

МІКРОРЕНТГЕНСТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ ХРЕБЦІВ У ПАЦІЄНТІВ З БРОНХООБСТРУКТИВНИМИ ЗАХВОРЮВАННЯМИ ЛЕГЕНЬ ЗА ДАНИМИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ТОМОГРАФІЇ

Ю. І. Фещенко^{1,A,F}, М. І. Линник^{*1,A,D,F}, М. І. Гуменюк^{1,A,D,F}, В. І. Ігнат'єва^{1,B,C,D},
М. О. Полянська^{1,A,E}, Г. Л. Гуменюк^{1,2,C,E}, С. Г. Опімах^{1,B,E}, І. В. Зволь^{1,B,C}, С. М. Москаленко^{1,B,C},
І. В. Чумак^{1,B,C}, Л. А. Галай^{1,B,C}, Н. А. Власова^{1,B,C}

¹ДУ «Національний науковий центр фтизіатрії, пульмонології та алергології імені Ф. Г. Яновського НАМН України», Київ, Україна

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

A — концепція та дизайн дослідження; B — збір даних; C — аналіз та інтерпретація даних; D — написання статті;
E — редагування статті; F — остаточне затвердження статті

Резюме. Епідеміологічні дані свідчать про збільшення порушень мінеральної щільності кісткової тканини (МЩКТ) в різних вікових групах населення. Особливу групу складають пацієнти з бронхообструктивними захворюваннями легень (БОЗЛ), серед яких більшу частку складають особи з бронхіальною астмою (БА) та хронічним обструктивним захворюванням легень (ХОЗЛ). Найбільш інформативним та достовірним методом діагностики остеопорозу (ОП) на сьогодні є кількісна комп'ютерна денситометрія. Наявні сучасні багатозрізові комп'ютерні томографи та спеціальні програми дозволяють точно оцінювати МЩКТ. Однією із таких програм є «QST Pro».

Мета роботи: провести мікрорентгенструктурний аналіз кісткової тканини поперекових (L1–L3) хребців у осіб з БОЗЛ та визначити його кореляцію зі стандартизованими методами діагностики остеопорозу.

Матеріали та методи. Проаналізовано 100 комп'ютерних томограм (КТ) органів грудної клітки (ОГК) в програмі K-Ras — 65 хворих на БОЗЛ та 35 осіб без соматичної патології того ж віку (від 40 до 80 років) і статі, яким проведена денситометрія з визначенням Т-критерію, за яким діагностували порушення МЩКТ. Для проведення мікрорентгенструктурного аналізу КТ-зрізів нами було використано ліцензійну програму Dragonfly, розроблену фірмою «Obyect Reserch Systems» (Монреаль, Канада). Для роботи з програмою dicom-файли КТ трансформуються у растрові файли (tiff, jpeg, raw). Подальший аналіз зрізів проводиться за градаціями відтінків сірого кольору (за пікселями зображення, а не за вокселями файлів dicom). Аналіз відтінків сірого корелює з одиницями Гаусфілда (HU). Для аналізу та побудови гістограм обрано аксіальні КТ-зрізи поперекових (L1–L3) хребців на КТ ОГК.

Результати. При обстеженні хворих на БОЗЛ і осіб без соматичної патології того ж віку і статі методом кількісної комп'ютерної денситометрії було визначено середнє значення МЩКТ поперекових (L1–L3) хребців, Z- і Т-критерії. За Т-критерієм оцінювали наявність остеопенії або ОП. Значення Т-критерію трактували таким чином: від 3,0 до –1,0 — норма; від –1,0 до –2,5 — остеопенія; від –2,5 до –5,0 — ОП. Для кожного діапазону значення Т-критерію визначали діапазон МЩКТ в од. HU. За результатами проведеного обстеження встановлено, що у 62 (95,4 %) пацієнтів з БОЗЛ було виявлено системні патологічні зміни кісткової тканини. У 18 з 65 осіб виявлено остеопенію, а у 44 — ОП, що в 8 разів перевищувало частоту діагностики ОП у обстежених без соматичної патології. При порівнянні середніх значень денситометричних показників (HU) КТ в досліджуваній ROI (зоні зацікавленості) встановлено, що вони відповідають значенням Т-критерію: норма — вище 150 HU, остеопенія — від 110 до 150 HU, остеопороз — нижче 110 HU.

Висновки. Мікрорентгенструктурний аналіз з побудовою звичайних та сегментованих гістограм дозволяє виявляти значну різницю структури хребців при різних ступенях порушення мінерального обміну. Це обумовлює можливість створення інтелектуальних програм на основі згорткових нейромереж, що дозволить значно підвищити інформативність діагностики.

Ключові слова: бронхообструктивні захворювання легень, мікрорентгенструктурний аналіз, комп'ютерна томографія, денситометрія, остеопороз, остеопенія.

За останні роки епідеміологічні дані свідчать про збільшення порушень мінеральної щільності кісткової тканини (МЩКТ) у осіб різних вікових груп населення [1]. Особливу групу складають хворі на бронхообструктивні захворювання легень (БОЗЛ), серед яких більшу частку складають хворі на бронхіальну астму (БА) [2] та хронічне обструктивне захворювання легень (ХОЗЛ) [3].

Одним з найбільш поширених фенотипів БА, який супроводжується тяжким перебігом є перехресний астма/ХОЗЛ синдром [2, 3]. Але у 2017 році для пацієнтів з клінічними ознаками і БА, і ХОЗЛ термін «астма-ХОЗЛ перехресний синдром» був замінений на поняття «астма-ХОЗЛ перехрест» (АХП). АХП діагностується у 15–55 % хворих на БОЗЛ, розповсюдженість його зростає серед людей літнього віку, але зустрічається у великому віковому діапазоні.

Порушення мінерального обміну кісткової тканини у хворих на БОЗЛ виникає вторинно внаслідок системного запального процесу, метаболічних порушень, довготривалої гіпоксії, яка виникає на тлі дихальної недостатності та зниження фізичної активності і носить системний характер [4, 5].

БА та ХОЗЛ обумовлені, головним чином, хронічними запальними процесами, які відбуваються в дихальних шляхах, і пов'язані з різними системними супутніми захворюваннями та смертністю. Остеопороз (ОП) є поширеним метаболічним захворюванням кісток, асоційованим з респіраторними порушеннями, яке впливає на прогноз, збільшує смертність та захворюваність пацієнтів [6]. Крім ОП, пильну увагу приділяють іншим супутнім системним захворюванням, таким як серцево-судинні захворювання, цереброваскулярні захворювання, метаболічний синдром, недостатність харчування, дисфункція скелетних м'язів, тривога, депресія та ін. [7].

Наявність ОП у хворих на БА і ХОЗЛ завжди протікає безсимптомно, якщо воно не ускладнене крихкими переломами, тому необхідно ретельно вивчати патогенез ОП при цих захворюваннях та особливу увагу слід приділяти ранньому розпізнаванню пацієнтів з високим ризиком розвитку ОП. Так, за даними деяких епідеміологічних досліджень частота остеопеній і ОП у хворих на ХОЗЛ сягає 60 % [1, 8].

За даними дослідження, в яке було включено 321 пацієнта: 138 з БА, 46 з АХП і 137 з ХОЗЛ, отримані наступні результати: у 193 пацієнтів (60,1 %) діагностовано ОП (у 53,6 % пацієнтів з астмою, у

65,2 % з АХП і у 65,0 % пацієнтів з ХОЗЛ). У пацієнтів з АХП виявлено значно нижчі показники МЩКТ і Т-показник, ніж у пацієнтів з астмою. При цьому, МЩКТ мала негативну кореляцію з діагнозом АХП порівняно з діагнозом БА. Серед пацієнтів із ХОЗЛ та АХП МЩКТ негативно асоціювалася з тестом оцінки ХОЗЛ (САТ) ($p < 0,001$) [8].

ОП — прогресуюче системне захворювання скелету, для якого характерне зниження кісткової маси та порушення мікроархітектури кісткової тканини, що призводить до збільшення ламкості кісток та ризику переломів [9]. Пацієнти на БОЗЛ мають високу поширеність ОП та високий ризик переломів [10]. За даними деяких авторів, механізми розвитку ОП у цих пацієнтів пов'язані із загальними факторами ризику, такими як куріння [11], знижена фізична активність [12–14], низька маса тіла [15] та специфічними для захворювання факторами ризику, такими як системне запалення [16], дефіцит вітаміну D [17], використання глюкокортикоїдів [18], анемія, гіпоксемія та гіперкапнія [19]. Неабияке значення має повноцінне харчування хворих [20]. Саме тому лікування ОП при БОЗЛ передбачає комплексне втручання, яке включає базисну терапію та анти-остеопоротичні препарати. Програма легеневої реабілітації є важливою частиною лікування [21].

Безперервне застосування системних кортикостероїдів (КС) впливає на кістковий метаболізм, МЩКТ і, зрештою, підвищує ризик розвитку ОП. У пацієнтів з БА вплив тривалого застосування високих доз інгаляційних кортикостероїдів (ІКС) на МЩКТ і ризик остеопоротичних переломів є суперечливим. Причини такої невідповідності можна пояснити тим фактом, що існує лише кілька довгострокових досліджень, які вивчали вплив ІКС на пацієнтів з астмою. Дослідження характеризуються різними дизайнами досліджень і тривалістю впливу ІКС, невеликими досліджуваними популяціями та відмінностями між ІКС, які призначались.

ІКС є високоефективними препаратами для пацієнтів з астмою, тому важливо контролювати місцеве запалення та активність захворювання, щоб зменшити потребу в частому пероральному прийомі КС. Однак пацієнтам слід поради застосовувати найнижчу ефективну дозу, яка адекватно контролює захворювання. Потрібні додаткові знання про безпеку високих доз ІКС, але, виходячи з наявних доказів, ефект ІКС, переважає ризик. Крім того, загальний ризик розвитку ОП повинен бути оцінений у кожного пацієнта, особливо у пацієнтів з тяжкою

астмою або АХП з точки зору своєчасної діагностики та профілактичного лікування [22].

Пацієнти з тяжкою астмою, АХП та/або одночасним прийомом СКС можуть мати децю вищий ризик остеопоротичних переломів. Поширеність ОП у пацієнтів з тяжкою БА та АХП також виявилась вищою порівняно зі здоровими особами контрольних груп. У пацієнтів з астмою безперервне лікування низькими дозами та часте періодичне лікування високими дозами СКС впливає на МЩКТ і, отже, підвищує ризик ОП, тоді як спорадичні короткі курси лікування СКС є відносно безпечними. Лікування ІКС може залежно від дози впливати на метаболізм кісток і, як наслідок, ризик переломів. Однак існують суперечності в результатах досліджень щодо потенційних шкідливих наслідків лікування ІКС у вигляді зниження МЩКТ та підвищення ризику переломів [22].

Найбільш частими місцями патологічних переломів, які обумовлені ОП, є хребці, ребра, зап'ястя, шийка стегна, проксимальні відділи плечової кістки, кістки таза. Такі переломи часто призводять до інвалідизації пацієнтів або закінчуються летальними випадками [9, 23–25].

На сучасному етапі надання медичної допомоги хворим на БОЗЛ недостатньо уваги приділяється діагностиці та лікуванню супутнього ОП, хоча ще в 2008 році групою експертів ВООЗ розроблений один із інструментів оцінки ризику ОП і його ускладнень у чоловіків і жінок з оцінкою й без оцінки показників МЩКТ [23]. Використання FRAX (Fracture Risk Assessment Tool) в оцінці ризику переломів підтримали й інші організації, що займаються проблемою ОП, такі як International Osteoporosis Foundation, National Osteoporosis Foundation, the American Society for Bone and Mineral Research, the International Society for Clinical Densitometry та ін. [23–25]. FRAX — метод (інструмент) оцінки 10-річного ризику переломів стегнової кістки та інших більших остеопоротичних переломів (променева, плечова кістки, клінічно значущі переломи тіл хребців і стегнової кістки), розроблений на підставі використання показників віку, індексу маси тіла (ІМТ) й клінічних факторів ризику переломів з дослідженням МЩКТ шийки стегнової кістки або без нього у чоловіків і жінок [26].

На жаль, до теперішнього часу, використання алгоритму FRAX для української популяції та інших стран СНГ можливо лише за використанням даних інших країн, оскільки, не дивлячись на проведення

протягом останніх десятиріч епідеміологічних досліджень Українським науково-медичним центром проблем ОП, даних офіційної статистики недостатньо для визначення показників FRAX [24, 26].

Проведення широкомасштабних епідеміологічних досліджень дозволить виявити регіональні особливості остеопоротичних переломів у різних областях країни й визначити 10-річну ймовірність ризику остеопоротичних переломів для населення України. Міжнародною асоціацією остеопорозу при неможливості використовувати власні дані (конкретної країни) для обчислення ризику переломів рекомендується використовувати дані популяцій, які за географічними, етнічними та іншими (частота ОП й переломів) особливостями, найбільш наближені до досліджуваної вибірки.

Але, як і всякий інший метод, алгоритм FRAX має деякі обмеження до застосування, якими не слід зневажати [24, 27]. Крім того, система оцінки ризиків переломів FRAX [26, 27], яка лягла в основу рекомендації АСР (American College of Rheumatology) 2010 та рекомендації Європейської антиревматичної ліги (European League Against Rheumatism — EULAR) щодо лікування ОП і рекомендацій ІОФ (International Osteoporosis Foundation) не відображає істинних нюансів етіології та патогенезу вторинного ОП, який виникає у хворих на ХОЗЛ, а тому, FRAX не може ефективно застосовуватись у цього контингенту хворих. Як альтернативу системі FRAX, АСР пропонує використовувати таблицю визначення ризику переломів, засновану на даних рентген-денситометрії.

Основні питання анкети FRAX за своєю суттю не відображають патогенез прогресування БОЗЛ і виникнення його ускладнень, до яких відноситься і ОП [28]. Так, для виявлення вторинного ОП при БОЗЛ, доцільно враховувати тривалість і тяжкість перебігу захворювання, частоту загострень, його клінічні і функціональні характеристики, дози, тривалість і спосіб застосування глюкокортикостероїдів.

Анкета FRAX розрахована переважно на жінок, які знаходяться в менопаузальному періоді та чоловіків старше 50 років [24, 26]. Але, наприклад, при ХОЗЛ спостерігається інша закономірність. Захворювання частіше виникає у чоловіків ніж у жінок, у віці 40 років і старше, переважно у осіб, які зловживають табакокурінням або зловживали в минулому, серед міських жителів майже в двічі частіше, ніж у мешканців сільської місцевості. При цьому відмічається низький рівень діагностики самого ХОЗЛ.

Вірогідність виникнення ОП у хворих на ХОЗЛ підвищується з тривалістю основного захворювання, стажем тютюнокуріння та прогресуванням бронхообструкції. При цьому не виявлено кореляційних зв'язків критеріїв ОП з клінічними симптомами ХОЗЛ, харчовими звичками пацієнтів, переломами кісток в анамнезі, фізичною активністю і якістю життя [29].

Отже, своєчасна діагностика та лікування порушень мінерального обміну кісткової тканини у хворих на БОЗЛ є вельми актуальними. Ще у 1994 р. робочою групою Всесвітньої організації охорони здоров'я було прийнято рішення діагностувати ОП на основі ступеня зниження МЩКТ, що визначається методом кісткової денситометрії. При цьому використовується єдиний універсальний діагностичний показник для всіх методик денситометрії – Т-критерій, що визначається як відношення фактичної кісткової маси пацієнта до вищого показника кісткової маси молодих здорових людей тієї ж статі, що розраховується у відсотках та стандартних відхиленнях [30].

За Т-критерієм оцінюють вираженість остеопенії або ОП. Під терміном остеопенія позначається доклінічна стадія ОП. Значення Т-критерію трактується наступним чином: від 3,0 до –1,0 — як норма; від –1,0 до –2,5 — як остеопенія; від –2,5 до –5,0 — як ОП.

Таким чином, на теперішній час «золотим стандартом» діагностики ОП є кісткова денситометрія. Визначають такі модифікації цієї методики, як ультразвукова кісткова денситометрія та двоенергетична рентгенівська денситометрія (абсорбціометрія) [30]. Перша з них заснована на вимірі швидкості поширення ультразвукової хвилі по поверхні кістки, а також вимірі широкосмугового розсіювання ультразвукової хвилі в досліджуваній кістці. Зазначені параметри можуть відбивати еластичність, щільність і твердість кісткової тканини. Інформативність цієї методики значно уступає методам з використанням рентгенівських променів [23, 30]. Друга методика — це найбільш точний спосіб виміру щільності кісткової тканини. Він використовує два різні рентгенівські промені для того, щоб оцінити щільність кістки в хребті й у стегні. Чим щільніше кісткова тканина, тим менше через неї проходить рентгенівський промінь. Підсумовування й зіставлення результатів абсорбції двох рентгенівських променів (поглинання кістковою тканиною й м'якими тканинами) дозволяє більш точно діагностувати зниження щільності кісткової тканини. За допомо-

гою двоенергетичної денситометрії можна вимірювати від 2 % втрати кісткової маси в рік. Процедура займає мало часу й дози радіаційного опромінення дуже низькі [30, 31].

Інший метод рентгенівської денситометрії — це кісткова денситометрія периферична [23, 30]. Принцип одержання інформації аналогічний двоенергетичній денситометрії та дозволяє виміряти щільність кісткової тканини в руці й нозі (у таких зонах, як зап'ястя або п'яти), але не дозволяє виміряти щільність у стегні й хребті (де найчастіше відбуваються переломи). Периферичні денситометри — це портативні обладнання, які можуть бути використані у звичайному кабінеті лікаря. Периферична денситометрія також використовує для виміру дуже низькі дози радіаційного опромінення, але інформативність цього дослідження не дуже висока. Цей метод корисний для скринінгових досліджень і контролю лікування ОП.

Ще один метод рентгенівської денситометрії — двофотонна абсорбціометрія. При цьому методі дослідження щільності кісткової тканини використовуються радіоактивні ізотопи. Метод дозволяє вимірювати щільність кісткової тканини в стегновій кістці й хребті [30–32]. Цей метод також використовує дуже низькі дози радіації, але вимагає набагато більше часу для одержання результатів дослідження.

Найбільш інформативним та достовірним методом діагностики ОП на сьогодні є кількісна комп'ютерна денситометрія. Це різновид томографії, який використовує рентгенівські промені для одержання дійсної картини й структури кісткової тканини в об'ємнім зображенні. Денситометричні показники обчислюються як результат загального поглинання рентгенівських променів в обсязі зрізу комп'ютерного томографа і є сумою усіх коефіцієнтів, що отримуються на ньому. Однак одержувані у такий спосіб щільнісні значення кісткової тканини не відбивають дійсного змісту у ній мінералів через те, що кісткова тканина складається із трьох різних денситометричних компонентів: багатої кальцієм кісткової ґрати, гематогенної м'якої тканини й внутрішньокісткового жиру. Частка жирової тканини в кістці збільшується з віком, зміщуючи співвідношення даних трьох компонентів, що в результаті викликає зниження загального коефіцієнта поглинання в області виміру. На результати вимірів також впливають зміна твердості рентгенівського пучка при проходженні його через тканини, ефект «часткового обсягу» та інші фактори. Для забезпечення стійких

стандартів і усунення цих недоліків використовується спеціальний калібрувальний фантом, який містить матеріал з відомим еквівалентом кісткових мінералів (гідроксіапатитом кальцію або калію). У цьому випадку комп'ютерна аналітична програма перетворює денситометричні показники в області виміру в значення МЩКТ, які обчислюються по співвідношенню «лінії регресії» між середніми числами комп'ютерного томографа й МЩКТ відомих еквівалентів мінералу, встановленого на калібрувальному фантомі [30, 32].

Метод комп'ютерної денситометрії дозволяє кількісно аналізувати ступінь поглинання рентгенівського випромінювання різними тканинами. Томограф вимірює МЩКТ у поперечному перетині кістки й дозволяє диференційовано оцінювати щільність у трабекулярній та кортикальній частині кістки, одержуючи дійсні значення МЩКТ у г/см³. При використанні цього методу відсутнє проєкційне накладення прилеглих кісткових структур і навколишніх тканин, а також із зони дослідження виключаються змінені ділянки кістки. Сучасні багатозрізові комп'ютерні томографи, при наявності фантома й спеціальних програм можливо використовувати для точної оцінки МЩКТ. Однією із таких програм є «3D QCT» [28].

Проте основними недоліками даного методу дослідження МЩКТ є:

- вартість дослідження (комп'ютерні аналітичні програми є вартісними, а дослідження малодоступним для пересічного мешканця України);
- висока доза опромінення (хворому на БОЗЛ проводиться діагностична комп'ютерна томографія (КТ) органів грудної клітки (ОГК) з приводу основного захворювання та додатково КТ люмбального відділу хребта);
- складності при обстеженні, які пов'язані з перевстановленням програмного забезпечення та укладкою хворого;
- складність виконання методики дослідження.

У 2012 р. запропоновано новий підхід до аналізу магнітно-резонансних та комп'ютерних зображень з використанням методів радіології, комп'ютерних наук та математичної статистики — радіоміки, здатний кардинально змінити процес діагностики за КТ-знімками [33, 34]. По суті, радіоміка відображає мікроскопічні параметри досліджуваних тканин із макроскопічних зображень досліджуваного об'єкта.

Мета радіоміки — створити математичні моделі та комп'ютерні алгоритми, які приймають на вході

медичні зображення КТ-знімки і надають інформацію про патофізіологічні особливості тканин. З усієї множини розрахованих ознак необхідно обрати інформативні, які корелюють із шуканою величиною, та відкинути неінформативні. Для цього використовують методи математичної статистики, створення сегментованих гістограм [33, 34].

Мета роботи: провести мікрорентгенструктурний аналіз кісткової тканини поперекових (L1–L3) хребців у хворих на БОЗЛ та визначити його кореляцію зі стандартизованими методами діагностики остеопорозу.

Робота виконана за кошти державного бюджету.

Матеріали та методи

Проаналізовано 100 КТ ОГК — 65 хворих на БОЗЛ (із них БА — 27 (42 %), ХОЗЛ — 18 (28 %), АХП — 20 (30 %); тривалість захворювання (17,7 ± 3,4) років; показники функції зовнішнього дихання (ФЗД) після проби з бронхолітиком: FEV₁ — (48,8 ± 2,1) %, FEV₁/FVC — (51,6 ± 1,6)) та 35 осіб без соматичної патології того ж віку (від 40 до 80 років) і статі, яким проведена денситометрія з визначенням Т-критерію, за яким діагностували порушення МЩКТ. Т-критерій визначали за допомогою програми «3D QCT» в одиницях МЩКТ (мг/см³). Розподіл пацієнтів за статтю представлено в таблиці 1, а за віком та індексом маси тіла (ІМТ) — в таблиці 2.

Таблиця 1. Розподіл пацієнтів з БОЗЛ та осіб без соматичної патології за статтю

Хворі на БОЗЛ (n = 65)				Особі без соматичної патології (n = 35)			
чоловіки		жінки		чоловіки		жінки	
абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%
43	66,2	22	33,8	22	62,9	13	37,1

Примітка. Статистично значущих відмінностей між групами обстежуваних не виявлено.

Таблиця 2. Розподіл пацієнтів з БОЗЛ та осіб без соматичної патології за віком та ІМТ (M ± m)

Групи хворих	Хворі на БОЗЛ (n = 65)	Особі без соматичної патології (n = 35)
Середній вік (років)	64,0 ± 8,5	60,6 ± 7,0
Середній зріст (см)	169,4 ± 9,5	171,5 ± 7,4
Середня вага (кг)	74,6 ± 16,1	80,2 ± 14,45
ІМТ (кг/м ²)	25,92 ± 4,85	27,26 ± 4,6

Примітка. Статистично значущих відмінностей між групами обстежуваних не виявлено.

Відбір хворих на БОЗЛ проводився відповідно до критеріїв національних клінічних настанов та міжнародних керівництв з діагностики та лікування ХОЗЛ — GOLD та БА — GINA [2–5].

Для проведення мікрорентгенструктурного аналізу КТ-зрізів нами було використано програму Dragonfly, розроблену фірмою «Obyect Reserch Systems» (Монреаль, Канада). Програма дає змогу проводити сегментацію, математичну і статистичну обробку зображень, побудову звичайних та сегментованих гістограм. Для роботи з програмою dicom-файли КТ трансформуються у растрові файли (tiff, jpeg, raw). Подальший аналіз зрізів проводиться за градаціями відтінків сірого кольору (за пікселями зображення, а не за вокселями файлів dicom). Аналіз відтінків сірого корелює з одиницями Хаунсфілда (HU). Для аналізу та побудови гістограм обрано аксіальні КТ-зрізи поперекових (L1–L3) хребців на КТ ОГК.

Результати та їх обговорення

При обстеженні хворих на БОЗЛ і осіб без соматичної патології того ж віку і статі методом кількісної комп'ютерної денситометрії було визначено середнє значення МЩКТ поперекових (L1–L3) хребців, Z- і T-критерії. За T-критерієм оцінювали наявність остеопенії або ОП. При цьому відмітимо, що під терміном остеопенія позначається доклінічна стадія остеопорозу. Значення T-критерію трактували таким чином: від 3,0 до –1,0 — норма; від –1,0 до –2,5 — остеопенія; від –2,5 до –5,0 — ОП. Для кожного діапазону значення T-критерію визначали діапазон МЩКТ в од. HU.

За результатами проведеного обстеження встановлено, що у 62 (95,4 %) хворих на БОЗЛ було виявлено системні патологічні зміни кісткової тканини. У 18 хворих із 65 було виявлено остеопенію, а у 44 — ОП, що в 8 разів перевищувало частоту діагностики ОП у осіб без соматичної патології (таблиця 3).

Таблиця 3. Частота виявлення порушень мінерального обміну у пацієнтів з БОЗЛ та у осіб без соматичної патології

Порушення мінерального обміну	Хворі на БОЗЛ (n = 65)		Особі без соматичної патології (n = 35)	
	абс.	%	абс.	%
Без порушень мінерального обміну	3	4,6	18	51,4 ^{&}
Остеопенія	18	27,7*	14	40,0
Остеопороз (ОП)	44	67,7* [#]	3	8,6* ^{#&}

Примітки: * — різниця порівняно з пацієнтами «без порушень мінерального обміну» всередині груп статистично значуща ($p < 0,01$); [#] — різниця між остеопенією і остеопорозом всередині груп статистично значуща ($p < 0,01$); [&] — різниця між групами статистично значуща ($p < 0,01$).

При порівнянні середніх значень денситометричних показників (HU) КТ в досліджуваній ROI (зоні зацікавленості) встановлено, що вони відповідають значенням T-критерію: норма – вище 150 HU, остеопенія – від 110 до 150 HU, остеопороз – нижче 110 HU.

Наводимо конкретні приклади такого порівняльного аналізу у пацієнтів без порушення мінерального обміну, з остеопенією та ОП.

Денситометрія проводилась з використанням програми K-Ras, мікрорентгенструктурний аналіз КТ-зрізів проводився в програмі Dragonfly. Отримані результати порівнювали з результатами діагностики остеопорозу на основі стандартизованої програми «3D QCT».

На рис. 1 представлено аксіальний зріз КТ хворої Г. з денситометричними показниками поперекового відділу хребта.

Як видно із зображення на рисунку, середня щільність становить 216 HU, мінімальна 104 HU, максимальна 335 HU, що за критерієм T-відповідає нормі.

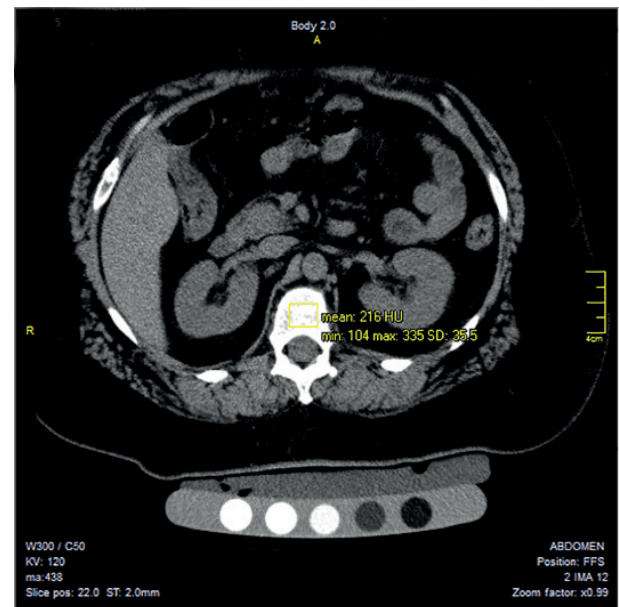


Рис. 1. Аксіальний зріз КТ пацієнтки Г. з денситометричними показниками поперекового відділу хребта.

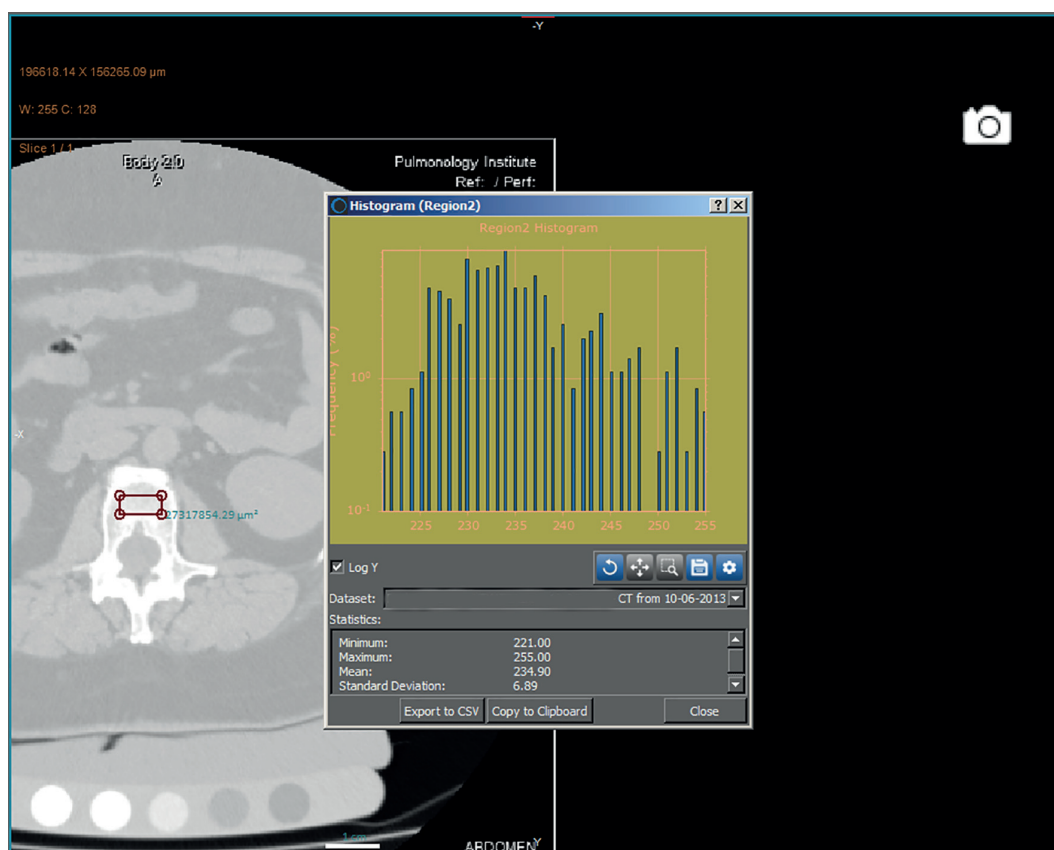


Рис. 2. Звичайна гістограма цієї ж пацієнтки, виконана за допомогою програми Dragonfly.

На рис. 2 та рис. 3. представлено звичайну та сегментовану гістограми зрізів КТ цієї ж пацієнтки.

Наступний приклад демонструє результати дослідження аксіальних зрізів КТ пацієнтки В з остеопенією (рис. 4–6).

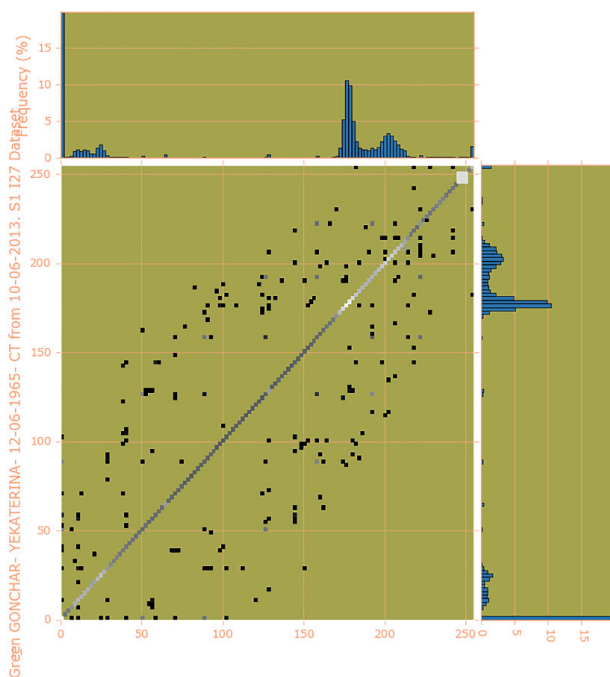


Рис. 3. Сегментована гістограма цієї ж пацієнтки, виконана за допомогою програми Dragonfly.

Із зображення на рисунку видно, що, середня щільність становить 144 НУ, мінімальна 85 НУ, максимальна 192 НУ, що за критерієм Т-відповідає остеопенії.

На рис. 5 та рис. 6. представлено звичайну та сегментовану гістограми зрізів КТ цієї ж пацієнтки.

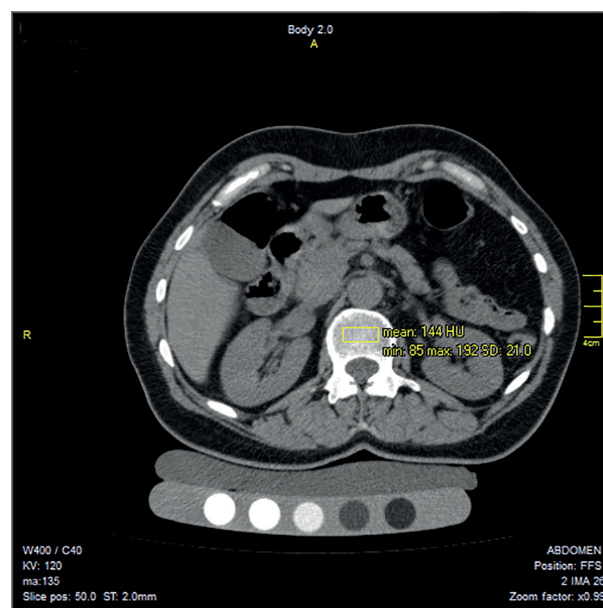


Рис. 4. Аксіальний зріз КТ пацієнтки В. з денситометричними показниками поперекового відділу хребта.



Рис. 5. Звичайна гістограма цієї ж пацієнтки, виконана за допомогою програми Dragonfly.

На рис. 7–9 представлено результати дослідження аксіальних зрізів КТ пацієнтки Є. з ОП.

Із зображення на рисунку видно, що, середня щільність становить 30 HU, мінімальна -78 HU, максимальна 135 HU, що за критерієм Т-відповідає ОП.

Звертає на себе увагу те, що мінімальна щільність на досліджуваній ділянці хребця становить -78 HU. Відповідно до даних таблиці щільностей органів і тканин Хаунсфілда, така щільність відповідає щільності жирової тканини, тобто у пацієнтів з ОП спостерігається жирове переродження губчастої частини хребців.

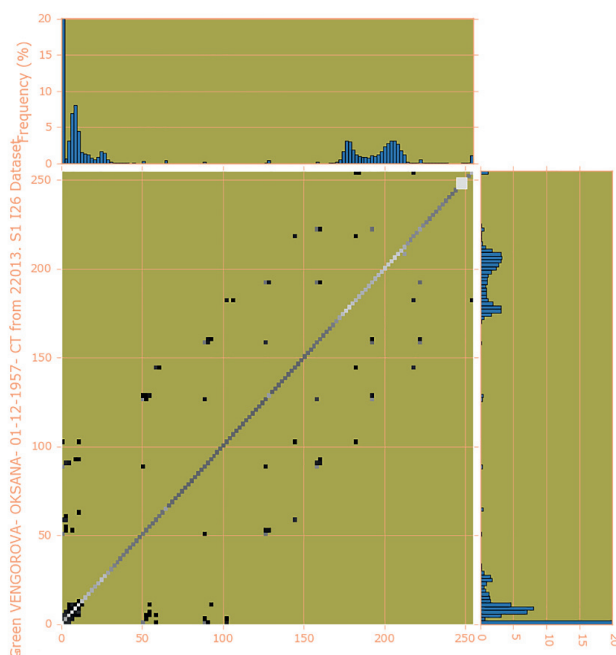


Рис. 6. Сегментована гістограма цієї ж пацієнтки, виконана за допомогою програми Dragonfly.

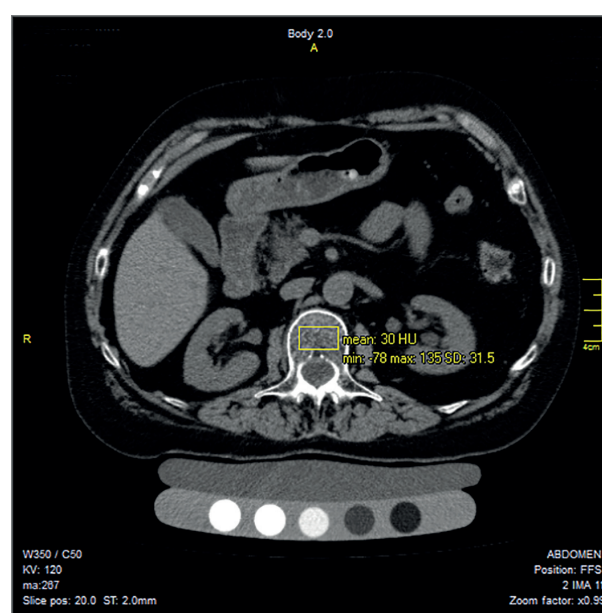


Рис. 7. Аксіальний зріз КТ пацієнтки Є. з денситометричними показниками поперекового відділу хребта.

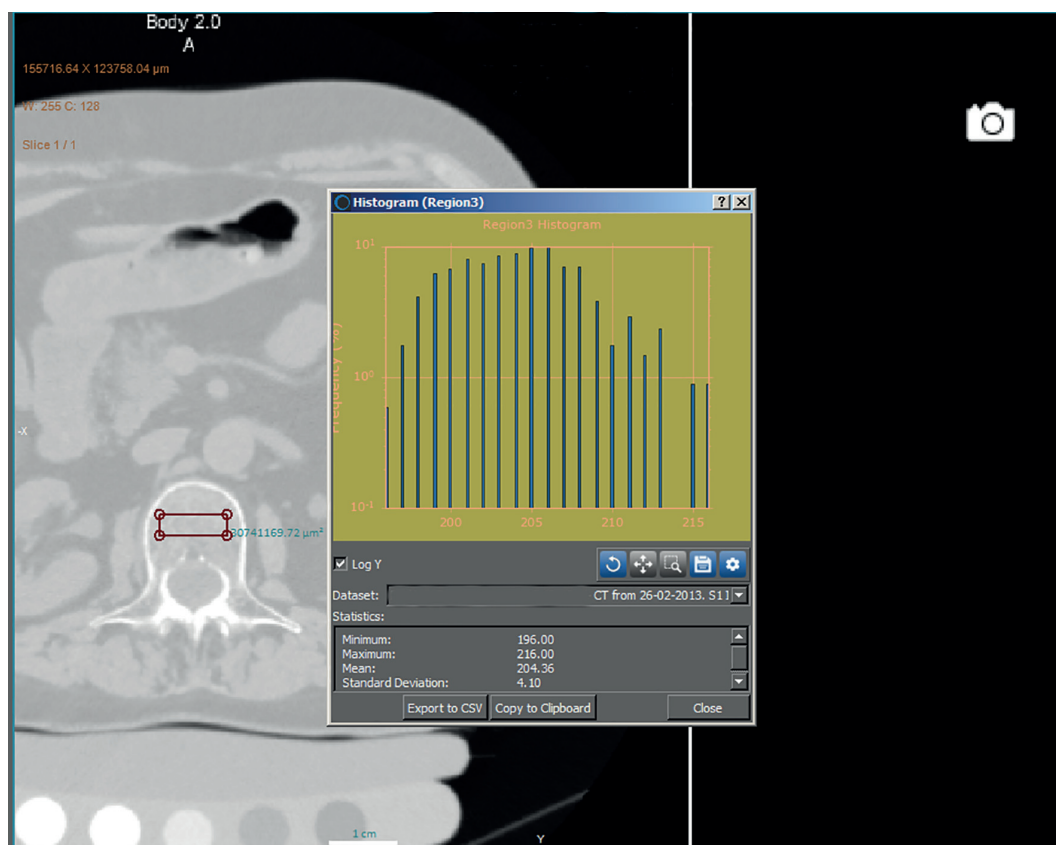


Рис. 8. Звичайна гістограма цієї ж пацієнтки, виконана за допомогою програми Dragonfly.

На рис. 8 та рис. 9 представлено звичайну та сегментовану гістограми аксіальних зрізів КТ цієї ж пацієнтки.

При проведенні денситометрії у пацієнтів з БОЗЛ та у осіб без соматичної патології негативні значення мінімальної щільності спостерігались лише у пацієнтів з ОП, що вказує на жирове перероджен-

ня губчатої частини хребців. Це не відповідає прийнятим поглядам, що у пацієнтів похилого віку завжди спостерігається жирове переродження губчатої частини хребців. Необхідно подальше дослідження таких змін у більшій групі пацієнтів.

На рис. 10 наведено результати дослідження аксіального зрізу КТ пацієнтки С. похилого віку

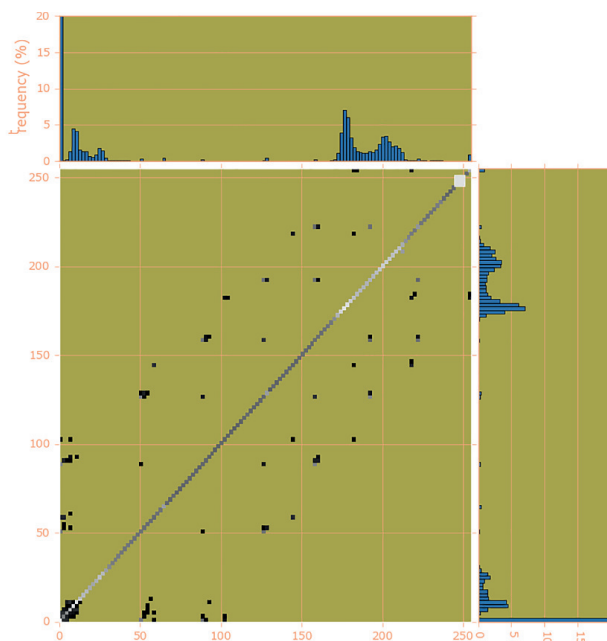


Рис. 9. Сегментована гістограма цієї ж пацієнтки, виконана за допомогою програми Dragonfly.

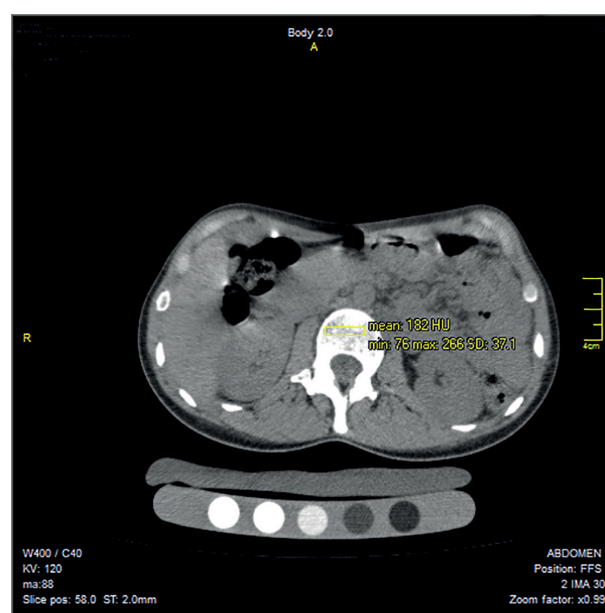


Рис. 10. Аксіальний зріз КТ пацієнтки Є. з денситометричними показниками поперекового відділу хребта.

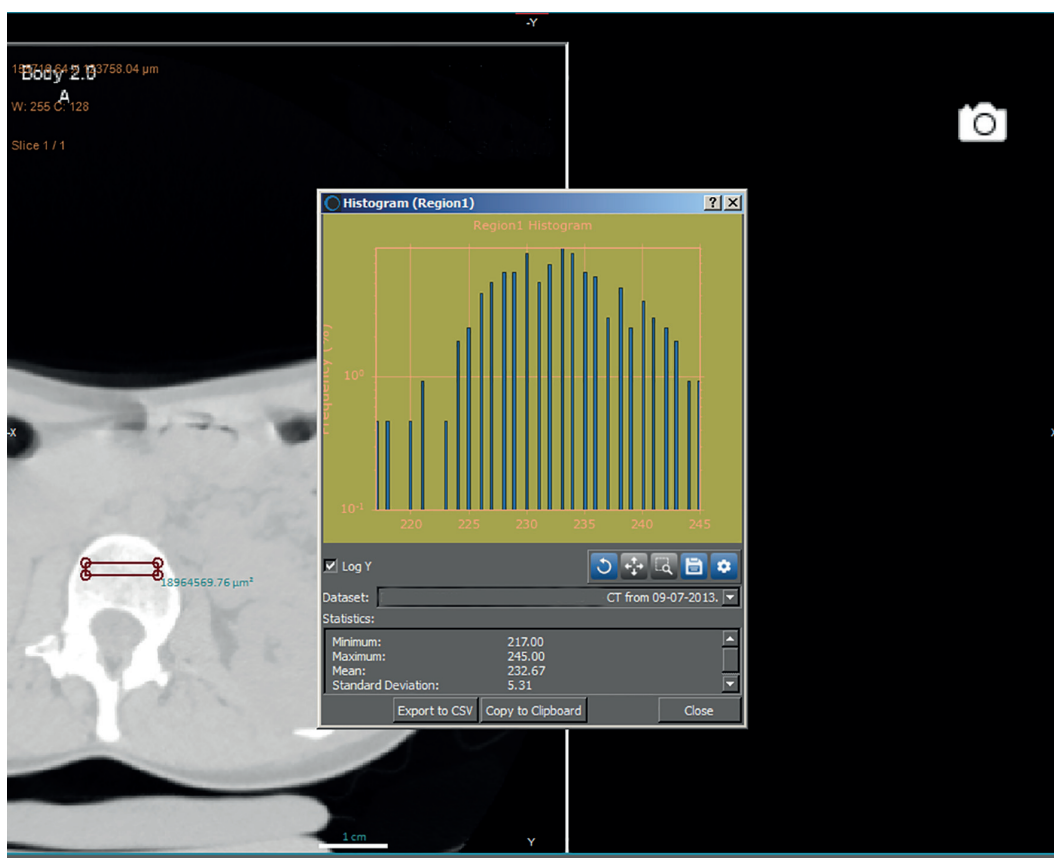


Рис. 11. Звичайна гістограма цієї ж пацієнтки, виконана за допомогою програми Dragonfly.

(75 років), у якої не спостерігається жирового переродження хребців та явищ остеопенії та ОП.

Із зображення на рисунку видно, що, середня щільність становить 182 HU, мінімальна 76 HU, максимальна 266 HU, що за критерієм Т-відповідає

нормі. Отже, у людей похилого віку без порушення мінерального обміну ми не спостерігали жирової деградації хребців.

На рис. 11–12 представлені звичайна та сегментована гістограми аксіальних зрізів КТ пацієнтки Є, які виконані за допомогою програми Dragonfly.

При ретроспективному аналізі результатів дослідження пацієнтів контрольної групи у осіб старше 70 років без порушень МЩКТ ми не спостерігали жирового переродження хребців.

Висновки

1. У осіб з БОЗЛ спостерігається системне порушення мінерального обміну, що проявляється в значному зменшенні мінеральної щільності кісткової системи. ОП у цього контингенту пацієнтів виявляється в 8 разів частіше, ніж у осіб без соматичної патології того ж віку і статті.
2. Визначені основні діапазони МЩКТ в HU, які відповідають значенням Т-критерію: норма — вище 150 HU, остеопенія – від 110 до 150 HU, остеопороз — нижче 110 HU.
3. У осіб старше 70 років без порушень МЩКТ не спостерігається жирове переродження хребців.

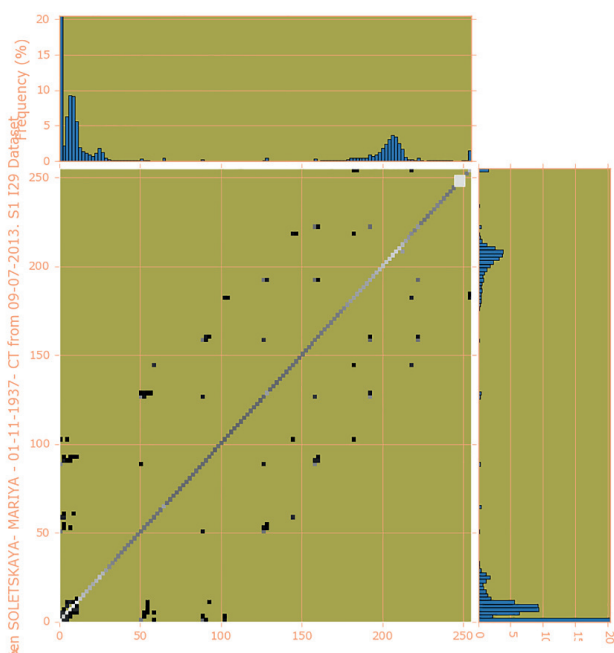


Рис. 12. Сегментована гістограма цієї ж пацієнтки, виконана за допомогою програми Dragonfly.

4. Мікрорентгенструктурний аналіз з побудовою звичайних та сегментованих гістограм дозволяє виявляти значну різницю структури хребців при різних ступенях порушення мінерального обміну.

Це обумовлює можливість створення інтелектуальних програм на основі згорткових нейромереж, що дозволить значно підвищити інформативність діагностики та полегшити роботу лікарям.

MICRO-X-RAY STRUCTURAL ANALYSIS OF THE VERTEBRAE IN PATIENTS WITH BRONCHO-OBSTRUCTIVE LUNG DISEASE ACCORDING TO COMPUTER TOMOGRAPHY DATA

Yu. I. Feshchenko¹, M. I. Lynnyk¹, M. I. Gumeniuk¹, V. I. Ignatieva¹, M. O. Polianska¹, G. L. Gumeniuk^{1,2}, S. G. Opimakh¹, I. V. Zvol¹, S. M. Moskalenko¹, I. V. Chumak¹, L. A. Halai¹, N. A. Vlasova¹

¹State organization «Yanovski National scientific center of phthisiatry, pulmonology and allergology National academy of medical sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine

²Shupyk National Healthcare University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Abstract. Epidemiological data indicate an increase in bone mineral density (BMD) disorders in people of different age groups. A special group consists of patients with broncho-obstructive lung diseases (BOLD), among which the majority are patients with bronchial asthma (BA) and chronic obstructive pulmonary disease (COPD). Today the most informative and reliable method of osteoporosis (OP) diagnosing is quantitative computer densitometry. Available modern multi-slice computer tomographs and special programs allow accurate assessment of BMD. One of such program is "QST Pro".

The aim: to conduct a micro-X-ray structural analysis of the bone tissue of the lumbar (L1–L3) vertebrae in patients with COPD and to determine its correlation with standardized methods of OP diagnosing.

Materials and methods. 100 computed tomograms (CT) of the chest were analyzed in the K-Pacs program – 65 patients with BOLD and 35 subjects without somatic pathology of the same age (from 40 to 80 years) and sex, who underwent densitometry with the determination of the T-criterion used to diagnose BMD disorders. We used the Dragonfly license program developed by Object Research Systems (Montreal, Canada) to carry out micro-X-ray structural analysis of CT slices. To work with the program, CT dicom files are transformed into raster files (tiff, jpeg, raw). Further analysis of slices is carried out by grayscale (by image pixels, not by voxels of dicom files). Grayscale analysis correlates with Hounsfield units (HU). For analysis and construction of histograms, axial CT sections of the lumbar (L1–L3) vertebrae on chest CT were selected.

Results. During the examination of patients with BOLD and persons without somatic pathology of the same age and sex, the average value of the BMD of the lumbar (L1–L3) vertebrae, Z- and T-criteria was determined by the method of quantitative computer densitometry. According to the T-criterion, the presence of osteopenia or OP was assessed. The value of the T-criterion was interpreted as follows: from 3.0 to –1.0 — the normal; from –1.0 to –2.5 — osteopenia; from –2.5 to –5.0 — OP. For each range of T-criterion values, the range of BMD in HU was determined. Based on the results of the examination, it was established that 62 (95.4 %) patients with BOLD had systemic pathological changes in bone tissue. In 18 patients from 65, osteopenia was detected, and in 44 — OP, which was 8 times higher than the frequency of diagnosis of OP in people without somatic pathology. When comparing the average values of CT densitometric indicators (HU) in the studied ROI (zone of interest), it was found that they correspond to the values of the T-criterion: normal — above 150 HU, osteopenia — from 110 to 150 HU, osteoporosis — below 110 HU.

Conclusions. Micro-X-ray structural analysis with the construction of ordinary and segmented histograms allows to reveal a significant difference in the structure of the vertebrae with different degrees of mineral metabolism disorders. This makes it possible to create intelligent programs based on convolutional neural networks, which will significantly increase the informativeness of diagnostics.

Key words: broncho-obstructive lung diseases, micro-X-ray structural analysis, computer tomography, densitometry, osteoporosis, osteopenia.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шуба НМ. Остеопороз – актуальна проблема XXI века: современное представление о патогенезе и терапии. Український ревматологічний журнал. 2008;2(32):5–11.
2. GINA. Global Strategy For Asthma Management And Prevention. Updated 2023. Available from: <https://ginasthma.org/2023-gina-main-report/> (last accessed 03.05.2024).
3. GOLD. Global strategy for prevention, diagnosis and management of COPD: 2024 report. Available from: <https://goldcopd.org/2024-gold-report/> (last accessed 03.05.2024).
4. Фещенко ЮІ, Яшина ЛО, Бойко ДМ, Гаврисюк ВК, та ін. Адаптована клінічна настанова, заснована на доказах: Бронхіальна астма. Київ: Національна академія медичних наук України. 2020. 128 с.

REFERENCES

1. Shuba NM. Osteoporosis – actual problem of XXI century: modern view of pathogenesis and therapy. Ukrainskyi revmatologichnyi zhurnal. 2008;2(32):5–11.
2. GINA. Global Strategy For Asthma Management And Prevention. Updated 2023. Available from: <https://ginasthma.org/2023-gina-main-report/> (last accessed 03.05.2024).
3. GOLD. Global strategy for prevention, diagnosis and management of COPD: 2024 report. Available from: <https://goldcopd.org/2024-gold-report/> (last accessed 03.05.2024).
4. Feshchenko YuI, Yashyna LO, Boiko DM, Gavrysiuk VK, et al. Adaptovana klinichna nastanova, zasnovana na dokazakh: Bronkhialna astma (Adapted evidence-based clinical guideline: Bronchial asthma). Kyiv: Natsionalna akademiia medychnykh nauk Ukrainy. 2020. 128 s.

5. Фещенко ЮІ, Гаврисюк ВК, Дзюблык ОЯ, Мостовий ЮМ, та ін. Адаптована клінічна настанова, заснована на доказах. Хронічне обструктивне захворювання легень. Київ: Національна академія медичних наук України. 2020. 70 с.
6. Jha SS, Kumar M, Agrawal PK, Thakur DK. Osteoporosis in Asthma and COPD. *Indian J Orthop.* 2023;57(Suppl 1):200-208. doi: 10.1007/s43465-023-01048-5.
7. Фещенко ЮІ, Яшина ЛО, Поліанська МО, Гумениук ГА, Ігнатієва ВІ, Опімах СГ, та ін. Коморбідність у хворих на бронхіальну астму та ризики тяжкого перебігу COVID-19: огляд літератури. *Астма та алергія.* 2022;3:41–49. DOI: 10.31655/2307-3373-2022-3-41-49.
8. Oh JY, Lee YS, Min KH, Lee SY, Shim JJ, Kang KH, Hur GY. Osteoporosis in Patients with Asthma-Chronic Obstructive Pulmonary Disease Overlap Syndrome. *Tuberc Respir Dis (Seoul).* 2018;81(1):73-79. doi: 10.4046/trd.2017.0066.
9. Dam TT, Harrison S, Fink HA, Ramsdell J, Barrett-Connor E; Osteoporotic Fractures in Men (MrOS) Research Group. Bone mineral density and fractures in older men with chronic obstructive pulmonary disease or asthma. *Osteoporos Int.* 2010;21(8):1341-9. doi: 10.1007/s00198-009-1076-x.
10. Lee HJ, Kim CO, Lee DC. Association between daily sunlight exposure and fractures in older Korean adults with osteoporosis: a nationwide population-based cross-sectional study. *Yonsei Med J.* 2021;62(7):593–599. DOI: 10.3349/ymj.2021.62.7.593.
11. Yang CY, Cheng-Yen Lai J, Huang WL, Hsu CL, Chen SJ. Effects of sex, tobacco smoking, and alcohol consumption on osteoporosis development: evidence from Taiwan biobank participants. *Tob Induc Dis.* 2021;19:52–58. DOI: 10.18332/tid/136419.
12. Min CY, Yoo DM, Choi HG. Associations between physical activity, sunshine duration and osteoporosis according to obesity and other lifestyle factors: a nested case-control study. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(9). DOI: 10.3390/ijerph18094437.
13. Sadeghi H, Jehu DA, Daneshjoo A, et al. Effects of 8 weeks of balance training, virtual reality training, and combined exercise on lower limb muscle strength, balance, and functional mobility among older men: a randomized controlled trial. *Sports Health.* 2021;13(6):606–612. DOI: 10.1177/1941738120986803.
14. Kitsuda Y, Wada T, Noma H, Osaki M, Hagino H. Impact of high-load resistance training on bone mineral density in osteoporosis and osteopenia: a meta-analysis. *J Bone Miner Metab.* 2021;39(5):787–803. DOI: 10.1007/s00774-021-01218-1.
15. Jang SY, Park J, Ryu SY, Choi SW. Low muscle mass is associated with osteoporosis: a nationwide population-based study. *Maturitas.* 2020;133:54–59. DOI: 10.1016/j.maturitas.2020.01.003.
16. Mena-Montes B, Hernández-Álvarez D, Pedraza-Vázquez G, et al. Low-intensity exercise routine for a long period of time prevents osteosarcopenic obesity in sedentary old female rats, by decreasing inflammation and oxidative stress and increasing GDF-11. *Oxid Med Cell Longev.* 2021;2021:5526665. DOI: 10.1155/2021/5526665.
17. Li S, Xi C, Li L, et al. Comparisons of different vitamin D supplementation for prevention of osteoporotic fractures: a Bayesian network meta-analysis and meta-regression of randomised controlled trials. *Int J Food Sci Nutr.* 2021;72(4):518–528. DOI: 10.1080/09637486.2020.1830264.
18. Chiu KL, Lee CC, Chen CY. Evaluating the association of osteoporosis with inhaled corticosteroid use in chronic obstructive pulmonary disease in Taiwan. *Sci Rep.* 2021;11(1):724. DOI: 10.1038/s41598-020-80815-y.
19. Gronlund C, Christoffersen KS, Thomsen K, Masud T, Jepsen DB, Ryg J. Effect of blood-flow restriction exercise on falls and fall related risk factors in older adults 60 years or above: a systematic review. *J Musculoskelet Neuronal Interact.* 2020;20(4):513–525.
20. Feng W, Wang X, Huang D, Lu A. Role of diet in osteoporosis incidence: umbrella review of meta-analyses of prospective observational studies. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2021;1–10. DOI: 10.1080/10408398.2021.1989374.
21. Li Y, Gao H, Zhao L, Wang J. Osteoporosis in COPD patients: Risk factors and pulmonary rehabilitation. *Clin Respir J.* 2022;16(7):487–496. DOI: 10.1111/crj.13514.
22. Kumarathas I, Harsløf T, Andersen CU, Langdahl B, Hilberg O, Bjerrner L, Løkke A. The risk of osteoporosis in patients with asthma. *Eur Clin Respir J.* 2020;7(1):1763612. doi: 10.1080/20018525.2020.1763612.
23. Kanis JA, Burlet N, Cooper C, Delmas PD, Reginster JY, Borgstrom F, Rizzoli R; European Society for Clinical and Economic Aspects of Osteoporosis and Osteoarthritis (ESCEO). European guidance for the diagnosis and management of osteoporosis in postmenopausal women. *Osteoporos Int.* 2008;19(4):399-428. doi: 10.1007/s00198-008-0560-z.
24. Поворознюк ВВ, Григор'єва НВ. Роль FRAX в прогнозуванні ризику переломів. Режим доступу: <http://www.mif-ua.com/archive/article/21687> (дата звернення 06.05.2024).
25. Watanabe R, Tai N, Hirano J, Ban Y, Inoue D, Okazaki R. Independent association of bone mineral density and trabecular bone score to vertebral fracture in male subjects with chronic obstructive pulmonary disease. *Osteoporos Int.* 2018;29(3):615-623. doi: 10.1007/s00198-017-4314-7.
26. Kanis JA, Johnell O, Oden A, Johansson H, McCloskey E. FRAX and the assessment of fracture probability in men and women from the UK. *Osteoporos Int.* 2008;19(4):385-97. doi: 10.1007/s00198-007-0543-5.
27. Silverman SL, Calderon AD. The utility and limitations of FRAX: A US perspective. *Curr Osteoporos Rep.* 2010;8(4):192-7. doi: 10.1007/s11914-010-0032-1.
28. Гумениук МІ, Гумениук ГЛ, Лінник МІ, Ігнатієва ВІ. Можливості комп'ютерної томографії в обстеженні хворих на бронхіальну астму, хронічне обструктивне захворювання легень та в дослідженні мінеральної щільності кісткової тканини. *Астма та алергія.* 2019;2:46–55. DOI: 10.31655/2307-3373-2019-2-46-55.
29. Гумениук МІ, Яшина ЛО, Мазур ІП, Ігнатієва ВІ, Харченко-Севрюкова ГС, Куц ВВ. Особливості харчових звичок, тютюнокуріння та фізичної активності у хворих на
5. Feshchenko YuI, Gavrysiuk VK, Dziublyk OYA, Mostovyi YuM, ta in. Adaptovana klinichna nastanova, zasnovana na dokazakh. Khronichne obstruktyvne zakhvoriuvannya lehen (Adapted evidence-based clinical guideline: Chronic obstructive pulmonary disease). Kyiv: Natsionalna akademiia medychnykh nauk Ukrainy. 2020. 70 s.
6. Jha SS, Kumar M, Agrawal PK, Thakur DK. Osteoporosis in Asthma and COPD. *Indian J Orthop.* 2023;57(Suppl 1):200-208. doi: 10.1007/s43465-023-01048-5.
7. Feshchenko YuI, Yashyna LO, Polianska MO, Gumeniuk GL, Ignatieva VI, Opimakh SG, et al. Comorbidity in patients with bronchial asthma and risks of severe COVID-19 (a literature review). *Asthma and allergy.* 2022;3:41–49. DOI: 10.31655/2307-3373-2022-3-41-49.
8. Oh JY, Lee YS, Min KH, Lee SY, Shim JJ, Kang KH, Hur GY. Osteoporosis in Patients with Asthma-Chronic Obstructive Pulmonary Disease Overlap Syndrome. *Tuberc Respir Dis (Seoul).* 2018;81(1):73-79. doi: 10.4046/trd.2017.0066.
9. Dam TT, Harrison S, Fink HA, Ramsdell J, Barrett-Connor E; Osteoporotic Fractures in Men (MrOS) Research Group. Bone mineral density and fractures in older men with chronic obstructive pulmonary disease or asthma. *Osteoporos Int.* 2010;21(8):1341-9. doi: 10.1007/s00198-009-1076-x.
10. Lee HJ, Kim CO, Lee DC. Association between daily sunlight exposure and fractures in older Korean adults with osteoporosis: a nationwide population-based cross-sectional study. *Yonsei Med J.* 2021;62(7):593–599. DOI: 10.3349/ymj.2021.62.7.593.
11. Yang CY, Cheng-Yen Lai J, Huang WL, Hsu CL, Chen SJ. Effects of sex, tobacco smoking, and alcohol consumption on osteoporosis development: evidence from Taiwan biobank participants. *Tob Induc Dis.* 2021;19:52–58. DOI: 10.18332/tid/136419.
12. Min CY, Yoo DM, Choi HG. Associations between physical activity, sunshine duration and osteoporosis according to obesity and other lifestyle factors: a nested case-control study. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(9). DOI: 10.3390/ijerph18094437.
13. Sadeghi H, Jehu DA, Daneshjoo A, et al. Effects of 8 weeks of balance training, virtual reality training, and combined exercise on lower limb muscle strength, balance, and functional mobility among older men: a randomized controlled trial. *Sports Health.* 2021;13(6):606–612. DOI: 10.1177/1941738120986803.
14. Kitsuda Y, Wada T, Noma H, Osaki M, Hagino H. Impact of high-load resistance training on bone mineral density in osteoporosis and osteopenia: a meta-analysis. *J Bone Miner Metab.* 2021;39(5):787–803. DOI: 10.1007/s00774-021-01218-1.
15. Jang SY, Park J, Ryu SY, Choi SW. Low muscle mass is associated with osteoporosis: a nationwide population-based study. *Maturitas.* 2020;133:54–59. DOI: 10.1016/j.maturitas.2020.01.003.
16. Mena-Montes B, Hernández-Álvarez D, Pedraza-Vázquez G, et al. Low-intensity exercise routine for a long period of time prevents osteosarcopenic obesity in sedentary old female rats, by decreasing inflammation and oxidative stress and increasing GDF-11. *Oxid Med Cell Longev.* 2021;2021:5526665. DOI: 10.1155/2021/5526665.
17. Li S, Xi C, Li L, et al. Comparisons of different vitamin D supplementation for prevention of osteoporotic fractures: a Bayesian network meta-analysis and meta-regression of randomised controlled trials. *Int J Food Sci Nutr.* 2021;72(4):518–528. DOI: 10.1080/09637486.2020.1830264.
18. Chiu KL, Lee CC, Chen CY. Evaluating the association of osteoporosis with inhaled corticosteroid use in chronic obstructive pulmonary disease in Taiwan. *Sci Rep.* 2021;11(1):724. DOI: 10.1038/s41598-020-80815-y.
19. Gronlund C, Christoffersen KS, Thomsen K, Masud T, Jepsen DB, Ryg J. Effect of blood-flow restriction exercise on falls and fall related risk factors in older adults 60 years or above: a systematic review. *J Musculoskelet Neuronal Interact.* 2020;20(4):513–525.
20. Feng W, Wang X, Huang D, Lu A. Role of diet in osteoporosis incidence: umbrella review of meta-analyses of prospective observational studies. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2021;1–10. DOI: 10.1080/10408398.2021.1989374.
21. Li Y, Gao H, Zhao L, Wang J. Osteoporosis in COPD patients: Risk factors and pulmonary rehabilitation. *Clin Respir J.* 2022;16(7):487–496. DOI: 10.1111/crj.13514.
22. Kumarathas I, Harsløf T, Andersen CU, Langdahl B, Hilberg O, Bjerrner L, Løkke A. The risk of osteoporosis in patients with asthma. *Eur Clin Respir J.* 2020;7(1):1763612. doi: 10.1080/20018525.2020.1763612.
23. Kanis JA, Burlet N, Cooper C, Delmas PD, Reginster JY, Borgstrom F, Rizzoli R; European Society for Clinical and Economic Aspects of Osteoporosis and Osteoarthritis (ESCEO). European guidance for the diagnosis and management of osteoporosis in postmenopausal women. *Osteoporos Int.* 2008;19(4):399-428. doi: 10.1007/s00198-008-0560-z.
24. Povoroznyuk VV, Grigoreva NV. Rol FRAX v prognizirovannii riska perelomov (The role of FRAX in predicting fracture risk). Available from: <http://www.mif-ua.com/archive/article/21687> (last accessed 06.05.2024).
25. Watanabe R, Tai N, Hirano J, Ban Y, Inoue D, Okazaki R. Independent association of bone mineral density and trabecular bone score to vertebral fracture in male subjects with chronic obstructive pulmonary disease. *Osteoporos Int.* 2018;29(3):615-623. doi: 10.1007/s00198-017-4314-7.
26. Kanis JA, Johnell O, Oden A, Johansson H, McCloskey E. FRAX and the assessment of fracture probability in men and women from the UK. *Osteoporos Int.* 2008;19(4):385-97. doi: 10.1007/s00198-007-0543-5.
27. Silverman SL, Calderon AD. The utility and limitations of FRAX: A US perspective. *Curr Osteoporos Rep.* 2010;8(4):192-7. doi: 10.1007/s11914-010-0032-1.
28. Gumeniuk MI, Gumeniuk GL, Linnik MI, Ignatieva VI. Possibilities of computed tomography in examination of patients with bronchial asthma, chronic obstructive pulmonary disease and in the study of bone mineral density. *Asthma and allergy.* 2019;2:46–55. DOI: 10.31655/2307-3373-2019-2-46-55.
29. Gumeniuk MI, Yashyna LO, Mazur IP, Ignatieva VI, Kharchenko-Sevriukova GS, Kuts VV. Features of food habits smoking and physical activity in chronic obstructive pulmonary disease patients in violation of mineral metabolism. *Asthma and allergy.* 2014;4:18–27.

- хронічне обструктивне захворювання легень з порушеннями мінерального обміну. Астма та алергія. 2014;4:18–27.
30. Яшина АО, Гуменюк МІ, Мазур ІП, Ігнат'єва ВІ, та ін. Сучасні методи діагностики порушень мінерального обміну у хворих на хронічне обструктивне захворювання легень. Збірник наукових праць співробітників НМАПО імені П. Л. Шупика. 2013;22(2):434–443.
 31. Issever AS, Link TM. New techniques for the diagnosis of osteoporosis. Radiologe. 2006;46(10):870,872–80. doi: 10.1007/s00117-006-1374-7.
 32. Graat-Verboom L, Spruit MA, van den Borne BE, Smeenk FW, Wouters EF. Whole-Body versus Local DXA-Scan for the Diagnosis of Osteoporosis in COPD Patients. J Osteoporos. 2010;2010:640878. doi: 10.4061/2010/640878.
 33. Kumar V, Gu Y, Basu S, Berglund A, Eschrich SA, Schabath MB, et al. Radiomics: the process and the challenges. Magn Reson Imaging. 2012;30(9):1234–48. doi: 10.1016/j.mri.2012.06.010.
 34. Линник МІ, Ліска ІВ, Калабуха ІА, Ігнат'єва ВІ, Тарасенко ОР. Можливості радіоміки для обробки даних комп'ютерної томографії органів грудної порожнини при діагностиці туберкульозу легень. Туберкульоз, легеневі хвороби, ВІА-інфекція. 2022;2:36–40. DOI: 10.30978/TB-2022-2-36.
 35. Yashyna LO, Gumeniuk MI, Mazur IP, Ignatieva VI, et al. Current diagnostics methods of mineral metabolism disorder in patients with chronic obstructive pulmonary disease. Zbirnyk naukovykh prats spivrobitynykiv NMAPO imeni P. L. Shupyka. 2013;22(2): 434–443.
 36. Issever AS, Link TM. New techniques for the diagnosis of osteoporosis. Radiologe. 2006;46(10):870,872–80. doi: 10.1007/s00117-006-1374-7.
 37. Graat-Verboom L, Spruit MA, van den Borne BE, Smeenk FW, Wouters EF. Whole-Body versus Local DXA-Scan for the Diagnosis of Osteoporosis in COPD Patients. J Osteoporos. 2010;2010:640878. doi: 10.4061/2010/640878.
 38. Kumar V, Gu Y, Basu S, Berglund A, Eschrich SA, Schabath MB, et al. Radiomics: the process and the challenges. Magn Reson Imaging. 2012;30(9):1234–48. doi: 10.1016/j.mri.2012.06.010.
 39. Lynnyk MI, Liskina IV, Kalabukha IA, Ignatieva VI, Tarasenko OR. Possibilities of radiomics in processing data of CT scan of the chest organs in diagnosis of pulmonary tuberculosis. Tuberculosis, Lung Diseases, HIV Infection. 2022;2:36–40. DOI: 10.30978/TB-2022-2-36.

Цитування: Фещенко ЮІ, Линник МІ, Гуменюк МІ, Ігнат'єва ВІ, Полянська МО, Гуменюк ГЛ, та ін.

Мікрорентгенструктурний аналіз хребців у хворих на бронхообструктивні захворювання легень за даними комп'ютерної томографії. Астма та алергія. 2025;1:5–18. DOI: 10.31655/2307-3373-2025-1-5-18.

Cited: Feshchenko YuI, Lynnyk MI, Gumeniuk MI, Ignatieva VI, Polianska MO, Gumeniuk GL, et al. Micro-x-ray structural analysis of the vertebrae in patients with broncho-obstructive lung disease according to computer tomography data. Asthma and allergy (Ukraine). 2025;1:5–18. DOI: 10.31655/2307-3373-2025-1-5-18. Ukrainian.

Відомості про авторів

Ю. І. Фещенко

академік НАМН України, доктор мед. наук, професор
Генеральний директор ДУ «Національний науковий центр фтизіатрії,
пульмонології та алергології імені Ф.Г. Яновського НАМН України»,
10, М. Амосова, м. Київ, 03038, Україна.
ORCID ID orcid.org/0000-0002-4505-8287

М. І. Линник*

Завідуючий відділом епідеміологічних та організаційних проблем
фтизіопульмонології, ДУ «Національний науковий центр фтизіатрії,
пульмонології та алергології імені Ф.Г. Яновського НАМН України»,
Д-р мед. наук
10, М. Амосова, 03038, м. Київ, Україна.
E-mail: nicklinnik1957@gmail.com
ORCID iD: orcid.org/0000-0002-0011-7482

М. І. Гуменюк

ДУ «Національний науковий центр фтизіатрії, пульмонології та алергології
імені Ф.Г. Яновського НАМН України»,
Провідний науковий співробітник відділення технологій
лікування неспецифічних захворювань легень
Д. мед. н., професор
10, вул. М. Амосова, Київ, 03038, Україна
E-mail: mykolagumeniuk@gmail.com
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-4365-6224>

В. І. Ігнат'єва

Старший науковий співробітник відділення діагностики, терапії і клінічної
фармакології захворювань легень,
ДУ «Національний науковий центр фтизіатрії, пульмонології та алергології
імені Ф.Г. Яновського НАМН України»,
Канд. мед. наук.
10, М. Амосова, 03038, м. Київ, Україна.
ORCID iD: orcid.org/0000-0003-0604-4349

М. О. Полянська

Завідувачка відділення діагностики, терапії і клінічної фармакології
захворювань легень, ДУ «Національний науковий центр фтизіатрії,
пульмонології та алергології імені Ф.Г. Яновського НАМН України»,
Канд. мед. наук.
10, М. Амосова, 03038, м. Київ, Україна.
ORCID iD: orcid.org/0000-0003-0305-7988

Information about authors

Yu. I. Feshchenko

Academician of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine,
Dr. Med. Sci, Professor
Director of the S O «Yanovski National scientific center of phthysiatry, pulmonol-
ogy and allergology NAMS of Ukraine»,
10, M. Amosova, Kyiv, 03038, Ukraine

M. I. Lynnyk

Head of Department of epidemiology and organizational problems of phthysia-
tology,
SO «Yanovski National scientific center of phthysiatry, pulmonology and allergol-
ogy NAMS of Ukraine»,
Dr. Med. Sci.
10 M. Amosova str., Kyiv, 03038, Ukraine

M. I. Gumeniuk

SO «Yanovski National scientific center of phthysiatry, pulmonology and
allergology NAMS of Ukraine»,
Leading researcher Department of technologies of treatment of nonspecific lung
diseases
Doctor of medicine, professor
10, M. Amosova str., Kyiv, 03038, Ukraine

V. I. Ignatieva

Senior Researcher, Department of Diagnostics, Therapy and Clinical
Pharmacology of Lung Diseases,
SO «Yanovski National scientific center of phthysiatry, pulmonology and allergol-
ogy NAMS of Ukraine»,
Candidate of Medical Science.
10 M. Amosova str., Kyiv, 03038, Ukraine

M. O. Polianska

Head of the Department of Diagnostics, Therapy and Clinical Pharmacology of
Lung Diseases,
SO «Yanovski National scientific center of phthysiatry, pulmonology and
allergology NAMS of Ukraine»,
Candidate of Medical Science.
10 M. Amosova str., Kyiv, 03038, Ukraine

Г. А. Гуменюк

Професор кафедри фтизіатрії і пульмонології,
Національний університет охорони здоров'я України імені П. А. Шупика,
Київ, Україна
Д-р мед. наук, професор,
Старший науковий співробітник відділення діагностики, терапії і клінічної
фармакології захворювань легень,
ДУ «Національний науковий центр фтизіатрії, пульмонології та алергології
імені Ф.Г. Яновського НАМН України»,
10, М. Амосова, 03038, м. Київ, Україна.
ORCID iD: orcid.org/0000-0001-8160-7856

С. Г. Опімах

Старший науковий співробітник відділення діагностики, терапії і клінічної
фармакології захворювань легень,
Державної установи «Національний науковий центр фтизіатрії, пульмонології
та алергології імені Ф.Г. Яновського Національної академії медичних наук
України»,
Канд. мед. наук.
10, М. Амосова, 03038, м. Київ, Україна.
ORCID iD: orcid.org/0000-0002-4631-2048

І. В. Зволь

Старший науковий співробітник відділення діагностики, терапії і клінічної
фармакології захворювань легень,
ДУ «Національний науковий центр фтизіатрії, пульмонології та алергології
імені Ф.Г. Яновського НАМН України»,
Канд. мед. наук.
10, М. Амосова, 03038, м. Київ, Україна.
ORCID iD: orcid.org/0000-0001-8533-2618

С. М. Москаленко

Старший науковий співробітник відділення діагностики, терапії і клінічної
фармакології захворювань легень, Державної установи «Національний
науковий центр фтизіатрії, пульмонології та алергології імені Ф.Г.
Яновського Національної академії медичних наук України»,
Канд. мед. наук.
10, М. Амосова, 03038, м. Київ, Україна.
ORCID iD: orcid.org/0000-0002-0364-2047

І. В. Чумак

лікар відділення диференційної діагностики туберкульозу та неспецифічних
захворювань легень,
ДУ «Національний науковий центр фтизіатрії, пульмонології та алергології
імені Ф.Г. Яновського НАМН України»,
10, М. Амосова, 03038, м. Київ, Україна.
ORCID iD: orcid.org/0000-0002-1563-7616

Л. А. Галай

лікар відділення диференційної діагностики туберкульозу та неспецифічних
захворювань легень,
ДУ «Національний науковий центр фтизіатрії, пульмонології та алергології
імені Ф.Г. Яновського НАМН України»,
10, М. Амосова, 03038, м. Київ, Україна.
ORCID iD: orcid.org/0000-0003-4383-1309

Н. А. Власова

завідуюча відділенням диференційної діагностики туберкульозу та
неспецифічних захворювань легень,
ДУ «Національний науковий центр фтизіатрії, пульмонології та алергології
імені Ф.Г. Яновського НАМН України»,
10, М. Амосова, 03038, м. Київ, Україна.
ORCID iD: orcid.org/0000-0002-7590-4704

G. L. Gumeniuk

Professor of phthysiology and pulmonology department
Shupyk National Healthcare University of Ukraine
Senior Researcher, Department of Diagnostics, Therapy and Clinical
Pharmacology of Lung Diseases,
SO «Yanovski National scientific center of phthysiology, pulmonology and
allergology NAMS of Ukraine»,
Dr. Med. Sci, Professor.
10 M. Amosova str., Kyiv, 03038, Ukraine

S. G. Opimakh

Senior Researcher, Department of Diagnostics, Therapy and Clinical
Pharmacology of Lung
Diseases,
SO «Yanovski National scientific center of phthysiology, pulmonology and
allergology NAMS of Ukraine»,
Candidate of Medical Science.
10 M. Amosova str., Kyiv, 03038, Ukraine

I. V. Zvol

Senior Researcher, Department of Diagnostics, Therapy and Clinical
Pharmacology of Lung Diseases,
SO «Yanovski National scientific center of phthysiology, pulmonology and
allergology NAMS of Ukraine»,
Candidate of Medical Science.
10 M. Amosova str., Kyiv, 03038, Ukraine

S. M. Moskalenko

Senior Researcher, Department of Diagnostics, Therapy and Clinical
Pharmacology of Lung Diseases,
SO «Yanovski National scientific center of phthysiology, pulmonology and
allergology NAMS of Ukraine»,
Candidate of Medical Science.
10 M. Amosova str., Kyiv, 03038, Ukraine

I. V. Chumak

doctor of the department of differential diagnosis of tuberculosis and non-specific
lung diseases,
State organization «Yanovski National scientific center of phthysiatry, pulmonology
and allergology National academy of medical sciences of Ukraine»,
10 M. Amosova str., Kyiv, 03038, Ukraine

L. A. Halai

doctor of the department of differential diagnosis of tuberculosis and non-specific
lung diseases,
SO «Yanovski National scientific center of phthysiatry, pulmonology and allergology
NAMS of Ukraine»,
10 M. Amosova str., Kyiv, 03038, Ukraine

N. A. Vlasova

head of the department of differential diagnosis of tuberculosis and non-specific
lung diseases,
SO «Yanovski National scientific center of phthysiatry, pulmonology and allergology
NAMS of Ukraine»,
10 M. Amosova str., Kyiv, 03038, Ukraine

Надійшла до редакції / Received: 03.12.2024 p.

Прийнято до друку / Accepted: 15.01.2025 p.