? // Curr Biol. — 1999. — Vol. 26. N9(16). — P. R610-613.
16. Hoerenz P. Magnification: loupes and the operating microscope // Clin Obstet Gynecol. — 1980. — Vol. 23(4). — P. 1151-1162.
17. House H.P., House W.F., Hildyard V.H. Congenital stapes footplate fixation // Laryngoscope. — 1958. — Vol. 68(8). — P. 1389-1402.
18. Jacobson J.H., Suarez E.L. Microsurgery in anastomosis of small vessels // Surg Forum. — 1960. — Vol. 11. — P. 243-245.
19. Janssen P., Vogels R., Liu Y., Orban G.A. At least at the level of inferior temporal cortex, the stereo correspondence problem is solved // Neuron. — 2003. — Vol. 37. — P. 693-701.
20. Jaubert-Miazza L., Green E., Lo F.S., et al. Structural and functional composition of the developing retinogeniculate pathway in the // Vis Neurosci. — 2005. — Vol. 22(5). — P. 661-676.
21. Kalderon A.E. The evolution of microscope design from its invention to the present days // Am J Surg Pathol. — 1983. — Vol. 7(1). — P. 95-102.
22. Kriss T.C., Kriss V.M. History of the operating microscope: from magnifying glass to microneurosurgery // Neurosurgery. — 1998. — Vol. 42 (4). — P. 899-907.
23. Malis L.I. Instrumentation and techniques in microsurgery // Clin Neurosurg. — 1979. — Vol. 26. — P. 626-636.
24. Mishima S., Takizawa S. Development in microscope

designs // *Adv Ophthalmol.* — 1978. — Vol. 37. — P. 4-10.

25. Mollberg N.M., Parsad N.M., Armato S.G. Three-Dimensional Stereoscopic Volume Rendering of Malignant Pleural Mesothelioma // *Int Surg.* — 2012. — Vol. 97. — P. 65-70.

26. Nylen C.O. The otomicroscope and microsurgery // *Acta Otolaryngol.* — 1972. — Vol. 73(6). — P. 453-454.

27. Oppenlander M.E., Chowdhry S.A., Merkl B., et al. Robotic autopositioning of the operating microscope // *Neurosurgery.* — 2014. — Vol. 10 (2). — P. 214-219.

28. Pietrasanta M., Restani L., Caleo M. The corpus callosum and the visual cortex: plasticity is a game for two // *Neural Plast.* — 2012. — 2012. — P. 838672.

29. Pool J.L., Colton R.P. The dissecting microscope for intracranial vascular surgery // *J Neurosurg.* — 1966. — Vol. 25(3). — P. 315-318.

30. Purtle H.R. History of the microscope. // *The encyclopedia of microscopy and microtechnique* / Ed. P. Gray. — New York: Van Nostrand Reinhold, 1973. — P. 252-260.

31. Roper-Hall M.J. Microsurgery in ophthalmology // *Br J Ophthalmol.* — 1967. — Vol. 51(6). — P. 408-414.

32. Smith J.W. Microsurgery of peripheral nerves // *Plast Reconstr Surg.* — 1964. — Vol. 33. — P. 317-329.

33. Troutman R.C. The operating microscope in ophthalmic surgery // *Trans Am Ophthalmol Soc.* — 1965. — Vol. 63. — P. 335-348.

34. Troutman R.C. The operating microscope. Past, present and future // *Trans Ophthalmol Soc UK.* — 1967. — Vol. 87. — P. 205-218.

35. Van Zuylem J. The microscopes of Antoni van Leeuwenhoek // *J Microsc.* — 1981. — Vol. 121(Pt 3). — P. 309-328.

## REFERENCES

1. Byvaltsev V.A., Belykh E.G., Sorokovikov V.A. Microsurgical training in neurosurgery. — Novosibirsk: Nauka, 2013. — 144 p. (in Russian)

2. Li J.H., Dzung J.B. Stereoscopic image projection system using a filter with circular polarization module / patent na izobretenie. RUS 2444033 06.11.2007 (in Russian)

3. Odinokov S.B., Markin V.V., Pavlov A.Ju., et al. Investigation of amplitude and phase modulation characteristics of the liquid crystal spatial light modulator in the optical system of the holographic memory // *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta im. N. Ye. Bauman. Seriya: Priborostroenie.* — 2011. — №3. — P. 34-50. (in Russian)

4. *Ophthalmology. Textbook* / Ed. E.I. Sidorenko — Moscow: GJEOTAR-MED, 2002. — 408 p. (in Russian)

5. Anzai A., DeAngelis G.C. Neural computations underlying depth perception // *Curr Opin Neurobiol.* — 2010. — Vol. 20(3). — P. 367-375.

6. Barraquer J.I., Barraquer J., Littman H. A new operating microscope for ocular surgery // *Am J Ophthalmol.* — 1967. — Vol. 63(1). — P. 90-97.

7. Bloch E., Uddin N., Gannon L., et al. The effects of absence of stereopsis on performance of a simulated surgical task in two-dimensional and three-dimensional viewing conditions // *Br J Ophthalmol.* — 2015. — Vol. 99(2). — P. 240-245.

8. Bradbury S. The evolution of the microscope — New York: Pergamon, 1967. — 367 p.

9. Buncke H.J. Microsurgery — retrospective // *Clin Plast Surg.* — 1986. — Vol. 13(2). — P. 315-318.

10. Buncke H.J. Forty years of microsurgery: what's next? // *J Hand Surg Am.* — 1995. — Vol. 20(3 Pt 2). — S34-45.

11. Dohlman G.F. Carl Olof Nylen and the birth of the otomicroscope and microsurgery // *Arch Otolaryngol.* — 1969. — Vol. 90 (6). — P. 813-817.

12. Donaghy R.M. The history of microsurgery in neurosurgery // *Clin Neurosurg.* — 1979. — Vol. 26. — P. 619-625.

13. Donaghy R.M. Neurosurgeon of the year: Mahmut Gazi Yasargil // *Surg Neurol.* — 1980. — Vol. 13(1). — P. 1-3.

14. Eivazi S., Afkari H., Bednarik R., et al. Analysis of disruptive events and precarious situations caused by interaction with neurosurgical microscope // *Acta Neurochir (Wien).* — 2015. — Vol. 157 (7). — P. 1147-1154.

15. Freeman R.D. Stereoscopic vision: Which parts of the brain are involved? // *Curr Biol.* — 1999. — Vol. 26. N9(16). — P. R610-613.

16. Hoerenz P. Magnification: loupes and the operating microscope // *Clin Obstet Gynecol.* — 1980. — Vol. 23(4). — P. 1151-1162.

17. House H.P., House W.F., Hildyard V.H. Congenital stapes

footplate fixation // *Laryngoscope.* — 1958. — Vol. 68(8). — P. 1389-1402.

18. Jacobson J.H., Suarez E.L. Microsurgery in anastomosis of small vessels // *Surg Forum.* — 1960. — Vol. 11. — P. 243-245.

19. Janssen P., Vogels R., Liu Y., Orban G.A. At least at the level of inferior temporal cortex, the stereo correspondence problem is solved // *Neuron.* — 2003. — Vol. 37. — P. 693-701.

20. Jaubert-Miazza L., Green E., Lo F.S., et al. Structural and functional composition of the developing retinogeniculate pathway in the // *Vis Neurosci.* — 2005. — Vol. 22(5). — P. 661-676.

21. Kalderon A.E. The evolution of microscope design from its invention to the present days // *Am J Surg Pathol.* — 1983. — Vol. 7(1). — P. 95-102.

22. Kriss T.C., Kriss V.M. History of the operating microscope: from magnifying glass to microneurosurgery // *Neurosurgery.* — 1998. — Vol. 42 (4). — P. 899-907.

23. Malis L.I. Instrumentation and techniques in microsurgery // *Clin Neurosurg.* — 1979. — Vol. 26. — P. 626-636.

24. Mishima S., Takizawa S. Development in microscope designs // *Adv Ophthalmol.* — 1978. — Vol. 37. — P. 4-10.

25. Mollberg N.M., Parsad N.M., Armato S.G. Three-Dimensional Stereoscopic Volume Rendering of Malignant Pleural Mesothelioma // *Int Surg.* — 2012. — Vol. 97. — P. 65-70.

26. Nylen C.O. The otomicroscope and microsurgery // *Acta Otolaryngol.* — 1972. — Vol. 73(6). — P. 453-454.

27. Oppenlander M.E., Chowdhry S.A., Merkl B., et al. Robotic autopositioning of the operating microscope // *Neurosurgery.* — 2014. — Vol. 10 (2). — P. 214-219.

28. Pietrasanta M., Restani L., Caleo M. The corpus callosum and the visual cortex: plasticity is a game for two // *Neural Plast.* — 2012. — 2012. — P. 838672.

29. Pool J.L., Colton R.P. The dissecting microscope for intracranial vascular surgery // *J Neurosurg.* — 1966. — Vol. 25(3). — P. 315-318.

30. Purtle H.R. History of the microscope. // *The encyclopedia of microscopy and microtechnique* / Ed. P. Gray. — New York: Van Nostrand Reinhold, 1973. — P. 252-260.

31. Roper-Hall M.J. Microsurgery in ophthalmology // *Br J Ophthalmol.* — 1967. — Vol. 51(6). — P. 408-414.

32. Smith J.W. Microsurgery of peripheral nerves // *Plast Reconstr Surg.* — 1964. — Vol. 33. — P. 317-329.

33. Troutman R.C. The operating microscope in ophthalmic surgery // *Trans Am Ophthalmol Soc.* — 1965. — Vol. 63. — P. 335-348.

34. Troutman R.C. The operating microscope. Past, present and future // *Trans Ophthalmol Soc UK.* — 1967. — Vol. 87. — P. 205-218.

35. Van Zuylem J. The microscopes of Antoni van Leeuwenhoek // *J Microsc.* — 1981. — Vol. 121(Pt 3). — P. 309-328.

**Информация об авторах:** Бывальцев Вадим Анатольевич — д.м.н., профессор кафедры госпитальной хирургии с курсом нейрохирургии ИГМУ, главный нейрохирург Департамента здравоохранения ОАО «РЖД», г. Иркутск, ул. Боткина 10, 664082, ведущий научный сотрудник лаборатории БНЗТ ИЯФ СО РАН, 8 (3952)63-85-28, e-mail: byval75vadim@yandex.ru; Жданович Глеб Сергеевич — студент 5 курса педиатрического факультета, e-mail: ya.motsyl2014@yandex.ru; Белых Евгений Георгиевич — младший научный сотрудник научно-клинического отдела нейрохирургии Иркутского научного центра хирургии и травматологии, e-mail: e.belykh@yandex.ru

**Information About the Authors:** Byvaltsev Vadim — Professor of Surgery with the course of hospital neurosurgery ISMU, chief neurosurgeon of Health Department JSC “Russian Railways”, MD, PhD, DSc, Irkutsk, st. Botkin 10, 664082, leading researcher of BNCT BINP; Zhdanovich Gleb — 5th year student of the medical faculty, e-mail: ya.morsyl2014@yandex.ru; Belykh Evgeniy — graduate student, junior researcher of the ISCST, e-mail: e.belykh@yandex.ru.