



Нейросети в онкоурологии

© Михаил П. Корчагин¹, Александр В. Говоров^{1,2}, Александр О. Васильев^{1,2}, Игорь О. Грицков¹, Дмитрий Ю. Пушкар^{1,2}

¹ Российский университет медицины [Москва, Россия]

² Городская клиническая больница им. С. П. Боткина [Москва, Россия]

Аннотация

В последние годы нейросети стали широко применяться во многих областях науки и медицины, включая онкологию. Одной из ключевых проблем в онкоурологии является точная и ранняя диагностика злокачественных новообразований. Нейросети позволяют анализировать множество медицинских данных и выявлять взаимосвязи между качественными и количественными признаками, что способствует более точной и своевременной диагностике. Более того, нейросети могут использоваться для прогнозирования прогрессирования опухоли, оценки эффективности лечения и оптимизации плана лечения для каждого пациента. В онкоурологии использование нейросетей предоставляет новые перспективы для диагностики, прогнозирования и лечения различных опухолей органов мочеполовой системы. В обзорной статье представлены способы применения нейросетей в онкоурологии. Приведены исследования, посвященные использованию нейросетей для диагностики, прогнозирования и лечения онкологических заболеваний урологического профиля. Продемонстрированы преимущества и ограничения использования нейросетей в этой области и предложены возможные направления для будущих исследований. Сделаны выводы о том, что применение нейросетей в онкоурологии открывает горизонты для развития персонализированного подхода к диагностике и лечению онкологических заболеваний. Искусственный интеллект может стать мощным инструментом для улучшения прогнозирования результатов лечения пациентов, а также сокращения нежелательных побочных эффектов терапии. Внедрение нейросетей в онкоурологическую практику открывает новые возможности для улучшения работы, организации здравоохранения и качества оказания медицинской помощи пациентам.

Ключевые слова: онкоурология; урология; искусственные нейронные сети; искусственный интеллект; глубокое машинное обучение

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки. **Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: М.П. Корчагин — разработка дизайна исследования, обзор литературы, анализ данных, написание текста рукописи; А.В. Говоров — разработка дизайна исследования, научное руководство, критический обзор; А.О. Васильев — анализ данных, научное редактирование, научное руководство; И.О. Грицков — анализ данных, научное редактирование; Д.Ю. Пушкар — разработка дизайна исследования, научное руководство, критический обзор.

✉ **Корреспондирующий автор:** Михаил Павлович Корчагин; mihailsun@mail.ru

Поступила в редакцию: 11.04.2024. **Принята к публикации:** 09.07.2024. **Опубликована:** 26.08.2024.

Для цитирования: Корчагин М.П., Говоров А.В., Васильев А.О., Грицков И.О., Пушкар Д.Ю. Нейросети в онкоурологии. *Вестник урологии*. 2024;12(4):91-101. DOI: 10.21886/2308-6424-2024-12-4-91-101.

Neural networks in oncurology

© Mikhail P. Korchagin¹, Alexander V. Govorov^{1,2}, Alexander O. Vasiliev^{1,2}, Igor O. Gritskov¹, Dmitry Y. Pushkar^{1,2}

¹ Russian University of Medicine [Moscow, Russian Federation]

² Botkin City Clinical Hospital [Moscow, Russian Federation]

Abstract

In recent decades, neural networks have been widely applied in many fields of science and medicine. Accurate and early diagnosis of malignancies is a key challenge in oncology. Neural networks can analyse a wide range of medical data and identify relationships between qualitative and quantitative features. This allows for more precise and timely diagnoses. Moreover, they can be used to predict tumour progression, evaluate treatment effectiveness, and optimise treatment plans for each patient.

In oncurology, the use of neural networks offers new perspectives for the diagnosis, prognosis, and treatment of various cancer conditions related to the urinary tract and male reproductive system. This review article explores how neural networks are being used in this field and present research into the use of neural networks for diagnosing, predicting the course and treating urological oncological diseases. The advantages and limitations of using neural networks in this field are demonstrated, and possible directions for future research are suggested. The application of neural networks in oncurology opens new horizons for the development of a personalised approach to diagnosing and treating oncological diseases. Artificial intelligence has the potential to become a powerful tool for improving the accuracy of patient outcome predictions and reducing undesirable side effects of therapy. Introducing neural networks into oncurological practice creates new opportunities for enhancing the work of healthcare organisations and improving the quality of care provided to patients. This can lead to better treatment outcomes and improved patient satisfaction.

Keywords: oncurology; urology; artificial neural networks; artificial intelligence; deep machine learning

Financing. The study had no sponsorship. **Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

Authors contributions: M.P. Korchagin — study design, literature review, drafting the manuscript, data analysis; A.V. Govorov — supervision, study design development, critical review; A.O. Vasiliev — data analysis, scientific editing, scientific guidance; I.O. Gritskov — data analysis, scientific editing; D.Yu. Pushkar — supervision, study design development, critical review.

✉ **Corresponding author:** M.P. Korchagin; mihailsun@mail.ru

Received: 04/11/2024. **Accepted:** 09/07/2024. **Published:** 26/08/2024.

For citation: Korchagin M.P., Govorov A.V., Vasiliev A.O., Gritskov I.O., Pushkar D.Yu. Neural networks in oncurology. *Urology Herald*. 2024;12(4):91-101. (In Russ.). DOI: 10.21886/2308-6424-2024-12-4-91-101.

Введение

Онкологическая заболеваемость населения — проблема высокой социальной значимости современной медицины, являющаяся причиной смерти и инвалидизации населения развитых, а в последние годы и развивающихся стран, приводящая к значительной утрате трудоспособной части общества [1]. Онкоурология занимает особое место в онкологии. Несмотря на ежегодные успехи в лечении злокачественных новообразований мочеполовой системы, онкоурологи по-прежнему находятся в поиске новых методов диагностики, лечения новообразований, разрабатывают программы скрининга для выявления заболеваний на ранних стадиях [2]. Искусственная нейронная сеть (ИНС) является распространённым методом машинного обучения в технологии искусственного интеллекта, который быстро внедряется в различные области здравоохранения, в том числе и в онкоурологию [3]. Растущий интерес к искусственному интеллекту (ИИ) и машинному обучению (МО) отражается в увеличении числа исследований, финансировании грантовых проектов, стартапов в области здравоохранения [4]; появляется литература по применению ИИ в урологической практике [5].

Искусственный интеллект — это термин, используемый в вычислительной технике для описания способности компьютерной программы выполнять задачи, поставлен-

ные специалистом, такие как обсуждение, рассуждение и обучение. Он также включает такие процессы, как адаптация, сенсорное понимание и взаимодействие. Проще говоря, традиционные вычислительные алгоритмы — это программы, которые следуют набору правил и последовательно выполняют одну и ту же задачу. С другой стороны, ИИ изучает правила (функции) посредством обучения (вводных) данных. В недалёком будущем ИИ может значительно изменить систему здравоохранения, производя новые концептуальные решения из огромного количества цифровых данных, полученных в ходе диагностики и/или лечения пациентов [6]. Он использует огромные объёмы полученных данных для решения заранее определённых задач. Система способна к самообучению, используя алгоритмы, которые могут автономно модифицировать себя до тех пор, пока не будет оптимизирован желаемый результат, как в случае глубокого обучения [7]. Благодаря быстрому развитию программных и аппаратных технологий, ИИ стал применяться в различных технических областях, таких как сельское хозяйство, дорожное движение, всемирной сети Интернет, робототехнике и др. [8]. Анализ публикационной активности баз данных Pubmed по ключевому слову «искусственный интеллект в медицине» показал кратное увеличение за последние 20 лет. Интеграция ИИ в автоматизированные решения прикладных

задач в медицине происходит за счёт высокой точности работы новой технологии. Как в головном мозге, алгоритмы нейронных сетей строятся из искусственно созданных нейронов, или «узлов». Узлы, соединённые в параллельные структуры, именуются слоями. В основе работы алгоритмов лежит извлечение знаний из данных и оптимизация сети за счёт усиления взвешенных связей, которые могут классифицировать объекты или даже предсказывать результаты. Таким образом, нейронные сети способны вычислять сложные и нелинейные взаимодействия между данными, которые часто непросто вычислить при помощи обычного линейного статистического анализа [9].

Основные области применения ИИ в биомедицине можно разделить на четыре категории. Первые три предназначены для эффективной обработки больших баз данных и обеспечения быстрого доступа к решению поставленных задач, связанных с оказанием медицинской помощи. Наиболее остро потребность в скорейшей интеграции ИИ в биомедицину связана с диагностикой заболеваний (последняя категория применения ИИ). В последние десятилетия в этой области был сделан ряд интересных прорывов. Благодаря ИИ специалисты способны проводить более раннюю и точную диагностику различных заболеваний [10]. Один из основных классов диагностики основан на диагностике *in vitro* с использованием биосенсоров или биочипов. Например, экспрессия генов, которая является важным диагностическим инструментом, может быть проанализирована с помощью машинного обучения, в котором ИИ интерпретирует данные микрочипа для классификации и обнаружения аномалий [11]. Новая точка приложения ИИ — классификация данных раковых микрочипов для диагностики рака [12], определившая основной вектор развития в диагностике и прогнозировании. Другой важный класс диагностики заболеваний основан на обработке медицинских сигналов (одномерных, например, при электроэнцефалографии, электромиографии и электрокардиографии) и изображений (двумерных, например, при ультразвуковом исследовании, магнитно-резонансной или компьютерной томографии) [13]. Внедрение технологий ИИ в портативные ультразвуковые устройства позволяет сократить

«кривую» обучения, особенно у начинающих специалистов [14]. В дополнение ко всему прочему, по мнению S. Safdar et al. (2018), ИИ оказывает неоценимую помощь врачам, снижая нагрузку на персонал за счёт повышения точности диагностики и облегчения принятия решений в выборе той или иной тактики лечения [15].

С учётом важности ИИ и его влияния на медицинскую практику грамотность врачей любой специальности имеет ключевую роль. Неосведомлённость в данном вопросе может ограничить и замедлить развитие данной технологии, понизить качество критического потребления ИИ [16]. Осведомлённость в вопросе ИИ, МО, глубокого обучения, различий алгоритмов нейронных сетей, а также точек приложения данной технологии в онкологии значительно повысит экспертность современного онкоуролога, так как ИИ неизбежно изменит здравоохранение в том виде, в каком мы его знаем [17].

Цель исследования. Изучить текущее состояние исследований в области применения нейросетей в онкоурологии, включая основные методы, модели и алгоритмы, используемые в этих исследованиях, а также применение нейронных сетей в онкоурологической практике. Обобщить результаты исследований, представленные в литературе, и выделить наиболее перспективные направления развития и применения нейросетей в онкоурологии.

Алгоритм литературного поиска

При поиске литературных публикаций были проанализированы базы данных PubMed, Scopus, Web of Science по ключевым запросам «oncology», «urology», «cancer urology», «neural network», «artificial intelligence» в период с 2013 по 2023 год.

Фундаментальные понятия: искусственный интеллект (ИИ), машинное обучение (МО), глубокое обучение (DL), архитектуры нейросетей

Алгоритмы нейронной сети — подкласс в иерархии ИИ, который объединяет в себе сам искусственный интеллект, машинное обучение и глубокое обучение. ИИ описывает алгоритмы, которые требуют затрат человеческого интеллекта. Машинное обучение (МО) — это подкласс ИИ, создающий алгоритмы с возможностью к самообуче-

нию. Глубокое обучение является следующей ступенью в иерархии. Оно способно самостоятельно подбирать функции для вычисления поставленных задач. Большинство алгоритмов глубокого обучения основаны на искусственных нейронных сетях [18]. Как и в биологической нервной системе, искусственные нейронные сети состоят из нейронов (особых вычислительных единиц). Искусственный нейрон получает входные сигналы $x_1, x_2, \dots, x_n$, которые умножаются на силу синапсов, именуемую весами (w). Подобно потенциалу действия в нейроне, выход функции активации запускается за счёт взвешенной суммы его входных данных [19]. В настоящее время в программировании нейронных сетей создано большое количество вариантов архитектур нейронных сетей, от которых зависят функционал и прикладное использование. Первой моделью нейросети был перцептрон, предложенный американским нейрофизиологом Frank Rosenblatt в 1958 году. Идея компьютерной модели состояла в том, что поступающие от двух датчиков сигналы передаются ассоциативным элементам, а затем реагирующим элементам. Таким образом, перцептроны позволяют создать набор «ассоциаций» между входными стимулами и необходимой реакцией на выходе. Из-за недостатков, связанных с невозможностью выполнять ряд логических операций, перцептрон требовал доработки. Одним из решений было введение скрытого слоя, особого фильтра, состоящего из подключённых последовательно дополнительных перцептронов. Основным отличием глубокой сети (Deep Feed Forward) является наличие нескольких скрытых слоёв. Интересной разновидностью архитектуры нейросетей является Auto Encode: результатом обучения его выход должен стать его входом, а для того, чтобы сеть не пробрасывала значения и выполняла поставленные задачи, размеры её внутреннего слоя уменьшают. Зачастую после обучения Auto Encode использует не выход нейросети, а именно её скрытый слой. Принципиально другую структуру имеет сеть Hopfield Network: каждый из её нейронов является как входом, так и выходом. Основная идея сети Hopfield Network — сделать её независимой от порядка входных данных. Рекуррентные сети (Recurrent Neural Network) стали первой попыткой дать нейронным сетям

механизм памяти. Рекуррентный нейрон получает, помимо предыдущего слоя, своё состояние в предыдущий момент времени. Доработанной моделью стали архитектуры долговременной и краткосрочной памяти (Long / Short Term Memory) со следующими функциями: стирание информации, фильтр обновления для запоминания информации и фильтр вывода для определения информации, которая будет передаваться на выходе из нейрона. Таким образом, сеть самостоятельно решает, какую информацию записать для дальнейшего использования, а какую стереть. Для работы с большим объёмом данных, в особенности для обработки изображений, состоящих из пикселей, были созданы свёрточные нейросети (Deep Convolutional Network). Первые слои такой сети сжимают информацию, а потом перцептрон обрабатывает сжатую информацию и выдаёт ответ. Первые слои состоят из свёрточных фильтров и матричных объединений. Свёрточный фильтр сворачивает квадратный блок изображения в точку, производя ряд математических операций, а матрица объединения выбирает максимальное значение. Развёртывающие нейронные сети (Deconvolutional Network) работают в обратном порядке. Нужно понимать, что описанные выше архитектуры являются базовыми и всегда можно создать свою гибридную сеть под определённую задачу, не похожую ни на одну.

Применение ИИ при раке предстательной железы

В последние годы бурно развивающееся новое направление углублённого анализа цифровых изображений (радиомика) с использованием ИИ в корне изменило качество диагностики рака предстательной железы (РПЖ).

Проблематика диагностического поиска РПЖ крылась в мультифокальности поражения и наличии гетерогенного распределения гистологического рисунка, а значит, и оценка по Глиссону у одного и того же пациента могла быть различной. Виды медицинской визуализации, такие как УЗИ, рентгеновская компьютерная и магнитно-резонансная томография (КТ и МРТ), позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ), однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ), гибридные методы — ПЭТ / КТ, ПЭТ / ОФЭКТ,

ПЭТ / МРТ, а также мультипараметрическая МРТ (мпМРТ) порой не всегда способны оценить размер патологической опухоли, особенно при поражениях с более низкими показателями PI-RADS и меньшим размером. Неоднородность опухоли и ограничения видов медицинской визуализации, наряду с ложноотрицательными результатами биопсии, приводят к расхождениям между классом биопсии опухоли и окончательной патологической оценкой всего органа после радикальной простатэктомии [20 – 22].

Радиомика — гибридный аналитический процесс, способный определять корреляции характеристик цифрового изображения тканей, в том числе и опухолевых, и включает в себя сбор данных и предварительную обработку, сегментацию опухоли, обнаружение и извлечение данных, моделирование, статистическую обработку и проверку (валидацию) данных. Биомаркеры изображений, полученные методами машинного обучения, подбираются алгоритмами автоматически. Наиболее популярными алгоритмами в радиомике являются регрессия, различные виды решающих деревьев и нейронные сети [23]. Радиомический анализ обеспечивает объективную количественную оценку неоднородности опухоли путём распределения и взаимосвязи уровней пикселей или вокселей серого в изображении. Итог анализа — построение стандартизированной прогностической модели для определения клинических результатов с выбранными функциями [24]. Именно выбор методологии моделирования и определение оптимальных методов машинного обучения за счёт заданных алгоритмов систем являются решающим шагом в получении клинически значимых результатов [25]. В своём обзоре L.A. Mata et al. (2021) продемонстрировали механизм установления радиолого-патологической корреляции путём совмещения гистологических данных после радикальной простатэктомии и снимков мпМРТ, что в перспективе рождает снижение вероятности различной оценки результатов одного и того же исследования как среди радиологов, так и среди патологоанатомов [26]. Совмещение радиомики и гистологических снимков повышает клиническую эффективность и интерпретацию результатов диагностики для выбора правильной стратегии лечения, стратификации риска заболева-

ния и последующего должного наблюдения за пациентом [27].

Отдельного интереса заслуживает внедрение нейронных сетей в систему цифровой патологии (DP) в диагностике РПЖ. Оцифровка гистопатологических изображений даёт возможность внедрить ИИ и облегчить работу патоморфологам. Интегрированная идентификация опухоли и автоматическая оценка минимизируют участие гистологов, уменьшая риск ошибок [28]. Paige Prostate Alpha — это новая технология, основанная на слабо контролируемом алгоритме глубокого обучения, которая помогает патоморфологам точно и эффективно диагностировать РПЖ. В своей работе P. Raciti et al. (2020) продемонстрировали статистически значимое увеличение чувствительности диагностики РПЖ с использованием технологии Paige Prostate Alpha без значимого снижения специфичности. Цифровой помощник с поддержкой ИИ демонстрирует значительные преимущества, снижая частоту пропуска хорошо дифференцированных видов рака, которые часто имитируют доброкачественные новообразования простаты [29].

A. Chatrian et al. (2021) был предложен новый цифровой помощник для уроморфолога, использующий алгоритмы ИИ при оценке неоднозначных случаев, когда приходится прибегать к иммуногистохимии [30].

Оценка качества жизни в онкологии с каждым годом становится все более актуальной проблемой, требующей обсуждения и поиска новых решений [31]. ASCAPE — первый исследовательский проект, который на основе опросника IPSS / L с использованием ИИ разрабатывает персонализированную стратегию наблюдения за пациентами с раком предстательной железы [32].

Применение ИИ при раке мочевого пузыря

Рак мочевого пузыря (РМП) является десятым, наиболее часто диагностируемым, видом рака во всем мире [33]. Цистоскопия остаётся золотым стандартом первоначальной диагностики РМП [34]. Точное обнаружение опухоли при цистоскопии имеет решающее значение для улучшения качества трансуретральной резекции рака мочевого пузыря и уменьшения частоты рецидива.

X. Jia et al. (2023) продемонстрировали эффективность сверхточной нейронной сети CystoNet-T, улучшающей производительность стандартной цистоскопии в белом свете путём автоматизации обнаружения опухолевого новообразования [35].

Широко распространённый метод обработки изображения при помощи нейросетей и анализа их качественного содержания использовался в нескольких методиках диагностической цистоскопии, при которой ИНС успешно дифференцировали опухоли мочевого пузыря [36 – 38]. T.C. Chang et al. (2023) продемонстрировали интеграцию нейронной сети CystoNet-T в процедуру диагностической цистоскопии в белом свете и трансуретральной резекции (ТУР) мочевого пузыря. По результатам исследования было проведено 55 процедур: 21 цистоскопия и 34 ТУР. Специфичность выявления опухоли при цистоскопии с применением нейронной сети составила 98,8%. Для ТУР чувствительность выявления опухоли мочевого пузыря составила 52,9%, а специфичность — 95,4%. Представленное авторами пилотное исследование демонстрирует целесообразность использования нейронной сети CystoNet-T в режиме реального времени в целях повышения диагностической точности цистоскопии и качества хирургического лечения [39]. Целью работы J.W. Yoo et al. (2022) стала оценка эффективности ИИ в диагностике рака мочевого пузыря при WLC (White light cystoscopy) и NBI-цистоскопии (Narrow Band Imaging), а также прогнозирование степени дифференцировки опухоли в зависимости от её цвета, с использованием метода красный / зелёный / синий (RGB). В ретроспективном исследовании было проанализировано 10 991 цистоскопических изображений с подозрительными опухолями мочевого пузыря с использованием свёрточной нейронной сети (CNN). Чувствительность, специфичность и точность диагностики составили 95,0%, 93,7% и 94,1% соответственно. Диагностика выявления опухолей с использованием ИИ была высокой, нейросети смогли различать степень дифференцировки опухоли, основываясь на её цвете [40].

При помощи подобных систем (ИНС совместно с обработкой МРТ-изображений) теперь возможно стадирование рака мочевого пузыря. 3D-текстурные особенности, полученные из карт интенсивности и про-

изводных высокого порядка, могут отражать гетерогенные раковые ткани. Функции текстуры, оптимально подобранные вместе с аугментацией образца, улучшают эффективность дифференцирования карцином мочевого пузыря, что позволяет неинвазивно стадировать опухоли перед оперативным вмешательством [41].

Применение ИИ при раке почки

Небольшие доброкачественные опухоли почки бывает сложно отличить от злокачественных, основываясь исключительно на стандартной технологии визуализации [42]. В наши дни не существует ни рентгенологических, ни клинических паттернов, способных с высокой долей вероятности предсказать патоморфологию новообразования почек. С недавнего времени разработаны алгоритмы нейронных сетей, позволяющие анализировать клинические данные и полученные изображения (КТ, МРТ и пр.), для прогнозирования и выбора правильной тактики лечения заболевания. Система автоматической классификации изображений КТ с использованием глубокого обучения, представленная в работе M. Pedersen (2020), облегчает дифференцировку онкоцитомы от почечно-клеточной карциномы, основываясь на неинвазивной технологии визуализации. Использованная в данном исследовании свёрточная нейронная сеть (CNN) и технология глубокого обучения продемонстрировали 90% точность и 98% специфичность в выявлении новообразований почек, что может способствовать пересмотру методов диагностики рака почки [43].

H. Zheng (2004) предложил метод диагностики ранней стадии почечно-клеточного рака почки с использованием оценки метаболизма сыворотки при помощи ядерного магнитного резонанса (ЯМР) и самоорганизующихся карт Kohonen (SOM) [44]. SOM — тип искусственной нейронной сети, способный к самообучению с учётом сложных и высокомерных данных с помощью проецирования информации в двумерную визуальную карту [45]. Авторы обучили и проверили модель SOM, используя данные метаболизма сыворотки 104 участников, включая здоровых людей и пациентов с ранней стадией почечно-клеточного рака почки. В исследовании было доказано, что SOM может точно предсказать раннюю ста-

дию почечно-клеточного рака почки с точностью 94,74%, а также может быть использована для оценки послеоперационного метаболического восстановления [44].

Алгоритм, способный дифференцировать подтипы почечно-клеточного рака с помощью обработки и градации серого цвета в снимках кортико-медуллярной фазы компьютерной томографии, был представлен в Стамбуле (Турция). Проверку данного метода обследования также проводили при помощи сравнения его результатов с гистологическим заключением после чрескожной биопсии почечной ткани. В эксперименте также сравнивали две разные модели обучения нейросетей, а по результатам тестов была показана 100% специфичность [46]. Отдельно от вышеописанного алгоритма, но используя те же принципы машинного обучения, Z. Feng et al. (2017) было написано программное обеспечение для дифференцировки при помощи компьютерной томографии ангиомиолипомы почки. Данный метод также продемонстрировал высокие показатели специфичности и чувствительности (87,8% и 100% соответственно при AUC 0,955) [47].

Применение ИИ при раке яичка

Опухоли яичка относительно редки, они составляют лишь 1% новообразований и 5% урологических опухолей у мужчин. В последние годы начинают появляться работы по изучению применения радиомики для визуализации опухолей яичка [48 – 49]. B. Baessler et al. (2020) предложили алгоритм машинного обучения для дифференцировки «доброкачественных» (некротических) и «злокачественных» (тератомных) лимфатических узлов, используя КТ-сканы пациентов с метастатическими несеминомными опухолями яичка после химиотерапии [50]. J. Lewin et al. (2018) разработали модель классификатора «доброкачественных» и «злокачественных» лимфатических узлов пациентов с метастатическими опухолями яичка путём сочетания функций радиомики с уже установленными клиническими биомаркерами до химиотерапии. Данный алгоритм прогностической радиомики имел в исследовании дискриминационную точность 72%, которая улучшилась до 88% после учёта клинических предикторов [51]. Помимо онкоурологии, радиомика продемонстрировала потенциал и в соз-

дании надёжных биомаркеров для оценки функции гонад. С её помощью стала возможной оценка функции яичек *in vivo* [52]. В систематическом обзоре S.C. Fanni et al. (2023) была проведена оценка современного состояния радиомики в визуализации яичек. После проведённого анализа 6 исследований, часть из которых были проспективными, авторы пришли к выводу, что радиомика в визуализации яичек является многообещающей областью исследований. Инвазивные процедуры в виде биопсии яичка имеют свои ограничения в предоперационной диагностике рака яичек. Исследования в области радиомики способны закрыть этот пробел [53].

Возможности ИИ в обучении хирургов, автономная робот-ассистированная хирургия

Кривая обучения — важная концепция в освоении мануальных навыков, характеризующаяся периодом улучшения производительности и качества манипуляций с течением времени, выходя на фазу плато [54]. Хирурги с меньшим опытом склонны к неблагоприятным исходам, совершению ошибок, что требует создания более безопасной модели обучения. В наши дни начинают появляться программы обучения молодых хирургов на основе ИИ, которые обладают рядом преимуществ. Снизить воздействие на пациента возможно с использованием симуляции. Модель на основе ИИ, которая обеспечивает обратную связь и постепенно увеличивает сложность случая в соответствии с уровнем обучаемого, может снизить риск осложнений на момент освоения навыков до минимума. Такая программа позволяет начинающему специалисту на начальных этапах совершить ошибки, не подвергая опасности здоровье пациента [55].

Помимо снижения влияния на пациента, симуляция позволяет отработать ту или иную хирургическую технику много раз, «проиграть» различные варианты событий и рассмотреть нестандартные случаи. Такая возможность, помимо своей безопасности, привлекательна и с экономической точки зрения [56]. Важную роль в обучении играет компетентная оценка освоенных хирургом навыков [5]. Роботизированная хирургия стала основной платформой автономного подсчёта и анализа очков

на основе машинного обучения, позволяющей разрабатывать новые стратегии и собирать реестр кривых обучения хирургов с оценкой хирургических навыков [57]. A.J. Hung et al. (2018) в своём 5-летнем многоцентровом исследовании продемонстрировали автономные показатели производительности и новые алгоритмы МО для оценки качества хирургических навыков, а также прогнозирование клинических результатов в роботизированной хирургии. Данные были получены в результате анализа использования инструментов во время робот-ассистированных операций в реальном времени. Это позволило идентифицировать паттерны движений и оценить уровень компетентности операторов. Авторам удалось соотнести уровень компетентности хирургических техник с результатами лечения пациентов, благодаря чему данная модель может быть использована для обеспечения индивидуального обучения [58].

Благодаря стремительному росту интереса к ИИ и его внедрению в различные сферы медицины, в том числе и в хирургическую практику, мы приближаемся к эре автономной, интеллектуальной роботизированной хирургии. Интеллектуальный робот будет способен распознавать органы, ткани и хирургические мишени для выполнения различного спектра задач, которые будут выполняться под контролем хирурга либо автоматически, дополняя работу чело-

века. Облачные сервисы для хранения данных, высокоскоростной интернет с мгновенным обменом информацией, а также опыт ведущих хирургов из различных центров земного шара способны создать идеальную модель глубокого обучения, способную самообучаться и помогать хирургам в решении множества задач [59]. Первая попытка систематизировать исследования в области автономной роботизированной хирургии была предпринята в 2017 году G.Z. Yang et al. Авторы разделили автономность, которую может достичь хирургический робот, на шесть уровней (табл.) [60].

Робот-ассистированные системы, управляемые ИИ, помогают в предоперационном планировании, в интерпретации интраоперационной информации, а также в автономном выполнении этапов операции, тем самым повышая точность, безопасность и подготовку хирургов на благо пациентов и медицинского сообщества [61]. The American College of Surgeons опубликовал в июне 2023 года доклад, посвящённый кардинальным изменениям в хирургии, связанным с внедрением ИИ. Большинство экспертов в области роботизированной хирургии и ИИ сходятся во мнении, что врачи-хирурги вряд ли когда-нибудь будут полностью заменены автономными робот-ассистированными системами. Технология призвана помогать, а не заменять хирурга в принятии и выполнении задач [62].

Таблица. Уровни автономности роботизированной хирургии

Уровни автономности	Характеристики
Уровень 0	Отсутствие автономии – вся работа контролируется исключительно хирургом, точно имитируя его движения и выполняя задачи
Уровень 1	Помощь в работе – направление движений хирурга или виртуальная помощь в визуализации места операции – технологии, обеспечивающие автономность: датчики считывания тканей, отслеживания инструментов и движения глаз
Уровень 2	Автономия ряда задач – самостоятельное выполнение конкретных задач, порученных хирургом: ретракция тканей, абляция, наложение швов и т.д.
Уровень 3	Условная автономия – планирование операции, понимание её хода и выполнение конкретных задач – управление роботом переходит от хирурга к роботизированной системе во время выполнения работы
Уровень 4	Высокая степень автономии – интерпретация предоперационной и интраоперационной информации, разработка плана и автономное его выполнение, внесение в него необходимых коррективов – система находится под наблюдением хирурга
Уровень 5	Полная автономия – самостоятельное выполнение операций без участия человека

Выводы

• Нейронные сети с каждым годом расширяют свои возможности применения в онкоурологии, а с ними растёт интерес к внедрению ИИ и машинного обучения в различные области медицины.

• Спектр потенциального применения нейронных сетей в онкоурологии огромен — от медицинского обучения до диагностики заболеваний, разработки персонализированного подхода к терапии и создания нового поколения роботических систем.

• Система, потенциально улучшающая результаты хирургических вмешательств

и уменьшающая хирургические осложнения, обеспечивает преимущества как пациентам, так и начинающим хирургам.

• Роботизированная хирургия является идеальной моделью для разработки программ на основе ИИ, поскольку она обеспечивает всестороннюю регистрацию движений хирургов, а также постоянную визуализацию инструментов.

• Грамотность врачей любой специальности в осознании важности влияния ИИ на медицинскую практику имеет ключевую роль в скорости развития и внедрения данной технологии, повышении качества использования нейронных сетей.

Список литературы | References

1. Orudzhev AA, Breusov AV. Dynamics of urological morbidity of the Central Federal District population (Russian Federation) in 2013-2017. *Russian Open Medical Journal*. 2020;9:e0108. DOI: 10.15275/rusomj.2020.0108
2. Gareev I, Gileva Y, Dzidzaria A, Beylerli O, Pavlov V, Agaverdiev M, Mazorov B, Biganyakov I, Vardikyan A, Jin M, Ahmad A. Long non-coding RNAs in oncology. *Noncoding RNA Res*. 2021;6(3):139-145. DOI: 10.1016/j.ncrna.2021.08.001
3. Shahid N, Rappon T, Berta W. Applications of artificial neural networks in health care organizational decision-making: A scoping review. *PLoS One*. 2019;14(2):e0212356. DOI: 10.1371/journal.pone.0212356
4. Kolachalama VB, Garg PS. Machine learning and medical education. *NPJ Digit Med*. 2018;1:54. DOI: 10.1038/s41746-018-0061-1
5. Chen J, Remulla D, Nguyen JH, Dua A, Liu Y, Dasgupta P, Hung AJ. Current status of artificial intelligence applications in urology and their potential to influence clinical practice. *BJU Int*. 2019;124(4):567-577. Erratum in: *BJU Int*. 2020;126(5):647. DOI: 10.1111/bju.14852
6. Drukker L, Noble JA, Papageorgiou AT. Introduction to artificial intelligence in ultrasound imaging in obstetrics and gynecology. *Ultrasound Obstet Gynecol*. 2020;56(4):498-505. DOI: 10.1002/uog.22122
7. LeCun Y, Bengio Y, Hinton G. Deep learning. *Nature*. 2015;521(7553):436-444. DOI: 10.1038/nature14539
8. Miller DD, Brown EW. Artificial Intelligence in Medical Practice: The Question to the Answer? *Am J Med*. 2018;131(2):129-133. DOI: 10.1016/j.amjmed.2017.10.035
9. Lancashire LJ, Lemetre C, Ball GR. An introduction to artificial neural networks in bioinformatics—application to complex microarray and mass spectrometry datasets in cancer studies. *Brief Bioinform*. 2009;10(3):315-329. DOI: 10.1093/bib/bbp012
10. Sajda P. Machine learning for detection and diagnosis of disease. *Annu Rev Biomed Eng*. 2006;8:537-565. DOI: 10.1146/annurev.bioeng.8.061505.095802
11. Molla M, Waddell M, Page D, Shavlik J. Using Machine Learning to Design and Interpret Gene-Expression Microarrays. *AIMag*. 2004;25(1):23. DOI: 10.1609/aimag.v25i1.1745
12. Shi TW, Kah WS, Mohamad MS, Moorthy K, Deris S, Sjaugi MF, Omatu S, Corchado JM, Kasim S. A review of gene selection tools in classifying cancer microarray data. *Curr Bioinform*. 2017;12(3):202-212. DOI: 10.2174/1574893610666151026215104
13. Elkin PL, Schlegel DR, Anderson M, Komm J, Fichet G, Bisson L. Artificial Intelligence: Bayesian versus Heuristic Method for Diagnostic Decision Support. *Appl Clin Inform*. 2018;9(2):432-439. DOI: 10.1055/s-0038-1656547
14. Rong G, Mendez A, Assi EB, Zhao B, Sawan M. Artificial Intelligence in Healthcare: Review and Prediction Case Studies. *Engineering*. 2020;6(3):291-301. DOI: 10.1016/j.eng.2019.08.015
15. Safdar S, Zafar S, Zafar N, Khan NF. Machine learning based decision support systems (DSS) for heart disease diagnosis: a review. *Artif Intell Rev*. 2018;50:597-623. DOI: 10.1007/s10462-017-9552-8
16. Long D., Magerko B. What Is AI Literacy? Competencies and Design Considerations. CHI '20: Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. 2020:1-16. DOI: 10.1145/3313831.3376727
17. Briganti G, Le Moine O. Artificial Intelligence in Medicine: Today and Tomorrow. *Front Med (Lausanne)*. 2020;7:27. DOI: 10.3389/fmed.2020.00027
18. Chartrand G, Cheng PM, Vorontsov E, Drozdal M, Turcotte S, Pal CJ, Kadoury S, Tang A. Deep Learning: A Primer for Radiologists. *Radiographics*. 2017;37(7):2113-2131. DOI: 10.1148/rg.2017170077
19. Soffer S, Ben-Cohen A, Shimon O, Amitai MM, Greenspan H, Klang E. Convolutional Neural Networks for Radiologic Images: A Radiologist's Guide. *Radiology*. 2019;290(3):590-606. DOI: 10.1148/radiol.2018180547
20. Cohen MS, Hanley RS, Kurteva T, Ruthazer R, Silverman ML, Sorcini A, Hamawy K, Roth RA, Tuerk I, Libertino JA. Comparing the Gleason prostate biopsy and Gleason prostatectomy grading system: the Lahey Clinic Medical Center experience and an international meta-analysis. *Eur Urol*. 2008;54(2):371-381. DOI: 10.1016/j.eururo.2008.03.049
21. Liu Z, Wang S, Dong D, Wei J, Fang C, Zhou X, Sun K, Li L, Li B, Wang M, Tian J. The Applications of Radiomics in Precision Diagnosis and Treatment of Oncology: Opportunities and Challenges. *Theranostics*. 2019;9(5):1303-1322. DOI: 10.7150/thno.30309

22. Avanzo M, Stancanello J, El Naqa I. Beyond imaging: The promise of radiomics. *Phys Med*. 2017;38:122-139. DOI: 10.1016/j.ejmp.2017.05.071
23. Chaddad A, Kucharczyk MJ, Daniel P, Sabri S, Jean-Claude BJ, Niazi T, Abdulkarim B. Radiomics in Glioblastoma: Current Status and Challenges Facing Clinical Implementation. *Front Oncol*. 2019;9:374. DOI: 10.3389/fonc.2019.00374
24. Song J, Yin Y, Wang H, Chang Z, Liu Z, Cui L. A review of original articles published in the emerging field of radiomics. *Eur J Radiol*. 2020;127:108991. DOI: 10.1016/j.ejrad.2020.108991
25. Liberini V, Laudicella R, Balma M, Nicolotti DG, Buschiazio A, Grimaldi S, Lorenzon L, Bianchi A, Peano S, Bartolotta TV, Farsad M, Baldari S, Burger IA, Huellner MW, Papaleo A, Deandrei D. Radiomics and artificial intelligence in prostate cancer: new tools for molecular hybrid imaging and theragnostics. *Eur Radiol Exp*. 2022;6(1):27. DOI: 10.1186/s41747-022-00282-0
26. Mata LA, Retamero JA, Gupta RT, García Figueras R, Luna A. Artificial Intelligence-assisted Prostate Cancer Diagnosis: Radiologic-Pathologic Correlation. *Radiographics*. 2021;41(6):1676-1697. DOI: 10.1148/rg.2021210020
27. Cuocolo R, Cipullo MB, Stanzione A, Romeo V, Green R, Cantoni V, Ponsiglione A, Ugga L, Imbriaco M. Machine learning for the identification of clinically significant prostate cancer on MRI: a meta-analysis. *Eur Radiol*. 2020;30(12):6877-6887. DOI: 10.1007/s00330-020-07027-w
28. Rakovic K, Colling R, Browning L, Dolton M, Horton MR, Protheroe A, Lamb AD, Bryant RJ, Scheffer R, Crofts J, Stanislaus E, Verrill C. The Use of Digital Pathology and Artificial Intelligence in Histopathological Diagnostic Assessment of Prostate Cancer: A Survey of Prostate Cancer UK Supporters. *Diagnostics (Basel)*. 2022;12(5):1225. DOI: 10.3390/diagnostics12051225
29. Raciti P, Sue J, Ceballos R, Godrich R, Kunz JD, Kapur S, Reuter V, Grady L, Kanan C, Klimstra DS, Fuchs TJ. Novel artificial intelligence system increases the detection of prostate cancer in whole slide images of core needle biopsies. *Mod Pathol*. 2020;33(10):2058-2066. DOI: 10.1038/s41379-020-0551-y
30. Chatrian A, Colling RT, Browning L, Alham NK, Sirinukunwattana K, Malacrino S, Haghighat M, Aberdeen A, Monks A, Moxley-Wyles B, Rakha E, Snead DRJ, Rittscher J, Verrill C. Artificial intelligence for advance requesting of immunohistochemistry in diagnostically uncertain prostate biopsies. *Mod Pathol*. 2021;34(9):1780-1794. DOI: 10.1038/s41379-021-00826-6
31. Osoba D. Current applications of health-related quality-of-life assessment in oncology. *Support Care Cancer*. 1997;5(2):100-104. DOI: 10.1007/BF01262565
32. Tzelvels L, Manolitsis I, Varkarakis I, Ivanovic M, Kokkonidis M, Useiros CS, Kosmidis T, Muñoz M, Grau I, Athanatos M, Vizitiu A, Lampropoulos K, Koutsouri T, Stefanatou D, Perrakis K, Stratigaki C, Autexier S, Kosmidis P, Valachis A. Artificial intelligence supporting cancer patients across Europe-The ASCAPE project. *PLoS One*. 2022;17(4):e0265127. DOI: 10.1371/journal.pone.0265127
33. International Agency for Research on Cancer. Estimated number of new cases in 2020, worldwide, both sexes, all ages. *Geneva, Switzerland: World Health Organization*; 2021.
34. Ahmadi H, Duddalwar V, Daneshmand S. Diagnosis and Staging of Bladder Cancer. *Hematol Oncol Clin North Am*. 2021;35(3):531-541. DOI: 10.1016/j.hoc.2021.02.004
35. Jia X, Shkolyar E, Laurie MA, Eminaga O, Liao JC, Xing L. Tumor detection under cystoscopy with transformer-augmented deep learning algorithm. *Phys Med Biol*. 2023;68(16):10.1088/1361-6560/ace499. DOI: 10.1088/1361-6560/ace499
36. Ikeda A, Nosato H, Kochi Y, Kojima T, Kawai K, Sakanashi H, Murakawa M, Nishiyama H. Support System of Cystoscopic Diagnosis for Bladder Cancer Based on Artificial Intelligence. *J Endourol*. 2020;34(3):352-358. DOI: 10.1089/end.2019.0509
37. Lorencin I, Anđelić N, Španjol J, Car Z. Using multi-layer perceptron with Laplacian edge detector for bladder cancer diagnosis. *Artif Intell Med*. 2020;102:101746. DOI: 10.1016/j.artmed.2019.101746
38. Eminaga O, Eminaga N, Semjonow A, Breil B. Diagnostic Classification of Cystoscopic Images Using Deep Convolutional Neural Networks. *JCO Clin Cancer Inform*. 2018;2:1-8. DOI: 10.1200/CCI.17.00126
39. Chang TC, Shkolyar E, Del Giudice F, Eminaga O, Lee T, Laurie M, Seufert C, Jia X, Mach KE, Xing L, Liao JC. Real-time Detection of Bladder Cancer Using Augmented Cystoscopy with Deep Learning: a Pilot Study. *J Endourol*. 2023. Epub ahead of print. DOI: 10.1089/end.2023.0056
40. Yoo JW, Koo KC, Chung BH, Baek SY, Lee SJ, Park KH, Lee KS. Deep learning diagnostics for bladder tumor identification and grade prediction using RGB method. *Sci Rep*. 2022;12:17699. DOI: 10.1038/s41598-022-22797-7
41. Xu X, Zhang X, Tian Q, Zhang G, Liu Y, Cui G, Meng J, Wu Y, Liu T, Yang Z, Lu H. Three-dimensional texture features from intensity and high-order derivative maps for the discrimination between bladder tumors and wall tissues via MRI. *Int J Comput Assist Radiol Surg*. 2017;12(4):645-656. DOI: 10.1007/s11548-017-1522-8
42. Ljungberg B, Bensalah K, Canfield S, Dabestani S, Hofmann F, Hora M, Kuczyk MA, Lam T, Marconi L, Merseburger AS, Mulders P, Powles T, Staehler M, Volpe A, Bex A. EAU guidelines on renal cell carcinoma: 2014 update. *Eur Urol*. 2015;67(5):913-924. DOI: 10.1016/j.eururo.2015.01.005
43. Pedersen M, Andersen MB, Christiansen H, Azawi NH. Classification of renal tumour using convolutional neural networks to detect oncocy-toma. *Eur J Radiol*. 2020;133:109343. DOI: 10.1016/j.ejrad.2020.109343
44. Zheng H, Ji J, Zhao L, Chen M, Shi A, Pan L, Huang Y, Zhang H, Dong B, Gao H. Prediction and diagnosis of renal cell carcinoma using nuclear magnetic resonance-based serum metabolomics and self-organizing maps. *Oncotarget*. 2016;7(37):59189-59198. DOI: 10.18632/oncotarget.10830
45. Kohonen T. Self-organized formation of topologically correct feature maps. *Biol Cybern*. 2004;43:59-69. DOI: 10.1007/BF00337288
46. Kocak B, Yardimci AH, Bektas CT, Turkcanoglu MH, Erdim C, Yucetas U, Koca SB, Kilickesmez O. Textural differences between renal cell carcinoma subtypes: Machine learning-based quantitative computed tomography texture analysis with independent external validation. *Eur J Radiol*. 2018;107:149-157. DOI: 10.1016/j.ejrad.2018.08.014
47. Feng Z, Rong P, Cao P, Zhou Q, Zhu W, Yan Z, Liu Q, Wang W. Machine learning-based quantitative texture analysis of CT images of small renal masses: Differentiation of angiomyolipoma without visible fat from renal cell carcinoma. *Eur Radiol*. 2018;28(4):1625-1633. DOI: 10.1007/s00330-017-5118-z
48. Cheng L, Albers P, Berney DM, Feldman DR, Daugaard G, Gilligan T, Looijenga LHJ. Testicular cancer. *Nat Rev Dis Primers*. 2018;4(1):29. DOI: 10.1038/s41572-018-0029-0
49. Batool A, Karimi N, Wu XN, Chen SR, Liu YX. Testicular germ cell tumor: a comprehensive review. *Cell Mol Life Sci*. 2019;76(9):1713-1727. DOI: 10.1007/s00018-019-03022-7
50. Baessler B, Nestler T, Pinto Dos Santos D, Paffenholz P, Zeuch V, Pfister D, Maintz D, Heidenreich A. Radiomics allows for detection of benign and malignant histopathology in patients with metastatic testicular germ cell tumors prior to post-chemotherapy retroperitoneal lymph node dissection. *Eur Radiol*. 2020;30(4):2334-2345.

- DOI: 10.1007/s00330-019-06495-z
51. Lewin J, Dufort P, Halankar J, O'Malley M, Jewett MAS, Hamilton RJ, Gupta A, Lorenzo A, Traubici J, Nayan M, Leão R, Warde P, Chung P, Anson Cartwright L, Sweet J, Hansen AR, Metser U, Bedard PL. Applying Radiomics to Predict Pathology of Postchemotherapy Retroperitoneal Nodal Masses in Germ Cell Tumors. *JCO Clin Cancer Inform*. 2018;2:1-12. DOI: 10.1200/CCI.18.00004
52. Lotti F, Frizza F, Balercia G, Barbonetti A, Behre HM, Calogero AE, Cremers JF, Francavilla F, Isidori AM, Kliesch S, La Vignera S, Lenzi A, Marcou M, Pilatz A, Poolamets O, Punab M, Peraza Godoy MF, Rajmil O, Salvio G, Shaeer O, Weidner W, Maseroli E, Cipriani S, Baldi E, Degl'Innocenti S, Danza G, Caldini AL, Terreni A, Boni L, Krausz C, Maggi M. The European Academy of Andrology (EAA) ultrasound study on healthy, fertile men: clinical, seminal and biochemical characteristics. *Andrology*. 2020;8(5):1005-1020. DOI: 10.1111/andr.12808
53. Fanni SC, Febi M, Colligiani L, Volpi F, Ambrosini I, Tumminello L, Aghakhanyan G, Aringhieri G, Cioni D, Neri E. A first look into radiomics application in testicular imaging: A systematic review. *Front Radiol*. 2023;3:1141499. DOI: 10.3389/fradi.2023.1141499
54. Soomro NA, Hashimoto DA, Porteous AJ, Ridley CJA, Marsh WJ, Ditto R, Roy S. Systematic review of learning curves in robot-assisted surgery. *BJS Open*. 2020;4(1):27-44. DOI: 10.1002/bjs5.50235
55. Agha RA, Fowler AJ. The role and validity of surgical simulation. *Int Surg*. 2015;100(2):350-357. DOI: 10.9738/INTSURG-D-14-00004.1
56. Thomas MP. The role of simulation in the development of technical competence during surgical training: a literature review. *Int J Med Educ*. 2013;4:48-58. DOI: 10.5116/ijme.513b.2df7
57. Andras I, Mazzone E, van Leeuwen FWB, De Naeyer G, van Oosterom MN, Beato S, Buckle T, O'Sullivan S, van Leeuwen PJ, Beulens A, Crisan N, D'Hondt F, Schatteman P, van Der Poel H, Dell'Oglio P, Motttrie A. Artificial intelligence and robotics: a combination that is changing the operating room. *World J Urol*. 2020;38(10):2359-2366. DOI: 10.1007/s00345-019-03037-6
58. Hung AJ, Chen J, Gill IS. Automated Performance Metrics and Machine Learning Algorithms to Measure Surgeon Performance and Anticipate Clinical Outcomes in Robotic Surgery. *JAMA Surg*. 2018;153(8):770-771. DOI: 10.1001/jamasurg.2018.1512
59. Bhandari M, Zeffiro T, Reddiboina M. Artificial intelligence and robotic surgery: current perspective and future directions. *Curr Opin Urol*. 2020;30(1):48-54. DOI: 10.1097/MOU.0000000000000692
60. Yang GZ, Cambias J, Cleary K, Daimler E, Drake J, Dupont PE, Hata N, Kazanzides P, Martel S, Patel RV, Santos VJ, Taylor RH. Medical robotics-Regulatory, ethical, and legal considerations for increasing levels of autonomy. *Sci Robot*. 2017;2(4):eaam8638. DOI: 10.1126/scirobotics.aam8638
61. Hashizume M, Konishi K, Tsutsumi N, Yamaguchi S, Shimabukuro R. A new era of robotic surgery assisted by a computer-enhanced surgical system. *Surgery*. 2002;131(1 Suppl):S330-3. DOI: 10.1067/msy.2002.120119
62. McCartney J. AI Is Poised to "Revolutionize" Surgery. *ACS Bulletin*. 2023;108.

Сведения об авторах | Information about the authors

Михаил Павлович Корчагин | Mikhail P. Korchagin

<https://orcid.org/0000-0001-8060-6691>; mihailsun@mail.ru

Александр Викторович Говоров — д-р мед. наук | Alexander V. Govorov — Dr.Sc.(Med)

<https://orcid.org/0000-0003-3299-0574>; dr.govorov@gmail.com

Александр Олегович Васильев — кан. мед. наук | Alexander O. Vasilyev — Cand.Sc.(Med)

<https://orcid.org/0000-0001-5468-0011>; alexvasilyev@me.com

Игорь Олегович Грицков | Igor O. Gritskov

<https://orcid.org/0000-0002-4708-1683>; grickoff@mail.ru

Дмитрий Юрьевич Пушкарь — акад. РАН, д-р мед. наук, профессор | Dmitry Yu. Pushkar — Dr.Sc.(Med), Full Prof., Acad. of the RAS

<https://orcid.org/0000-0002-6096-5723>; pushkardm@mail.ru