Российский иммунологический журнал
2025, Т. 28, № 3, стр. 355-362

Краткие сообщения
Short communications

Russian Journal of Immunology / Rossiyskiy Immunologicheskiy Zhurnal
2025, Vol. 28, № 3, pp. 355-362

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ИММУНОЛОГИИ: ОТ ОБЗОРА ЛИТЕРАТУРЫ ДО СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ

Бердюгина О.В.

ФГБУН «Институт иммунологии и физиологии» Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия

Резюме. Традиционное изучение литературы, использование стандартных методов анализа данных в иммунологии занимает значительное время, не всегда позволяя справиться с масштабом и сложностью проблемы. Искусственный интеллект может помочь в решении этого вопроса, автоматизируя процессы поиска и экспертизы актуальных сведений, позволяя ученым извлекать важные факты из больших объемов информации. Целью исследования стало определение потенциала искусственного интеллекта в иммунологических исследованиях с акцентом на автоматизацию сбора литературных данных и анализ цифровых сведений. Теоретическая часть работы основана на изучении материалов баз PubMed, Scopus, Google Scholar, ResearchGate за 2000-2025 годы, тип – оригинальная статья или обзор литературы. Основа стратегии поиска – использование ключевых слов, процесс отбора публикаций заключался в скрининге заголовков, аннотаций и полных текстов исследований. Практическая часть работы выполнена как сравнительный анализ результатов, ранее изученных данных, с выводами, полученными при использовании технологий искусственного интеллекта, на примерах моделей GPT v.4.0. Установлено, что технологи искусственного интеллекта могут быть полезны в работе над созданием обзора литературы по иммунологии, включая формирование резюме, синтез графиков и схем, визуализирующих новые сигнальные пути, взаимосвязи между клетками, факторы развития заболеваний. Помимо работы с текстами, искусственный интеллект может быть применен для статистической обработки и анализа цифровых данных, например, выявления закономерностей, решения вопросов прогнозирования, построения моделей, рассмотрения других более сложных задач. При сравнении ранее изученных данных с результатами использования GPT v.4.0 установлено, что у разных чат-ботов могут встречаться следующие недостатки: зависимость ответа от стиля формулирования запроса, синтез информации в очень обобщенном виде, создание небольших объемов

Адрес для переписки:
Бердюгина Ольга Викторовна
ФГБУН «Институт иммунологии и физиологии» Уральского отделения Российской академии наук
620049, Россия, г. Екатеринбург, ул. Первомайская, 106.
Тел.: 8 (904) 988-43-82.
E-mail: berolga73@rambler.ru

Address for correspondence:
Olga V. Berdiugina
Institute of Immunology and Physiology, Ural Branch, Russian Academy of Sciences
106 Pervomayskaya St
Ekaterinburg
620049 Russian Federation
Phone: +7 (904) 988-43-82.
E-mail: berolga73@rambler.ru

Образец цитирования:
О.В. Бердюгина «Использование возможностей искусственного интеллекта в иммунологии: от обзора литературы до статистической обработки и анализа полученных данных» // Российский иммунологический журнал, 2025. Т. 28, № 3. С. 355-362. doi: 10.46235/1028-7221-17100-UOA

© Бердюгина О.В., 2025
Эта статья распространяется по лицензии Creative Commons Attribution 4.0

For citation:
O.V. Berdiugina "Usage of artificial intelligence capabilities in immunology: From literature review to statistical processing and analysis of obtained data", Russian Journal of Immunology/ Rossiyskiy Immunologicheskiy Zhurnal, 2025, Vol. 28, no. 3, pp. 355-362. doi: 10.46235/1028-7221-17100-UOA

© Berdiugina O.V., 2025
The article can be used under the Creative Commons Attribution 4.0 License

DOI: 10.46235/1028-7221-17100-UOA

текста (до 1000 слов), риск плагиата, сложности с синтезом рисунков, схем, таблиц, представление исчерпывающей информации преимущественно на английском языке, самостоятельное синтезирование несуществующих ссылок на литературные источники. Выводы: 1. Искусственный интеллект может преобразовать иммунологические исследования, позволяя проводить более эффективный обзор литературы и более глубокий анализ данных, однако на начальных этапах требуется экспертный надзор. 2. По мере развития технологий искусственного интеллекта они станут неотъемлемой частью инструментария иммунолога.

Ключевые слова: искусственный интеллект, машинное обучение, GPT, чат-бот, анализ данных, иммунология

USAGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE CAPABILITIES IN IMMUNOLOGY: FROM LITERATURE REVIEW TO STATISTICAL PROCESSING AND ANALYSIS OF OBTAINED DATA

Berdiugina O.V.

Institute of Immunology and Physiology, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Екатеринburg, Russian Federation

Abstract. Traditional literature review and the standard methods of data analysis in immunology is time-consuming and does not allow rapid solution of large-scale and complex research problems. Artificial intelligence can assist in addressing this issue by automating the processes of search and evaluation of relevant information. The aim of this study was to determine the potential of artificial intelligence in immunological research, based on the automated collection of literature data and analysis of digital information. The theoretical aspect of the study was based on the analysis of materials from PubMed, Scopus, ResearchGate databases covering the years 2000-2025. The practical approach was conducted via comparative analysis of previously published data and conclusions obtained by means of artificial intelligence technologies, e.g., by GPT v.4.0 models. It was found that artificial intelligence technologies may be useful in conducting literature reviews in immunology, including compilation of findings, generation of graphical presentations, as well as visualization of new signaling pathways, cellular interactions, and disease-related factors. In addition to the text analysis, artificial intelligence may be applied to statistical processing and digital data analysis, such as detection of regularities, solution of forecasting issues, design of models. A comparison of previously studied data with the results obtained using GPT v.4.0 revealed several limitations of different chatbot models, including the dependence of responses on the style of query formulation, excessively generalized information synthesis, limited text output (up to 1,000 words), plagiarism risks, difficulties in generating figures, diagrams, and tables, presentation of comprehensive information predominantly in English, and spontaneous creation of non-existent references to the literature sources. *Conclusions:* 1. Artificial intelligence may sufficiently change immunological research, allowing for a more effective literature reviewing and deeper data analysis, however, requiring expert supervision at the initial stages. 2. Upon development of artificial intelligence technologies, they will become an integral part of the immunologist's toolkit.

Keywords: artificial intelligence, machine learning, GPT, chatbot, data analysis, immunology

Работа выполнена по теме государственного задания НИР ФГБУН «ИИФ» УрО РАН № гос. регистрации 122020900136-4

Введение

Развитие иммунологии как науки сопровождается экспоненциальным ростом числа новых исследований, ежегодной публикацией тысяч статей. Подобная тенденция, с одной стороны, дает возможность значимо расширять горизонты знаний, с другой стороны, создает существенные проблемы для ученых, старающихся быть в курсе последних новостей и успеть проанализировать информацию из разных источников. Особенностью увеличения объема новых сведений становится ситуация, когда специалисты, занимающиеся исследованием проблем, не связанных между собой разделов иммунологии, сталкиваются с коммуникативными барьерами или пробелами в знаниях друг друга.

Традиционное изучение литературы, использование стандартных методов анализа занимает значительное время, не всегда позволяя справиться с масштабом и сложностью проблемы. Искусственный интеллект (ИИ) может помочь в решении этого вопроса, автоматизируя процессы поиска и экспертизы актуальных сведений, позволяя ученым извлекать важные факты из больших объемов данных. Например, имеется опыт применения методов искусственного интеллекта в биомедицине с использованием программ обработки естественного языка (natural language processing, NLP), машинного (machine learning, ML) и глубокого обучения (deep learning, DL) [8].

Целью данной работы стало определение потенциала искусственного интеллекта в иммунологических исследованиях с акцентом на автоматизацию сбора литературных данных и анализ цифровых сведений.

Материалы и методы

Теоретическая часть работы основана на результатах изучения материалов из открытых источников – баз PubMed, Scopus, Google Scholar, ResearchGate – за 2000-2025 годы, тип – оригинальная статья или обзор литературы; из рассмотрения исключались редакционные статьи в связи с отсутствием ссылок на научно обоснованные исследования. Основа стратегии поиска – использование ключевых слов: artificial intelligence, machine learning, NLP, data analysis, GPT (generative pre-trained transformer), immunology. Процесс отбора публикаций заключался в скрининге заголовков и аннотаций, а также полных текстов исследований, ограничением была доступность источников информации для широкого пользователя: не включены «закрытые» публикации.

Практическая часть работы выполнена как сравнительный анализ результатов ранее изученных данных [1] с выводами, полученными при использовании технологий искусственного интеллекта, на примерах моделей GPT v.4.0, в частности ChatGPT (https://chatgpt.com/), API (https://platform.openai.com/), Duck.ai (https://duckduckgo.com/?q=DuckDuckGo+AI+Chat&ia=chat&duckai=1) от OpenAI, Microsoft 365 Copilot (https://www.microsoft.com/en-us/microsoft-365/copilot), Bing Chat (https://copilot.microsoft.com/chats/7M5nYXy3DNQC7vZVBVCwE) от Microsoft, DeepSeek-R1 (https://www.deepseek.com/) от Hangzhou DeepSeek Artificial Intelligence, Qwen (https://chat.qwenlm.ai/) от Alibaba Cloud, Med-PaLM (https://sites.research.google/med-palm/) от Google Research.

Для визуализации полученных данных использован шаблон из интернет-источника https://presentation-creation.ru/.

Результаты и обсуждение

Установлено, что процесс поиска и анализа научной информации в области иммунологии может быть автоматизирован путем привлечения искусственного интеллекта. Помимо этого, возможно решение еще одной важной задачи. Известно, что литературные обзоры, выявляющие пробелы в знаниях и определяющие актуальные направления поиска, нередко содержат авторскую оценку полученных сведений [6], при этом субъективность восприятия может привести к искажению фактов, недостоверным выводам, затрудняющим сравнение полученных данных. Искусственный интеллект позволяет избежать этого недостатка: он обезличивает взгляд на проблему.

Первым направлением работы с научными текстами с привлечением искусственного интеллекта может быть собственно создание обзора литературы на какую-либо тему, например «Оценка взаимосвязи между изменением функции иммунных клеток, концентрации цитокинов с клиническими формами болезни». В основе такой работы – анализ рефератов и полнотекстовых статей из доступных источников. В частности, исследование Mohammad Piri S. и соавт. (2024) продемонстрировало возможности искусственного интеллекта в создании литературного обзора, раскрывающего патогенетическую роль Tfh в развитии аутоиммунных заболеваний.

Вторым подходом к использованию новых технологий в иммунологии может быть использование искусственного интеллекта для обобщения литературных данных, а именно: создания кратких обзоров научных статей, написания авторефератов, резюме. Для пользователя такая возможность позволяет быстро ознакомиться с основными положениями и выводами публикации. Примером может быть обобщение сведений, касающихся подходов к изучению микробиома с целью оценки его взаимодействия с макроорганизмом на основе данных экспрессии генов, изменения уровня метаболитов при разных нозологических формах [4].

Третьим подходом в использовании искусственного интеллекта для работы с текстовыми данными в области иммунологии может быть возможность синтеза графиков и схем, визуализирующих новые сигнальные пути, выявляемые взаимосвязи между разными типами клеток, факторы развития заболеваний, что позволяет синтезировать современные гипотезы в науке. Например, Kirouac D.C. и соавт. (2012) продемонстрированы возможности визуализации протеин-протеино-

вого взаимодействия при воспалении, определены характеристики кинетического/логического моделирования воспалительной и опосредованной рецепторами передачи сигнала.

Таким образом, технологи искусственного интеллекта могут быть полезны в работе над созданием обзора литературы по иммунологии.

Помимо работы с текстами, ИИ может быть использован для статистической обработки данных, полученных в иммунологических исследованиях. В частности, такие сервисы, как Google Colab (https://colab.research.google.com/), Julius AI (https://julius.ai/), JASP (https://jasp-stats.org/) могут быть полезными для изучения результатов собственных исследований, Gnuplot (http://www.gnuplot.info/) – для графического представления данных.

Третье большое направление применения искусственного интеллекта в иммунологии – анализ полученных данных, например работа по выявлению закономерностей, вопросы прогнозирования, построения моделей, решение других более сложных задач. К основным областям работы с цифровыми данными можно отнести:

1. Собственно анализ и систематизацию больших объемов сведений, получаемых в результате геномных, транскриптомных, протеомных исследований [10]; многие авторы отмечают, что алгоритмы ИИ, в частности модели глубокого обучения, очень эффективны при анализе результатов высокопроизводительного секвенирования.

2. Прямую и обратную менделевскую рандомизацию, используемую для оценки взаимосвязи однонуклеотидных полиморфизмов (single nucleotide polymorphism, SNP) с фактором риска или фенотипическим признаком (нозологической формой) и для проверки обратной причинно-следственной связи в эпидемиологических исследованиях.

3. Выявление скрытых паттернов и установление корреляционных связей между параметрами, которые могут быть неочевидны при традиционном анализе данных, как представлено в публикации Elste J. и соавт. (2024), а также моделирование межклеточных взаимодействий, например, как в исследовании Kumar A. и соавт. (2024).

4. Идентификацию и классифицирование иммунных клеток в морфологических и гистологических препаратах с экспертной точностью как осуществили Crispino A. и соавт. (2024) в изучении Т-лимфоцитов при плоскоклеточной карциноме полости рта.

5. Прогнозирование иммунного ответа на терапию, вакцинацию, хирургическое лечение [15], поиск биомаркеров, например, старения на основе исследования транскриптомов отдельных клеток [13].

6. Персонализацию рекомендаций по диагностике и лечению с учетом имеющихся иммунологических данных [14] в том числе и на популяционном уровне, как, например, при пандемии COVID-19, когда исследования с привлечением возможностей искусственного интеллекта сыграли решающую роль в анализе иммунных реакций на SARS-CoV-2, что позволило получить ценную информацию для разработки вакцин [2].

Среди возможных сервисов по анализу цифровых данных с привлечением возможностей искусственного интеллекта: Bioconductor (https://www.bioconductor.org/) – для биоинформационных исследований, TensorFlow (https://www.tensorflow.org/) – для изучения генома, протеома, картирования генов, моделирования распространения инфекции, IBM Watson Studio (https://www.ibm.com/products/watson-studio) – для прогнозирования и управления рисками в иммунологии, Bioinformatics.org (https://www.bioinformatics.org/) – для анализа, моделирования и визуализации иммунологических данных.

Отдельно можно отметить возможности искусственного интеллекта в освоении иммунологии, как науки. С одной стороны, появилась перспектива быстрого доступа к необходимым данным из разных разделов дисциплины, с другой – способность синтеза ИИ тестов со множественными ответами для проверки полученных знаний [12].

Следующим этапом работы стало изучение потенциала искусственного интеллекта в решении научной задачи. На примере использования моделей GPT v.4.0 выполнен сравнительный анализ синтезированных ИИ с ранее проанализированными и опубликованными данными [1].

Установлено, что модели GPT удобны для получения ответов на конкретные запросы в условиях персонализированной обратной связи. Изучение функциональных возможностей показало наличие положительных и отрицательных сторон взаимодействия (рис. 1, табл. 1).

В целом использование ИИ в научных исследованиях является многообещающим, однако, для получения точных иммунологических сведений и создания оригинального контента требуется профессиональный надзор. Как следствие, несмотря на имеющийся потенциал, применение искусственного интеллекта в иммунологии в настоящее время сталкивается с некоторыми трудностями: имеется сложность в понимании того, на основании чего ИИ делает выводы. Необъективность набора данных, неполные аннотации и вариативность экспериментальных протоколов, могут ограничить точность и обобщаемость прогнозов/прогностических моделей, что пока создает сложности внедрения синтезированных ИИ

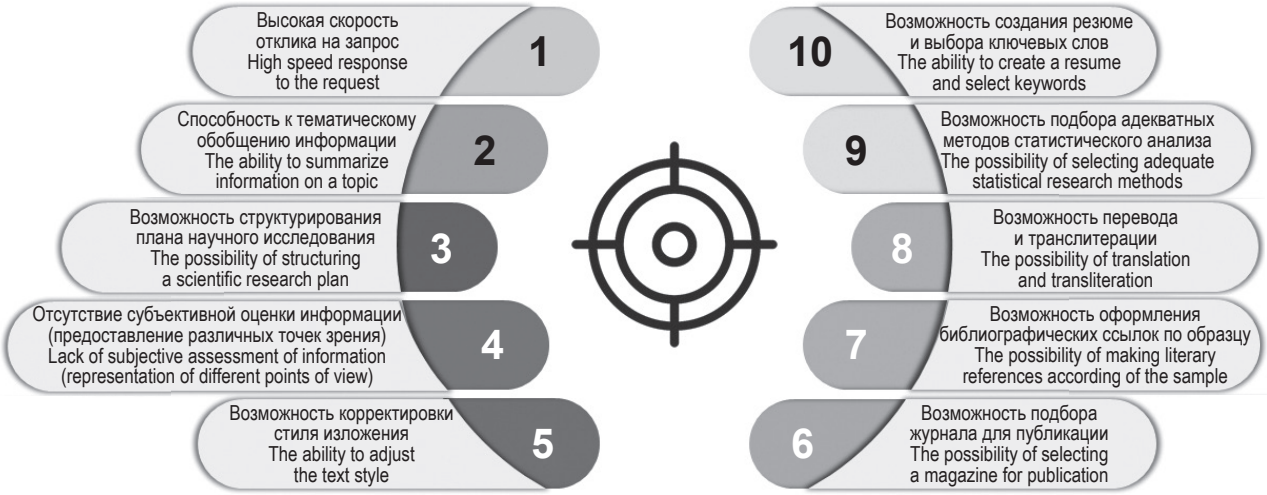

Рисунок 1. Положительные аспекты применения чат-ботов на базе GPT для научных исследований в области иммунологии на примере ранее проанализированных и опубликованных данных

Figure 1. Positive aspects of using GPT-powered chatbots for scientific research in immunology, exemplified by previously analyzed and published data

ТАБЛИЦА 1. ОТРИЦАТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧАТОВ НА БАЗЕ GENERATIVE PRE-TRAINED TRANSFORMER В ИММУНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ НА ПРИМЕРЕ РАНЕЕ ПРОАНАЛИЗИРОВАННЫХ И ОПУБЛИКОВАННЫХ ДАННЫХ

TABLE 1. NEGATIVE FEATURES OF THE RESULTS OF USING GPT-BASED CHATS IN IMMUNOLOGICAL RESEARCH USING THE EXAMPLE OF PREVIOUSLY ANALYZED AND PUBLISHED DATA

Выявленные особенности Identified features	**Пояснение** Explanation
Значительная зависимость ответа от стиля формулирования запроса A significant dependence of the response on the way the query is phrased	**В той или иной степени варьирует в разных чат-ботах, обусловлена наличием и использованием связи с обучающим набором данных** To one degree or another, it varies in different chatbots due to the presence and use of communication with the training dataset
Синтез информации в очень общем виде, возможны повторы для усиления впечатления о раскрытии темы запроса Synthesis of information in a very general way, repetitions are possible to enhance the impression of the disclosure of the subject of the request	**Например, ChatGPT в тексте ответа (введение, основная часть и заключение) предлагает три однообразные по смыслу формулировки; среди синтезированных ключевых слов было предложено только одно, состоящее из 1 слова, остальные – словосочетания из 2-3 слов** For example, ChatGPT offers three identical formulations in the response text (introduction, main part, and conclusion); among the synthesized keywords, only one consisted of 1 word, while the rest were phrases of 2-3 words
Синтез небольших объемов текста несмотря на запрос полноценной по объему статьи Creating a small text despite the request of a full-length article	**При запросе статьи размером в 3000 слов синтезируется текст объемом около 1000 слов; например, Microsoft 365 Copilot может предложить создание только структуры публикации** When requesting an article with a length of 3,000 words, a text with approximately 1,000 words will be generated; for instance, Microsoft 365 Copilot might suggest creating only the structure of the publication

Таблица 1 (окончание)
Table 1 (continued)

Выявленные особенности Identified features	**Пояснение** Explanation
Имеющийся риск плагиата, нет возможности проверить на наличие заимствований онлайн There is a high risk of plagiarism, and there is no way to check for borrowings online	**Причина – использование для обучения уже опубликованной информации; например, ChatGPT предлагает перейти на специализированные сервисы для определения наличия заимствований** The reason for potential plagiarism is the use of already published information for training; for example, ChatGPT suggests using specialized services to detect instances of plagiarism
Не все чат-боты позволяют синтезировать рисунки, схемы и таблицы Not all chatbots allow the synthesis of drawings, diagrams, and tables	**Например, при запросе DeepSeek-R1 иллюстрации к тексту статьи получен ответ: «не могу напрямую создавать или отображать визуальные рисунки или диаграммы, но могу описать их содержание»** For example, when requesting DeepSeek-R1 to provide illustrations for the article, the response was: “I cannot directly create or display visual images or diagrams, but I can describe their content”
Большая часть чат-ботов имеет лучшие возможности при работе на языке оригинала (чаще – на английском языке) Most chatbots have better capabilities when working in the original language (most often in English)	**Небольшая часть чат-ботов способна к работе на русском языке, но информационные возможности ниже, чем у англоязычных моделей** A small number of chatbots are capable of working in Russian, but their informational capabilities are lower compared to English-language models
Возможно самостоятельное синтезирование несуществующих ссылок для обзора литературы Artificial intelligence can independently generate non-existent references for a literature review	**Например, предложенная DeepSeek-R1ссылка:** **Wang L.L. et al. (2021) “Extracting immune-related gene-disease associations from PubMed using natural language processing.” *Bioinformatics*, 37(15), 2121–2129. https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btab123** **не существует, наиболее близкой по смыслу оказалась работа: Bravo À., Piñero J., Queralt-Rosinach N., Rautschka M., Furlong L.I. Extraction of relations between genes and diseases from text and large-scale data analysis: implications for translational research. BMC, 2015, Bioinformatics, Vol. 16, no. 55. https://doi.org/10.1186/s12859-015-0472-9** For example, the reference suggested by DeepSeek-R1: Wang L.L., et al. (2021). “Extracting immune-related gene-disease associations from PubMed using natural language processing.” *Bioinformatics*, 37(15), 2121–2129. https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btab123 does not exist, and the closest match in meaning is the paper: Bravo À., Piñero J., Queralt-Rosinach N., Rautschka M., Furlong L.I. Extraction of relations between genes and diseases from text and large-scale data analysis: implications for translational research. BMC, 2015, Bioinformatics, Vol. 16, no. 55 https://doi.org/10.1186/s12859-015-0472-9
Представление ссылок после статьи без упоминания в тексте The references used in the article are located at the end, and there are no citations in the text	**Предложенные Qwen chat ссылки приводились только в конце текста статьи** The references suggested by Qwen chat were placed only at the end of the article
Не определены условия публикации научных материалов, полученных путем использования ИИ The conditions for publishing scientific materials obtained through the use of AI have not been defined	**При публикации статей в журналах требуется указывать использование ИИ при подготовке работы** When publishing articles in journals, it is required to specify the use of AI in the preparation of the work

сведений в науку и практику. Вместе с тем, интеграция ИИ в иммунологические исследования, например, появляющиеся специализированные чат-боты, работающие с медико-биологическими данными, или такие флагманские модели, такие как Grok-3 и в целом модели следующего поколения (v.5.0), открывают огромные перспективы для улучшения нашего понимания иммунной системы и разработки новых терапевтических стратегий.

Выводы

1. Искусственный интеллект может преобразовать иммунологические исследования, позволяя проводить более эффективный обзор литературы и более глубокий анализ данных, однако на начальных этапах требуется экспертный надзор.

2. Несмотря на сохраняющиеся проблемы, постоянное развитие и ответственное использование инструментов, ИИ может ускорить открытия и улучшить результаты лечения пациентов.

3. По мере развития технологий искусственного интеллекта они станут неотъемлемой частью инструментария иммунолога.

Авторский комментарий

В ходе подготовки этой статьи для генерации ответов на некоторые вопросы, подбора синонимичных замен и сравнительного исследования с ранее полученными данными [1] был использован GPT v.4.0, вместе с тем весь созданный ИИ контент полностью редактировался в соответствии со стилистикой автора.

Автор несет полную ответственность за содержание публикации.

Список литературы / References

1. Бердюгина О.В., Гусев Е.Ю. Холекальциферол в роли средства неспецифической иммунопрофилактики COVID-19 // Медицинская иммунология, 2023, Т. 25, № 4. С. 823-830. [Berdiugina O.V., Gusev E.Yu Cholecalciferol as a means of nonspecific immunoprophylaxis against COVID-19. *Meditsinskaya immunologiya = Medical Immunology (Russia), 2023, Vol. 25, no. 4, pp. 823-830.* (In Russ.)] doi: 10.15789/1563-0625-CAA-2849.

2. Abd-Alrazaq A., Schneider J., Mifsud B., Alam T., Househ M., Hamdi M., Shah Z. A comprehensive overview of the COVID-19 literature: machine learning-based bibliometric analysis. *J. Med. Internet Res., 2021, Vol. 23, no. 3, e23703*. doi: 10.2196/23703.

3. Crispino A., Varricchio S., Ilardi G., Russo D., Di Crescenzo R.M., Staibano S., Merolla F. A Digital workflow for automated assessment of tumor-infiltrating lymphocytes in oral squamous cell carcinoma using QuPath and a StarDist-based model. *Pathologica, 2024, Vol. 116, no. 6, pp. 390-403*.

4. D'Elia D., Truu J., Lahti L., Berland M., Papoutsoglou G., Ceci M., Zomer A., Lopes M.B., Ibrahimi E., Gruca A., Nechyporenko A., Frohme M., Klammsteiner T., Pau E.C.S., Marcos-Zambrano L.J., Hron K., Pio G., Simeon A., Suharoschi R., Moreno-Indias I., Temko A., Nedyalkova M., Apostol E.-S., Truică C.-O., Shigdel R., Telalović J.H., Bongcam-Rudloff E., Przymus P., Jordamović N.B., Falquet L., Tarazona S., Sampri A., Isola G., Pérez-Serrano D., Trajkovik V., Klucar L., Loncar-Turukalo T., Havulinna A.S., Jansen C., Bertelsen R.J., Claesson M.J. Advancing microbiome research with machine learning: key findings from the ML4Microbiome COST action. *Front. Microbiol., 2023, Vol. 14, 1257002*. doi: 10.3389/fmicb.2023.1257002.

5. Elste J., Saini A., Mejia-Alvarez R., Mejía A., Millán-Pacheco C., Swanson-Mungerson M., Tiwari V. Significance of artificial intelligence in the study of virus-host cell interactions. *Biomolecules, 2024, Vol. 14, no. 8, 911*. doi: 10.3390/biom14080911.

6. Gupta L., Gasparyan A.Y., Misra D.P., Agarwal V., Zimba O., Yessirkepov M. Information and misinformation on COVID-19: a cross-sectional survey study. *J. Korean Med. Sci., 2020, Vol. 35, no. 27, e256*. doi: 10.3346/jkms.2020.35.e256.

7. Kirouac D.C., Saez-Rodriguez J., Swantek J., Burke J.M., Lauffenburger D.A., Sorger P.K. Creating and analyzing pathway and protein interaction compendia for modelling signal transduction networks. *BMC Syst. Biol., 2012, Vol. 6, 29*. doi: 10.1186/1752-0509-6-29.

8. Kryś J.D., Głowacki M., Śmieja P., Gront D. deepBBQ: A deep learning approach to the protein backbone reconstruction. *Biomolecules, 2024, Vol. 14, no. 11, 1448*. doi: 10.3390/biom14111448.

9. Kumar A., Dixit S., Srinivasan K., M D., Vincent P.M.D.R. Personalized cancer vaccine design using AI-powered technologies. *Front. Immunol., 2024, Vol. 15, 1357217*. doi: 10.3389/fimmu.2024.1357217.

10. Liang X., Zhou R., Li Y., Yang L., Su M., Lai K.P. Clinical characterization and therapeutic targets of vitamin A in patients with hepatocholangiocarcinoma and coronavirus disease. *Aging, 2021, Vol. 13, no. 12, pp. 15785-15800*. doi: 10.18632/aging.203220.

11. Mohammad Piri S., Amin Habibi M., Shool S., Khazaeli Najafabadi M., Ahmadpour S., Alemi F., Aria Nejadghaderi S., Shokri P., Abdi M., Asghari N., Amir Asef-Agah S., Tavakolpour S. Role of T follicular helper cells in autoimmune rheumatic Diseases: A systematic review on immunopathogenesis and response to treatment. *Hum. Immunol., 2024, Vol. 85, no. 5, 110838*. doi: 10.1016/j.humimm.2024.110838.

12. Stadler M., Horrer A., Fischer M.R. Crafting medical MCQs with generative AI: A how-to guide on leveraging ChatGPT. *GMS J. Med. Educ., 2024, Vol. 41, no. 2, 20*. doi: 10.3205/zma001675.

13. Wolf J., Rasmussen D.K., Sun Y.J., Vu J.T., Wang E., Espinosa C., Bigini F., Chang R.T., Montague A.A., Tang P.H., Mruthyunjaya P., Aghaeepour N., Dufour A., Bassuk A.G., Mahajan V.B. Liquid-biopsy proteomics combined with AI identifies cellular drivers of eye aging and disease in vivo. *Cell, 2023, Vol. 186, no. 22, pp. 4868-4884.e12*.

14. Wong D.S.H., Santos A.F. The future of food allergy diagnosis. *Front. Allergy, 2024, Vol. 5, 1456585*. doi: 10.3389/falgy.2024.1456585.

15. Xiang Z., Hu J., Bu S., Ding J., Chen X., Li Z. Machine learning based prediction models for the prognosis of COVID-19 patients with DKA. *Sci. Rep., 2025, Vol. 15, no. 1, 2633*. doi: 10.1038/s41598-025-85357-9.

Автор:

Бердюгина О.В. *— д.б.н., ведущий научный сотрудник лаборатории иммунологии воспаления ФГБУН «Институт иммунологии и физиологии» Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия*

Author:

Berdiugina O.V., *PhD, MD (Biology), Leading Researcher, Inflammation Immunology Laboratory, Institute of Immunology and Physiology, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation*

Поступила 27.02.2025
Отправлена на доработку 01.05.2025
Принята к печати 25.05.2025

Received 27.02.2025
Revision received 01.05.2025
Accepted 25.05.2025