

МОДЕЛІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В МЕДИЦИНІ: МІФ ЧИ РЕАЛЬНІСТЬ?



Зінаїда Рожкова
канд. фіз.-мат. наук,
заступник директора
з наукової роботи,
відділ радіології
Медичної клініки "MIRUM",
м. Київ

Вступ

Навряд чи в сучасній науковій та науково-популярній літературі, а також в художній, яку відносять до наукової фантастики, є питання, які обговорюються інтенсивніше, ніж штучний інтелект (ШІ). Для більшості наших громадян цей термін не дуже зрозумілий. Інтелект – у загальному розумінні, це здатність мислити. А штучний? Це що, мислення штучно створених пристроїв, обчислювальних машин? І так, і ні. Багато логічних операцій може бути описана математичними рівняннями. Значна частина логічних висновків потребує також аналізу кореляції багатьох факторів на математичній мові, змінних, і спостережуваних результатів, навіть коли точного математичного рішення рівнянь багатьох змінних досягти не вдається. Так от, сучасні обчислювальні машини можна програмувати так, щоб вони оперували зі значно більшим числом змінних і знаходили кореляції між значеннями змінних або їх сукупності, ніж це може робити людина. А крім того машина не знає втоми. Все це дало підставу ввести для відповідних потужних електронних обчислювальних машин і відповідних програм до них термін «штучний інтелект».

Успіхи інформаційних технологій (ІТ) настільки вражають, а їх розвиток йде з такою неймовірною швидкістю, що мимоволі починаєш вірити: скоро настане час, коли машини, розроблені розумом і знаннями людини, перевершать її власні можливості. Звичайно, це далеко не так, і будь-який фахівець, обізнаний в галузі ШІ, не погодиться із твердженнями, які з'являються в різних популярних виданнях, що ми вже на порозі розпізнавання думок людини, хоча не визнати досягнень у вдосконаленні вмінь ІТ, зокрема програмування, неможливо.

З іншого боку, детально описати стан справ у цьому багаточисельному і сьогодні практично неосяжному морі досліджень в рамках журнальної статті неможливо. Тому я обмежусь розкриттям теми лише на одному, хоча й дуже важливому прикладі – медицині, де моделі ШІ розробляються і загалом непогано працюють. Але при цьому про медицину в цілому мова практично не піде, оскільки це надзвичайно широка область, в якій задіяні тисячі людей – лікарів, інженерів-програмістів, математиків, фізиків, і біологів. Точніше, мова піде переважно про застосування ШІ в радіології, яка є однією з найактуальніших і об'ємних у використанні досягнень науки областей медицини, в якій, власне, я вважаю себе достатньо обізнаною. І все ж дозволю собі висловити лише ряд припущень про майбутнє ШІ, маючи на увазі його використання в галузі медицини.

Почну з достатньо відомого твердження, що щоденна діяльність лікаря-радіолога полягає в інтерпретації зображень, або, як кажуть лікарі-клініцисти інших спеціальностей, в їх розшифровці, незалежно від того, яким із методів – комп'ютерна томографія (КТ), магніторезонансна томографія (МРТ), позитронно-емісійна комп'ютерна томографія (ПЕТ-КТ), позитрон-

но-емісійна магніторезонансна томографія (ПЕТ-МРТ), доплерівське ультразвукове дослідження (УЗД) і т.д. – були отримані самі зображення. Очевидно, що розвиток радіологічних моделей ШІ та успішне впровадження їх у діагностичний процес були спрямовані на те, щоб максимально формалізувати та уніфікувати інтерпретацію зображень. Оскільки останнє не дуже знайоме пересічному читачеві (не лікареві), а також, наскільки відомо, не відображене в науково-популярній літературі, в цій статті поставлена мета познакомити читача з основними алгоритмами діагностики з використанням ШІ, а також окреслити перспективи розвитку ШІ.

Як відомо, сучасні діагностичні процедури вивчають не лише структурні, а й функціональні зміни в організмі людини як у нормі, так і за умов різноманітної патології. Більше того, можна стверджувати, що вже дано оцінку перспективам подальшого розвитку сучасної радіології за умови, що моделі ШІ інтегровані в усі етапи діагностичного процесу – від збирання та обробки даних до інтерпретації зображень. Розроблено та специфіковано також основні моделі ШІ, за допомогою яких вивчаються такі вищі функції центральної нервової системи, як пам'ять, мова та ін., оскільки успіх застосування ШІ в галузі нейрорадіології протягом останніх двох десятиліть значною мірою вийшов за межі фундаментальних академічних досліджень та успішно використовується у повсякденній клінічній практиці.

Крім того, моделі ШІ успішно застосовуються і в інших галузях медицини, наприклад, в кардіології [1,2], офтальмології [3], дерматології (зокрема в онкодерматології для диференціальної діагностики різноманітних утворень на поверхні шкіри [4]) і, безумовно, у медицині невідкладних станів [5]. Таким чином, можна без перебільшення визнати, що в даний час моделі ШІ застосовуються в усіх галузях клінічної медицини. Діагностика, як відомо, є не лише первинною, а й ключовою ланкою лікувального процесу, визначаючи багато в чому ефективність терапії [6–8].

Сьогодні провідні виробники медичного обладнання використовують понад 200 різних моделей ШІ, що входять до стандартного програмного забезпечення клінічних КТ- та МР-томографів. Застосування моделей ШІ дозволяє проводити дослідження за універсальними протоколами, аби лікар міг дати правильну інтерпретацію зображень, незалежно від того, на якому приладі та в якій установі проведено те чи інше дослідження, а також проаналізувати динаміку перебігу захворювання (і оцінити ефективність лікування) з урахуванням того, що для кожного пацієнта було розроблено індивідуальний план патогенетично значущої терапії [9–11].

1. Основні моделі ШІ, що використовуються в радіології

Перш за все слід згадати алгоритм ШІ, так звану «*модель, що самовдосконалюється*». Модель ґрунтується на аналізі всіх наявних у розпорядженні радіолога даних про пацієнта: від раніше отриманих так званих «*архівних*» зображень та застосування їх інтерпретації до результатів різноманітних лабораторних тестів зі збереженням часової послідовності їх отримання. З урахуванням аналізу всього комплексу використаних фактів дана модель ШІ (іноді вона називається «*модель безперервного навчання*»), здатна генерувати нові дані. Завдяки цьому дана модель являє собою процес, що постійно самовдосконалюється. Основною проблемою, з якою стикається радіолог у своїй щоденній практиці, є перехід від моделі безперервного навчання, що існує виключно у віртуальному світі, до реального процесу аналізу даних.

Слід зазначити і пояснити термін «*зміщення сукупності даних, або зсув масиву даних*». Мова йде про перехід від даних, що використовуються в моделі безперервного навчання, до реальних клінічних даних. Перенесення сукупності даних від реальних до розрахункових може призвести до того, що віртуальні дані моделі безперерв-



Використання штучного інтелекту в системі невідкладної медичної допомоги

ного навчання виявляються непридатними в реальних умовах, оскільки, як кажуть радіологи, при аналізі зображень неможливо замінити людину, або, точніше, її знання, досвід, інтуїцію. Можна, однак, лише частково погодитися з цим твердженням, оскільки на власному досвіді я неодноразово переконувалась, що вдосконалення моделей ШІ відкриває нові можливості аналізу зображень та їх співставлення з реальними даними. Найчастіше можна прогнозувати розвиток моделей ШІ, оскільки методики та технічні можливості томографів, на яких лікарі працювали кілька десятиліть тому (та подекуди ще й зараз працюють), не дозволяли візуалізувати мікроструктурні та метаболічні зміни, що відбуваються, наприклад, у головному мозку людини, починаючи від етапу внутрішньоутробного розвитку до глибокої старості. А нині такі дослідження давно відносяться до рутинної практики.

З основних понять ШІ неможливо не згадати визначення «базової моделі», яка будується на великому обсязі даних і може застосовуватися для вирішення вузько спеціалізованих завдань, наприклад для сегментування певних анатомічних структур з метою виявлення патологічних змін як в окремих локалізованих областях різних тканин, так і в органах в цілому. За визначенням, базові моделі утворюють широкий клас моделей ШІ, призначених на вирішення широкого класу спеціалізованих медичних завдань. Водночас на сьогодні розроблено та вдосконалено клас виключно медичних моделей ШІ, здатних комбінувати вихідні дані для того, щоб аналізувати не лише деякий масив даних, але й масив біомаркерів, які належать не тільки до радіологічних даних, але й до будь-якої галузі медицини.

Окремий клас становлять успішно застосовувані нині в нейрорадіології моделі ШІ, за допомогою яких візуалізуються та встановлюються частотні, часові та структурно пов'язані вузли нейронних мереж, відповідальні за багато вищі функції центральної нервової системи, що включають такі, як сприйняття, розуміння, відтворення мови, пам'яті, зору та асоціативне мислення. Структура цих моделей та алгоритми їх функціонування можуть використовуватися також для розпізнавання зображень та звуків. Всі процеси, до яких застосовуються подібні моделі, супроводжуються різним «емоційним забарвленням». Широкий клас моделей, які використовуються в сучасній радіології, складають мультимодальні моделі ШІ, призначені для поєднання різноманітних медичних даних (наприклад, електронних медичних карт та зображень). Дані моделі активно застосовуються в радіології для диференціальної діагностики, розробки спільно з лікарями інших спеціальностей тактики і стратегії терапії, а також для моніторингу ефективності лікування.

В останні два десятиліття на всіх етапах лікувально-діагностичного процесу додатково використовуються моделі ШІ, що самоналаштовуються, і забезпечують контроль різноманітних функцій організму. Згадаю, що ці моделі застосовують у таких методах візуалізації, як ПЕТ-КТ та ПЕТ-МРТ, коли в процесі дослідження в організм пацієнта вводяться речовини-мітки, внаслідок чого, звичайно, зростає вартість досліджень. Важливо зазначити, що в останнє десятиліття в економічно потужних країнах мультимодальні моделі ШІ перестали бути прерогативою фундаментальної науки, а використовуються в різних галузях радіології, проте досить висока вартість гальмує впро-

вадження їх у повсякденну клінічну практику. Доречно зауважити, що серед подібних розробок особливий клас складають моделі ШІ, що самоконтролюються. На даному етапі такі варіанти технологій варто віднести до класу моделей майбутнього, які, безперечно, знайдуть своє застосування у практичній медицині.

2. Декілька прикладів застосування ШІ в радіології та оцінка їх ефективності

Як згадувалося раніше, ШІ може бути використаний у радіології для аналізу зображень, отриманих за допомогою різноманітних методів, таких, як рентгенографія, КТ, ультразвукові та МРТ-дослідження. Алгоритми ШІ призначені для аналізу зображень і сприяють оптимізації процесу збору/обробки даних, а також їх інтерпретації. У сучасних приладах моделі ШІ не тільки нагадують оператору оптимальні параметри збору/обробки даних, але й проводять попередній аналіз зображень. З використанням ШІ проводиться, наприклад, оцінка інтенсивності МР-сигналу в патологічно змінених та інтактних ділянках біологічних тканин, будується часова залежність зміни інтенсивності МР-сигналу в зоні патології у відповідь на внутрішньовенне введення контрастної речовини, проводяться морфометричні (волюметричні) дослідження, наприклад, кількісно визначається ступінь виразності атрофічних процесів у головному мозку і т. ін. Отримані дані використовуються для диференціальної діагностики широкого класу нейродегенеративних захворювань, таких, як хвороба Альцгеймера, хвороба Паркінсона, хвороба Гантінгтона, деменція з тільцями Леві та інші форми деменції. Використання моделі ШІ для аналізу протонних спектрів *in vivo* (метод *in vivo* 1H MRS) дає можливість вивчати церебральний метаболізм у мозку, що розвивається, від періоду внутрішньоутробного розвитку і, тим самим, передбачати прояв різноманітних спадкових хвороб обміну, що дозволить відразу після народження превентивно розпочати лікування. Пластичність головного мозку – одна з фундаментальних властивостей центральної нервової системи – дає змогу, наприклад, оцінювати не лише темпи відновлення втрачених внаслідок перенесеного ішемічного чи геморагічного інсульту функцій, а й прогнозувати динаміку та успішність подальшого лікування.

Окремо варто зазначити можливість диференціальної діагностики ступеня злоякісності новоутворень, що дозволяє в багатьох випадках уникнути такої болісної для пацієнта та в ряді випадків технічно складної маніпуляції, як пунктування пухлини з подальшим аналізом отриманого біологічного матеріалу. Все це безперечно визначає практичну цінність моделей ШІ для розробки тактики та стратегії індивідуально для кожного пацієнта лікування (ще раз відмітимо, що це дуже не дешево, і масове застосування цих методів потребує економічного розвитку країни).

Перелічити всі сфери застосування ШІ в радіології в одній статті неможливо, тому зупинюся лише на деяких. Серед них відмічу, перш за все, аналіз даних МР- та КТ-ангіографії, на основі якого успішно, з високою надійністю можна передбачити оклюзію магістральних судин і, як наслідок, загрозу виникнення геморагічного інсульту. Водночас моделі ШІ ефективно використовуються для аналізу змін у легеневій тканині, що виявляються за КТ-томограмами, наприклад для виявлення патологічних



Штучний інтелект -- конкурент сімейного лікаря

вогнищ, що виникли внаслідок SARS-COVII. Можливості моделей ШІ у застосуванні до диференціальної діагностики онкопатології різної локалізації у багатьох випадках значно перевищують діагностичну цінність висновків, які отримують висококваліфіковані експерти. Зокрема, у нейрорадіології за останні два десятиліття використання методу *in vivo* 1H МРС, було введено у стандартні протоколи МРТ-досліджень та були сформовані критерії диференціальної діагностики, що дозволяють уникнути таких травмуючих маніпуляцій, як згадана вище біопсія.

Все ширше ШІ застосовують для визначення мінеральної густини кісткової тканини за даними остеоденситометричних досліджень, що дозволяє прогнозувати розвиток остеопорозу. Скринінгові МРТ-дослідження тканини печінки з використанням моделі ШІ надійно увійшли до практики диференціальної діагностики новоутворень в печінці, визначення характеру фіброзних змін тканин печінки, а також для прогнозу подальшого розвитку різноманітних системних захворювань. Особливого значення набувають скринінгові ультразвукові дослідження коронарних судин з метою визначення ризику розвитку артеріосклерозу.

Без будь-якого перебільшення можна прогнозувати, що перелічені алгоритми моделей ШІ можуть бути впроваджені в усі галузі сучасної медицини при наявності необхідних затрат на цю галузь.

3. Моделі ШІ, що використовуються в інших галузях медицини

Незважаючи на те, що багато сучасних моделей ШІ спочатку були розроблені виключно для радіології, в останні роки в усьому світі спостерігається невелика, проте цілком певна тенденція до використання моделей ШІ не тільки в галузі медичної візуалізації, а й клініцистами інших медичних спеціальностей. Перш за все слід згадати вико-

ристання моделей ШІ у відділеннях невідкладної допомоги, коли результат лікування (наприклад, при екстреній госпіталізації пацієнта з ознаками гострого інсульту) безпосередньо залежить від безпомилкового та своєчасного поставленого діагнозу. Очевидно, що наведений приклад поширюється і на ситуації, коли до лікувального закладу надходять пацієнти з різноманітними травмами, з підозрою на кишкову непрохідність, на внутрішні кровотечі, на інфаркт міокарда та інші невідкладні стани, які потребують негайного втручання.

Відомо, що використання моделей ШІ не лише радіологами, але й лікарями інших спеціальностей, знайомих з основними принципами інтерпретації зображень, наразі допомогло врятувати мільйони життів пацієнтів, які потребували невідкладної допомоги. Практична цінність моделей ШІ у застосуванні до диференціальної діагностики внутрішньо- та позамозкових пухлин безпосередньо залежить від того, наскільки співставні зображення, отримані в різних медичних закладах.

Отже, чутливість та специфічність моделей ШІ у додатку до диференціальної діагностики пухлин, стадіювання пухлинного процесу та вибору тактики подальшого лікування визначається тим, наскільки правильно обрані параметри збору/обробки даних. Це твердження стосується також використання моделей ШІ для інтерпретації рентгенограм грудної клітини і МРТ-зображень, спрямованих на виявлення компресійних переломів у шийному відділі хребта та в інших клінічних випадках. Використання моделей ШІ при аналізі маммограм з метою виявлення новоутворень у молочних залозах давно введено в протоколи скринінгових досліджень у США та Європі, проте відомо, що цей метод дає до 70 % хибно позитивних результатів. Підвищення чутливості та специфічності моделей ШІ у застосуванні в радіології насамперед можливе завдяки розробці баз даних та, безперечно, розширенню їх обсягу.

4. Перспективи подальшого розвитку моделей ШІ у різних галузях медицини

Для того щоб моделі ШІ успішно застосовувалися в радіології, насамперед необхідне розуміння можливостей та обмежень конкретних його моделей як радіологами, так і лікарями інших спеціальностей. При цьому слід повторити, що не рідкісні випадки, коли ШІ виявляються ефективнішими, ніж висновки радіологів. Очевидно, якщо не розглядати моделі ШІ як черговий «бізнес проект» радіологи та лікарі інших спеціальностей можуть з високим ступенем довіри відноситися до рекомендацій, отриманих за допомогою моделей ШІ. Я переконана в тому, що в даний час моделі ШІ можуть бути добре застосовані для рутинних (скринінгових) досліджень і дуже обмежено у складних і нетипових клінічних випадках, коли від достовірності аналізу зображень залежить вибір тактики подальшого лікування. Від того, наскільки зрозуміла структура конкретної моделі ШІ, безпосередньо залежить її результативність при встановленні діагнозу. На практиці, як правило, користувачеві невідомі такі параметри, як обсяг вибірки пацієнтів, що використана в даній моделі, і навіть патологія, для якої розроблялася модель, та інші властивості моделі ШІ. Таким чином, напрошується очевидний висновок, що узагальнити результати, отримані з використанням будь-якої моделі ШІ на широкий клас досліджень як мінімум на сьогодні неможливо. Як приклад згадаю такий параметр як відтворюваність результатів із використанням конкретної моделі ШІ.

Часте порівняння радіологічних даних, отриманих у різних установах для підтвердження ефективності тієї чи іншої моделі ШІ, обмежується лише аналізом рентгеновських знімків грудної клітини, тобто у дослідженнях, де моделі ШІ безперечно застосовані. Аналіз зображень, отриманих складнішими методами (наприклад, МРТ), де вибір параметрів збору/обробки даних безпосередньо залежить від конструкції радіочастотної котушки, що використовується в томографі, від структури радіочастотного тракту, від програмного забезпечення і, строго кажучи, від сумісності зображень, отриманих із застосуванням методично різних імпульсних послідовностей, часто неможливий.

Участь у проектах, завданням яких було визначення оцінки ефективності лікарських препаратів на основі інтерпретації МРТ-зображень, одержуваних у певний час з моменту початку терапії, за заданими протоколами дослідження переконало мене в тому, що тільки неухильне дотримання протоколу проведення дослідження дозволяє аналізувати зображення, отримані різними дослідниками в різних лікувальних закладах і в різних країнах. Навіть за умови повного розуміння структури моделі ШІ її ефективність зі зростанням кількості даних, що включаються в аналіз даних, може знижуватися. Змінюється динаміка розвитку конкретного захворювання, з'являються нові лікарські препарати, розвиваються медичні технології. Все це, здавалося б, повинно покращувати ефективність тієї чи іншої моделі ШІ, проте практично призводить до того, що модель перестає працювати. Цілком очевидно, що моделі ШІ потребують постійного вдосконалення та самовдосконалення, тільки так можна буде довіряти отриманим за допомогою ШІ клінічним даним.

З упевненістю можна стверджувати, що сучасне покоління моделей ШІ, що застосовуються в радіології, здатне вирішувати лише обмежений набір завдань із розшифрування зображень. Я впевнена в тому, що будь-яка, навіть найдосконаліша модель, не може зрівнятися за своєю ефективністю з інтелектуальною роботою радіолога, який не лише глибоко орієнтується в предметі, а й проводить інтерпретацію зображень з урахуванням анамнезу життя конкретного пацієнта, даних лабораторних тестів та робить висновки на основі численних обговорень перебігу захворювання з лікарями інших спеціальностей. Тільки такий комплексний підхід до аналізу радіологічних даних дозволить розробити тактику та стратегію лікування.

Будь-яка модель ШІ спрямована на вирішення вузько спеціалізованого завдання, і цим, на мій погляд, пояснюється обмеження застосування моделей ШІ в клінічній практиці. Водночас розроблені та впроваджені в практику багатьма виробниками медичного обладнання моделі ШІ, зокрема тих, що не прагнуть автоматизації процесів інтерпретації даних, а лише уніфікують процес збору/обробки даних, в даний час успішно використовуються для розшифрування рентгенограм грудної клітини, КТ-зображень головного мозку, одержуваних для виключення крововиливу, та в інших ургентних ситуаціях. Наприклад, під час проведення так званого «*онкоскринінгу*» успішно використовується модель ШІ для попереднього дослідження всього тіла з метою виявлення та локалізації патологічного вогнища. Очевидно, що у разі виявлення об'ємного утворення проводиться більш поглиблене прицільне дослідження ураженого органу з використанням високотехнологічних методів.

Я переконана, що в найближчому майбутньому в практиці клінічних досліджень будуть впроваджені принципово нові моделі ШІ, які будуть здатні генерувати радіологічний висновок, використовуючи повний обсяг клінічних даних про пацієнта. Багато в чому це полегшить роботу радіолога і запропонує кілька варіантів інтерпретації (так званий «*диференціально-діагностичний ряд*»), звівши роботу фахівця до обґрунтованого вибору конкретного варіанту діагнозу.

Стрімкий розвиток моделей ШІ, тенденція впровадження яких у клінічну радіологію спостерігається в останні роки, це перший крок до створення моделей самоконтролю, моделей ітераційних алгоритмів та інших так званих «*мультимодальних моделей*». За останні 20 років найбільш фантастичними, що здавалися неймовірними, є вище згадані моделі візуалізації вузлів нейронних мереж. Період від 2000 до 2010 року був оголошений десятиліттям мозку, коли в рамках проекту CONNECTOM в усьому світі проводилися дослідження, на основі аналізу яких були побудовані карти нейрональної активації високоспеціалізованих функцій центральної нервової системи в нормі та за умов різноманітної патології. Практичне застосування цих моделей, серед яких найвідомішою є GPT-4 (Generative Pre-trained Transformer 4), привели до створення чат-ботів, до яких всі дуже швидко звикли (наприклад, коли телефонуємо в банк, використовуємо в автомобілі навігатор, намагаємося записатися на прийом до лікаря). Ми навіть гніваємося на запитання «*електронного експерта в медицині*», який намагається з'ясувати, до фахівця якого профілю нас направив сімейний лікар-терапевт.

Наприкінці 90-х років минулого століття в провідних європейських клініках радіолог не писав, а диктував по



Частка розподілу застосування штучного інтелекту в медицині (модифікація рисунка зі статті [12])

телефону текст заключення, який вистукувала друкарка, що, як правило, перебувала в іншій будівлі. Наприкінці зміни друкарка приходила до радіологічного відділення з «розшифровкою», де радіолог коригував текст, який пересилася лікарю, котрий направив пацієнта на радіологічне обстеження. Всі писали висновки рукою на спеціальному папері (з копіркою!), і лише з 2010 року у багатьох клініках було впроваджено систему електронного архівування радіологічних висновків.

Сьогодні модель ШІ, яка використовується в сучасних КТ- і МР-томографах, дозволяє писати анотації на зображеннях, щоб колега іншої спеціальності міг бачити весь хід міркувань радіолога. Більше того, можна гортати зображення в режимі кіно, друкуючи різноманітні текстові коментарі, і навіть говорити, а мова буде перекладена текстом анотації. Такі опції впроваджені в клінічну практику і значно розширюють можливості клінічної радіології та сприяють успішному співробітництву лікарів різних спеціальностей.

Додатково слід згадати, що дані моделі ШІ за наявності масиву лабораторних та інших клінічних даних про пацієнта дозволяють формувати радіологічний висновок як «шаблон» для лікаря-радіолога. Такий висновок містить виключно важливу інформацію для хірурга, невролога, кардіолога, та, без перебільшення, для будь-якого фахів-

ця, який бере участь у лікувальному процесі. Мультипараметрична модель ШІ відкриває принципово нові технічні можливості у діагностиці широкого класу захворювань і, на мою думку, стане основою для розвитку нового етапу не тільки в радіології, а й в медицині взагалі.

Висновок

Застосування моделей ШІ в різних галузях медицини (особливо в радіології) є яскравим прикладом технологічного прориву, який відкриває принципово нові можливості медичної візуалізації. У сучасній радіології моделі ШІ широко використовуються у повсякденній клінічній практиці. Поява недавніх публікацій, присвячених застосуванню різноманітних лінгвістичних моделей для розпізнавання мовлення з використанням алгоритмів функціональної МРТ потребує накопичення та вивчення даних. Можливо, ці моделі надалі будуть успішно використовуватися в радіології.

На кінець висловлюю щирі подяку **С.М. Рябченку**, який ініціював написання цієї статті, за довіру до мене, і **В.М. Локтеву** за доброзичливу критику та рекомендації щодо підготовки тексту. ■

Література

1. Eng D, Chute C, Khandwala N, et al. Automated coronary calcium scoring using deep learning with multicenter external validation. *NPJ Digit Med.* 4. p. 88 (2021).
2. Siontis KC, Noseworthy PA, Attia ZI, Friedman PA. Artificial intelligence-enhanced electrocardiography in cardiovascular disease management. *Nat. Rev. Cardiol.* 18. p. 465-478 (2021).
3. Abramoff MD, Cunningham B, Patel B, et al. Foundational considerations for artificial intelligence using ophthalmic images. *Ophthalmology.* 129(2). p. 14-32 (2022).
4. Jones OT, Matin RN, van der Schaar M, et al. Artificial intelligence and machine learning algorithms for early detection of skin cancer in community and primary care settings: a systematic review. *Lancet Digit Health.* 4(6). p. 466-476 (2022).
5. Rajpurkar P, Chen E, Banerjee O, Topol EJ. AI in health and medicine. *Nat Med.* 28. p. 31-38 (2022).
6. Tariq A, Purkayastha S, Padmanaban GP, et al. Current clinical applications of artificial intelligence in radiology and their best supporting evidence. *J Am Coll Radiol.* 17. p. 1371-1381 (2020).
7. Richardson M.L. et al. Noninterpretive uses of artificial intelligence in radiology. *Acad Radiol.* 28. p. 1225-1235- (2021).
8. Wang G, Ye JC, De Man B. Deep learning for tomographic image reconstruction. *Nat Mach Intell.* 2. p. 737-748 (2020).
9. Pease M, Arefan D, Barber J, et al. Outcome prediction in patients with severe traumatic brain injury using deep learning from head CT scans. *Radiology.* 304. p. 385-394 (2022).
10. Strohm L, Hehakaya C, Ranschaert ER, Boon WPC, Moors EHM. Implementation of artificial intelligence (AI) applications in radiology: hindering and facilitating factors. *Eur Radiol.* 30. p. 5525-5532 (2020).
11. Schwalbe N, Wahl B. Artificial intelligence and the future of global health. *Lancet.* 395. p. 1579-1586 (2020).
12. Jiang F, Jiang Y, Zhi H. et al. Artificial intelligence in healthcare: past, present and future. *Stroke Vasc. Neurol.*, 2(4): 230-243 (2017).