

НАМ ПИШУТ

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2018

УДК 616.5-006.81.04-07

Неретин Е.Ю.¹, Минаев Ю.Л.², Акулов В.А.³

МУЛЬТИАГЕНТНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ В РАННЕЙ ДИАГНОСТИКЕ МЕЛАНОМЫ КОЖИ

¹ГБУЗ «Самарский областной клинический онкологический диспансер», 443031, г. Самара;

²НОУ ВПО «РЕАВИЗ», 443001, г. Самара;

³ФГБОУ ВПО «Самарский государственный технический университет», 443100, г. Самара

Проанализированы проблемы использования существующих форм организации в здравоохранении, ориентированных на своевременную диагностику опухолей наружной локализации. Актуальность проблемы и необходимость повышения её эффективности определяются рядом факторов, в числе которых многочисленные публикации в РФ и за рубежом, а также многолетний опыт авторов. Предлагается подход, основанный на междисциплинарной технологии (медицина, программная инженерия) с применением мультиагентных методов. Разработана концепция технологии и модель системы, состоящая из искусственной нейронной сети, экспертной системы, базы данных, базы знаний, средств дистанционного доступа и защиты информации. В качестве критериев эффективности системы предлагаются энтропийные действия различных групп пользователей – врачей профильных и непрофильных специальностей в пространстве ситуаций. Конечный результат диагностики – выживаемость. Разработана методика, содержащая теоретический и практический материал, предназначенная для расширенного варианта анализа ошибок и распознавания сложных сцен, возможных при диагностике меланомы кожи. Предусмотрено применение предлагаемой технологии в учебном процессе, рассчитанном на широкий круг пользователей, в числе которых студенты, врачи, административные работники, средний медицинский персонал.

Ключевые слова: мультиагентная технология; медицина; меланома кожи; ранняя диагностика; распознавание сложных сцен; нейросетевые технологии.

Для цитирования: Неретин Е.Ю., Минаев Ю.Л., Акулов В.А. Мультиагентная технология в ранней диагностике меланомы кожи. *Здравоохранение Российской Федерации*. 2018; 62(6): 331-335. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0044-197X-2018-62-6-331-335>

Neretin E.Yu.¹, Minaev Yu.L.², Akulov V.A.³

MULTI-AGENT TECHNOLOGY IN THE EARLY DIAGNOSIS OF SKIN MELANOMA

¹Samara Regional Clinical Oncology Center, Samara, 443031, Russian Federation;

²Non-governmental educational institution of higher professional education «REAVIZ», Samara, 443001, Russian Federation;

³Samara State Technical University, Samara, 443100, Russian Federation

The problems of the use of existing forms of organization in health care, focused on timely diagnosis of tumors of external localization, are analyzed. The urgency of the problem and the need to improve its effectiveness are determined by a number of factors, including numerous publications in Russia and abroad, as well as many years of experience of the authors. An approach based on interdisciplinary technology (medicine, software engineering) using multi-agent methods is proposed. The concept of technology and the model of the system composition consisting of an artificial neural network, an expert system, a database, a knowledge base, remote access means and information protection were developed. As the criteria for the effectiveness of the system, entropic actions of various groups of users are offered — doctors of profile and non-profile specialties in the space of situations. The end result of the diagnosis is survival. The proposed technology is applied in the educational process, designed for a wide range of users, including students, doctors, administrative staff, and average medical personnel. A methodology has been developed that contains theoretical and practical material intended for an extended version of the analysis of errors and recognition of complex scenes possible in the diagnosis of skin melanoma.

Key words: multi-agent technology; medicine; skin melanoma; early diagnosis; recognition of complex scenes; neural network technologies.

For citation: Neretin E.Yu., Minaev Yu.L., Akulov V.A. Multi-agent technology in the early diagnosis of skin melanoma. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii (Health Care of the Russian Federation, Russian journal)*. 2018; 62(6): 331-335. (In Russ.).

DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0044-197X-2018-62-6-331-335>

For correspondence: Evgeniy Yu. Neretin, MD, PhD, doctor oncologist of Advisory Department № 1 «Samara Regional Clinical Oncology Center», Samara, 443031, Russian Federation.
E-mail: evg.neretin2002@mail.ru

Information about authors:

Neretin E.Yu., <https://orcid.org/0000-0002-2316-7482>

Acknowledgment. The study had no sponsorship.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Received 12 August 2018

Accepted 18 October 2018

Введение

С каждым годом проблема диагностики злокачественных новообразований приобретает всё большую остроту. Некоторые заболевания можно диагностировать на ранних стадиях и в дальнейшем надеяться на успешное излечение, однако бывают случаи, когда современная медицина малоэффективна. Согласно исследованиям учёных Международного агентства по исследованию рака, к 2030 г. в мире на 75% увеличится число заболевших раком, а в странах с развитой и развивающейся промышленностью этот показатель может превысить уровень исходных показателей на 93% к 2030 г. по сравнению с 2009 г. В настоящее время злокачественные новообразования кожи, в том числе меланомы, наиболее коварная онкологическая патология кожи, во всём мире встречается достаточно часто [1], представляя одну из значимых междисциплинарных проблем клинического и профилактического здравоохранения. В Российской Федерации на сегодняшний день диагностика онкологических заболеваний является одной из приоритетных задач, поставленных Президентом РФ Федеральному собранию. В своём выступлении в 2018 г. В.В. Путин предлагает «...реализовать специальную общенациональную программу по борьбе с онкологическими заболеваниями, активно привлечь к решению этой задачи науку, отечественную фарминдустрию, провести модернизацию онкоцентров, выстроить современную комплексную систему от правильной диагностики до своевременного эффективного лечения, которая позволит защитить человека».

Одним из способов ранней диагностики меланомы кожи (МК) может являться применение мультиагентных систем в здравоохранении. На сегодняшний день мультиагентные системы (МАС) нашли широкое применение в различных сферах деятельности – это и интеллектуальные системы управления промышленных объектов, робототехника, обучение персонала и многое другое [2]. В медицине эти системы имеют ограниченное применение [3], используются для оптимизации сбора и обработки информации. Отдельные проекты использования элементов МАС касались в основном наблюдения за пациентами в послеоперационном периоде в режиме реального времени с исполь-

зованием определённых параметров отдельных агентов системы.

Компоненты МАС на сегодняшний день применяются для распознавания образов в дерматоскопии [4]. Имеются также упоминания о средствах автоматической диагностики пигментных новообразований кожи с помощью искусственного интеллекта [5–8]. В то же время организованных, самонастраивающихся структур по использованию в онкологии, в частности в диагностике МК, практически нет.

Актуальность разработки системы организации ранней диагностики МК не вызывает сомнений, это подтверждают и многие автор: она является опухолью наружной локализации, а следовательно, доступна осмотру; на протяжении многих десятков лет в Самарской области отмечается постоянный рост заболеваемости и количества пациентов с этим заболеванием [1, 9, 10]. Несмотря на то что МК довольно редко встречается в структуре всех злокачественных опухолей кожи, она ответственна за наибольшее количество летальных исходов [9, 11]. Имеются определённые проблемы в ранней диагностике МК [8, 12], и она выявляется в основном на достаточно запущенной стадии.

Существующая организация системы позволяет лишь выйти на определённый уровень диагностики МК, который со временем меняется мало, число ошибок не уменьшается, поэтому актуальной представляется разработка и оптимизация новой организационной самонастраивающейся системы на базе имеющихся модулей и существующей системы здравоохранения с учётом современного этапа развития науки и техники, которая позволит значительно улучшить результаты диагностики и, следовательно, лечения.

Цель исследования — улучшить результаты ранней диагностики МК за счёт оптимизации диагностического и учебного процессов и разработки организационной модели ранней диагностики МК на основе мультиагентной системы с использованием существующей системы организации ЛПУ квалифицированного и специализированного уровней на основе искусственного интеллекта (ИИ).

Материал и методы

Исследование выполнено на базе консультативного отделения ГБУЗ «Самарский областной

Нам пишут

клинический онкологический диспансер» (ГБУЗ СОКОД).

В процессе научного исследования была изучена первичная учётная документация — амбулаторные карты пациентов (утвержденная форма № 025/у-04), прошедших обследование и лечение в ГБУЗ СОКОД, извещение о впервые выявленном злокачественном новообразовании (форма № 090/у), протокол запушенности (форма № 027-2/у), годовые отчеты ГБУЗ СОКОД (форма № 7, форма № 35). Изучены данные обследования и лечения пациентов с 2013 по 2016 г. Группы пациентов — доброкачественные новообразования кожи ($n=1032$) и МК ($n=1032$). Диагноз МК (С43), доброкачественные новообразования кожи (D23), другие злокачественные новообразования кожи (С44) ставился в соответствии с МКБ 10-го пересмотра. Все пациенты с опухолями кожи, включённые в исследование, были в обязательном порядке прооперированы с последующим гистологическим исследованием удалённого новообразования.

Для решения поставленных задач исследование было разделено на три этапа.

На I этапе проводился анализ качества диагностики МК в Самаре и Самарской области в ЛПУ общего профиля и специализированного центра, изучались общая социально-эпидемиологическая обстановка в регионе, заболеваемость, смертность, одногодичная летальность, их динамика среди различных групп пациентов, выявлялись закономерности. Анализировались ошибки диагностики, отслеживался путь от первичного посещения, до постановки правильного диагноза в специализированном центре, фиксировались ошибки маршрутизации.

Анализ качества диагностики МК проводился среди дерматологов, онкологов и врачей первичного контакта. Группы специалистов были разделены на врачей первичного контакта и специалистов специализированного онкологического центра.

На II этапе с учётом полученных данных проводилась разработка мультиагентной информационно-аналитической системы (МАС) и программ обучения по ранней диагностике МК, выявление групп риска, прогноз заболеваемости до 2020 г., разработка алгоритма взаимодействия различных звеньев и специалистов. На основе полученных данных были выявлены предикторы развития МК, которые легли в основу мультиагентной системы.

На III этапе проводилось обследование пациентов с подозрением на МК и другими доброкачественными новообразованиями кожи; многоцентровое обучение специалистов с оценкой уровня знаний; комплексная оценка эффективности всей МАС в целом и отдельных её компонентов, включающих:

1) разработанную программу обучения специалистов первичного звена — онкологов, дерматологов, терапевтов, специализированного уровня

на базе НОУ ВПО «РЕАВИЗ», в ходе выездных конференций;

2) экспертную систему накопления, хранения и анализа массива всей базы данных пациентов, осуществляющую функцию поддержки принятия решения на различных этапах оказания медицинской помощи специалистов различного уровня;

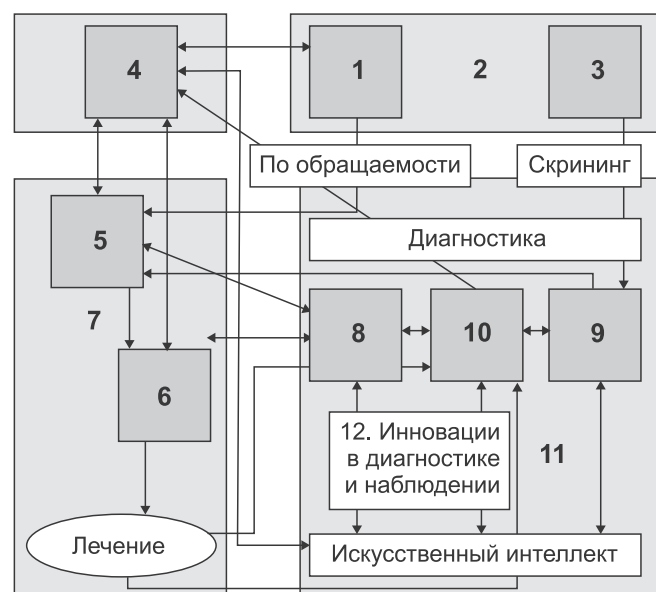
3) комплексный алгоритм взаимодействия на различных этапах.

Разработанная мультиагентная система (МАС) имеет трёх больших агентов (см. рисунок).

Агент № 7 представлен имеющимся человеческим ресурсом — врачами. Это врачи первичного контакта (№ 5) — терапевты, хирурги, дерматологи, к которым в самом начале обращается пациент, они проводят первичную диагностику МК по обращаемости и далее направляют пациента к врачу (№ 6) специализированного центра. При уточнении диагноза МК далее проводится специализированное лечение.

Агент № 11 — это комплекс аппаратных и программных методов ранней диагностики МК. В его основе заложено принятие решений на базе искусственного интеллекта и нейросетевых технологий. Включает авторскую базу знаний, авторский искусственный интеллект (ИИ), авторскую экспертную систему диагностики фотографий, клинических данных. В него входит также и блок обучения (№ 4), позволяющий оперативно и персонализированно контролировать знания специалистов и обучать самообследованию пациентов, а также обучать врачей первичного контакта, оценивать их знания.

Третьим агентом (на схеме № 2) являются участники МАС — это потенциальные пациенты и здоровые люди. Они взаимодействуют с остальными агентами как непосредственно, так и через других интеллектуальных агентов.



Мультиагентная технология диагностики МК
(описание в тексте).

Блок № 1 — лица, прикрепленные к ЛПУ, ещё не пациенты, которые обратились на приём к врачу самостоятельно с какими-либо жалобами. После обращения они становятся пациентами, оформляется медицинская документация, проводится обследование в соответствии с жалобами.

Блок № 3 — лица, подлежащие сплошному скринингу на этапе первичного звена в соответствии с программами государственных гарантий.

Блок № 8 — разработанная авторская экспертная система по анализу как клинических данных обычных фотографий, фотографий с увеличением, цифровой дерматоскопии. Основана на ИИ.

Блок № 9 — блок анкетирования. В отличие от сплошного скрининга позволяет таргетированно провести скрининговое обследование и определить индивидуальный риск заболеть МК. Это особенно актуально в рамках проекта «Бережливая поликлиника» (совместный проект Минздрава РФ и государственной корпорации «Росатом»). Цель проекта — оптимизация работы поликлиник, сокращение времени пребывания в учреждении, разделение потоков пациентов и упрощение записи на приём к врачу).

Блок № 10 — база данных. Это авторская структурированная база данных, в которой хранятся фотографии, клинические данные, данные обучения специалистов (онкологов, дерматологов).

Блок № 12 — это аппаратно-программная часть.

В процессе диагностики система подстраивается под существующие условия, при снижении заложенной в неё энтропии изменяет свои параметры диагностики, постоянно проводит анализ потоков информации и меняющихся условий.

Разработанная МАС и система анализа изображений достаточно гибки и универсальны, могут быть использованы для анализа и накопления не только обычных фотографий, но и тепловых фотографий (термограмм), фотографий флуоресцентной диагностики при наличии специальных датчиков. Предусмотрена возможность удалённого консультирования посредством платформы.

Примеры функционирования этой системы. Пациент (№ 1) обращается с пигментным новообразованием в лечебное учреждение, далее врач первичного контакта (№ 5), взаимодействуя с экспертной системой (№ 8), используя различные инновационные методы (№ 12) — телеконсультации с более опытными коллегами, динамическое наблюдение через приложение в смартфоне, проводит диагностику и определяет правильную тактику. При подозрении на МК пациент направляется на уточняющую диагностику в специализированный центр к онкологу (№ 6) и проходит лечение. Результаты этого лечения заносятся в базу данных и базу знаний (№ 10), при анализе которых на основе искусственного интеллекта и технологии нейронной сети в последующем будут уточнены многие факторы, позволяющие более эффективно провести

диагностику, персонализированную профилактику и эффективное обучение специалистов. Данная система позволяет также эффективно взаимодействовать со здоровым контингентом людей, приглашать их на обследование не с использованием сплошного метода, а персонализированно.

Другой пример. Здоровый человек (№ 3) первоначально взаимодействует с экспертной системой, проходит тестирование удалённо. Определяется его индивидуальный риск заболеть МК, далее он приглашается на осмотр к врачу первичного контакта (№ 5). В зависимости от результата ему даются рекомендации к динамическому наблюдению либо знания первичной профилактики и диагностики.

Результаты исследования

Приведём пример успешной диагностики злокачественного новообразования с использованием данного алгоритма.

Прикрепленный к лечебно-профилактическому учреждению (ЛПУ) индивидуум П., 67 лет (на схеме № 3), ранее не болел, обращался в ЛПУ по месту прикрепления только в связи с простудными заболеваниями, прошёл анкетирование.

После прохождения анкетирования (№ 9) выявлено, что пациент П. имеет высокий риск развития МК, далее, учитывая полученные результаты, пациент П. был вызван активно участковым терапевтом на приём в поликлинику ЛПУ общего профиля.

Врач первичного контакта, в данном случае терапевт (№ 5), осмотрел пациента и выявил пигментное новообразование кожи спины, подозрительное на МК. Постановка предварительного диагноза проходила при непосредственном взаимодействии врача-терапевта с экспертной системой (№ 8), случай фотографировался. Результат этой предварительной диагностики, а также индивидуальный номер врача-терапевта с предварительным диагнозом был также занесён в базу данных (№ 10) с целью контроля точности диагностики и необходимости обучения (№ 4). Результаты проведённого обследования с паспортными данными пациента были отправлены в базу данных (№ 10) с целью дальнейшего контроля и динамического наблюдения.

Пациенту П., 67 лет, было выписано направление в специализированный онкологический центр, где был осмотрен онкологом-дерматологом консультативного отделения (№ 6), прошёл дополнительную диагностику, хирургическое лечение. После операции и последующего гистологического исследования был поставлен окончательный диагноз: С43 МК лопаточной области справа, рТ1N0M0, поверхностная форма, I стадия после хирургического лечения, 3-я клиническая группа. Далее пациент П. приносит выписку из стационара участковому терапевту, который заносит результаты лечения в базу данных (№ 10) и данный пациент ставится на диспансерный учёт в ЛПУ по

Нам пишут

месту прикрепления. В базе данных (№ 10) новообразование кожи спины пациента П. промаркировано как злокачественное, а также результаты его ответов на анкету (№ 9) учтены ИИ при диагностике других пациентов.

По мере накопления материала ИИ анализирует базу данных признаков, выявляет и своевременно меняет значимость каждого из них. Также подвергаются анализу и результаты индивидуальной диагностики врачей первичного контакта (№ 4), оценивается правильность постановки диагноза, структура ошибок, при снижении точности до 75% проводится индивидуальное обучение на накопленных случаях. При необходимости врачи проходят тестирование (№ 4) с индивидуальными вопросами и задачами по признакам МК.

Обсуждение

Сформулированная проблема ранней диагностики МК открывает новые способы их решения за счёт использования МАС. Сформированный подход позволяет сэкономить людские ресурсы за счёт более эффективного их использования. Огромное значение эффективного распознавания образов и диагностики состояний в реальном времени имеют разнородные полиномиальные сети (ПНС). Для них характерна самоорганизация собственного строения, они накапливают «нейрообразы» и решающие правила. Положительным свойством для них является массовый параллелизм, хорошая экстраполяция, высокое быстродействие при принятии оптимальных или субоптимальных решений.

Выводы

1. В отличие от классической схемы диагностики меланомы кожи (МК), имеющей место в существующей системе, данный процесс позволяет более точно контролировать как диагностику МК, так и эффективность обучения, и уровень знаний, их объективизацию.

2. Предложенная мультиагентная система (МАС) позволяет автоматически следить за динамикой заболеваемости МК, изменчивостью признаков в каждом конкретном регионе, а также подготовкой специалистов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА (п.п. 1, 4-8, 10-12 см. References)

2. Глущенко А.И., Еременко Ю., Цуканов М.А. Мультиагентные технологии как основа проектирования системы-советчика диспетчера энергосистемы. *Фундаментальные исследования*. 2013; 15(10): 3305-9.
3. Минаев А.А., Иващенко А.В. Мультиагентные технологии сбора и обработки информации в задачах медицинской диагностики. *Труды международного симпозиума «Надежность и качество»*. 2014; 1: 49-51.
9. Давыдов М.И., Аксель Е.М. *Статистика злокачественных новообразований в России и странах СНГ в 2012 г.* М.: РОНЦ; 2014.

REFERENCES

1. Garbe C., Leiter U. Melanoma epidemiology and trends. *Clin. Dermatol.* 2009; 27(1): 3-9.
2. Glushchenko A.I., Eremenko Yu., Tsukanov M.A. Multi-agent technologies as a basis for designing a system-advisor for a power system manager. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2013; 15(10): 3305-9. (in Russian)
3. Minaev A.A., Ivashchenko A.V. Multiagent technologies of information collection and processing in problems of medical diagnostics. Proceedings of the International Symposium Reliability and quality. *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost' i kachestvo»*. 2014; 1: 49-51. (in Russian)
4. Drulyte I., Ruzgas T., Raisutis R., Valiukeviciene S., Linkeviciute G. Application of automatic statistical post-processing method for analysis of ultrasonic and digital dermatoscopy images. *Libyan J. Med.* 2018; 13(1): 1479600. doi:10.1080/19932820.2018.1479600.
5. Mar V.J., Soyer H.P. Artificial intelligence for melanoma diagnosis: How can we deliver on the promise? *Ann. Oncol.* 2018; 29(8): 1625-8. doi: 10.1093/annonc/mdy193.
6. Jaworek-Korjakowska J., Kłeczek P. Automatic Classification of Specific Melanocytic Lesions Using Artificial Intelligence. *Biomed Res. Int.* 2016; 2016: 8934242. doi: 10.1155/2016/8934242.
7. Blum A., Luedtke H., Ellwanger U., Schwabe R., Rassner G., Garbe C. Digital image analysis for diagnosis of cutaneous melanoma. Development of a highly effective computer algorithm based on analysis of 837 melanocytic lesions. *Br. J. Dermatol.* 2004; 151(5): 1029-38.
8. Patel J.K., Konda S., Perez O.A., Amini S., Elgart G., Berman B. Newer technologies/techniques and tools in the diagnosis of melanoma. *Eur. J. Dermatol.* 2008; 18(6): 617-31. doi: 10.1684/ejd.2008.0508.
9. Davydov M.I., Akcel' E.M. *The Statistics of Malicious Newborns in Russia and the CIS Countries in 2012 [Statistika zlokachestvennykh novoobrazovaniy v Rossii i stranakh CNG v 2012 g.]*. Moscow: RONTs; 2014. (in Russian)
10. Siegel R., Naishadham D., Jemal A. Cancer statistics. *CA Cancer J. Clin.* 2012; 62(1): 10-29.
11. Dick V., Tschandl P., Sinz C., Blum A., Kittler H. Image-based computer diagnosis of melanoma. *Hautarzt*. 2018; 69(7): 591-601. (in German)
12. Fuller C., Cellura A.P., Hibler B.P., Burriss K. Computer-assisted diagnosis of melanoma. *Semin. Cutan. Med. Surg.* 2016; 35(1): 25-30. doi: 10.12788/j.sder.2016.004.