



<https://doi.org/10.24060/2076-3093-2018-8-3-208-215>

Развитие технологий искусственного интеллекта в онкологии и лучевой диагностике

Бузаев Игорь Вячеславович — к.м.н., зав. отделением рентгенохирургических методов диагностики и лечения № 1, ассистент кафедры госпитальной хирургии, e-mail: igor@buzaev.com, orcid.org/0000-0003-0511-9345

Плечев Владимир Вячеславович — д.м.н., профессор, зав. кафедрой госпитальной хирургии, e-mail: angio02@mail.ru, orcid.org/0000-0002-6716-4048

Галимова Резида Маратовна — ассистент кафедры неврологии, e-mail: rezida@galimova.com, orcid.org/0000-0003-2758-0351

Киреев Айвар Рамилевич — соискатель кафедры менеджмента и маркетинга, e-mail: mnhtn@outlook.com, orcid.org/0000-0002-4005-9782

Юлдыбаев Лев Хадыевич — к.т.н., доцент кафедры математики, e-mail: yuldybaevlx@mail.ru, orcid.org/0000-0001-7581-9967

Шайхулова Айгуль Фазировна — к.т.н., ассистент кафедры технологий машиностроения, e-mail: Shaihuлова@inbox.ru, orcid.org/0000-0002-3340-3880

Ахмерова Светлана Герценовна — д.м.н., профессор кафедры общественного здоровья и организации здравоохранения ИДПО, e-mail: ahm.63@mail.ru

И.В. Бузаев¹, В.В. Плечев², Р.М. Галимова², А.Р. Киреев³, Л.Х. Юлдыбаев⁴, А.Ф. Шайхулова³, С.Г. Ахмерова²

¹ Республиканский кардиологический центр, Россия, 450106, Уфа, ул. Ст. Кувыкина, 96

² Башкирский государственный медицинский университет, Россия, 450008, Уфа, ул. Ленина, 3

³ Уфимский государственный авиационный технический университет, Россия, 450008, Уфа, ул. К. Маркса, 12

⁴ Уфимский государственный нефтяной технический университет, Россия, 450062, Уфа, ул. Космонавтов, 1

Контакты: Бузаев Игорь Вячеславович, e-mail: igor@buzaev.com

Резюме

Введение. Индустриальная революция 4.0 произошла во многом благодаря внедрению методов искусственного интеллекта.

Цель исследования. Показать качественные перемены, которые произошли в последние 3 года в реализации методов искусственного интеллекта в здравоохранении путем исследования трендов по публикациям в базе данных PubMed.

Материалы. Все резюме статей с ключевым словом “artificial intelligence” были загружены в текстовые файлы из базы данных <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>. Путем обобщения ключевых слов мы классифицировали современные применения искусственного интеллекта в медицине. 78 420 резюме были извлечены из базы данных PubMed, в том числе 5558 обзоров, 304 рандомизированных исследования, 247 многоцентровых исследований. Затем были классифицированы типичные сферы применения.

Результаты. Интерес к теме искусственного интеллекта в индексированных в PubMed публикациях растет согласно закону развития инноваций. Количество неанглоязычных публикаций увеличивалось до 2008 года и было представлено на китайском, немецком, французском и русском языках. После 2008 года количество неанглоязычных публикаций снизилось в пользу англоязычных.

Выводы. В последние два-три года искусственный интеллект в практике принятия решений в медицине стал иметь реальное практическое применение. Кроме того, инструменты для создания систем принятия решений на базе методик искусственного интеллекта стали уже не диковинными и доступны не только математикам. Американское управление пищевыми продуктами и лекарственными препаратами (FDA) одобрило ряд приложений к клинической практике. Это еще одна перемена, которая затронула не только ученых, но и практиков. Большинство таких приложений используется для анализа медицинских изображений, в том числе и в онкологии, и демонстрирует сравнимую точность с человеком специалистом. В статье представлена разработанная классификация применения технологий искусственного интеллекта.

Ключевые слова: искусственный интеллект, системы поддержки клинических решений, медицина, здравоохранение, база данных, поиск информации, классификация, aLYNX

Для цитирования: Бузаев И.В., Плечев В.В., Галимова Р.М., Киреев А.Р., Юлдыбаев Л.Х., Шайхулова А.Ф., Ахмерова С.Г. Развитие технологий искусственного интеллекта в онкологии и лучевой диагностике. Креативная хирургия и онкология. 2018;8(3):208–215. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2018-8-3-208-215>

Artificial Intelligence Developments in Medical Visualization and Oncology

Igor V. Buzaev¹, Vladimir V. Plechev², Rezida M. Galimova², Ayvar R. Kireev³, Lev K. Yuldybaev⁴, Aygul F. Shaykhalova³, Svetlana G. Akhmerova²

¹ Republic Heart Centre, 96 S. Kuykyin str., 450106, Russian Federation

² Bashkir State Medical University, 3 Lenin str., Ufa, 450008, Russian Federation

³ Ufa State Aviation Technical University, 12 K. Marx str., Ufa, 450008, Russian Federation

⁴ Ufa State Petroleum Technical University, 1 Kosmonavtov str., Ufa, 450062, Russian Federation

Contacts: Buzaev Igor Vyacheslavovich, e-mail: igor@buzaev.com

Summary

Introduction. The widespread adoption of Artificial Intelligence (AI) technologies forms the core of the so-called Industrial Revolution 4.0.

The aim of this study is to examine qualitative changes occurring over the last two years in the development of AI through an examination of trends in PubMed publications.

Materials. All abstracts with keyword “artificial intelligence” were downloaded from PubMed database <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/> in the form of .txt files. In order to produce a generalisation of topics, we classified present applications of AI in medicine. To this end, 78,420 abstracts, 5558 reviews, 304 randomised controlled trials, 247 multicentre studies and 4137 other publication types were extracted. (Figure 1). Next, the typical applications were classified.

Results. Interest in the topic of AI in publications indexed in the PubMed library is increasing according to general innovation development principles. Along with English publications, the number of non-English publications continued to increase until 2018, represented especially by Chinese, German and French languages. By 2018, the number of non-English publications had started to decrease in favour of English publications. Implementations of AI are already being adopted in contemporary practice. Thus, AI tools have moved out of the theoretical realm to find mainstream application.

Conclusions. Tools for machine learning have become widely available to working scientists over the last two years. Since this includes FDA-approved tools for general clinical practice, the change not only affects to researchers but also clinical practitioners. Medical imaging and analysis applications already approved for the most part demonstrate comparable accuracy with the human specialist. A classification of developed AI applications is presented in the article.

Keywords: artificial intelligence; clinical decision support systems, medicine, public health, database, information retrieval, classification, aLYNX

For citation: Buzaev I.V., Plechev V.V., Galimova R.M., Kireev A.R., Yuldybaev L.K., Shaykhalova A.F., Akhmerova S.G. Artificial Intelligence Developments in Medical Visualization and Oncology. *Creative Surgery and Oncology*. 2018;8(3):208–215. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2018-8-3-208-215>

Buzaev Igor Vyacheslavovich —
Candidate of Medical Sciences,
Head of the Department of
Interventional Cardiology,
Assistant lecturer of the
Department of Hospital
Surgery,
e-mail: igor@buzaev.com,
orcid.org/0000-0003-0511-9345

Plechev Vladimir Vyacheslavovich —
Doctor of Medical Sciences,
Professor, Head of the
Department of Hospital
Surgery,
e-mail: angio02@mail.ru,
orcid.org/0000-0002-6716-4048

Galimova Rezida Maratovna —
Assistant lecturer of the
Department of Neurology,
e-mail: rezida@galimova.com,
orcid.org/0000-0003-2758-0351

Kireev Ayvar Ramilevich —
Applicant of the Department of
Management and Marketing,
e-mail: mnhtnn@outlook.com,
orcid.org/0000-0002-4005-9782

Yuldybaev Lev Khadyevich —
Candidate of Technical
Sciences, Associate professor
of the Department of
Mathematics,
e-mail: yuldybaevlx@mail.ru,
orcid.org/0000-0001-7581-9967

Shaykhalova Aygul Fazirovna —
Candidate of Technical
Sciences, Assistant lecturer of
the Department of Mechanical
Design Technology,
e-mail: Shaihalova@inbox.ru,
orcid.org/0000-0002-3340-3880

Akhmerova Svetlana Gertsenovna —
Doctor of Medical Sciences,
Professor of the Department
of Public Health and Health
Organization in the Institute
of Additional Professional
Education,
e-mail: ahm.63@mail.ru

Введение

Интеллект — ум, мыслительная способность, умственное начало у человека [1]...

Искусственный интеллект (ИИ) — теория разработки, а также сами разработанные компьютерные системы, способные осуществлять задачи, требующие обычно наличия человеческого разума для их решения, например зрительное восприятие, распознавание речи, принятие решений или перевод с одного языка на другой (<https://en.oxforddictionaries.com/>) [2].

С давних времен люди добывали и использовали знания для того, чтобы сделать жизнь легче. Мы почти уверены, что обобщение и мыслительные способности отличают нас от животных.

С давних времен люди делегировали искусственно созданным объектам — машинам то, что не хотели делать сами. Эти машины, при уважительном отношении и должном внимании, давали нам больше пользы, чем доставляли проблем.

С давних времен люди, передавая работу машинам, выполняли эти задачи по желанию. Они изобрели автомобили, но продолжают бегать для удовольствия, изобрели сельскохозяйственную технику и продолжают вручную ухаживать за своими садами, люди изобрели принтеры, но тем не менее продолжают рисовать карандашами. И вот приходит искусственный интеллект...

Есть ряд умственных задач, в которых человек не так совершенен, как хотелось бы. Многие из них тесно связаны с безопасностью и ответственностью. Люди склонны забывать и ограничены в обмене опытом [3, 4], они склонны к риску, и их решения зависят от уровня гормонов в крови [5], люди плохо обучаются в задачах с отложенной обратной связью (когда результат по времени значительно позже воздействия) [6, 7]. Человеческие реакции на потерю и приобретение нелинейны и зависят от «оформления» вопроса (prospect theory) [8]. Ряд когнитивных искажений хорошо изучен психологами [4]. Очевидно, что хорошей возможностью может быть использование искусственного интеллекта для помощи в этих умственных задачах. Одним из важных прорывов Индустриальной революции 4.0 явилось применение методов искусственного интеллекта. Эта революция затронула все аспекты нашей деятельности, и медицина — одна из них.

Системы ИИ могут включать формальные алгоритмы для задач, которые могут быть решены с помощью логических конструкций типа «если — то». Процесс решения задачи здесь — это движение от пункта до пункта, как у поезда на железной дороге. Эти алгоритмы быстры, и с их помощью можно получить объяснение, почему решение принято именно так. Люди также используют эти способы в повседневной жизни, когда не нуждаются в оценке и взвешивании большого количества факторов одновременно. Особенностью искусственного интеллекта являются алгоритмы нечеткой логики. Эти алгоритмы хорошо отражены в современной литературе. Так, F. Jiang et al. (2017) делит обработку естественного языка и машинное обучение. Со сво-

ими коллегами авторы статьи сделали срез различных алгоритмов, опубликованных в базе данных PubMed, и нашли наиболее часто используемую методологию: метод опорных векторов, нейронные сети, логистическую регрессию, дискриминантный анализ, линейную регрессию, метод случайного леса, наивный байесовский классификатор, метод ближайших соседей и скрытые марковские модели [9].

Цель и задачи исследования

Целью исследования явилось показать качественные изменения, которые произошли в последние 2 года в развитии искусственного интеллекта, исследуя тренды в литературе, индексируемой в PubMed. Задачами было оценить динамику интереса к теме ИИ, динамику неанглоязычных публикаций и сферы применения ИИ в современной практике.

Материалы и методы

Исследованная литература:

- книги, связанные с темой [10, 11];
- патентный поиск в patents.google.com;
- специализированный журнал “Artificial intelligence”;
- база данных PubMed.

Все резюме статей с ключевыми словами “artificial intelligence” были загружены из базы данных PubMed в .txt файлы <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>. Далее нами была создана программа Microsoft Access Visual Basic для преобразования текста в реляционную базу данных. Затем был проведен анализ полученного набора данных MS SQL Server 2000. Набор данных включал имена всех авторов, mesh-тэги, год, язык, а также все слова по отдельности из названия и резюме. Эта информация была извлечена в таблицы, которые связали друг с другом уникальными ключами. Все неинформативные слова помечены как неинформативные, оставшиеся слова сгруппированы в обобщающие слова. Используя эти обобщения, мы классифицировали существующие сферы применения ИИ в медицине. Затем были написаны SQL-запросы для создания таблиц частот. С помощью этого метода мы классифицировали ИИ технологии.

Результаты

78 420 резюме были получены, из них 5558 обзоров, 304 рандомизированных исследования, 247 многоцентровых исследований (рис. 1). На рисунке 1 показан экспоненциальный рост к интересу в области ИИ, который немного замедлился в середине 2010 годов. Это проявление феномена s-образной кривой развития инновации, который показывает эффективность старой технологии и предсказывает либо стагнацию, либо новый этап развития [12].

Количество неанглоязычных публикаций увеличилось до 2008 и было представлено на китайском, немецком, французском и русском языках. После 2008 количество неанглоязычных публикаций снизилось в пользу англоязычных (рис. 2).

Таблица 1 и рисунок 3 показывают, что около 2010 года интерес ИИ в онкологии вышел на первый план. Наи-

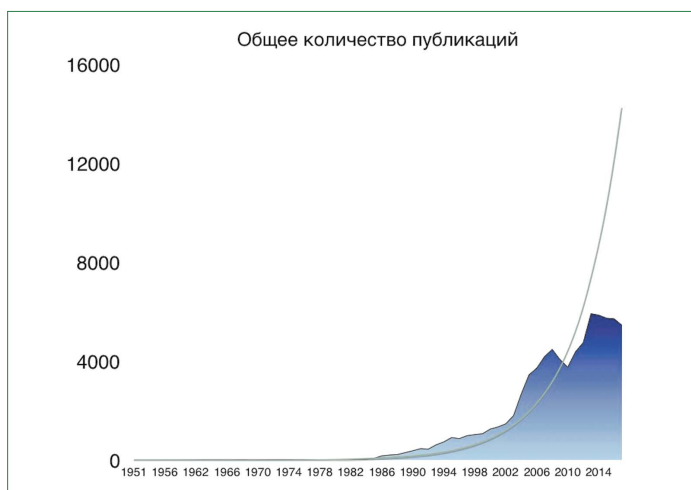


Рисунок 1. Общее количество публикаций по годам с ключевыми словами “artificial intelligence”

Figure 1. Total pubmed publications amount with “artificial intelligence” keyword

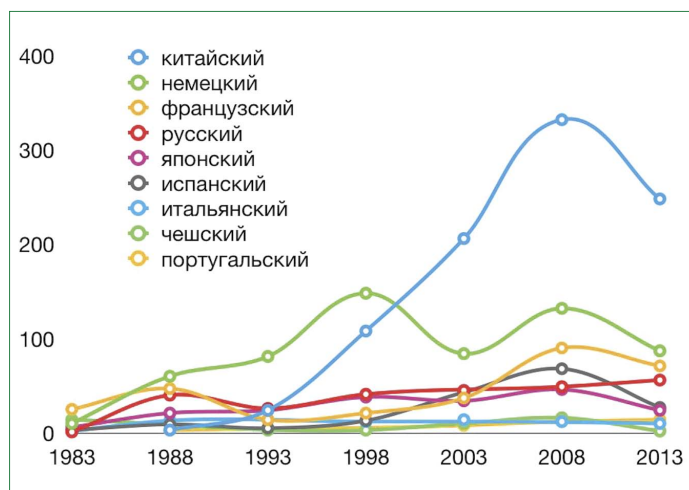


Рисунок 2. Динамика неанглоязычных публикаций

Figure 2. Dynamics of non-english language publications

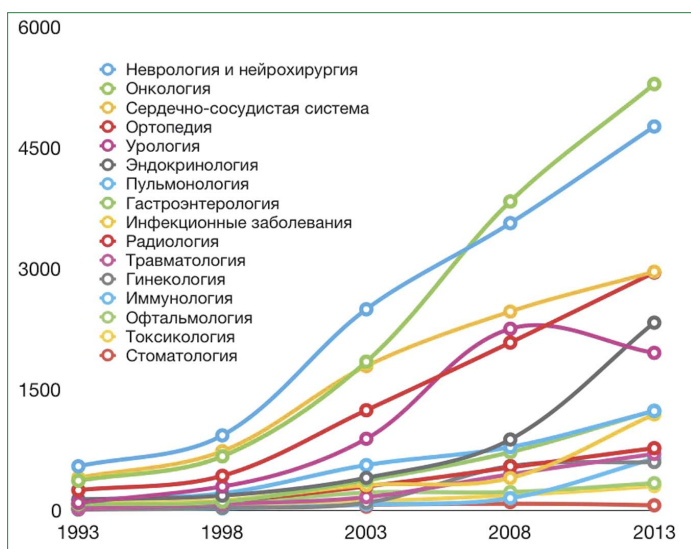


Рисунок 3. Интерес к теме искусственного интеллекта в различных областях

Figure 3. AI in different fields of medicine

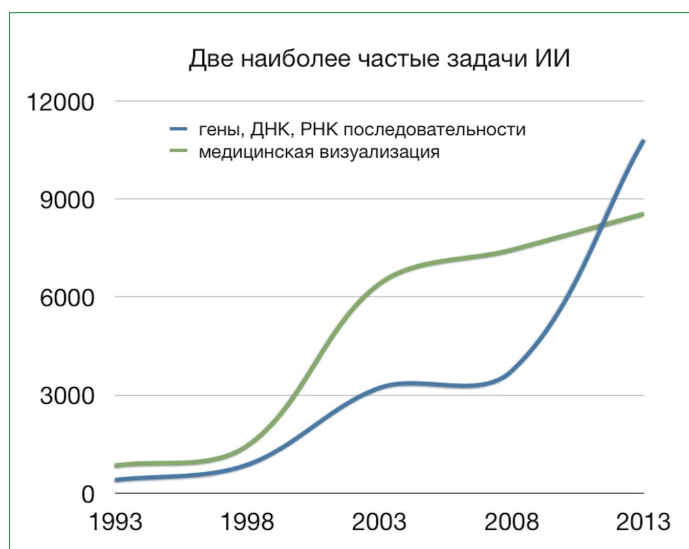


Рисунок 4. Наиболее частые задачи для ИИ по данным публикаций

Figure 4. Two the most frequent AI tasks

более очевидная причина — необходимость анализа данных медицинской визуализации с помощью обсуждаемой технологии. Наиболее часто это нацелено на распознавание опухолей на изображениях и анализ генома (рис. 4).

Из набора данных были выделены 809 451 mesh-тэг. Они были сгруппированы и добавлены в оставшийся набор ключевых слов. Затем мы выделили типичные сферы применения ИИ и классифицировали их. D. Poole [13] выделяет среди ИИ следующие подклассы. Во-первых, вычислительные машины с физическими двигателями и сенсорами, их принято называть роботами, например робот-доставщик или робот-пылесос. Во-вторых, компьютеры-советчики, экспертные системы с участием человека, который обеспечивает входной информацией и постановкой задачи, напри-

мер диагностический ассистент. В-третьих, это может быть программа, которая работает в полностью компьютеризированном окружении — инфобот. Инфобот занимается поиском информации в компьютерных системах для обычных пользователей, например руководителей компаний.

Классификация задач ИИ

1. Управление и оптимизация:

- графы совпадений событий (совместной встречаемости) [14],
- кластеризация лечебного процесса,
- определение несоответствий в клинических рекомендациях [15],
- маркетинг и оценка доверия медицинскому учреждению [16],

	1993–1997	1998–2002	2003–2007	2008–2012	2013–2017	Всего
Неврология и нейрохирургия	547	931	2496	3565	4765	12 304
Онкология	368	671	1845	3834	5291	12 009
Сердечно-сосудистая система	405	735	1790	2468	2962	8360
Ортопедия	251	429	1243	2083	2952	6958
Урология	94	296	889	2254	1955	5488
Эндокринология	136	183	404	880	2330	3933
Пульмонология	131	212	562	786	1233	2924
Гастроэнтерология	77	108	374	723	1238	2520
Инфекционные заболевания	84	124	312	402	1191	2113
Радиология	75	115	297	548	772	1807
Травматология	19	79	165	448	701	1412
Гинекология	10	31	96	550	600	1287
Иммунология	23	25	72	152	644	916
Офтальмология	54	76	220	228	338	916
Токсикология	40	62	96	166	301	665
Стоматология	14	36	46	103	63	262

Таблица 1. Интерес к ИИ в различных областях медицины
Table 1. Interest in AI in different fields of medicine

- сбор данных,
- регистрация,
- планирование.
- 2. Анализ сигналов, кодирование, декодирование, фильтрация:
 - тактильное чувство [17],
 - кинестетическое чувство [18],
 - вкусовые рецепторы [19],
 - анализ изображений,
 - определение контуров [20],
 - сегментация [21],
 - гистопатологическая идентификация рака [22],
 - анализ звука,
 - классификация звуков легких [23],
 - анализ запахов,
 - определение концентраций алкоголя [24],
 - электронный нос [25],
 - анализ выдыхаемого воздуха [26, 27].
- 3. Детекция, идентификация:
 - эпидемиология,
 - определение носителей талассемии [28].
- 4. Предсказание, прогноз, моделирование, симуляция, картирование:
 - моделирование риска, например риск рака [29],
 - моделирование заболевания,
 - проводящие пути мозга при аутизме [30].
- 5. Классификация, кластеризация, сегментация.
- 6. Мониторинг и контроль:
 - телемедицина [31].
- 7. Анализ текстов и обработка естественного языка:
 - намерения в тексте из обсуждений онлайн [32],

- семантика медицинских текстов [33],
- получение статистических данных из свидетельств о смерти [34],
- автоматическая классификация отчетов в радиологии [35],
- классификация многоязыковых медицинских документов [36],
- связи данных в медицинских записях [31],
- обработка естественного языка (обобщение, классификация текстов, определение взаимоотношений).
- 8. Медицинские устройства:
 - интернет медицинских устройств (IoHT) [37],
 - умный дом и раннее обнаружение патологии у престарелых [38],
 - переносные устройства и мобильные приложения.
- 9. Поддержка клинических решений и экспертные системы:
 - ретинопатия и артериовенозное соотношение [39],
 - стентирование или аортокоронарное шунтирование [40].
- 10. Диагностика
 - диагностическая маркировка [41],
 - диагностика по распознаванию последовательностей [42],
 - усталость человека по слежению за его взглядом [43],
 - корреляция между болезнями,
 - раннее определение аномалий в поведении [38],
 - ранние индикаторы и прогрессирование паркинсонизма [44].
- 11. Лечение:
 - терапия,
 - автоматическая анестезия [45],
 - хирургия,
 - роботизированная (Remebot, робот для навигации и ориентации в нейрохирургии) [46],
 - реабилитация,
 - протезы.
- 12. Автоматизация вышеизложенных задач.

Настоящее

Глубокое обучение достигло прорывов во многих исторически сложных областях машинного обучения. Достигнут почти человеческий уровень классификации изображений, распознавания речи, а также вождения, созданы цифровые ассистенты, такие как Google Now и Amazon Alexa, улучшены результаты поиска по сети и возможность ответа на вопросы на естественном языке, кроме того, ИИ превзошел человека в игре го [11].

Что нового?

Во-первых, инструменты для разработки ИИ. В настоящий момент эти инструменты уже не диковинка и не космические инструменты будущего. С 2015 года доступны быстрые алгоритмы Tensor Flow (<https://tensorflow.rstudio.com/>) или Keras. Оба написаны с открытым кодом и бесплатны. Tensor Flow, например, — это простая к развертыванию и использованию на различных платформах рабочая среда для машинного обучения, выпущенная компанией Google. Ее можно легко поставить даже на переносной компьютер.

В 2017 году компания Apple предложила платформу CoreML на Xcode. С помощью Core ML разработчик может интегрировать уже обученную модель ИИ в свое приложение [47]. Также компания Apple уже предлагает такие платформы, как Vision для анализа изображений, Natural Language для обработки естественного языка. Программная платформа Vision позволяет разработчику включить в свое приложение готовые подпрограммы для распознавания лиц, текста, штрихкодов, регистрации изображений и отслеживания предмета. Кроме того, в эту библиотеку Core ML включены модели для классификации и идентификации объектов.

Язык «R» является бесплатным инструментом статистической обработки с открытым кодом, доступным на сайте проекта CRAN, он позволяет подключить библиотеки Tensor Flow или Keras. Руководства, как начать исследование в этой области, также доступны [11]. Существуют открытые базы данных региональных регистров, которые можно использовать для машинного обучения [40].

Во-вторых, появился ИИ для клинического использования. В апреле 2018 года IDx-DR стала первым продуктом, разрешенным к маркетингу Американским управлением по контролю за продуктами питания и лекарствами (FDA), который допущен к интерпретации изображений без необходимости участия врача. Это позволяет использовать его учреждениями здравоохранения, которые обычно не занимались офтальмологией [48].

В феврале 2018 года FDA разрешила к маркетингу программное обеспечение для поддержки клинического решения для оповещения о возможном остром нарушении мозгового кровообращения у пациентов [49].

OsteoDetect — это диагностическое программное обеспечение, которое использует алгоритмы ИИ для анализа двухмерных рентгеновских снимков о признаках перелома костей, в частности лучевой кости, частой локализации перелома в области запястья. Программа маркирует расположение перелома на снимке и помогает медицинскому работнику в обнаружении и постановке диагноза. Программа также одобрена FDA 24 мая 2018 года [50].

Среди российских систем ИИ для поддержки клинических решений можно выделить систему автоматического нахождения и классификации образов спектрограмм комбинационного рассеяния света (раман-спектроскопии) для детекции и классификации опухолевой и неопухолевой ткани со специфичностью и чувствительностью более 92 %. Для решения поставленной задачи в качестве искусственной нейронной сети авторы использовали двуслойный перцептрон на базе Tensor Flow [51].

Среди российских разработок следует отметить систему «третье мнение» (<https://3opinion.ru/ru/>) которая заявлена авторами как «Первая медицинская нейросеть, которая выявляет патологические состояния на уровне ведущих специалистов, учится непрерывно 24 часа в сутки, не устает и не болеет» [52].

Будущее... Наиболее фантастическим использованием искусственного интеллекта в медицине был бы перенос человеческого разума из больных и смертных челове-

ческих тел в системы, которые легко чинить, улучшать и соединять между собой. Гипотетически возможность сканирования нейронов, синапсов и их моделирование с воссозданием в машине не противоречит законам природы. Кремний находится в одном столбце таблицы Менделеева с углеродом и имеет много общих свойств. Возможно, с развитием технологий кибернетических организмов, когда-нибудь, мы выделим углеродную и кремниевую формы жизни.

Заключение

Онкология и лучевая диагностика являются отраслями, где интерес в разработке систем, использующих методологию искусственного интеллекта, лидирует. В последние два-три года появились инструменты, доступные как для обычных врачей, так и для ученых, позволяющие пользоваться этой технологией.

Американское управление по контролю за пищевыми продуктами и лекарственными препаратами одобрило ряд приложений к клинической практике. Это еще одна перемена, которая затронула не только ученых, но и практиков. Большинство таких приложений используются для анализа медицинских изображений и демонстрируют сравнимую точность со специалистом человеком.

Мы должны помнить слова Далай ламы: «Технологии значительно улучшили человеческие способности. Они сделали проще многое. Но технология не может создавать сострадание». Кому мы бы доверили клиническое решение: машине, которая делает меньше ошибок, но не несет ответственности, или человеку, который может сделать больше ошибок, но...

Список литературы

- 1 Ожегов С.И., Шведова Н.Ю. Толковый словарь русского языка. 4-е изд. М., 1997–1999.
- 2 Stevenson A. (ed.) Oxford Dictionary of English. Oxford University Press, 2010.
- 3 Kruger J., Dunning D. Unskilled and unaware of it: how difficulties in recognizing one's own incompetence lead to inflated self-assessments. *J Pers Soc Psychol.* 1999;77(6):1121–34. PMID: 10626367
- 4 Tversky A., Kahneman D. Judgement under uncertainty: Heuristics and biases. *Sciences.* 1974;185(4157):1124–31. DOI: 10.1126/science.185.4157.1124
- 5 Kosfeld M., Heinrichs M., Zak P.J., Fischbacher U., Fehr E. Oxytocin increases trust in humans. *Nature.* 2005;435(7042):673–6. DOI: 10.1038/nature03701
- 6 Clarke A.M., Friedrich J., Senn W., Tartaglia E.M., Marchesotti S., Herzog M.H. Human learning in non-Markovian decision making. Available from: <http://www.stat.columbia.edu/~johannes/docs/rldm2013.pdf>
- 7 Clarke A.M., Friedrich J., Tartaglia E.M., Marchesotti S., Senn W., Herzog M.H. Human and machine learning in non-markovian decision making. *PLoS One.* 2015;10(4):e0123105. DOI: 10.1371/journal.pone.0123105
- 8 Kotler P., Keller K.L. *Marketing Management.* 15-th ed. Edinburgh: Pearson Education Limited, 2016.
- 9 Jiang F., Jiang Y., Zhi H., Dong Y., Li H., Ma S. et al. Artificial intelligence in healthcare: past, present and future. *Stroke Vasc Neurol.* 2017;2(4):230–43. DOI: 10.1136/svn-2017-000101
- 10 Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. *Deep Learning.* MIT Press, 2016.
- 11 Chollet F., Allaire J.J. (eds) *Deep Learning with R.* Manning Publications, 2017.
- 12 Селиванов С.Г., Гузаиров М.Б., Кутин А.А. *Иноватика: учебник для вузов.* 2-е изд. М.: Машиностроение, 2008.
- 13 Poole D., Mackworth A., Goebel R. *Computational Intelligence: a logical approach.* New York: Oxford University Press, 1998.

- 14 Duque A., Stevenson M., Martinez-Romo J., Araujo L. Co-occurrence graphs for word sense disambiguation in the biomedical domain. *Artif Intell Med.* 2018;87:9–19. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.03.002
- 15 Tsopra R., Lamy J.-B., Sedki K. Using preference learning for detecting inconsistencies in clinical practice guidelines: Methods and application to antibiotherapy. *Artif Intell Med.* 2018;89:24–33. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.04.013
- 16 Yazdanparast R., Abdolhossein Zadeh S., Dadras D., Azadeh A. An intelligent algorithm for identification of optimum mix of demographic features for trust in medical centers in Iran. *Artif Intell Med.* 2018;88:25–36. DOI:10.1016/j.artmed.2018.04.006
- 17 De Rossi D., Domenici C., Chiarelli P. Analogs of biological tissues for mechano-electrical transduction: tactile sensors and muscle-like actuators. In: *Sensors and sensory systems for advanced robots.* Springer, 1988. P. 201–18.
- 18 Giorgino T., Quaglini S., Lorassi F., De Rossi D. Experiments in the detection of upper limb posture through kinesthetic strain sensors. In: *International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN'06).* Cambridge, MA, 2006. P. 4–12. DOI: 10.1109/BSN.2006.25
- 19 Riul A., dos Santos D.S., Wohnrath K., Di Tommazo R., Carvalho A.C.P.L.F., Fonseca F.J. et al. Artificial taste sensor: efficient combination of sensors made from Langmuir — Blodgett films of conducting polymers and a ruthenium complex and self-assembled films of an azobenzene-containing polymer. *Langmuir.* 2002;18(1):239–45. DOI: 10.1021/la011017d
- 20 Liang F., Qian P., Su K.H., Baydoun A., Leisser A., Van Hedent S. et al. Abdominal, multi-organ, auto-contouring method for online adaptive magnetic resonance guided radiotherapy: An intelligent, multi-level fusion approach. *Artif Intell Med.* 2018;90:34–41. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.07.001
- 21 Piórkowski A. A statistical dominance algorithm for edge detection and segmentation of medical images. In: Piętko E., Badura P., Kawa J., Wicławek W. (eds) *Information Technologies in Medicine.* Springer; 2016:3–14.
- 22 Gandomkar Z., Brennan P.C., Mello-Thoms C. MuDeRN: Multi-category classification of breast histopathological image using deep residual networks. *Artif Intell Med.* 2018;88:14–24. DOI:10.1016/j.artmed.2018.04.005
- 23 Bardou D., Zhang K., Ahmad S.M. Lung sounds classification using convolutional neural networks. *Artif Intell Med.* 2018;88:58–69. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.04.008
- 24 Sundgren H., Winquist F., Lukkari I., Lundstrom I. Artificial neural networks and gas sensor arrays: quantification of individual components in a gas mixture. *Measur Sci Technol.* 1991;2(5):464. DOI: 10.1088/0957-0233/2/5/008
- 25 Gardner J.W., Shin H.W., Hines E.L. An electronic nose system to diagnose illness. *Sensors Actuators B: Chemical.* 2000;70(1):19–24. DOI: 10.1016/S0925-4005(00)00548-7
- 26 Di Francesco F., Fuoco R., Trivella M.G., Ceccarini A. Breath analysis: trends in techniques and clinical applications. *Microchem J.* 2005;79(1):405–10. DOI: 10.1016/j.microc.2004.10.008
- 27 Копылов Ф.Ю., Сыркин А.Л., Чомахидзе П.Ш., Быкова А.А., Щекочихин Д.Ю., Шалтаева Ю.Р. и др. Протонная масс-спектрометрия выдыхаемого воздуха в диагностике хронической сердечной недостаточности. *Кардиология.* 2016;56(5):37–41. DOI: 10.18565/cardio.2016.5.37-41
- 28 AlAgha A.S., Faris H., Hammo B.H., Al-Zoubi A.M. Identifying β -thalassemia carriers using a data mining approach: The case of the Gaza Strip, Palestine. *Artif Intell Med.* 2018;88:70–83. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.04.009
- 29 Richter A.N., Khoshgoftaar T.M. A review of statistical and machine learning methods for modeling cancer risk using structured clinical data. *Artif Intell Med.* 2018;90:1–14. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.06.002
- 30 Askari E., Setarehdan S.K., Ali Sheikhan, Mohammadi M.R., Teshnehlab M. Modeling the connections of brain regions in children with autism using cellular neural networks and electroencephalography analysis. *Artif Intell Med.* 2018;89:40–50. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.05.003
- 31 He B., Guan Y., Dai R. Classifying medical relations in clinical text via convolutional neural networks. *Artif Intell Med.* 2018 May 18 [in Press]. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.05.001
- 32 Epure E.V., Compagno D., Salinesi C., Deneckere R., Bajec M., Žitnik S. Process models of interrelated speech intentions from online health-related conversations. *Artif Intell Med.* 2018 July 18 [in Press]. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.06.007
- 33 Denecke K., van Harmelen F. Recent advances in extracting and processing rich semantics from medical texts. *Artif Intell Med.* 2018 Aug 3. pii: S0933-3657(18)30441-X. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.07.004
- 34 Koopman B., Zuccon G., Nguyen A., Bergheim A., Grayson N. Extracting cancer mortality statistics from death certificates: A hybrid machine learning and rule-based approach for common and rare cancers. *Artif Intell Med.* 2018;89:1–9. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.04.011
- 35 Gerevini A.E., Lavelli A., Maffi A., Maroldi R., Minard A.-L., Serina I. et al. Automatic classification of radiological reports for clinical care. *Artif Intell Med.* 2018. June 7 [in Press]. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.05.006
- 36 García M.A.M., Rodríguez R.P., Rifón L.A. Leveraging Wikipedia knowledge to classify multilingual biomedical documents. *Artif Intell Med.* 2018;88:37–57. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.04.007
- 37 da Costa C.A., Pasluosta C.F., Eskofier B., da Silva D.B., da Rosa Righi R. Internet of Health Things: toward intelligent vital signs monitoring in hospital wards. *Artif Intell Med.* 2018;89:61–9. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.05.005
- 38 Hela S., Amel B., Badran R. Early anomaly detection in smart home: A causal association rule-based approach. *Artif Intell Med.* 2018 Jun 29 [in Press]. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.06.001
- 39 Akbar Sh., Akram M.U., Sharif M., Tari A., Khan Sh.A. Decision support system for detection of hypertensive retinopathy using arteriovenous ratio. *Artif Intell Med.* 2018;90:15–24. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.06.004
- 40 Buzaev I.V., Plechev V.V., Nikolaeva I.E., Galimova R.M. Artificial intelligence: Neural network model as the multidisciplinary team member in clinical decision support to avoid medical mistakes. *Chronic Dis Transl Med.* 2016;2(3):166–72. DOI: 10.1016/j.cdtm.2016.09.007
- 41 Jun Guo, Xuan Yuan, Xia Zheng, Pengfei Xu, Yun Xiao, Baoying Liu. Diagnosis labeling with disease-specific characteristics mining. *Artif Intell Med.* 2018;90:25–33. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.06.006
- 42 Luo M., Zhao R. A distance measure between intuitionistic fuzzy sets and its application in medical diagnosis. *Artif Intell Med.* 2018;89:34–9. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.05.002
- 43 Yamada Y., Kobayashi M. Detecting mental fatigue from eye-tracking data gathered while watching video: evaluation in younger and older adults. *Artif Intell Med.* 2018. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.06.005
- 44 Valmarska A., Miljkovic D., Konitsiotis S., Gatsios D., Lavrač N., Robnik-Šikonja M. Symptoms and medications change patterns for Parkinson's disease patients stratification. *Artif Intell Med.* 2018 May 23. pii: S0933-3657(17)30587-0. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.04.010
- 45 Mendez J.A., Leon A., Marrero A., Gonzalez-Cava J.M., Reboso J.A., Estevez J.L. et al. Improving the anesthetic process by a fuzzy rule based medical decision system. *Artif Intell Med.* 2018;84:159–70. DOI: 10.1016/j.artmed.2017.12.005
- 46 AI Is Here — Are You Ready? *Chinafrica.* 2018;10:24.
- 47 Capodanno D., Di Salvo M.E., Cincotta G., Miano M., Tamburino C., Tamburino C. Usefulness of the SYNTAX score for predicting clinical outcome after percutaneous coronary intervention of unprotected left main coronary artery disease. *Circ Cardiovasc Interv.* 2009;2(4):302–8. DOI: 10.1161/CIRCINTERVENTIONS.108.847137
- 48 FDA permits marketing of artificial intelligence-based device to detect certain diabetes-related eye problems [Internet]. April 11, 2018. Available from: <https://www.fda.gov/NewsEvents/Newsroom/PressAnnouncements/ucm604357.htm>
- 49 FDA permits marketing of clinical decision support software for alerting providers of a potential stroke in patients [Internet]. February 13, 2018. Available from: <https://www.fda.gov/NewsEvents/Newsroom/PressAnnouncements/ucm596575.htm>
- 50 FDA permits marketing of artificial intelligence algorithm for aiding providers in detecting wrist fractures [Internet]. May 24, 2018. Available from: <https://www.fda.gov/NewsEvents/Newsroom/PressAnnouncements/ucm608833.htm>
- 51 Павлов В.Н., Билялов А.Р., Гильманова Р.Ф., Якупов Р.Р., Ковтуненко А.С., Биёмеев А.Т. и др. Использование интеллектуальных методов обработки данных раман-спектроскопии для диагностики злокачественных опухолей. *Медицинский вестник Башкортостана.* 2018;13(3):43–7.
- 52 Третье мнение — платформа для распознавания медицинских изображений. [cited 26.10.2018]. Available from: <https://3opinion.ru/rv>

References

- Ozhegov N.I. Shvedova N.Yu. Explanatory Dictionary of the Russian Language. 4th ed. Moscow, 1997–1999. (in Russ.)
- Stevenson A. (ed.) Oxford Dictionary of English. Oxford University Press, 2010.
- Kruger J., Dunning D. Unskilled and unaware of it: how difficulties in recognizing one's own incompetence lead to inflated self-assessments. *J Pers Soc Psychol.* 1999;77(6):1121–34. PMID: 10626367
- Tversky A., Kahneman D. Judgement under uncertainty: Heuristics and biases. *Sciences.* 1974;185(4157):1124–31. DOI: 10.1126/science.185.4157.1124
- Kosfeld M., Heinrichs M., Zak P.J., Fischbacher U., Fehr E. Oxytocin increases trust in humans. *Nature.* 2005;435(7042):673–6. DOI: 10.1038/nature03701

- 6 Clarke A.M., Friedrich J., Senn W., Tartaglia E.M., Marchesotti S., Herzog M.H. Human learning in non-Markovian decision making. Available from: <http://www.stat.columbia.edu/~johannes/docs/rldm2013.pdf>
- 7 Clarke A.M., Friedrich J., Tartaglia E.M., Marchesotti S., Senn W., Herzog M.H. Human and machine learning in non-markovian decision making. *PLoS One*. 2015;10(4):e0123105. DOI: 10.1371/journal.pone.0123105
- 8 Kotler P., Keller K.L. *Marketing Management*. 15th ed. Edinburgh: Pearson Education Limited, 2016.
- 9 Jiang F., Jiang Y., Zhi H., Dong Y., Li H., Ma S. et al. Artificial intelligence in healthcare: past, present and future. *Stroke Vasc Neurol*. 2017;2(4):230–43. DOI: 10.1136/svn-2017-000101
- 10 Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. *Deep Learning*. MIT Press, 2016.
- 11 Chollet F., Allaire J.J. (eds.) *Deep Learning with R*. Manning Publications, 2017.
- 12 Selivanov S.G., Guzairov M.B., Kutin A.A. *Innovatics. The university textbook*. Moscow: Machinostroyeniye, 2007. (in Russ.)
- 13 Poole D., Mackworth A., Goebel R. *Computational Intelligence: a logical approach*. New York: Oxford University Press, 1998.
- 14 Duque A., Stevenson M., Martinez-Romo J., Araujo L. Co-occurrence graphs for word sense disambiguation in the biomedical domain. *Artif Intell Med*. 2018;87:9–19. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.03.002
- 15 Tsopra R., Lamy J.-B., Sedki K. Using preference learning for detecting inconsistencies in clinical practice guidelines: Methods and application to antibiotherapy. *Artif Intell Med*. 2018;89:24–33. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.04.013
- 16 Yazdanparast R., Abdolhossein Zadeh S., Dadras D., Azadeh A. An intelligent algorithm for identification of optimum mix of demographic features for trust in medical centers in Iran. *Artif Intell Med*. 2018;88:25–36. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.04.006
- 17 De Rossi D., Domenici C., Chiarelli P. Analogs of biological tissues for mechano-electrical transduction: tactile sensors and muscle-like actuators. In: *Sensors and sensory systems for advanced robots*. Springer, 1988. P. 201–18.
- 18 Giorgino T., Quaglini S., Lorassi F., De Rossi D. Experiments in the detection of upper limb posture through kinesthetic strain sensors. In: *International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN'06)*. Cambridge, MA, 2006. P. 4–12. DOI: 10.1109/BSN.2006.25
- 19 Riul A., dos Santos D.S., Wohnrath K., Di Tommazo R., Carvalho A.C.P.L.F., Fonseca F.J. et al. Artificial taste sensor: efficient combination of sensors made from Langmuir — Blodgett films of conducting polymers and a ruthenium complex and self-assembled films of an azobenzene-containing polymer. *Langmuir*. 2002;18(1):239–45. DOI: 10.1021/la011017d
- 20 Liang F., Qian P., Su K.H., Baydoun A., Leisser A., Van Hedent S. et al. Abdominal, multi-organ, auto-contouring method for online adaptive magnetic resonance guided radiotherapy: An intelligent, multi-level fusion approach. *Artif Intell Med*. 2018;90:34–41. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.07.001
- 21 Piórkowski A. A statistical dominance algorithm for edge detection and segmentation of medical images. In: *Piętka E., Badura P., Kawa J., Wiclawek W. (eds) Information Technologies in Medicine*. Springer, 2016. P. 3–14.
- 22 Gandomkar Z., Brennan P.C., Mello-Thoms C. MuDeRN: Multi-category classification of breast histopathological image using deep residual networks. *Artif Intell Med*. 2018;88:14–24. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.04.005
- 23 Bardou D., Zhang K., Ahmad S.M. Lung sounds classification using convolutional neural networks. *Artif Intell Med*. 2018;88:58–69. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.04.008
- 24 Sundgren H., Winquist F., Lukkari I., Lundstrom I. Artificial neural networks and gas sensor arrays: quantification of individual components in a gas mixture. *Measur Sci Technol*. 1991;2(5):464. DOI: 10.1088/0957-0233/2/5/008
- 25 Gardner J.W., Shin H.W., Hines E.L. An electronic nose system to diagnose illness. *Sensors Actuators B: Chemical*. 2000;70(1):19–24. DOI: 10.1016/S0925-4005(00)00548-7
- 26 Di Francesco F., Fuoco R., Trivella M.G., Ceccarini A. Breath analysis: trends in techniques and clinical applications. *Microchem J*. 2005;79(1):405–10. DOI: 10.1016/j.microc.2004.10.008
- 27 Kopylov Ph.Yu., Syrkin A.L., Chomakhidze P.Sh., Bykova A.A., Shheko-chihin D. Yu., Shaltaeva Yu.R. et al. Proton transfer reaction mass spectrometry of exhaled breath in diagnostics of heart failure. *Kardiologiya*. 2016;56(5):37–41. (in Russ.). DOI: 10.18565/cardio.2016.5.37-41
- 28 AlAgha A.S., Faris H., Hammo B.H., Al-Zoubi A.M. Identifying β -thalassaemia carriers using a data mining approach: The case of the Gaza Strip, Palestine. *Artif Intell Med*. 2018;88:70–83. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.04.009
- 29 Richter A.N., Khoshgoftaar T.M. A review of statistical and machine learning methods for modeling cancer risk using structured clinical data. *Artif Intell Med*. 2018;90:1–14. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.06.002
- 30 Askari E., Setarehdan S.K., Ali Sheikhan, Mohammadi M.R., Teshnehlab M. Modeling the connections of brain regions in children with autism using cellular neural networks and electroencephalography analysis. *Artif Intell Med*. 2018;89:40–50. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.05.003
- 31 He B., Guan Y., Dai R. Classifying medical relations in clinical text via convolutional neural networks. *Artif Intell Med*. 2018 May 18 [in Press]. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.05.001
- 32 Epure E.V., Compagno D., Salinesi C., Deneckere R., Bajec M., Žitnik S. Process models of interrelated speech intentions from online health-related conversations. *Artif Intell Med*. 2018 July 18 [in Press]. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.06.007
- 33 Denecke K., van Harmelen F. Recent advances in extracting and processing rich semantics from medical texts. *Artif Intell Med*. 2018 Aug 3. pii: S0933-3657(18)30441-X. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.07.004
- 34 Koopman B., Zuccon G., Nguyen A., Bergheim A., Grayson N. Extracting cancer mortality statistics from death certificates: A hybrid machine learning and rule-based approach for common and rare cancers. *Artif Intell Med*. 2018;89:1–9. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.04.011
- 35 Gerevini A.E., Lavelli A., Maffi A., Maroldi R., Minard A.-L., Serina I. et al. Automatic classification of radiological reports for clinical care. *Artif Intell Med*. 2018. June 7 [in Press]. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.05.006
- 36 García M.A.M., Rodríguez R.P., Rifón L.A. Leveraging Wikipedia knowledge to classify multilingual biomedical documents. *Artif Intell Med*. 2018;88:37–57. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.04.007
- 37 da Costa C.A., Pasluosta C.F., Eskofier B., da Silva D.B., da Rosa Righi R. Internet of Health Things: toward intelligent vital signs monitoring in hospital wards. *Artif Intell Med*. 2018;89:61–9. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.05.005
- 38 Hela S., Amel B., Badran R. Early anomaly detection in smart home: A causal association rule-based approach. *Artif Intell Med*. 2018 Jun 29 [in Press]. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.06.001
- 39 Akbar Sh., Akram M.U., Sharif M., Tari A., Khan Sh.A. Decision support system for detection of hypertensive retinopathy using arteriovenous ratio. *Artif Intell Med*. 2018;90:15–24. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.06.004
- 40 Buzaev I.V., Plechev V.V., Nikolaeva I.E., Galimova R.M. Artificial intelligence: Neural network model as the multidisciplinary team member in clinical decision support to avoid medical mistakes. *Chronic Dis Transl Med*. 2016;2(3):166–72. DOI: 10.1016/j.cdtm.2016.09.007
- 41 Jun Guo, Xuan Yuan, Xia Zheng, Pengfei Xu, Yun Xiao, Baoying Liu. Diagnosis labeling with disease-specific characteristics mining. *Artif Intell Med*. 2018;90:25–33. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.06.006
- 42 Luo M., Zhao R. A distance measure between intuitionistic fuzzy sets and its application in medical diagnosis. *Artif Intell Med*. 2018;89:34–9. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.05.002
- 43 Yamada Y., Kobayashi M. Detecting mental fatigue from eye-tracking data gathered while watching video: evaluation in younger and older adults. *Artif Intell Med*. 2018. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.06.005
- 44 Valmarska A., Miljkovic D., Konitsiotis S., Gatsios D., Lavrač N., Robnik-Šikonja M. Symptoms and medications change patterns for Parkinson's disease patients stratification. *Artif Intell Med*. 2018 May 23. pii: S0933-3657(17)30587-0. DOI: 10.1016/j.artmed.2018.04.010
- 45 Mendez J.A., Leon A., Marrero A., Gonzalez-Cava J.M., Reboso J.A., Estevez J.I. et al. Improving the fuzzy process by a fuzzy rule based medical decision system. *Artif Intell Med*. 2018;84:159–70. DOI: 10.1016/j.artmed.2017.12.005
- 46 AI Is Here — Are You Ready? *Chinafrica*. 2018;10:24.
- 47 Capodanno D., Di Salvo M.E., Cincotta G., Miano M., Tamburino C., Tamburino C. Usefulness of the SYNTAX score for predicting clinical outcome after percutaneous coronary intervention of unprotected left main coronary artery disease. *Circ Cardiovasc Interv*. 2009;2(4):302–8. DOI: 10.1161/CIRCINTERVENTIONS.108.847137
- 48 FDA permits marketing of artificial intelligence-based device to detect certain diabetes-related eye problems [Internet]. April 11, 2018. Available from: <https://www.fda.gov/NewsEvents/Newsroom/PressAnnouncements/ucm604357.htm>
- 49 FDA permits marketing of clinical decision support software for alerting providers of a potential stroke in patients [Internet]. February 13, 2018. Available from: <https://www.fda.gov/NewsEvents/Newsroom/PressAnnouncements/ucm596575.htm>
- 50 FDA permits marketing of artificial intelligence algorithm for aiding providers in detecting wrist fractures [Internet]. May 24, 2018. Available from: <https://www.fda.gov/NewsEvents/Newsroom/PressAnnouncements/ucm608833.htm>
- 51 Pavlov V.N., Bilyalov A.R., Gilmanova R.F., Yakupov R.R., Kovtunen-ko A.S., Bikmeev A.T. et al. The use of intelligent data processing techniques of raman spectroscopy for the diagnosis of malignant tumors. *Bashkortostan Medical Journal*. 2018;13(3):43–7. (in Russ.)
- 52 Third Opinion — Medical Image Recognition Platform. [cited 26.10.2018]. Available from: <https://3opinion.ru/ru>