

Искусственный интеллект в дерматологии: возможности и перспективы

© А.А. ХРЯНИН^{1,2}, В.К. БОЧАРОВА³

¹ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Новосибирск, Россия;

²РОО «Ассоциация акушеров-гинекологов и дерматовенерологов», Новосибирск, Россия;

³ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

РЕЗЮМЕ

Искусственный интеллект (ИИ) в последние годы становится самой обсуждаемой технологией в мире. ИИ на основе нейросетевых моделей демонстрирует значительные успехи в теледерматологии. Проблема крайне важна и актуальна, потому что телемедицина и ИИ, применяемые в дерматологии, дают возможность улучшить как качество медицинской помощи населению, так и рабочий процесс медицинских работников. Авторы представляют современный обзор возможностей, перспектив и проблем, связанных с интеграцией ИИ в клиническую практику врача-дерматолога. Например, как известно, немеланомные злокачественные новообразования (ЗНО) кожи являются наиболее распространенными видами рака в мире, а меланома — наиболее злокачественная форма рака кожи. Дерматоскопия повысила точность диагностики ЗНО кожи врачами, но, к сожалению, она остается сравнительно низкой. ИИ мог бы оказать неоценимую помощь в ранней оценке и диагностике ЗНО кожи. Исследования установили, что алгоритмы сверточных нейронных сетей могут классифицировать кожные поражения по дерматоскопическим изображениям с очень высокой или, по крайней мере, эквивалентной производительностью по сравнению с клиницистами. При этом качественные данные и обратная связь от специалиста приводят к существенному скачку в качестве модели ИИ. Однако, несмотря на преимущества и скорость развития технологий на основе ИИ, возникают проблемы, связанные с необходимостью: а) улучшения кибербезопасности; б) уделять больше внимания медико-правовым и этическим вопросам; в) стандартизации международных и национальных нормативных актов.

Цель обзорной статьи — представить анализ современных достижений и ограничений ИИ в дерматологии, уделяв особое внимание актуальности применения в клинической практике.

Ключевые слова: искусственный интеллект, машинное обучение, теледерматология, дерматоскопия, злокачественные новообразования кожи, меланома, диагностика, профилактика.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

Хрянин А.А. — <https://orcid.org/0000-0001-9248-8303>

Бочарова В.К. — <https://orcid.org/0000-0003-4671-7288>

Автор, ответственный за переписку: Хрянин А.А. — e-mail: khryanin@mail.ru

КАК ЦИТИРОВАТЬ:

Хрянин А.А., Бочарова В.К. Искусственный интеллект в дерматологии: возможности и перспективы. *Клиническая дерматология и венерология*. 2024;23(3):246–252. <https://doi.org/10.17116/klinderma202423031246>

Artificial intelligence in dermatology: opportunities and prospects

© KHRyanin A.A.^{1,2}, BOCHAROVA V.K.³

¹Novosibirsk State Medical University, Novosibirsk, Russia;

²Association of obstetrician-gynecologists and dermatologists, Novosibirsk, Russia;

³Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, Saint Petersburg, Russia

ABSTRACT

Artificial intelligence (AI) is becoming the most discussed technology in the world in recent years. AI based on neural network models makes significant progress in teledermatology. The problem is of critical importance and relevance, because telemedicine and AI, which are used in dermatology, make it possible to improve both the quality of health care for the population and the working process of medical professionals. The authors present a modern review of opportunities, prospects and problems related to the AI integration into the dermatologist's clinical practice. For example, non-melanoma skin cancers (NMSCs) are known to be the most common cancers in the world, and melanoma is the most malignant form of skin cancer. Dermoscopy has increased the accuracy of NMSCs diagnosis by doctors, but, unfortunately, it remains relatively low. AI could provide invaluable help in early assessment and diagnosis of NMSCs. Studies have found that convolution neural network algorithms can classify skin lesions by dermoscopic images with very high or at least equivalent performance compared to clinicians. In this case, qualitative data and specialist's feedback lead to a significant quality leap in the AI model. Nevertheless, despite the advantages and development speed of AI-based technologies, there are problems related to: a) the need to improve cybersecurity; b) the need to pay more attention to medico-legal and ethical issues; c) The need to standardize international and local regulations.

The objective of the review article is to provide an analysis of the current achievements and limitations of AI in dermatology, paying special attention to the relevance of application in clinical practice.

Keywords: artificial intelligence, machine learning, teledermatology, dermoscopy, skin cancers, melanoma, diagnosis, prevention.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Khryanin A.A. — <https://orcid.org/0000-0001-9248-8303>Bocharova V.K. — <https://orcid.org/0000-0003-4671-7288>Corresponding author: Khryanin A.A. — e-mail: khryanin@mail.ru

TO CITE THIS ARTICLE:

Khryanin AA, Bocharova VK. Artificial intelligence in dermatology: opportunities and prospects. *Russian Journal of Clinical Dermatology and Venereology*. 2024;23(3):246–252. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/klinderma202423031246>

Введение

Искусственный интеллект (ИИ) — это разработка компьютерных систем, способных выполнять задачи, обычно требующие человеческого интеллекта, такие как визуальное восприятие, распознавание речи, принятие решений и перевод с языка на язык [1]. ИИ стал неотъемлемой частью нашей повседневной жизни, проникая во все сферы человеческой деятельности (например, в медицину, транспорт, сферу услуг) [2]. Эволюция ИИ включает в себя классический ИИ, за которым следует машинное обучение (МО) [3]. В МО алгоритмы обучаются выполнению задач путем изучения данных, а не точных инструкций программирования [4]. Сейчас сфера ИИ становится с эволюцией так называемого глубокого обучения — подмножества МО, которое использует структуру искусственной нейронной сети, основанной на принципе работы биологической нейронной сети [5]. В этой форме МО есть возможность использовать неограниченное количество слоев, где каждый слой в нейронной сети может быть обучен распознавать различные особенности, характерные для набора информационных данных [6]. Сверточные нейронные сети¹ (СНН) — это особая форма нейронных сетей, которые доминируют в области обработки изображений [7].

Сверточная нейронная сеть состоит из полностью связанных слоев. Основной целью сверточного слоя является обнаружение отличительных визуальных особенностей, что жизненно важно для успешной обработки изображений [8]. Для того чтобы СНН могли самостоятельно распознавать эти визуальные особенности, им изначально требуется большое количество данных, на которых они будут «обучаться» [9].

В настоящее время основные достижения были достигнуты главным образом в области радиологии и кардиологии, где медицинские устройства на основе ИИ позволяют медицинским работникам совершенствовать свою медицинскую практику [10]. В радиологии алгоритмы считывания изображений

на основе МО используются на снимках головного мозга для выявления кровоизлияний и инсультов для улучшения обработки изображений, а также в неотложной помощи для оценки пневмоторакса и травм. Эти алгоритмы расширяют практику радиологов, обеспечивая более быструю диагностику. Кроме того, существуют доступные алгоритмы для маммографического анализа и выявления очагов поражений. Медицинские устройства на основе ИИ в кардиологии проводят анализ электрокардиограммы для выявления нарушений сердечного ритма [10]. В области эндокринологии, в частности сахарного диабета, существуют медицинские устройства для контроля уровня глюкозы в крови с использованием систем мониторинга с предиктивными оповещениями [11], а также для выявления диабетической ретинопатии в офтальмологии [12]. Следует также упомянуть о существовании в клинической практике алгоритмов для выявления нарушений сна [10]. Более того, существуют системы здравоохранения, которые используют простые модели МО, основанные на электронных медицинских картах, для разделения госпитализированных пациентов на нуждающихся в интенсивной терапии и не нуждающихся в ней [13].

Индийские коллеги недавно опубликовали статью, в которой анализируется опыт использования технологий на основе ИИ в контексте диагностики и лечения колоректального рака [14].

Кроме того, проводятся научные исследования, посвященные внедрению технологий на основе ИИ в изучение микробиома кожи. Так, в статье Т. Sun и соавт. [15] обсуждается комбинированное применение секвенирования микробного генома и МО, а также применение ИИ в диагностике кожных заболеваний, связанных с осью «кишечник—кожа». Таким образом, улучшение диагностики с помощью ИИ может свести к минимуму диагностические ошибки врачей [16].

Однако в его нынешнем виде преимущества ИИ не учитывают некоторые реальные аспекты установления клинического диагноза. Эти факторы включают фундаментальные клинические навыки, необходимые для верификации клинического диагноза, такие как сбор анамнеза и физикальное обследование, а также личное сопереживание и общение с пациентом [17].

¹ Сверточная нейронная сеть — тип искусственной нейронной сети, используемой в распознавании и обработке изображений, которая специально предназначена для обработки пиксельных данных.

Искусственный интеллект в дерматологии

Дерматология является областью медицины, основанной на изображениях, и сохраняет доминирующее положение в эволюции ИИ. Основным аспектом дерматологии, где ИИ продемонстрировал многообещающие результаты, является распознавание злокачественных новообразований (ЗНО) кожи [18–22]. ЗНО кожи включают немеланомный рак (базально-клеточную карциному, плоскоклеточную карциному) и меланому. Немеланомный рак — наиболее распространенный вид ЗНО кожи во всем мире, в то время как меланома является пятой по значимости причиной смерти пациентов от ЗНО кожи [23]. Основой лечения всех подтипов меланомы остается раннее ее распознавание и хирургическое удаление [24]. При этом 5-летняя выживаемость при меланоме *in situ* составляет 99,5% и, к сожалению, снижается до 31,9% при более глубоких стадиях инвазии меланомы [23]. Следовательно, ранняя диагностика ЗНО кожи является краеугольным камнем для улучшения показателей как смертности, так и заболеваемости.

Дерматоскопия — это неинвазивный метод визуализации, который использует поляризованный и неполяризованный свет для повышения чувствительности и специфичности диагностики ЗНО кожи [25–27]. Соответственно, большая часть исследований ИИ сосредоточена на дерматоскопических изображениях для раннего выявления ЗНО кожи [18–22]. Основанием для этого является тот факт, что диагностическая точность врачей даже при использовании дерматоскопии остается сравнительно низкой [28]. Кроме того, есть 2 основные проблемы, связанные с ранней диагностикой меланомы, которые необходимо преодолеть. Во-первых, в некоторых странах доступ населения к дерматологам затруднен (пациенты не могут попасть на прием к узкому специалисту, в том числе дерматологу, без направления от терапевта или семейного врача, что значительно замедляет скорость получения консультации и снижает мотивацию пациентов) и приводит к тому, что менее 25% взрослого населения когда-либо проходили полное обследование кожного покрова у опытного дерматолога, которое позволяет выявить недиагностированные ЗНО кожи [29, 30]. Во-вторых, только 25% случаев меланомы диагностируется медицинским работником [31]. Исходя из этого, ИИ мог бы оказать неоценимую помощь в ранней оценке и диагностике ЗНО кожи.

Почему искусственный интеллект может ошибаться

За последнее десятилетие произошел прорыв в новых научных исследованиях и разработках в об-

ласти ИИ. Подобная эволюция ИИ привела к бурной дискуссии в научном сообществе относительно потенциальной роли, которую мог бы сыграть ИИ [32]. Существование общедоступной базы данных (International Skin Image Collaboration Archive — ISIC) положило дорогу к важнейшим исследованиям и стало эталонным стандартом для исследований в этой области [33]. Однако в работе с изображениями из этой базы есть некоторые сложности.

Многие научные исследования свидетельствуют, что системы ИИ чувствительны к присутствию мешающих факторов, негативно влияющих на эффективность их анализа [34–38]. Эти факторы в основном связаны с переменными, касающимися качества изображения. Искажения при увеличении изображения, посторонний «шум», поворот изображения, манипуляции с яркостью/контрастом [34], наличие линейных полос, чернильные пометки, размытые фотографии и темные углы на фото через дерматоскоп [35] — все это переменные, которые зависят от качества изображения, предоставляемого врачом. В частности, установлено, что алгоритм ИИ с большей вероятностью интерпретирует изображения с «белыми линейными полосами» как злокачественные (shiny white lines — дерматоскопические признаки, которые появляются при использовании поляризованного света и незаметны при неполяризованном свете, являющиеся характерными для меланомы) [36]. Алгоритм непреднамеренно был обучен распознавать такие находки как ЗНО кожи, поскольку изображения, представляющие собой меланому, имели такие признаки чаще, чем доброкачественные поражения [36]. В другом научном исследовании авторы установили, что любые артефакты на коже значительно препятствовали правильной диагностике невусов, увеличивая показатели вероятности меланомы и, следовательно, частоту ложноположительных результатов [37]. Наконец, в другом научном исследовании авторы демонстрируют, что диагностическая точность алгоритмов ИИ в значительной степени зависит от того, находится ли изображение в фокусе и хорошо ли оно отцентрировано [38]. Но данные предубеждения в моделях ИИ имеются только в том случае, если особое внимание не уделяется обработке входных данных и использованию необходимых стандартов [36].

Кроме того, пузырьки воздуха, волосы, фоновые кожные заболевания, поврежденная солнцем кожа и особые анатомические участки [36] являются мешающими факторами, влияющими на работу нейронных сетей, которые не могут быть устранены человеком. S.M. Swetter и соавт. [22] установили, что образования, которые обычно не сопровождаются корками (сосудистые поражения, дерматофибромы и невусы) часто неправильно классифицируются при наличии корок. Авторы утвержда-

ют, что наличие волос повлияло на неправильную классификацию актинического кератоза (36% против 56% без волос) [22]. С. Navarrete-Dechent и соавт. [38] в своем исследовании установили, что анатомическое расположение поражения играет решающую роль в работе нейронных сетей. Авторы других научных исследований [21, 39–41] указывают, что для особых анатомических участков, таких как лицо, ладони и подошвы, которые имеют различные нормальные дерматоскопические признаки, необходимы более обширные и разнообразные базы данных, а также дальнейшие исследования, чтобы расширить применение ИИ в редких анатомических участках (например, в области гениталий) и повысить успешную диагностику редких подтипов ЗНО кожи (например, рака слизистой оболочки или десмопластической меланомы) [20]. С другой стороны, банально выглядящие доброкачественные кожные образования, такие как ангиомы, дерматофибромы или невусы, встречаются редко либо же вообще отсутствуют в наборах для обучения нейронной сети, что приводит к низкой эффективности алгоритмов [21]. Включение типичных доброкачественных кожных поражений позволяет избежать предвзятости при верификации и, таким образом, устранить подобные ограничения [42].

Необходимы также дополнительные исследования клинических изображений крупным планом в сочетании с дерматоскопическими изображениями, определяемыми комбинированными СНН (кСНН — сверточные нейронные сети, анализирующие как макроскопическое изображение клинической картины новообразования, так и дерматоскопическое изображение), чтобы обеспечить более точное и реалистичное представление исследуемого кожного поражения. Эти изображения крупным планом могут предоставить дополнительные данные для будущего использования ИИ в доклинических оценках [16], поскольку МО может быть настолько успешным, насколько высоко качество используемых данных.

Клинические ограничения искусственного интеллекта

Многие научные исследования признают отсутствие у ИИ учета факторов, связанных с клинической картиной конкретного пациента, таких как возраст, пол, степень повреждения солнечными лучами, анатомическое расположение, а также личный и семейный анамнез [42–44].

В клинических условиях дерматологи проводят полный осмотр кожи тела, опираясь не только на дерматоскопическую картину каждого отдельного невуса или новообразования, но и учитывая «общую картину». Так, например, проводится выявление такого макроскопического признака, как «гадкий утенок»

(невус, выделяющийся на фоне остальных у данного пациента) [45], или признака «красной шапочки» (невуса, выглядящего доброкачественным, но отличающегося от остальных у данного пациента) [46]. То есть врач благодаря комплексной оценке и клиническому мышлению может выявить преобладающие дерматоскопические признаки у невусов конкретного пациента и тем самым скорректировать свой прогноз и тактику относительно одного конкретного невуса. ИИ, в свою очередь, не обладает в данный момент способностью оценивать картину в целом, т.е. ИИ анализирует каждый невус отдельно от «общей картины», что может привести к гипердиагностике ЗНО [46, 47].

Безусловно, это повышает чувствительность и специфичность, но требует более целостного подхода [42]. Кроме того, в экспериментальном проекте установлено, что дерматоскопия *in vivo* по своей сути лучше, чем в искусственных условиях, основанных исключительно на цифровых изображениях [48].

Наконец, пока неизвестно, могут ли все эти усилия по раннему выявлению ЗНО кожи принести больше пользы, чем вреда. Дилемма определяется двумя основными проблемами, связанными с выявлением меланоцитарных опухолей на ранней стадии, которые имеют неопределенный злокачественный потенциал [49] и чрезмерным выявлением немеланомных ЗНО кожи у пожилых пациентов. Это может привести к негативному психологическому воздействию на пациентов с ранними стадиями меланомы [50] и избыточным хирургическим иссечением в отношении немеланомных ЗНО кожи у пациентов с короткой продолжительностью жизни, что делает сомнительной пользу таких хирургических иссечений [51].

Стратегии преодоления ограничений

Для того чтобы ИИ стал инструментом, на который любой практикующий врач мог опираться, необходимо расширить учебные наборы нейронных сетей, на которых происходит «обучение» этих нейронных сетей. В таких наборах должно быть отражено разнообразие населения в целом (люди разных национальностей, разных цветов кожи, разных возрастов, с различными сопутствующими дерматозами и фоновыми состояниями кожи и т.д.). Сейчас большинство алгоритмов обучаются на пациентах либо европеоидной, либо азиатской национальности [9, 38, 40, 52], но ранний скрининг пациентов других национальностей (например, афроамериканской) мог бы быть более полезным, поскольку дал бы информацию о более запущенных формах заболевания и более низких показателях выживаемости из-за задержек в диагностике в этой популяции [53]. Алгорит-

мы, как правило, работают неэффективно, когда им предоставляются данные из разных групп населения, которые не включены в набор данных. Это подчеркивает необходимость обучения одному и тому же алгоритму на более широком спектре изображений разных этнических групп [52]. Клинические изображения крупным планом также могут быть использованы для более качественного обучения нейронных сетей [54]. Макроскопическое исследование поражения является первым подходом для клинициста, который принимает решение о том, приступить к дерматоскопии или нет. Комбинация клинического и дерматоскопического анализа изображений, как уже упоминалось, называется комбинированной сверточной нейронной сетью (кСНН) и, вероятно, станет преобладающей точкой отсчета в будущих исследованиях.

Прецизионная медицина — это практика персонализированной медицины. Персонализация пациентов на основе генетических, биомаркерных, фенотипических и психосоциальных характеристик направлена на то, чтобы обеспечить рациональное лечение [55]. Поскольку МО обладает возможностью неограниченного хранения данных, то такая информация о пациентах может быть сохранена и проанализирована в алгоритмах ИИ для получения целостного прогнозирующего результата и достижения наилучших клинических результатов [55]. Этот подход направлен на раннее выявление меланомы у пациентов, в том числе с высоким риском развития ЗНО кожи, и сводит к минимуму гипердиагностику [56, 57].

Заключение

Искусственный интеллект становится самой обсуждаемой технологией в мире. МО играет огромную роль в дерматологии и выявлении ЗНО кожи. Возможности, которые открываются перед специалистами уже сегодня, безграничны, начиная от автоматизированной классификации ЗНО кожи с помощью СНН, автоматизированной фотосъемки кожи всего тела и последовательной цифровой дерматоскопии. Однако даже самые современные из этих систем по-прежнему демонстрируют внутренние искажения и нуждаются в больших и разнообразных базах данных для оптимизации своей производительности.

Базы данных изображений, включение метаданных и изображений крупным планом помогут устранить существующие ограничения для будущих научных исследований. Помимо этого, роль клинициста, особенно у онкологических пациентов, остается основополагающей.

Наконец, научное сообщество должно отдавать предпочтение исследованиям, способствующим сотрудничеству человека с ИИ, вместо того чтобы рассматривать их как оппонентов. Так, в нескольких научных исследованиях авторами доказано, что когда установление диагноза врачом поддерживается алгоритмом ИИ, то точность диагностики значительно повышается по сравнению с результатами работы отдельно как ИИ, так и только специалиста [18, 58, 59].

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interest.**

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Artificial Intelligence. Oxford Dictionary.
2. Vermesan O, Eisenhauer M, Sundmaeker H, et al. *Internet of things cognitive transformation technology research trends and applications*. Cognitive Hyperconnected Digital Transformation, June 2017;20–25. <https://doi.org/10.1201/9781003337584-3>
3. Bini SA. Artificial intelligence, machine learning, deep learning, and cognitive computing: what do these terms mean and how will they impact health care? *J Arthroplast*. 2018;33(8):2358–2361. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2018.02.067>
4. Erickson BJ, Korfiatis P, Akkus Z, Kline TL. Machine learning for medical imaging. *Radiographics*. 2017;37(2):505–515. <https://doi.org/10.1148/rg.2017160130>
5. Hogarty DT, Mackey DA, Hewitt AW. Current state and future prospects of artificial intelligence in ophthalmology: a review. *Clin Exp Ophthalmol*. 2019; 47(1):128–139. <https://doi.org/10.1111/ceo.13381>
6. Hogarty DT, Su JC, Phan K, et al. Artificial intelligence in dermatology — where we are and the way to the future: a review. *Am J Clin Dermatol*. 2020; 21(1):41–47. <https://doi.org/10.1007/s40257-019-00462-6>
7. Krizhevsky A, Sutskever I, Hinton GE. ImageNet classification with deep convolutional neural networks. *Communications of the ACM*. June 2017; 60(6):84–90. <https://doi.org/10.1145/3065386>
8. Lee JG, Jun S, Cho YW, et al. Deep learning in medical imaging: General overview. *Korean J Radiol*. 2017;18(4):570–584. <https://doi.org/10.3348/kjr.2017.18.4.570>
9. Tschandl P. Artificial intelligence for melanoma diagnosis. *Ital J Dermatol Venereol*. 2021;156(3):289–299. <https://doi.org/10.23736/S2784-8671.20.06753-X>
10. Benjamins S, Dhunoo P, Meskó B. The state of artificial intelligence-based FDA-approved medical devices and algorithms: an online database. *NPJ Digit Med*. 2020;3:118. <https://doi.org/10.1038/s41746-020-00324-0>
11. Abraham SB, Arunachalam S, Zhong A, et al. Improved real-world glycemetic control with continuous glucose monitoring system predictive alerts. *J Diabetes Sci Technol*. 2019;15(1):91–97. <https://doi.org/10.1177/1932296819859334>
12. van der Heijden AA, Abramoff MD, Verbraak F, et al. Validation of automated screening for referable diabetic retinopathy with the IDx-DR device in the Hoorn Diabetes Care System. *Acta Ophthalmol*. 2018;96(1):63–68. <https://doi.org/10.1111/aos.13613>
13. Escobar GJ, Turk BJ, Ragins A, et al. Piloting electronic medical record-based early detection of inpatient deterioration in community hospitals. *J Hosp Med*. 2016;11:S18–S24. <https://doi.org/10.1002/jhm.2652>
14. Singh G. Artificial intelligence in colorectal cancer: a review. *Siberian Journal of Oncology*. 2023;22(3):99–107. <https://doi.org/10.21294/1814-4861-2023-22-3-99-107>
15. Sun T, Niu X, He Q, et al. Artificial Intelligence in microbiomes analysis: A review of applications in dermatology. *Front Microbiol*. 2023 Feb 1;14:1112010. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1112010>

16. Rajkomar A, Dean J, Kohane I. Machine learning in medicine. *N Engl J Med*. 2019;380(14):1347–1358. <https://doi.org/10.1056/nejmra1814259>
17. Kulkarni PA, Singh H. Artificial Intelligence in Clinical Diagnosis: Opportunities, Challenges, and Hype. *JAMA*. Published online. 2023;330(4):317–318. <https://doi.org/10.1001/jama.2023.11440>
18. Tschandl P, Rinner C, Apalla Z, et al. Human—computer collaboration for skin cancer recognition. *Nat Med*. 2020;26(8):1229–1234. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0942-0>
19. Esteva A, Kuprel B, Novoa RA, et al. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature*. 2017;542(7639):115–118. <https://doi.org/10.1038/nature21056>
20. Haggemüller S, Maron RC, Hekler A, et al. Skin cancer classification via convolutional neural networks: systematic review of studies involving human experts. *Eur J Cancer*. 2021;156:202–216. <https://doi.org/10.1016/j.ejca.2021.06.049>
21. Tschandl P, Rosendahl C, Akay BN, et al. Expert-level diagnosis of nonpigmented skin cancer by combined convolutional neural networks. *JAMA Dermatol*. 2019;155(1):58–65. <https://doi.org/10.1001/jamadermatol.2018.4378>
22. Combalia M, Codella N, Rotemberg V, et al. Validation of artificial intelligence prediction models for skin cancer diagnosis using dermoscopy images: the 2019 International Skin Imaging Collaboration Grand Challenge. *Lancet Digit Health*. 2022;4(5):e330–e339. [https://doi.org/10.1016/S2589-7500\(22\)00021-8](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(22)00021-8)
23. National Cancer Institute Melanoma of the Skin—Cancer Stat Facts. Published May 2022. Accessed 18 May 2022.
24. Swetter SM, Tsao H, Bichakjian CK, et al. Guidelines of care for the management of primary cutaneous melanoma. *J Am Acad Dermatol*. 2019;80(1):208–250. <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2018.08.055>
25. Pan Y, Gareau DS, Scope A, et al. Polarized and nonpolarized dermoscopy: the explanation for the observed differences. *Arch Dermatol*. 2008;144(6):828–829. <https://doi.org/10.1001/archderm.144.6.828>
26. Pehamberger H, Steiner A, Wolff K. *In vivo* epiluminescence microscopy of pigmented skin lesions. I. Pattern analysis of pigmented skin lesions. *J Am Acad Dermatol*. 1987;17(4):571–583. [https://doi.org/10.1016/S0190-9622\(87\)70239-4](https://doi.org/10.1016/S0190-9622(87)70239-4)
27. Kittler H, Pehamberger H, Wolff K, Binder M. Diagnostic accuracy of dermoscopy. *Lancet Oncol*. 2002;3(3):159–165. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(02\)00679-4](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(02)00679-4)
28. Argenziano G, Cerroni L, Zalaudek I, et al. Accuracy in melanoma detection: a 10-year multicenter survey. *J Am Acad Dermatol*. 2012;67(1):54–59. <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2011.07.019>
29. Jiang A, Jefferson IS, Robinson SK, et al. Skin cancer discovery during total body skin examinations. *Int J Womens Dermatol*. 2021;7(4):411–414. <https://doi.org/10.1016/j.iwjd.2021.05.005>
30. Argenziano G, Zalaudek I, Hofmann-Wellenhof R, et al. Total body skin examination for skin cancer screening in patients with focused symptoms. *J Am Acad Dermatol*. 2012;66(2):212–219. <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2010.12.039>
31. Avilés-Izquierdo JA, Molina-López I, Rodríguez-Lomba E, et al. Who detects melanoma? Impact of detection patterns on characteristics and prognosis of patients with melanoma. *J Am Acad Dermatol*. 2016;75(5):967–974. <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2016.07.009>
32. Scheetz J, Rothschild P, McGuinness M, et al. A survey of clinicians on the use of artificial intelligence in ophthalmology, dermatology, radiology and radiation oncology. *Sci Rep*. 2021;51:93. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84698-5>
33. International Skin Imaging Collaboration (ISIC) Archive.
34. Navarrete-Dechent C, Dusza SW, Liopyris K, et al. Automated dermatological diagnosis: hype or reality? *J Invest Dermatol*. 2018;138(10):2277–2279. <https://doi.org/10.1016/j.jid.2018.04.040>
35. Okur E, Turkan M. A survey on automated melanoma detection. *Eng Appl Artif Intell*. 2018;73:50–67. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2018.04.028>
36. Narla A, Kuprel B, Sarin K, et al. Automated classification of skin lesions: from pixels to practice. *J Invest Dermatol*. 2018;138(10):2108–2110. <https://doi.org/10.1016/j.jid.2018.06.175>
37. Winkler JK, Fink C, Toberer F, et al. Association between surgical skin markings in dermoscopic images and diagnostic performance of a deep learning convolutional neural network for melanoma recognition. *JAMA Dermatol*. 2019;155(10):1135–1141. <https://doi.org/10.1001/jamadermatol.2019.1735>
38. Navarrete-Dechent C, Liopyris K, Marchetti MA. Multiclass artificial intelligence in dermatology: progress but still room for improvement. *J Invest Dermatol*. 2021;141(5):1325–1328. <https://doi.org/10.1016/j.jid.2020.06.040>
39. Haenssle HA, Winkler JK, Fink C, et al. Skin lesions of face and scalp—classification by a market-approved convolutional neural network in comparison with 64 dermatologists. *Eur J Cancer*. 2021;144:192–199. <https://doi.org/10.1016/j.ejca.2020.11.034>
40. Yu C, Yang S, Kim W, et al. Acral melanoma detection using a convolutional neural network for dermoscopy images. *PLoS One*. 2018;13(4):e0196621. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193321>
41. Abbas Q, Ramzan F, Ghani MU. Acral melanoma detection using dermoscopic images and convolutional neural networks. *Vis Comput Ind Biomed Art*. 2021;25: without pages. <https://doi.org/10.1186/s42492-021-00091-z>
42. Tschandl P, Codella N, Akay BN, et al. Comparison of the accuracy of human readers versus machine-learning algorithms for pigmented skin lesion classification: an open, web-based, international, diagnostic study. *Lancet Oncol*. 2019;20(7):938–947. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(19\)30333-X](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(19)30333-X)
43. Adamson AS, Smith A. Machine learning and health care disparities in dermatology. *JAMA Dermatol*. 2018;154(11):1247–1248. <https://doi.org/10.1001/jamadermatol.2018.2348>
44. Chartrand G, Cheng PM, Vorontsov E, et al. Deep learning: a primer for radiologists. *Radiographics*. 2017;37(7):2113–2131. <https://doi.org/10.1148/rg.2017170077>
45. Gaudy-Marqueste C, Wazaefi Y, Bruneu Y, et al. Ugly duckling sign as a major factor of efficiency in melanoma detection. *JAMA Dermatol*. 2017;153(4):279–284. <https://doi.org/10.1001/jamadermatol.2016.5500>
46. Mascaro JM. The dermatologist's position concerning nevi: a vision ranging from «the ugly duckling» to «little red riding hood» *Arch Dermatol*. 1998;134(11):1484–1485.
47. Zalaudek I, Docimo G, Argenziano G. Using dermoscopic criteria and patient-related factors for the management of pigmented melanocytic nevi. *Arch Dermatol*. 2009;145(7):816–826. <https://doi.org/10.1001/archdermatol.2009.115>
48. Carli P, De Giorgi V, Argenziano G, et al. Pre-operative diagnosis of pigmented skin lesions: in vivo dermoscopy performs better than dermoscopy on photographic images. *J Eur Acad Dermatol Venereol*. 2002;16(4):339–346. <https://doi.org/10.1046/j.1468-3083.2002.00470.x>
49. Kutzner H, Jutzi TB, Krahl D, et al. Overdiagnosis of melanoma—causes, consequences and solutions. *JDDG J German Soc Dermatol*. 2020;18(11):1236–1243. <https://doi.org/10.1111/ddg.14233>
50. Bell KJL, Mehta Y, Turner RM, et al. Fear of new or recurrent melanoma after treatment for localised melanoma. *Psychooncology*. 2017;26(11):1784–1791. <https://doi.org/10.1002/pon.4366>
51. Linos E, Parvataneni R, Stuart SE, et al. Treatment of nonfatal conditions at the end of life: nonmelanoma skin cancer. *JAMA Intern Med*. 2013;173(11):1006–1012. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2013.639>
52. Han SS, Kim MS, Lim W, et al. Classification of the clinical images for benign and malignant cutaneous tumors using a deep learning algorithm. *J Invest Dermatol*. 2018;138(7):1529–1538. <https://doi.org/10.1016/j.jid.2018.01.028>
53. Ward-Peterson M, Acuña JM, Alkhalifah MK, et al. Association Between Race/Ethnicity and Survival of Melanoma Patients in the United States Over 3 Decades: A Secondary Analysis of SEER Data. *Medicine* (Baltimore). 2016;95(17):e3315. <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000003315>
54. Yap J, Yolland W, Tschandl P. Multimodal skin lesion classification using deep learning. *Exp Dermatol*. 2018;27(11):1261–1267. <https://doi.org/10.1111/exd.13777>
55. Jameson JL, Longo DL. Precision medicine—personalized, problematic, and promising. *N Engl J Med*. 2015;372(23):2229–2234. <https://doi.org/10.1056/NEJMs1503104>
56. Lee KJ, Betz-Stablein B, Stark MS, et al. The Future of Precision Prevention for Advanced Melanoma. *Front Med* (Lausanne). 2022 Jan 17;8:818096. <https://doi.org/10.3389/fmed.2021.818096>

57. Smithers BM, Dunn J, Soyer HP. Whither melanoma in Australia? *Med J Aust.* 2017;207(8):330-331. <https://doi.org/10.5694/mja17.00740>
58. Marchetti MA, Codella NCF, Dusza SW, et al. Results of the 2016 international skin imaging collaboration international symposium on biomedical imaging challenge: comparison of the accuracy of computer algorithms to dermatologists for the diagnosis of melanoma from dermoscopic images. *J Am Acad Dermatol.* 2018;78:270-277.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2017.08.016>
59. Han SS, Park I, Eun Chang S, et al. Augmented intelligence dermatology: deep neural networks empower medical professionals in diagnosing skin cancer and predicting treatment options for 134 skin disorders. *J Invest Dermatol.* 2020;140(9):1753-1761. <https://doi.org/10.1016/j.jid.2020.01.019>

Поступила в редакцию 06.08.2023

Received 06.08.2023

Принята к печати 13.03.2024

Accepted 13.03.2024