

DOI: 10.21294/1814-4861-2024-23-6-168-175
УДК: 616.24-006.6-07:612.22.2



Для цитирования: Родионов Е.О., Кульбакин Д.Е., Подолько Д.В., Обходская Е.В., Обходский А.В., Миллер С.В., Мох А.А., Сачков В.И., Попов А.С., Чернов В.И. Ранняя диагностика рака легкого с помощью сенсорного газоаналитического комплекса: клиническое наблюдение. Сибирский онкологический журнал. 2024; 23(6): 168–175. – doi: 10.21294/1814-4861-2024-23-6-168-175

For citation: Rodionov E.O., Kulbakin D.E., Podolko D.V., Obkhodskaya E.V., Obkhodskiy A.V., Miller S.V., Mokh A.A., Sachkov V.I., Popov A.S., Chernov V.I. Early diagnosis of lung cancer using a sensor gas analysis complex: case report. Siberian Journal of Oncology. 2024; 23(6): 168–175. – doi: 10.21294/1814-4861-2024-23-6-168-175

РАННЯЯ ДИАГНОСТИКА РАКА ЛЕГКОГО С ПОМОЩЬЮ СЕНСОРНОГО ГАЗОАНАЛИТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА: КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ

Е.О. Родионов^{1,2}, Д.Е. Кульбакин¹, Д.В. Подолько¹, Е.В. Обходская³,
А.В. Обходский⁴, С.В. Миллер¹, А.А. Мох¹, В.И. Сачков³, А.С. Попов³,
В.И. Чернов¹

¹Научно-исследовательский институт онкологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук
Россия, 634009, г. Томск, пер. Кооперативный, 5

²ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России
Россия, 634050, г. Томск, Московский тракт, 2

³ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет»
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

⁴ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

Аннотация

Актуальность. В настоящее время низкодозная компьютерная томография (НДКТ) является единственным клинически доступным скрининговым исследованием, которое снижает риск смерти от рака легкого. Однако есть ряд недостатков, таких как отсутствие широкой доступности, высокая стоимость, большая частота ложноположительных результатов и необходимость проведения исследования только в группах высокого риска, которые существенно ограничивают массовое внедрение. Анализ выдыхаемого воздуха с использованием чувствительных датчиков дыхания является многообещающим методом улучшения ранней диагностики рака легких. В НИИ онкологии Томского НИМЦ совместно с НИ ТГУ и НИ ТПУ разработан газоаналитический комплекс, способный анализировать газовый состав выдыхаемого воздуха с дистанционным отбором проб из мешков. В ходе исследования данные, полученные путем оцифровки сигналов с датчиков системы газоанализа, и метаданные пациента записываются в базу данных для последующей автоматизированной обработки и анализа с помощью нейросети. **Описание клинического случая.** В рамках клинической апробации разработанного газоаналитического комплекса для диагностики онкологических заболеваний у пациентки, 48 лет, с длительным стажем курения, которая обратилась в онкологическую клинику за консультацией с подозрением на патологическую инфильтрацию области чревного ствола, выявленную при СКТ органов брюшной полости, была отобрана проба выдыхаемого воздуха. При сравнении состава летучих органических соединений (ЛОС) с контрольной группой (здоровые лица) получены отклонения, характерные для рака легкого. Пациентке проведено дополнительное обследование, включающее СКТ органов грудной клетки, при котором выявлен периферический рак нижней доли левого легкого IIB стадии. Особенностью представленного клинического случая является то, что впервые в диагностике рака легкого использован оригинальный сенсорный газоаналитический комплекс, не имеющий аналогов на территории России. Полученные данные позволили заподозрить у пациентки наличие опухоли легкого, назначить своевременное обследование и выполнить радикальное оперативное лечение. Также проведена оценка состава ЛОС в выдыхаемом воздухе на 10-е сут после операции, при которой значимого изменения не обнаружено. **Заключение.** Алгоритмы машинного обучения активно используются для диагностики социально значимых заболеваний. Разрабатываемые

платформы на основе массивов химических датчиков с анализом данных с помощью нейросети являются многообещающими кандидатами для внедрения в скрининговые мероприятия.

Ключевые слова: рак легкого, сенсорный газоаналитический комплекс, неинвазивная диагностика, выдыхаемый воздух, нейронная сеть, летучие органические соединения.

EARLY DIAGNOSIS OF LUNG CANCER USING A SENSOR GAS ANALYSIS COMPLEX: CASE REPORT

E.O. Rodionov^{1,2}, D.E. Kulbakin¹, D.V. Podolko¹, E.V. Obkhodskaya³,
A.V. Obkhodskiy⁴, S.V. Miller¹, A.A. Mokh¹, V.I. Sachkov³, A.S. Popov³,
V.I. Chernov¹

¹Cancer Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences
5, Kooperativny St., Tomsk, 634009, Russia

²Siberian State Medical University of the Ministry of Health of Russia

2, Moskovsky trakt, Tomsk, 634050, Russia

³National Research Tomsk State University

36, Lenin St., Tomsk, 634050, Russia

⁴National Research Tomsk Polytechnic University

30, Lenin St., Tomsk, 634050, Russia

Abstract

Background. Currently, low-dose computed tomography (LDCT) is the only screening test that reduces the risk of death from lung cancer. However, there are a number of disadvantages, such as lack of widespread use, high cost, high false-positive rate and the need to conduct studies only in high-risk groups, which significantly limit mass screening. Exhaled breath analysis, which uses sensitive breath sensors, is a promising method to improve early diagnosis of lung cancer. Cancer Research Institute of Tomsk National Research Medical Center together with Tomsk State University and Tomsk Polytechnic Research Institute has developed a gas analysis complex capable of analyzing the gas composition of exhaled air with remote sampling from bags. During the study, data obtained by digitizing signals from gas analysis system sensors and patient metadata are recorded in a database for subsequent automated processing and analysis using a neural network. **Case description.** A 48-year-old female patient with a long history of smoking came to the clinic of the Cancer Research Institute for consultation with suspected pathological infiltration around the celiac trunk detected by abdominal CT. As a clinical trial of the developed gas analytical complex for cancer detection, a sample of exhaled air was taken, and the comparison of the composition of volatile organic compounds (VOCs) with that in the control group (healthy individuals) revealed abnormalities characteristic of lung cancer. The patient underwent a chest CT scan, which revealed stage IIB peripheral cancer of the lower lobe of the left lung. The original sensor gas analysis complex, which has no analogues in Russia, was used for the first time in the detection of lung cancer. The data obtained allowed us to suspect the presence of lung tumor in the patient and perform radical surgical treatment. The composition of VOCs in exhaled air was assessed on day 10 after surgery, and no significant changes in the composition of exhaled air were observed. **Conclusion.** Machine learning algorithms are actively used to diagnose socially significant diseases. The platforms being developed based on arrays of chemical sensors with data analysis using a neural network are promising candidates for implementation in screening activities.

Key words: lung cancer, sensory gas analysis complex, noninvasive diagnostics, exhaled air, neural network, volatile organic compounds.

Введение

Рак легкого (РЛ) является наиболее распространенным злокачественным новообразованием и основной причиной смерти от рака во всем мире [1]. Число больных раком легкого по-прежнему ежегодно растет. Несмотря на то, что существуют различные методы лечения (хирургическое, лучевое и лекарственное), прогноз в настоящее время остается неблагоприятным, поскольку у большинства пациентов заболевание выявляется на поздней стадии. Пятилетняя выживаемость варьирует от 63 % среди пациентов РЛ IA стадии до 28,7 % у

больных РЛ IIIA стадии [2]. Для повышения показателей выживаемости при РЛ важно обеспечить раннюю диагностику. Среди доступных методов диагностики низкодозная компьютерная томография (НДКТ) является единственным исследованием, которое снижает риск смерти от РЛ у мужчин на 26 %, у женщин – на 39 %. Однако у НДКТ есть ряд недостатков, таких как высокая стоимость, высокая частота ложноположительных результатов и необходимость проведения исследования только в группах высокого риска, которые существенно ограничивают массовое внедрение метода [3].

Таким образом, для скрининга РЛ необходим неинвазивный, безопасный, сверхчувствительный метод, гарантирующий раннюю диагностику.

Диагностика онкологической патологии по выдыхаемому воздуху является перспективной альтернативой современным методам диагностики. Летучие органические соединения (ЛОС) в выдыхаемом воздухе, которые рассматриваются как биомаркеры, изучаются с 1985 г. В последнее время анализ ЛОС используется для диагностики рака легких, наиболее часто встречающимися биомаркерами являются 2-бутанон, 1-пропанол, этилбензол, стирол, гексаналь и т.д. [4]. Основанный на этих данных анализ ЛОС может обеспечить неинвазивную диагностику пациентов с раком легких, что привлекло внимание ученых из различных областей. В НИИ онкологии Томского НИМЦ



Рис. 1. Сенсорный газоаналитический комплекс.

Примечание: рисунок выполнен авторами

Fig. 1. Sensor gas analysis complex. Note: created by the authors

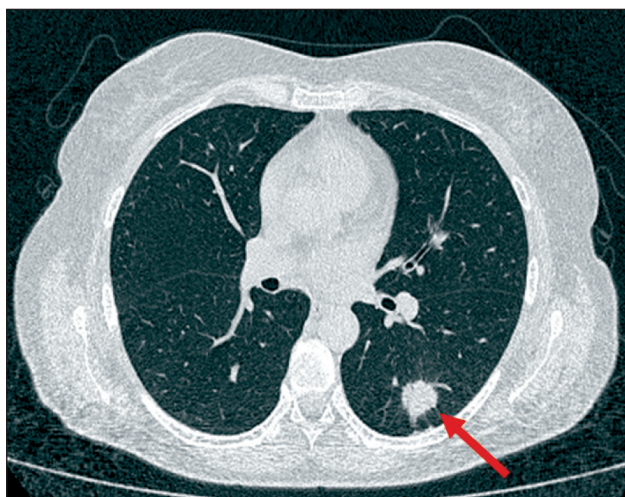


Рис. 2. КТ органов грудной клетки пациентки О. в аксиальной проекции. Сплошная стрелка – опухоль легкого. В S6 левого легкого образование округлой формы, размерами до 19×19×18 мм, с неровными контурами за счет тяжей в окружающей легочную ткань и к костальной плевре.

Примечание: рисунок выполнен авторами

Fig. 2. Computed tomography scan of patient O. in axial projection. The solid arrow is a lung tumor. A rounded lesion of 19×19×18 mm with uneven contours due to strands into the surrounding lung tissue and to the costal pleura are visualized in S6 of the left lung. Note: created by the authors

совместно с НИ ТГУ и НИ ТПУ разработан газоаналитический комплекс, способный анализировать газовые пробы с дистанционным отбором проб из мешков (рис. 1). Данные, полученные путем оцифровки сигналов с датчиков системы газоанализа, и метаданные пациента записываются в базу данных для последующей автоматизированной обработки и анализа с помощью нейросети.

Представляем **клинический случай** ранней диагностики рака легкого с помощью разработанного газоаналитического комплекса.

Пациентка О., 1976 г. р., обратилась на консультативный прием в НИИ онкологии Томского НИМЦ в январе 2024 г. с жалобами на периодические боли в эпигастрии, одышку при выраженной физической нагрузке. По поводу болевого синдрома по месту жительства выполнена СКТ органов брюшной полости, при которой выявлена инфильтрация вокруг верхнебрыжеечной артерии с сужением ее просвета, размерами до 26×17 мм без четких контуров, с распространением до нижней стенки чревного ствола без сужения его просвета, кпереди инфильтрат доходит до стенок селезеночной вены с сужением ее просвета и возможным блоком верхнебрыжеечной вены. Из анамнеза: при флюорографии в июле 2023 г. патологии не выявлено, курит 30 лет по 1/2 пачки в день (индекс курильщика – 20). Онкологический анамнез не отягощен. Из сопутствующих заболеваний: язвенная болезнь желудка в стадии ремиссии; ЖКБ, ремиссия; хронический вирусный гепатит В.

Пациентке выполнена СКТ органов брюшной полости в условиях НИИ онкологии Томского НИМЦ, при которой патологии не выявлено. В рамках клинической апробации разработанного газоаналитического комплекса для диагностики онкологических заболеваний у пациентки была отобрана проба выдыхаемого воздуха натошак утром. При сравнении состава ЛОС с контрольной группой (здоровые лица) выявлены отклонения, характерные для рака легкого.

С учетом полученных данных выполнена СКТ органов грудной клетки, при которой в S6 левого легкого выявлено округлое образование, размерами 19×19×18 мм, с неровными контурами за счет тяжей в окружающую легочную ткань и к костальной плевре. Структура уплотнения неоднородная за счет проходящего в нем по верхнему контуру субсегментарного бронха Бб. Плотность данного участка в нативную фазу до 32 ЕД НУ, при контрастировании отмечается накопление контраста в венозную фазу до 60 ЕД НУ, в отсроченную – до 90 ЕД НУ. В средостении и корнях легких увеличенных лимфоузлов не выявлено (рис. 2).

При комплексном обследовании патологии со стороны других органов и систем не выявлено. 21.02.24 выполнено оперативное вмешательство в объеме: видеоторакоскопия слева, атипичная резекция нижней доли левого легкого (при сроч-

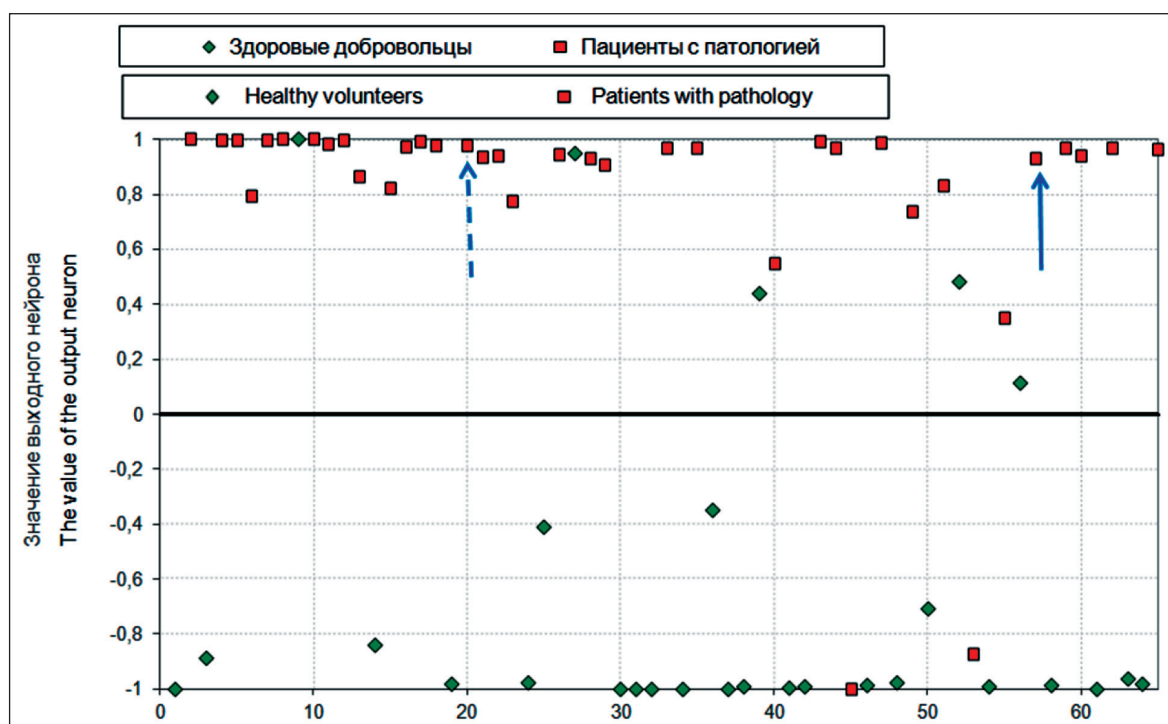


Рис. 3. Диаграмма рассеяния для здоровых пациентов и больных раком легких. Сплошной стрелкой указана проба пациентки О. до операции, пунктирной стрелкой – проба после операции на 10-е сут. Примечание: рисунок выполнен авторами
Fig. 3. Scatterplot for healthy and lung cancer patients. The solid arrow indicates the sample of patient O. before surgery. The dotted arrow indicates the sample after surgery on the 10th day. Note: created by the authors

ном морфологическом исследовании – данные за аденокарциному легкого), нижняя лобэктомия, медиастинальная ипсилатеральная лимфодиссекция. Послеоперационный период протекал без особенностей.

Данные морфологического исследования операционного материала (5.03.24): инвазивная муцинозная аденокарцинома легкого, G2 (папиллярные (40 %), ацинарные (30 %), солидные (20 %) и структуры типа *lepidic* (10 %)) с врастанием в плевру. Обнаруживаются фокусы перивазального роста. Фокусы периневрального роста опухоли достоверно не обнаружены. Признаки феномена STAS не обнаружены. В микропрепарате граница резекции по сосуду, граница резекции по бронху – без опухолевых клеток. В трех из семи исследованных лимфоузлов (бронхопульмональные) метастатическое поражение. ICD-O code 8253/3.

Установлен окончательный клинический диагноз: периферический рак нижней доли левого легкого pT2aN1M0, стадия IIb. Мутация в гене *EGFR* – отрицательная. С учетом стадии заболевания пациентке начата адъювантная химиотерапия.

С целью изучения динамического изменения состава ЛОС в выдыхаемом воздухе у пациентки в раннем послеоперационном периоде на 10-е сут после вмешательства повторно взята проба, в которой значимого изменения состава выдыхаемого воздуха не обнаружено. Отсутствие изменений, по-видимому, говорит о более длительном сохранении состава и концентрации ЛОС после

операции, а также связано с более распространенной стадией заболевания, поскольку выявлено поражение лимфатических узлов, соответствующее критерию N1 (рис. 3)

Обсуждение

Основной причиной высокого уровня смертности от рака легкого является поздняя диагностики заболевания на момент первичного обращения пациента. Несмотря на прогресс в методах лечения рака легких, таких как молекулярно-направленная терапия и иммунотерапия, важным шагом к снижению смертности от РЛ является раннее выявление с помощью неинвазивных методов диагностики. Анализ выдыхаемого воздуха с использованием чувствительных датчиков дыхания является многообещающим методом улучшения диагностики РЛ [5]. Выдыхаемый воздух содержит газовую смесь многих летучих органических соединений в низких концентрациях, которые отражают метаболические процессы на тканевом уровне [6, 7]. Анализ выдыхаемого воздуха основан на сдвигах состава ЛОС вследствие биохимических изменений в различных патофизиологических процессах. Исследования по распознаванию образов для классификации смесей ЛОС с помощью неспецифических перекрестно-реактивных датчиков, имитирующих обоняние человека и животных (так называемые «электронные носы»), а также идентификация отдельных ЛОС с помощью методов разделения (например, газовая хроматография, масс-спектрометрия) показали

многообещающие результаты в пилотных исследованиях по диагностике рака легкого [8, 9].

«Электронный нос» представляет собой сенсорную систему, состоящую из трех частей: отбора проб, обработки данных и распознавания образов [10]. Часть отбора проб представляет собой матрицу датчиков химических газов, обеспечивающую матрицу сигналов при тестировании ЛОС. Тестированию ЛОС с помощью электронного носа часто не хватает специфичности, поскольку различные ЛОС невозможно дифференцировать в аналитическом процессе, а различные «мешающие» соединения также могут влиять на результаты. Стоит отметить ограничения используемого метода. Платформы на основе массивов химических датчиков могут быть восприимчивы к различным факторам, включая условия измерения, такие как температура и влажность, а также факторы пациента, такие как возраст, пол, метаболические функции и привычка к курению. Таким образом, сложно четко определить информацию, касающуюся наличия или отсутствия рака, посредством измерений образцов выдыхаемого воздуха из-за вмешательства этих разнообразных факторов [11].

Точность диагностики рака легкого с помощью разработанного сенсорного газоаналитического комплекса в НИИ онкологии Томского НИМЦ составила 85,71 %, чувствительность – 95,24 %, специфичность – 76,19 % [12]. Полученные нами первые результаты были сопоставимы, а в большинстве случаев превосходили данные исследований эффективности «электронных носов» в мировой литературе, в которых чувствительность составляла 63–100 %, специфичность 32,9–100 %, точность 72–98,6 % [9]. К отличительным особенностям разработанного прибора можно отнести высокую мобильность с возможностью размещения в любых учреждениях здравоохранения и простоту диагностики.

Особенностью представленного клинического случая является то, что впервые в диагностике рака легкого был использован оригинальный сенсорный газоаналитический комплекс, не имеющий аналогов на территории России. Полученные данные позволили заподозрить у пациентки наличие опухоли легкого (несмотря на отсутствие клинической симптоматики), назначить своевременное обследование и выполнить радикальное оперативное лечение.

Для оценки динамики изменения состава ЛОС впервые был проведен забор проб выдыхаемого

воздуха после проведенного хирургического лечения у данной пациентки, при котором значимого изменения состава выдыхаемого воздуха не наблюдалось. Полученные данные могут свидетельствовать о более длительном изменении состава ЛОС на молекулярном уровне даже после удаления патологического очага в легком. Безусловно, необходимы оценка у большего количества пациентов и изучение динамики концентрации ЛОС на разных временных этапах послеоперационного периода. В то же время данные мировой литературы по этому вопросу противоречивы. Y. Broza et al. [13] показано значительное снижение уровней некоторых ЛОС в ближайшее время после операции (1–3-и сут), однако эти данные не согласуются с результатами, полученными D. Poli et al. [14], которые наблюдали существенные изменения концентрации некоторых ЛОС после хирургического вмешательства по сравнению с исходными значениями только через 3 года. Предполагается, что определенные ЛОС в выдыхаемом воздухе синтезируются локально внутри и вокруг опухоли и могут вернуться к уровням здоровых пациентов сразу после операции. С другой стороны, профили ЛОС, возникающие в результате системных изменений отдельных функций организма, вызванных раком легкого, остаются стабильными после операции и, вероятно, достигнут нормальных значений только через длительный период времени. Тем не менее различия между опубликованными исследованиями объясняются отличиями в методологии сбора проб, оборудовании, предварительной концентрации ЛОС в выдыхаемом воздухе и в аналитических методах.

Заключение

Алгоритмы машинного обучения активно используются для диагностики социально значимых заболеваний. Газоаналитические системы улавливают большое количество летучих органических соединений, позволяют отличать больных РЛ от здоровых людей при анализе образцов дыхания с использованием алгоритмов машинного обучения и, что особенно важно, дают возможность проводить мониторинг в реальном времени. Разрабатываемые платформы на основе массивов химических датчиков с анализом данных с помощью нейросети являются многообещающими кандидатами для внедрения в скрининговые мероприятия.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Leiter A., Veluswamy R.R., Wisnivesky J.P. The global burden of lung cancer: current status and future trends. *Nat Rev Clin Oncol.* 2023; 20(9): 624–39. doi: 10.1038/s41571-023-00798-3.
2. Sheikh M., Virani S., Robbins H.A., Foretova L., Holcatova I., Janout V., Lissowska J., Navratilova M., Mukeriya A., Ognjanovic M., Swiatkowska B., Zaridze D., Brennan P. Survival and prognostic factors of early-stage non-small cell lung cancer in Central and Eastern Europe: A prospective cohort study. *Cancer Med.* 2023; 12(9): 10563–74. doi: 10.1002/cam4.5791.

3. Родионов Е.О., Чернов В.И., Кульбакин Д.Е., Обходская Е.В., Обходский А.В., Сачков В.И., Миллер С.В. Сенсорный газоаналитический комплекс в диагностике рака легкого. *Вопросы онкологии.* 2023; 69(5): 855–62. [Rodionov E.O., Chernov V.I., Kulbakin D.E., Obkhodskaya E.V., Obkhodsky A.V., Sachkov V.I., Miller S.V. Sensor-based gas analysis system for lung cancer diagnosis. *Problems in Oncology.* 2023; 69(5): 855–62. (in Russian)]. doi: 10.37469/0507-3758-2023-69-5-855-862.
4. Saalberg Y., Wolff M. VOC breath biomarkers in lung cancer. *Clin Chim Acta.* 2016; 459: 5–9. doi: 10.1016/j.cca.2016.05.013.

5. Lee B., Lee J., Lee J.O., Hwang Y., Bahn H.K., Park I., Jheon S., Lee D.S. Breath analysis system with convolutional neural network (CNN) for early detection of lung cancer. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2024; 409. doi: 10.1016/j.snb.2024.135578.
6. Pereira J., Porto-Figueira P., Cavaco C., Taunk K., Rapole S., Dhakne R., Nagarajaram H., Câmara J.S. Breath analysis as a potential and non-invasive frontier in disease diagnosis: an overview. *Metabolites*. 2015; 5(1): 3–55. doi: 10.3390/metabo5010003.
7. Mansurova M., Ebert B.E., Blank L.M., Ibáñez A.J. A breath of information: the volatilome. *Curr Genet*. 2018; 64(4): 959–64. doi: 10.1007/s00294-017-0800-x.
8. Kort S., Brusse-Keizer M., Schouwink H., Citgez E., de Jongh F.H., van Putten J.W.G., van den Borne B., Kastelijn E.A., Stolz D., Schuurbijs M., van den Heuvel M.M., van Geffen W.H., van der Palen J. Diagnosing Non-Small Cell Lung Cancer by Exhaled Breath Profiling Using an Electronic Nose: A Multicenter Validation Study. *Chest*. 2023; 163(3): 697–706. doi: 10.1016/j.chest.2022.09.042.
9. Vadala R., Pattnaik B., Bangaru S., Rai D., Tak J., Kashyap S., Verma U., Yadav G., Dhaliwal R.S., Mittal S., Hadda V., Madan K., Guleria R., Agrawal A., Mohan A. A review on electronic nose for diagnosis and monitoring treatment response in lung cancer. *J Breath Res*. 2023; 17(2). doi: 10.1088/1752-7163/acb791.
10. Song J., Li R., Yu R., Zhu Q., Li C., He W., Liu J. Detection of VOCs in exhaled breath for lung cancer diagnosis. *Microchemical J*. 2024; 199. doi: 10.1016/j.microc.2024.110051.
11. Saeki Y., Maki N., Nemoto T., Inada K., Minami K., Tamura R., Imamura G., Cho-Isoda Y., Kitazawa S., Kojima H., Yoshikawa G., Sato Y. Lung cancer detection in perioperative patients' exhaled breath with nanomechanical sensor array. *Lung Cancer*. 2024; 190. doi: 10.1016/j.lungcan.2024.107514.
12. Chernov V.I., Choyznzonov E.L., Kulbakin D.E., Menkova E.N., Obkhodskaya E.V., Obkhodskiy A.V., Popov A.S., Rodionov E.O., Sachkov V.I., Sachkova A.S. Non-Invasive Diagnosis of Malignancies Based on the Analysis of Markers in Exhaled Air. *Diagnostics (Basel)*. 2020; 10(11): 934. doi: 10.3390/diagnostics10110934.
13. Broza Y.Y., Kremer R., Tisch U., Gevorkyan A., Shiban A., Best L.A., Haick H. A nanomaterial-based breath test for short-term follow-up after lung tumor resection. *Nanomedicine*. 2013; 9(1): 15–21. doi: 10.1016/j.nano.2012.07.009.
14. Poli D., Goldoni M., Caglieri A., Ceresa G., Acampa O., Carbognani P., Rusca M., Corradi M. Breath analysis in non small cell lung cancer patients after surgical tumour resection. *Acta Biomed*. 2008; 79(s1): 64–72.

Поступила/Received 05.04.2024

Одобрена после рецензирования/Revised 06.06.2024

Принята к публикации/Accepted 29.11.2024

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Родионов Евгений Олегович, кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник отделения торакальной онкологии, Научно-исследовательский институт онкологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук; ассистент кафедры онкологии, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России (г. Томск, Россия). SPIN-код: 7650-2129. Researcher ID (WOS): B-7280-2017. Author ID (Scopus): 57189622130. ORCID: 0000-0003-4980-8986.

Кульбакин Денис Евгеньевич, доктор медицинских наук, заведующий отделением опухолей головы и шеи, Научно-исследовательский институт онкологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук (г. Томск, Россия). SPIN-код: 3898-9456. Researcher ID (WOS): D-1151-2012. Author ID (Scopus): 55534205500. ORCID: 0000-0003-3089-5047.

Подолько Данил Владиславович, онколог отделения торакальной онкологии, Научно-исследовательский институт онкологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук (г. Томск, Россия). ORCID: 0000-0002-7725-176X.

Обходская Елена Владимировна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории химических технологий, химический факультет, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет» (г. Томск, Россия). SPIN-код: 7284-7941. Researcher ID (WOS): E-4297-2014. Author ID (Scopus): 55830396600. ORCID: 0000-0002-0708-7765.

Обходский Артем Викторович, кандидат технических наук, доцент инженерной школы ядерных технологий, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (г. Томск, Россия). SPIN-код: 3502-6532. Researcher ID (WOS): A-6040-2014. Author ID (Scopus): 57188992238. ORCID: 0000-0002-3996-0573.

Миллер Сергей Викторович, доктор медицинских наук, заведующий отделением торакальной онкологии, Научно-исследовательский институт онкологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук (г. Томск, Россия). SPIN-код: 6510-9849. Researcher ID (WOS): C-8970-2012. Author-ID (Scopus): 56525429400. ORCID: 0000-0002-5365-9840.

Мох Алена Андреевна, клинический ординатор, отделение торакальной онкологии, Научно-исследовательский институт онкологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук (г. Томск, Россия). ORCID: 0000-0003-3888-0632.

Сачков Виктор Иванович, доктор химических наук, заведующий лабораторией химических технологий, химический факультет, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет» (г. Томск, Россия). SPIN-код: 5661-0546. Researcher ID (WOS): E-4291-2014. Author ID (Scopus): 23009839000. ORCID: 0000-0001-7866-274X.

Попов Александр Сергеевич, младший научный сотрудник лаборатории химических технологий, химический факультет, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет» (г. Томск, Россия). SPIN-код: 2670-1109. Author ID (Scopus): 56391983000. ORCID: 0000-0002-4323-1728.

Чернов Владимир Иванович, доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, заместитель директора по научной и инновационной работе, заведующий отделением радионуклидной терапии и диагностики, Научно-исследовательский институт онкологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук (г. Томск, Россия). SPIN-код: 6301-3612. Researcher ID (WOS): AAG-6392-2020. Author ID (Scopus): 7201429550. ORCID: 0000-0001-8753-7916.

ВКЛАД АВТОРОВ

Родионов Евгений Олегович: анализ и интерпретация данных, обработка материала, подготовка статьи, научное редактирование.

Кульбакин Денис Евгеньевич: анализ и интерпретация данных, обработка материала, сбор материала.

Подолько Данил Владиславович: сбор материала, обработка результатов.

Обходская Елена Владимировна: разработка и технический дизайн аппаратной базы, интерпретация результатов.

Обходский Артем Викторович: разработка и технический дизайн аппаратной базы, интерпретация результатов.

Миллер Сергей Викторович: анализ научной работы, критический пересмотр с внесением ценного интеллектуального содержания.

Мох Алена Андреевна: сбор материала, обработка результатов.

Сачков Виктор Иванович: анализ научной работы, критический пересмотр с внесением ценного интеллектуального содержания.

Попов Александр Сергеевич: разработка и технический дизайн аппаратной базы, интерпретация результатов.

Чернов Владимир Иванович: анализ научной работы, критический пересмотр с внесением ценного интеллектуального содержания.

Все авторы одобрили финальную версию статьи перед публикацией, выразили согласие нести ответственность за все аспекты работы, подразумевающую надлежащее изучение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой части работы.

Финансирование

Результаты получены в рамках выполнения исследования, поддержанного грантом Российского научного фонда No 23-15-00177, URL: <https://rscf.ru/project/23-15-00177/>.

Конфликт интересов

Автор Миллер С.В. (доктор медицинских наук) является членом редколлегии «Сибирского онкологического журнала». Автор Чернов В.И. (доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН) является заместителем главного редактора «Сибирского онкологического журнала». Авторам неизвестно о каком-либо другом потенциальном конфликте интересов, связанном с этой статьей.

Информированное согласие

От пациента получено письменное информированное добровольное согласие на публикацию описания клинического случая и публикацию фотоматериалов в медицинском журнале, включая его электронную версию (дата подписания: 22.01.24).

ABOUT THE AUTHORS

Evgeniy O. Rodionov, MD, PhD, Senior Researcher, Department of Thoracic Oncology, Cancer Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences; Assistant, Department of Oncology, Siberian State Medical University of the Ministry of Health of Russia (Tomsk, Russia). Researcher (WOS): B-7280-2017. Author ID (Scopus): 57189622130. ORCID: 0000-0003-4980-8986.

Denis E. Kulbakin, MD, DSc, Head of Department of Head and Neck Tumors, Cancer Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences (Tomsk, Russia). Researcher ID (WOS): D-1151-2012. Author ID (Scopus): 55534205500. ORCID: 0000-0003-3089-5047.

Danil V. Podolko, MD, Oncologist, Thoracic Oncology Department, Cancer Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences (Tomsk, Russia). ORCID: 0000-0002-7725-176X.

Elena V. Obkhodskaya, PhD, Senior Researcher, Laboratory of Chemical Technologies, Chemical faculty, National Research Tomsk State University (Tomsk, Russia). Researcher ID (WOS): E-4297-2014. Author ID (Scopus): 55830396600. ORCID: 0000-0002-0708-7765.

Artem V. Obkhodskiy, PhD, Associate Professor, School of Nuclear Technology, National Research Tomsk Polytechnic University (Tomsk, Russia). Researcher ID (WOS): A-6040-2014. Author ID (Scopus): 57188992238. ORCID: 0000-0002-3996-0573.

Sergey V. Miller, MD, DSc, Head of Thoracic Oncology Department, Cancer Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences (Tomsk, Russia). Researcher ID (WOS): C-8970-2012. Author-ID (Scopus): 56525429400. ORCID: 0000-0002-5365-9840.

Alena A. Mokh, MD, Resident, Thoracic Oncology Department, Cancer Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences (Tomsk, Russia). ORCID: 0000-0003-3888-0632.

Victor I. Sachkov, DSc, Head of the Laboratory of Chemical Technologies, Chemical faculty, National Research Tomsk State University (Tomsk, Russia). Researcher ID (WOS): E-4291-2014. Author ID (Scopus): 23009839000. ORCID: 0000-0001-7866-274X.

Aleksandr S. Popov, Junior Researcher, Laboratory of Chemical Technologies, Chemical faculty, National Research Tomsk State University (Tomsk, Russia). Author ID (Scopus): 56391983000. ORCID: 0000-0002-4323-1728.

Vladimir I. Chernov, MD, DSc, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Deputy Director for Science and Innovation, Head of Nuclear Medicine Department, Cancer Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences (Tomsk, Russia). Researcher ID (WOS): AAG-6392-2020. AuthorID (Scopus): 7201429550. ORCID: 0000-0001-8753-7916.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Evgeniy O. Rodionov: data analysis and interpretation, material processing, drafting of the manuscript, scientific editing.

Denis E. Kulbakin: data analysis and interpretation, material processing, data collection.

Danil V. Podolko: data collection, processing of results.

Elena V. Obkhodskaya: hardware development and design, interpretation of the results.

Artem V. Obkhodskiy: hardware development and design, interpretation of the results.

Sergey V. Miller: analysis of the study results, critical revision of the manuscript for important intellectual content.

Alena A. Mokh: data collection, processing of results.

Victor I. Sachkov: analysis of the study results, critical revision of the manuscript for important intellectual content.

Aleksandr S. Popov: hardware development and design, interpretation of the results.

Vladimir I. Chernov: analysis of the study results, critical revision of the manuscript for important intellectual content.

All authors approved the final version of the manuscript prior to publication and agreed to be responsible for all aspects of the work in ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work were appropriately investigated and resolved.

Funding

The study was carried out at the expense of a grant Russian Science Foundation No 23-15-00177, URL: <https://rscf.ru/project/23-15-00177/>.

Conflict of interests

Dr. Miller S.V. is a member of the editorial board of Siberian Journal of Oncology. Prof. Chernov V.I. is the Deputy Editor-in-Chief of Siberian Journal of Oncology. The authors are not aware of any other potential conflicts of interest related to this manuscript.

Voluntary informed consent

Written informed voluntary consent was obtained from the patient for the publication of a case report and facial photographs in medical journal (date of signing 22/01/2024).