

РЕФЕРАТИВНЫЕ ОБЗОРЫ

Abstract reviews

Обзор

УДК 616-091.

DOI: 10.14489/lcmp.2024.03.pp.040-047

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА
В ДИАГНОСТИКЕ ОПУХОЛЕЙ ЛИМФОИДНОЙ ТКАНИ

Н. П. Зверев, И. В. Цветнов, М. В. Волошин, Н. С. Карнаухов

ГБУЗ «Московский клинический научно-практический центр им. А. С. Логинова» Департамента здравоохранения Москвы, Москва, Россия,
n.karnaukhov@mknc.ru

Злокачественные новообразования (ЗНО) лимфоидной и кроветворной ткани являются лидирующей причиной смертности среди молодого населения. Для оказания помощи таким пациентам необходима своевременная и достоверная верификация, что входит в задачи патологоанатомической службы. Наравне с ростом заболеваемости и смертности от ЗНО растет нагрузка на патологоанатомов, что, наряду с недостаточной укомплектованностью штатами, представляет актуальную проблему в здравоохранении. В этой связи применение искусственного интеллекта (ИИ) в медицине становится все более значимым и перспективным. Использование программ с генеративной предобученной моделью может служить эффективным инструментом для врача-патологоанатома в интерпретации гистологической картины и постановки диагноза опухоли лимфатической системы как в операционном, так и в биопсийном материале. Это позволит повысить качество и точность диагностики, оптимизировать рабочий процесс. В обзоре приведен анализ недавних научных исследований, изучающих возможности потенциального использования ИИ в диагностике ЗНО лимфоидной и кроветворной ткани.

Ключевые слова: искусственный интеллект, цифровая патология, лимфома, патология, глубокое обучение, система поддержки принятия решения.

Для цитирования: Зверев Н. П., Цветнов И. В., Волошин М. В., Карнаухов Н. С. Применение искусственного интеллекта в диагностике опухолей лимфоидной ткани // Лабораторная и клиническая медицина. Фармация. 2024. Т. 4, № 3. С. 40 – 47. DOI: 10.14489/lcmp.2024.03.pp.040-047

Review

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN LYMPHOID TISSUE TUMOR DIAGNOSIS

N. P. Zverev, I. V. Tsvetnov, M. V. Voloshin, N. S. Karnauhov

State Budgetary Institution 'A. S. Loginov Moscow Clinical Research and Practice Center', Department of Health Care of Moscow, Moscow, Russia

Lesions of lymphoid and hematopoietic tissue are the leading cause of mortality in young population among all malignant entities. To support the patients it should provide timely a reliable verification, which is the task of pathology service. Along with increasing of morbidity and mortality from malignant entities also the burden on pathologists is increasing. High work-flow on physicians combined with lack staffing remain urgent problems in healthcare. Currently, the application of artificial intelligence (AI) to laboratory practice plays a crucial role in medicine. The application of software with generative pre-trained model can support a pathologist in the interpretation of histological pattern and diagnosis of lymphatic system tumor in both surgical and biopsy samples. Diagnostic decision support improves a quality and accuracy of diagnosis and optimize the work process. Abstract review provides an analysis of recent scientific studies investigating the potential use of AI in the diagnosis of malignant entities of lymphoid and hematopoietic tissue.

Keywords: artificial intelligence, AI, digital pathology, lymphoma, pathology, deep learning, diagnostic decision support.

For citation: Zverev NP, Tsvetnov IV, Voloshin MV, Karnauhov NS. Application of artificial intelligence in lymphoid tissue tumor diagnosis. *Laboratory and Clinical Medicine. Pharmacy*. 2024;4(3):40-47. (In Russ). DOI: 10.14489/lcmp.2024.03.pp.040-047

Введение

Наряду с заболеваниями сердечно-сосудистой системы, ЗНО являются основными причинами смерти в 127 странах, при этом рак занимает первое место в 57 из них. На 2021 год лишь шесть государств не включали ЗНО в топ-3 ведущих причин смерти [1]. Заболеваемость и смертность от рака растет во всем мире, что связано как с общим старением и ростом численности населения, так и с распространением основных факторов риска заболеваний, которые обусловлены социально-экономическим развитием общества [2].

Согласно статистике, по локализациям среди обоих полов злокачественные заболевания лимфоидной и кроветворной ткани занимают 8 место (4,6 %), 7 место у мужчин (4,8 %), 7 место у женщин (4,4 %). У всех заболевших в возрасте до 30 лет наиболее часто развиваются гемобласты (32,8 %). В структуре смертности населения России злокачественные новообразования лимфатической и кроветворной ткани находятся на 7 месте (4,8 %), среди возрастных групп 0 – 29 лет (31,5 %) и 30 – 39 лет (16,4 %) – на первом месте [3]. Лидирующая позиция в смертности среди молодого населения выделяет вышеописанные локализации среди остальных злокачественных новообразований как несущие потенциальные социально-экономические потери.

Практическое использование цифровой патологии (подраздел патологии, включающий в себя управление данными на основе информации, полученной из оцифрованных слайдов образцов) началось в 1999 году, когда при помощи сканирования гистологических стекол появился способ получения высококачественного изображения всего препарата (whole slide imaging/WSI) [4]. WSI открыло дополнительные возможности для практикующих врачей – использование цифровых слайдов высокого качества любого увеличения применяется в научных статьях, в образовательных целях, для дистанционных консультаций с узкопрофильными специалистами и проведения телемедицинских консилиумов, создаются отдельные платформы для дистанционной работы с диагностическим материалом [5].

Изобретение программ с генеративной предобученной моделью и развитие их до уровня сдачи

экзамена на получение медицинской лицензии способно улучшить медицинскую диагностику [6]. С внедрением цифровой патологии в рутинную клиническую практику возникает вопрос о дальнейших перспективах ее развития в патологической анатомии. Исследование возможностей применения ИИ связан с использованием его в диагностическом процессе. В ряде ведущих институтов мира цифровая интерпретация частично или преимущественно внедрена, а некоторые производители предлагают сертифицированные патолого-анатомические продукты по определенным направлениям.

Литературные источники и материалы исследований изучались посредством поиска в ресурсах с открытым доступом – PubMed, Embase, Web of Science, Google Scholar и eLIBRARY за период 2017 – 2024 гг. Для анализа и оценки литературных данных были выбраны источники, соответствующие целям тематики работы. Преимущественно в списке литературы указаны научные статьи из базы данных PubMed. Использовались следующие ключевые слова: lymphoma, lymphoid tissue, hematopathology, pathology, WSI, histopathological images, deep learning, artificial intelligence.

Большая часть работ встретила в зарубежной литературе, отмечены единичные отечественные авторы в иностранных источниках и в российской литературе. Наиболее значимые публикации концептуально были разделены на четыре тематические группы: диагностика В-клеточных лимфом с помощью ИИ, диагностика генетических нарушений с помощью ИИ, диагностика экстранодальных лимфом с помощью ИИ и отдельные исследования с использованием ИИ в гематопатологии.

Диагностика В-клеточных лимфом с помощью ИИ

G. Steinbuss с соавт. [7] изучили коллекцию слайдов из 629 лимфатических узлов, 129 из них с диагнозом хронического лимфоцитарного лейкоза (ХЛЛ), 119 с диффузной В-крупноклеточной лимфомой (ДБКЛ) и 381 контрольный случай без опухолевого поражения. Нейросеть показала высокую балансируемую точность: для ДБКЛ балансируемая точность составила 95,67 %, для ХЛЛ – 95,56 %, для контрольного образца без опухолей – 98,67 %.

Авторы заключили, что применение ИИ возможно в контроле качества в рутинной патолого-анатомической диагностике, например, для автоматического скрининга случаев с сомнительными результатами, которые требуют дальнейшего рассмотрения. Однако, диагностика неходжкинских лимфом всегда должна проводиться под наблюдением патологоанатома, чтобы избежать ошибочного диагноза и потенциально вредных последствий для пациентов.

А. М. Tsakiroglou с соавт. [8] продемонстрировали возможности использования ИИ в автоматической сортировке материала с подозрением на опухоли лимфоидной ткани для направления в специализированные центры гематопатологии. С точки зрения авторов, предложенный способ позволит не тратить время патологоанатомов общего профиля на «ручную» сортировку.

Выборка состояла из 641 скана лимфатических узлов (WSI) с примерно равным соотношением трех наиболее распространенных подтипов лимфом (фолликулярная лимфома (ФЛ), ДБКЛ и классическая лимфома Ходжкина), а также с контролем в виде реактивных изменений лимфатических узлов, окрашенных гематоксилином и эозином. В эксперименте участвовало два врача-гематопатолога и врача-патологоанатома не гематологического профиля. По результатам AUC-анализа два специалиста гематопатолога достигли высокой точности диагностики между злокачественными и реактивными случаями: 0,925 (чувствительность = 0,967, специфичность = 0,935). Врач-патологоанатом не гематологического профиля достиг умеренной точности диагностики: 0,650 (чувствительность = 0,467, специфичность = 0,438). ИИ достиг высокой точности диагностики: 0,932 (чувствительность = 0,971, специфичность = 0,937).

Таким образом, при различении между злокачественными и реактивными случаями ИИ достиг точности диагностики, эквивалентной таковой у двух врачей-гематопатологов, и выше, чем у врача-патологоанатома не гематологического профиля.

С. Syrykh с соавт. [9] в своей работе опробовали инновационный подход к обучению ИИ с Байесовским подходом, который до этого никогда не применялся для диагностики злокачественных новообразований на WSI, достигнув показателя точности диагностики 91 % между ФЛ и фолликулярной гиперплазией. Также авторы исследования собрали более 100 000 случаев опухолей лимфоидной ткани во французской сети Lymphopath, охватывающей все гистологические типы, перечис-

ленные в классификации ВОЗ. Авторы заключили, что применение ИИ может быть перспективным инструментом для скрининга лимфомы в эпоху цифровой патологии.

Диагностика генетических нарушений с помощью ИИ

Программы с предобученной моделью способны отличать и генетические особенности опухолей, анализируя гистологические препараты, окрашенные гематоксилином и эозином.

Z. Swiderska-Chadaj с соавт. [10] использовали ИИ для обнаружения мутаций в гене MYC. Авторами были отобраны 287 случаев, окрашенных гематоксилином и эозином. Общая чувствительность для обнаружения реаранжировки MYC составила 0,93, а специфичность – 0,52. Таким образом, прогнозирование транслокации MYC на основе только морфологии было возможно в 93 % случаев перестройки MYC. Исследователи дополнительно указали, что данный метод при скрининговом применении способен сэкономить примерно 34 % генетических тестов.

В другом исследовании С. Perry с соавт. [11] с помощью ИИ определяли В-клеточные лимфомы высокой степени злокачественности с реаранжировками MYC, BCL-2 и/или BCL-6 (double-hit и triple-hit), выявляемой в настоящий момент только с помощью метода флуоресцентной гибридизации *in situ* (FISH). В исследование был включен в общей сложности материал биопсий 57 пациентов, с разделением на обучающую выборку (32 случая, включая 5 случаев лимфомы double-hit) и тестовую выборку (25 случаев, включая 10 случаев лимфомы double-hit и triple-hit). Точность диагностики ИИ составила 92 %, а площадь под кривой (AUC) – 0,95; чувствительность – 100 % и специфичность 86,7 % (из-за двух ложноположительных случаев, отрицательных по FISH-анализу). По литературным данным, результат опережает стандартные критерии скрининга, показавшие в исследованиях чувствительность в диапазоне от 56 % до 89 % и специфичность в диапазоне от 54 % до 64 %.

Диагностика экстранодальных лимфом с помощью ИИ

Дифференциацию мономорфной эпителиотропной Т-клеточной лимфомы кишечника (MEITL) с кишечной Т-клеточной лимфомой (ITCL-NOS) с отдельным изучением ядерных морфометрических признаков провели W. H. Yu с соавт. [12], использо-

вав для выборки 40 гистопатологических цифровых изображений. Авторы достигли площади под кривой (AUC) 0,966, что сравнимо с диагностической точностью опытного гематопатолога.

Крупноклеточная трансформация ФЛ и ХЛЛ в костном мозге может быть оценена искусственным интеллектом, согласно работе L. Irshaid с соавт. [13], в которой машинная количественная оценка продемонстрировала лучшую воспроизводимость и более сильную корреляцию с окончательными данными о результатах по сравнению с оценками, полученными патологоанатомами.

Диагностика лимфом кожи с помощью ИИ находится в начале пути, и для проведения дальнейших исследований по этой теме предстоит решить ряд проблем, связанных со сложностью диагностики и редкостью нозологии [14].

Отдельные исследования с использованием ИИ в гематопатологии

М. Cristian с соавт. [15] провели сравнение индекса пролиферации Ki67 при желудочно-кишечных ДБКЛ между традиционным методом оценки и автоматическим анализом с использованием ИИ. Визуальная оценка доктором давала более низкие значения Ki67, чем автоматизированный анализ цифровых изображений. Коэффициент согласия между традиционным методом и методом ИИ указывает на отличный уровень надежности (ICC1 – 0,970, ICC2 – 0,990). По мнению авторов, автоматическая идентификация оказалась более объективной и воспроизводимой. Оценка Ki67 с помощью программного обеспечения может достичь цели повышения производительности труда патологоанатомов и демонстрирует возможности интеграции автоматизированного скринингового диагностического процесса в будущем.

Еще в 2017 году проводились анализы, показавшие эффективность ИИ, когда в рамках конкурса семь алгоритмов глубокого обучения показали большую избирательность, чем группа из 11 патологоанатомов в обнаружении метастазов рака молочной железы в лимфатических узлах [16].

В обзоре исследований, касающихся использования ИИ с целью обнаружения метастазов в лимфатических узлах, Caldonazzi N., с соавт. [17] обозначили два ключевых ограничения метода. Во-первых, системы ИИ были разработаны для обнаружения только одного основного патологического поражения (т.е. обнаружения метастатических клеток), что не позволяло диагностировать иные важные особенности (лимфома/реактивные изменения). Во-вторых, программы ИИ часто

сталкивались с трудностями в диагностике небольших по размеру очагов.

Как опухолевая, так и неопухолевая патология могут быть распознаны при помощи ИИ, однако в сложных диагностических случаях специалист принимает решение самостоятельно, используя нейронные сети в качестве поддержки (от англ. diagnostic decision support) [18]. Работы иностранных авторов также демонстрируют, что исследования в этой области остаются ограниченными и заключения любой системы оцифровки требуют контроля со стороны патологоанатома, но результаты совместной с ИИ работой будут более точными, последовательными и полезными [19,20]. Несмотря на то, что количество исследований и публикаций о применении ИИ в гематопатологии растет, для полноценного клинического внедрения этих систем в будущем требуется подготовка и разработка совместных программ сотрудничества между патологоанатомами, биоинформатиками и клиницистами [21]. Интеграция ИИ для практического применения в патологической анатомии проходит неспешно – влияние могут оказывать как значительная стоимость оборудования, так и вопросы безопасности [22]. Кроме того, доказано, что для обучения модели глубокого обучения сложно предоставить достаточное количество помеченных изображений, поскольку необходимо учитывать временные затраты на экспертов в области гематопатологии, предоставляющих аннотации основных фактов [23].

Патологоанатомическая диагностика занимает важное место в онкологии – патологи принимают участие во всей практической деятельности клинических специалистов [24]. При очевидной необходимости в работе патологов, состояние службы не позволяет полностью реализовывать поставленные задачи: средняя суммарная нагрузка в расчете на одного врача-патологоанатома составила 4,60 ставочных нормы, а укомплектованность штатов составила 74,4 % в 2022 г. [25]. Тенденция к росту заболеваемости и смертности от ЗНО приводит к необходимости решения вопроса о повышении эффективности работы патологоанатомических отделений. Последние исследования в области применения ИИ подчеркивают перспективность его использования для обновления производственной концепции работы патологоанатома. Регулирующие органы в США и Европейских странах уже одобрили инструменты ИИ для клинического использования в гистопатологической диагностике рака простаты и молочной желе-

зы [26], что ставит диагностику остальных патологий программами машинного обучения вопросом времени.

Заключение

В статье проведен обзор научных исследований, посвященных применению машинного обучения в патоморфологической диагностике опухолей лимфоидной ткани. Алгоритмы с использованием машинного обучения уже сегодня позволяют с достоверностью более 90 % дифференцировать ДБКЛ и реактивные гиперплазии по отсканированным гистологическим препаратам, что сопоставимо с врачом-гематопатологом, и в перспективе сможет сократить время, затрачиваемое на сортировку «гематологического» и «негематологического» материала с целью приоритизации исследований. Нарушения в гене МУС поддаются верификации с переменными показателями чувствительности и специфичности, отдельно авторы отмечают экономический потенциал использования ИИ в определении вышеописанных реаранжировок. Дополнительно стоит упомянуть о том, что программы ИИ распознают мутации на слайдах препаратов, окрашенных гематоксилином и эозином, – возможно, при изменении гена МУС существует морфологический паттерн, на данный момент не обнаруженный исследователями. Значимый результат присутствует в определении индекса Ki67 при ДБКЛ и наличия метастатического поражения в лимфоузлах – однако, во втором случае система не может распознавать иные поражения лимфатических узлов. В исследованиях отмечается тенденция к обсуждению использования ИИ как вспомогательного инструмента, оптимизирующего рабочий процесс врачей-гематопатологов. Несмотря на относительно небольшое количество работ, посвященных применению программ с предобученной моделью в области опухолевых поражений лимфоидной ткани, что, скорее всего, обусловлено малым объемом гематологического материала в общем массиве прижизненных патологоанатомических исследований, результаты исследований подчеркивают возможность включения ИИ в рабочий процесс. Для реализации практического применения ИИ в гематопатологии необходимо решить много вопросов, таких как юридические, этические и экономические и др., что требует тесного взаимодействия с междисциплинарным сообществом.

Список литературы

1. Bray F., Laversanne M., Weiderpass E., Soerjomataram I. The ever-increasing importance of cancer as a lead-

ing cause of premature death worldwide // *Cancer*. 2021. Vol. 127, N 16. P. 3029-3030.

2. Omran A.R. The epidemiologic transition. A theory of the epidemiology of population change // *Milbank Mem Fund Q*. 1971. Vol. 49, N4. P. 509-538.

3. Каприн А.Д., Старинский В.В., Шахзадова А.О., ред. Злокачественные новообразования в России в 2021 году (заболеваемость и смертность). М.: МНИОИ им. П.А. Герцена; 2022.

4. Pantanowitz L., Valenstein P.N., Evans A.J., et al. Review of the current state of whole slide imaging in pathology // *J. Pathol. Inform*. 2011. Vol. 2. P. 36.

5. Remez A.I., Zhuravlev A.S., Fattakhov A.O., et al. Digital pathology in Russia: experience and perspectives // *RMJ. Medical Review*. 2018. Vol. 6. P. 19-21.

6. Cutler D.M. What artificial intelligence means for health care // *JAMA Health Forum*. 2023. Vol. 7, N4. P. e232652.

7. Steinbuss G., Kriegsmann M., Zgorzelski C., et al. Deep learning for the classification of non-hodgkin lymphoma on histopathological images // *Cancers (Basel)*. 2021. Vol. 13, N10. P. 2419.

8. Tsakiroglou A.M., Bacon C.M., Shingleton D., et al. Lymphoma triage from H&E using AI for improved clinical management // *J Clin Pathol*. 2023. DOI: jcp-2023-209186

9. Syrykh C., Abreu A., Amara N., et al. Accurate diagnosis of lymphoma on whole-slide histopathology images using deep learning // *NPJ Digit Med*. 2020. Vol. 3, N1. P. 63.

10. Swiderska-Chadaj Z, Hebeda KM, van den Brand M, et al. Artificial intelligence to detect MYC translocation in slides of diffuse large B-cell lymphoma // *Virchows Arch*. 2021. Vol. 479, N3. P. 617-621.

11. Perry C, Greenberg O, Haberman S, et al. Image-based deep learning detection of high-grade B-cell lymphomas directly from hematoxylin and eosin images // *Cancers (Basel)*. 2023. Vol. 21, N15. P. 5205.

12. Yu W.H., Li C.H., Wang R.C., et al. Machine learning based on morphological features enables classification of primary intestinal T-cell lymphomas // *Cancers (Basel)*. 2021, Vol. 21, N13. P.54-63.

13. Irshaid L., Bleiberg J., Weinberger E., et al. Histopathologic and machine deep learning criteria to predict lymphoma transformation in bone marrow biopsies // *Arch Pathol Lab Med*. 2022. Vol. 146, N2. P. 182-193.

14. Doeleman T., Hondelink L.M., Vermeer M.H., et al. Artificial intelligence in digital pathology of cutaneous lymphomas: A review of the current state and future perspectives // *Semin Cancer Biol*. 2023. Vol. 94. P.81-88.

15. Cristian M., Aşchie M., Deacu M., et al. Comparison of Ki67 proliferation index in gastrointestinal non-Hodgkin large B-cell lymphomas: the conventional method of evaluation or AI evaluation? // *Diagnostics (Basel)*. 2023. Vol. 17, N13. P. 2775.

16. Ehteshami Bejnordi B., Veta M., Johannes van Diest P., et al. Diagnostic assessment of deep learning algorithms for detection of lymph node metastases in women with breast cancer // *JAMA*. 2017. Vol. 318, N22. P. 2199-2210.

17. Caldonazzi N., Rizzo P.C., Eccher A., et al. Value of artificial intelligence in evaluating lymph node metastases // *Cancers (Basel)*. 2023. Vol. 15, N9. P. 2491.
18. Борбат А.М. Нейронные сети в морфологической диагностике. // Клиническая и экспериментальная морфология. 2020. Т. 9, №2. С. 11-15.
19. Niazi M.K.K., Parwani A.V., Gurcan M.N. Digital pathology and artificial intelligence // *Lancet Oncol*. 2019. Vol. 20, N5. P. e253-e261.
20. El Achi H., Khoury J.D. Artificial intelligence and digital microscopy applications in diagnostic hematopathology // *Cancers (Basel)*. 2020. Vol. 12, N4. P. 797.
21. Moran-Sanchez J., Santisteban-Espejo A., Martin-Piedra M.A., et al. Translational applications of artificial intelligence and machine learning for diagnostic pathology in lymphoid neoplasms: a comprehensive and evolutive analysis // *Biomolecules*. 2021. Vol. 11, N6. P.793.
22. Шелехова К.В. Возможности и перспективы искусственного интеллекта в патоморфологической диагностике рака // Практическая онкология. 2022. Т. 23, №4. С. 234-238.
23. Hu Y., Luo Y., Tang G., et al. Artificial intelligence and its applications in digital hematopathology // *Blood Sci*. 2022. Vol. 4, N3. P. 136-142.
24. Лушников Е.Ф. Цели и методы работы патологоанатома в современной онкологии // Онкология. Журнал им. П.А. Герцена. 2017. Т. 6, №2. С. 67-72.
25. Франк Г.А., Стародубова В.И., ред. Состояние и основные задачи развития патолого-анатомической службы Российской Федерации: отраслевое статистическое исследование за 2022 год. М.: Минздрав России; 2023.
26. Shafi S., Parwani A.V. Artificial intelligence in diagnostic pathology // *Diagn Pathol*. 2023. Vol. 18, N1. P. 109.
7. Steinbuss G, Kriegsmann M, Zgorzelski C, et al. Deep learning for the classification of non-hodgkin lymphoma on histopathological images. *Cancers (Basel)*. 2021;13(10):2419. DOI: 10.3390/cancers13102419
8. Tsakiroglou AM, Bacon CM, Shingleton D, et al. Lymphoma triage from H&E using AI for improved clinical management. *J Clin Pathol*. 2023. DOI: 10.1136/jcp-2023-209186
9. Syrykh C, Abreu A, Amara N, et al. Accurate diagnosis of lymphoma on whole-slide histopathology images using deep learning. *NPJ Digit Med*. 2020;3:63. DOI: 10.1038/s41746-020-0272-0
10. Swiderska-Chadaj Z, Hebeda KM, van den Brand M, et al. Artificial intelligence to detect MYC translocation in slides of diffuse large B-cell lymphoma. *Virchows Arch*. 2021;479(3):617-21. DOI: 10.1007/s00428-020-02931-4
11. Perry C, Greenberg O, Haberman S, et al. Image-based deep learning detection of high-grade B-cell lymphomas directly from hematoxylin and eosin images. *Cancers (Basel)*. 2023;15(21):5205. DOI: 10.3390/cancers15215205
12. Yu WH, Li CH, Wang RC, et al. Machine learning based on morphological features enables classification of primary intestinal T-cell lymphomas. *Cancers (Basel)*. 2021;21(13):54-63. DOI: 10.3390/cancers13215463
13. Irshaid L, Bleiberg J, Weinberger E, et al. Histopathologic and machine deep learning criteria to predict lymphoma transformation in bone marrow biopsies. *Arch Pathol Lab Med*. 2022;146(2):182-93. DOI: 10.5858/arpa.2020-0510-OA
14. Doeleman T, Hondelink LM, Vermeer MH, et al. Artificial intelligence in digital pathology of cutaneous lymphomas: A review of the current state and future perspectives. *Semin Cancer Biol*. 2023;94:81-8. DOI: 10.1016/j.semcancer.2023.06.004
15. Cristian M, Aşchie M, Deacu M, et al. Comparison of Ki67 proliferation index in gastrointestinal non-Hodgkin large B-cell lymphomas: the conventional method of evaluation or AI evaluation? *Diagnostics (Basel)*. 2023;13(17):2775. DOI: 10.3390/diagnostics13172775
16. Ehteshami Bejnordi B, Veta M, Johannes van Diest P, et al. Diagnostic assessment of deep learning algorithms for detection of lymph node metastases in women with breast cancer. *JAMA*. 2017;318(22):2199-210. DOI: 10.1001/jama.2017.14585
17. Caldonazzi N, Rizzo PC, Eccher A, et al. Value of artificial intelligence in evaluating lymph node metastases. *Cancers (Basel)*. 2023;15(9):2491. DOI: 10.3390/cancers15092491
18. Борбат А.М. Нейронные сети в морфологической диагностике. *Клиническая и экспериментальная морфология*. 2020;9(2):11-15. (In Russ).
19. Niazi MKK, Parwani AV, Gurcan MN. Digital pathology and artificial intelligence. *Lancet Oncol*. 2019;20(5):e253-e261. DOI: 10.1016/S1470-2045(19)30154-8
20. El Achi H, Khoury JD. Artificial Intelligence and Digital Microscopy Applications in Diagnostic Hematopathology. *Cancers (Basel)*. 2020;12(4):797. DOI: 10.3390/cancers12040797
21. Moran-Sanchez J, Santisteban-Espejo A, Martin-Piedra MA, et al. Translational applications of artificial

References

intelligence and machine learning for diagnostic pathology in lymphoid neoplasms: a comprehensive and evolutive analysis. *Biomolecules*. 2021;11(6):793. DOI: 10.3390/biom11060793

22. Shelekhova KV. Vozmozhnosti i perspektivy iskusstvennogo intellekta v patomorfologicheskoy diagnostike raka. *Prakticheskaya onkologiya*. 2022;23(4):234-8. (In Russ).

23. Hu Y, Luo Y, Tang G, et al. Artificial intelligence and its applications in digital hematopathology. *Blood Sci*. 2022;4(3):136-42. DOI: 10.1097/BS9.000000000000130

24. Lushnikov EF. Celi i metody raboty patologoanatora v sovremennoj onkologii. *Onkologiya. Zhurnal* im. P. A. Gercena. 2017;6(2):67-72. (In Russ).

25. Frank GA, Starodubova VI, editors. Sostoyanie i osnovnye zadachi razvitiya patologo-anatomicheskoy sluzhby Rossijskoj Federacii: Otrasevye statisticheskoe issledovanie za 2022 god. Moscow: Minzdrav Rossii; 2023. (In Russ).

26. Shafi S, Parwani AV. Artificial intelligence in diagnostic pathology. *Diagn Pathol*. 2023;18(1):109. DOI: 10.1186/s13000-023-01375-z

Поступила в редакцию / Received 18.06.2024

Принята к публикации / Accepted 01.08.2024

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Financing. The study was conducted without sponsorship.

Вклад авторов.

Н. П. Зверев: 100 % участия в разработке концепции и дизайна статьи, 50 % сбор материалов.

И. В. Цветнов: 50 % сбора материалов, 100 % участия в работе над компиляцией материалов, 80 % участия в оформлении статьи по правилам для авторов.

М. В. Волошин: 100 % участия в оформлении статистических данных для статьи.

Н. С. Карнаухов: 20 % участия в оформлении статьи по правилам для авторов, 100 % участия в написании абстрактов на русском и на английском.

Authors' contributions.

N. P. Zverev: 100 % participation in the development of the concept and design of the article, 60 % of the materials collection.

I. V. Tsvetnov: 100 % participation in the writing of abstracts in Russian and English, 100 % participation in the work of compiling materials, 70 % participation in the preparation of the manuscript according to the rules for authors.

M. V. Voloshin: 100 % participation in the design of statistical data for the manuscript.

N. S. Karnaukhov: 30 % participation in the preparation of the manuscript according to the rules for authors, 40 % of the materials collection.

Сведения об авторах / Information about authors



Николай Павлович Зверев – ординатор патологоанатомического отделения ГБУЗ МКНЦ им. А. С. Логинова ДЗМ, Москва, Россия.

Nikolai P. Zverev – resident, State Budgetary Institution 'A.S. Loginov Moscow Clinical Research and Practice Center', Department of Health Care of Moscow, Moscow, Russia.

E-mail: asenvaleboy@gmail.com

ORCID: 0000-0001-8642-9569



Илья Вадимович Цветнов – врач патологоанатомического отделения ГБУЗ МКНЦ им. А. С. Логинова ДЗМ, Москва, Россия.

Ilya V. Tsvetnov – pathologist, State Budgetary Institution 'A. S. Loginov Moscow Clinical Research and Practice Center', Department of Health Care of Moscow, Moscow, Russia.

E-mail: tsvetnoviv@zdrav.mos.ru

ORCID: 0009-0006-2512-1951



Марк Витальевич Волошин – врач патологоанатомического отделения ГБУЗ МКНЦ им. А. С. Логина ДЗМ, Москва, Россия.

Mark V. Voloshin – pathologist, State Budgetary Institution 'A.S. Loginov Moscow Clinical Research and Practice Center', Department of Health Care of Moscow, Moscow, Russia.

E-mail: m.v.voloshin@mknc.ru. **SPIN РИНЦ:** 6122-4084

ORCID: 0000-0002-2302-3542. **ResearcherID:** C-5601-2018



Николай Сергеевич Карнаухов – к.м.н., заведующий патологоанатомическим отделением ГБУЗ МКНЦ им. А. С. Логина ДЗМ, Москва, Россия.

Nikolay S. Karnaukhov – MD, PhD, State Budgetary Institution 'A. S. Loginov Moscow Clinical Research and Practice Center', Department of Health Care of Moscow, Moscow, Russia.

E-mail: n.karnaukhov@mknc.ru

ORCID: 0000-0003-0889-2720