

Обґрунтування створення інтелектуальних програм для ранньої діагностики, фенотипування раку легень та оцінки ефективності лікування

М.І. Линник¹, Г.Л. Гуменюк², В.І. Ігнат'єва¹, І.В. Ліскіна¹

1. Державна установа «Національний науковий центр фізіатрії, пульмонології та алергології ім. Ф.Г. Яновського НАМН України», м. Київ, Україна

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

Конфлікт інтересів: відсутній

ОБґРУНТУВАННЯ. Звичайні DICOM-переглядачі, які використовуються в практичній медицині (Vitrea, EFilm, K-Pacs та ін.), дають змогу проводити лише денситометричні дослідження, що не дає повного уявлення про гістологічну структуру досліджуваних тканин. Цифрове програмне опрацювання даних комп'ютерної томографії (КТ) допомагає детально досліджувати морфофункціональний стан тканин та утворень.

МЕТА. З огляду на цифрове програмне опрацювання даних КТ обґрунтувати можливість створення інтелектуальних програм на основі згорткових нейромереж для ранньої діагностики, фенотипування та контролю ефективності лікування раку легень.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ. Проведено ретроспективний аналіз даних 23 пацієнтів, які перебували на лікуванні в ДУ «Національний науковий центр фізіатрії, пульмонології та алергології ім. Ф.Г. Яновського НАМН України». Напередодні оперативного лікування хворим проводився повний комплекс обстеження, включаючи КТ. Цифрове програмне опрацювання даних КТ виконувалося з урахуванням результатів імуногістохімічного та патологістологічного обстежень видалених пухлин із використанням програми Dragonfly.

РЕЗУЛЬТАТИ. Виявлено відмінності гістограм різних імуногістохімічних форм раку легень, що дає змогу створювати інтелектуальні системи на основі згорткових нейромереж. Це допоможе проводити ранню діагностику, фенотипування та контроль ефективності персоналізованого лікування хворих на рак легень.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: комп'ютерна томографія, інтелектуальні програми, згорткова нейромережа, сегментаційна гістограма, рак легень.

Justification for the creation of intelligent programs for early diagnosis, lung cancer phenotyping and treatment effectiveness assessment

M.I. Lynnyk¹, G.L. Gumeniuk², V.I. Ignatieva¹, I.V. Liskina¹

1. State Institution "National Scientific Center of Phthysiology, Pulmonology and Allergology named after F.G. Yanovsky of the NAMS of Ukraine", Kyiv, Ukraine

2. Shupyk National Healthcare University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Conflict of interest: none

BACKGROUND. Ordinary DICOM viewers used in practical medicine (Vitrea, EFilm, K-Pacs, etc.) allow only densitometric researches, which does not give a complete picture of the histological structure of the investigated tissues. Digital software processing of computed tomography (CT) data helps to investigate in detail the morphofunctional state of tissues and formations.

OBJECTIVE. In view of the digital software processing of CT data, to justify the possibility of creating intelligent programs based on convolutional neural networks for early diagnostics, phenotyping and control of efficiency of lung cancer treatment.

MATERIALS AND METHODS. The retrospective analysis of the data of 23 patients who were on treatment at the SI "National scientific center of phthysiology, pulmonology and allergology named after F.G. Yanovsky of the NAMS of Ukraine". On the eve of operative treatment the patients underwent a full complex of inspections, including a CT scan. Digital software processing of CT data was conducted taking into account the results of immunohistochemical and pathistological inspections of removed tumours using the Dragonfly program.

RESULTS. Differences in the histograms of various immunohistochemical forms of lung cancer have been revealed, that allows to create intelligent systems based on convolutional neural networks. It will help to conduct early diagnostics, phenotyping and control of efficiency of the personalized treatment of patients with lung cancer.

KEY WORDS: computed tomography, intelligent programs, convolutional neural networks, segmentation histogram, lung cancer.

Актуальність

Комп'ютерна томографія (КТ) ґрунтується на явищі поглинання рентгенівських променів електронами атомів. Тканини організму можуть відрізнятися як за питомою щільністю, так і за хімічним складом, тому вони по-різному поглинають рентгенівські промені, що проходять крізь них. У радіологічному обстеженні умовно виділяють два етапи. Перший – отримання зображення, що дає змогу візуалізувати практично всі тканини в тілі людини. Висока роздільна здатність знімків дає змогу визначити анатомічні особливості та патології. Другий етап – аналіз зображень. Радіологи розглядають отримані зображення та роблять висновок. Незважаючи на те що такий підхід успішно використовується з моменту виникнення радіології, він має недоліки. По-перше, цей метод суб'єктивний і ґрунтується на знаннях і досвіді лікаря. По-друге, висновок фахівця містить здебільшого якісну оцінку [1].

У 2012 р. запропоновано новий підхід до аналізу магнітно-резонансних та/або комп'ютерних зображень із використанням методів радіології, комп'ютерних наук і математичної статистики – радіоміки, здатний кардинально змінити процес діагностики за знімками [2, 3]. Зображення містять відомості, недоступні для неозброєного ока. Ця «прихована» інформація може бути вилучена, якщо до отриманих зображень застосувати низку математичних перетворень. Результати цих перетворень – «ознаки» зображень (features) корелюють із патофізіологічними властивостями, які видно на зображеннях. Знання патофізіологічних властивостей дає змогу краще зрозуміти особливості захворювання в конкретному випадку та вибрати оптимальний спосіб лікування. Найперспективнішою радіоміка є для діагностики та лікування онкологічних захворювань. Наприклад, її методи дають змогу визначити фенотип злоякісної пухлини, не вдаючись до інвазивної процедури біопсії, й обрати для лікування препарати, ефективні проти цього типу пухлин [4]. По суті, радіоміка передбачає 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 (наприклад, МРТ- або КТ-знімки) та надають інформацію про патофізіологічні особливості тканин.

Найперспективніше застосування радіоміки – це виявлення та неінвазивна діагностика злоякісних пухлин. Саме в цій галузі для вибору правильної тактики лікування важливо знати тип пухлини. Співробітники науково-дослідних лабораторій компанії Philips разом із лікарями з великих медичних центрів США запропонували підхід для діагностики раку легені [5]. Показано, що на КТ-зображеннях можна виявити як наявність пухлини, так і її фенотип [6, 7]. Автори використали відкриту базу медичних зображень, з якої вибрали понад 300 випадків недрібноклітинного раку легені. Для кожного знімка розрахували ознаки форми першого та другого порядку, а також застосували вейвлет-перетворення. На підставі отриманих ознак і опорних векторів навчили класифікатор, який прогнозував один із чотирьох розглянутих діагнозів: «аденокарцинома», «великоклітинний рак», «плоскоклітинний рак» та інші типи недрібноклітинного

раку, об'єднані в одну категорію. Запропонований підхід показав високі чутливість (87 %) і специфічність (89 %). Це означає, що точність методу нижча, ніж така гістопатологічного дослідження.

Із використанням принципів радіоміки, які полягають у цифровому програмному опрацюванні даних КТ-зображень, особливо щодо можливості створення сегментаційних гістограм, нами створено інтелектуальні програми на основі згорткових нейронних мереж (convolutional neural networks, CNN, ConvNet). Вони дають змогу проводити діагностику й диференційну діагностику чутливого та хіміорезистентного туберкульозу легень. Представлено результати побудови, навчання та застосування трьох різних CNN для виявлення патологічних ділянок, що являють собою туберкульозні ураження на КТ-знімках легень. Застосування мережі U-Net для розроблення моделей класифікації показало їхні конкурентні можливості для сегментації туберкульозних уражень. Пропонована фінальна модель забезпечує високі показники продуктивності: точність – 0,82, чутливість – 0,75, коефіцієнт кореляції Метьюза – 78 % [8].

Нами також доведено, що результати класифікації симптомів патології легень у разі коронавірусної хвороби (COVID-19) за допомогою згорткової нейронної мережі та текстурних ознак ділянок інтересу КТ-зображень дають змогу стверджувати про доцільність використання технології класифікації уражень легень у разі COVID-19 за допомогою текстурних ознак їхніх КТ-зображень, отриманих за допомогою двох GLCM-матриць із кутом 0° та 45°.

Отримані результати демонструють ефективність і перспективність застосування класифікаційної моделі типів ураження легенів у разі COVID-19 на основі CNN і гістограм матриць суміжності відтінків сірого GLCM як джерел ознак текстури на вході мережі. Версія системи для лікаря має включати підсистему сегментації ділянки уражень легеневої тканини, підсистему класифікації ділянок ураження легень за типом «матового скла», «бруківки», «консолідації», оцінку обсягу уражень за кожним типом і прогноз прогресування хвороби на найближчі терміни [9].

Гістологічна класифікація раку легені має важливе значення в коректному визначенні прогнозу та підборі персоналізованої терапії. Остання класифікація, запропонована Всесвітньою організацією охорони здоров'я (ВООЗ) у 2015 р. та доповнена у 2021 р., дала змогу зробити гістологічне типування пухлин максимально інформативним [10, 11].

Ця класифікація ВООЗ відрізняється від попередніх: основною її перевагою є наголос на імуністохімічній діагностиці пухлин. До того ж нова класифікація застосовна не лише до операційних, а й до невеликих зразків, які отримуються при біопсії та взятті цитологічного матеріалу, що відіграє істотну роль в успішній діагностиці, оскільки в більшості пацієнтів рак легені діагностується на пізній стадії, коли хірургічне лікування вже недоцільне [10].

За останні роки було опубліковано результати досліджень, які дали змогу ефективно диференціювати плоскоклітинну карциному від інших гістологічних типів недрібноклітинного раку легені, в тому числі й аденокарциноми, на невеликих біопсійних зразках. Це особливо важливо, оскільки деякі препарати протипоказані пацієнтам

ОРИГІНАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

із плоскоклітинним раком через недостатню ефективність або токсичність.

Наприклад, аденосквамозну карциному визначають як пухлину, що складається більш ніж на 10 % зі злоякісних залозистих і плоскоклітинних компонентів. Імовірно, змішана гістологія відбиває гетерогенність карциноми легені.

Щоб визначити гістологічну приналежність, зазвичай потрібен операційний зразок пухлини, оскільки для встановлення такого діагнозу необхідно не менш ніж 10 % кожного компонента в зразку. За цією класифікацією всі пухлини легень розподілено на 14 підтипів залежно від імуногістохімічних показників.

Отже, в основі діагностики раку легені та його класифікації лежить імуногістохімічне дослідження операційного чи біопсійного матеріалу, тобто застосування інвазивних методів діагностики.

Мета роботи: з огляду на цифрове програмне опрацювання даних КТ обґрунтувати можливість створення інтелектуальних програм на основі згорткових нейромереж для ранньої діагностики, фенотипування та контролю ефективності лікування раку легень.

Матеріали та методи

Проведено ретроспективний аналіз даних 23 пацієнтів віком від 42 до 64 років, які перебували на лікуванні в ДУ «Національний науковий центр фтизіатрії, пульмонології та алергології ім. Ф.Г. Яновського НАМН України». Напередодні оперативного лікування хворим проводився повний комплекс обстеження, включаючи КТ. Цифрове програмне опрацювання даних КТ виконувалося з урахуванням результатів імуногістохімічного та патологістологічного обстежень видалених пухлин. У 16 пацієнтів виявлено аденокарциному легень та її підтипи, в 7 пацієнтів – плоскоклітинний рак і його підтипи.

Первинне опрацювання результатів КТ-обстеження проводилося з використанням загальноприйнятих DICOM-переглядачів. Для подальшого аналізу КТ-зрізів використано програму Dragonfly, надану безкоштовно для некомерційних наукових досліджень фірмою Object Research Systems (м. Монреаль, Канада). Програма дає змогу проводити сегментацію, математичну та статистичну обробку зображень, побудову звичайних і сегментованих гістограм. Для роботи з програмою DICOM-файли КТ конвертуються в 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 Гаусфільда (HU).

Результати та їх обговорення

Звичайні DICOM-переглядачі, які використовуються в практичній медицині (Vitrea, EFilm, K-Pacs та ін.), дають змогу вимірювати лише середнє, мінімальне та максимальне значення щільності досліджуваних тканин і утворень. Прикладом такого дослідження може бути аксіальний зріз КТ пацієнта К., представлений на рисунку 1. Середня щільність пухлини – 36 HU, мінімальна – -6 HU, максимальна – 72 HU, що є типовими показниками для злоякісних пухлин легень.

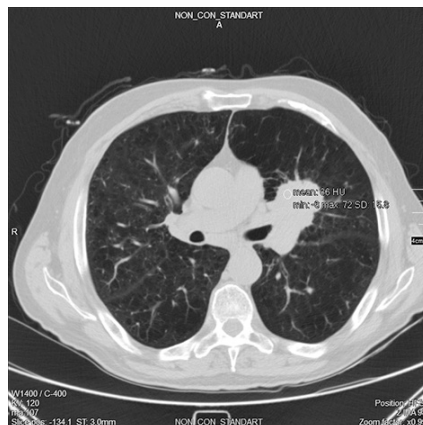


Рис. 1. Аксіальний зріз КТ пацієнта К.

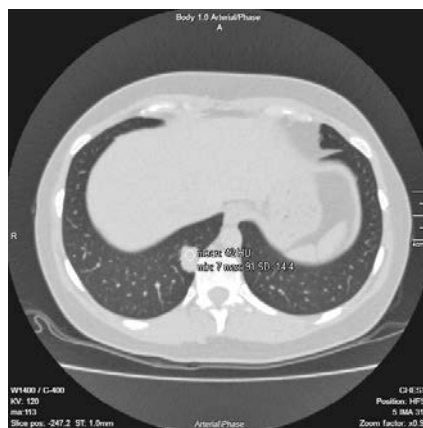


Рис. 2. Аксіальний зріз КТ пацієнта В.

На рисунку 2 представлено аксіальний зріз КТ пацієнта В. з денситометричними показниками інвазивної аденокарциноми нижньої частки правої легені. Середня щільність пухлини – 42 HU, мінімальна – 7 HU, максимальна – 91 HU, що також є типовими показниками для злоякісних пухлин легень. Вони практично не відрізняються від денситометричних показників плоскоклітинної карциноми та перебувають у межах похибки методу дослідження. Отже, денситометричні дослідження не дають змоги проводити гістологічну верифікацію пухлин.

Для подальшого цифрового програмного опрацювання зрізів КТ ми використали програму Dragonfly. Вона дає змогу проводити побудову звичайних і сегментованих гістограм.

На рисунку 3 представлено звичайну гістограму аксіального зрізу КТ пацієнта К. з діагнозом плоскоклітинної карциноми верхньої частки лівої легені, на рисунку 4 – звичайну гістограму аксіального зрізу КТ пацієнта В. з діагнозом інвазивної аденокарциноми. Як видно з цих рисунків, гістограми аксіальних зрізів КТ указаних пацієнтів істотно відрізняються.

При створенні інтелектуальних програм на основі згорткових нейромереж для створення «масок» різних типів пухлин використовуються сегментаційні гістограми.

ОРИГІНАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

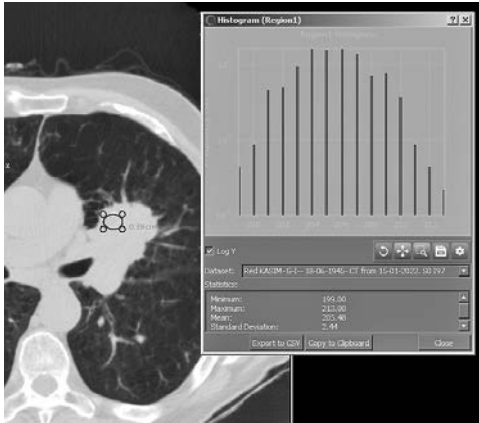


Рис. 3. Гістограма аксіального зрізу КТ пацієнта К.

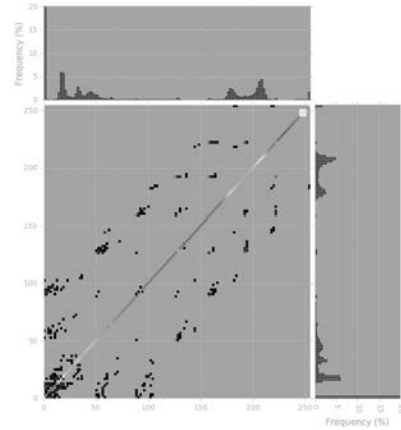


Рис. 6. Сегментаційна гістограма пухлини пацієнта В.

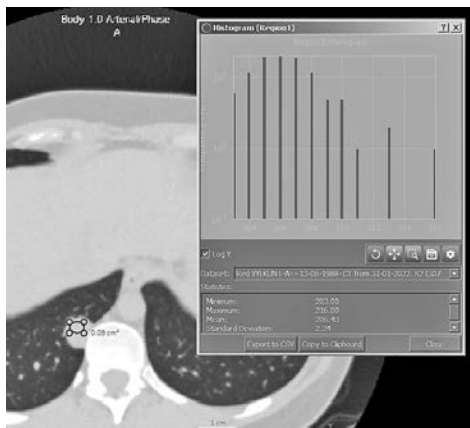


Рис. 4. Гістограма аксіального зрізу КТ пацієнта В.

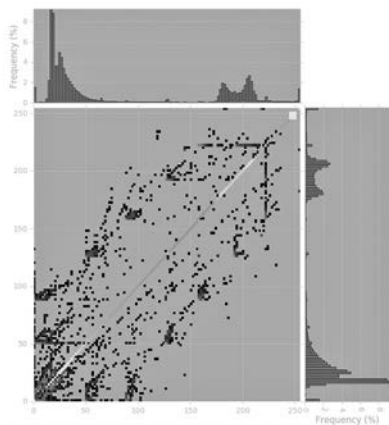


Рис. 5. Сегментаційна гістограма пухлини пацієнта К.

Приклади сегментаційних гістограм плоскоклітинної карциноми й інвазивної аденокарциноми представлено на рисунках 5 і 6.

Сегментаційні гістограми виконано з використанням 128 bins (відтінків сірого). Як видно з наведених рисунків, сегментаційні гістограми значно відрізняються як за щільністю (відтінки сірого), так і за відсотками відносно

загальної кількості. Це дає змогу створювати «маски» (типові ознаки) для різних гістологічних форм злоякісних пухлин і за даними КТ встановлювати їхню гістологічну форму.

На рисунку 7 представлено сегментаційну гістограму гістохімічного підтипу плоскоклітинної карциноми. Висновок імуногістохімічного дослідження: імунофенотип пухлини характерний для плоскоклітинної карциноми легень без ороговіння.

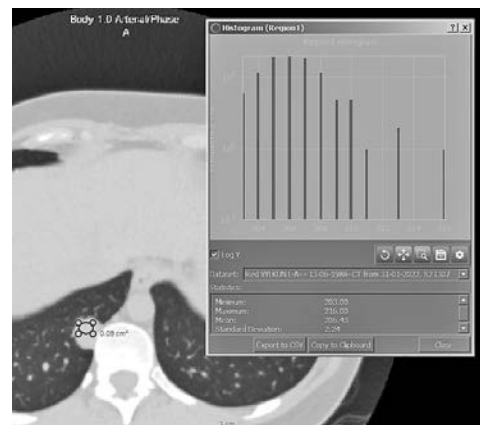


Рис. 7. Сегментаційна гістограма пухлини пацієнта Л.

При порівнянні рисунків 5 і 7 видно, що сегментаційні гістограми дещо відрізняються; це дає змогу встановлювати не лише гістологічні форми пухлини, а і їхні імуногістохімічні підтипи. У зв'язку з цим потрібно для інтелектуальних програм створювати «маски» не лише гістологічних форм злоякісних пухлин, а і їхніх імуногістохімічних підтипів, що надзвичайно важливо для призначення персоналізованої цільової терапії.

Можливості й ефективність цифрового програмного опрацювання даних КТ для ранньої діагностики, фенотипування й оцінки ефективності лікування раку легень можна продемонструвати на конкретному клінічному спостереженні пацієнта С.

Пацієнт спостерігався протягом 6 років – від 2017 р. і дотепер. У травні 2021 р. на підставі даних обстеження,

ОРИГІНАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

пункційної біопсії й імуногістохімічного дослідження хворому встановлено діагноз: аденокарцинома верхньої частки правої легені з метастазами в кістки малого таза та хребет (T1N0M1).

На рисунку 8 представлено гістограму пухлини верхньої частки правої легені, зроблену за допомогою програми Dragonfly.

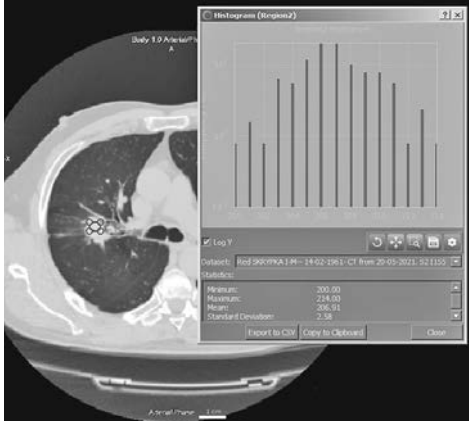


Рис. 8. Гістограма пухлини верхньої частки правої легені, зроблена за допомогою програми Dragonfly (КТ від 20.05.2021)

Оскільки у хворого було виявлено множинні метастази в кістки на позитронно-емісійній КТ за розмірів пухлини до 3 см, оперативне лікування не показано. Розпочато курс цільової терапії відповідно до імуногістохімічної форми пухлини.

Зважаючи на діагностику раку легені на задавненій стадії розвитку, було проведено ретроспективний цифровий програмний аналіз КТ протягом 6-річного періоду спостереження.

На рисунку 9 представлено гістограму хворого С. більш ніж за рік до встановлення діагнозу. Вона відповідає гістограмі, зробленій у травні 2021 р., коли було встановлено діагноз аденокарциноми.

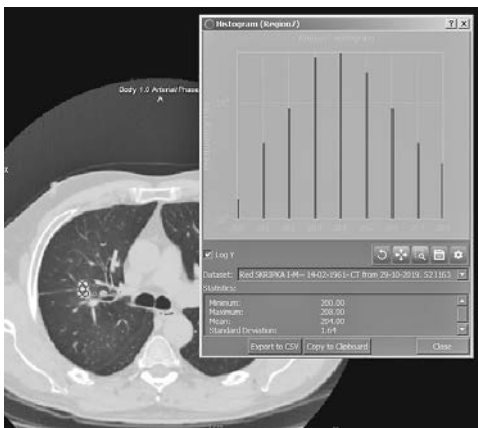


Рис. 9. Гістограма хворого С. (КТ від 29.10.2019)

Отже, виконання гістограми дало би змогу встановити діагноз злоякісної пухлини практично на рік раніше, що могло значно змінити тактику лікування хворого (проведення радикального оперативного лікування) та не допустити розвитку метастатичного ураження кісток.

На рисунку 10 представлено гістограму хворого С. (КТ від 21.03.2018). Вона істотно відрізняється від попередньої гістограми та відповідає післязапальному обмеженому фіброзу легені. Тобто можна стверджувати, що трансформація обмеженого післязапального фіброзу в злоякісну пухлину відбулася в період із 21.03.2018 по 29.10.2019 – практично за 1,5 року.

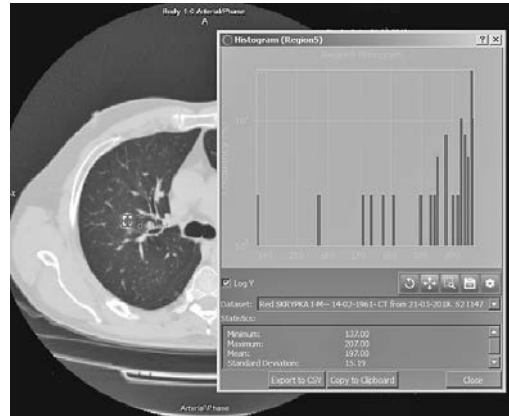


Рис. 10. Гістограма хворого С. (КТ від 21.03.2018, за 4 роки до встановлення діагнозу раку легені)

Через 2 місяці після початку курсу хіміотерапії хворому виконано контрольну КТ (21.09.2021). На ній відзначаються зменшення пухлини та зміна її структури. На рисунку 11 представлено гістограму утворення. Вона істотно відрізняється. Щільності, характерні для пухлинного процесу, вже не визначаються, а гістограма більше відповідає післязапальному фіброзу.

Середні щільності на всіх наведених вище рисунках істотно не відрізнялися. Це свідчить про низьку

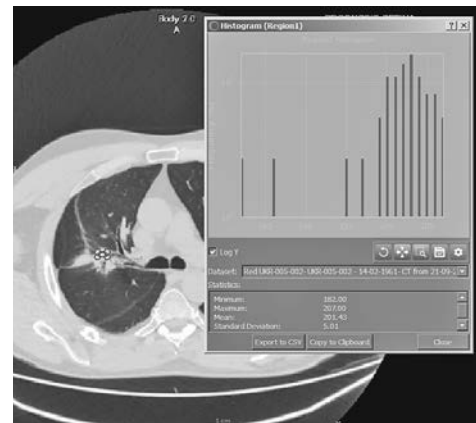


Рис. 11. Гістограма утворення хворого С. (КТ від 21.09.2021)

ОРИГІНАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

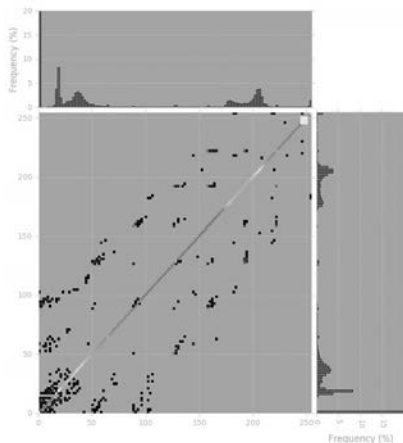


Рис. 12. Сегментаційна гістограма хворого С. перед початком курсу хіміотерапії

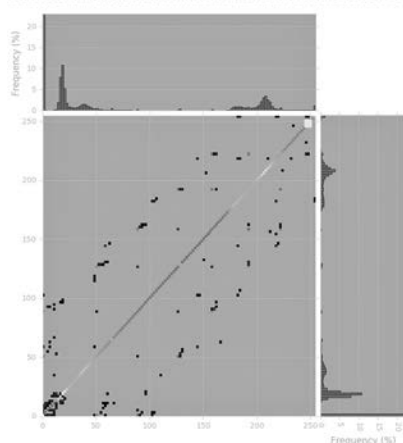


Рис. 13. Сегментаційна гістограма хворого С. після першого курсу хіміотерапії

інформативність стандартних DICOM-переглядачів, які нині застосовуються лікарями променевої діагностики.

На рисунках 12 і 13 представлено сегментаційні гістограми хворого С. до та після початкового курсу хіміотерапії. Вони також істотно відрізняються. Сегментаційні гістограми зроблені в режимі 128 bins (градацій сірого). Кластеризація КТ-зображень чіткіше й достовірніше відображає морфологічну структуру тканин і тому використовується для створення інтелектуальних програм.

Висновки

1. Програмне опрацювання КТ-зображень за допомогою програми Dragonfly показало наявність значних

відмінностей гістограм різних гістологічних форм раку легень і його імуногістохімічних підтипів.

2. Виявлені відмінності гістограм дають змогу створювати інтелектуальні системи на основі згорткових нейромереж. При створенні «масок» (текстурних ознак ділянок інтересу КТ-зображень) для навчання нейромереж потрібно створювати не лише «маски» гістологічних форм раку легень, але й основних їхніх імуногістохімічних підтипів.
3. Створення інтелектуальних програм обробки КТ-зображень дасть змогу зменшити працездатність їх ручної цифрової програмної обробки, проводити ранню діагностику, фенотипування та контроль ефективності персоналізованого лікування хворих на рак легень.

Література

1. Линник М.І., Ліскіна І.В., Калабуха І.А., Ігнат'єва В.І., Тарасенко О.Р. Можливості радіоміки для обробки даних комп'ютерної томографії органів грудної порожнини при діагностиці туберкульозу легень. *Туберкульоз, легеневі хвороби, ВІЛ-інфекція*. 2022; 2 (49): 36-40. DOI: 10.30978/TB2022-2-36.
2. Kumar V., Gu Y., Basu S., et al. Radiomics: the process and the challenges. *Magn. Reson. Imaging*. 2012; 30 (9): 1234-1248. DOI: 10.1016/j.mri.2012.06.010.
3. Lambin F., Rios-Velazquez E., Leijenaar R., et al. Radiomics: extracting more information from medical images using advanced feature analysis. *Eur. J. Cancer*. 2012; 48 (4): 441-446. DOI: 10.1016/j.ejca.2011.11.036.
4. Rizzo S., Botta F., Raimondi S., et al. Radiomics: the facts and the challenges of image analysis. *Eur. Radiol. Exp*. 2018; 2 (1): 36. DOI: 10.1186/s41747-018-0068-z.
5. The National Lung Screening Trial Research Team. Reduced lung-cancer mortality with low-dose computed tomographic screening. *N. Engl. J. Med*. 2011; 365: 395-409.
6. Patil R., Mahadevaiah G., Dekker A. An approach toward automatic classification of tumor histopathology of non-small cell lung cancer based on radiomic features. *Tomography*. 2016; 2 (4): 374-377. DOI: 10.18383/j.tom.2016.00244.
7. Trajanovski S., Mavroeidis D., Swisher C.L., et al. Towards radiologist-level cancer risk assessment in CT lung screening using deep learning. *Comput. Med. Imaging Graph*. 2021; 90: 101883. DOI: 10.1016/j.compmedimag.2021.101883.
8. Ворончук С., Бовсунівська К., Давидько О., Линник М., Матвійчук О., Павлов А., Настенко Є. Сегментація туберкульозних уражень легень (на зображеннях комп'ютерної томографії). *Innov. Biosyst. Bioeng*. 2021; 5 (2): 117-124. DOI: 10.20535/ibb.2021.5.2.233051.
9. Давидько О.Б., Ладік А.О., Максименко В.Б., Линник М.І., Павлов О.В., Настенко Є.А. Класифікація уражень легень при COVID-19 на основі текстурних ознак та згорткової нейронної мережі. *Біомедична інженерія і технологія*. 2021; 6: 19-28. DOI: 10.20535/2617-8974.2021.6.
10. Travis W.D. WHO classification of tumours of the lung, pleura, thymus and heart. *Int. Agency Res. Cancer*. 2015.
11. Thoracic Tumours. Medicine Series (№ 5). WHO Classification of Tumours. ISSN 1020-9948.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

Линник Микола Іванович

Завідувач відділу епідеміологічних та організаційних проблем фізіопульмонології ДУ «Національний науковий центр фізіатрії, пульмонології та алергології ім. Ф.Г. Яновського НАМН України».

Д-р мед. наук.

10, вул. М. Амосова, м. Київ, 03038, Україна.

ORCID iD: orcid.org/0000-0002-0011-7482

Гуменюк Галина Львівна

Професор кафедри фізіатрії і пульмонології Національного університету охорони здоров'я України ім. П.Л. Шупика.

Д-р мед. наук, професор.

9, вул. Дорогожицька, м. Київ, 04112, Україна.

ORCID iD: orcid.org/0000-0001-8160-7856

Ігнат'єва Вікторія Ігорівна

Старший науковий співробітник відділення діагностики, терапії і клінічної фармакології захворювань легень ДУ «Національний науковий центр фізіатрії, пульмонології та алергології ім. Ф.Г. Яновського НАМН України».

Канд. мед. наук.

10, вул. М. Амосова, м. Київ, 03038, Україна.

ORCID iD: orcid.org/0000-0003-0604-4349

Ліскіна Ірина Валентинівна

Завідувачка лабораторії патоморфології ДУ «Національний науковий центр фізіатрії, пульмонології та алергології ім. Ф.Г. Яновського НАМН України».

Д-р мед. наук, с. н. с.

10, вул. М. Амосова, м. Київ, 03038, Україна.

ORCID iD: orcid.org/0000-0001-8879-2345

References

1. Lynnyk M.I., Liskina I.V., Kalabukha I.A., Ignatieva V.I., Tarasenko O.R. Mozhylyvosti radiomiky dlia obrobky danykh kompiuternoi tomografii orhaniv hrudnoi porozhnyny pry diahnostytsi tuberkulozu lehen. *Tuberkuloz, lehenevi khvoroby, VIL-infektsiia*. 2022; 2 (49): 36-40. DOI: 10.30978/TB2022-2-36.
2. Kumar V., Gu Y., Basu S., et al. Radiomics: the process and the challenges. *Magn. Reson. Imaging*. 2012; 30 (9): 1234-1248. DOI: 10.1016/j.mri.2012.06.010.
3. Lambin F., Rios-Velazquez E., Leijenaar R., et al. Radiomics: extracting more information from medical images using advanced feature analysis. *Eur. J. Cancer*. 2012; 48 (4): 441-446. DOI: 10.1016/j.ejca.2011.11.036.
4. Rizzo S., Botta F., Raimondi S., et al. Radiomics: the facts and the challenges of image analysis. *Eur. Radiol. Exp*. 2018; 2 (1): 36. DOI: 10.1186/s41747-018-0068-z.
5. The National Lung Screening Trial Research Team. Reduced lung-cancer mortality with low-dose computed tomographic screening. *N. Engl. J. Med*. 2011; 365: 395-409.
6. Patil R., Mahadevaiah G., Dekker A. An approach toward automatic classification of tumor histopathology of non-small cell lung cancer based on radiomic features. *Tomography*. 2016; 2 (4): 374-377. DOI: 10.18383/j.tom.2016.00244.
7. Trajanovski S., Mavroeidis D., Swisher C.L., et al. Towards radiologist-level cancer risk assessment in CT lung screening using deep learning. *Comput. Med. Imaging Graph*. 2021; 90: 101883. DOI: 10.1016/j.compmedimag.2021.101883.
8. Voronchuk S., Bovsunovska K., Davydko O., Lynnyk M., Matviichuk O., Pavlov A., Nastenko Ye. Sehmetsatsiia tuberkuloznykh urazhen lehen na zarazhenniakh kompiuternoi tomografii. *Innov. Biosyst. Bioeng*. 2021; 5 (2): 117-124. DOI: 10.20535/ibb.2021.5.2.233051.
9. Davydko O.B., Ladik A.O., Maksymenko V.B., Lynnyk M.I., Pavlov O.V., Nastenko Ye.A. Klyasyfikatsiia urazhen lehen pry COVID-19 na osnovi teksturnykh oznak ta zghortkovoi neironnoi merezhi. *Biomedychna inzheneriia i tekhnolohiia*. 2021; 6: 19-28. DOI: 10.20535/2617-8974.2021.6.
10. Travis W.D. WHO classification of tumours of the lung, pleura, thymus and heart. *Int. Agency Res. Cancer*. 2015.
11. Thoracic Tumours. Medicine Series (№ 5). WHO Classification of Tumours. ISSN 1020-9948.

Lynnyk Mykola Ivanovych

Head of epidemiology and organizational problems of phthiology department at the SI "National scientific center of phthiology, pulmonology and allergology named after F.G. Yanovsky of the NAMS of Ukraine".

MD, PhD.

10, M. Amosova st., Kyiv, 03038, Ukraine.

ORCID iD: orcid.org/0000-0002-0011-7482

Gumeniuk Galyna Lvivna

Professor of phthiology and pulmonology department at the Shupyk National Healthcare University of Ukraine.

MD, PhD, professor.

9, Dorohozhytska st., Kyiv, 04112, Ukraine.

ORCID iD: orcid.org/0000-0001-8160-7856

Ignatieva Victoria Igorivna

Senior researcher, department of diagnostics, therapy and clinical pharmacology of lung diseases, SI "National scientific center of phthiology, pulmonology and allergology named after F.G. Yanovsky of the NAMS of Ukraine".

PhD.

10, M. Amosova st., Kyiv, 03038, Ukraine.

ORCID iD: orcid.org/0000-0003-0604-4349

Liskina Iryna Valentynivna

Head of the laboratory of pathomorphology at the SI "National scientific center of phthiology, pulmonology and allergology named after F.G. Yanovsky of the NAMS of Ukraine".

MD, DSc, senior researcher.

10, M. Amosova st., Kyiv, 03038, Ukraine.

ORCID iD: orcid.org/0000-0001-8879-2345

КОНТАКТНА ІНФОРМАЦІЯ / CORRESPONDENCE TO

Линник Микола Іванович

10, вул. М. Амосова, м. Київ, 03038, Україна.

Тел./факс: +38 (096) 5 222 111.

E-mail: nicklinnik1957@gmail.com

DOI: 10.32902/2663-0338-2024-2-5-11