

А.А. Мельникова^{1,2},
<https://orcid.org/0009-0002-7124-1031>

С.В. Федьків²,
<https://orcid.org/0000-0001-9638-9484>

DOI: <https://doi.org/10.15407/oncology.2026.01.047>

МСКТ-ДЕНСИТОМЕТРИЧНІ КРИТЕРІЇ МАЛІГНІЗАЦІЇ ЛЕГНЕВИХ ВУЗЛІВ ПРИ ОБ'ЄМНИХ УТВОРЕННЯХ ЛЕГЕНЬ

¹ КНП “Миколаївський обласний центр онкології” МОР, Миколаїв

² ДУ “Національний університет охорони здоров'я України імені П.Л. Шупика”, Київ, Україна

Мета: визначити оптимальний МСКТ-денситометричний поріг малігнізації легневих вузлів на основі аналізу показників контрастного підсилення та оцінити його діагностичну ефективність. **Об'єкт і методи:** проаналізовано 148 верифікованих випадків новоутворень легень (95 злоякісних, 53 доброякісних). Вимірювався приріст рентгенівської щільності (ΔHU) в артеріальну та венозну фази сканування мульти-спіральної комп'ютерної томографії (МСКТ) органів грудної клітини. Статистичний аналіз проведено з використанням критерію Манна-Уїтні та ROC-аналізу (Receiver Operating Characteristic). **Результати:** встановлено статистично значущу різницю в накопиченні контрасту між групами ($p < 0,001$). Площа під ROC-кривою склала $AUC = 0,89$ (95% ДІ: 0,81–0,96); $z = 9,8$. Оптимальним порогом відсікання визначено $\Delta HU > 22,5$, що забезпечує чутливість 88,3% та специфічність 86,8%. **Висновки:** кількісна МСКТ-денситометрія є високоінформативним методом диференціації об'ємних утворень легень. Використання порогу 22,5 HU дозволяє об'єктивізувати діагностичний процес та мінімізувати кількість необгрунтованих інвазивних втручань.

Ключові слова: мультиспіральна комп'ютерна томографія, легневий вузол, контрастне підсилення, ROC-аналіз, рентгенівська денситометрія, малігнізація.

Об'ємні утворення легень залишаються однією з найскладніших та найбільш дискусійних діагностичних проблем у сучасній торакальній радіології, що пов'язано з високою поширеністю легневих вузлів та їх значною морфологічною варіабельністю. Стрімкий розвиток та широке впровадження методів мультиспіральної комп'ютерної томографії (МСКТ) у повсякденну клінічну практику кардинально змінили структуру виявлення легеневої патології [1, 2]. Згідно з даними великих скринінгових досліджень, частота випадкових знахідок солітарних вогнищевих утворень легень значно зросла; при цьому більшість із них при первинному виявленні і потребують подальшої стратифікації ризику [3–6]. Ключовим клінічним завданням у таких випадках є не просто виявлення вузла, а його своєчасна диференціація на доброякісні та злоякісні процеси. Від точності цього етапу безпосередньо залежить вибір подальшої тактики ведення пацієнта з легневим новоутворенням: від динамічного спостереження до радикальних хірургічних втручань. Неточна ін-

терпретація результатів попереднього діагностичного обстеження утворення може призвести або до затримки в лікуванні онкологічного процесу, або до необгрунтованого хірургічного втручання, економічних та психологічних збитків [7–9].

Незважаючи на високу просторову роздільну здатність сучасних МСКТ-сканерів, оцінка морфологічних характеристик утворень (форма, контури, наявність “променистості”, внутрішніх кальцифікатів або зон жирової дегенерації) не завжди дозволяє з високою специфічністю диференціювати доброякісні та злоякісні процеси. Це особливо актуально для малих легневих вузлів (до 30 мм), у яких морфологічні критерії злоякісності можуть бути недостатньо вираженими для достовірної оцінки [4, 8].

У зв'язку з цим сучасна радіологія розширює можливості морфологічного аналізу шляхом оцінки функціональних параметрів пухлинного кровопостачання. Такий підхід не замінює морфологічної оцінки, а доповнює її, підвищуючи точність передопераційної стратифікації ризику злоякіс-

Ц и т у в а н н я: Мельникова А.А., Федьків С.В. МСКТ-денситометричні критерії малігнізації легневих вузлів при об'ємних утвореннях легень. Онкологія. 2026. 28, № 1. С. 47–51. <https://doi.org/10.15407/oncology.2026.01.047>

© РН “Akademperiodyka” of the NAS of Ukraine, 2026. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

ності. Патофізіологічним підґрунтям такого підходу є концепція пухлинного неопангіогенезу.

Відомо, що злоякісні новоутворення для свого росту та метастазування формують власну розгалужену судинну мережу, яка характеризується не тільки підвищеною щільністю капілярів, але й аномальною проникністю їхніх стінок (артеріовенозні шунти, відсутність базальної мембрани). Це відображається у специфічній динаміці контрастування: інтенсивному накопиченні контрастної речовини в артеріальну фазу та тривалому її утриманні в інтерстиціальному просторі пухлини порівняно з доброякісними утвореннями, де васкуляризація є біднішою або більш впорядкованою [10–12].

МСКТ-денситометрія з болюсним контрастуванням розглядається як надійний та відтворюваний інструмент кількісної оцінки васкуляризації легневих вогнищ. Дана методика дозволяє перевести суб'єктивне сприйняття “посилення” у чіткі одиниці Хаунсфілда (НУ), що робить діагностику більш об'єктивною. Однак, аналіз профільної літератури свідчить про відсутність єдиної думки щодо оптимальних прогностичних критеріїв. Різні дослідницькі групи пропонують порогові значення приросту щільності (ΔНУ) у широкому діапазоні — від 15 до 25 НУ, що демонструє значну варіабельність операційних характеристик методу (чутливості від 70% до 95% та специфічності від 60% до 90%) [10, 13, 14].

Така неоднозначність результатів часто обумовлена відмінностями у протоколах сканування ОГК, характеристиках контрастних речовин та обсягах вибірок пацієнтів. Це обумовлює необхідність уточнення денситометричних показників на основі клінічно верифікованої бази даних із застосуванням сучасного математичного апарату, зокрема ROC-аналізу, для встановлення найбільш збалансованого порогу посилення.

З огляду на вищезазначене, проведення статистично обґрунтованого аналізу взаємозв'язку між кількісними параметрами МСКТ-контрастування та гістологічно підтвердженим характером легневих утворень є актуальним науковим завданням, що має пряме прикладне значення для клінічної онкології та радіології.

ОБ'ЄКТ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У дослідження включено 148 пацієнтів з об'ємними утвореннями легень, виявленими під час первинних променевих досліджень та підтвердженими патоморфологічно (операційний матеріал або трансторакальна біопсія). Пацієнти проходили обстеження та лікування у Комунальному некомерційному підприємстві “Миколаївський обласний центр онкології” Миколаївської обласної ради у період 2024–2026 рр. За результатами гістологічної верифікації злоякісні новоутворення легень було встановлено у 95 випадках, доброякісні — у 53 випадках.

Дослідження має ретроспективний характер. У роботі використовувалися знеособлені архівні дані пацієнтів, що відповідає етичним принципам Гельсінської декларації.

Усім пацієнтам передопераційно виконано МСКТ органів грудної клітки з внутрішньовенним болюсним контрастуванням на 64-зрізовому комп'ютерному томографі Revolution Maxima (GE HealthCare, США, 2023 рік). Дослідження проводили за стандартним протоколом із послідовним отриманням нативної серії сканів, артеріальної фази (25–30 с після введення контрастної речовини) та венозної фази (60–70 с).

Кількісну оцінку контрастного підсилення проводили денситометричним вимірюванням щільності утворення шляхом розміщення ROI (площею 70–75% від поперечного перерізу вузла) у центральній частині утворення з уникненням зон кальцифікації, некрозу та судин. Вимірювання проводили у нативній та контрастних фазах із подальшим розрахунком приросту щільності за одиницями Хаунсфілда (ΔНУ), який визначали як різницю між показниками щільності у контрастній та нативній серіях.

Для статистичної оцінки відмінностей між групами доброякісних та злоякісних утворень використовували непараметричний критерій Манна–Уїтні. З метою визначення діагностичної ефективності денситометричних показників та встановлення оптимального порогового значення приросту щільності проводили ROC-аналіз (Receiver Operating Characteristic). Оптимальну точку відсікання визначали за максимальним значенням індексу Юдена.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Серед 148 верифікованих випадків об'ємних утворень легень, за результатами патоморфологічного дослідження, злоякісні новоутворення встановлено у 95 (64,2%) пацієнтів, доброякісні — у 53 (35,8%).

Кількісний аналіз показників МСКТ-контрастного підсилення продемонстрував суттєві відмінності між досліджуваними групами. Злоякісні утворення легень характеризувалися достовірно більшим приростом щільності (ΔНУ) порівняно з доброякісними вузлами, що підтверджується результатами денситометрії у представлених клінічних випадках (рис. 1, 2).

За результатами непараметричного аналізу Манна–Уїтні встановлено статистично значущу різницю між групами ($U = 532,0$; $Z = -7,908$; $p < 0,001$), що свідчить про виражений зв'язок між інтенсивністю контрастного підсилення та біологічною природою вузла (рис. 3).

З метою оцінки діагностичної ефективності МСКТ-денситометричних показників було проведено ROC-аналіз (рис. 4). Площа під ROC-кривою

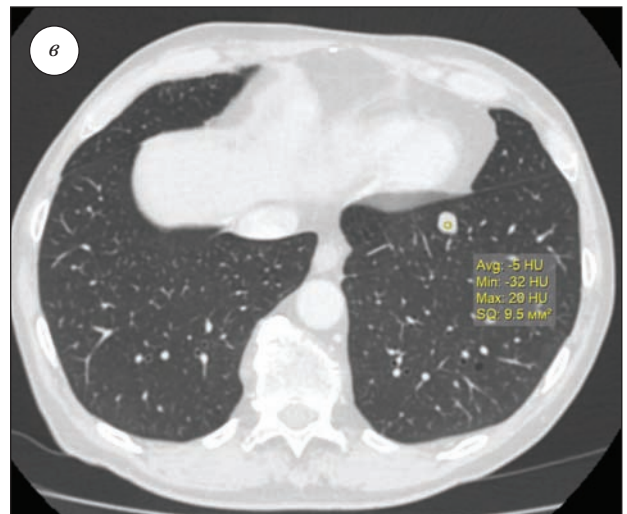
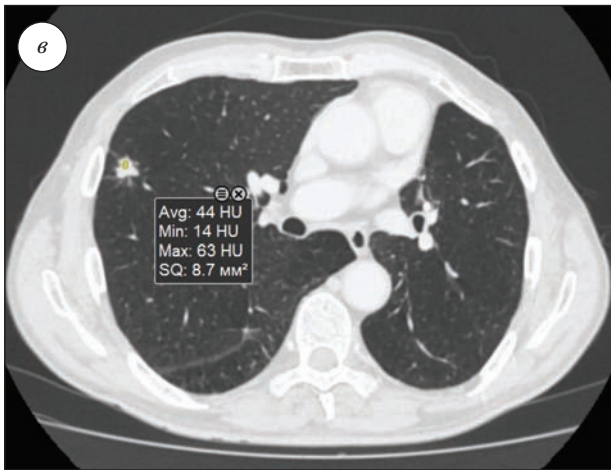
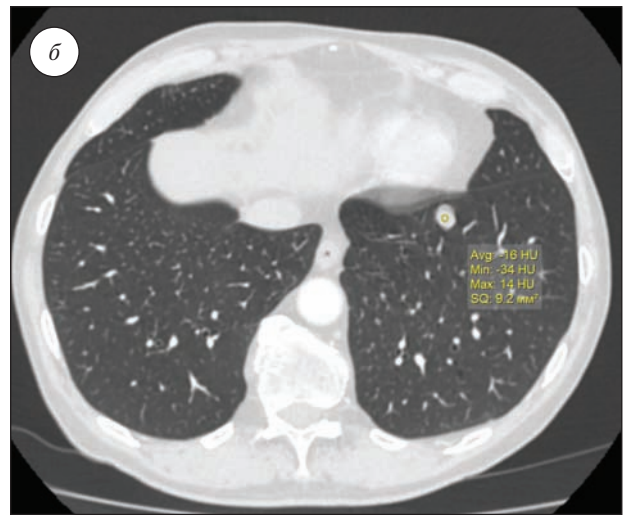
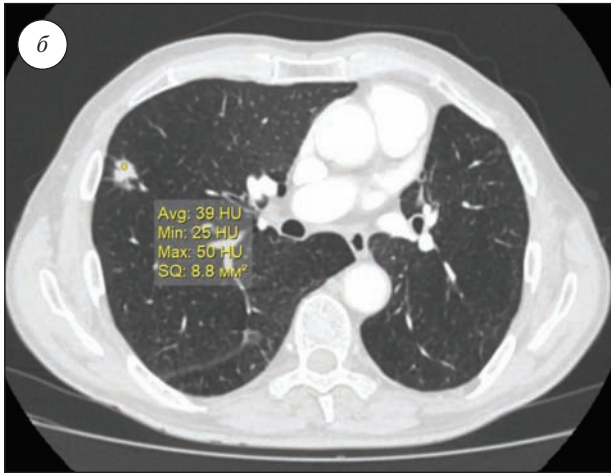
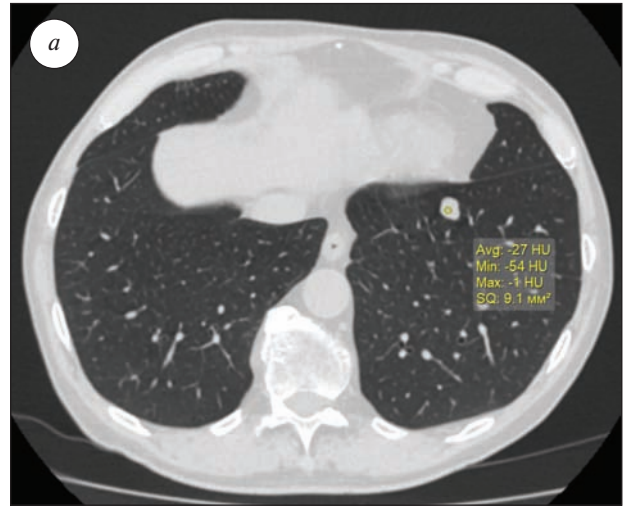


Рис. 1. МСКТ пацієнта П. Приклад злоякісного новоутворення (залозисто-плоскоклітинний рак верхньої частки правої легені, G2, cT3N0M0, стадія ІІВ): (а) нативна серія — щільність солідного компонента утворення +2 HU; (б) артеріальна фаза — інтенсивне накопичення контрастної речовини, підвищення щільності до +39 HU (Δ HU = 37 HU); (в) венозна фаза — нерівномірне вимивання контрасту (+27...+44 HU), що є патогномонічною ознакою неопластичного ангиогенезу

Рис. 2. МСКТ пацієнта К. Приклад доброякісного новоутворення (хондроматозна гамартома лівої легені): (а) нативна серія — щільність утворення -27 HU, що свідчить про наявність жирових включень; (б) артеріальна фаза — підвищення щільності до -16 HU (Δ HU = 11 HU); (в) венозна фаза — щільність становить -5 HU

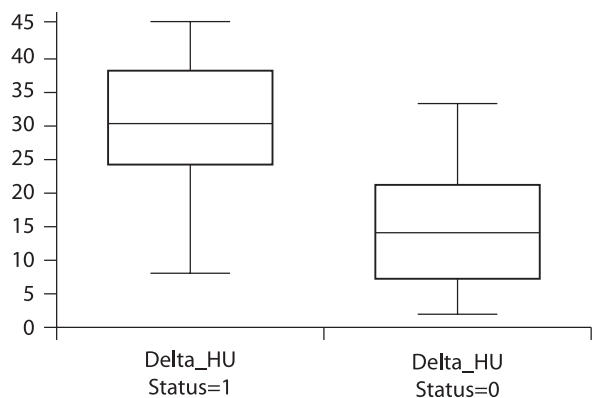


Рис. 3. Діаграма розмаху показників МСКТ контрастного підсилення (HU) у групах злоякісних (status = 1) та доброякісних (status = 0) легневих вузлів

(AUC) становила 0,89 (95% ДІ: 0,81–0,96; $p < 0,001$), що відповідає високій дискримінаційній здатності методу у диференціації злоякісних та доброякісних утворень легень.

Аналіз координат ROC-кривої дозволив визначити оптимальний поріг відсікання приросту щільності (ΔHU) за критерієм індексу Юдена.

Максимальне значення індексу було отримано при пороговому значенні $\Delta HU > 22,5$, що забезпечувало чутливість методу 88,3% та специфічність 86,8%.

Підвищення порогового значення понад 23 HU супроводжувалося подальшим зростанням специфічності, однак призводило до зниження чутливості, що потенційно збільшує ризик пропуску злоякісного процесу. Водночас використання нижчих порогів підвищувало чутливість, але супроводжувалося зниженням специфічності та збільшенням кількості хибнопозитивних результатів.

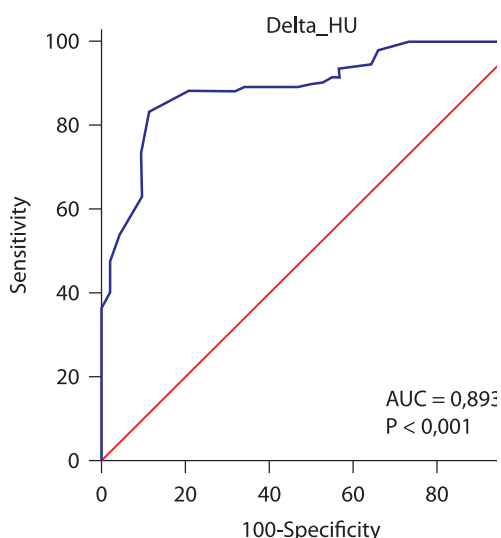


Рис. 4. ROC-крива для оцінки діагностичної ефективності МСКТ-денситометрії у диференціації злоякісних і доброякісних легневих вузлів ($n = 148$)

Таким чином, встановлений денситометричний поріг $\Delta HU > 22,5$ демонструє оптимальний баланс між чутливістю та специфічністю і може розглядатися як практично значущий критерій прогнозування злоякісності легневих вузлів при контрастно-підсиленій МСКТ ОГК.

Отриманий нами поріг (22,5 HU) узгоджується з результатами класичних досліджень динамічного контрастного МСКТ легневих вузлів, у яких описано порогові значення підсилення на рівні 30 HU (Yi et al.), тоді як результати сучасного систематичного огляду демонструють значну варіабельність цих показників залежно від протоколу дослідження [15, 16].

Подальші дослідження доцільно спрямувати на розширення клінічної вибірки та мультицентрову валідацію встановленого денситометричного порогу контрастного підсилення для диференціації доброякісних і злоякісних легневих вузлів. Перспективним напрямом є також інтеграція кількісних показників контрастного підсилення з іншими МСКТ-ознаками новоутворень легень (морфологічними характеристиками вузла, наявністю зон некрозу, особливостями васкуляризації) з метою створення комплексних прогностичних моделей оцінки ризику малігнізації.

Крім того, актуальним є подальше вивчення можливостей використання денситометричних критеріїв у поєднанні з низькодозовими протоколами МСКТ для оптимізації діагностичних алгоритмів та зниження променевого навантаження при динамічному спостереженні пацієнтів з легневими вузлами.

ВИСНОВКИ

1. Кількісна оцінка контрастного підсилення при МСКТ ОГК дозволяє достовірно диференціювати доброякісні та злоякісні легневі вузли. Злоякісні утворення легень характеризуються статистично значущим більшим приростом рентгеновської щільності порівняно з доброякісними ($p < 0,001$).

2. ROC-аналіз показав високу діагностичну ефективність МСКТ-денситометрії у прогнозуванні злоякісності легневих утворень (площа під кривою AUC = 0,89; 95% ДІ: 0,81–0,96).

3. Оптимальним МСКТ-денситометричним критерієм малігнізації за результатами аналізу верифікованих випадків є приріст щільності $\Delta HU > 22,5$, що забезпечує чутливість 88,3% та специфічність 86,8%.

4. Використання кількісних показників контрастного підсилення під час проведення МСКТ ОГК підвищує об'єктивність оцінки як злоякісних, так і доброякісних легневих вузлів та може застосовуватися як додатковий діагностичний критерій у диференційній діагностиці об'ємних утворень легень для визначення і планування подальшої тактики лікування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Červeňák V, Chovanec Z, Berková A, *et al.* Diagnostic-therapeutic management of pulmonary nodules. *Klin Onkol* 2024; **37**(6): 408–18. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39772821/>
2. Wang Y, Chen E. Advances in the localization of pulmonary nodules: a comprehensive review. *J Cardiothorac Surg* 2024; **19**(1): 396. <https://doi.org/10.1186/s13019-024-02911-8>.
3. Chen D, Yang L, Zhang W, *et al.* Prevalence and management of pulmonary nodules: a systematic review and meta-analysis. *J Thorac Dis* 2024; **16**(7): 4619–32. <https://doi.org/10.21037/jtd-24-874>.
4. Martin MD, Henry TS, *et al.* ACR Appropriateness Criteria® Incidentally Detected Indeterminate Pulmonary Nodule. *Journal of the American College of Radiology*. 2023; **20**(11): 455–70. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2023.08.024>.
5. Horeweg N, van Rosmalen J, Heuvelmans MA, *et al.* Lung cancer probability in patients with CT-detected pulmonary nodules: a prespecified analysis of data from the NELSON trial. *Lancet Oncol* 2014; **15**(12): 1332–41. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(14\)70389-4](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(14)70389-4).
6. Callister MEJ, Baldwin DR, Akram AR, *et al.* British Thoracic Society guidelines for the investigation and management of pulmonary nodules. *Thorax* 2015; **70**(Suppl 2):ii1–ii54. <https://doi.org/10.1136/thoraxjnl-2015-207168>.
7. Wyker A, Sharma S, Henderson WW. Solitary pulmonary nodule. In: *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK556143/>
8. MacMahon H, Naidich DP, Goo JM, *et al.* Guidelines for management of incidental pulmonary nodules detected on CT images: from the Fleischner Society 2017. *Radiology* 2017; **284**(1): 228–43. <https://doi.org/10.1148/radiol.2017161659>.
9. McWilliams A, Tammemägi MC, Mayo JR, *et al.* Probability of cancer in pulmonary nodules detected on first screening CT. *N Engl J Med* 2013; **369**: 910–9. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1214726>.
10. Kundu K, Kumar A, Malik R, *et al.* The role of CT perfusion in differentiating benign versus malignant focal pulmonary lesions. *Cureus*. 2024; **16**(7): e63618. <https://doi.org/10.7759/cureus.63618>.
11. Gould MK, Donington J, Lynch WR, *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**(5): e93S–e120S. **151**(4): 878–93. <https://doi.org/10.1378/chest.12-2351/>
12. Hu X, Gou J, Wang L, *et al.* Diagnostic accuracy of low-dose dual-input computed tomography perfusion in the differential diagnosis of pulmonary benign and malignant ground-glass nodules. *Scientific Reports*. 2024; **14**: 17098. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-68143-x>.
13. Kakinuma R, Ashizawa K, Kuriyama K, *et al.* Measurement of focal ground-glass opacity diameters on CT images: Interobserver agreement in regard to identifying increases in the size of ground-glass opacities. *Acad. Radiol.* 2012; **19**, 389–94. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2011.12.002>.
14. Ohno Y, Koyama H, Lee HY, *et al.* Contrast-enhanced CT- and MRI-based perfusion assessment for pulmonary diseases: basics and clinical applications. *Diagnostic and Interventional Radiology*. 2016; **22**(5): 407–21. <https://doi.org/10.5152/dir.2016.16123>.
15. Yi CA, Lee KS, Kim EA, *et al.* Solitary pulmonary nodules: dynamic enhanced multidetector row CT study and comparison with vascular endothelial growth factor and microvessel density. *Radiology* 2004; **233**(1): 191–9. <https://doi.org/10.1148/radiol.2331031535>.
16. Weir-McCall JR, Joyce S, Clegg A, *et al.* Dynamic contrast-enhanced computed tomography for the diagnosis of solitary pulmonary nodules: a systematic review and meta-analysis. *Eur Radiol*. 2020; **30**(6): 3310–23. <https://doi.org/10.1007/s00330-020-06661-8>.

MSCT-DENSITOMETRIC CRITERIA FOR MALIGNANCY OF PULMONARY NODULES IN LUNG MASSES

A.A. Melnykova^{1,2}, S.V. Fedkiv²¹ Mykolaiv Regional Oncology Center, Mykolaiv,² Shupyk National Healthcare University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Summary. Aim: to determine the optimal MSCT-densitometric threshold for identifying malignancy in pulmonary nodules based on contrast enhancement analysis and to evaluate its diagnostic performance. **Materials and Methods:** we analyzed 148 pathologically verified cases of lung masses (95 malignant and 53 benign). The increase in X-ray density (ΔHU) was measured during the arterial and venous phases of contrast-enhanced chest multispiral computed tomography (MSCT). Statistical analysis was performed using the Mann-Whitney U test and Receiver Operating Characteristic (ROC) analysis. **Results:** a statistically significant difference in contrast

media accumulation was established between the groups ($p < 0,001$). The area under the ROC curve was $AUC = 0.89$ (95% CI: 0.81–0.96); $z = 9.8$. The optimal cut-off threshold was determined at $\Delta HU > 22,5$, providing a sensitivity of 88.3% and a specificity of 86,8%. **Conclusions:** quantitative MSCT densitometry is a highly informative method for the differentiation of lung masses. Utilizing the 22.5 HU threshold allows for an objective diagnostic process and minimizes the number of unjustified invasive procedures.

Keywords: multispiral computed tomography, pulmonary nodule, contrast-enhanced, ROC- analysis, X-ray densitometry, malignancy.

Адреса для листування:

Мельникова А.А.
54018, Миколаїв, вул. Миколаївська, 18
КНП “Миколаївський обласний центр онкології” МОП
E-mail: dear.alina101@gmail.com

Одержано: 14.03.2026

Рекомендовано до друку: 14.04.2026

Підписано до друку: 17.04.2026