

А. В. Басанець, Н. В. Курділь
КОМП'ЮТЕРНА ТОМОГРАФІЧНА ДЕНСИТОМЕТРІЯ ЛЕГЕНЬ В АЛГОРИТМІ ДІАГНОСТИКИ
ІНТЕРСТИЦІАЛЬНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ ЛЕГЕНЬ, В ТОМУ ЧИСЛІ ПРОФЕСІЙНОЇ ЕТІОЛОГІЇ
ТА ЕКОЛОГІЧНО ОБУМОВЛЕНИХ

Науковий центр превентивної токсикології, харчової та хімічної безпеки імені академіка Л. І. Медведя МОЗ України

**КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЧЕСКАЯ
ДЕНСИТОМЕТРИЯ ЛЕГКИХ В АЛГОРИТМЕ ДИАГНОСТИКИ
ИНТЕРСТИЦИАЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЛЕГКИХ,
В ТОМ ЧИСЛЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ЭТИОЛОГИИ И
ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОБУСЛОВЛЕННЫХ**

А. В. Басанец, Н. В. Курдиль

Резюме

Интерстициальные заболевания легких относятся к числу наиболее распространенных заболеваний системы органов дыхания. Значительную часть из них составляют профессиональные заболевания, среди них доминирует пневмокониоз. Определение плотности паренхимы методом компьютерной денситометрии легких при выполнении компьютерной томографии (КТ), позволяет количественно оценить степень уплотнения легочной ткани при ряде заболеваний легких.

В обзоре представлены результаты анализа научной литературы относительно применения метода компьютерной денситометрии для диагностики, мониторинга лечения таких интерстициальных заболеваний легких как саркоидоз легких, туберкулез легких, идиопатический легочный фиброз, легочная эмболия, системный склероз, пневмокониоз. Описана методика определения показателя плотности легких, эффективность его применения в зависимости от методики выполнения КТ, алгоритм проведения обследования пациентов. Проанализированы особенности изменений показателя плотности легких в зависимости от формы и патогенеза заболевания, его корреляция с показателями функционального состояния легких, морфологическими изменениями. Наиболее воспроизводимыми и совершенными показателями компьютерной денситометрии признаны определяемые на инспираторной КТ, что должно быть учтено при дальнейшем усовершенствовании протоколов исследования. Стандартизация получения протокола КТ-изображений должна быть имплементирована с учетом необходимости возможного снижения дозы радиации.

Выводы. Методика компьютерной денситометрии признана революционным диагностическим инструментом для количественной оценки плотности паренхимы легких, что может эффективно применяться для диагностики и объективизации диагноза интерстициальных заболеваний легких, в том числе профессиональной этиологии. Усовершенствование методов диагностики профессиональных и экологически обусловленных интерстициальных заболеваний легких, профилактики их прогрессирования и развития осложнений позволит улучшить качество оказания медико-санитарной помощи работающим, снизить уровни заболеваемости, уменьшить затраты на лечение и возмещений государства за потерю трудоспособности и инвалидность пострадавших на производстве.

Ключевые слова: интерстициальные заболевания легких, профессиональные заболевания, компьютерная денситометрия легких, компьютерная томография.

Укр. пульмонолог. журнал. 2022;30(1):30–34.

*Басанець Анжела Володимирівна
Науковий центр превентивної токсикології,
харчової та хімічної безпеки
імені академіка Л. І. Медведя МОЗ України
Член-кор. НАМН України
a_basanets@meta.ua*

**COMPUTED TOMOGRAPHY
DENSITOMETRY OF THE LUNGS IN THE ALGORITHM
FOR THE DIAGNOSIS OF INTERSTITIAL LUNG DISEASES,
INCLUDING OCCUPATIONAL AND ECOLOGICAL
DISEASES**

A. V. Basanets, N. V. Kurdil

Abstract

Interstitial lung diseases are among the most common diseases of the respiratory system. A significant proportion of them are occupational diseases with pneumoconiosis as the most prevalent condition. Determination of lung density by computed densitometry (CD) allows to quantify the degree of density of lung tissue in a different lung diseases.

This review focuses on world and domestic literature on the application of CD for the diagnosis and monitoring of management of interstitial lung diseases such as pulmonary sarcoidosis, pulmonary tuberculosis, idiopathic pulmonary fibrosis, pulmonary embolism, systemic sclerosis, pneumoconiosis, etc. The method of determining of lung density index, its effectiveness depending on the method of CT and the algorithm of examination of the patients are described. Peculiarities of changes in lung density index depending on the form and pathogenesis of the disease, its correlation with lung function and morphological changes have been analyzed. The most reproducible and perfect indicators of CD are those determined by inspiratory CT, which should be taken into account in the further improvement of research protocols. The standardization of the CT imaging protocol should be implemented taking into account the need for possible reduction of the radiation dose.

Conclusions. The technique of CD is recognized as a revolutionary diagnostic tool for quantifying the density of the lung parenchyma, which can be effectively used to diagnose and verify the diagnosis of interstitial lung diseases, including occupational diseases. Improving methods of occupational and environmental interstitial lung diseases diagnosing, preventing their progression and development of complications will improve the quality of healthcare service for workers, decrease morbidity, reduce treatment and disability reimbursement costs.

Key words: interstitial lung diseases, occupational diseases, computed lung densitometry, computed tomography.

Ukr. Pulmonol. J. 2022;30(1):30–34.

*Angela V. Basanets
L.I. Medved's Research Center of Preventive Toxicology,
Food and Chemical Safety, Ministry of Health
Corresponding member of NAMS of Ukraine
Doctor of medicine, professor
a_basanets@meta.ua*

Вступ

В структурі професійної захворюваності населення України патологія бронхолегеневої системи займає перше місце. Інтерстиціальні захворювання легень відносяться до числа найбільш поширених хвороб системи органів дихання професійної етіології, серед них домінує пневмоконіоз. Основна частка випадків захворювання реєструється у вугільній промисловості (70–80 % загального рівню професійної захворюваності). Захворювання характеризується прогресуючим перебігом та приєднанням тяжких ускладнень у вигляді хронічного обструктивного захворювання легень, туберкульозу, злоякісних новоутворень та ін., що приводить до втрати працездатності та інвалідизації пацієнта часто у молодому працездатному віці. Проблема набула широкого визнання як в Україні, так і на міжнародному рівні. В зв'язку з високою соціальною і економічною значущістю ВООЗ визнала проблему елімінації пневмоконіозу у світі однією з пріоритетних.

В даний час основним визнаним методом діагностики пневмоконіозу є рентгенологічний [5].

Першочерговим питанням стало приєднання України до Міжнародної класифікації пневмоконіозу Міжнародної Організації Праці (МОП) 2000 року. В середині 90-х років японськими вченими було започатковано вивчення критеріїв комп'ютерно-томографічної (КТ) діагностики професійних захворювань та захворювань, викликаних впливом несприятливих факторів навколишнього середовища [29].

В подальших дослідженнях було доведено, що метод комп'ютерної томографії високої роздільної здатності характеризується значно вищою ефективністю для діагностики початкових стадій пневмоконіозу порівняно з рентгенологічним дослідженням, були визначені основні та другорядні КТ-ознаки захворювання, їх особливості та розроблені показання для застосування методики у пацієнтів з підозрою на пневмоконіоз [1, 21].

Збитковий розвиток фіброзу при пневмоконіозі призводить до заміщення паренхіми легень вогнищами склеротично трансформованої тканини, котрі частково або повністю виключені з процесу газообміну. Як результат відбувається зменшення об'єму корисного простору газообміну, що проявляється клінічними ознаками у вигляді задишки, зниженням толерантності до фізичних навантажень тощо. Подібні патогенетичні зміни відбуваються у пацієнтів, з іншими інтерстиціальними захворюваннями легень, в тому числі професійного ґенезу [2].

Визначення щільності легень методом комп'ютерної денситометрії дозволяє кількісно оцінити ступінь ущільнення легеневої тканини при ряді захворювань легень. Наразі методика застосовується для оцінки ефективності лікування при саркоїдозі легень [4], туберкульозі легень [6, 26], для діагностики емфіземи, ідіопатичного легеневого фіброзу [28], хронічного обструктивного захворювання легень, легеневої емболії [18], системного склерозу [10].

Дослідження щодо застосування методики комп'ютерної денситометрії для діагностики професійних інтерстиціальних захворювань легень є поодинокими, не систематизовані і стосувались обстеження шахтарів

вугільних шахт з нормальною радіограмою або пневмоконіозом категорії 0/1.

Економічний збиток, пов'язаний з відшкодуванням компенсацій в зв'язку з втратою працездатності, медичними витратами на лікування та реабілітацію хворих, робить проблему профілактики і ранньої діагностики інтерстиціальних захворювань легень однією з пріоритетних у сфері медицини праці. На сучасному етапі питанням виключної важливості є розробка нових методів діагностики, що дозволять виявляти патологію на ранніх стадіях, об'єктивізувати діагноз, ефективно моніторувати її перебіг.

В огляді представлений аналіз даних сучасної літератури про роль методу комп'ютерної денситометрії легень у діагностиці інтерстиціальних захворювань легень та результати власних досліджень з використанням цього методу в галузі професійної патології легень.

Результати дослідження

Збитковий розвиток фіброзу при інтерстиціальних захворюваннях легень призводить до заміщення паренхіми легень вогнищами склеротично трансформованої тканини, які частково або повністю виключені з процесу газообміну. В результаті проведених в минулі роки досліджень в клініці професійних захворювань Державної установи "Інститут медицини праці імені Ю. І. Кундієва Національної академії медичних наук України" було встановлено особливості функціональних порушень при інтерстиціальних захворюваннях легень професійної етіології, а саме: пневмоконіозі від впливу вугільного пилу [5], азбестозі [3]. Доведено більш високу діагностичну ефективність КТ порівняно з рентгенологічним дослідженням, визначені характерні КТ-ознаки зазначених захворювань [1].

Для діагностики ранніх стадій захворювання, як для паренхіматозних, так і плевральних змін рекомендується проведення комп'ютерної томографії високої роздільної здатності. Дослідження з цього приводу були започатковані японськими вченими [9].

В подальшому було доведено значно вищу діагностичну ефективність КТ для детекції дрібної дисемінації та плевральних змін при інтерстиціальних професійних захворюваннях, диференційної діагностики [20, 22].

При аналізі даних КТ у пацієнтів з професійними інтерстиціальними захворюваннями легень методики кількісної оцінки зазвичай не використовуються. При захворюваннях, що супроводжуються грубими морфологічними змінами в легенях (туберкульоз, масивний прогресуючий фіброз), методи їх кількісної оцінки, можливо, і не потрібні. Однак для захворювань, проявами яких є дрібна дисемінація вузликів чи інтерстиціальних змін, така методика була б ефективною для оцінки ступеню ураження, об'єктивізації діагнозу, моніторингу перебігу патології та ефективності лікування. Саме таким методом є визначення щільності паренхіми легень методом комп'ютерної денситометрії.

Методика визначення щільності паренхіми легень методом комп'ютерної денситометрії.

Щільність паренхіматозної тканини вимірюється методом комп'ютерної денситометрії в одиницях

Хаунсфілда — HU (Hounsfield Unit) на честь сера Годфрея Ньюболда Хаунсфілда, лауреата Нобелівської премії у галузі фізіології і медицини 1979 року, яку він отримав за розробку методики КТ, що була одразу визнана революційним діагностичним інструментом.

HU являє собою відносне кількісне визначення радіологічної щільності при інтерпретації КТ зображення. Фізична щільність тканини пропорційна до показнику абсорбції (поглинання) рентгенівських променів. HU, які іноді називають КТ-одинацями, базуються на лінійній трансформації коефіцієнта лінійного послаблення рентгенівських променів, коли за ноль приймається HU води — 1000 HU. Лінійна трансформація визначає шкалу Хаунсфілда, представлену сірими тонами. Чим більша щільність тканини, тим більше поглинання рентгенівських променів, тим більш позитивним є рівень шкали, а зображення — яскравим. Коли абсорбція знижена, рівень шкали більш негативний, а зображення відповідно більш затемненим [30].

Показник HU визначається за формулою:

$$\frac{\mu_x - \mu_{\text{води}}}{\mu_{\text{води}} - \mu_{\text{повітря}}} \times 100$$

$\mu_{\text{води}}$ та $\mu_{\text{повітря}}$ — лінійні коефіцієнти послаблення для води і повітря за стандартних умов.

Слід зазначити, що розроблена методика проведення дослідження для інтерпретації даних КТ при дифузних захворюваннях легень. Автори пропонують наступний алгоритм дій [19]:

1. Попередній огляд наявних рентгенограм, а також «сканогам», отриманих при КТ дослідженні.
2. Визначення оптимальних методів збору і реконструкції даних, спираючись на необхідність отримання КТ-зображення протягом усіх ділянок легень.
3. Перегляд усіх отриманих КТ-зображень грудної клітини з метою визначення їх якості, наявності уражень та їх поширеності.
4. Визначення однієї з трьох категорій захворювання:
 - первинні ретикулярні захворювання;
 - вузликові захворювання;
 - захворювання, пов'язані з дифузними ураженнями легеневої щільності.
5. Оцінка первинних ретикулярних змін.
6. Оцінка випадків з переважно вузликовим дифузним типом ураження.
7. Оцінка випадків, пов'язаних з дифузними ураженнями легеневої щільності, що включають зниження щільності, її підвищення та гетерогенну форму.

Досвід застосування методики визначення щільності паренхіми легень методом комп'ютерної денситометрії при захворюваннях легень

В Україні лідером в питаннях діагностики та лікування інтерстиціальних захворювань легень є Державна установа «Національний інститут фтизіатрії і пульмонології імені Ф. Г. Яновського НАМН України». В тому числі відомі дослідження науковців інституту щодо вивчення особливостей такої розповсюдженої інтерстиціальної патології легень як саркоїдоз, ідіопатичний легеневий фіброз (ІЛФ), альвеоліти тощо.

Відомі дослідження щодо розробки критеріїв (в тому числі за даними КТ) діагностики ідіопатичних інтерстиціальних пневмоній. Автори визначають, що комп'ютерна томографія високої роздільної здатності дозволяє підвищити вірогідність діагнозу ІЛФ до 90 %, систематизують КТ-ознаки патології [8].

В клінічному науковому дослідженні, що включало 43 пацієнта (15 — з ІЛФ, 13 — з ХОЗЛ, 15 — контроль) встановлена достовірна різниця у показниках щільності легень на вдосі і видосі у пацієнтів з ІЛФ на візуально незмінених ділянках легень при КТ. Таке явище може пояснюватись альвеолярним колапсом неушкоджених за даними КТ зон легень. Результати дослідження підтверджують концепцію виникнення альвеолярного колапсу перед розвитком легеневого фіброзу при ІЛФ. Автори зазначають, що більш суттєві ураження паренхіми при ІЛФ визначались переважно у нижніх долях легень. Навпаки, при ХОЗЛ показники щільності залишались однаковими у всіх долях [28].

Bakker M. E. та співавт. (2017) підкреслюють, що спірометрично контрольована КТ-денситометрія є ефективним інструментом для діагностики дифузних уражень паренхіми легень. Середній показник легеневої щільності на 50 % ЖЄЛ у здорових осіб становить $-820 \pm 4,2$ HU і це достовірно нижче, ніж у пацієнтів з ХОЗЛ ($-860 \pm 9,2$ HU) та достовірно вище, ніж у хворих з ІЛФ ($-697 \pm 17,8$ HU). На рівні 80 % ЖЄЛ показники легеневої щільності не мали статистичної різниці між групами пацієнтів. В дослідженнях встановлено, що діагностичний рівень показника щільності легень для ІЛФ становить більше -699 HU, що свідчить про зниження співвідношення «повітря/тканина» в паренхімі легень [11].

В дослідженні, де були обстежені 27 пацієнтів з дифузним фіброзуючим альвеолітом (ДФА), 27 — з гранулематозною хворобою легень (ГХЛ), 3 — з дефіцитом інгібітора α -1 протеїнази (α -1P) та 6 здорових осіб (К) з визначенням показника щільності легень на рівні 50 % ЖЄЛ було встановлено статистично достовірну різницю між групами ДФА та ГХЛ по відношенню до групи контролю. Середні показники щільності легень негативно корелювали з функціональними показниками: ЖЄЛ, DLCO, PaO_2 , в той час як рівні -899 – -800 HU корелювали позитивно. Це свідчить про те, що показники щільності паренхіми відображають функціональний стан легень, дозволяють діагностувати ураження та оцінювати їх в кількісних параметрах [16].

На основі наукових досліджень обґрунтовано доцільність застосування методики визначення щільності паренхіми легень методом комп'ютерної денситометрії для оцінки ефективності лікування при саркоїдозі легень з використанням програми K-Pacs. Автори підкреслюють, що методика дозволяє зареєструвати зміни в паренхімі легень, коли візуалізаційні ознаки при рентгенографії та КТ ще не визначаються, а також більш точно визначити такі варіанти перебігу саркоїдозу, як регресія, стабілізація й прогресування, що має важливе значення для коректного вибору тактики лікування пацієнтів [4, 6].

Відомі дослідження щодо визначення ефективності методики комп'ютерної денситометрії для диференційної діагностики злоякісних та доброякісних вузликових утворень в легенях [17].

Опубліковані дослідження щодо ефективності використання КТ у діагностиці дисемінованого туберкульозу та ефективності застосування комп'ютерної денситометрії для оцінки ступеню запального процесу [26], а також моніторингу лікування у пацієнтів з вогнищевими змінами при туберкульозі легень. При обстеженні 89 пацієнтів автори встановили, що дана методика надає можливість порівнювати ефективність різних методів і схем антимікобактеріальної терапії [7].

В наукових дослідженнях вивчалась також ефективність методики для діагностики нетуберкульозних мікобактеріозів у зв'язку зі зростанням захворюваності у всьому світі. При обстеженні 31 пацієнта з зазначеною патологією було встановлено зниження показнику легеневої щільності в апікальних зонах, та його зростання в базальних зонах легень. При цьому не було встановлено кореляції між щільністю паренхіми та показниками функціонального стану легень, визначеного за даними спірометрії та бодіплетизмографії [15].

Відоме також застосування методики легеневої денситометрії для оцінки стану легень та визначенні дефектів перфузії при легеневій емболії. У ділянках зниженої перфузії показники легеневої щільності легень були суттєво зниженими порівняно з ділянками нормальної перфузії [18].

Вивчалась також ефективність визначення показнику комп'ютерно-томографічної щільності легень у якості предиктора легеневої гіпертензії при системному склерозі. При обстеженні 55 хворих та 76 осіб контрольної групи було встановлено, що показник легеневої щільності та діаметр легеневої артерії є комп'ютерно-томографічними предикторами рівню легеневої гіпертензії з показником чутливості методу — 80 %, специфічності — 87 % [10].

Слід зазначити, що наукові розробки щодо застосування методики комп'ютерної денситометрії для діагностики професійних інтерстиціальних захворювань легень є малочисельними. Так, відоме дослідження з вивчення залежності показників легеневої денситометрії від параметрів техніки форсованої осциляції (FOT) у пацієнтів з силікозом. Автори зазначають, що метод дозволяє виявити гетерогенність паренхіми легень, та доводять взаємозв'язок між розмірами неаерованих зон паренхіми за показниками FOT, але разом з тим зауважують, що потрібні більш детальні дослідження щодо остаточного визначення ефективності методики [25].

Китайськими авторами встановлено зниження відсотку розповсюженості зон з показником щільності за даними комп'ютерної денситометрії –983 (–)–779 HU від 87,31 % у обстежених контрольної групи до 72,99 % у пацієнтів з пневмоконіозом III стадії ($p < 0,01$) [24].

В іншому дослідженні було підтверджено вищу щільність паренхіми легень у пацієнтів з пневмоконіозом порівняно з контрольною групою при аналізі КТ-сканів на трьох рівнях. Зазначені дослідження не містили вивчення залежності показнику денситометрії від показників клініко-функціональних досліджень [31].

Також проводились дослідження з вивчення показників КТ та легеневої денситометрії у непрацюючих шахтарів з відсутніми ознаками пневмоконіозу та з захворю-

ванням категорії 0/1, під час яких було встановлено більш високу щільність паренхіми легень в групі шахтарів з найвищою експозицією пилу. Одночасно автори наголошують на обмеженості достовірності даних з огляду на варіабельність показнику легеневої щільності у здорових осіб [23].

Відоме дослідження щодо визначення ефективності методики комп'ютерної денситометрії для диференційної діагностики також вузликів утворень при пневмоконіозі та раку легень з масивним прогресуючим фіброзом (МПФ) та метастатичних лімфатичних вузлів з реактивною гіперплазією лімфатичних вузлів. В дослідження були включені 49 пацієнтів з пневмоконіозом. З них діагностовано рак легень у 42 випадках (у 23 — скваматозно-клітинна карцинома, у 12 — аденокарцинома, у 7 — дрібноклітинна карцинома), в 41 пацієнта діагностовано МПФ. За показником щільності легень дослідники підтвердили достовірну різницю між раком легень та МПФ ($p < 0,05$), при цьому чутливість, специфічність та точність методики для діагностики раку легень досягали 81,0 %, 73,2 % та 77,1 %, відповідно. Серед 40 патологічно змінених лімфовузлів 7 виявились метастатичними. Слід зазначити, що легенева щільність метастатичних лімфовузлів була нижчою, ніж при доброякісних ураженнях ($p < 0,05$). При цьому чутливість, специфічність та точність методики для діагностики метастатичних лімфовузлів становили відповідно 87,5 %, 93,9 % та 92,5 % [13].

Висновки

Методика комп'ютерної денситометрії визнана революційним діагностичним інструментом для кількісної оцінки щільності паренхіми легень, що може ефективно застосовуватись для діагностики та об'єктивізації діагнозу інтерстиціальних захворювань легень, в тому числі професійної етіології та екологічно обумовлених. Наразі такі дослідження обмежені. Оскільки комп'ютерна денситометрія валідована порівняно з морфологією легеневої тканини, спірометрією, клінічними показниками, вона визнана ефективним інструментом для діагностики дифузних легневих захворювань, оцінки ефективності лікування. Найбільш відтворюваними та досконалими показниками комп'ютерної денситометрії визнані ті, що визначаються на інспіраторній КТ, що має бути враховано при подальшому удосконаленні протоколів дослідження. Стандартизація отримання протоколу КТ-зображень має імплементуватись з урахуванням необхідності можливого зниження дози радіації. Технічні можливості сучасних КТ-сканерів розвиваються надзвичайно швидко, що потребує постійної адаптації існуючих протоколів дослідження.

Удосконалення методів діагностики професійних та екологічно обумовлених інтерстиціальних захворювань легень та профілактики їх прогресування та розвитку ускладнень дозволить покращити якість надання медико-санітарної допомоги працюючим, знизити рівні захворюваності, зменшити витрати на лікування та відшкодування держави за втрату працездатності та інвалідність потерпілих на виробництві, зберегти трудовий потенціал України.

ЛІТЕРАТУРА

- Басанець АВ. Применение компьютерной томографии высокого разрешения для диагностики ранних стадий пневмокониоза от воздействия угольной пыли. Медицина труда и промышленная экология. 2007;(4):22–31.
- Басанець АВ, Остапенко ТА, Лубянова ІП. Біомаркери у професійній патології: сучасні підходи до діагностики пневмоконіозів. Український журнал з проблем медицини праці. 2014;4(37):11–17.
- Басанець АВ, Остапенко ТА. Показники статичних легневих об'ємів та дифузійної здатності альвеоло-капілярної мембрани у працівників азбестоцементного виробництва. Український журнал з проблем медицини праці. 2011;4(24):58–62.
- Гуменюк ГЛ. Метод комп'ютерної денситометрії легень в алгоритмі лікування хворих на саркоїдоз. Журнал НАМН України. 2015;21(1):103–107.
- Кундієв ЮІ, Басанець АВ. Пневмокониоз. Епідеміологія. Рання діагностика. Профілактика. Київ: Авіцена. 2012;191с.
- Линник НИ, Мусиенко НН. Многосрезовая компьютерная томография во фтизиопульмонологии: стандартизация исследования и программное обеспечение. Украинский пульмонологический журнал. 2012;(3):65–69.
- Линник МІ, Аврамчук ОВ, Старічків ГВ. Комп'ютерна денситометрія в оцінці основного курсу антимікобактеріальної терапії у хворих із вперше діагностованим туберкульозом легень. Туберкульоз. Легеневі хвороби. ВІЛ-інфекція. DOI: <https://doi.org/10.30978/TB2018-1-58>.
- Ідіопатичні інтерстиціальні пневмонії: класифікація, діагностика, лікування: методичний посібник. ДУ «Інститут фізіатрії і пульмонології ім. Ф.Г. Яновського НАМН України». Київ. 2008;30 с.
- Akira M. Uncommon pneumoconiosis: CT and pathologic findings. Radiology. 1995;197(2):403–409.
- Bakker ME, Ninaber MK, Stolk J, et al. Lung density and pulmonary artery diameter are predictors of pulmonary hypertension in systemic sclerosis. J. Thoracic Imaging. 2017;32(6):391–397.
- Beinert T, Behr J, Mehnert F, et al. Quantitative computerized tomography of the lung: respiration controlled diagnosis of diffuse lung diseases. Pneumologie. 1995;49(12):678–683.
- Berend CS, Stolk J. Optimization and standardisation of lung densitometry in the assessment of pulmonary emphysems. Investigative Radiology. 2004;39(11):681–688.
- Choi EK, Park HL, Yoo IR, et al. The clinical value of F-18FDG PET/CT in differentiating malignant from benign lesion in pneumoconiosis patients. Eur Radiol. 2020;30(1):442–451.
- Chung MH, Gil B, Kwon S, et al. Computed tomographic indices in normal subjects and patients with chronic obstructive pulmonary disease: Comparison with spiral CT densitometry and pulmonary function tests. European Journal of Radiology. 2018;(100):147–153.
- De Marca PGC, Goldenberg T, Mello FCQ, et al. Pulmonary densitometry using computed tomography in patients with nontuberculous mycobacteria: correlation with pulmonary function tests. Pulm Med. 2019 Feb 3;2019:5942783. doi: 10.1155/2019/5942783.eCollection 2019.
- Fienmuller RK, Behr J, Kalender WA, et al. Standardized quantitative high resolution CT in lung diseases. Journal of Computer Assisted Tomography. 1991;15(5):742–749.
- Godwin JD, Fram EK, Cann CE, et al. CT densitometry of pulmonary nodules: a phantom study. J Comput Assist Tomogr. 1982;6(2):254–258.
- Groel R, Peichel KH, Uggowitzer MM, et al. Computed tomography densitometry of the lung: a method to assess perfusion defects in acute pulmonary embolism. Eur J Radiol. 1999;32(3):192–196.
- Gruden JF, Naidich DP, Machnicki SC, et al. An algorithmic approach to the interpretation of diffuse lung disease on chest CT imaging: a theory of almost everything. Chest. 2020;157(3):612–635.
- Jones CM, Pasricha SS, Heinze SB, et al. Med Imaging Radiat Oncol. 2020;64(2):241–249.
- Levent S. The Role of High-Resolution Computed Tomography in the Evaluation of Pneumoconiosis. Haydarpasa Numune Med J. 2021;61(2):234–240.
- Masanori A. Imaging diagnosis of classical and new pneumoconiosis: predominant reticular HRCT pattern. Insights Imaging. 2021;12(33). doi: 10.1186/s13244-021-00966-y.
- Lamers RJ, Schins RP, Wouters EF, et al. High-resolution computed tomography of the lungs in coal miners with a normal chest radiograph. Eur Lung Res. 1994;20(5):411–419.
- Liu P, Wu DZC, Su H, et al. CT quantitative study of coal miner's pneumoconiosis. Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi. 2002;20(2):113–115.
- Lopes AJ, Mogami R, Camilo GB, et al. Relationships between the pulmonary densitometry values obtained by CT and the forced oscillation technique parameters in patients with silicosis. Br J Radiol. 2015;88(1049):20150028. doi: 10.1259/bjr.20150028. Epub 2015 Mar 6.
- Lynnyk M, Gumenuk M, Kalabukha I, et al. Informativity of computer densitometry for assessing the degree of activity of the inflammatory process in pulmonary tuberculomas. Georgian Med News. 2019;(296):81–86.
- Nambu A, Zach J, Schroeder J, et al. Quantitative computed tomography measurements to evaluate airway disease: relationship to physiological measurements, clinical index and visual assessment of airway disease. European Journal of Radiology. 2016;85(11):2144–2151.
- Petroulia V, Funke M, Zumstein P, et al. Increased Expiratory Computed Tomography Density reveals possible abnormalities in radiologically preserved lung parenchyma in idiopathic pulmonary fibrosis. Invest Radiol. 2018;53(1):45–51.
- Qi, Xian-Me, Luo Y, Song M, et al. Pneumoconiosis: current status and future prospects. Chinese Medical Journal. 2021;134(8):898–907.
- Tami D, Otter D, Schubert J. Hounsfield Units. StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. 2021.
- Xia L, Lu F., Wang Yi, et al. Compute tomography – based quantitative evaluation of pneumoconiosis. Nan Fang Yi Ke Da Xue Xue Bao. 2012;32(12):1768–1772.

REFERENCES

- Basanets AV. Primenenie kompyuternoy tomografii vysokogo razresheniya dlya diagnostiki rannikh stadiy pnevmokonioza ot vozdeystviya ugolnoy pyli (The use of high-resolution computed tomography to diagnose the early stages of pneumoconiosis from exposure to coal dust). Meditsyna truda i promyshlennaya ekologiya. 2007;(4):22–31.
- Basanets AV, Ostapenko TA, Lubyanova IP. Biomarkery u profesiyniy patologiyi: suchasni pidkhody do diagnostyky pnevmokonioziv (Biomarkers in occupational pathology: modern approaches to the diagnosis of pneumoconiosis). Ukrayinsky zhurnal z problem medytyny pratsi. 2014;4(37):11–17.
- Basanets AV, Ostapenko TA. Pokaznyky statychnykh legenevykh ob'yemiv ta dyfuzyynoyi zdutnosti alveolo-kapilyarnoyi membrany u pratsivnykiv azbestotsementnogo vyrobnytstva (Indicators of static lung volumes and diffusion capacity of the alveolar-capillary membrane in asbestos-cement workers). Ukrayinsky zhurnal z problem medytyny pratsi. 2011;4(24):58–62.
- Humenyuk HL. Metod kompyuternoyi densytometriyi legen v algorytmy likuvannya khvorykh na sarkoyidoz (The method of computer densitometry of the lungs in the algorithm for the treatment of patients with sarcoidosis). Zhurnal NAMN Ukrainy. 2015;21(1):103–107.
- Kundiyeu Yul, Basanets AV. Pnevmonioz. Epidemiolohiya. Rannya diagnostyka (Pneumoconiosis. Epidemiology. Early diagnosis. Prevention). Profilyaktyka. Kyiv: Avitsena. 2012;191p.
- Lynnyk NY, Musyenko NN. Mnogosrezovaya kompyuternaya tomografiya vo ftizipulmonologii: standartizatsiya issledovaniya i programmnoe obespechenye (Multislice computed tomography in phthisiopulmonology: standardization of research and software). Ukrayinsky pulmonologicheskyy zhurnal. 2012;(3):65–69.
- Lynnyk MI, Avramchuk OV, Starichek HV. Kompyuterna densytometriya v otsintsi osnovnogo kursu antymikobakterialnoy terapiyi u khvorykh iz vperше diagnostovanykh tuberkulozom legen (Computed densitometry in the assessment of the main course of antimycobacterial therapy in patients with newly diagnosed pulmonary tuberculosis). Tuberkuloz. Legenevi khvoroby. VIL-infektsiya. DOI: <https://doi.org/10.30978/TB2018-1-58>.
- Idiopatychni interstytialni pnevmoniyi: klasyfikatsiya, diagnostyka, likuvannya: metodychnyy posibnyk (Idiopathic interstitial pneumonia: classification, diagnosis, treatment: a guide). DU «Instytut fizyiatryi i pulmonolohiyi im. F.H. Yanovskogo NAMN Ukrainy». Kyiv. 2008;30 p.
- Akira M. Uncommon pneumoconiosis: CT and pathologic findings. Radiology. 1995;197(2):403–409.
- Bakker ME, Ninaber MK, Stolk J, et al. Lung density and pulmonary artery diameter are predictors of pulmonary hypertension in systemic sclerosis. J. Thoracic Imaging. 2017;32(6):391–397.
- Beinert T, Behr J, Mehnert F, et al. Quantitative computerized tomography of the lung: respiration controlled diagnosis of diffuse lung diseases. Pneumologie. 1995;49(12):678–683.
- Berend CS, Stolk J. Optimization and standardisation of lung densitometry in the assessment of pulmonary emphysems. Investigative Radiology. 2004;39(11):681–688.
- Choi EK, Park HL, Yoo IR, et al. The clinical value of F-18FDG PET/CT in differentiating malignant from benign lesion in pneumoconiosis patients. Eur Radiol. 2020;30(1):442–451.
- Chung MH, Gil B, Kwon S, et al. Computed tomographic indices in normal subjects and patients with chronic obstructive pulmonary disease: Comparison with spiral CT densitometry and pulmonary function tests. European Journal of Radiology. 2018;(100):147–153.
- De Marca PGC, Goldenberg T, Mello FCQ, et al. Pulmonary densitometry using computed tomography in patients with nontuberculous mycobacteria: correlation with pulmonary function tests. Pulm Med. 2019 Feb 3;2019:5942783. doi: 10.1155/2019/5942783.eCollection 2019.
- Fienmuller RK, Behr J, Kalender WA, et al. Standardized quantitative high resolution CT in lung diseases. Journal of Computer Assisted Tomography. 1991;15(5):742–749.
- Godwin JD, Fram EK, Cann CE, et al. CT densitometry of pulmonary nodules: a phantom study. J Comput Assist Tomogr. 1982;6(2):254–258.
- Groel R, Peichel KH, Uggowitzer MM, et al. Computed tomography densitometry of the lung: a method to assess perfusion defects in acute pulmonary embolism. Eur J Radiol. 1999;32(3):192–196.
- Gruden JF, Naidich DP, Machnicki SC, et al. An algorithmic approach to the interpretation of diffuse lung disease on chest CT imaging: a theory of almost everything. Chest. 2020;157(3):612–635.
- Jones CM, Pasricha SS, Heinze SB, et al. Med Imaging Radiat Oncol. 2020;64(2):241–249.
- Levent S. The Role of High-Resolution Computed Tomography in the Evaluation of Pneumoconiosis. Haydarpasa Numune Med J. 2021;61(2):234–240.
- Masanori A. Imaging diagnosis of classical and new pneumoconiosis: predominant reticular HRCT pattern. Insights Imaging. 2021;12(33). doi: 10.1186/s13244-021-00966-y.
- Lamers RJ, Schins RP, Wouters EF, et al. High-resolution computed tomography of the lungs in coal miners with a normal chest radiograph. Eur Lung Res. 1994;20(5):411–419.
- Liu P, Wu DZC, Su H, et al. CT quantitative study of coal miner's pneumoconiosis. Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi. 2002;20(2):113–115.
- Lopes AJ, Mogami R, Camilo GB, et al. Relationships between the pulmonary densitometry values obtained by CT and the forced oscillation technique parameters in patients with silicosis. Br J Radiol. 2015;88(1049):20150028. doi: 10.1259/bjr.20150028. Epub 2015 Mar 6.
- Lynnyk M, Gumenuk M, Kalabukha I, et al. Informativity of computer densitometry for assessing the degree of activity of the inflammatory process in pulmonary tuberculomas. Georgian Med News. 2019;(296):81–86.
- Nambu A, Zach J, Schroeder J, et al. Quantitative computed tomography measurements to evaluate airway disease: relationship to physiological measurements, clinical index and visual assessment of airway disease. European Journal of Radiology. 2016;85(11):2144–2151.
- Petroulia V, Funke M, Zumstein P, et al. Increased Expiratory Computed Tomography Density reveals possible abnormalities in radiologically preserved lung parenchyma in idiopathic pulmonary fibrosis. Invest Radiol. 2018;53(1):45–51.
- Qi, Xian-Me, Luo Y, Song M, et al. Pneumoconiosis: current status and future prospects. Chinese Medical Journal. 2021;134(8):898–907.
- Tami D, Otter D, Schubert J. Hounsfield Units. StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. 2021.
- Xia L, Lu F., Wang Yi, et al. Compute tomography – based quantitative evaluation of pneumoconiosis. Nan Fang Yi Ke Da Xue Xue Bao. 2012;32(12):1768–1772.