



РОБОТОАССИСТИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МИКРОХИРУРГИИ

К.В. Селянинов^{1✉}, В.Ф. Байтингер^{1,2}

¹ НИИ микрохирургии,
Томск, Российская Федерация

² Красноярский государственный медицинский университет
им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого,
Красноярск, Российская Федерация

Аннотация

Роботоассистированные технологии являются важной составляющей современной медицины. Определяя качество жизни пациентов, они входят в топ трендов развития хирургических специальностей. В статье кратко описана история развития роботоассистированных технологий в медицине и возможности их применения в реконструктивно-пластической микрохирургии.

Ключевые слова: реконструктивно-пластическая микрохирургия, роботоассистированные технологии.

Конфликт интересов: авторы подтверждают отсутствие явного и потенциального конфликта интересов, о котором необходимо сообщить.

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

Для цитирования: Селянинов К.В., Байтингер В.Ф. Роботоассистированные технологии в микрохирургии // Вопросы реконструктивной и пластической хирургии. 2024. Т. 27, № 1. С. 31–36. doi 10.52581/1814-1471/88/03

ROBOT-ASSISTED TECHNOLOGIES IN MICROSURGERY

K.V. Selianinov^{1✉}, V.F. Baytinger^{1,2}

¹ Institute of Microsurgery,
Tomsk, Russian Federation

² Krasnoyarsk State Medical University named after Prof. V.F. Voyno-Yasenetsky,
Krasnoyarsk, Russian Federation

Abstract

Robot-assisted technologies are an important component of modern medicine, determining the quality of life of patients. Robot-assisted surgical techniques are among the top trends in the development of surgical specialties. The article briefly describes the history of the development of robot-assisted technologies in medicine and the possibilities of their use in reconstructive plastic microsurgery.

Keywords: reconstructive plastic microsurgery, robot-assisted technologies

Conflict of interest: the authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Financial disclosure: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

For citation: Selianinov K.V., Baytinger V.F.. Robot-assisted technologies in Microsurgery. *Issues of Reconstructive and Plastic Surgery*. 2024;27(1):31–36. doi 10.52581/1814-1471/88/03

Согласно определению Американского института по изучению роботической техники (The Robot Institute of America), робот представляет собой репрограммируемый мультифунк-

циональный манипулятор, предназначенный для перемещения/передвижения материалов, предметов, их частей или иных специализированных устройств с целью выполнения различных задач.

Деятельность робота определяется тремя факторами [1]:

- 1) способностью выполнять определенные действия;
- 2) возможностью решать различные задачи на запрограммированной основе;
- 3) способностью робота интерпретировать и модифицировать ответы на команды оператора.

Первые упоминания о роботических устройствах можно встретить в IV в. до н.э. Древнегреческий философ, математик и механик Архит Тарентский (428–347 гг. до н.э.) спроектировал первую летающую машину – деревянную птицу, способную самостоятельно двигать крыльями при помощи пара и перемещаться на расстояние до 200 м (рис. 1) [1].



Рис. 1. Архит Тарентский (428–347 гг. до н.э.) и его машина
Fig. 1. Archytas of Tarentum (428–347 BC) and his machine

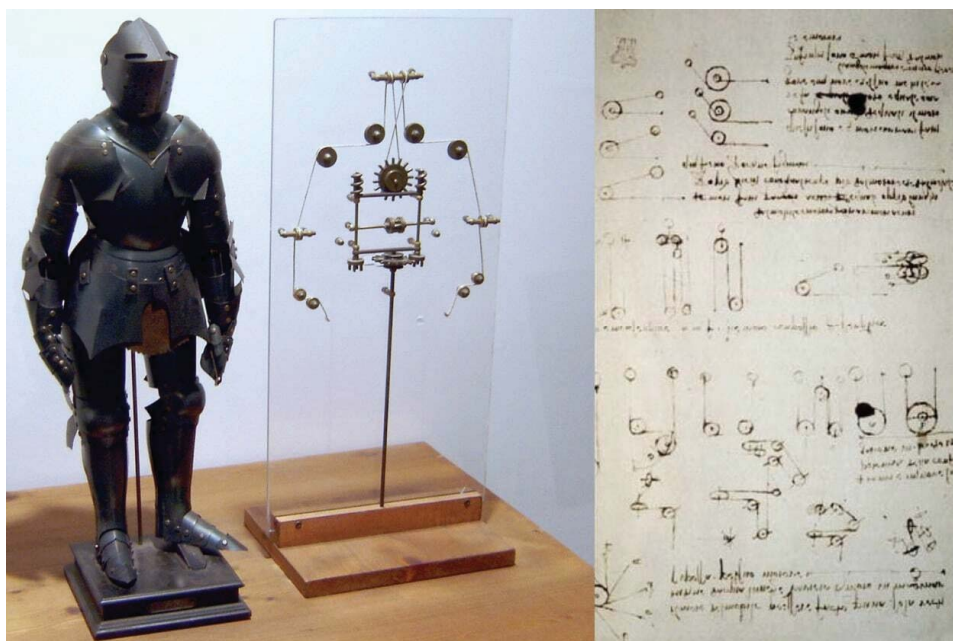


Рис. 2. «Робот Леонардо»
Fig. 2. “Leonardo the Robot”

В дальнейшем древнегреческий математик Ктесибий Александрийский (285–222 гг. до н.э.) в 250 г. до н.э. изобрел водяные часы, названные клепсидами, ставшими самыми точными определителями времени вплоть до изобретения в XVII в. голландским физиком Христианом Гюйгенсом (1629–1695) маятника для поддержания незатухающих колебаний.

Среди изобретений Леонардо да Винчи (1452–1519) известны несколько так называемых манекенов, способных выполнять запрограммированные действия. Однако самым интересным экспонатом стал созданный им в 1495 г. механический манекен в форме вооруженного рыцаря, получивший название «Робот Леонардо» (рис. 2).

В дальнейшем, начиная с эпохи Возрождения и вплоть до второй промышленной революции (технологическая революция, 1870–1914 гг.), было предложено множество подобных манекенов (женщина, играющая на лютне (Д. Ториано, 1540), «пишущий мальчик» Пьера Жаке Дро (1772)) и механизмов (автоматизированный ткацкий стан (Жозеф Мари Жаккар, 1801) и др.).

Первые функциональные роботы появились в середине XX в. Так, в 1954 г. Джордж Девол и Джо Энглебергер (США) разработали роботическую руку, управляемую посредством электронного контролера. Данное устройство получило название «Анимэйт» (Unimate). Впервые роботическая рука была применена на конвейерах сборки автомобилей компании General Motors. Дальнейшее развитие устройство приобрело в 1978 г., когда Виктор Шейнман (США) предложил свое изобретение под названием «Универсальная программируемая рука-манипулятор» (Programmable Universal Manipulation Arm (PUMA)). Основными отличиями от предыдущей модели стали наличие большей свободы движений и способность выполнять более сложные технические задания. Более того, устройство PUMA оснащалось электроприводом. Все это позволило изобретению стать эталоном промышленного робота на многие годы [1–3].

Эра развития роботических систем в хирургии началась в 1985 г. с применения в нейрохирургии системы PUMA 560 (рис. 3) для выполнения точечной биопсии головного мозга под КТ-наведением.



Рис. 3. Роботическая система PUMA 500

Fig. 3. PUMA 500 robotic system

Дальнейшая эволюция основных роботических систем для хирургии представлена в таблице.

Эволюция основных хирургических роботических систем

Evolution of Basic Surgical Robotic Systems

Год изобретения	Наименование системы	Область применения
1988	Probot	Урология
1990	ZEUS (роботическая дистанционная система)	Кардиохирургия, общая хирургия, гинекология, урология
1992 (разработки с 1986)	Robodoc	Травматология и ортопедия
1994	Automated Endoscopic System for Optimal Positioning (AESOP)	Эндоскопическая хирургия
1995	Minerva	Нейрохирургия
2000	Da Vinci (принцип дистанционной телемедицины) – лидер в области роботической хирургии	Общая хирургия, гинекология, урология, торакальная хирургия, онкология, пластическая хирургия, челюстной-лицевая хирургия, эндокринная хирургия, кардиохирургия

В настоящее время среди роботических хирургических систем лидером является da Vinci, клиническое применение которой распространилось на все хирургические специальности. Причина такого прогресса кроется в ощутимых преимуществах [3, 4]:

- улучшение техники хирургических манипуляций и гибкость;
- повышение точности операции за счет фильтрации (устранения) тремора;
- обеспечение 3D-визуализации и снижение эргономических факторов (боль в опорно-двигательном аппарате, усталость зрительного анализатора, снижение внимательности и т.д.).

Однако в таких специальностях, как офтальмология и пластическая хирургия (микрохирургические технологии), применение роботических хирургических систем еще не столь распространено, несмотря на явные преимущества по сравнению с рутинными методиками. К настоящему времени для выполнения микрохирургического этапа (сосудистый шов, шов нерва, восстановление проходимости маточных труб и т.д.) разработаны две роботические системы: MUSA (MicroSure, Нидерланды) и SYMANI (США) (рис. 4) [4].

Данные роботические системы уже применялись для выполнения микрососудистого шва при реконструкции молочной железы свободным TRAM- и DIEP-лоскутами, реконструкции

костей предплечья свободным малоберцовым лоскутом, а также выполнения лимфо-венулярных анастомозов при вторичной лимфедеме верхних конечностей [5, 6].



а



б

Рис. 4. Роботические системы для выполнения микрохирургического этапа: а – MUSA (MicroSure, Нидерланды); б – SYMANI (США). (Источник – свободный доступ сети Интернет)

Fig. 4. Robotic systems for performing the microsurgical stage: а – MUSA (MicroSure, Netherlands); б – SYMANI (USA). Taken from free access to the Internet

В связи с внедрением роботических хирургических систем в реконструктивно-пластическую хирургию была создана Ассоциация роботической микрохирургии (Robotic Assisted Microsurgical & Endoscopy Society (RAMSES) – Multispecialty Robotic Microsurgery). На XI ежегодном симпозиуме RAMSES, который состоялся 3–4 ноября 2023 г. в Стамбуле (Турция), были проанализированы сильные и слабые стороны использования роботических систем в микрохирургии. Сильными сторонами являются высокая точность и аккуратность, отсутствие тремора и улучшение эргономических показателей. Относительно слабыми сторонами считаются: более продолжительное время выполнения микрососудистых анастомозов по сравнению с ручным швом (однако это быстро нивелируется при увеличении количества оперативных вмешательств, выполненных с помощью роботических систем), отсутствие тактильной обратной связи. К дополнительным недостаткам можно отнести вы-

сокую стоимость и ограниченный рабочий процесс (система применяется исключительно для микрохирургического этапа). Стоимость оборудования, его обслуживания, обучения персонала и предоставления подходящих микроинструментов высока, что требует значительного финансирования и может ограничить широкое применение данной технологии. Оперативное обслуживание этих роботов не гарантируется, и может произойти поломка до операции или в ее процессе. Это вынуждает хирургов переключаться между роботизированным и ручным подходом во время операции, что занимает дополнительное время. Тем не менее, преимущества данных систем очевидны. Особенно широкое применение роботических систем возможно в перспективном направлении хирургии – наномикрохирургии (хирургии лимфатической системы).

В Российской Федерации в 2019 г. была предпринята попытка по разработке роботической системы для реконструктивно-пластической микрохирургии, которую осуществляли специалисты Института микрохирургии (г. Томск) и «Weiz industrie- und Robotertechnik GmbH» (Германия) (рис. 5).



Рис. 5. Инвестиционный проект роботической системы для микрохирургии Института микрохирургии (г. Томск) и «Weiz industrie- und Robotertechnik GmbH» (Германия), 2019

Fig. 5. Investment project of a robotic system for microsurgery of the Institute of Microsurgery (Tomsk) and Weiz industrie- und Robotertechnik GmbH (Germany), 2019.

Однако в силу объективных финансовых причин этот проект не был реализован.

В марте 2024 г. появилась информация о начале работы резидентов «Сколково» (ООО «Микролаб Мед» и ООО «Robossembler») в сотрудничестве с Институтом машиностроения им. А.А. Благонравова РАН (г. Москва) и НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко (г. Москва) над прототипом отечественной роботической системы. В качестве баз для тестирования системы предложены ООО «Микролаб Мед» и НИИ микрохирургии (г. Томск).

Возможно, что 2024 г. – год 50-летия микрохирургической службы в Российской Федерации – станет годом начала развития отечественных роботических систем для реконструктивно-пластической хирургии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение роботических хирургических систем в микрохирургии открывает новые возможности для хирургов, а именно – улучшение качества наложения швов вследствие более точного сопоставления сосудистой стенки и устранения тремора, гибкость хирургических манипуляций, а также возможность выполнять оперативные вмешательства на сосудах диаметром 100 мкм и менее (супермикрохирургия) с точностью исполнения до 10 мкм. Постепенно идет смена парадигмы от преимущественного выполнения ручного микрососудистого шва к его выполнению роботическими системами, что, несомненно, будет способствовать повышению качества хирургической помощи населению.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Колонтарев К.Б., Пушкарь Д.Ю., Говоров А.В., Шептунов С.А. История развития роботических технологий в медицине // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки. 2014. № 4 (32). С. 125–140.
2. Simon B., Mansoor Kh., Juan H., Krishna M., Vivek D., Timothy R., Ara D. Robotics in Surgery // J. Am. Coll. Surg. 2003. Vol. 196. P. 784–795. DOI:10.1016/S1072-7515(02)01750-7
3. Sejal P. Dharia, Tommaso Falcone Robotics in reproductive medicine // Fertil Steril. 2005. Vol. 84. P. 1–9.
4. Ghandoura H.S., Schols R.M., Wolfs J.A.G.N., Altaweel F., van Mulken T.J. M.. Robotic Microsurgery in Plastic and Reconstructive Surgery: A Literature Review // Surgical Innovation. 2023. Vol. 30, Iss. 5. P. 607–614. DOI: 10.1177/15533506231191211
5. van Mulken T.J.M., Boymans C., Schols R.M., et al. Preclinical Experience Using a New Robotic System Created for Microsurgery // Plast Reconstr Surg. 2018. Vol. 142, No. 5. P. 1367–1376. DOI:10.1002/micr.30458
6. Kuo W.L., Huang J.J., Huang Y.T., et al. Robot-assisted Mastectomy Followed by Immediate Autologous Microsurgical Free Flap Reconstruction: Techniques and Feasibility in Three Different Breast Cancer Surgical Scenarios // Clin Breast Cancer. 2020. Vol. 20(1). P. e1–e8. DOI:10.1016/j.clbc.2019.06.018

REFERENCES

1. Kolontarev K.B., Pushkar D.Yu., Govorov A.V., Sheptunov S.A. Istoriya razvitiya roboticheskikh tehnologiy v medicine [History of robotic technologies development in medicine]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Meditsinskiye nauki – University Proceedings. Volga Region. Medical Sciences*. 2014;4(32):125-140 (in Russ.).
2. Simon B., Mansoor Kh., Juan H., Krishna M., Vivek D., Timothy R., Ara D. Robotics in Surgery. *J. Am. Coll. Surg.* 2003;196:784-795. DOI:10.1016/S1072-7515(02)01750-7
3. Sejal P. Dharia, Tommaso Falcone Robotics in reproductive medicine. *Fertil Steril.* 2005;84:1-9.
4. Ghandoura H.S., Schols R.M., Wolfs J.A.G.N., Altaweel F., van Mulken T.J. M.. Robotic Microsurgery in Plastic and Reconstructive Surgery: A Literature Review. *Surgical Innovation*. 2023; 30(5):607-614. DOI: 10.1177/15533506231191211
5. van Mulken T.J.M., Boymans C., Schols R.M., et al. Preclinical Experience Using a New Robotic System Created for Microsurgery. *Plast Reconstr Surg.* 2018;142(5):1367-1376. DOI:10.1002/micr.30458
6. Kuo W.L., Huang J.J., Huang Y.T., et al. Robot-assisted Mastectomy Followed by Immediate Autologous Microsurgical Free Flap Reconstruction: Techniques and Feasibility in Three Different Breast Cancer Surgical Scenarios. *Clin Breast Cancer*. 2020;20(1):e1-e8. DOI:10.1016/j.clbc.2019.06.018

Сведения об авторах

Селянинов Константин Владимирович  – д-р мед. наук, доцент, зам. директора по лечебной работе НИИ микрохирургии (Россия, 634063, г. Томск, ул. Ивана Черных, ул. 96).

<https://orcid.org/0000-0002-0850-6140>

Scopus: 57190933752

ResearcherID: S-9886-2019

e-mail: kostya-ivanow@yandex.ru

Тел.: 8 (382-2) 645378

Байтингер Владимир Фёдорович – д-р мед. наук, профессор, президент НИИ микрохирургии (Россия, 634063, г. Томск, ул. Ивана Черных, д. 96), профессор кафедры оперативной хирургии и топографической анатомии Красноярского государственного медицинского университета им. В.Ф. Войно-Ясенецкого Минздрава России (Россия, 660022, г. Красноярск, ул. Партизана Железняка, д. 1).

<https://orcid.org/0000-0002-7754-7472>

Scopus: 57190940056

ResearcherID: S-6920-2016

e-mail: baitinger@mail.tomsknet.ru

Information about authors

Konstantin V. Selyaninov✉, Dr. Med. sci, Associate Professor, deputy Director for medical work, Institute of Microsurgery (96, Ivan Chernykh st., Tomsk, 634063, Russia).

<https://orcid.org/0000-0002-0850-6140>

Scopus: 57190933752

ResearcherID: S-9886-2019

e-mail: kostya-ivanow@yandex.ru

Phone number: +7 (382-2) 645378

Vladimir F. Baytinger, Dr. Med. sci., Professor, President of the Institute of Microsurgery (96, Ivan Chernykh st., Tomsk, 634063, Russia); Professor, the Department of Operative Surgery and Topographic Anatomy, Krasnoyarsk State Medical University named after Prof. V.F. Voyno-Yasenetsky (1, Partizan Zheleznyak st., Krasnoyarsk, 660022, Russia).

<https://orcid.org/0000-0002-7754-7472>

e-mail: baitinger@mail.tomsknet.ru

Поступила в редакцию 13.02.2024; одобрена после рецензирования 04.03.2024; принята к публикации 11.03.2024

The article was submitted 13.02.2024; approved after reviewing 04.03.2024; accepted for publication 11.03.2024