

ISSN 1814-6023 (Print)

ISSN 2524-2350 (Online)

УДК 616.24-006.6-018-07

<https://doi.org/10.29235/1814-6023-2026-23-2-140-146>

Поступила в редакцию 27.10.2025

Received 27.10.2025

**С. Ю. Смирнов, А. В. Медведь, А. М. Пашкевич, С. Н. Пивоварчик, Т. Г. Вахомчик,
П. Е. Короткевич, Е. И. Субоч, А. С. Портянко**

*Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии имени
Н. Н. Александрова, аг. Лесной, Минский район, Республика Беларусь*

ОЦЕНКА УРОВНЯ ЦИРКУЛИРУЮЩЕЙ ОПУХОЛЕВОЙ ДНК И ЦИТОКИНОВ В ПЛАЗМЕ КРОВИ У ПАЦИЕНТОВ С НЕМЕЛКОКЛЕТОЧНЫМ РАКОМ ЛЁГКОГО ПОСЛЕ ЛОКАЛЬНОГО ОБЛУЧЕНИЯ ОПУХОЛЕВОГО ОЧАГА

Аннотация. Жидкостная биопсия является перспективным методом неинвазивной диагностики у онкологических пациентов. Однако в связи с крайне низкой концентрацией свободной циркулирующей опухолевой ДНК (цоДНК), особенно минорных клонов, для ее детекции необходимо использование целого комплекса высокотехнологичных методов. Индукция выброса цоДНК в кровоток с помощью облучения опухолевых очагов может улучшить показатели диагностической чувствительности цоДНК-тестов у пациентов с немелкоклеточным раком лёгкого (НМРЛ). В то же время системное воспаление и уровни провоспалительных цитокинов в организме могут влиять на концентрацию свободной циркулирующей ДНК в определенные временные промежутки после лучевого воздействия. Согласно полученным нами данным локальное облучение опухолевых очагов приводит к повышению уровня цоДНК, достигая своего максимума спустя 48 ч. Обнаружено наличие статистически значимых различий в частотах встречаемости максимальных и минимальных концентраций цитокинов IL-15, IL-4, IL-1ra и VEGF в серийных образцах плазмы крови пациентов с НМРЛ в зависимости от уровня цоДНК.

Ключевые слова: немелкоклеточный рак лёгкого, цоДНК, цитокины, цифровая капельная ПЦР, VEGF

Для цитирования: Оценка уровня циркулирующей опухолевой ДНК и цитокинов в плазме крови у пациентов с немелкоклеточным раком лёгкого после локального облучения опухолевого очага / С. Ю. Смирнов, А. В. Медведь, А. М. Пашкевич [и др.] // Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя медыцынскіх навук. – 2026. – Т. 23, № 2. – С. 140–146. <https://doi.org/10.29235/1814-6023-2026-23-2-140-146>

**Siarhei Yu. Smirnou, Antonina V. Miadzvedz, Anastasia M. Pashkevich, Siarhei N. Pivavarchyk,
Tatsiana G. Vakhomchik, Pavel E. Karatkevich, Helen I. Subach, Anna S. Portyanko**

N. N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus, Lesnoy, Minsk Region, Republic of Belarus

ASSESSMENT OF CIRCULATING TUMOR DNA AND CYTOKINE LEVELS IN PLASMA OF PATIENTS WITH NON-SMALL CELL LUNG CANCER AFTER LOCAL IRRADIATION OF THE TUMOR SITE

Abstract. Liquid biopsy is a promising method for non-invasive diagnosis in oncological patients. However, due to the extremely low concentration of free circulating tumor DNA (ctDNA), especially minor clones, the detection requires the use of a comprehensive set of high-tech methods. The induction of the release of ctDNA into the bloodstream through tumor irradiation may improve the diagnostic sensitivity of ctDNA-tests in patients with non-small cell lung cancer (NSCLC). At the same time, systemic inflammation and the levels of pro-inflammatory cytokines within the body can exert influence on the concentration of free circulating DNA at certain time points after irradiation.

According to our data, local irradiation of tumor sites leads to an increase in ctDNA levels, reaching a maximum after 48 hours. The presence of statistically significant differences in the frequencies of maximum and minimum concentrations of cytokines IL-15, IL-4, IL-1ra, and VEGF was observed in serial blood plasma samples from patients with NSCLC, depending on the level of ctDNA.

Keywords: non-small cell lung cancer, ctDNA, cytokines, digital droplet PCR, VEGF

For citation: Smirnou S. Yu., Miadzvedz A. V., Pashkevich A. M., Pivavarchyk S. N., Vakhomchik T. G., Karatkevich P. E., Subach H. I., Portyanko A. S. Assessment of circulating tumor DNA and cytokine levels in plasma of patients with non-small cell lung cancer after local irradiation of the tumor site. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya medytsynskikh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Medical series*, 2026, vol. 23, no. 2, pp. 140–146 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1814-6023-2026-23-2-140-146>

Введение. Рак лёгкого занимает лидирующие позиции в структуре онкологической заболеваемости и смертности от злокачественных новообразований в мире. В 2022 г. было диагностировано 2 480 675 новых случаев заболеваемости и 1 817 469 смертей от рака лёгкого [1].

Согласно рекомендациям Международной ассоциации по изучению рака лёгкого (International Society for the Study of Lung Cancer, IASLC), опубликованным в 2021 г., исследование циркулирующей опухолевой ДНК (цоДНК) в настоящее время считается альтернативным вариантом молекулярного профилирования у пациентов с впервые установленным распространенным немелкоклеточным раком лёгкого (НМРЛ) [2]. Стоит отметить, что, согласно литературным данным, уровень цоДНК в послеоперационном периоде ассоциируется с прогнозом при различных онкологических заболеваниях, позволяя стратифицировать пациентов на группы риска, а исследование динамики концентрации цоДНК широко используется для оценки эффективности проводимого лечения [3, 4].

Основная сложность при работе с цоДНК состоит в ее крайне низкой концентрации в кровотоке, находящейся в зависимости от ряда биологических факторов, одним из которых являются индивидуальные особенности иммунного ответа организма на наличие злокачественного новообразования. Установлено, что реакция воспаления приводит к повышенному выбросу свободной циркулирующей ДНК в кровоток, которая, в свою очередь, может индуцировать дальнейшее повышение уровней провоспалительных цитокинов [5]. Однако большинство научных работ в современной онкологии сфокусированы на прогностическом значении уровней цитокинов или на их предиктивной значимости для иммунотерапии с использованием PD-1/PD-L1-ингибиторов [6, 7]. Исследований о влиянии воспаления на уровень цоДНК у пациентов с раком лёгкого ранее не проводилось.

Цель исследования – оценить уровни провоспалительных цитокинов и цоДНК в серийных образцах плазмы крови пациентов с НМРЛ при локальном облучении опухолевого очага.

Материалы и методы исследования. Материалом для исследования послужила плазма крови 14 пациентов с НМРЛ III–IV стадии заболевания ($n = 70$), которым была проведена стандартная радиотерапия (III стадия) или разовое локальное облучение опухолевого очага в дозе 4 Гр (IV стадия) на базе РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н. Н. Александрова. Все пациенты характеризовались наличием в опухолевой ткани различных генетических нарушений (онкогенные варианты генов *EGFR*, *BRAF*, *KRAS*, метилирование промоторной области гена *RASSF1A*), которые использовались в качестве мишеней цоДНК.

Плазма крови была забрана в следующие временные промежутки: до облучения и через 6, 12, 24, 48 ч после облучения. Выделение цоДНК из образцов плазмы крови (2 мл) проводили с помощью набора реагентов MagListo™ cfDNA Extraction Kit (Bioneer, Южная Корея) согласно инструкции производителя. Концентрация ДНК измерялась спектрофлуориметрически.

Постановку цифровой капельной ПЦР осуществляли на оборудовании QX200/600 (Bio-Rad, США) с применением готовых мастер-миксов и наборов реагентов EGFR exon 19 deletions screening kit, EGFR T790M, KRAS screen kit (Bio-Rad) согласно инструкциям производителя, а также кастомных олигонуклеотидов для детекции генетических и эпигенетических нарушений (*BRAF* V600E, *EGFR* L858R, *RASSF1A* met). Условия ПЦР и последовательности праймеров и зондов могут быть предоставлены по запросу.

Определение концентрации цитокинов IFN- α 2, IFN- γ , IL-10, IL-15, IL-1 α , IL-1 β , IL-1 γ , IL-2, IL-3, IL-33, IL-4, IL-6, IL-7, IL-9 и VEGF в серийных образцах плазмы крови проводили с использованием набора реагентов Equalbit Human Cytokine Performance Assay Kit (Bio-Techne, США) на иммунохемилюминисцентном анализаторе Luminex 200 (ThermoFisher, США) согласно инструкции производителя.

Статистический анализ проведен с использованием программы Statistica 10.0. Для сравнения количественных данных применялся непараметрический критерий Манна – Уитни, для анализа частот встречаемости качественных признаков – точный критерий Фишера. Статистически значимыми считались результаты при $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение. Исследование цоДНК проведено у 14 пациентов с аденокарциномой лёгкого. До облучения цоДНК детектирована в плазме 11 пациентов (78,5 %), с последующим ростом концентрации после облучения у 10 человек (90,9 %) в 1,1–20,4 раза (медиана 2,4 раза). Концентрация цоДНК (медиана) в различные временные интервалы после облучения представлена на рис. 1.

Пример результатов исследования серийных образцов одного пациента (в дублях) с ростом концентрации цоДНК – на рис. 2.

Медианы концентраций исследованных цитокинов в различные временные промежутки представлены на рис. 3–5.

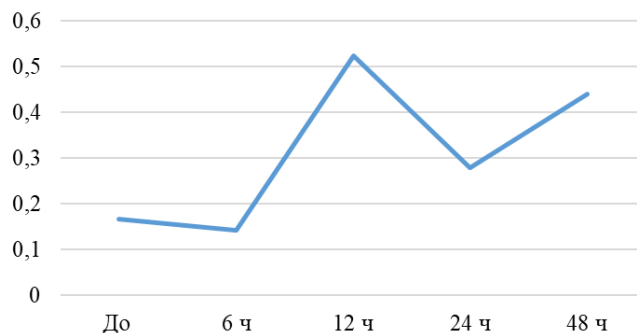


Рис. 1. Медиана концентрации цоДНК (копий/мкл) у пациентов с НМРЛ в различные временные интервалы после проведения локального облучения

Fig. 1. Median concentration of ctDNA (copies/μL) in patients with NSCLC at various time intervals after local irradiation

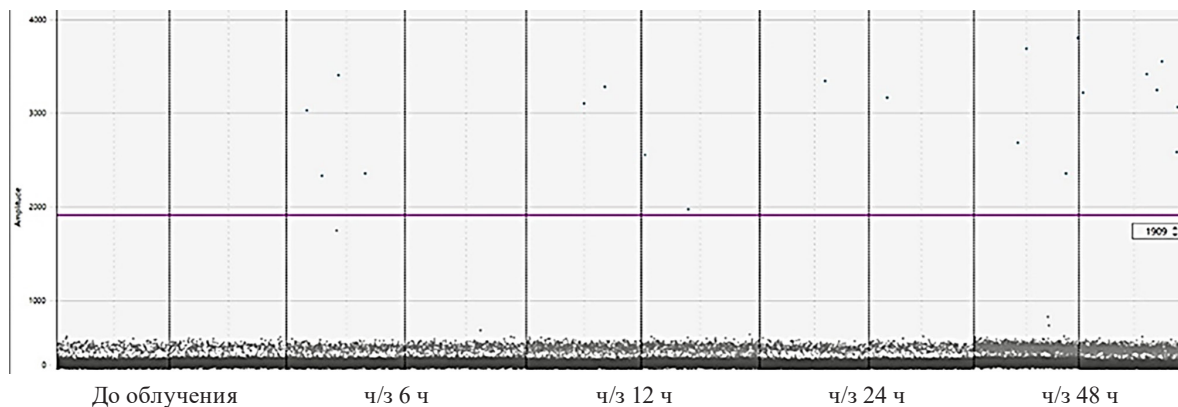


Рис. 2. Результат тестирования цоДНК, выделенной из серийных образцов плазмы пациента с НМРЛ (мишень *EGFR* T790M)

Fig. 2. Test result of ctDNA extracted from serial plasma samples of a patient with NSCLC (target *EGFR* T790M)

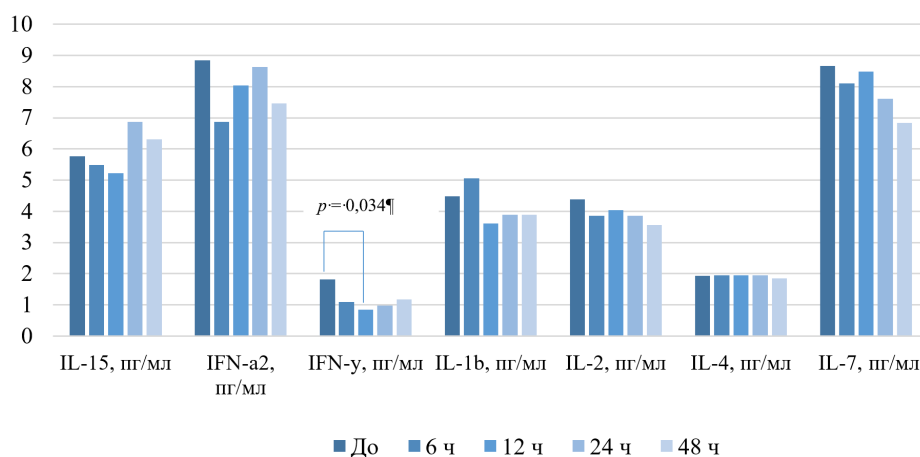


Рис. 3. Медианы концентраций IL-15, IFN-a2, IFN-y, IL-1b, IL-2, IL-4 и IL-7 в различные временные интервалы после проведения облучения у пациентов с НМРЛ

Fig. 3. Median concentrations of IL-15, IFN-a2, IFN-y, IL-1b, IL-2, IL-4, and IL-7 at various time after irradiation in patients with NSCLC

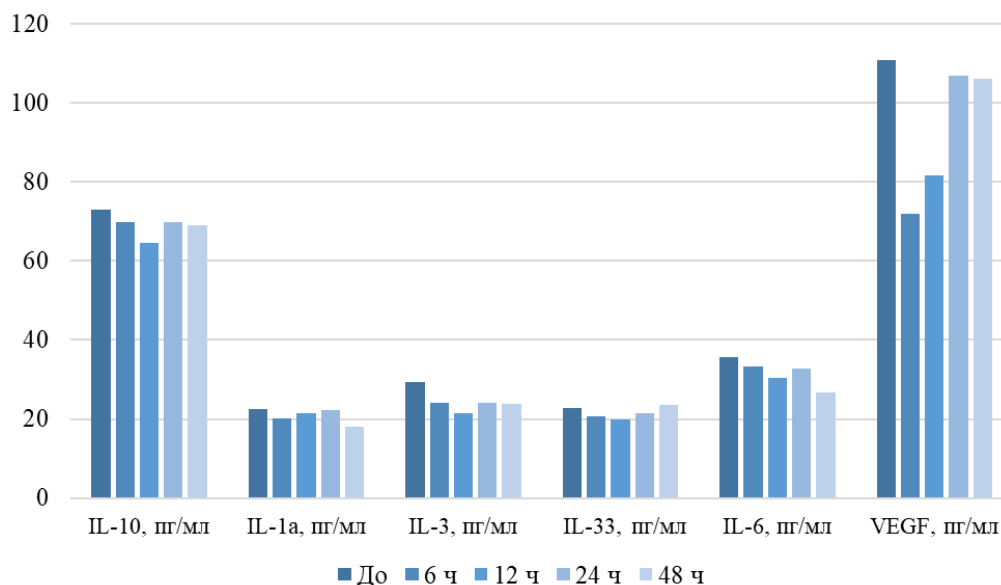


Рис. 4. Медианы концентраций IL-10, IL-1a, IL-3, IL-33, IL-6 и VEGF в различные временные интервалы после проведения облучения у пациентов с НМРЛ

Fig. 4. Median concentrations of IL-10, IL-1a, IL-3, IL-33, IL-6, and VEGF at various time intervals after irradiation in patients with NSCLC

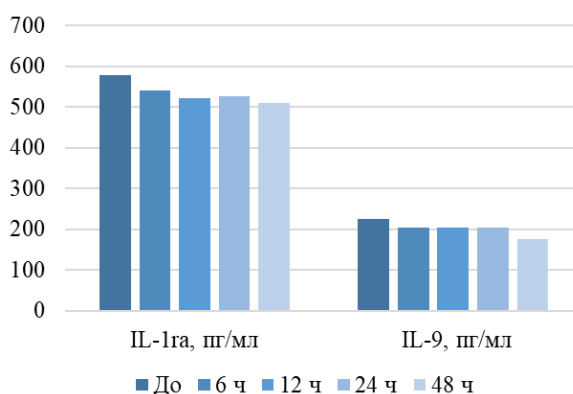


Рис. 5. Медианы концентраций IL-1ra и IL-9 в различные временные интервалы после проведения облучения у пациентов с НМРЛ

Fig. 5. Median concentrations of IL-1ra and IL-9 at various time intervals after irradiation in patients with NSCLC

Статистически значимые различия обнаружены для цитокина IFN- γ между временными интервалами до облучения и спустя 12 ч (1,82 vs 0,85 пг/мл; $p = 0,034$).

При отдельном анализе уровней цитокинов во временные промежутки с максимальными (MAX) и минимальными (MIN) значениями цоДНК для индивидуальных пациентов было обнаружено, что при максимальных значениях цоДНК образцы плазмы чаще характеризовались наиболее высокими концентрациями цитокинов IL-15 (7/11 MAX vs 1/11 MIN; $p = 0,0119$) и IL-4 (5/11 MAX vs 0/11 MIN; $p = 0,0175$).

IL-15 играет комплексную роль в канцерогенезе рака лёгкого, с одной стороны, стимулируя рост опухоли и способствуя метастазированию, с другой – влияя на процессы пролиферации и дифференциации естественных киллеров и Т-клеток, усиливая противоопухолевый иммунный ответ организма [8].

IL-4 – многофункциональный цитокин, ключевой регулятор гуморального и адаптивного иммунитета. Он способствует дифференцировке Т-клеток в Th2-клетки, усиливает пролиферацию

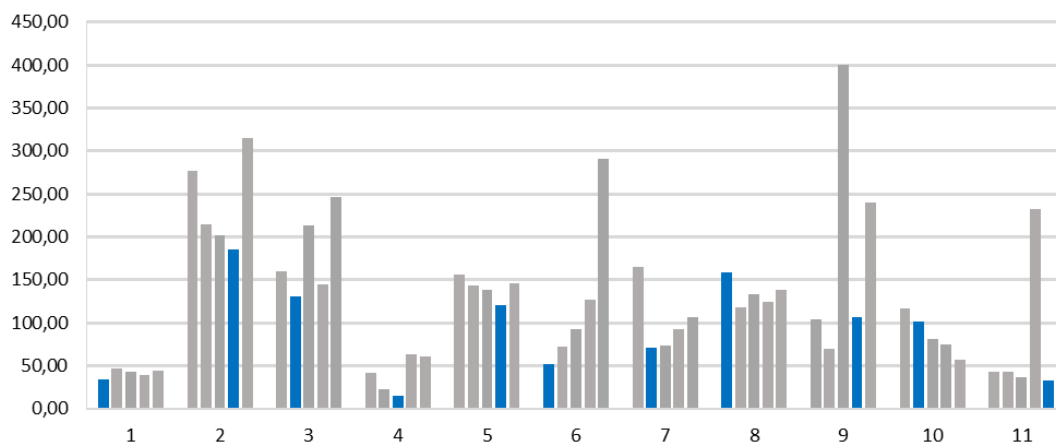


Рис. 6. Концентрации VEGF в серийных образцах плазмы крови пациентов с НМРЛ (темным отмечены образцы с минимальным уровнем цоДНК)

Fig. 6. Concentrations of VEGF in serial blood plasma samples from patients with NSCLC (with dark markings indicating samples with minimal ctDNA levels)

Б-лимфоцитов и продукцию IgE. Установлено, что IL-4 стимулирует пролиферацию опухолевых клеток лёгкого и поддерживает продукцию иммуносупрессивных миелоидных клеток [9].

При минимальных концентрациях цоДНК образцы плазмы характеризовались самыми низкими концентрациями маркеров VEGF (8/11 MIN vs 0/11 MAX; $p = 0,0005$) и IL-1ra (6/11 MIN vs 1/11; $p = 0,0317$). Уровни маркера VEGF для всех анализируемых образцов представлены на рис. 6.

VEGF (фактор роста эндотелия сосудов) – сигнальный белок, стимулирующий ангиогенез. VEGF активирует сигнальные пути в эндотелиальных клетках, что приводит к их миграции и делению. Этот процесс играет ключевую роль в развитии различных онкологических заболеваний, как правило характеризующихся гиперэкспрессией VEGF в крови и опухолевой ткани [10].

IL-1ra (антагонист рецептора интерлейкина-1) – это белок из семейства интерлейкинов-1, который действует как противовоспалительный агент, связываясь с рецептором интерлейкина-1 и блокируя его, тем самым препятствуя запуску воспалительных процессов [11].

Заключение. В результате исследования нами обнаружено повышение концентрации цоДНК в плазме крови у 71,4 % пациентов с НМРЛ после проведения локального облучения опухолевого очага. Данный подход может быть использован для индукции выброса цоДНК у пациентов с НМРЛ с развившейся резистентностью к терапии EGFR-ингибиторами с целью повышения вероятности детекции онкогенного варианта *EGFR* T790M.

При исследовании концентрации 14 различных цитокинов в плазме крови после проведения локального облучения опухолевого очага обнаружены статистически значимые различия в уровнях цитокина IFN- γ между временными интервалами до облучения и спустя 12 ч (1,82 vs 0,85 пг/мл; $p = 0,034$).

Минимальные концентрации цоДНК отмечены в образцах плазмы с низким уровнем VEGF, что указывает на связь процессов ангиогенеза с уровнем цоДНК. Повышенная экспрессия цитокина IL-1ra, согласно литературным данным, ассоциирована с развитием НМРЛ, поэтому его концентрация в плазме крови может быть прямо связана с уровнем цоДНК за счет снижения пролиферативной активности опухоли. В то же время для временных интервалов с максимальными концентрациями цоДНК характерны более высокие уровни провоспалительных цитокинов IL-15 и IL-4, обладающих способностью усиливать пролиферацию опухолевых клеток.

Стоит отметить, что для цитокинов IL-15, IL-4, IFN- γ и IL-1ra в литературных источниках описан двойственный эффект (про- и антиопухолевый), зависящий от множества различных факторов, в первую очередь от микроокружения опухоли. Для понимания влияния воспалительных процессов и локального облучения на выброс цоДНК необходимы дальнейшие исследования.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности. Исследование проведено при поддержке БРФФИ в рамках договора M23РНФ-131.

Acknowledgements. The study was conducted with the support of the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research under contract M23RNF-131.

Список использованных источников

1. Cancer today / International agency for research on Cancer. – 2025. – URL: <https://gco.iarc.who.int/media/globocan/factsheets/cancers/15-trachea-bronchus-and-lung-fact-sheet.pdf> (date of access: 17.09.2025).
2. Liquid Biopsy for Advanced NSCLC: A Consensus Statement From the International Association for the Study of Lung Cancer / Ch. Rolfo, P. Mack, G. V. Scagliotti [et al.] // *Journal of Thoracic Oncology*. – 2021. – Vol. 16, N 10. – P. 1647–1662. <https://doi.org/10.1016/j.jtho.2021.06.017>
3. Circulating tumor DNA to monitor treatment response in solid tumors and advance precision oncology / A. Bartolomucci, M. Nobrega, T. Ferrier [et al.] // *npj Precision Oncology*. – 2025. – Vol. 9. – Art. 84. <https://doi.org/10.1038/s41698-025-00876-y>
4. BESPOKE CRC Findings Bolster the Clinical Utility of ctDNA Testing in CRC // *ASCO Daily NEWS*. – 2025. – URL: <https://dailynews.ascopubs.org/do/bspoke-crc-findings-bolster-clinical-utility-ctdna-testing-crc> (date of access: 12.09.2025).
5. Dholakia, Sh. Adding Insult on Injury: Immunogenic Role for Donor-derived Cell-free DNA? / Sh. Dholakia, I. Vlaminc, K. Khush // *Transplantation*. – 2020. – Vol. 104, N 11. – P. 2266–2271. <https://doi.org/10.1097/tp.0000000000003240>
6. Harnessing Plasma Biomarkers to Predict Immunotherapy Outcomes in Hepatocellular Carcinoma: The Role of cfDNA, ctDNA, and Cytokines / E. Vargas-Accarino, M. Higuera, M. Bermudez-Ramos [et al.] // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2025. – Vol. 26, N 6. – Art. 2794. <https://doi.org/10.3390/ijms26062794>
7. Inflammatory Cytokines and ctDNA Are Biomarkers for Progression in Advanced-Stage Melanoma Patients Receiving Checkpoint Inhibitors / J. G. Pedersen, A. T. Madsen, K. R. Gammelgaard [et al.] // *Cancers (Basel)*. – Vol. 12, N 6. – Art. 1414. <https://doi.org/10.3390/cancers12061414>
8. Lung cancer cell-intrinsic IL-15 promotes cell migration and sensitizes murine lung tumors to anti-PD-L1 therapy / Sh. Hu, K. Meng, T. Wang [et al.] // *Biomarker Research*. – 2024. – Vol. 12. – Art. 40. <https://doi.org/10.1186/s40364-024-00586-w>
9. Roles of IL-4, IL-13, and Their Receptors in Lung Cancer / Y. Zhang, K. Zhu, X. Wang [et al.] // *Journal of Interferon and Cytokine Research*. – 2024. – Vol. 44, N 9. – P. 399–407. <https://doi.org/10.1089/jir.2024.0008>
10. Vascular endothelial growth factor (VEGF) as a diagnostic marker of non-small cell lung cancer / N. M. Wardhani, A. Santoso, H. A. Putrawan [et al.] // *Exploration of Medicine*. – 2025. – Vol. 6. – Art. 1001327. <https://doi.org/10.37349/emed.2025.1001327>
11. Exploring the multifaceted effects of Interleukin-1 in lung cancer: From tumor development to immune modulation / M. Tang, Y. Yin, W. Wang [et al.] // *Life Sciences*. – 2024. – Vol. 342. – Art. 122539. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2024.122539>

References

1. *Cancer today. International for research on Cancer*. Available at: <https://gco.iarc.who.int/media/globocan/factsheets/cancers/15-trachea-bronchus-and-lung-fact-sheet.pdf> (accessed 17.09.2025).
2. Rolfo Ch., Mack P., Scagliotti G. V., Aggarwal Ch., Arcila M. E., Barlesi F., Bivona T. [et al.]. Liquid Biopsy for Advanced NSCLC: A Consensus Statement From the International Association for the Study of Lung Cancer. *Journal of Thoracic Oncology*, 2021, vol. 16, no. 10, pp. 1647–1662. <https://doi.org/10.1016/j.jtho.2021.06.017>
3. Bartolomucci A., Nobrega M., Ferrier T., Dickinson K., Kaorey N., Nadeau A., Castillo A., Burnier J. V. Circulating tumor DNA to monitor treatment response in solid tumors and advance precision oncology. *npj Precision Oncology*, 2025, vol. 9, art. 84. <https://doi.org/10.1038/s41698-025-00876-y>
4. BESPOKE CRC Findings Bolster the Clinical Utility of ctDNA Testing in CRC. *ASCO Daily NEWS*. Available at: <https://dailynews.ascopubs.org/do/bspoke-crc-findings-bolster-clinical-utility-ctdna-testing-crc> (accessed 12.09.2025).
5. Dholakia Sh., Vlaminc I., Khush K. Adding Insult on Injury: Immunogenic Role for Donor-derived Cell-free DNA? *Transplantation*, 2020, vol. 104, no. 11, pp. 2266–2271. <https://doi.org/10.1097/tp.0000000000003240>
6. Vargas-Accarino E., Higuera M., Bermudez-Ramos M., Soriano-Varela A., Torrens M., Pons M., Aransay A. M., Martín J. E., Rodríguez-Frías F., Merino X., Mínguez B. Harnessing Plasma Biomarkers to Predict Immunotherapy Outcomes in Hepatocellular Carcinoma: The Role of cfDNA, ctDNA, and Cytokines. *International Journal of Molecular Sciences*, 2025, vol. 26, no. 6, art. 2794. <https://doi.org/10.3390/ijms26062794>
7. Pedersen J. G., Madsen A. T., Gammelgaard K. R., Aggerholm-Pedersen N., Sørensen B. S., Øllegaard T. H., Jakobsen M. R. Inflammatory Cytokines and ctDNA Are Biomarkers for Progression in Advanced-Stage Melanoma Patients Receiving Checkpoint Inhibitors. *Cancers (Basel)*, vol. 12, no. 6, art. 1414. <https://doi.org/10.3390/cancers12061414>
8. Hu Sh., Meng K., Wang T., Qu R., Wang B., Xi Y. [et al.]. Lung cancer cell-intrinsic IL-15 promotes cell migration and sensitizes murine lung tumors to anti-PD-L1 therapy. *Biomarker Research*, 2024, vol. 12, art. 40. <https://doi.org/10.1186/s40364-024-00586-w>
9. Zhang Y., Zhu K., Wang X., Zhao Y., Shi J., Liu Zh. Roles of IL-4, IL-13, and Their Receptors in Lung Cancer. *Journal of Interferon and Cytokine Research*, 2024, vol. 44, no. 9, pp. 399–407. <https://doi.org/10.1089/jir.2024.0008>

10. Wardhani N. M., Santoso A., Putrawan H. A., Iskandar H., Lihawa N., Natsir B. Vascular endothelial growth factor (VEGF) as a diagnostic marker of non-small cell lung cancer. *Exploration of Medicine*, 2025, vol. 6, art. 1001327. <https://doi.org/10.37349/emed.2025.1001327>

11. Tang M., Yin Y., Wang W., Gong K., Dong J., Gao X., Li J. [et al.]. Exploring the multifaceted effects of Interleukin-1 in lung cancer: From tumor development to immune modulation. *Life Sciences*, 2024, vol. 342, art. 122539. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2024.122539>

Информация об авторах

Смирнов Сергей Юрьевич – биолог. РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н. Н. Александрова (223040, аг. Лесной, Минский р-н, Республика Беларусь). E-mail: rustledeath24@gmail.com

Медведь Антонина Викторовна – врач клинической лабораторной диагностики. РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н. Н. Александрова (223040, аг. Лесной, Минский р-н, Республика Беларусь). E-mail: dr.medvedav@gmail.com

Пашкевич Анастасия Михайловна – канд. биол. наук, биолог. РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н. Н. Александрова (223040, аг. Лесной, Минский р-н, Республика Беларусь). E-mail: staska0989@mail.ru

Пивоварчик Сергей Николаевич – врач-онколог. РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н. Н. Александрова (223040, аг. Лесной, Минский р-н, Республика Беларусь). E-mail: serginio0290@rambler.ru

Вахомчик Татьяна Георгиевна – врач-радиолог. РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н. Н. Александрова (223040, аг. Лесной, Минский р-н, Республика Беларусь). E-mail: chik-city@tut.by

Короткевич Павел Евгеньевич – канд. мед. наук, доцент, заведующий отделением. РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н. Н. Александрова (223040, аг. Лесной, Минский р-н, Республика Беларусь). E-mail: Pavelkorotkevich@mail.ru

Субоч Елена Ивановна – канд. мед. наук, доцент, заведующий отделением. РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н. Н. Александрова (223040, аг. Лесной, Минский р-н, Республика Беларусь). E-mail: helen_suboch@mail.ru, +375296679334

Портянко Анна Сергеевна – д-р мед. наук, профессор, заведующий лабораторией. РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н. Н. Александрова (223040, аг. Лесной, Минский р-н, Республика Беларусь). E-mail: a_port@mail.ru

Information about the authors

Siarhei Yu. Smirnou – Biologist. N. N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus (223040, Lesnoy, Minsk Region, Republic of Belarus). E-mail: rustledeath24@gmail.com

Antonina V. Miadzvedz – Doctor of Clinical Laboratory Diagnostic. N. N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus (223040, Lesnoy, Minsk Region, Republic of Belarus). E-mail: dr.medvedav@gmail.com

Anastasiya M. Pashkevich – Ph. D. (Med.), Biologist. N. N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus (223040, Lesnoy, Minsk Region, Republic of Belarus). E-mail: staska0989@mail.ru

Siarhei N. Pivavarchyk – Oncologist. N. N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus (223040, Lesnoy, Minsk Region, Republic of Belarus). E-mail: serginio0290@rambler.ru

Tatsiana G. Vakhomchyk – Radiologist. N. N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus (223040, Lesnoy, Minsk Region, Republic of Belarus). E-mail: chik-city@tut.by

Pavel E. Karatkevich – Ph. D. (Med.), Associate Professor, Head of the Department. N. N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus (223040, Lesnoy, Minsk Region, Republic of Belarus). E-mail: Pavelkorotkevich@mail.ru

Helen I. Subach – Ph. D. (Med.), Associate Professor, Head of the Department. N. N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus (223040, Lesnoy, Minsk Region, Republic of Belarus). E-mail: helen_suboch@mail.ru

Anna S. Portyanko – D. Sc. (Med.), Professor, Head of the Laboratory. N. N. Alexandrov National Cancer Centre (223040, Lesnoy, Minsk Region, Republic of Belarus). E-mail: a_port@mail.ru