

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

Бердюгина О. В. ¹

¹ ФГБУН Институт иммунологии и физиологии УрО РАН, Екатеринбург,
Россия.

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

Berdiugina O. V. ^a

^a Institute of Immunology and Physiology UrB RAS, Ekaterinburg, Russia.

Резюме

Введение. 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. **Материалы и методы.** 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. **Результаты и обсуждение.** Установлено, что технологии 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 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.

Abstract

Introduction. Traditional literature review and the use of standard data analysis methods in immunology require significant time and do not always allow researchers to cope with the scale and complexity of the problem. Artificial intelligence can assist in addressing this issue by automating the processes of searching for and evaluating relevant information. **The aim of this study** was to determine the potential of artificial intelligence in immunological research, focusing on the automation of literature data collection and the analysis of digital information. **Materials and methods.** The theoretical part of the study was based on the analysis of materials from the PubMed, Scopus, ResearchGate databases covering the years 2000–2025. The practical part of the study was conducted as a comparative analysis of previously studied data and conclusions obtained using artificial intelligence technologies, exemplified by GPT v.4.0 models. **Results and discussion.** It was found that artificial intelligence technologies can be useful in conducting literature reviews in immunology, including summarizing findings, generating graphical representations, and visualizing new signaling pathways, cellular interactions, and disease-related factors. In addition to text analysis, artificial intelligence can be applied to statistical processing and digital data analysis, such as identifying patterns, solving forecasting problems, building 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 query formulation style, overly generalized information synthesis, limited text output (up to 1,000 words), plagiarism risks, difficulties in generating figures, diagrams, and tables, the predominant presentation of comprehensive information in English, and the creation of non-existent references to literary sources. **Conclusion.** 1. Artificial intelligence can transform immunological research, allowing for a more effective literature review and deeper data analysis, but expert supervision is required at the initial stages. 2. As artificial intelligence technologies develop, they will become an integral part of the immunologist's toolkit.

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

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 несвязанных 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 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. et al (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, Kirocas D.C. et al (2012) продемонстрированы возможности визуализации протеин-протеинового взаимодействия при воспалении, определены характеристики кинетического/логического моделирования воспалительной и опосредованной рецепторами передачи сигнала.

Таким образом, технологии 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/) (<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;

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

3. идентификацию и классифицирование иммунных клеток в морфологических и гистологических препаратах с экспертной точностью как осуществили Crispino A. et al (2024) в изучении Т-лимфоцитов при плоскоклеточной карциноме полости рта;

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

4. 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 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.

Замечание

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.

(Работа выполнена по теме Государственного задания НИР ФГБУН «ИИФ» УрО РАН № Гос. регистрации 122020900136-4)

ТАБЛИЦЫ

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

<u>Выявленные особенности</u> <i>Identified features</i>	<u>Пояснение</u> <i>Explanation</i>
<u>Значительная зависимость ответа от стиля формулирования запроса</u> <i>A significant dependence of the response on the way the query is phrased</i>	<u>В той или иной степени, варьирует в разных чат-ботах, обусловлена наличием и использованием связи с обучающим набором данных</u> <i>To one degree or another, it varies in different chatbots due to the presence and use of communication with the training dataset</i>
Синтез информации в очень общем виде, возможны повторы для усиления впечатления о раскрытии темы запроса <i>Synthesis of information in a very general way, repetitions are possible to enhance the impression of the disclosure of the subject of the request</i>	<u>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</u> <i>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</i>
Синтез небольших объемов текста несмотря на запрос полноценной по объему статьи <i>Creating a small text despite the request of a full-length article</i>	<u>При запросе статьи размером в 3000 слов, синтезируется текст объемом около 1000 слов; например, Microsoft 365 Copilot может предложить создание только структуры публикации</u> <i>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</i>
Имеющийся риск плагиата, нет возможности проверить на наличие заимствований онлайн	<u>Причина – использование для обучения уже опубликованной информации; например, ChatGPT предлагает перейти на специализированные сервисы для определения наличия заимствований</u>

<i>There is a high risk of plagiarism, and there is no way to check for borrowings online</i>	<i>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</i>
Не все чат-боты позволяют синтезировать рисунки, схемы и таблицы <i>Not all chatbots allow the synthesis of drawings, diagrams, and tables</i>	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» <i>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»</i>
Большая часть чат-ботов имеет лучшие возможности при работе на языке оригинала (чаще – на английском языке) <i>Most chatbots have better capabilities when working in the original language (most often in English)</i>	Небольшая часть чат-ботов способна к работе на русском языке, но информационные возможности ниже, чем у англоязычных моделей <i>A small number of chatbots are capable of working in Russian, but their informational capabilities are lower compared to English-language models</i>
Возможно самостоятельное синтезирование несуществующих ссылок для обзора литературы <i>Artificial intelligence can independently generate non-existent references for a literature review</i>	Например, предложенная DeepSeek-R1 ссылка: Wang L.L., et al. (2021). "Extracting immune-related gene-disease associations from PubMed using natural language processing." <i>*Bioinformatics*</i>, 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 <i>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.</i>

	https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btab123 <i>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</i>
Представление ссылок после статьи без упоминания в тексте <i>The references used in the article are located at the end, and there are no citations in the text</i>	Предложенные Qwen chat ссылки приводились только в конце текста статьи <i>The references suggested by Qwen chat were placed only at the end of the article</i>
Не определены условия публикации научных материалов, полученных путем использования ИИ <i>The conditions for publishing scientific materials obtained through the use of AI have not been defined</i>	При публикации статей в журналах требуется указывать использование ИИ при подготовке работы <i>When publishing articles in journals, it is required to specify the use of AI in the preparation of the work</i>

РИСУНКИ

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



ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ_МЕТАДААННЫЕ

Блок 1. Информация об авторе ответственном за переписку

Бердюгина Ольга Викторовна, д.б.н., ведущий научный сотрудник лаборатории иммунологии воспаления ФГБУН Институт иммунологии и физиологии УрО РАН

ФГБУН Институт иммунологии и физиологии УрО РАН

620049 Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Первомайская, 106

тел. +7(904)988-43-82, e-mail: berolga73@rambler.ru

Berdiugina Olga Viktorovna, Ph.D., Dr.Sci. (Biol), Lead Researcher of the Inflammation Immunology Laboratory Institute of Immunology and Physiology, Ural Branch of Russian Academy of Sciences

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

620049 Russian Federation, Ekaterinburg, Pervomayskaya street, 106

tel. +7(904)988-43-82, e-mail: berolga73@rambler.ru

Блок 3. Метаданные статьи

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

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

Сокращенное название статьи для верхнего колонтитула:

Искусственный интеллект в иммунологии / ИИ в иммунологии

Artificial intelligence in immunology / AI in immunology

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

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

Иммунологические чтения в Челябинске 2025

Количество страниц текста – 5, количество таблиц – 1, количество рисунков – 1.

27.02.2025.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Порядковый номер ссылки	Авторы, название публикации и источника, где она опубликована, выходные данные	ФИО, название публикации и источника на английском	Полный интернет-адрес (URL) цитируемой статьи или ее doi.
1.	Бердюгина О.В., Гусев Е.Ю. Холекальциферол в роли средства неспецифической иммунопрофилактики COVID-19 // <i>Медицинская иммунология</i> , 2023, Т. 25, № 4, С. 823-830	Berdiugina O.V., Gusev E.Yu Cholecalciferol as a means of nonspecific immunoprophylaxis against COVID-19. <i>Meditinskaya immunologiya</i> = <i>Medical Immunology (Russia)</i> , 2023, Vol. 25, no. 4, pp. 823-830 (In Russ.)	https://doi.org/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. <i>Journal of medical Internet research</i> , 2021, Vol. 23, no. 3, p. e23703		https://doi.org/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. <i>Pathologica</i> , 2024, Vol. 116, no. 6, pp. 390–403		https://doi.org/10.32074/1591-951X-1069

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., Klammersteiner 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., Trajković 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. <i>Frontiers in microbiology</i> , 2023, Vol. 14, p. 1257002		https://doi.org/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. <i>Biomolecules</i> , 2024, Vol. 14, no. 8, p. 911		https://doi.org/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. <i>Journal of Korean medical science</i> , 2020, Vol. 35, no. 27, p. e256		https://doi.org/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. <i>BMC systems biology</i> , 2012, Vol. 6, p. 29		https://doi.org/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. <i>Biomolecules</i> , 2024, Vol. 14, no. 11, p. 1448		https://doi.org/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. <i>Frontiers in immunology</i> , 2024, Vol. 15, p. 1357217	https://doi.org/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. <i>Aging</i> , 2021, Vol. 13, no. 12, pp. 15785–15800	https://doi.org/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. <i>Human immunology</i> , 2024, Vol. 85, no. 5, p. 110838	https://doi.org/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. <i>GMS journal for medical education</i> , 2024, Vol. 41, no. 2, p. 20	https://doi.org/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. <i>Cell</i> , 2023, Vol. 186, no. 22, pp. 4868–4884.e12	https://doi.org/10.1016/j.cell.2023.09.012
14.	Wong D.S.H., Santos A.F. The future of food allergy diagnosis. <i>Frontiers in allergy</i> , 2024, Vol. 5, p. 1456585	https://doi.org/10.3389/fallergy.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. <i>Scientific reports</i> , 2025, Vol. 15, no. 1, p. 2633	https://doi.org/10.1038/s41598-025-85357-9