

Искусственный интеллект в онкохирургической практике

П. В. Мельников¹, В. Н. Доведов², Д. Ю. Каннер¹, И. Л. Черниковский¹

¹ГБУЗ г. Москвы «Московская городская онкологическая больница №62 Департамента здравоохранения г. Москвы»;
Россия, 143423 Московская область, Красногорский район, пос. Истра, 27;

²McKinsey & Company; США, 10007 Нью-Йорк, Гринвич-стрит, 175, Центр Three World Trade

Контакты: Павел Викторович Мельников drmelnikov84@gmail.com

Целью данного обзора было освещение основных понятий искусственного интеллекта в медицине с упором на применение этой области технологического развития в изменениях в хирургии. Проведен поиск в PubMed и Google по ключевым словам «искусственный интеллект», «хирургия». Дополнительные ссылки были получены путем перекрестных ссылок на ключевые статьи. Интеграция искусственного интеллекта в хирургическую практику будет происходить в области образования, хранения и обработки медицинских данных, а скорость внедрения будет прямо пропорционально стоимости рабочей силы и необходимости в «прозрачности» статистических данных.

Ключевые слова: искусственный интеллект, хирургия, онкология, машинное обучение, нейросети

Для цитирования: Мельников П. В., Доведов В. Н., Каннер Д. Ю., Черниковский И. Л. Искусственный интеллект в онкохирургической практике. Тазовая хирургия и онкология 2020;10(3–4):60–4.

DOI: 10.17650/2686-9594-2020-10-3-4-60-64



Artificial Intelligence in surgical practice

P. V. Melnikov¹, V. N. Dovedov², D. Yu. Kanner¹, I. L. Chernikovskiy¹

¹Moscow City Oncology Hospital No. 62; 27, Istra Settlement, Krasnogorskiy District, Moskovskaya Oblast 143423, Russia;

²McKinsey & Company; Three World Trade Center, 175 Greenwich St., New York 10007, USA

The aim of this literature review was to highlight the basic concepts of artificial intelligence in medicine, focusing on the application of this area of technological development in changes of surgery. PubMed and Google searches were performed using the key words “artificial intelligence”, “surgery”. Further references were obtained by cross-referencing the key articles.

The integration of artificial intelligence into surgical practice will take place in the field of education, storage and processing of medical data and the speed of implementation will be in direct proportion to the cost of labor and the need for “transparency” of statistical data.

Key words: artificial intelligence, surgery, oncology, machine learning, neural networks

For citation: Melnikov P. V., Dovedov V. N., Kanner D. Yu., Chernikovskiy I. L. Artificial Intelligence in surgical practice. Tazovaya Khirurgiya i Onkologiya = Pelvic Surgery and Oncology 2020;10(3–4):60–4. (In Russ.).

Введение

Медицинская практика исторически рассматривалась как «искусство». Мнение экспертов, опыт и авторитарное суждение были основой для принятия решений. Исторический приоритет мнения начальника лечебного подразделения и недоверие к научной методологии (как в биомедицинских исследованиях) и статистическому анализу (как в эпидемиологии) создавали барьеры для включения этих инструментов в медицину либо делали их редкостью [1].

Весной 1990 г. координатор резидентуры Университета МакМастерса доктор Гордон Гайатт представил новую концепцию, которую он назвал “Evidence based medicine” («Научная медицина»), – новый метод преподавания медицины у постели больного с использованием критических методов оценки [2]. Первичная реакция коллег доктора Гайатта была критической, так

как в новой концепции подразумевалось, что с точки зрения хирургов тех лет существующие алгоритмы принятия решений были, вероятно, верными, но менее «научными». Но доктор Гайатт описал новый основной учебный план программы резидентуры – «Доказательная медицина». С тех пор существенная часть медицинских исследований проводится в парадигме доказательной медицины, а принятие решений учитывает уровни доказательности и степени клинических рекомендаций.

Но объем данных с каждым годом экспоненциально растет, и для лечения пациента хирург должен уверенно разбираться не только в хирургических тонкостях, но и в химиотерапии, радиологии, генетике, морфологии, визуальных методах исследования и т. п. В отчете независимой комиссии Королевской коллегии хирургов Великобритании в 2018 г. [3] утверждается,

что в следующие 20 лет хирургия изменится за счет 4 областей технологического развития:

- роботизированная/малоинвазивная хирургия;
- визуализация (включая виртуальную, смешанную и дополненную реальность);
- большие данные, геномика, искусственный интеллект (ИИ);
- специализированные вмешательства, такие как разработки в области трансплантации и лечения стволовыми клетками.

Эти направления привнесут большую персонализированность с более предсказуемыми результатами, более быстрым временем восстановления и меньшим риском осложнений. Из этих 4 направлений мы проанализировали публикации, исследующие роль ИИ в хирургии/хирургической онкологии.

Уже в 1950 г. Алан Тьюринг, один из создателей современных компьютеров, предположил, что машинный (т.е. искусственный) интеллект способен достигать производительности человеческого уровня в задачах, связанных с познанием [4]. Сегодня есть надежда, что ИИ станет помощником в хирургической онкологии, а где-то и заменит врача. Об этом свидетельствует тот факт, что уже в 2016 г. большая часть инвестиций в исследование ИИ пришлось на здравоохранение по сравнению с другими секторами [5].

Целью данного обзора было освещение основных понятий ИИ в медицине с упором на применение этой области технологического развития в изменениях в хирургии.

Мы провели поиск в PubMed и Google по ключевым словам «искусственный интеллект», «хирургия». Дополнительные ссылки были получены путем перекрестных ссылок на ключевые статьи. Представлен обзор различных приложений, использующих технологии ИИ, которые применяются или разрабатываются в настоящее время в хирургии.

Виды и механизмы искусственного интеллекта

В новом тысячелетии пережил бурный рост такой вид ИИ, как машинное обучение (Machine Learning), став основным направлением развития ИИ. В настоящее время эти понятия практически отождествились и стали взаимозаменяемы. Машинное обучение обобщает класс алгоритмов, способных улучшать свою производительность на основе опыта, человеческого или собственного, в решении прикладных задач. Подобные алгоритмы учатся делать прогнозы, распознавая скрытые в массивах данных закономерности.

Существует 3 основных механизма машинного обучения. **Обучение с учителем** имеет место тогда, когда для обучения алгоритма мы предоставляем не только исходные условия (данные) решаемых задач, но и правильные ответы к ним. Например, маркируем желчный пузырь на фото/видео при лапароскопической холецистэктомии, и ИИ учится распознавать желчный

пузырь на изображении. При **обучении без учителя** мы предоставляем лишь сами данные без правильных ответов. При этом ожидается, что алгоритм самостоятельно найдет в данных структуру, которая будет полезна человеку. Это, например, может быть оптимальная сегментация пациентов для нового заболевания или идентификация ярко-красного цвета определенной текстуры (например, кровотечения, отличного от не кровоточащей ткани) [6]. Третий вид машинного обучения – **обучение с подкреплением**; это класс алгоритмов, самостоятельно взаимодействующих с внешней средой и извлекающих опыт из отклика этой среды на свои действия [7].

Наибольшее распространение в приложениях получило обучение с учителем. И одним из популярных и эффективных инструментов для решения этой задачи в последнем десятилетии стали искусственные нейронные сети (Artificial Neural Networks). Нейронные сети устроены по аналогии с нервной системой человека в том плане, что обработка данных происходит в слоях простых вычислительных систем – нейронах, которые получают входные данные (аналогично дендритам в биологических нейронах), выполняют вычисления и передают выходные данные (аналогично аксонам) следующему нейрону. Нейроны входного уровня получают данные, в то время как нейроны скрытого слоя (можно использовать множество скрытых слоев) проводят вычисления, необходимые для анализа сложных взаимосвязей в данных [6]. В конечном итоге данные виды ИИ зачастую комбинируются друг с другом, а с точки зрения врачей для практического применения было предложено [8] разделить сферы ИИ в медицине на 2 подтипа:

- 1) виртуальный ИИ, т.е. которым можно пользоваться в смартфоне/персональном компьютере (от медицинских приложений и больших данных электронных медицинских карт до алгоритмов принятия решений, основанных на нейросетевых руководствах);
- 2) физический ИИ в виде программного обеспечения некоего медицинского устройства с практическим применением в робот-ассистированной хирургии, «умными» протезами для лиц с ограниченными возможностями или возрастными пациентами и т.п.

Задачи для искусственного интеллекта

Обработка естественного языка/речи (Natural Language Processing) – вид ИИ, в котором делается упор на формирование способности компьютера понимать человеческий язык, и он имеет решающее значение для крупномасштабного анализа данных электронных медицинских записей, особенно повествовательной документации врачей. Чтобы достичь понимания языка на человеческом уровне, успешные системы обработки речи должны выходить за рамки простого распознавания слов, чтобы включить в анализ семантику и синтаксис [9].

Компьютерное зрение (Computer Vision) – это машинное понимание изображений или видео, которое может достигнуть человеческого уровня распознавания сцен и объектов. Компьютерное зрение использует математические методы для анализа визуальных изображений или видеопотоков в качестве количественно определяемых характеристик, таких как цвет, текстура и положение, которые затем можно использовать в наборе данных для идентификации статистически значимых событий, таких как кровотечение [10].

Искусственный интеллект в диагностике и прогнозировании

С одной стороны, ИИ на дооперационном этапе полезен в качестве диагностического инструмента, и это одна из точек приложения, достойная отдельной статьи. Причиной этому является тот факт, что системы ИИ могут получить больше информации из последовательных случаев в течение нескольких минут, что намного превышает количество случаев, которые может проанализировать врач за всю свою жизнь. Подходы к принятию решений на основе ИИ могут использоваться в случаях, когда эксперты не могут прийти к единому мнению (например, при выявлении туберкулеза легких на рентгенограммах грудной клетки) [11].

В некоторых исследованиях даже графическая информация в виде снимка опухоли кожи (рак, пигментный невус, меланома) была трактована с точностью, аналогичной таковой экспертных дерматологов [12]. В онкохирургической практике есть небольшая группа ретроспективных работ, показывающая, что ИИ может определять показатели, меняющие стратегию лечения опухолевых заболеваний, с высокой точностью, сопоставимой с таковой врачей-клиницистов, диагностов и морфологов (см. таблицу). Более того, системе от Google при анализе маммограмм у пациенток с уже

известным диагнозом удалось сделать на 2,7–9,4 % меньше ложноотрицательных заключений и на 1,2–5,7 % меньше ложноположительных заключений по сравнению с заключениями экспертных рентгенологов [13].

С другой стороны, в исследованиях анализ больших данных позволит на дооперационном этапе stratифицировать пациентов на группы риска. В работе В.А. Fritz и соавт. продемонстрированы возможности нейросети Multipath Convolutional Neural Network, где в алгоритм заложили данные 95 907 оперированных пациентов, из которых в течение 30 дней умер 941 (1 %). Данные содержали характеристики пациентов, их коморбидный статус, предоперационные лабораторные анализы и интраоперационные анестезиологические цифровые данные пациентов, которым была выполнена операция с интубационной анестезией. Предиктивные возможности достигли ROC-AUC 0,867 (95 % доверительный интервал 0,835–0,899) [16]. В другой работе [17] показано, что модели машинного обучения опередили традиционные клинические модели в прогнозировании летальности, незапланированных повторных госпитализаций и увеличения продолжительности госпитализации. А машинное обучение существенно улучшило точность прогнозирования преждевременной летальности от всех причин в популяции среднего возраста в сравнении со стандартными методами [18]. Поскольку информация в историях болезни постоянно обновляется по мере поступления данных о пациентах, модели ИИ могут предоставлять прогнозы и рекомендации в режиме реального времени. Работы, опубликованные в течение последнего времени, демонстрируют целесообразность такого подхода. Платформа MySurgeryRisk использует данные из 285 переменных для прогнозирования 8 различных послеоперационных осложнений с AUC 0,82–0,94 и для прогнозирования

*Исследования возможностей искусственного интеллекта в диагностике онкологических заболеваний и состояний
Studies evaluating capabilities of artificial intelligence in the diagnosis of cancers*

Исследование Study	Вид искусственного интеллекта Type of artificial intelligence	Заболевание/показатель Disease/parameter	Чувствительность Sensitivity	Специфичность Specificity	Точность Accuracy
A. Esteva et al. [12]	Глубокая сверточная нейросеть Deep convolutional neural networks	Рак кожи Skin cancer	Сопоставимы с таковыми экспертов-дерматологов Comparable to those of expert dermatologists		
S.Z. Wang et al. [14]	Сверточная нейросеть Convolutional neural network	Магнитно-резонансная томография, циркулярная граница резекции при раке прямой кишки Magnetic resonance imaging, circumferential resection margin in rectal cancer	0,838	0,956	0,932
S.Z. Wang et al. [15]	Сверточная нейросеть с компьютерным обнаружением Convolutional neural network computer-aided detection	Метастатические лимфатические узлы при раке желудка при гистологическом исследовании Metastatic lymph nodes in gastric cancer during histological examination	0,778	0,995	0,989

смертности через 1, 3, 6, 12 и 24 мес с AUC 0,77–0,83 [19]. Электронные данные медицинской карты автоматически подаются в алгоритм, что устраняет необходимость ручного поиска и ввода данных и позволяет преодолеть серьезное препятствие для клинического принятия. В проспективном исследовании алгоритм предсказывал послеоперационные осложнения с большей точностью, чем врачи [20].

Искусственный интеллект для образования

Поскольку 1 мин хирургического видео высокой четкости, по оценкам, в 25 раз превышает объем данных, найденных в изображении компьютерной томографии высокого разрешения [21], на наш взгляд, образовательный процесс – одна из основных точек приложения ИИ. ИИ можно использовать для обработки огромных объемов хирургических данных для выявления или прогнозирования нежелательных явлений в режиме реального времени для поддержки интраоперационных клинических решений [22]. Анализ лапароскопической рукавной резекции желудка в реальном времени позволил с точностью 92,8 % автоматически определить этапы операции и выявить пропущенные или неожиданные этапы [23]. Также при лапароскопической холецистэктомии критический вид безопасности составлял от 62 до 79 в зависимости от этапа операции [24]. Обучающая модель достигла конкурентной точности 92,5; 95,4 и 91,3 % в таких стандартных заданиях, как шитье, переключив иглы и вязание узла соответственно [25].

Искусственный интеллект в операционной

Ранние попытки использовать ИИ для улучшения технических навыков ограничивались простыми заданиями (например, шитье, вязание узлов) [26]. Однако A. Shademan и соавт. из Johns Hopkins University продемонстрировали возможности автономного робота Smart Tissue Autonomous Robot (STAR), разработанного в Johns Hopkins University, который был совмещен с алгоритмом, позволяющим как минимум не хуже обычных хирургов формировать самостоятельно *ex vivo* и *in vivo* кишечные анастомозы у животных [27]. Они сравнили такие суррогатные показатели качества шитья, как последовательность наложения швов, среднее расстояние между ними, давление, при котором возможно развитие несостоятельности анастомоза, количество ошибок, требующих удаления иглы, время наложения анастомоза и уменьшение просвета кишки.

Эти исследования не продемонстрировали клинического применения, они обозначили потенциал использования ИИ.

Искусственный интеллект после операции

Технологии обработки языка и машинного обучения продемонстрировали точность 92 % в предсказании несостоятельности анастомоза у пациентов

в колоректальном отделении, когда различные данные были анализированы совокупно, в то время как разрозненный анализ показал меньшую точность (показатели жизнедеятельности – 65 %; лабораторные показатели – 74 %; текстовые данные – 83 %) [28].

Экономический смысл искусственного интеллекта

Внедрение ИИ происходит, в том числе, и для оптимизации расходов. Анализ больших данных, по прогнозам, позволит ежегодно экономить на здравоохранении в США от 300 до 450 млрд долларов в год [29], и потому существует большой экономический стимул для включения ИИ и больших данных в несколько элементов нашей системы здравоохранения. Эта экономия выглядит впечатляюще, учитывая, что все мировые расходы на здравоохранение к 2022 г. достигнут 10 трлн долларов (Всемирная организация здравоохранения), из которых доля США достигнет 5,7 трлн долларов [30]. При этом ожидается, что расходы федерального бюджета в России на здравоохранение в 2021 г. составят 572,5 млрд рублей, т.е. порядка 8,8 млрд долларов [31]. Что выглядит достаточно скромно на фоне совокупных инвестиций в 500 млн долларов только в коллаборацию Verb Surgical, подразделение ИИ Johnson & Johnson's, Ethicon и Verily, подразделения естественных наук Google.

Исследователи российского здравоохранения из Кембриджа постулируют, что, несмотря на то, что с 2010 г. Министерство здравоохранения РФ все чаще стремится повысить качество медицинской помощи, предоставляя дополнительные ресурсы и новые инициативы в рамках всей системы здравоохранения, большинство инициатив редко оценивались. Подчеркивается необходимость крупных инвестиций для проведения исследований в области здравоохранения для раскрытия всего потенциала улучшения качества медицинской помощи в России [32]. На наш взгляд, сбор больших данных в масштабах отдельных клиник и целых регионов возможно возложить на ИИ.

Выводы

Хирурги имеют уникальную возможность помочь внедрить инновационные технологии ИИ, а не пассивно ждать, пока технология станет полезной. По мере развития ИИ в мире идет поиск его применению в медицине и в хирургии. Скорее всего, ИИ будет их интегральной частью и инструментом, помогающим врачу на этапах обучения, третьим мнением при визуальной диагностике, помощником при робот-ассистированной хирургии и т.д. Клиническое применение более-менее очевидно, и на сегодня все больше и больше исследований проводится для ответов на вопросы. Интенсивность внедрения ИИ станет прямо пропорциональной стоимости рабочей (медицинской) силы и заинтересованности в «прозрачном» сборе статистических данных и их честном анализе.

Л И Т Е Р А Т У Р А / R E F E R E N C E S

- White K.L. Healing the Schism: Epidemiology, Medicine, and the Public's Health. New York: Springer-Verlag, 1991.
- Guyatt G.H. Evidence-based medicine. ACP J Club 1991;114(2):A16. DOI: 10.7326/ACPJC-1991-114-2-A16.
- Future of Surgery. Available at: https://futureofsurgery.rcseng.ac.uk/?_ga=2.41715170.1984684233.1579034256-913643071.1579034256.
- Turing A.M. Computing Machinery and Intelligence. Mind 1950;236:433–60.
- CB Insights Research. Healthcare remains the hottest AI category for deals. 2017. Available at: <https://www.cbinsights.com/research/artificial-intelligence-healthcare-startups-investors/>.
- Deo R.C. Machine learning in medicine. Circulation 2015;132(20):1920–30.
- Sutton R.S., Barto A.G. Reinforcement learning: An introduction. Vol. 1. Cambridge: MIT press, 1998.
- Hamet P., Tremblay J. Artificial intelligence in medicine. Metabolism 2017;69S:S36–40.
- Nadkarni P.M., Ohno-Machado L., Chapman W.W. Natural language processing: an introduction. JAMA 2011;18(5):544–51.
- Szeliski R. Computer vision: algorithms and applications. Springer Science & Business Media, 2010.
- Lakhani P., Sundaram B. Deep learning at chest radiography: Automated classification of pulmonary tuberculosis by using convolutional neural networks. Radiology 2017;284:574–82.
- Esteva A., Kuprel B., Novoa R.A. et al. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. Nature 2017;542:115–8.
- McKinney S.M., Sieniek M., Godbole V. et al. International evaluation of an AI system for breast cancer screening. Nature 2020;577:89–94. DOI: 10.1038/s41586-019-1799-6.
- Wang S.Z., Wang J.G., Lu Y. Clinical application of convolutional neural network in pathological diagnosis of metastatic lymph nodes of gastric cancer. Zhonghua Wai Ke Za Zhi 2019;57(12):934–8. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0529-5815.2019.12.012.
- Wang D., Xu J., Zhang Z. et al. Evaluation of rectal cancer circumferential resection margin using faster region-based convolutional neural network in high-resolution magnetic resonance images. Dis Colon Rectum 2020;63(2):143–51. DOI: 10.1097/DCR.0000000000001519.
- Fritz B.A., Cui Z., Zhang M. Deep-learning model for predicting 30-day postoperative mortality. Br J Anaesth 2019;123(5):688–95. DOI: 10.1016/j.bja.2019.07.025.
- Rajkomar A., Oren E., Chen K. et al. Scalable and accurate deep learning with electronic health records. NPJ Digit Med 2018;1:18.
- Weng S.F., Vaz L., Qureshi N. Prediction of premature all-cause mortality: A prospective general population cohort study comparing machine-learning and standard epidemiological approaches. PLoS One 2019;14(3):e0214365. DOI: 10.1371/journal.pone.0214365.
- Bihorac A., Ozrazgat-Baslanti T., Ebadi A. et al. MySurgeryRisk: development and validation of a machine-learning risk algorithm for major complications and death after surgery. Ann Surg 2019;269(4):652–62.
- Brennan M., Puri S., Ozrazgat-Baslanti T. et al. Comparing clinical judgment with the MySurgeryRisk algorithm for preoperative risk assessment: a pilot usability study. Surgery 2019;165(5):1035–45.
- Natarajan P., Frenzel J.C., Smaltz D.H. Demystifying big data and machine learning for healthcare. CRC Press, 2017.
- Hashimoto D.A., Rosman G., Rus D., Meireles O.R. Artificial Intelligence in Surgery: Promises and Perils. Ann Surg 2018;268(1):70–6. DOI: 10.1097/SLA.0000000000002693.
- Volkov M., Hashimoto D.A., Rosman G. et al. IEEE International Conference on Robotics and Automation. Singapore, 2017. Machine learning and co-sets for automated real-time video segmentation of laparoscopic and robot-assisted surgery. Pp. 754–759.
- Mascagni P., Fiorillo C., Urade T. et al. Formalizing video documentation of the Critical View of Safety in laparoscopic cholecystectomy: a step towards artificial intelligence assistance to improve surgical safety. Surg Endosc 2020;34(6):2709–14. DOI: 10.1007/s00464-019-07149-3.
- Wang Z., Majewicz Fey A. Deep learning with convolutional neural network for objective skill evaluation in robot-assisted surgery. Int J Comput Assist Radiol Surg 2018;13(12):1959–70. DOI: 10.1007/s11548-018-1860-1.
- DiPietro R., Lea C., Malpani A. et al. International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention. Springer International Publishing, 2016. Recognizing surgical activities with recurrent neural networks. Pp. 551–558.
- Shademan A., Decker R.S., Opfermann J.D. et al. Supervised autonomous robotic soft tissue surgery. Sci Transl Med 2016;8(337):337ra64. DOI: 10.1126/scitranslmed.aad9398.
- Soguero-Ruiz C., Hindberg K., Mora-Jimenez I. et al. Predicting colorectal surgical complications using heterogeneous clinical data and kernel methods. J Biomed Inform 2016;61:87–96.
- Groves P., Kayyali B., Knott D. et al. The “big data” revolution in healthcare: Accelerating value and innovation. 2016.
- Cuckler G.A., Sisko A.M., Poisal J.A. et al. National Health Expenditure Projections, 2017–26: Despite uncertainty, fundamentals primarily drive spending growth. Health Aff (Millwood) 2018;37(3):482–92.
- World Health Organization. 2018. Current health expenditure (CHE) as percentage of gross domestic product (GDP). Available at: <http://apps.who.int/gho/data/node.main.GHEDCHEGDP2011>.
- Vlassov V., Bates K., McKee M. Quality improvement in hospitals in the Russian Federation, 2000–2016: a systematic review. Health Economics, Policy and Law 2019;1–11. DOI: 10.1017/S1744133119000252.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interests.

Финансирование. Работа выполнена без спонсорской поддержки.
Financing. The work performed without external funding.

Статья поступила: 02.10.2020. **Принята к публикации:** 17.11.2020.
Article submitted: 02.10.2020. **Accepted for publication:** 17.11.2020.