

УДК 617-089.844.04

<https://doi.org/10.35693/SIM540155>

© This work is licensed under CC BY 4.0

© Authors, 2024

Автоматизированные и роботизированные системы в хирургической практике

А.А. Андреев, А.А. Глухов, А.П. Остроушко, А.Ю. Лаптиева, Д.А. Боков.,
Н.О. Михайлов, П.А. Коновалов

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет имени Н.Н. Бурденко»
Минздрава России (Воронеж, Российская Федерация)

Аннотация

Использование роботизированных систем давно вышло за грани экспериментальной медицины. Ежегодно производится более 200 тыс. операций в год с использованием только самого популярного роботизированного комплекса Da Vinci. Дальнейшее развитие робототехники существенно повлияет на повышение качества и точности оперативных вмешательств, позволит значительно снизить риск развития послеоперационных осложнений.

Для цитирования:

Андреев А.А., Глухов А.А., Остроушко А.П., Лаптиева А.Ю., Боков Д.А., Михайлов Н.О., Коновалов П.А. Автоматизированные и роботизированные системы в хирургической практике. Наука и инновации в медицине. 2024;9(3):XX-XX. <https://doi.org/10.35693/SIM540155>

Сведения об авторах

Андреев А.А. – д-р мед. наук, профессор кафедры общей и амбулаторной хирургии. <https://orcid.org/0000-0001-8215-7519>
E-mail: sugery@mail.ru
Глухов А.А. – д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой общей и амбулаторной хирургии. <https://orcid.org/0000-0001-9675-7611>
E-mail: aglukhov@vrngmu.com
Остроушко А.П. – канд. мед. наук, доцент кафедры общей и амбулаторной хирургии. <https://orcid.org/0000-0003-3656-5954>
E-mail: anton@vrngmu.com
Лаптиева А.Ю. – ассистент кафедры общей и амбулаторной хирургии. <https://orcid.org/0000-0002-3307-1425> E-mail: lapatievaa@mail.ru

В статье представлен анализ результатов внедрения роботов в хирургию. Выполнен обзор данных, представленных в PubMed, Cochrane Library, ScienceDirect и eLIBRARY.

Ключевые слова: роботизированный комплекс; автоматизированная система; робототехника; хирургия; роботизированный комплекс.

Конфликт интересов: не заявлен.

Боков Д.А. – студент 6 курса лечебного факультета.

<https://orcid.org/0000-0002-5734-3093>

E-mail: dmitrybokov01@mail.ru

Михайлов Н.О. – ассистент кафедры общей и амбулаторной хирургии.

<https://orcid.org/0000-0002-1710-205X>

E-mail: n.o.mikhailov@gmail.com

Коновалов П.А. – аспирант кафедры общей и амбулаторной хирургии.

<https://orcid.org/0000-0002-6178-1205>

E-mail: dr.kon68@gmail.com

Автор для переписки

Лаптиева Анастасия Юрьевна

Адрес: Воронежский государственный медицинский университет, ул. Студенческая, 10, г. Воронеж, Россия, 394036.

E-mail: lapatievaa@mail.ru

Получено: 09.07.2023

Одобрено: 13.02.2024

Опубликовано: 23.07.2024

Automated robotic systems in surgical practice

Aleksandr A. Andreev, Aleksandr A. Glukhov, Anton P. Ostroushko, Anastasiya Yu. Lapatieva,
Dmitrii A. Bokov, Nikolai O. Mikhailov, Pavel A. Kononov

Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko (Voronezh, Russian Federation)

Abstract

The use of robotic systems has long gone beyond experimental medicine. More than 200 thousand operations per year are carried out with the use of just the most popular robotic complex Da Vinci. Further development of robotics will contribute to improvement of quality and accuracy of surgical interventions. Even now, it enables reduction of postoperative complications

to almost zero. This review presents the analysis of the results of introducing robots into surgery. An overview of the data presented in PubMed, Cochrane Library, Science Direct and eLIBRARY was performed.

Keywords: robotic complex; automated system; robotics; surgery; robotic complex.

Conflict of interest: nothing to disclose.

Citation

Andreev AA, Glukhov AA, Ostroushko AP, Lapatieva AY, Bokov DA, Mikhailov NO, Kononov PA. Automated robotic systems in surgical practice. Science and Innovations in Medicine. 2024;9(3):XX-XX. <https://doi.org/10.35693/SIM540155>

Information about authors

Aleksandr A. Andreev – PhD, Professor of the Department of General and Outpatient Surgery. <https://orcid.org/0000-0001-8215-7519>
E-mail: sugery@mail.ru

Aleksandr A. Glukhov – PhD, Professor, head of the Department of General and Outpatient Surgery. <https://orcid.org/0000-0001-9675-7611>
E-mail: aglukhov@vrngmu.com

Anton P. Ostroushko – PhD, Associate professor of the Department of Department of General and Outpatient Surgery. <https://orcid.org/0000-0003-3656-5954>
E-mail: anton@vrngmu.com

Anastasiya Yu. Lapatieva – assistant of the Department of General and Outpatient Surgery. <https://orcid.org/0000-0002-3307-1425> E-mail: lapatievaa@mail.ru

Dmitrii A. Bokov – 6th year student of the medical faculty.

<https://orcid.org/0000-0002-5734-3093> E-mail: dmitrybokov01@mail.ru

Nikolai O. Mikhailov – assistant, Department of General and Outpatient Surgery.

<https://orcid.org/0000-0002-1710-205X>

E-mail: n.o.mikhailov@gmail.com

Pavel A. Kononov – graduate student of the Department of General and Outpatient Surgery. <https://orcid.org/0000-0002-6178-1205>

E-mail: dr.kon68@gmail.com

Corresponding Author

Anastasiya Yu. Lapatieva

Address: Voronezh State Medical University, 10 Studencheskaya st., Voronezh, Russia, 394036. E-mail: lapatievaa@mail.ru

Received: 09.07.2023

Accepted: 13.02.2024

Published: 23.07.2024

■ АКТУАЛЬНОСТЬ

При выполнении хирургических манипуляций человек не всегда способен исполнить их достаточно точно и безошибочно, что зачастую связано со значительными техническими сложностями оперативного вмешательства [1]. Одним из решений данной проблемы в современной медицине стало использование специализированных хирургических роботов, что позволило улучшить качество оперативного лечения, существенно снизить объем кровотока, риск послеоперационных осложнений и количество ошибок хирурга за счет повышения точности его работы [1, 3–8]. Операции с использованием робототехники проводят во всех областях хирургии, а в отдельных направлениях их начинают воспринимать в качестве «золотого стандарта» хирургического лечения [2]. К значимым плюсам роботизированной хирургии относится также возможность проведения оперативного вмешательства посредством использования телемедицинских технологий [3–8].

■ ЦЕЛЬ ОБЗОРА

Анализ результатов внедрения автоматизированных и роботизированных систем в хирургическую практику. Выполнен обзор данных, представленных в PubMed, Cochrane Library, ScienceDirect и eLIBRARY. Поиск осуществлялся по ключевым словам: «роботизированный комплекс», «автоматизированная система», «робототехника», «робот», «хирургия», "surgical assistant system", «роботизированный комплекс», "Da Vinci", "ZEUS", "Probot", "AESOP", "Senhance" и ограничен периодом 2007–2022 гг. Критерии исключения из анализа: описание отдельных клинических случаев, книги, монографии и документы. В итоговый анализ были включены 50 из 153 первично выявленных источников.

■ ИСТОРИЯ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ХИРУРГИИ

Первым используемым роботом в хирургии был аппарат, разработанный в США в 1983 году как концепция роботизированной системы для использования в ортопедической хирургии, под названием Robodoc surgical assistant system [4]. Robodoc разрабатывали как систему, позволяющую хирургам точно подбирать размер и тип ортопедического имплантата для эндопротезирования тазобедренного сустава, проводить обработку полости для его установки. Данные устройства считаются первой системой, которая могла выполнять активные хирургические действия, запрограммированные перед операцией [4].

В 1985 году был сконструирован аппарат Unimate Puma 560, применяемый для взятия биопсии головного мозга и лапароскопических операций [5]. Разработка данного робота началась в 1978 году [6]. Созданную технологию на тот момент описывали как манипулятор, позволяющий перемещать необходимые для проведения операции материалы и инструменты с помощью специализированных программируемых движений [6]. В 1988 году Unimate Puma 560 был впервые использован для введения иглы в головной мозг под контролем компьютерной томографии [6]. Данная технология заложила основы робототехники в хирургии и позволила использовать ее в качестве ассистента хирурга с появлением роботизированных рук [8].

В конце 1980-х годов в Великобритании был разработан Probot – роботизированная система, используемая для операций на предстательной железе [7]. Система Probot устроена из двух подсистем, позволяющих интраоперационно визуализировать предстательную железу и идентифицировать контуры железы на каждом изображении [7]. Технология используется совместно с УЗИ-исследованием, поскольку осуществляет свой анализ на основании данных ультразвукового исследования. Аппарат зарекомендовал себя как достаточно точное устройство для проведения операций, дающее незначительную погрешность в определении границ предстательной железы [7].

В 1993 году компанией Computer Motion была разработана роботизированная рука AESOP с голосовым управлением и оснащением в виде эндоскопа [8]. Система помогала хирургам при проведении лапароскопических операций путем передачи и воспроизведения изображения операционного поля на экран под контролем ассистента с помощью линз. Первой моделью управляли с помощью специальной педали или вручную, последующими – с помощью голосовых команд, облегчающих взаимодействие с системой во время операции [8].

Современные хирургические комплексы состоят из двух важнейших частей – из механической руки и инструментария в ней [9]. Роботизированную технику в хирургии разделяют на два типа: классические руки с последовательной системой механического движения и механизмы с параллельной системой [9].

■ СОВРЕМЕННЫЕ РОБОТИЗИРОВАННЫЕ ХИРУРГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ

Роботы с последовательной системой бывают антропоморфные и SCARA [9]. Антропоморфные, или человекообразные, роботизированные руки состоят из трех последовательно расположенных суставов, определяющих движение руки в пространстве [9, 10]. SCARA в свою очередь состоит из нескольких суставов, оси которых расположены перпендикулярно основанию руки [9]. Данный тип роботизированной руки является основой в том числе роботизированной системы Da Vinci [9–16].

Роботизированная система Zeus

Робот Zeus был разработан компаниями Intuitive Surgical и Computer Motion в 1996 году и одобрен в 2001 году [10]. Роботизированная система Zeus состоит из трех манипуляторов, прикрепленных к хирургическому столу, и компьютера с программным обеспечением, таким же как у AESOP [11]. В процессе работы хирург пользуется специальными поляризационными очками для работы с 2D-изображением, транслируемым на экран с манипуляторов [11]. Главным преимуществом данной технологии по сравнению с ее предшественниками была возможность использования системы удаленной хирургии, а недостатками – стоимость, габариты и настройка комплекса под каждого пациента [11]. В 2003 году компания перестала производить указанный комплекс в связи с успешным внедрением в медицину комплекса Da Vinci [10]. Стоимость системы Da Vinci по отношению к системе Zeus соотносилась как 975 тыс. к 1 млн долларов на момент 2003 года [10].

Роботохирургический комплекс Da Vinci

Современный роботохирургический комплекс Da Vinci был разработан в 2000 году компанией Intuitive Surgical [12]. Он включает три взаимосвязанных элемента: прибор передачи изображения операционного поля, панель управления установкой и подвижную часть с четырьмя манипуляторами (три манипулятора для хирургического инструментария и один для камеры) [13, 14]. Передача изображения осуществляется посредством использования двух камер с поддержкой двойного источника освещения [14]. Панель управления представляет собой компьютер, воспринимающий полномасштабное изображение с передачей глубины операционного поля, видеоискатель, ножные педали, используемые для управления электрокоагуляцией и фокусировкой камер, ручные джойстики для контроля инструментария и камеры, размещенной внутри пациента [13, 14]. Для проведения операций используются специализированные наборы инструментов EndoWrist, включающие более 40 типов инструментов [15]. Набор состоит из зажимов, иглодержателей, ножниц, монополярных и биполярных хирургических инструментов, скальпелей и другого инструментария [15]. В зависимости от оперативного вмешательства хирург выбирает один из наборов 5-мм или 8-мм размера [15].

Главным преимуществом использования комплекса Da Vinci является получение хирургом полноценного трехмерного изображения с возможностью его масштабирования в несколько сотен раз [16]. Использование робота в хирургической практике существенно снижает травмирование тканей пациента. Перечисленные преимущества существенно снижают время послеоперационного периода [16]. Важно отметить отсутствие ограничений по применению системы Da Vinci: ее можно использовать практически при любом виде оперативного вмешательства [17]. Da Vinci, как и система Zeus, позволяет проводить операции в дистанционном режиме [18].

Роботизированная система позволяет использовать ее при различных видах операций. Da Vinci применяется в урологических операциях, таких как нефрэктомия, пластика лоханочно-мочеточникового сегмента [19, 20]. Робот используется в кардиохирургии, снижая вероятность кровопотери, массивного повреждения тканей сердца и летальных исходов во время операций [20–28]. Широкое применение технология получила в гинекологии, позволив снизить риск проведения радикальной гистерэктомии, лимфаденэктомии и проведения ампутаций матки [21, 22, 27].

Достоинствами использования системы Da Vinci для хирурга считаются снижение ошибок вследствие тремора рук, меньшая усталость врача в сравнении с традиционным хирургическим вмешательством, повышенная точность в выполнении операционных манипуляций, качественная визуализация, отсутствие вероятности заражения инфекционными заболеваниями от пациента [20–23, 28]. К преимуществам использования робота Da Vinci по отношению к пациенту относят менее выраженный болевой синдром, минимальные кровопотери в ходе выполнения оперативного вмешательства и в послеоперационном периоде, а также уменьшение вероятности возникновения осложнений и короткий восстановительный период [22, 29]. Малоинвазивность операций с использованием робота

также позволяет уменьшить риск кровопотери и дает лучший косметический результат в сравнении с традиционной хирургией [23].

К основным недостаткам применения Da Vinci относят высокую стоимость системы, ее габариты, отсутствие тактильной и инструментальной чувствительности, необходимых при некоторых видах операций, ограниченность манипуляций робота одной анатомической областью пациента, необходимость настройки под каждого пациента и необходимость специальной подготовки медицинского персонала [30–34].

В настоящее время в мире существует пять поколений систем Da Vinci, самые распространенные из которых – модели Si, Xi, а также новейшая модель пятого поколения SP. В России установлены модели третьего поколения – Da Vinci Si [22, 32, 34]. Постепенно начинается переход на четвертое поколение – Xi, главными преимуществами которого по сравнению с предыдущей моделью являются снижение времени совмещения инструментов с пациентом и высокая скорость проводимых процедур [25–29].

Предыдущие модели не имели возможности работы во всех плоскостях, с Da Vinci Xi появилась возможность вертикального доступа к пациенту, что позволяет хирургу работать с инструментарием не только в горизонтальной, но и в вертикальной плоскостях [25].

Новейшая модель Da Vinci SP на данный момент в России отсутствует, но уже используется в западных странах. Система по сравнению с предшественниками обладает улучшенной камерой и консолью хирурга, обновленной системой управления и новым набором инструментов повышенной подвижности, достигаемой за счет шарнирных соединений с семью степенями свободы. Главным отличием является проведение операций через единственный разрез одной роботической рукой с поддержкой трех инструментов одновременно [26–30].

Перспективы развития робототехники в хирургии основываются на операциях, которые возможно проводить с использованием данных систем. Одним из главных направлений развития этой области является достижение возможности проведения робототехнологичных операций на работающем сердце без использования аппарата искусственного кровообращения [27]. В России реализуются проекты по созданию экспериментального многофункционального роботокомплекса с лазером и по моделированию трехмерных областей безопасных движений инструментария при использовании роботохирургических систем [28].

Роботизированная система Senhance

Система Senhance, разработанная в 2016 году, является альтернативной заменой робота Da Vinci [35–37]. Система состоит из кабины оператора, манипуляторов (3–4) и соединительного узла, который управляет цифровыми сигналами от руки-манипулятора и кабины и видеосигналами от системы эндоскопических камер [35, 37, 39].

Эффективность работы робота-хирурга Senhance активно сравнивается с Da Vinci [36]. Следует отметить, что изначально цели создания роботов совершенно разные: Da Vinci создавался для осуществления максимально точных операционных вмешательств, а Senhance – для оцифровки лапароскопической хирургии, уже основываясь на

Название	Год создания	Функциональность	Краткое описание	Преимущества	Стоимость, недостатки
Robodoc surgical assistant system	1983	Обрабатывает полость тазобедренного сустава, подбирает размер и тип имплантата для эндопротезирования	Позволяет точно подобрать размер и тип ортопедического имплантата для эндопротезирования тазобедренного сустава, проводить обработку полости для его установки	Первая программируемая система для выполнения хирургических действий	1–1,7 млн \$
Unimate Puma 560	1985	Проводит забор биопсии головного мозга и упрощает выполнение отдельных лапароскопических операций	Позволяет перемещать необходимые для проведения операции материалы и инструменты с помощью специализированных программируемых движений	Технология заложила основы робототехники в хирургии и позволила использовать ее в качестве ассистента хирурга	180 тыс. \$
Probot	Конец 1980-х годов	Упрощение интраоперационного проведения УЗИ-сканирования и оценивания размеров предста-тельной железы	Позволяет интраоперационно визуализировать предстательную железу и идентифицировать ее контуры на каждом изображении	Производит анализ данных УЗИ-исследования самостоятельно	240 тыс. \$. Небольшая погрешность при проведении измерений предстательной железы
AESOP	1993	Помогает хирургам при проведении лапароскопических операций путем передачи и воспроизведения изображения операционного поля на экран под контролем ассистента с помощью линз	Роботизированная рука с голосовым управлением и оснащением в виде эндоскопа	Простота использования робота с помощью педалей и голосовых команд	5–10 тыс. \$
Zeus	1996	Позволяет проводить практически любой вид оперативного вмешательства	Роботизированная система состоит из трех манипуляторов, прикрепленных к хирургическому столу, и компьютера с программным обеспечением, таким же, как у AESOP	Хирург пользуется специальными поляризационными очками для работы с 2D-изображением, транслируемым на экран с манипуляторов. Возможность использования системы удаленной хирургии	975 тыс. \$. Высокая стоимость системы, ее габариты и настройка комплекса под каждого пациента
Da Vinci	2000	Можно использовать практически при любом виде оперативного вмешательства, в том числе в дистанционном режиме	Роботизированный комплекс включает прибор передачи изображения операционного поля, панели управления и подвижной части с тремя манипуляторами для хирургического инструментария и одним для камеры. Для проведения операций используются специализированные наборы инструментов EndoWrist, включающие в себя более 40 типов инструментов	Получение полноценного трехмерного изображения с возможностью его масштабирования в несколько сотен раз, что снижает травмирование тканей пациента, уменьшает вероятность кровотечения и улучшает косметический эффект операции; снижение ошибок вследствие тремора рук, уменьшение усталости врача, улучшение точности оперативного вмешательства, качественная визуализация, отсутствие вероятности заражения инфекционными заболеваниями от пациента	1–2 млн \$. К недостаткам применения комплекса относят высокую стоимость, его габариты, отсутствие тактильной и инструментальной чувствительности, ограниченность манипуляций одной анатомической областью, необходимость специальной подготовки медицинского персонала и настройки комплекса под каждого пациента
Senhance	2016	Можно использовать практически при любом виде оперативного вмешательства, в том числе в дистанционном режиме. Дает возможность перейти на нероботизированную операцию с тем же набором инструментов	Состоит из кабины оператора, 3–4 манипуляторов и соединительного узла, который управляет цифровыми сигналами от руки-манипулятора и кабины видеосигналами от системы эндоскопических камер. обладает 3 скоростными режимами управления с системой предупреждения о превышении силы и ограничения движений, что дает возможность сделать операцию безопаснее. Инструментарий новой системы можно использовать многократно	Робот отслеживает инфракрасное движение глаз управляющего хирурга, обеспечивает тактильную обратную связь, обладает большей эргономичностью за счет наличия вертикального сиденья. Инструментарий можно использовать в том числе без применения системы	2,4–2,8 млн \$. Высокая стоимость, недостаточное количество мест для ассистентов хирурга

Таблица 1. Сравнительные характеристики автоматизированных и роботизированных систем, используемых в хирургической практике

Table 1. Comparative characteristics of automated and robotic systems used in surgical practice

работе системы Da Vinci [37]. Хирургическая система Senhance гораздо проще и производительнее в эксплуатации: робот отслеживает инфракрасное движение глаз управляющего хирурга, обеспечивает тактильную обратную связь, а также обладает большей эргономичностью за счет наличия вертикального сиденья [36]. Senhance обладает тремя скоростными режимами управления с системой предупреждения о превышении силы и ограничения движений, что дает возможность сделать операцию безопаснее [36, 39]. Инструментарий новой системы можно использовать многократно, он больше

схож со стандартными инструментами, используемыми в лапароскопической хирургии [37]. Инструментарий при необходимости можно использовать без применения системы, отключив их от нее [37].

К недостаткам робота-хирурга Senhance по сравнению с Da Vinci относят недостаточное количество мест для ассистентов хирурга, что связано с большой площадью, занимаемой манипуляторами [38, 39].

В России на 2022 год установлена одна роботизированная система Senhance в Ростове-на-Дону [40]. Хирурги отмечают удобство перехода от роботизированной лапароскопической хирургии к ручной и наоборот за счет отсутствия необходимости смен точек доступа при проведении операции [40].

Возможности оперативного вмешательства технологии Senhance не уступают Da Vinci [41]. Роботизированную

систему постепенно пробуют использовать в различных видах оперативного вмешательства и оценивают ее эффективность и энергозатратность [41–47]. Робот уже применяют при гинекологических операциях, качество исполнения которых не уступает предшествующей технологии [41–43]. В урологической практике применяют Senhance для проведения простатэктомии и нефрэктомии [44–47].

Узкоспециализированные роботизированные системы

Кроме перечисленных роботизированных систем существуют и другие, менее известные – корейский робот Revo-I и английский робот Versius, находящиеся на стадии активного развития [48]. Данные системы направлены на широкий спектр оперативных вмешательств и являются будущей альтернативой Da Vinci: указанные роботы уже показали свою эффективность при проведении урологических, гинекологических и абдоминальных операций [48–50].

■ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедрение автоматизированных и роботизированных систем в хирургию на сегодняшний день является одним из важнейших направлений развития практической медицины. С каждым годом реализуются новые технологии в роботизированной хирургии, позволяющие осуществлять малоинвазивные оперативные вмешательства с максимальной безопасностью для пациентов и удобством для врачей.

Только с использованием самой популярной на данный момент системы Da Vinci производится более 200 тыс. операций в год. Робот используется практически во всех хирургических специализациях, в частности, в урологии, гинекологии, торакальной и абдоминальной хирургии.

Развитие роботизированной хирургии уже больше 20 лет повышает качество производимых хирургических операций, значительно сокращая количество послеоперационных осложнений, сроки временной нетрудоспособности и реабилитации пациентов, количество ошибок медицинского персонала. ■

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ	ADDITIONAL INFORMATION
Источник финансирования. Работа выполнена по инициативе авторов без привлечения финансирования.	Study funding. The study was the authors' initiative without external funding.
Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с содержанием настоящей статьи.	Conflict of Interest. The authors declare that there are no obvious or potential conflicts of interest associated with the content of this article.
Участие авторов. Концепция статьи, анализ материала, редактирование – А.А. Андреев, А.А. Глухов. Концепция и дизайн исследования – А.А. Андреев, А.Ю. Лаптиева. Написание текста – А.П. Остроушко, А.Ю. Лаптиева, Д.А. Бокон, Н.О. Михайлов, П.А. Коновалов. Все авторы одобрили финальную версию статьи перед публикацией, выразили согласие нести ответственность за все аспекты работы, подразумевающую надлежащее изучение и решение вопросов, связанных с точностью или добросовестностью любой части работы.	Contribution of individual authors. The concept of the article, analysis of the material, editing – A.A. Andreev, A.A. Glukhov. The concept and design of the study – A.A. Andreev, A.Yu. Lapteva. Writing of the text – A.P. Ostroushko, A.Yu. Lapteva, D.A. Bokov, N.O. Mikhailov, P.A. Kononov. All authors gave their final approval of the manuscript for submission, and agreed to be accountable for all aspects of the work, implying proper study and resolution of issues related to the accuracy or integrity of any part of the work.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Lychagin AV, Gritsyuk AA, Rukin YaA, Elizarov MP. The history of the development of robotics in surgery and Orthopedics (Literature Review). *The Department of Traumatology and Orthopedics*. 2020;39(1):13-19. (In Russ.). [Лычагин А.В., Грицюк А.А., Рукин Я.А., Елизаров М.П. История развития робототехники в хирургии и ортопедии (Обзор литературы). *Кафедра травматологии и ортопедии*. 2020;39(1):13-19]. <https://doi.org/10.17238/issn2226-2016.2020.1.13-19>
- Пушкар Д.Ю., Говоров А.В., Колонтарев К.Б. Робот-ассистированная хирургия. *Вестник Российской академии наук*. 2019;89(5):466-469. (In Russ.). [Pushkar DYu, Govorov AV, Kolontarev KB. Robot-assisted surgery. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2019;89(5):466-469]. <https://doi.org/10.31857/s0869-5873895466-469>
- Lee S, Metelitsa N. Review on innovations in robotic surgery in the 21st century. *ISJ Theoretical & Applied Science*. 2018;4(60):58-61. <https://doi.org/10.15863/tas.2018.04.60.13>
- Sugano N. Computer-assisted orthopaedic surgery and robotic surgery in total hip arthroplasty. *Clinics in Orthopedic Surgery*. 2013;5(1):1. <https://doi.org/10.4055/cios.2013.5.1.1>
- Stefano GB. Robotic surgery: Fast forward to telemedicine. *Medical Science Monitor*. 2017;23:1856-1856. <https://doi.org/10.12659/msm.904666>
- Theodore N, Arnold PM, Mehta AI. Introduction: The rise of the robots in spinal surgery. *Neurosurgical Focus*. 2018;45(videosuppl1). <https://doi.org/10.3171/2018.7.focusvid.intro>
- Kalan S, Chauhan S, Coelho RF, et al. History of robotic surgery. *Journal of Robotic Surgery*. 2010;4(3):141-147. <https://doi.org/10.1007/s11701-010-0202-2>
- Pugin F, Bucher P, Morel P. History of robotic surgery: From Aesop® and Zeus® to Da Vinci®. *Journal of Visceral Surgery*. 2011;148(5). <https://doi.org/10.1016/j.jviscsurg.2011.04.007>
- Mareev OV, Mareev GO, Fedorov RV. Basic principles of surgical robotic systems (part 1). *The world of science, culture and education*. 2014;5(48):218-222. (In Russ.). [Мареєв О.В., Мареєв Г.О., Федоров Р.В. Проблемы создания систем хирургической робототехники (часть 1). *Мир науки, культуры, образования*. 2014;5(48):218-222]. EDN: TBFNID

- Wilson M, Badani K. Competing robotic systems. *Urologic Clinics of North America*. 2021;48(1):147-150. <https://doi.org/10.1016/j.ucl.2020.09.007>
- Dunn D. Robotic-assisted surgery: A brief history to understand today's practices. *AORN Journal*. 2022;115(3):217-221. <https://doi.org/10.1002/aorn.13629>
- Kim M, Zhang Y, Jin S. Soft tissue surgical robot for minimally invasive surgery: a review. *Biomed Eng Lett*. 2023;13(4):561-569. <https://doi.org/10.1007/s13534-023-00326-3>
- Sheptunov SA, Vasiliev AO, Kolontarev KB, et al. Robotic surgery – digital technology that saves lives. *City HealthCare Journal*. 2020;1(1):60-71. (In Russ.). [Шептунов С.А., Васильев А.О., Колонтарев К.Б., и др. Роботохирургия – цифровая технология, спасающая жизни. *Здоровье мегаполиса*. 2020;1(1):60-71]. <https://doi.org/10.47619/2713-2617.zm.2020.v1i1.60-71>
- Shevchenko YuL. From Leonardo da Vinci to the "da Vinci" robot. *Bulletin of Pirogov National Medical & Surgical Center*. 2012;7(1):15-20. (In Russ.). [Шевченко Ю.Л. От Леонардо да Винчи к роботу «да Винчи». *Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова*. 2012;7(1):15-20]. EDN: SIAEZT
- Boshan P, Bredikhin SV, Bredikhina EYu. Robot surgeon "Da Vinci". *Issues of Reconstructive and Plastic Surgery*. 2007;2(21):31-34. (In Russ.). [Бошан П., Бредихин С.В., Бредихина Е.Ю. Робот-хирург "да Винчи". *Вопросы реконструктивной и пластической хирургии*. 2007;2(21):31-34]. EDN: JVZMXJ
- Rivero-Moreno Y, Echevarria S, Vidal-Valderrama C, et al. Robotic Surgery: A Comprehensive Review of the Literature and Current Trends. *Cureus*. 2023;15(7):e42370. <https://doi.org/10.7759/cureus.42370>

17. Харченко С.В., Стаховский А.Э., Антонян И.М. Робототехническая система da Vinci в лапароскопической урологии: возможности, принципы построения и использования. *Український журнал малоінвазивної та ендоскопічної хірургії*. 2008;12(2):35-39. (In Russ.). [Kharchenko SV, Stakhovskii AE, Antonyan IM. Features, possibilities and application perspectives of robot-technical system da Vinci in laparoscopic urology. *Ukrainskii zhurnal maloinvazivnoi i endoskopicheskoi khirurgii*. 2008;12(2):35-39. (In Russ.).] EDN: QYZUNV
18. Cowan B, Gomes C, Morris P, et al. Robotic technology in surgery; a classification system of soft tissue surgical robotic devices. *Surg Endosc*. 2024;38:3645-3653. <https://doi.org/10.1007/s00464-024-10861-4>
19. Zyryanov AV, Zhuravlev OV, Istokskii KN, Burtsev SA. Robot-assisted operations in urology using "da Vinci®" system. *Ural'skii meditsinskii zhurnal*. 2008;14(54):10-12. (In Russ.). [Зырянов А.В., Журавлев О.В., Истокский К.Н., Бурцев С.А. Робот-ассистированные операции в урологии с использованием системы "da Vinci®". *Уральский медицинский журнал*. 2008;14(54):10-12]. EDN: KVTHIJ
20. Pavlov VN, Plechev VV, Safiullin RI, et al. Preliminary experience of the aorto-femoral shunting using the Da Vinci Surgical System. *Creative surgery and oncology*. 2018;8(1):7-13. [Павлов В.Н., Плечев В.В., Сафиуллин Р.И., и др. Первичные результаты аорто-бедренного шунтирования с применением робот-ассистированной хирургической системы da Vinci. *Креативная хирургия и онкология*. 2018;8(1):7-13]. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2018-8-1-7-13>
21. Kira EF, Politova AK, Alekperova AF, Khaikina VYa. Simple hysterectomy using the da Vinci S robotic system for benign uterine tumors. *Obstetrics and Gynecology*. 2012;6:99-103. (In Russ.). [Кира Е.Ф., Политова А.К., Алекперова А.Ф., Хайкина В.Я. Простая гистерэктомия с использованием роботизированной системы da Vinci S при доброкачественных опухолях матки. *Акушерство и гинекология*. 2012;6:99-103].
22. Klimenko VN, Nikolaev GV, Reshetov AV, et al. The first experience in robot-assisted operations in diagnosis and treatment of neoplasms of the lungs, mediastinum and pleura. *Uchenye zapiski SPbGMU im. akad. I.P. Pavlova*. 2011;18(3):59-62. (In Russ.). [Клименко В.Н., Николаев Г.В., Решетов А.В., и др. Первый опыт робот-ассистированных операций в диагностике и лечении новообразований легких, средостения и плевры. *Ученые записки СПбГМУ им. акад. И.П. Павлова*. 2011;18(3):59-62].
23. Семиколонова В.А., Андреев А.А., Лаптиева А.Ю., Глухов А.А. Современные минимально инвазивные технологии в гинекологической практике. *Сибирское медицинское обозрение*. 2022;4:39-45. [Semikolenova VA, Andreev AA, Laptyeva AY, Glukhov AA. Modern minimally invasive technologies in gynecological practice. *Siberian Medical Review*. 2022;4:39-45]. <https://doi.org/10.20333/25000136-2022-4-39-45>
24. Popov AA, Manannikova TN, Fedorov AA, et al. Russian experience of robot-assisted surgery in gynecology. *RMJ*. 2015;23(1):46-48. (In Russ.). [Попов А.А., Мананникова Т.Н., Федоров А.А., и др. Российский опыт робот-ассистированной хирургии в гинекологии. *РМЖ*. 2015;23(1):46-48].
25. Yu DY, Chang YW, Lee HY, et al. Detailed comparison of the da Vinci XI and S Surgical Systems for transaxillary thyroidectomy. *Medicine*. 2021;100(3):e24370. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000024370>
26. Covas Moschovas M, Bhat S, Rogers T, et al. Da vinci SP platform updates and modifications: The first impression of new settings. *Journal of Robotic Surgery*. 2021;15(6):977-979. <https://doi.org/10.1007/s11701-021-01248-x>
27. Cepolina F, Razzoli R. Review of robotic surgery platforms and end effectors. *J Robot Surg*. 2024 Feb 13;18(1):74. <https://doi.org/10.1007/s11701-023-01781-x>
28. Buinov MA, Vorotnikov AA, Klimov DD, et al. Robotic technologies in medicine and bioprinting: the state of the problem and modern trends. *Vestnik MGTU "Stankin"*. 2017;1(40):127-131. (In Russ.). [Буйнов М.А., Воротников А.А., Климов Д.Д., и др. Роботические технологии в медицине и биопринтинге: состояние проблемы и современные тенденции. *Вестник МГТУ «Станкин»*. 2017;1(40):127-131]. EDN: YINLGR
29. Kawashima K, Kanno T, Tadano K. Robots in laparoscopic surgery: Current and future status. *BMC Biomed Eng*. 2019;1:12. <https://doi.org/10.1186/s42490-019-0012-1>
30. Leal Ghezzi T, Campos Corleta O. 30 years of robotic surgery. *World Journal of Surgery*. 2016;40(10):2550-2557. <https://doi.org/10.1007/s00268-016-3543-9>
31. Theodore N, Arnold PM, Mehta AI. Introduction: The rise of the robots in spinal surgery. *Neurosurgical Focus*. 2018;45(videosuppl1). <https://doi.org/10.3171/2018.7.focusvid.intro>
32. Bargar WL. Robots in orthopaedic surgery. *Clinical Orthopaedics & Related Research*. 2007;463:31-36. <https://doi.org/10.1097/blo.0b013e318146874f>
33. Hamet P, Tremblay J. Artificial Intelligence in medicine. *Metabolism*. 2017;69. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2017.01.011>
34. Mathis-Ullrich F, Scheikl PM. Robotik im operationssaal – (KO) Operieren mit Kollege Roboter. *Der Gastroenterologe*. 2020;16(1):25-34. <https://doi.org/10.1007/s11377-020-00496-x>
35. Sasaki T, Tomohisa F, Nishimura M, et al. Initial 30 cholecystectomy procedures performed with the SENHANCE Digital Laparoscopy System. *Asian J Endosc Surg*. 2023;16(2):225-232. <https://doi.org/10.1111/ases.13143>
36. McKechnie T, Khamar J, Daniel R, et al. The senhance surgical system in colorectal surgery: A systematic review. *Journal of Robotic Surgery*. 2022;17:325-334. <https://doi.org/10.1007/s11701-022-01455-0>
37. Sasaki M, Hirano Y, Yonezawa H, et al. Short-term results of robot-assisted Colorectal Cancer Surgery using SENHANCE Digital Laparoscopy System. *Asian J Endosc Surg*. 2022;15(3):613-618. <https://doi.org/10.1111/ases.13064>
38. Knežević N, Penezić L, Kuliš T, et al. Senhance robot-assisted adrenalectomy: A case series. *Croatian Medical Journal*. 2022;63(2):197-201. <https://doi.org/10.3325/cmj.2022.63.197>
39. Holzer J, Beyer P, Schilcher F, et al. First Pediatric Pyeloplasty using the Senhance® robotic system – A case report. *Children*. 2022;9(3):302. <https://doi.org/10.3390/children9030302>
40. Khitryan AG, Matveev NL, Veliev KS, et al. The first clinical experience of using the new Senhance remote-controlled robotic system in general surgery in Russia. *Pirogov Russian Journal of Surgery*. 2022;(9):5-13. (In Russ.). [Хитарьян А.Г., Матвеев Н.Л., Велиев К.С., и др. Первый клинический опыт использования новой телеуправляемой роботизированной системы Senhance в общей хирургии в России. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2022;(9):5-13]. <https://doi.org/10.17116/hirurgia20220915>
41. Glass Clark S, Shepherd JP, Sassani JC, Bonidie M. Surgical cost of robotic-assisted sacrocolpopexy: A comparison of two robotic platforms. *International Urogynecology Journal*. 2022;34(1):87-91. <https://doi.org/10.1007/s00192-022-05391-3>
42. Sassani JC, Glass Clark S, McGough CE, Shepherd JP, Bonidie M. Sacrocolpopexy experience with a novel robotic surgical platform. *International Urogynecology Journal*. 2022;33(11):3255-3260. <https://doi.org/10.1007/s00192-022-05155-z>
43. Coussons H, Feldstein J, McCarus S. Senhance surgical system in benign hysterectomy: A real-world comparative assessment of Case Times and instrument costs versus da vinci robotics and laparoscopic-assisted vaginal hysterectomy procedures. *Int J Med Robot*. 2021;17(4):e2261. <https://doi.org/10.1002/rcs.2261>
44. Kulis T, Hudolin T, Penezic L, et al. Comparison of extraperitoneal laparoscopic and extraperitoneal senhance radical prostatectomy. *Int J Med Robot*. 2021;18(1):e2344. <https://doi.org/10.1002/rcs.2344>
45. Venckus R, Jasenas M, Telksnys T, et al. Robotic-assisted radical prostatectomy with the Senhance® Robotic Platform: Single Center Experience. *World Journal of Urology*. 2021;39(12):4305-4310. <https://doi.org/10.1007/s00345-021-03792-5>
46. Kastelan Z, Hudolin T, Kulis T, et al. Upper Urinary Tract Surgery and radical prostatectomy with senhance® robotic system: Single center experience – first 100 cases. *Int J Med Robot*. 2021;17(4):e2269. <https://doi.org/10.1002/rcs.2269>
47. Kaneko G, Shirotake S, Oyama M, Koyama I. Initial experience of laparoscopic radical nephrectomy using the Senhance® robotic system for renal cell carcinoma. *International Cancer Conference Journal*. 2021;10(3):228-232. <https://doi.org/10.1007/s13691-021-00487-x>
48. Farinha R, Puliatti S, Mazzone E, et al. Potential contenders for the leadership in Robotic Surgery. *Journal of Endourology*. 2022;36(3):317-326. <https://doi.org/10.1089/end.2021.0321>
49. Alkatout I, Salehiniya H, Allahqoli L. Assessment of the Versius robotic surgical system in minimal access surgery: A systematic review. *Journal of Clinical Medicine*. 2022;11(13):3754. <https://doi.org/10.3390/jcm11133754>
50. Rao PP. Robotic surgery: New robots and finally some real competition! *World Journal of Urology*. 2018;36(4):537-541. <https://doi.org/10.1007/s00345-018-2213-y>