

АССИСТИРОВАННЫЕ И РОБОТ-АССИСТИРОВАННЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ЭНДОСКОПИЧЕСКИЕ РИНОХИРУРГИЧЕСКИЕ ВМЕШАТЕЛЬСТВА (ОБЗОР)

О. В. Мареев — ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В. И. Разумовского» Минздрава России, заведующий кафедрой оториноларингологии, профессор, доктор медицинских наук, заслуженный врач РФ; **Г. О. Мареев** — ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В. И. Разумовского» Минздрава России, доцент кафедры оториноларингологии, профессор, доктор медицинских наук; **Д. Д. Цымбал** — ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В. И. Разумовского» Минздрава России, аспирант кафедры оториноларингологии.

ASSISTED AND ROBOT-ASSISTED FUNCTIONAL ENDOSCOPIC RHINOSURGICAL INTERVENTIONS (REVIEW)

O. V. Mareev — Saratov State Medical University, Head of Department of Otorhinolaryngology, Professor, DSc, Honored Doctor of the Russian Federation; **G. O. Mareev** — Saratov State Medical University, Associate Professor of Department of Otorhinolaryngology, Professor, DSc; **D. D. Tsybal** — Saratov State Medical University, Postgraduate Student of Department of Otorhinolaryngology.

Дата поступления — 12.03.2021 г.

Дата принятия в печать — 10.09.2021 г.

Мареев О. В., Мареев Г. О., Цымбал Д. Д. Ассистированные и робот-ассистированные функциональные эндоскопические ринохирургические вмешательства (обзор). Саратовский научно-медицинский журнал 2021; 17 (3): 415–421.

Цель: оценить плюсы и минусы ассистированных и робот-ассистированных функциональных эндоскопических вмешательств и возможности их применения в риносинусхирургии. Работа посвящена обзору методик ассистирования в эндоскопической ринохирургии с 1983 по 2020 г. по материалам зарубежных баз научных данных PubMed, ResearchGate. Всего изучены 48 источников. Приведена краткая история развития эндоскопической ринохирургии, бимануальная эндоскопическая техника и ее основные недостатки, приводятся данные литературы о пассивных и активных (роботизированных) устройствах, удерживающих эндоскоп. На основании исследованной литературы можно сделать вывод о том, что существующие коммерческие и экспериментальные роботизированные устройства различной конструкции имеют ряд серьезных недостатков, которые мешают их широкому распространению и внедрению в практику ринохирургии.

Ключевые слова: функциональная эндоскопическая ринохирургия, робот-ассистированная хирургия, эндоскопия, околоносовые пазухи.

Mareev OV, Mareev GO, Tsybal DD. Assisted and robot-assisted functional endoscopic rhinosurgical interventions (review). Saratov Journal of Medical Scientific Research 2021; 17 (3): 415–421.

Objective: to evaluate the pros and cons of assisted and robot-assisted functional endoscopic interventions and the possibilities of their use in rhinosinus surgery. The work is devoted to the review of methods of assisting in endoscopic rhinosurgery from 1983 to 2020 based on the materials of foreign scientific databases PubMed, ResearchGate. A total of 48 sources were studied. A brief history of the development of endoscopic rhinosurgery, bimanual endoscopic technique and its main disadvantages are presented, literature data on passive and active (robotic) devices holding the endoscope are presented. Based on the studied literature, it may be concluded that the existing commercial and experimental robotic devices of various designs have a number of serious disadvantages that prevent their wide distribution and introduction into the practice of rhinosurgery.

Keywords: functional endoscopic rhinosurgery, robot-assisted surgery, endoscopy, paranasal sinuses.

Одной из центральных проблем современной оториноларингологии являются хронические заболевания околоносовых пазух. За последние десятилетия заболеваемость хроническими синуситами возросла более чем в два раза, при этом с возрастом число лиц, болеющих хроническими синуситами, растет. Так, у людей в возрасте до 30 лет заболева-

емость составляет 2,7%, в возрасте 50–60 лет она увеличивается до 6,6% [1]. До 40% больных, которые проходят лечение в оториноларингологическом стационаре, страдают хроническими синуситами.

Основным хирургическим методом лечения хронических синуситов на протяжении десятилетий было проведение операций на пазухах наружным доступом — радикальных операций. Австрийские ученые стали основоположниками учения о мукоцилиарном клиренсе околоносовых пазух и щадящем эндоскопическом подходе к хирургическому лече-

нию хронических синуситов, заключающемся в улучшении оттока отделяемого через естественное соустье пазухи, а не удалении ее слизистой оболочки. На основании этой концепции в 80-х гг. XX в. ученые из Австрии, Америки, Германии разработали и популяризировали функциональную эндоскопическую хирургию околоносовых пазух (functional endoscopic sinus surgery — FESS). В России основными популяризаторами этих методик выступали Г.З. Пискунов и С.З. Пискунов и А.С. Лопатин [2]. Затем австрийские ученые начали использовать цистоскоп при проведении операции и создали различные техники выполнения операций и методы лечения, основанные на своей теории. Так, FESS — минимально инвазивные, органосохраняющие оперативные вмешательства, при которых открываются естественные соустья придаточных пазух носа и улучшается или восстанавливается естественный отток жидкости из пазух, проводимые при помощи эндоскопов и специальных инструментов [3, 4]. По результатам исследования, при котором произведен анализ осложнений после эндоскопических операций у 200 пациентов, отмечено, что частота осложнений была минимальной, а результаты — значительно превосходящими классические радикальные методики хирургического лечения хронических синуситов [1].

С того момента, как эндоскопическая хирургия околоносовых пазух впервые вошла в практику, возникли различные технологические новшества, улучшающие ее качество. Появились различные виды эндоскопов, эндоскопических видеокамер, видеостоек и дисплеев, значительно расширился арсенал операционных инструментов, вошли в обиход навигационные системы эндоскопа и многое другое. В настоящее время значительно увеличилось количество показаний к FESS, расширились возможности для удаления добро- и злокачественных опухолей полости носа и околоносовых пазух [5].

При стандартной технике проведения FESS хирург одной рукой удерживает эндоскоп, обеспечивая себе поле зрения, а другой рукой манипулирует хирургическим инструментом. Однако подобная классическая техника накладывает значительные ограничения при проведении операций. Одной рукой невозможно одновременно контролировать кровотечение и производить удаление тканей; при этом без четкого визуального контроля за действиями хирурга FESS превращается в опаснейшее мероприятие. Это приводит к созданию бимануальной техники, при которой эндоскоп должны удерживать ассистент (второй хирург) или специализированные устройства (статические держатели или роботизированные устройства), что позволяет освободить обе руки первого хирурга, это расширяет возможности для контроля за кровотечением, оперирования в труднодоступных местах, а также увеличивает скорость и точность операции [6]. Ассистент направляет эндоскоп согласно командам первого хирурга и своему опыту, основная его задача — это постоянный обзор операционного поля. Существует микрохирургический метод оперирования околоносовых пазух при помощи микроскопа, что тоже освобождает руки хирурга и позволяет выполнить многие основные приемы алгоритма FESS. В то же время этот метод имеет серьезные недостатки, а именно ограниченность движений и видимости, в связи с тем, что микроскоп зафиксирован; эндоскоп, в свою очередь, позволяет осуществлять динамическое наблюдение за оперируемой областью; также при микрохирургических операциях инструменты могут мешать освещению и наблюдению операционного поля. Бимануальная техника берет лучшее из оперирования микроскопом, а именно возможность оперирования двумя руками, с основными преимуществами оперирования эндоскопом.

В своем исследовании Н.Р. Briner с соавт. [7] утверждают, что при использовании бимануальной техники оперирования время хирургического вмешательства сокращается на 21%. G. Strauss с соавт. [8] отмечают, что применение бимануальной техники на 15% ускоряет проведение операции и улучшает эргономику FESS-вмешательства, что, в свою очередь, влияет на появление здоровья и работоспособность хирурга. Помимо этого, использование бимануальной техники, ведущее к снижению времени операции, ведет к снижению затрат, что значительно превышает средства, потраченные на второго ассистента [9].

Однако в настоящее время подавляющее большинство ринохирургов продолжают пользоваться стандартной одноручной техникой. Связано это в первую очередь с тем, что для бимануальной техники нужен ассистент-ринохирург, так же хорошо разбирающийся в FESS, как и непосредственно оперирующий больного первый хирург.

Существуют различного рода устройства, предназначенные для удержания хирургических инструментов и позиционирования их в пространстве при выполнении различных эндоскопических оперативных вмешательств. Подобные устройства можно разделить на пассивные и активные (роботизированные) устройства.

Пассивные устройства предназначены только для удержания хирургического инструментария (например, эндоскопа) в заданном положении, для изменения их положения в пространстве необходимо непосредственное участие человека. Пассивные держатели эндоскопа также дают возможность проведения операций бимануальным методом и освобождают вторую руку хирурга. К таким устройствам можно отнести Khan Endoholder, предложенный М.М. Khan с соавт. [10], который авторы успешно применили для эндоскопической хирургии уха и FESS. R. Ramon с соавт. в 2004 г. [11] сообщили об успешном применении для удержания эндоскопа при FESS нейрохирургического ретрактора Leyla-Yasargil. Эти же авторы сообщили об использовании модифицированного держателя ушных зеркал по Mitchellson для дальнейшего использования в FESS и эндоскопической хирургии уха. Улучшенную версию этого устройства создала команда М. Ushio с соавт., снабдив его носовым зеркалом. Данное устройство авторы использовали для упрощения проведения эндоскопической операции на перегородке носа. S.R. Parab с соавт. [12] разработали держатели для эндоскопов Justtack® и EndoHold®, а также произвели модификацию держателя эндоскопа Justtack® для упрощения техники эндохирургических вмешательств на ухе. При помощи модифицированного держателя ими были прооперированы более 68 пациентов методом двуручной тимпаноластики. Похожий держатель для эндоскопа предлагали нейрохирурги А. Morita с соавт. [13]. К пассивным держателям эндоскопов относятся выпускаемые серийно Point Setter (Storz) и StrongArm System (DB Medical). Однако применение всех подобных устройств очень ограничено, так как для смены точки обзора операционного поля оперирующему хирургу необходимо отвлекаться от проведения оперативного вмешательства. Основной недостаток таких систем — отсутствие способности к самостоятельному пере-

мещению инструмента в пространстве, что весьма необходимо в современных условиях при проведении хирургических вмешательств.

Оригинальный аппарат Flexi [14] помогает избежать мышечной усталости хирургам при выполнении FESS. Он состоит из двух петель, соединенных вместе и подвешенных к светильнику в операционной, эндоскоп находится в подвешенном состоянии на устройстве. Это интересное решение, не ограничивающее движений хирурга, но не освобождающее его руку от удержания эндоскопа.

Активные устройства для удержания эндоскопа могут не только удерживать инструмент или эндоскоп в данной позиции, но и осуществлять перемещение эндоскопа во время операции без непосредственного воздействия человека на данный механизм, подчиняясь дистанционным командам, полученным от хирурга. Такие аппараты являются роботизированными держателями, а хирургия с их использованием относится к робот-ассистированным вмешательствам.

В наше время роботизированная хирургия имеет широкое распространение в ряде отраслей медицины: урологии, гинекологии, хирургии брюшной полости, хирургии головы и шеи и др. [15]. В связи с быстрым технологическим прогрессом и простотой, с которой были адаптированы операции и методы, роботизированная хирургия была очень хорошо принята медицинским сообществом. Существуют несколько типов роботизированных систем по типу управления — активные (автономные), полуактивные и ведущие-ведомые системы [16]. Активные являются автономно работающими системами (в частности, PROBOT и ROBODOC), сами определяющие необходимые движения и их объем по имеющейся томограмме пациента. В полуактивных системах движения хирурга дополняют заранее запрограммированные движения инструментов. В системах типа «ведущий — ведомый» (da Vinci и ZEUS) отсутствуют самостоятельно работающие или запрограммированные элементы. В указанных системах именно хирург управляет движениями робота. Движения, выполняемые хирургом, передаются на инструменты, удерживаемые роботом, которые повторяют движения хирурга, но уже в области хирургического вмешательства.

Активные устройства разделяются также по виду механизмов, а именно в зависимости от вида точки вращения. Для выполнения роботизированных вмешательств движения робота должны быть безопасны для пациента, а инструмент, введенный в тело пациента, не должен смещаться от точки вращения (точки входа в организм пациента).

Существует несколько видов систем:

1. С пассивной точкой вращения — к ним можно отнести аппарат ZEUS (Computer Motion, USA). В этом аппарате имитируется работа рук хирурга. Во время закрепления инструмента применяются два пассивных шарнира, а точкой вращения является пассивный шарнир на конце механизма робота. В данном виде устройства троакар двигается за счет движений инструмента и не связан с позиционирующим механизмом робота.

2. С удаленной точкой вращения, в основе которой лежит сферический механизм.

3. С удаленной точкой вращения, в основе которой лежит параллелограммный механизм, например da Vinci (Intuitive Surgical, USA). В данном случае при перемещении сторон параллелограмма точки в основании параллелограмма всегда имеют одинаковый угол, это дает одну степень свободы для ин-

струмента. При наклоне параллелограммного механизма шарниром, ось которого проходит через точку вращения и лежит в плоскости параллелограммного механизма, осуществляется вторая степень свободы механизма.

4. Системы с активной точкой вращения. В данном случае точка вращения закреплена механически как одна из точек вращения, и на нее может подаваться привод. При этом инструментом будет осуществляться движение, возможные только в пределах степеней свободы суставов, где закреплена троакар.

5. Системы с программной точкой вращения (например, DLR MIRO). В таких системах возможно использование любой из схем, все движения в данной системе постоянно контролируются датчиками движения.

К первым попыткам использования роботов в хирургии относится применение промышленной руки PUMA 560, которая была использована в нейрохирургии для взятия биопсии. Подобная система использовалась и для трансуретральной резекции простаты B. L. Davies с соавт. [17]. Была создана система ROBODOC, используемая в операциях по замене тазобедренного сустава. Данная роботизированная система была первой, получившей одобрение Управления по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США (FDA). Первые операции с его использованием начались в 1992 г. Кроме того, была разработана аналогичная система (PAKY) для удаления камней из почек. Однако ни одна из данных систем не могла быть использована в лапароскопических операциях.

Дальнейшие силы разработчиков в сфере роботизированной хирургии были направлены на развитие концепции телеприсутствия, которая была создана при сотрудничестве NASA, исследователей из Стэнфордского университета и Ames Research Center, для развития технологий применения роботизированных устройств в лапароскопической хирургии. Интерес для американских военных представляло снижение смертности и заболеваемости военнослужащих в зонах конфликтов, при этом хирурги могли бы оперировать солдат через роботизированную систему, не находясь непосредственно в зоне конфликта. Первой компанией, получившей заказ от армии США, была Computer Motion, предложившая автоматизированную эндоскопическую систему для оптического позиционирования (AESOP). Позднее она была дополнена манипуляторами и таким образом создана хирургическая система ZEUS (Computer Motion, США). Данная система давала возможность хирургам управлять движением камеры и лапароскопических инструментов. Схожим вариантом был EndoAssist™, который отслеживал инфракрасные сигналы, получаемые устройством с гарнитуры, находящейся на хирурге. В это время также была разработана система SRI Green Telepresence, являвшаяся по сути самой ранней версией нынешней системы da Vinci (Intuitive Surgical Inc., США) [18]. В дальнейшем данные системы, ZEUS и da Vinci, были основными конкурентами на рынке роботизированных устройств в хирургии. Первая холецистэктомия на роботизированном устройстве была сделана на платформе da Vinci в Бельгии в 1997 г. В 1998 г. система da Vinci была использована для замены митрального клапана. В начале 1998 г., при использовании роботизированной системы ZEUS в гинекологии, был выполнен анастомоз фаллопиевой трубы. В 1999 г. в Лондонском центре медицинских наук был выполнен ряд операций на сердце при помощи

аппарата ZEUS (операция обходного анастомоза сердца с закрытой грудной клеткой, реваскуляризация сердца). В 2001 г. при помощи системы ZEUS произведена первая трансокеанская телеоперация, при которой хирург находился по другую сторону океана — хирург находился в Нью-Йорке, а пациент — в Страсбурге (Франция). В 2003 г. произошло объединение Computer Motion и Intuitive Surgical. Затем все дальнейшие улучшения были направлены на развитие da Vinci, проект ZEUS был закрыт.

ZEUS использовал систему контроля камеры из AESOP с голосовым управлением, а также две руки иной конструкции, которые использовались для движения хирургических инструментов. Система da Vinci состояла из нескольких рук от трех до четырех, закрепленные на массивном основании в центре, который удерживал бинокулярный объектив (создающий трехмерное зрение). Основным конкурентным преимуществом da Vinci являлось то, что хирургические инструменты имели шарнирное соединение рабочей части с семью дополнительными степенями свободы. Данная особенность устройства позволила ему победить в конкурентной борьбе и поглотить компанию конкурента [19–23]. Da Vinci состоит из двух основных блоков: консоли хирурга (за которой сидит хирург, наблюдающий операционное поле в стерео-окуляры и управляющий роботом) и собственно робота, стоящего у операционного стола.

В настоящее время наиболее распространенной хирургической роботизированной системой является da Vinci. Данная система используется при различных операциях: при пиелопластике, цистэктомии, нефрэктомии и радикальной простатэктомии, гистерэктомии, миомэктомии, трансаксиальной хирургии щитовидной железы (TARS) и др. Данный аппарат применяется и в оториноларингологии (ЛОП-онкологии) при трансоральной роботизированной хирургии (TORS) [24]. Роботизированные операции с использованием da Vinci имеют огромную популярность как среди пациентов, так и среди хирургов. Однако существуют ряд недостатков, связанных с этой технологией [25]. Так, J.R. Borden с соавт. [26], а также D.H. Koh с соавт. [25] собрали информацию об отказах этого робота. Авторами изучены данные о 350 роботизированных лапароскопических радикальных простатэктомиях (RLRP). Из-за проблем с роботом не удалось завершить девять из 350 запланированных операций (2,6%), при этом в трех случаях в результате сбоя работы робота пришлось переходить на открытый доступ. Da Vinci также чрезвычайно дорог в использовании и его инструменты имеют достаточно большой размер (5 и 8 мм), что мешает его распространению в другие области хирургии [27]. Таким образом, система da Vinci совершенно не применима для операций на основании черепа, в полости носа и на околоносовых пазухах ввиду больших размеров инструментов [28]. В литературе известны попытки использования робота da Vinci для трансназальных трансфеноидальных вмешательств на средней черепной ямке [29]. Авторами сделан вывод о неприспособленности системы для данного вида хирургического доступа.

Далее в тексте будут описаны различные роботизированные устройства и проблемы, в связи с которыми данные устройства не применимы в оториноларингологии (таблица).

Для создания аппарата, который будет возможно применить для FESS, нужно получить экспериментальные данные о рабочем пространстве эндоскопа, об угловом и линейном перемещении эндоскопа при различных хирургических вмешательствах в по-

лости носа и на околоносовых пазухах. K.W. Eichhorn с соавт. в 2014 г. [30] собрали данные о перемещении эндоскопа при пяти реальных FESS-вмешательствах. Согласно результатам этого исследования, необходимое число степеней свободы эндоскопа можно сократить до четырех (три поворота и одно перемещение), это дает более безопасно и легко перемещать эндоскоп при помощи роботизированных устройств.

В настоящее время существуют различные разработки и прототипы роботизированных устройств, которые могут быть использованы в FESS для удержания эндоскопа.

Серийный аппарат для удержания эндоскопа SOLOASSIST (AKTORmed GmbH, Германия), используемый преимущественно в лапароскопических вмешательствах, предложен к использованию в FESS [31]. Для дальнейшего использования в ЛОР-хирургии, по данным J. Kristin с соавт. [31], к аппарату должна быть добавлена функция ручного разблокирования пассивных перемещений аппарата и добавление двух дополнительных степеней свободы на дистальном конце руки. SOLOASSIST II (AKTORmed GmbH, Барбинг, Германия) представляет собой роботизированную систему, удерживающую эндоскоп и управляемую джойстиком. В 2020 г. J. O. Park с соавт. опубликовали данные об успешном применении его при трансаксиальной эндоскопической тиреоидотомии (4 операции) [27]. При использовании данного устройства был необходим только один хирург-ассистент. Аппарат устанавливался и настраивался 10 минут. Но полностью руки хирурга при этом не освобождаются, так как в любом случае управление эндоскопом идет при помощи джойстика на консоли.

Probot — роботизированное устройство, при работе которого движение эндоскопа идет по двум дугообразным направляющим, которые находятся в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, благодаря чему устанавливается его положение в пространстве. К минусам данного устройства следует отнести его громоздкость: две дугообразные направляющие занимают значительную область операционного поля [32].

Существует механизм UT-NEU, в котором перемещение эндоскопа происходит по дугообразной направляющей, выдвигающейся из корпуса устройства. К сожалению, данное устройство обеспечивает слишком малый объем движений в плоскости дугообразной направляющей; при использовании достаточно большой дугообразной направляющей она будет мешать работе самого устройства (упираться в операционный стол) [33].

В устройстве MARS дугообразная направляющая наклоняется в одной плоскости, по данной направляющей ходит каретка с инструментом, при этом корпус робота крепится к операционному столу. Данный аппарат является излишне громоздким, ограничивает доступ к операционному столу, к тому же направляющая нависает над областью операции, что ограничивает обзор и движения хирурга. Аппарат MARS не имеет возможности управления во время операции, инструмент двигается только по запрограммированной траектории. Попыты проводились только для нейрхирургии, в оториноларингологии он не используется [34].

DLR MIRO, роботизированное устройство, работающее по принципу программной точки вращения, демонстрировалось как «пригодное для ассистирования операций в полости носа». На настоящем этапе подобные системы излишне сложны и не вне-

Недостатки современных роботизированных систем

Система	Недостатки
Da Vinci	Отмечаются отказы и поломки робота во время работы, дорогостояща. Слишком большой размер инструментов (5 и 8 мм)
SOLOASSIST II	Управление эндоскопом при помощи джойстика на консоли, что полностью не освобождает руки хирурга во время операции
Probot	Данное устройство громоздко, две дугообразные направляющие занимают значительную область операционного поля
UT-NEU	Слишком малый объем движений в плоскости направляющей, при использовании достаточно большой направляющей сама направляющая будет упираться в операционный стол
MARS	Громоздкий, направляющая нависает над операционной областью, что уменьшает обзор. Не имеет возможности управления во время операции
DLR MIRO	Точка вращения не фиксирована механически, не отвечает необходимому уровню безопасности роботизированной системы
ZEUS	Не может быть использован в оториноларингологии, так как в его основе лежит система с пассивной точкой вращения. Излишняя нагрузка на инструмент
FREEDOM	Не соблюдены требования эргономики. Длительное нахождение ноги на весу и в одной позе ведет к усталости хирурга
Система M. Fischer с соавт.	Экспериментальный образец. Необходимость прерывания рабочего процесса для управления манипулятором эндоскопа
Система A. Boese с соавт.	Система занимает значительную площадь у операционного стола, что создает неудобства при оперировании
Система W. Shin с соавт.	Аппарат хорош в использовании при лапароскопической холецистэктомии, но сложен к применению при других лапароскопических операциях и невозможен к применению при эндоскопических операциях на полости носа
Система D. Navarro-Alarcon	В аппарате ось перемещения выбирается при помощи ножного переключателя. Данный принцип работы также неудобен и не соблюдает принципы эргономики выполнения FESS
Система C. Nimsky с соавт.	Имела слишком большой размер и могла создавать излишнее давление на костные стенки носа
Система J. P. Wurm с соавт.	Ограниченность рабочего поля, аппарат может использоваться только при сфеноотомии
Система G. Strauss с соавт.	Аппарат имеет слишком большие размеры, что мешает проведению операции
Система T. Xia с соавт.	При работе робота есть неточности в его позиционировании — около миллиметра, а также ошибки размещения и калибровки, что, в свою очередь, недопустимо для клинического использования
Система K. W. Eichhorn и F. Bootz	Размеры и кинематическая схема робота ограничивают свободу движений хирурга

дряются в широкую практику, поскольку программная точка вращения не отвечает необходимому уровню безопасности хирургической роботизированной системы [35].

Упомянутая нами ранее система роботизированной хирургии ZEUS не может быть использована непосредственно для хирургии в полости носа, так как в ее основе лежит система с пассивной точкой вращения. Такой аппарат имеет определенные недостатки — излишняя нагрузка на инструмент, инструмент может повредиться в процессе оперирования, настоящий аппарат не может работать вне троакара (в полости рта, носа, при трансаксиальном доступе) [36]. Ее часть — держатель эндоскопа AESOP (сейчас не производится в связи с закрытием работ по развитию системы ZEUS) использовался в экспериментальных работах в нейрохирургии при трансфеноидальном доступе к гипофизу. Интересно то, что система AESOP имеет голосовое управление. С.О. Nathan с соавт. [37] произвели исследование на десяти трупных головах с применением робота-ассистента AESOP. Использование этой системы дало возможность использовать хирургу обе руки для оперирования, а также позволило разместить эндоскоп ближе к месту операции, поскольку отсутствовала тряска руки, которая обычно удерживает эндоскоп. Робот мог

сохранять в памяти три позиции в пространстве и точно сменять их при помощи голосовых команд. К выявленным в данном случае недостаткам системы автор отнес большую область, занимаемую устройством у операционного стола, его высокую стоимость, а также неточность при выполнении голосовых команд, ошибки в голосовом управлении.

F. Zhong с соавт. [38] представлен аппарат с ножным управлением (FREEDOM), разработанный специально для эндоскопических операций на полости носа. Конструкция аппарата имеет относительно небольшой размер; авторами предложен специальный держатель эндоскопа, позволяющий избежать травматизации пациента при неправильном использовании робота. Управляется данный аппарат при помощи специального устройства, помещаемого на ногу хирурга, — движение эндоскопа изменяется в зависимости от наклона ноги в ту или иную сторону. Авторы применили разработку на трупах и нашли ее пригодной для клинического применения в будущем. Однако в ее системе управления не соблюдены эргономические требования — длительное нахождение ноги на весу и в одной позе ведет к усталости хирурга [39].

M. Fischer с соавт. [40] предложили новую систему для удержания и перемещения эндоскопа при FESS. Авторами были проведены исследования, в ходе ко-

торых было показано, что время перемещения эндоскопа с данным аппаратом соответствует времени перемещения эндоскопа вручную, при этом освобождается рука хирурга для манипуляции хирургическими инструментами. Тем не менее в данном устройстве не соблюдены принципы эргономики и само устройство занимает значительную часть операционного поля, что не дает никакой выгоды во время оперирования. При исследовании также было обнаружено, что к недостаткам указанного устройства можно отнести необходимость прерывания рабочего процесса для управления манипулятором эндоскопа с помощью джойстика, размещенного на консоли под рукой хирурга.

A. Voese с соавт. [41] создали прототип системы, которая может использоваться при трансоральной хирургии. В данной системе жесткий эндоскоп объединен с приводом, который позволяет совершать поступательные и вращательные движения. Кроме того, на нем установлено устройство, позволяющее быстро заменять инструмент. Управление движением приводов происходит при помощи педалей. Сама система может быть установлена на операционный стол у изголовья пациента. При всем том данная система занимает значительную площадь у операционного стола, что создает неудобства при оперировании.

W. Shin с соавт. [42] представили роботизированную систему, особенностью которой является значительное расширение рабочего пространства при различных лапароскопических операциях. Сама система имеет пять степеней свободы, состоит из трех частей: основной базы, манипулятора, лапароскопа. К сожалению, по словам самих авторов, настоящий аппарат хорош в использовании при лапароскопической холецистэктомии, но сложен к применению при других лапароскопических операциях и невозможен — при эндоскопических операциях на полости носа.

D. Navarro-Alarcon [43] предложил разработку специального держателя эндоскопа для FESS. В данном аппарате ось перемещения выбирается при помощи ножного переключателя и движения передаются через ножную педаль. Аппарат работает по принципу параллелограммного механизма с перемещаемой точкой вращения. Такой способ работы тоже неудобен, и при нем соблюдаются принципы эргономики выполнения FESS.

C. Nimsky с соавт. [44] в 2004 г. модифицировали экспериментального робота, использованного в работах по нейрохирургии, в аппарат для трансфеноидальной хирургии. Он являлся одним из первых роботизированных держателей при эндоназальной хирургии. В то же время аппарат имел слишком большой размер и мог создавать излишнее давление на костные стенки носа, что могло привести к серьезным осложнениям во время операции.

J. Wurm с соавт. [45] в 2005 г. создали аппарат, названный A73, для хирургии гипофиза, с дистанционным управлением. Основной недостаток — ограниченность рабочего поля, аппарат может использоваться только при сфенотомии.

G. Strauss с соавт. [46] предложили прототип держателя эндоскопа в 2007 г. и испытали его на 49 пациентах. Но данный аппарат имеет слишком большие размеры, что мешает проведению операции.

Команда Т. Xia с соавт. [47] в 2008 г. создали робота, способного вскрывать клиновидную кость в полуавтономном режиме, руководствуясь данными томограммы. В данном аппарате робот совместно с хирургом управляют инструментами. Зона операции у робота разделяется на запрещенные, по-

граничные и безопасные. Чем ближе детали робота к запрещенным зонам, тем сильнее сопротивление. При работе робота выяснилось: есть неточности в его позиционировании около миллиметра, а также ошибки размещения и калибровки, что, в свою очередь, недопустимо для клинического использования.

K. W. Eichhorn и F. Bootz [48] в 2011 г. показали прототип робота для эндоскопической хирургии: аппарат автоматически в автономном режиме удерживал инструмент в центре операционного поля, используя алгоритмы компьютерного зрения. Однако размеры и кинематическая схема робота ограничивают свободу движений хирурга.

Заключение. Таким образом, в приведенном обзоре рассмотрены вопросы эргономики функциональной эндоскопической хирургии. Приведенные материалы описывают современное состояние вопроса развития бимануальной техники как одной из самых перспективных техник. Бимануальная техника улучшает качество выполнения оперативного вмешательства на полости носа и околоносовых пазухах, уменьшает время операции, позволяет избежать кровотечений. Все это обеспечивает лучший обзор операционного поля, что ведет к улучшению пространственной ориентации хирурга и ведет к уменьшению возможных осложнений. Очевидно, что дальнейший путь развития бимануальной техники тесно связан с созданием специальных роботизированных устройств, позволяющих хирургу с высокой точностью оперативно самому контролировать перемещение эндоскопа в полости носа при проведении оперативного вмешательства. Для данной цели не подходят статичные устройства, так как они не обеспечивают перемещения эндоскопа в пространстве; для того чтобы сменить точку обзора операционного поля хирургу, в данном случае приходится специально отвлекаться на работу с этим удерживающим устройством, настраивая его тем или иным образом. Применение робот-ассистированных устройств с целью удержания эндоскопа обеспечивает необходимую оперативность изменения его положения в пространстве и дает хирургу возможность контроля за его положением без отвлечения его от проведения собственно оперативного вмешательства. Вместе с тем существующие в настоящее время коммерческие системы робот-ассистированной хирургии (da Vinci) непригодны для ассистирования при эндоскопической ринохирургии, так как разработаны для совершенно других целей и не могут быть использованы в столь ограниченном пространстве полости носа. Предлагаемые экспериментальные роботизированные устройства различной конструкции могут в достаточной мере решать проблемы с ассистированием хирургу при эндоскопической хирургии полости носа и околоносовых пазух, однако они также не лишены ряда недостатков, которые мешают их широкому распространению и внедрению в практику ринохирургии.

Конфликт интересов отсутствует.

References (Литература)

1. Lopatin AS, Gamov VP. Acute and chronic rhinosinusitis. Moscow: MIA, 2011; 46 p. Russian (Лопатин А.С., Гамов В.П. Острый и хронический риносинусит. М.: МИА, 2011; 46 с.).
2. Piskunov SZ, Piskunov GZ, Razinkov SP. Research technique of the functional state of the nasal mucosa. Moscow: Medicine, 1983; 97 p. Russian (Пискунов С.З., Пискунов Г.З., Разинков С.П. Методика исследования функционального состояния слизистой оболочки полости носа. М.: Медицина, 1983; 97 с.).

3. Pradhan B, Thapa N. Functional Endoscopic Sinus Surgery (FESS). *JNMA J Nepal Med Assoc* 2006; 45 (164): 337–41.
4. Kozlov BC, Shilenkova VV, Shilenkov AA. Sinusitis: a modern view of the problem. *Consilium Medicum* 2003; 4 (5): 212–8. Russian (Козлов В.С., Шиленкова В.В., Шиленков А.А. Синуситы: современный взгляд на проблему. *Consilium Medicum* 2003; 4 (5): 212–8).
5. Krouse JH, Christmas DA, Jr. Powered instrumentation in functional endoscopic sinus surgery. II: A comparative study. *Ear Nose Throat J* 1996; 75 (1): 42–4.
6. Manickavasagam J, Segaram S, Harkness P. Functional endoscopic sinus surgery chopstick technique. *Laryngoscope* 2010; 120 (5): 975–7.
7. Briner HR, Simmen D, Jones N. Endoscopic sinus surgery: advantages of the bimanual technique. *Am J Rhinol* 2005; 19 (3): 269–73.
8. Strauss G, Hofer M, Kehrt S, et al. Ein Konzept für eine automatisierte Endoskopführung für die Nasennebenhöhlenchirurgie [Manipulator assisted endoscope guidance in functional endoscopic sinus surgery: proof of concept]. *HNO* 2007; 55 (3): 177–84.
9. Szyfter W, Borucki Ł, Wróbel M. Technika czterech rak w operacjach endoskopowych nosa i zatok przynosowych-doświadczenia własne [Four hands surgery in endoscopic sinus surgery-our experience]. *Otolaryngol Pol* 2008; 62 (1): 7–10.
10. Khan MM, Parab SR. Endoscopic cartilage tympanoplasty: A two-handed technique using an endoscope holder. *Laryngoscope* 2016; 126 (8): 1893–8.
11. Raman R, Prepageran N. Novel use of a Leyla-Yasargil retractor as an endoscope holder during endoscopic sinus surgery. *Ear Nose Throat J* 2004; 83 (4): 270.
12. Parab SR, Khan MM. Modified endoscope holder for two handed endoscopic ear surgery. *Indian J Otolaryngol Head Neck Surg* 2020; 72 (3): 335–41.
13. Morita A, Okada Y, Kitano M, et al. Development of hybrid integrated endoscope-holder system for endoscopic microneurosurgery. *Neurosurgery* 2004; 55 (4): 926–31; discussion 931–2.
14. George J, Farboud A, Elhassan HA, et al. The Swansea floating endoscopic assistant: a surgical handling aid. *Reports* 2018; 1 (3): 22.
15. Du YF, Chen N, Li DQ. Application of robot-assisted surgery in the surgical treatment of head and neck cancer. *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi* 2019; 54 (1): 58–61.
16. Lane T. A short history of robotic surgery. *Ann R Coll Surg Engl* 2018; 100 (6 sup): 5–7.
17. Davies BL, Hibberd RD, Ng WS, et al. The development of a surgeon robot for prostatectomies. *Proc Inst Mech Eng [H]* 1991; 205 (1): 35–8.
18. Satava RM. Surgical robotics: the early chronicles: a personal historical perspective. *Surg Laparosc Endosc Percutan Tech* 2002; 12 (1): 6–16.
19. Felger JE, Nifong L. The evolution of and early experience with robot assisted mitral valve surgery. *Surg Laparosc Endosc Percutan Tech* 2002; (1): 58–63.
20. Eichel L, Ahlering TE, Clayman RV. Role of robotics in laparoscopic urologic surgery. *Urol Clin North Am* 2004; 31 (4): 781–92.
21. Eadie LH, Seifalian AM, Davidson BR. Telemedicine in surgery. *Br J Surg* 2003; 90 (6): 647–58.
22. Sung GT, Gill IS. Robotic laparoscopic surgery: a comparison of the da Vinci and ZEUS systems. *J Urol* 2001; 58 (6): 893–8.
23. Challacombe B, Khan S, Murphy D, et al. The history of robotics in urology. *World J Urol* 2006; 24 (2): 120.
24. Rangarajan S, Hachem RA, Ozer E, et al. Robotics in Sinus and Skull Base Surgery. *Otolaryngol Clin North Am* 2017; 50 (3): 633–41.
25. Koh DH, Jang WS, Park JW, et al. Efficacy and safety of robotic procedures performed using the da Vinci robotic surgical system at a single institute in Korea: Experience with 10000 cases. *Yonsei Med J* 2018; 59 (8): 975–81.
26. Borden LS, Kozlowski PM, Porter CR, et al. Mechanical failure rate of da Vinci robotic system. *The Canadian Journal of Urology* 2007; (14): 3499–501.
27. Park JO, Kim MR, Park YJ, et al. Transoral endoscopic thyroid surgery using robotic scope holder: Our initial experiences. *J Minim Access Surg* 2020; 16 (3): 235–8.
28. Schneider JS, Burgner J, Webster RJ, Russell PT. Robotic surgery for the sinuses and skull base: what are the possibilities and what are the obstacles? *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg* 2013; 21 (1): 11–6.
29. Tréviillot V, Garrel R, Dombre E, et al. Robotic endoscopic sinus and skull base surgery: review of the literature and future prospects. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis* 2013; 130 (4): 201–7.
30. Eichhorn KW, Westphal R, Last C, et al. Workspace and pivot point for robot-assisted endoscope guidance in functional endonasal sinus surgery (FESS). *Int J Med Robot* 2015; 11 (1): 30–7.
31. Kristin J, Geiger R, Kraus P, Klenzner T. Assessment of the endoscopic range of motion for head and neck surgery using the SOLOASSIST endoscope holder. *Int J Med Robot* 2015; 11 (4): 418–23.
32. Harris SJ, Arambula-Cosio F, Mei Q, et al. The Probot — an active robot for prostate resection. *Proc Inst Mech Eng H* 1997; 211 (4): 317–25.
33. Hata N, Masamune K, Kobayashi E, et al. Needle insertion manipulator for CT- and MR-guided stereotactic neurosurgery. In: Jolesz FA, Young IR, Eds. *Interventional MR: techniques and clinical experience*. L.: Martin Dunitz, 1998: p. 99–106.
34. Heining M, Hofmann UG, Schlaefler A. Calibration of the motor-assisted robotic stereotaxy system: MARS. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery* 2012; 7 (6): 911–20.
35. Hagn U, Nickl M, Jörg S, et al. The DLR MIRO: a versatile lightweight robot for surgical applications. *Industrial Robot* 2008; 35 (4): 324–36.
36. Marescaux J, Rubino F. The ZEUS robotic system: experimental and clinical applications. *Surg Clin N Am* 2003; (83): 1305–15.
37. Nathan CO, Chakradeo V, Malhotra K, et al. The voice-controlled robotic assist scope holder AESOP for the endoscopic approach to the sella. *Skull Base* 2006; 16 (3): 123–31.
38. Zhong F, Li P, Shi J, et al. Foot-controlled robot-enabled endoscope manipulator (FREEDOM) for sinus surgery: design, control, and evaluation. *IEEE Trans Biomed Eng* 2020; 67 (6): 1530–41.
39. Chan JY, Leung I, Navarro-Alarcon D, et al. Foot-controlled robotic-enabled endoscope holder for endoscopic sinus surgery: A cadaveric feasibility study. *Laryngoscope* 2016; 126 (3): 566–9.
40. Fischer M, Gröbner C, Dietz A, et al. Klinischer Einsatz eines Endoskop-Manipulator-Systems in der endo- und transnasalen Chirurgie [First clinical experiences with an endoscope manipulator system in endo- and transnasal surgery]. *Laryngorhinootologie* 2012; 91 (8): 487–93.
41. Boese A, Hündorf P, Arens C, et al. Setup and initial testing of an endoscope manipulator system for assistance in transoral endoscopic surgery. *Biomed Tech (Berl)* 2019; 64 (3): 347–56.
42. Shin W, Ko S, Kwon D. Design of a dexterous and compact laparoscopic assistant robot. *SICE-ICASE International Joint Conference 2006*. Bexco, 2006: p. 233–7.
43. Navarro-Alarcon D. Development and control of assistive surgical robots. In: *APAC Innovation Summit 2015, Series Robotics*. Hong Kong, 2015: p. 1–33.
44. Nimsy Ch, Rachinger J, Iro H, Fahlbusch R. Adaptation of a hexapod-based robotic system for extended endoscope-assisted transsphenoidal skull base surgery. *Minim Invasive Neurosurg* 2004; 47 (1): 41–6.
45. Wurm J, Bumm K, Steinhart H, et al. Development of an active robot system for multi-modal paranasal sinus surgery. *HNO* 2005; 53 (5): 446–54.
46. Strauss G, Hofer M, Fischer M, et al. First clinical application of a navigation-controlled shaver in paranasal sinus surgery. *Surg Technol Int* 2008; (17): 19–25.
47. Xia T, Baird C, Jallo G, et al. An integrated system for planning, navigation and robotic assistance for skull base surgery. *The Int J of Med Robot and Comp assisted surgery* 2008; 4 (4): 321–30.
48. Eichhorn KW, Bootz F. Clinical requirements and possible applications of robot assisted endoscopy in skull base and sinus surgery. *Acta Neurochir Supp* 2011; (109): 237–40.