

УДК 616.24-073.7-073.75

А. А. Мельникова¹✉, С. В. Федьків²¹КНП «Миколаївський обласний центр онкології» МОР, вул. Миколаївська, 18, м. Миколаїв, 54018, Україна²ДУ «Національний університет охорони здоров'я України імені П.Л. Шупика», вул. Дорогожицька, 9, м. Київ, 04112, Україна

МУЛЬТИСПІРАЛЬНА КОМП'ЮТЕРНА ТОМОГРАФІЯ З ПРИЦІЛЬНИМ СКАНУВАННЯМ В МОНІТОРИНГУ ЙМОВІРНО ДОБРОЯКІСНИХ ЛЕГЕНЕВИХ ІНЦИДЕНТАЛОМ: МЕТОДИКА ТА КЛІНІЧНІ ВИПАДКИ

Вступ. Випадкове виявлення легеневих вузлів є поширеною діагностичною проблемою в сучасній клінічній практиці. Відповідно до міжнародних рекомендацій, ці знахідки часто вимагають багаторазового, тривалого динамічного моніторингу, що здійснюється за допомогою контрольних променевих досліджень. З огляду на зростання когорти пацієнтів, які потребують тривалого спостереження, та необхідність мінімізації кумулятивного променевого навантаження, критичної клінічної ваги набуває оптимізація протоколів мультиспіральної комп'ютерної томографії. Розробка та впровадження прицільних і низькодозових методик відкриває можливість отримувати відтворювані та високоінформативні діагностичні дані при суттєвому зниженні експозиції. Це є ключовим елементом у веденні пацієнтів низького ризику, формуючи підґрунтя для персоналізованих стратегій моніторингу і підвищення безпеки променевої діагностики.

Мета: науково обґрунтувати, розробити та апробувати протокол прицільного сканування мультиспіральної комп'ютерної томографії (МСКТ) органів грудної клітки для моніторингу ймовірно доброякісних легеневих вузлів та порівняти його діагностичну інформативність і променеве навантаження зі стандартним повнодозовим протоколом, з метою визначення клінічної ефективності та доцільності впровадження в практику.

Матеріали і методи. Дослідження включало 92 пацієнти КНП «Миколаївський обласний центр онкології» з випадково виявленими одиничними легенежими вузлами до 15 мм, що потребували динамічного контролю. Критеріями включення були ймовірно доброякісна морфологія вузлів і наявність принаймні одного попереднього контрольного дослідження. Відомий онкологічний анамнез або підозра на злоякісність були критеріями виключення. Сканування проводили на 64-зрізовому томографі Revolution Maxima (GE, США) у положенні лежачи на спині під час затримки дихання. Порівнювали стандартний повнодозовий протокол (А) і прицільний протокол (В) щодо променевого навантаження (CTDIvol, DLP) та діагностичної якості. Для оцінки динаміки вузлів застосовували однакові реконструкційні параметри (товщина зрізу 1,25 мм, інтервал 1 мм, легенева та медіастинальна вікна) і повторні вимірювання двома незалежними рентгенологами.

Результати. Прицільний протокол В знизив DLP більш ніж у 8 разів (27,8 mGy·cm проти 229,5 mGy·cm) і CTDIvol на $\approx 40\%$, ефективна доза зменшилася на $\approx 85\%$, при цьому якість зображень залишалася високою. 88% вузлів залишалися стабільними, 7,6% показали незначні зміни, а 4,3% потребували хірургічного втручання, всі гістологічно доброякісні. Протокол В дозволив достовірно відрізнити стабільні інциденталомі від вузлів, що потребували втручання, з мінімальним променевим навантаженням.

Висновки. Розроблений протокол прицільного МСКТ є безпечним та ефективним для динамічного моніторингу ймовірно доброякісних легенежих утворень, дозволяє зменшити кумулятивне променеве навантаження без втрати діагностичної інформативності і може бути інтегрований у клінічну практику променевої діагностики.

Ключові слова: легенежі вузли; об'ємні утворення легень; рентгенографія; мультиспіральна комп'ютерна томографія; прицільне сканування; динамічне спостереження; променеве навантаження.

Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. 2025. Вип. 30. С. 501–512. doi: 10.33145/2304-8336-2024-29-501-512

A. A. Melnykova¹✉, S. V. Fedkiv²

¹Municipal Non-Profit Enterprise «Mykolaiv Regional Oncology Center» of the Mykolaiv Regional Council, 18 Mykolaivska St., Mykolaiv, 54018, Ukraine

²State Institution «Shupyk National Healthcare University of Ukraine», 9 Dorohozhytska St., Kyiv, 04112, Ukraine

TARGETED MULTISLICE COMPUTED TOMOGRAPHY FOR MONITORING LIKELY BENIGN PULMONARY INCIDENTALOMAS: TECHNIQUE AND CLINICAL CASES

Background. Incidental detection of pulmonary nodules remains a common diagnostic challenge in modern clinical practice. According to international guidelines, such findings often require repeated, long-term surveillance using follow-up imaging. Given the growing number of patients who need prolonged monitoring and the necessity to minimize cumulative radiation exposure, optimization of multislice computed tomography (MSCT) protocols has become paramount. The development and implementation of targeted, ultra-low-dose scanning approaches enable the acquisition of reproducible and highly informative diagnostic data while substantially reducing radiation dose. This is a key component in managing low-risk patients and forms the basis for personalized follow-up strategies that enhance safety in radiological imaging.

Objective: to scientifically validate, develop, and evaluate a targeted MSCT protocol for the monitoring of probably benign pulmonary nodules, and to evaluate its diagnostic performance and radiation exposure against a standard full-dose protocol to determine its clinical utility for routine application.

Materials and Methods. The study included 92 patients of the Mykolaiv Regional Oncology Center with incidentally detected solitary pulmonary nodules up to 15 mm requiring dynamic follow-up. Inclusion criteria were probably benign morphology and at least one previous follow-up imaging study. A known oncologic history or imaging suspicion of malignancy served as exclusion criteria. Scanning was performed on a 64-slice Revolution Maxima CT scanner (GE, USA) in the supine position during a breath-hold. A standard full-dose protocol (A) and a targeted protocol (B) were compared in terms of radiation exposure (CTDIvol, DLP) and diagnostic quality. Nodule dynamics were assessed using identical reconstruction parameters (slice thickness 1.25 mm, interval 1 mm, lung and mediastinal windows) with repeated measurements by two independent radiologists.

Results. The targeted protocol B reduced DLP by more than eight-fold (27.8 vs. 229.5 mGy·cm) and lowered CTDIvol by approximately 40 %, resulting in an 85 % reduction of effective dose, while maintaining high image quality. A total of 88 % of nodules remained stable, 7.6 % showed minor changes, and 4.3 % required surgical intervention, all demonstrating benign histology. Protocol B reliably differentiated stable incidentalomas from lesions requiring intervention, with minimal radiation exposure.

Conclusions. The developed targeted MSCT protocol is safe and effective for dynamic monitoring of probably benign pulmonary nodules. It significantly reduces cumulative radiation exposure without compromising diagnostic accuracy and should be integrated into routine radiological practice.

Key words: pulmonary nodules; lung masses; chest radiography; multislice computed tomography; targeted scanning; dynamic follow-up; radiation exposure.

Problems of Radiation Medicine and Radiobiology. 2025;30:501-512. doi: 10.33145/2304-8336-2024-29-501-512

ВСТУП

Об'ємні утворення легень, виявлені випадково під час рентгенографії чи комп'ютерної томографії, є поширеною клінічною знахідкою [1]. Їхня частота сягає 25 % у загальній популяції та до 51 % серед осіб із високим ризиком раку легень [2, 3].

INTRODUCTION

Pulmonary lesions incidentally detected on chest radiography or computed tomography are a common clinical finding [1]. Their prevalence reaches up to 25 % in the general population and up to 51 % among individuals at high risk for lung cancer [2, 3].

✉ Alina A. Melnykova, e-mail: dear.alina101@gmail.com

За даними публікацій, ризик злоякісності вузлів, випадково виявлених, оцінюється приблизно в 4–6 % у загальних популяціях, але може сягати до 15 % за умови наявності високих ризик-факторів чи морфологічно підозрілих вузлів [2, 4]. Раннє виявлення пухлин легень невеликого розміру (до 10 мм) має вирішальне значення для своєчасного лікування, проте одразу агресивна діагностична тактика у всіх пацієнтів призводить до надмірної інвазивності та іонізуючого навантаження [5].

Оптимізація дози при проведенні мультиспіральної комп'ютерної томографії (МСКТ) грудної клітки є важливою через прямий вплив на деякі з найбільш чутливих до випромінювання тканин людського організму, включаючи щитоподібну залозу, молочну залозу та легені.

Відповідно до опублікованих даних, у США у більш ніж 20 % учасників програм скринінгу раку легень за допомогою низькодозової КТ при першому дослідженні виявили один або декілька легеневих вузликів, що потребували подальшого дообстеження. З них частка інвазивних процедур складала 1–4 %, а 25 % хірургічних втручань були виконані на доброякісних вузликах. Ризик тяжких ускладнень склав 4,5 випадку на 10 000 пацієнтів [4].

З огляду на це, удосконалення підходів до динамічного спостереження за об'ємними утвореннями легень з урахуванням їхніх характеристик є критично важливим для зниження кількості необґрунтованих процедур і оптимізації променевого навантаження, особливо серед пацієнтів без факторів високого ризику [6]. Незважаючи на наявність деталізованих міжнародних настанов (Fleischner, BTS), їхнє дотримання в реальній клінічній практиці часто ускладнене. Ретроспективний аналіз, проведений Wiener RS et al. (2014), виявив значні розбіжності між клінічними рекомендаціями та фактичним використанням ресурсів, підкреслюючи, що в деяких випадках спостерігається надмірне використання КТ-сканувань, що призводить до невинновданого кумулятивного променевого навантаження [7].

Променеве навантаження низькодозової КТ значно нижче стандартної, однак за оцінками радіаційних ризиків, потенційно пов'язаних з низькодозовим КТ-скринінгом легень у дорослих курців на рак легень, виявлено що верхня межа збільшення ризику становить 5,5 %, що наразі перевищує потенційні переваги [8, 9, 10].

Перспективним напрямком в діагностиці за допомогою мультиспіральної комп'ютерної томографії (МСКТ) є використання протоколу з прицільним

According to published data, the malignancy risk of incidentally detected nodules is estimated at approximately 4–6 % among the general population, but may reach up to 15 % in the presence of high-risk factors or morphologically suspicious features [2, 4]. Early detection of small lung tumors (up to 10 mm) is crucial for timely treatment; however, applying an aggressive diagnostic approach to all patients leads to excessive invasiveness and increased radiation exposure [5].

Dose optimization during multidetector computed tomography (MDCT) of the chest is paramount due to its direct impact on some of the most radiation-sensitive tissues in the human body, including the thyroid gland, breasts, and lungs.

According to published data from the United States, more than 20 % of participants in lung cancer screening programs using low-dose CT had one or more pulmonary nodules detected on baseline imaging that required further evaluation. Among these cases, 1–4 % underwent invasive procedures, and 25 % of surgical interventions were performed on benign nodules. The risk of severe complications was 4.5 cases per 10,000 patients [4].

Given this, improving strategies for dynamic follow-up of pulmonary lesions considering their characteristics is critically important for reducing unnecessary procedures and optimizing radiation exposure, especially among patients without high-risk factors [6]. Despite the availability of detailed international guidelines (Fleischner, BTS), adherence to them in real-world clinical practice is often challenging. A retrospective analysis conducted by Wiener RS et al. (2014) revealed significant discrepancies between clinical recommendations and actual resource utilization, highlighting that in some cases there is excessive use of CT examinations, leading to unjustified cumulative radiation exposure [7].

Although the radiation dose of low-dose CT is considerably lower than that of standard CT, estimates of radiation-related risks associated with low-dose lung cancer screening in adult smokers suggest that the upper limit of the increased risk may reach 5.5%, potentially exceeding the benefits [8, 9, 10].

A promising direction in multislice computed tomography (MSCT) is the use of a targeted protocol with a restricted scan range of the chest for dynamic monitoring of probably benign lesions.

обмеженням зони сканування органів грудної клітки для динамічного спостереження ймовірно доброякісних утворень. Це дозволить зменшити кількість зайвих обстежень та променевого навантаження. Основний акцент у цій методиці робиться на науково обгрунтованому виборі технічних параметрів дослідження, а також інтервалів контролю, зважаючи на анамнез, динаміку та анатомічні характеристики вузла.

Наукове обгрунтування та розробка ефективного прицільного МСКТ-протоколу вимагає глибокого аналізу сучасних тенденцій і наявних суперечностей у променевої діагностиці. У зв'язку з цим, огляд літератури зосереджено на трьох ключових напрямках: аналіз міжнародних клінічних настанов щодо тактики ведення легеневих вузлів; оцінка проблеми кумулятивного променевого навантаження при динамічному контролі; а також вивчення технічних підходів до оптимізації дози, включаючи концепцію фокусного сканування та ітеративні реконструкції.

Актуальними документами з даної проблеми є настанови Fleischner Society (2017), British Thoracic Society (BTS, 2015) та рекомендації АСРП (Американської колегії торакальних хірургів). Вони пропонують алгоритми спостереження, що залежать від розміру вузла (≤ 6 мм, 6–8 мм, > 8 мм), його морфології (солідний, субсолідний, ground-glass), а також від оцінки клінічного ризику пацієнта [11].

Рекомендації NSSN вказують пороговий індекс дози $\text{CTDI}_{\text{vol}} \leq 3$ mGy для всіх скринінгових КТ ОГК, за винятком обстеження медіастинальної патології. Оцінку та вимірювання легеневих вузлів необхідно проводити у легеновому вікні. При огляді у вікні м'яких тканин розмір вузликів недооцінюється, а деякі утворення (особливо несолідні та малі вузлики) можуть не бути видимими або погано візуалізуватися. Також рекомендації пропонують щорічний контроль для вперше виявлених солідних вузликів розміром до 6 мм. Застосування контрастного підсилення показано лише у випадках, коли розмір вузла сягає 15 мм і більше, для більш точної характеристики його васкуляризації та диференціації [12]. Згідно з оновленими настановами Fleischner Society (2017), морфологічна оцінка легеневих утворень повинна проводитися на тонких зрізах з кроком ≤ 1.5 мм, оскільки дрібні або частково солідні вузли можуть бути пропущені через об'ємний ефект, що знижує точність їх візуалізації та вимірювання.

Стандартна КТ органів грудної клітки супроводжується дозовим навантаженням у діапазоні 2–7 мЗв.

This approach may reduce unnecessary examinations and radiation exposure. The main focus of this methodology is the scientifically justified selection of technical scanning parameters and follow-up intervals based on clinical history, temporal dynamics, and anatomical characteristics of the nodule.

The scientific rationale and development of an effective targeted MSCT protocol require a comprehensive analysis of current trends and existing inconsistencies in thoracic imaging. Accordingly, the literature review focuses on three key areas: an overview of international clinical guidelines on the management of pulmonary nodules; an assessment of the problem of cumulative radiation exposure during follow-up imaging; and an examination of technical dose-optimization approaches, including the concept of focal scanning and iterative reconstruction techniques.

Relevant documents addressing this issue include the guidelines of the Fleischner Society (2017), the British Thoracic Society (BTS, 2015), and the recommendations of the American College of Chest Physicians (ACCP). These guidelines propose surveillance algorithms based on nodule size (≤ 6 mm, 6–8 mm, > 8 mm), morphology (solid, subsolid, ground-glass), and the patient's clinical risk profile [11].

NSSN recommendations specify a threshold $\text{CTDI}_{\text{vol}} \leq 3$ mGy for all chest CT screening examinations, except in cases requiring mediastinal assessment. Pulmonary nodule evaluation and measurements should be performed using lung window settings. Assessment in soft-tissue windows leads to underestimation of nodule size, and certain lesions (particularly non-solid and small nodules) may not be visible or may be poorly visualized. The guidelines also recommend annual follow-up for newly detected solid nodules up to 6 mm. Contrast enhancement is indicated only for nodules measuring 15 mm or larger in order to better assess their vascularity and improve differentiation [12]. According to the updated Fleischner Society guidelines (2017), morphological assessment should be performed using thin slices with a reconstruction interval ≤ 1.5 mm, since small or partially solid nodules may be missed due to partial-volume effects, which reduce visualization and measurement accuracy.

Standard chest CT results in a radiation dose of approximately 2–7 mSv. In low-risk patients

У пацієнтів із низьким ризиком, яким призначено 3–5 контрольних КТ, загальна ефективна доза може перевищити 10–20 мЗв [13]. Це викликає занепокоєння, оскільки кумулятивна доза опромінення теоретично підвищує ризик розвитку радіаційно-індукованих злоякісних новоутворень. Особлива увага приділяється пацієнтам молодого віку та особам, які проходять моніторинг протягом багатьох років.

Для подолання проблеми зростання рівня шуму на низькодозових зображеннях у клінічній практиці широко впроваджуються ітеративні алгоритми реконструкції (IR), такі як ASIR, ASIR-V та MBIR. На відміну від класичної фільтр-бекпроекції (FBP), яка базується на математичних припущеннях КТ-системи, IR виконують багаторазову ітераційну обробку вихідних даних, що дозволяє суттєво зменшити шум і підвищити якість зображення при одночасному зниженні дози випромінювання. Численні дослідження демонструють, що застосування гібридних і модель-базованих IR може забезпечити зменшення ефективної дози на порядок 30–60 % (і в окремих роботах навіть більше при MBIR / VEO) порівняно з FBP при збереженні діагностичної якості зображень для виявлення й оцінки легеневих вузлів. Ітеративна реконструкція SAFIRE показала покращену діагностичну достовірність та чіткість візуалізації уражень при CTDIvol 2,5 мГр порівняно зі звичайними КТ-обстеженнями грудної клітки з FBP 7 мГр [14].

Успіх у зниженні смертності від раку легень, досягнутий за допомогою низькодозової спіральної КТ, був підтверджений у великих довгострокових програмах масового скринінгу [15]. Окрім оптимізації технічних параметрів, важливим шляхом мінімізації променевого навантаження є обмеження зони сканування. Традиційний протокол передбачає сканування всієї грудної клітки, що є надмірним для контролю одиничного відомого вузла.

Прицільне сканування полягає у скануванні лише обмеженої ділянки легень, яка охоплює вузол та невелику зону прилеглої паренхіми (наприклад, 4–5 см по осі Z). Це дозволяє прямо пропорційно зменшити показник DLP (добуток дози на довжину) та, відповідно, ефективну дозу. Комбінація обмеження поля сканування з ітеративними реконструкціями та модифікованими параметрами напруги є найбільш перспективною стратегією для створення ультранизькодозового, але діагностично надійного протоколу моніторингу легеневих вузлів.

undergoing 3–5 follow-up examinations, the cumulative effective dose may exceed 10–20 mSv [13]. This raises concerns, as cumulative radiation exposure may theoretically increase the risk of radiation-induced malignancies. Particular attention is required for younger patients and those undergoing long-term surveillance.

To address the increased image noise associated with low-dose imaging, iterative reconstruction (IR) algorithms such as ASIR, ASIR-V, and MBIR have been widely adopted in clinical practice. Unlike classical filtered back projection (FBP), which relies on mathematical assumptions of CT system geometry, IR methods perform repeated iterative processing of raw data, significantly reducing noise and improving image quality while enabling dose reduction. Multiple studies demonstrate that hybrid and model-based IR techniques may reduce effective dose by approximately 30–60% (and even more in some reports using MBIR/VEO) compared with FBP, while maintaining diagnostic image quality for detecting and assessing pulmonary nodules. The SAFIRE iterative reconstruction algorithm has shown improved diagnostic accuracy and lesion visualization at CTDIvol 2.5 mGy compared with conventional chest CT using FBP at 7 mGy [14].

The success in reducing lung cancer mortality achieved with low-dose spiral CT has been confirmed in large, long-term, population-based screening programs [15]. In addition to optimizing technical parameters, limiting the scan range is a crucial strategy for minimizing radiation exposure. Conventional protocols involve scanning the entire chest, which is excessive for surveillance of a single known pulmonary nodule.

Targeted scanning involves imaging only a restricted lung region that includes the nodule and a small margin of adjacent parenchyma (for example, 4–5 cm along the Z-axis). This approach proportionally reduces the DLP (dose-length product) and, subsequently, the effective dose. Combining scan-range limitation with iterative reconstruction techniques and modified tube-voltage settings represents the most promising strategy for creating an ultra-low-dose yet diagnostically reliable protocol for pulmonary nodule follow-up.

МЕТА

Науково обґрунтувати, розробити та апробувати протокол прицільного сканування мультиспіральної комп'ютерної томографії органів грудної клітки для моніторингу ймовірно доброякісних легеневих утворень, з подальшим порівняльним аналізом його діагностичної інформативності та променевого навантаження відносно стандартного (повнодозового) МСКТ-протоколу, з метою визначення його клінічної ефективності та доцільності впровадження в практику променевої діагностики.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Дослідження має порівняльний ретроспективно-проспективний дизайн, що передбачає зіставлення променевого навантаження та діагностичної інформативності двох різних протоколів мультиспіральної комп'ютерної томографії (МСКТ).

В дослідження було включено 92 пацієнта КНП «Миколаївський обласний центр онкології» з діагностованими одиничними легневими вузликами (солідними та/або субсолідними) розміром до 15 мм, що вимагають динамічного контролю згідно з міжнародними клінічними настановами.

Критерії включення:

- Випадково виявлені легеневі вузлики (single pulmonary nodules) методом рентгенографії або КТ.
- Розмір вузла ≤ 15 мм.
- Первинна інтерпретація: «ймовірно доброякісний» (за такими ознаками: рівний чіткий контур, наявність кальцинатів, жирові включення, перифісуральне розташування, без динаміки у порівнянні з попередніми дослідженнями), низький клінічний ризик пацієнта.
- Наявність мінімум одного попереднього контрольного дослідження (РГ або КТ).

Критерії виключення:

- Відомий анамнез метастатичного або первинного онкологічного захворювання.
- Вузли з чіткими ознаками злоякісності на початковому дослідженні (спікулярний контур, швидкий ріст).
- Пацієнти, у яких одразу проведено інвазивну діагностику без періоду нагляду.

Комп'ютерну томографію грудної клітки виконували на мультиспіральному 64-зрізовому комп'ютерному томографі Revolution Maxima (General Electric, США).

Сканування проводили у положенні пацієнта лежачи на спині, під час затримки дихання на вдиху.

Параметри сканування наведені в табл.1.

OBJECTIVE

To scientifically substantiate, develop, and evaluate a targeted multislice computed tomography (MSCT) scanning protocol of the chest for monitoring probably benign pulmonary lesions, followed by a comparative analysis of its diagnostic performance and radiation exposure against the standard (full-dose) MSCT protocol, to determine its clinical effectiveness and feasibility for integration into routine radiological practice.

MATERIALS AND METHODS

The study employed a comparative retrospective-prospective design aimed at evaluating differences in radiation exposure and diagnostic performance between two multislice computed tomography (MSCT) protocols.

A total of 92 patients from the Municipal Non-Profit Enterprise «Mykolaiv Regional Oncology Center» were included, all of whom had solitary pulmonary nodules (solid and/or subsolid) measuring up to 15 mm that required dynamic surveillance according to international clinical guidelines.

Inclusion criteria:

- Incidentally detected solitary pulmonary nodules identified on chest radiography or CT.
- Nodule size ≤ 15 mm.
- Initial interpretation as “likely benign” (based on features such as smooth well-defined margins, presence of calcifications, fat attenuation, perifissural location, or stability on prior imaging), and a low clinical risk profile.
- Availability of at least one prior follow-up examination (radiography or CT).

Exclusion criteria:

- Known history of primary or metastatic malignancy.
- Nodules with clear malignant features on initial imaging (spiculated margins, rapid growth).
- Patients who underwent immediate invasive diagnostic procedures without a period of imaging surveillance.

Chest CT scans were performed using a 64-slice multislice CT scanner (Revolution Maxima, General Electric, USA).

Scanning was carried out with the patient in the supine position during breath-hold at full inspiration.

Scanning parameters are presented in Table 1.

Таблиця 1**Параметри сканування пацієнтів****Table 1****Scanning parameters**

Параметр Parameter	Протокол А: стандартний (повнодозовий) Protocol A: Standard (Full-Dose)	Протокол В: прицільний Protocol B: Targeted
Зона сканування Scanning Area	Вся грудна клітка (від верхньої апертури до діафрагми), ~ 30 см The entire chest (from thoracic inlet to the diaphragm), ~30 cm	Цільова ділянка 5 см по осі Z, центрована на вузлі Target area 5 cm along the Z-axis, centered on the nodule
Напруга трубки, кВ Tube Voltage (kV)	120	120
Сила струму, мА Tube Current (mA)	Smart mA, діапазон 80–450 мА Smart mA, range 80–450 mA	Smart mA, діапазон 80–450 мА Smart mA, range 80–450 mA
Товщина зрізу × інтервал Slice Thickness × Interval	1,25 × 0,625	1,25 × 0,625
CTDIvol, мГр CTDIvol (mGy)	6,18	3,72
DLP, мГр·см DLP (mGy·cm)	229,5	27,8

Для аналізу використовували тонкошарові реконструкції товщиною 1,25 мм із кроком 1 мм у легневому (WW 1500 / WL -600) та медіастинальному (WW 400 / WL 40) вікнах.

Дослідження виконано відповідно до стандартів належної клінічної практики (GCP), принципів Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації (1964–2000 рр.), Конвенції Ради Європи з біоетики (1997 р.) та положень Директиви ЄС 2010/63/64 від 22.10.2010 р. Усі учасники були поінформовані про мету та основні положення дослідження і надали письмову інформовану згоду.

Для статистичної обробки результатів застосовували програми Statistica 6.0 (StatSoft Inc., США) та Microsoft Office Excel 2017. Специфічність і чутливість визначали методом ROC-аналізу (Receiver Operating Characteristic). Статистично значущими вважали відмінності при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТИ

Прицільний протокол (протокол В, рис. 1) продемонстрував істотне зниження радіаційного навантаження порівняно зі стандартним повнодозовим скануванням (протокол А, рис. 2). Об'ємний індекс дози (CTDIvol) у протоколі В був меншим на $\approx 40\%$, а загальний показник DLP зменшився більш ніж у 8 разів (27,8 мГр·см проти 229,5 мГр·см). Зниження DLP зумовлене скороченням довжини зони сканування з ~ 30 см до 5 см при збереженні аналогічних параметрів експозиції (кВ, Smart mA) і просторової роздільної здатності. Такий підхід дозволяє суттєво мінімізувати променеве навантаження при повторних

Thin-slice reconstructions (slice thickness 1.25 mm, interval 1 mm) were used for analysis in both the lung window (WW 1500 / WL -600) and the mediastinal window (WW 400 / WL 40).

The study was conducted in accordance with Good Clinical Practice (GCP) standards, the principles of the World Medical Association's Declaration of Helsinki (1964–2000), the Council of Europe Convention on Bioethics (1997), and the provisions of EU Directive 2010/63/64 of October 22, 2010. All participants were informed about the purpose and main elements of the study and provided written informed consent.

Statistical analysis was performed using Statistica 6.0 (StatSoft Inc., USA) and Microsoft Office Excel 2017. Sensitivity and specificity were assessed using Receiver Operating Characteristic (ROC) analysis. Differences were considered statistically significant at $p < 0.05$.

RESULTS

The targeted protocol (Protocol B, Fig. 1) demonstrated a substantial reduction in radiation exposure compared with standard full-dose scanning (Protocol A, Fig. 2). The volumetric dose index (CTDIvol) in Protocol B was approximately $\approx 40\%$ lower, and the total DLP decreased more than eightfold (27.8 mGy·cm vs 229.5 mGy·cm). The reduction in DLP was primarily due to shortening the scan range from approximately 30 cm to 5 cm while maintaining identical exposure parameters (kV, Smart mA) and spatial resolution. This approach enables a significant reduction in radiation dose during follow-up examinations in

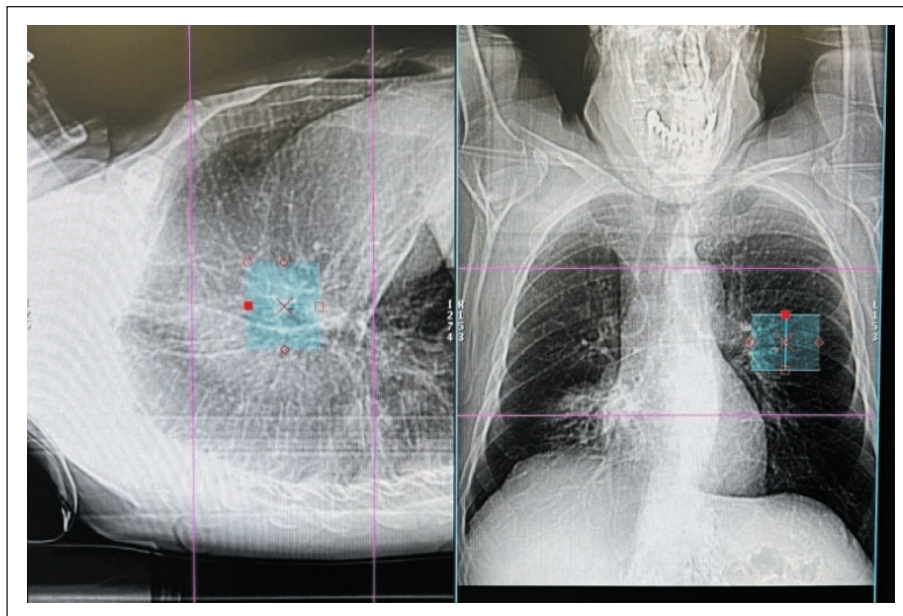


Рисунок 1. Топограма МСКТ ОГК для визначення меж та планування об'єму прицільного сканування (протокол В)

Figure 1. Scout View of the chest CT for defining the boundaries and planning the focal scanning volume (Protocol B)

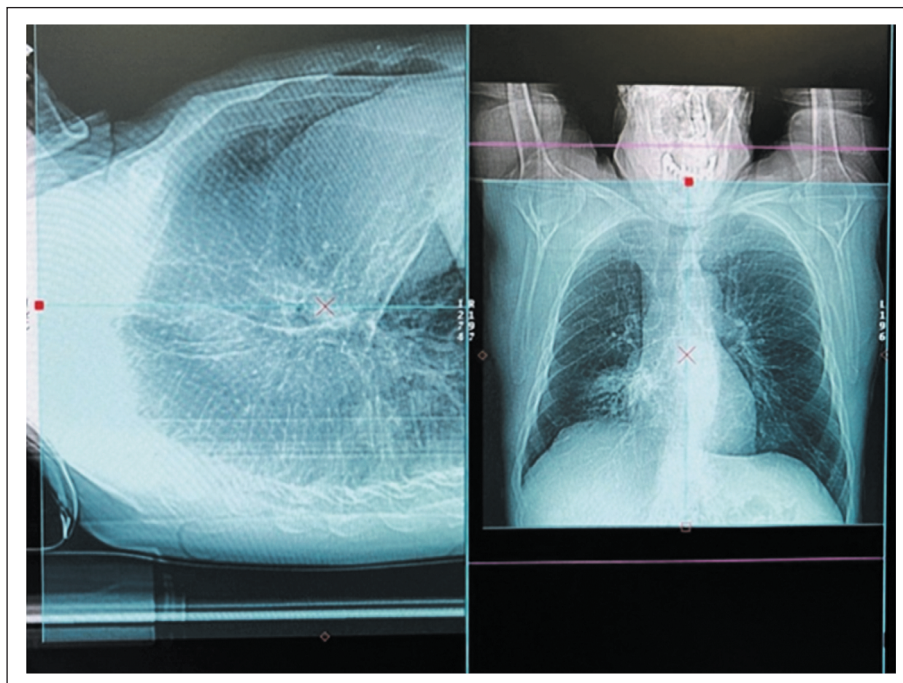


Рисунок 2. Топограма МСКТ ОГК для визначення меж та планування об'єму сканування при стандартному повнодозовому протоколі А

Figure 2. Scout View of the chest CT for defining the boundaries and planning the scanning volume for the standard full-dose Protocol A

контрольних дослідженнях у пацієнтів з імовірно доброякісними вузлами, не погіршуючи діагностичної якості.

Для забезпечення відтворюваності оцінки динаміки легеневих вузлів у всіх випадках використовували однакові реконструкційні параметри (товщина зрізу 1.25 мм, інтервал 1 мм, легеневе та медіастинальне вікна). Повторні вимірювання виконувалися на тих самих реконструкціях за участю двох незалежних рентгенологів із подальшим порівнянням результатів. Розбіжність вимірювань не перевищувала очікуваний технічний поріг (± 1 мм для вузлів до 10 мм), що відповідає сучасним критеріям узгодженості у дослідженнях легеневих вузлів.

У дослідження було включено 92 пацієнти, які відповідали критеріям включення та не мали критеріїв виключення. Інтервали між контрольними об-

patients with likely benign pulmonary nodules without compromising diagnostic image quality.

The same reconstruction parameters were used in all cases to ensure reproducibility of the assessment of pulmonary nodule dynamics (1.25 mm slices, 1 mm interval, lung and mediastinal windows). Repeated measurements were performed on the same reconstructions by two independent radiologists, with subsequent comparison of the results. The interobserver variability did not exceed ± 1 mm for nodules ≤ 10 mm, meeting contemporary concordance criteria.

The study included 92 patients who met the inclusion criteria and had no exclusion criteria. The intervals between follow-up examinations

теженнями становили 3–6 місяців залежно від морфології вузла та клінічного ризику.

Під час спостереження:

- 81 вузол (88 %) залишився стабільним протягом усього періоду контролю;
- 7 вузлів (7,6 %) показали незначне збільшення розмірів або зміни структури, що вимагало подальшої біопсії;
- 4 вузли (4,3 %) були направлені на хірургічне втручання через сумнівну морфологію, при цьому гістологічно всі виявились доброякісними.

Порівняльна характеристика дозового навантаження показала значну економію при прицільному протоколі:

- CTDIvol: 3,72 мГр порівняно з 6,18 мГр при стандартному протоколі;
- DLP: 27,8 мГр·см порівняно з 229,5 мГр·см;
- Ефективна доза зменшилась на ~ 85 %.

Клінічні приклади:

- Вузол 8 мм, перифісуральне розташування. Під час 12-місячного спостереження стабільний розмір, інвазивна діагностика не проводилась.
- Вузол 10 мм з кальцинатами. Через 6 місяців без змін, залишено під динамічним контролем.
- Вузол 12 мм, частково солідний компонент. Збільшення на 1 мм після 6 місяців, проведена біопсія, підтверджено доброякісну гранульому.

Динаміка та результати спостереження легеневих інциденталом (n = 92) представлені в табл. 2.

МСКТ з прицілним скануванням дозволила відрізнити стабільні інциденталоми від випадків, що вимагали подальшого втручання, і знизити непотрібне опромінення при адекватній діагностичній інформативності.

ОБГОВОРЕННЯ

Результати клінічного спостереження підтвердили доцільність обраної стратегії моніторингу для когорти пацієнтів із низьким та проміжним ризиком. Переважна більшість вузлів залишалася стабільною, що підтверджує правильність початкової стратифікації ризику згідно з міжнародними настановами (Fleischner Society).

Таблиця 2

Динаміка та результати спостереження легеневих інциденталом

Table 2

Dynamics and outcomes of follow-up for pulmonary incidentalomas

Показник / Parameter	Кількість вузлів / Number of Nodules	%
Стабільні вузли / Stable nodules	81	88,0 %
Незначне збільшення / зміни структури // Minor increase / structural changes	7	7,6 %
Направлені на хірургію / Referred for surgery	4	4,3 %
Гістологічно доброякісні / Histologically benign	4	100 %

were 3–6 months depending on the morphology of the nodule and clinical risk.

Follow-up results:

- 81 nodules (88 %) remained stable within all the control period;
- 7 nodules (7.6 %) showed minor changes requiring biopsy;
- 4 nodules (4.3 %) underwent surgery due to suspicious morphology; at that all were histologically benign.

The comparative characteristics of the dose load showed significant savings under the targeted protocol:

- the mean CTDIvol was 3.72 mGy vs 6.18 mGy for the standard protocol
- the DLP was 27.8 mGy·cm vs 229.5 mGy·cm
- an overall effective dose reduction of ~85 %.

Clinical examples:

- 8 mm perifissural nodule: stable over 12 months, no invasive procedure;
- 10 mm calcified nodule: unchanged at 6 months, patient continued dynamic surveillance;
- 12 mm partially solid nodule: +1 mm at 6 months, biopsy confirmed benign granuloma.

The dynamics and outcomes of follow-up for pulmonary incidentalomas (n = 92) are presented in Table 2.

The targeted MSCT protocol reliably differentiated stable incidentalomas from lesions requiring further intervention, significantly reducing unnecessary radiation exposure while maintaining diagnostic accuracy.

DISCUSSION

The results of clinical follow-up confirmed the appropriateness of the selected monitoring strategy for patients with low to intermediate risk. The vast majority of nodules remained stable, validating the initial risk stratification in accordance with international guidelines (Fleischner Society).

Водночас, виявлено, що незначна частка утворень вимагала подальшої діагностичної ескалації (біопсія або хірургічне втручання). Важливо відзначити, що усі прооперовані вузли мали доброякісну гістологію. Це підкреслює проблему хибнопозитивних результатів у диференціальній діагностиці граничних утворень, які демонструють сумнівну морфологічну динаміку, і підтверджує важливість безпечного інструменту для моніторингу таких пацієнтів до остаточного рішення про інвазивну процедуру.

Наше дослідження підтверджує досягнення поставленої мети: розроблений протокол прицільного сканування МСКТ є безпечною та ефективною альтернативою стандартному повнодозовому скануванню.

Клінічна ефективність протоколу забезпечується необхідною діагностичною якістю для точного моніторингу динаміки легневих вузлів при мінімізації променевого навантаження, що відповідає сучасним рекомендаціям Fleischner Society та ACCP щодо безпечного ведення інцидентальних вузлів [16]. Це особливо актуально для молодих пацієнтів та осіб, які перебувають під тривалим спостереженням понад 5 років, де кумулятивна доза є ключовим фактором ризику. Використання прицільного протоколу дозволяє медичним закладам дотримуватися стандартів радіаційної безпеки без зниження діагностичної надійності.

ВИСНОВКИ

Було науково обґрунтовано, розроблено та успішно апробовано протокол прицільного мультиспірального комп'ютерного томографічного сканування для динамічного моніторингу ймовірно доброякісних легневих утворень, який інтегрує обмеження зони сканування зі зниженими технічними параметрами експозиції та ітеративними алгоритмами реконструкції.

Запропонований протокол прицільного сканування МСКТ є практично застосовним і допомагає оптимізувати менеджмент ймовірно доброякісних інциденталом у клінічних умовах. Ефективна доза опромінення для пацієнтів зменшилася на 85 % порівняно зі стандартним повнодозовим протоколом, що значно знижує кумулятивний радіаційний ризик при тривалому моніторингу.

Отримані результати підтверджують, що прицільне сканування може бути безпечно рекомендоване для динамічного спостереження за стабільними, морфологічно доброякісними легневими інциденталомами, особливо у пацієнтів молодого віку та осіб із тривалим прогнозованим періодом спостереження. Діагностична якість зображень залишалася достатньою для контролю навіть субсолідних компонентів

However, a small proportion of lesions required further diagnostic escalation (biopsy or surgical intervention). Notably, all nodules referred for surgery were histologically benign. This underscores the challenge of false-positive results in the differential diagnosis of borderline lesions exhibiting ambiguous morphological changes, highlighting the importance of a safe monitoring tool for these patients before making a final decision on invasive procedures.

Our study demonstrates that the developed targeted CT protocol is a safe and effective alternative to the standard full-dose scanning.

The clinical effectiveness of the protocol is supported by sufficient diagnostic quality for accurate monitoring of pulmonary nodule dynamics while minimizing radiation exposure, in line with current Fleischner Society and ACCP recommendations for the safe management of incidental nodules [16]. This approach is particularly relevant for younger patients and those under long-term follow-up exceeding five years, where cumulative radiation dose is a key risk factor. The use of a targeted protocol allows healthcare facilities to adhere to radiation safety standards without compromising diagnostic reliability.

CONCLUSIONS

A scientifically grounded, targeted multidetector CT (MDCT) scanning protocol was developed and successfully tested for the dynamic monitoring of likely benign pulmonary lesions. The protocol integrates restricted scan coverage with reduced technical exposure parameters and iterative reconstruction algorithms.

The proposed targeted MDCT protocol is clinically applicable and aids in optimizing the management of likely benign pulmonary incidentalomas. Patient effective radiation dose was reduced by 85 % compared to the standard full-dose protocol, significantly lowering cumulative radiation risk during long-term monitoring.

The results confirm that targeted scanning can be safely recommended for the follow-up of stable, morphologically benign pulmonary incidentalomas, particularly in younger patients and individuals with a long anticipated follow-up period. Image quality remained sufficient for assessing even subsolid components, allowing accurate evaluation of their structure and size

і визначення їхньої структури та розмірів відповідно до сучасних критеріїв Fleischner Society.

Таким чином, розроблений прицільний МСКТ-протокол може бути рекомендований як ефективна стратегія оптимізації променевого навантаження та раціоналізації діагностичного алгоритму згідно з принципами ALARA.

Фінансування

Дослідження не отримувало жодного фінансування.

Подяка

Автор висловлює щиру подяку директору КНП «Миколаївський обласний центр онкології» Безносенко Максиму за організаційну підтримку та створення умов для проведення дослідження. Також висловлюється подяка торакальним хірургам, лікарям-патологоанатомам, рентгенологам і співробітникам відділень, які брали участь у клінічному спостереженні та забезпечували якісне виконання діагностичних процедур.

Конфлікт інтересів

Автори повідомляють про відсутність конфлікту інтересів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Quaife SL, Janes SM, Brain KE. The person behind the nodule: a narrative review of the psychological impact of lung cancer screening. *Transl. Lung Cancer Res.* 2021. Vol. 10(5). P. 2427-2440. DOI: 10.21037/tlcr-20-1179.
2. Nodulo pulmonar incidental: caracterizacion y manejo / C. Trinidad Lopez, C. Delgado Sanchez-Gracian, E. Utrera Perez et al. *Radiologia.* 2019. Vol. 61(5). P. 357-369. DOI: 10.1016/j.rx.2019.03.002.
3. Evaluation of individuals with pulmonary nodules: When is it lung cancer? Diagnosis and Management of Lung Cancer, 3rd ed: American College of Chest Physicians Evidence-Based Clinical Practice Guidelines / M. K. Gould, J. Donington, W. R. Lynch et al. *Chest.* 2013. Vol. 143. P. e93S-120S.
4. Probability of Cancer in Pulmonary Nodules Detected on First Screening CT / A. McWilliams, M. C. Tammemagi, J. R. Mayo et al. *N Engl. J. Med.* 2013. Vol. 369. P. 910-919. DOI: 10.1056/NEJMoa1214726.
5. 20-year lung cancer survival rates in the International Early Lung Cancer Action Program (I-ELCAP) / C. Henschke, D. F. Yankelevitz, D. M. Libby et al. *Radiology.* 2023;309(2):e231988. doi: 10.1148/radiol.231988.
6. Cumulative incidence of false-positive results in repeated, multimodal cancer screening / J. M. Croswell, B. S. Kramer, A. R. Kreimer et al. *Ann. Fam. Med.* 2009. Vol. 7(3). P. 212-222. DOI: 10.1370/afm.942.

according to current Fleischner Society criteria.

Thus, the developed targeted MDCT protocol is recommended as an effective strategy for optimizing radiation exposure and rationalizing the diagnostic workflow in accordance with the ALARA principle.

Funding

This research received no external funding.

Acknowledgments

The author sincerely thanks Maksym Beznosenko, Director of the Mykolaiv Regional Oncology Center, for organizational support and creating the conditions necessary for conducting this study. Gratitude is also extended to the thoracic surgeons, pathologists, radiologists, and other staff members who participated in clinical follow-up and ensured high-quality performance of diagnostic procedures.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

1. Quaife SL, Janes SM, Brain KE. The person behind the nodule: a narrative review of the psychological impact of lung cancer screening. *Transl Lung Cancer Res.* 2021;10(5):2427-2440. doi: 10.21037/tlcr-20-1179.
2. Trinidad Lopez C, Delgado Sanchez-Gracian C, Utrera Perez E, Jurado Basildo C, Sepulveda Villegas CA. Nodulo pulmonar incidental: caracterizacion y manejo. *Radiologia.* 2019;61(5):357-369. doi: 10.1016/j.rx.2019.03.002.
3. Gould MK, Donington J, Lynch WR, Mazzone PJ, Midthun DE, Naidich DP, et al. Evaluation of individuals with pulmonary nodules: When is it lung cancer? Diagnosis and Management of Lung Cancer, 3rd ed: American College of Chest Physicians Evidence-Based Clinical Practice Guidelines. *Chest.* 2013;143:e93S-120S.
4. McWilliams A, Tammemagi MC, Mayo JR, Roberts H, Liu G, Soghrati K, et al. Probability of Cancer in Pulmonary Nodules Detected on First Screening CT. *N Engl J Med.* 2013;369:910-919. doi: 10.1056/NEJMoa1214726.
5. Henschke C, Yankelevitz DF, Libby DM, Markowitz S, Cervera Deval J, et al. 20-year lung cancer survival rates in the International Early Lung Cancer Action Program (I-ELCAP). *Radiology.* 2023;309(2):e231988. doi: 10.1148/radiol.231988.
6. Croswell JM, Kramer BS, Kreimer AR, Prorok PC, Xu JL, Baker SG, et al. Cumulative incidence of false-positive results in repeated, multimodal cancer screening. *Ann Fam Med.* 2009;7(3):212-222. doi: 10.1370/afm.942.

7. Resource use and guideline concordance in evaluation of pulmonary nodules for cancer: too much and too little care / R. S. Wiener, M. K. Gould, C. G. Slatore et al. *JAMA Intern Med.* 2014. Vol. 174(6). P. 871-880. DOI: 10.1001/jamainternmed.2014.561
8. Ultralow dose CT for follow-up of solid pulmonary nodules / M. Paks, P. Leong, P. Einsiedel et al. *Medicine (Baltimore).* 2018. Vol. 97(34). P. e12019. DOI: 10.1097/MD.00000000000012019.
9. Brenner D. J. Radiation risks potentially associated with low-dose CT screening of adult smokers for lung cancer. *Radiology.* 2004. Vol. 231(2). P. 440-445. DOI: 10.1148/radiol.2312030880.
10. Frank L., Christodoulou E., Kazerooni E. A. Radiation risk of lung cancer screening. *Semin Respir Crit Care Med.* 2013. Vol. 34(6). P. 738-747. DOI: 10.1055/s-0033-1358615.
11. Guidelines for management of incidental pulmonary nodules detected on CT images: From the Fleischner Society 2017 / H. MacMahon, D. P. Naidich, J. M. Goo et al. *Radiology.* 2017. Vol. 284(1). DOI: 10.1148/radiol.2017161659.
12. Lung cancer screening. In: NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology. Version 1.2013; 06/15/12. National Comprehensive Cancer Network, Ink.
13. Long-term follow-up study of a population-based 1996–1998 mass screening programme for lung cancer using mobile low-dose spiral computed tomography / S. Sone, T. Nakayama, T. Honda et al. *Lung Cancer.* 2007. Vol. 58(3). P. 329-341. DOI: 10.1016/j.lungcan.2007.06.022.
14. CT radiation dose and iterative reconstruction techniques / A. Padole, R. D. A. Khawaja, M. K. Kalra, S. Singh. *AJR Am. J. Roentgenol.* 2015. Vol. 204(4). P. 689-908. DOI: 10.2214/AJR.14.1324.
15. Computed tomography screening and lung cancer outcomes / P. B. Bach, J. R. Jett, U. Pastorino et al. *JAMA.* 2007. Vol. 297(9). P. 953-961. DOI: 10.1001/jama.297.9.953.
16. Systematic review of lung cancer screening: advancements and strategies for implementation / D. Amicizia, M. F. Piazza, F. Marchini et al. *Healthcare.* 2023. Vol. 11. P. 2085. DOI: 10.3390/healthcare11142085.
7. Wiener RS, Gould MK, Slatore CG, Fincke BG, Schwartz LM, Woloshin S. Resource use and guideline concordance in evaluation of pulmonary nodules for cancer: too much and too little care. *JAMA Intern Med.* 2014;174(6):871-880. doi: 10.1001/jamainternmed.2014.561.
8. Paks M, Leong P, Einsiedel P, Irving LB, Steinfort DP, Pascoe DM. Ultralow dose CT for follow-up of solid pulmonary nodules. *Medicine (Baltimore).* 2018;97(34):e12019. doi: 10.1097/MD.00000000000012019.
9. Brenner DJ. Radiation risks potentially associated with low-dose CT screening of adult smokers for lung cancer. *Radiology.* 2004;231(2):440-445. doi: 10.1148/radiol.2312030880.
10. Frank L, Christodoulou E, Kazerooni EA. Radiation risk of lung cancer screening. *Semin Respir Crit Care Med.* 2013;34(6):738-747. doi: 10.1055/s-0033-1358615.
11. MacMahon H, Naidich DP, Goo JM, Lee KS, Leung ANC, Mayo JR, et al. Guidelines for management of incidental pulmonary nodules detected on CT images: From the Fleischner Society 2017. *Radiology.* 2017;284(1). doi: 10.1148/radiol.2017161659.
12. Lung cancer screening. In: NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology. Version 1.2013; 06/15/12. National Comprehensive Cancer Network, Ink.
13. Sone S, Nakayama T, Honda T, Tsushima K, Li F, Haniuda M, et al. Long-term follow-up study of a population-based 1996–1998 mass screening programme for lung cancer using mobile low-dose spiral computed tomography. *Lung Cancer.* 2007;58(3):329-341. doi: 10.1016/j.lungcan.2007.06.022.
14. Padole A, Khawaja RDA, Kalra MK, Singh S. CT radiation dose and iterative reconstruction techniques. *AJR Am J Roentgenol.* 2015; 204(4):689-908. doi: 10.2214/AJR.14.1324.
15. Bach PB, Jett JR, Pastorino U, Tockman MS, Swensen SJ, Begg CB. Computed tomography screening and lung cancer outcomes. *JAMA.* 2007;297(9):953-961. doi: 10.1001/jama.297.9.953.
16. Amicizia D, Piazza MF, Marchini F, Astengo M, Grammatico F, Battagliani A, et al. Systematic review of lung cancer screening: advancements and strategies for implementation. *Healthcare.* 2023; 11(14):2085. doi: 10.3390/healthcare11142085.

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

Мельникова Аліна Анатоліївна, аспірантка кафедри радіології ДУ «Національний університет охорони здоров'я України імені П.Л. Шупика», м. Київ, лікарка-рентгенологиня відділення променевої діагностики і терапії КНП «Миколаївський обласний центр онкології» Миколаївської обласної ради, м. Миколаїв

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-7124-1031>

Федьків Світлана Володимирівна, докторка медичних наук, професорка, старша наукова співробітниця ДУ «Національний університет охорони здоров'я України імені П.Л. Шупика», лікарка-рентгенологиня вищої категорії, м. Київ

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9638-9484>

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Melnykova Alina Anatoliivna, PhD student at the Department of Radiology, State Institution «Shupyk National Healthcare University of Ukraine», Kyiv; radiologist at the Department of Diagnostic and Radiation Therapy, Municipal Non-Profit Enterprise «Mykolaiv Regional Oncology Center» of the Mykolaiv Regional Council, Mykolaiv
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-7124-1031>

Fedkiv Svitlana Volodymyrivna, Doctor of Medical Sciences, Professor, Senior Research Fellow at the State Institution «Shupyk National Healthcare University of Ukraine», Kyiv; radiologist of the highest qualification category, Kyiv
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9638-9484>