

REFERATE GENERALE

C.Z.U.: 616-002.5:616-073.75:004

DOI: <https://doi.org/10.52692/1857-0011.2025.3-83.25>**PERFORMANȚA SOFTWARE DE DETECTARE ASISTATĂ
DE CALCULATOR ÎN CADRUL SCREENING-ULUI
TUBERCULOZEI PULMONARE**Nicolai NALIVAICO^{1,2}, dr. în șt. med., conf. universitar.¹IMSP Institutul de Pneumologie "Chiril Draganuic", Chișinău, Republica Moldova²IP Universitatea de Stat de Medicină și Farmacie "Nicolae Testemițanu", Chișinău, Republica Moldovae-mail: nalivaico@yahoo.com**Rezumat.**

Examenul radiologic organelor toracelui (CXR) joacă un rol important în depistarea cazurilor de tuberculoză pulmonară (TB). Cu toate acestea, având în vedere existența unei lipse de radiologi și a unei variabilități considerabile între cititori în rândul interpreților umani de CXR, această utilizare a radiografiei este limitată, iar performanța sa este variabilă, în special în țările cu o povară mare de tuberculoză. Un sistem de detectare asistată de calculator (CAD) poate depăși unele dintre aceste constrângeri, deoarece CAD generează o interpretare standardizată a unei imagini CXR digitale care poate fi utilizată pentru a identifica persoanele care ar putea beneficia de teste diagnostice suplimentare. Organizația Mondială a Sănătății (OMS) în ghidurile de screening pentru tuberculoză din 2021 a recomandat sisteme noi software CAD, dar o creștere a numărului de versiuni noi și actualizate ale produselor CAD a necesitat o actualizare a acestor ghiduri. Fundația pentru Diagnostice Noi Inovatoare (FIND) a înființat o arhivă independentă de imagini CXR și o platformă de validare pentru a evalua diverse produse CAD privind acuratețea diagnostică sistemelor software CAD, utilizând arhiva de imagini FIND CXR.

Cuvinte cheie: Imagistică digitală și comunicații în medicină, software de detectare asistată de calculator, tuberculoză pulmonară, screening.

Summary. Performance of computer-assisted detection software in pulmonary tuberculosis screening.

Chest X-ray examination (CXR) play an important role in the detection of pulmonary tuberculosis (TB). However, due to a shortage of radiologists and considerable inter-reader variability among human CXR interpreters, this use of radiography is limited and its performance is variable, particularly in countries with a high burden of tuberculosis. A computer-aided detection (CAD) system can overcome some of these constraints, as CAD generates a standardized interpretation of a digital CXR image that can be used to identify individuals who may benefit from further diagnostic testing. The World Health Organization (WHO) in its 2021 tuberculosis screening guidelines recommended new CAD software systems, but an increase in the number of new and updated versions of CAD products has necessitated an update of these guidelines. The Foundation for Innovative New Diagnostics (FIND) has established an independent CXR image archive and validation platform to evaluate various CAD products on the diagnostic accuracy of CAD software systems, using the FIND CXR image archive.

Keywords: Digital imaging and communications in medicine, computer-aided detection software, pulmonary tuberculosis, screening.

Резюме. Эффективность программного обеспечения для компьютерного обнаружения при скрининге туберкулеза легких.

Рентгенологическое исследование органов грудной клетки (РГК) играют важную роль в выявлении туберкулеза легких (ТБ). Однако из-за нехватки рентгенологов и значительной вариабельности результатов интерпретации рентгенограмм людьми применение рентгенографии ограничено, а ее эффективность варьируется, особенно в странах с высоким уровнем заболеваемости туберкулезом. Система автоматизированного диагностирования (САПР) может преодолеть некоторые из этих ограничений, поскольку САПР генерирует стандартизованную интерпретацию цифрового РГК-изображения, которая может быть использована для выявления лиц, которым может быть полезно дальнейшее диагностическое обследование. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) в своих рекомендациях по скринингу туберкулеза 2021 года рекомендовала новые программные системы

САПР, однако рост числа новых и обновленных версий САПР потребовал обновления этих рекомендаций. Фонд инновационных новых диагностических средств (FIND) создал независимую платформу архива и валидации РГК-изображений для оценки диагностической точности различных САПР-продуктов с использованием архива РГК-изображений FIND.

Ключевые слова: Цифровая визуализация и коммуникации в медицине, программное обеспечение для автоматизированной диагностики, туберкулез легких, скрининг.

Introducere.

În 2021, OMS a publicat ghidurile actualizate, inclusiv recomandări pentru utilizarea CAD în screening-ul sistematic al tuberculozei. CAD4TB este una dintre soluțiile incluse în recomandările OMS și apreciată înalt importanța CXR și CAD în depistarea precoce a TB. Strategia Fondului Global (2023-2028) și Nota informativă TB subliniază rolul de radiografii digitale în diagnosticul precoce și precis al TB (prioritizarea screening-ului sistematic). Cel mai recent plan OMS include extinderea și optimizarea screening-ului sistematic pentru depistare precoce a TB cu mai sensibile metode CXR și CAD AI [1, 2].

Planul global al parteneriatului Stop TB pentru a iradica TB în anii 2023-2030 subliniază necesitatea valorificării tehnologiilor moderne. Soluția optimală aplicării CXR cu CAD AI, care vor permite detectarea rapidă a TB și extinderea diagnosticului precoce, inclusiv sub manifestări clinice. CXR-urile digitale pot fi aplicate în screening-ul tuberculozei pulmonare în combinație cu teste de confirmare, în special la grupele de populație cu risc sporit TB pulmonară.

Strategia globală combaterii TB USAID 2023-2030 urmărește să optimizeze detectarea tuberculozei la persoane de toate vârstele prin accesibilitatea la tehnologii noi, cum ar fi raze X digitale portabile cu inteligență artificială. Radiografia toracică (CXR) a făcut parte din abordarea diagnostică a TB pulmonare de mult timp. Progresul în tehnicile de imagistică și învățare automată a condus la dezvoltarea sistemelor de detectare asistată de calculator (CAD) care pot analiza o imagine toracică digitală ca fișier (Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) și pot genera o interpretare standardizată. Sistemele CAD sunt antrenate pe mii sau milioane de imagini și, prin utilizarea tehnologiei inteligenței artificiale, au fost programate să recunoască și să interpreteze anumite constatări radiologice din fișierul DICOM, generând un scor de anomalie care poate fi utilizat pentru a trierea persoanelor pentru teste diagnostice ulterioare.

Sistemele CAD pot crea, de asemenea, o hartă termică sau o casetă de delimitare care indică locația unei constatări anormale pe imaginea toracică. CAD sunt utilizate ca: instrumente de asistență decizională, ajutând radiologii și radiologii să identifice

constatările anormale; instrumente de screening în unități, care conduc la o evaluare diagnostică suplimentară a persoanelor cu un scor de anomalie pe toracică peste un anumit prag; sau instrumente de prioritizare, prioritizând imaginile cu cele mai mari scoruri de anomalie pentru radiologi.

Scopul.

Evaluarea performanței software-ului de detectare asistată de calculator în cadrul screening-ului tuberculozei pulmonare.

Material și metode.

Din bazele de date PubMed și Scopus (Elsevier), au fost selectate și analizate publicații științifice care prezintă informații referitoare la performanța software-ului CAD pentru detectarea tuberculozei pulmonare.

Rezultate și discuții.

La nivel global, în 2023, 8,2 milioane de persoane au fost raportate ca fiind diagnosticate cu un nou episod de tuberculoză [9]. Acesta este cel mai mare număr de notificări de TB înregistrate într-un singur an de când Organizația Mondială a Sănătății (OMS) a început să compileze date din toate țările. Cu toate acestea, este cu aproape 3 milioane mai puțin decât cele 10,8 milioane de cazuri de TB estimate a fi apărute la nivel mondial în 2023. Pentru a elimina acest decalaj în detectarea cazurilor, țările trebuie să îmbunătățească depistarea cazurilor de TB prin screening-ul sistematic al populațiilor cu risc, așa cum recomandă OMS. Radiografia toracică (CXR) este una dintre tehnologiile critice care pot fi utilizate în acest scop. Deși accesul la CXR este în creștere, disponibilitatea profesioniștilor instruiți care pot citi corect imaginile rămâne o provocare în multe contexte.

În 2021, OMS a recomandat, pentru prima dată, utilizarea software-ului de detectare asistată de calculator (CAD) pentru interpretarea CXR-urilor la screening-ul și triajul pentru TB [3,4]. Recomandarea s-a bazat pe o analiză a datelor de acuratețe diagnostică pentru trei astfel de produse software disponibile la momentul respectiv – CAD4TB v6 (Delft Imaging), Insight CXR v1 (Lunit) și qXR v2 (Qure.ai) – pentru detectarea tuberculozei pulmonare la persoanele cu vârsta de 15 ani și peste, comparativ cu interpretarea

umană, cu confirmarea bacteriologică ca standard de referință [12].

Din 2021, numărul de produse software CAD de pe piață a crescut substanțial [8]. Pentru a ghida țările, implementatorii și finanțatorii cu privire la performanța acestor produse software, în 2024, OMS a lansat un apel deschis invitând producătorii să își prezinte software-ul CAD pentru o evaluare independent de către Grupul consultativ tehnic ((TAG)) privind diagnosticul tuberculozei și consolidarea laboratoarelor [5, 6, 10]. Evaluarea a fost efectuată utilizând o platformă independentă de validare înființată de Fundația pentru Diagnostiche noi și inovatoare (FIND) la Geneva [1].

Ghidul OMS privind utilizarea CAD, precum și evaluarea de către TAG a produselor software CAD specifice, se bazează în principal pe dovezi ale performanței diagnostice și nu include evaluarea calității produselor sau a procesului de fabricație implicat. Înainte de a introduce orice produse software noi, țările ar trebui să se asigure că respectă cerințele de reglementare locale. Conținutul acestei declarații de politică va fi încorporat în viitoarea ediție actualizată a Manualului operațional al OMS privind screeningul sistematic al tuberculozei [12].

Utilizarea radiografiei toracice (CXR) pentru screening-ul tuberculozei (TB) este o practică care datează de câteva decenii. CXR-urile sunt utilizate în mod curent pentru a examina persoanele care se prezintă la asistență medicală cu semne sau simptome sugestive pentru TB sau care prezintă factori de risc pentru dezvoltarea bolii, înainte de luarea deciziilor de a trimite pacienții pentru examinări clinice suplimentare sau bacteriologice. Utilizarea radiografiei digitale este o dezvoltare mai recentă care a permis un acces mai mare la CXR pentru screening-ul pulmonar. Extinderea ulterioară a serviciilor de screening CXR a fost cauzată de lipsa personalului medical competent în interpretarea radiografiei, ceea ce a dus la o variabilitate substanțială intra- și inter-cititor în ceea ce privește acuratețea CXR pentru detectarea anomaliilor asociate cu tuberculoza.

În ultimii 15 ani, au fost dezvoltate pachete software care oferă interpretarea automată a imaginilor digitale CXR în scopul expres de a determina probabilitatea bolii tuberculoase. Detectarea asistată de calculator (CAD) a tuberculozei oferă o soluție potențială la lipsa lucrătorilor medicali bine pregătiți pentru citirea CXR-urilor și are potențialul de a crește echitatea în ceea ce privește acoperirea intervențiilor de screening pentru tuberculoză și accesul la îngrijirea pentru tuberculoză. Numărul de produse CAD disponibile a crescut și s-a diversificat în ultimii ani, iar experiența în utilizarea lor în medii cu resurse

redușe și cu o povară mare de tuberculoză s-a extins considerabil(10).

În 2020, Organizația Mondială a Sănătății (OMS) a convocat un grup de dezvoltare a ghidurilor (GDG) pentru a evalua performanța software-ului CAD în screening-ul pentru tuberculoză în comunitate și în unitățile sanitare. Pentru reuniunea inițială a GDG, a fost efectuată o analiză a evaluărilor independente în aceste două contexte. A fost efectuată o evaluare independentă atât a screening-ului comunitar, cât și a celui în unități medicale pentru trei produse software CAD care erau pe piață până în ianuarie 2020 și care primiseră marcajul CE (Conformitate Europeană), indicând conformitatea unui produs cu directivele sau standardele Spațiului Economic European (3). Această evaluare a fost realizată de Fundația pentru Diagnostic Inovator (FIND) utilizând biblioteci de imagini CXR și date clinice asociate. Software-ul CAD generează un scor numeric de anomalie pentru fiecare citire de imagine. Operatorul stabilește de obicei un prag pentru a decide dacă un scor de la un pacient indică necesitatea trimerii pentru o evaluare diagnostică suplimentară a TB [12].

Scorurile sunt numere continue; prin urmare, sensibilitatea și specificitatea pot varia de la 0 la 100%, în funcție de locul în care este stabilit pragul. În evaluarea efectuată în 2020, fiecare program software a fost setat la un prag care corespundea unei sensibilități de 90% pentru detectarea bolii tuberculozei pulmonare pe baza unui standard de referință microbiologic (MRS). Specificitatea însoțitoare rezultată pentru software la acel prag a fost apoi raportată și comparată cu acuratețea diagnostică a cititorilor umani care interpretează RX-urile în aceleași studii. Intervalul celor mai bune estimări pentru sensibilitate și specificitate pentru programele CAD și cititorii umani s-a suprapus pentru ambele cazuri de utilizare a screening-ului.

Rezultatele au arătat variabilitatea acurateței atât pentru cititorii umani, cât și pentru programele software CAD în diferite setări și populații. Comparând intervalul de acuratețe al CAD cu cel al cititorilor umani care interpretează RX-urile și notând variabilitatea cititorilor și suprapunerea substanțială dintre cele două intervale, datele au sugerat că există o mică diferență între cele două. Cele trei tehnologii care au fost evaluate pe baza eligibilității în ianuarie 2020 au fost CAD4TB v6 (Delft Imaging), Insight CXR v1 (Lunit) și qXR v2 (Qure.ai). Ca urmare a evaluării GDG, programele software CAD au fost considerate a fi precise în comparație cu cititoarele umane. Certitudinea dovezilor a fost considerată a fi scăzută. Pe baza acestui fapt, în 2021, OMS a recomandat condiționat că: „În rândul persoanelor

cu vârsta de 15 ani și peste din populațiile în care este recomandat screeningul pentru tuberculoză, programele software de detectare asistată de calculator pot fi utilizate în locul cititoarelor umane pentru interpretarea radiografiilor toracice digitale pentru screening și triajul tuberculozei” [3].

Din 2021, numărul de produse software CAD de pe piață a crescut substanțial. A existat o cerere din partea țărilor, agențiilor de implementare și finanțatorilor ca OMS să ofere îndrumări cu privire la care dintre aceste produse software ar putea fi bazate pentru a oferi rezultate de înaltă calitate, aliniate la recomandarea OMS. Prin urmare, în 2024, OMS a lansat un apel deschis invitând producătorii să își prezinte software-ul CAD pentru o evaluare independentă de către Grupul consultativ tehnic (TAG) privind diagnosticul tuberculozei și consolidarea laboratoarelor [5, 6, 10].

Analiza principală utilizată pentru a fundamenta această evaluare TAG a software-ului CAD a fost o evaluare a estimărilor preciziei diagnostice. Aceste estimări au fost derivate dintr-o singură evaluare independentă a performanței software-ului CAD, utilizând două biblioteci agregate de imagini CXR de imagistică digitală și comunicații în medicină (DICOM și date clinice asociate).

Aceste imagini au fost prelevate din studii privind prevalența tuberculozei și alte studii reprezentând date din mai multe regiuni OMS, cu o bibliotecă de 1663 de imagini pentru screening comunitar și o bibliotecă de 2252 de imagini pentru screening în unități medicale. Din fiecare studiu sursă, au fost incluse eșantioane bazate pe un raport fix de un caz de tuberculoză la două cazuri non-TB; acest lucru a asigurat că un anumit studiu sursă nu a contribuit în mod disproporționat la estimările de performanță a sensibilității sau specificității. Standardul de referință a fost un MRS Toate CXR-urile au fost interpretate independent de către unul dintre cei doi radiologi certificați. Imaginile conținute în cele două biblioteci nu au fost puse la dispoziția producătorilor de CAD și, prin urmare, nu au fost utilizate pentru a antrena software-ul lor [2].

Aria totală de sub curbă (AUC) oferă o evaluare generală a performanței CAD și a fost calculate pentru fiecare produs software utilizând MRS. Cu toate acestea, TAG a considerat o AUC parțială (pAUC) ca fiind un indice de performanță mai bun în domeniul cel mai relevant pentru practica clinică. Prin urmare, au fost derivate și pAUC-urile pentru fiecare produs software, limitate la intervalul de specificitate de 40-60%. Sensibilitatea și specificitatea fiecărui produs software CAD în raport cu un MRS au fost derivate și comparate cu estimările cititorului uman în fiecare

cadru de screening. Specificitățile corespunzătoare ale produselor software au fost evaluate la pragul de sensibilitate de 90%, fiind criteriul minim recomandat de profilul respectiv al produsului țintă al OMS (TPP) [3, 4]. Limita inferioară a intervalului de încredere de 95% pentru specificitatea cititorului uman în cazul de utilizare al screeningului bazat pe comunitate a fost de 41%; TAG a folosit acest lucru pentru a evalua limita inferioară de acceptare a performanței produselor software.

Membrii TAG au convenit asupra a două criterii pe care un produs software CAD trebuie să le îndeplinească pentru a îndeplini standardele de performanță ale OMS pentru utilizarea CAD:

- pAUC în jurul intervalului de specificitate de 40–60% ar trebui să atingă cel puțin 0,9. În scopul acestei evaluări, TAG a acceptat că un produs software CAD ar fi considerat a îndeplini standardul dacă limita superioară a intervalului de încredere de 95% al pAUC include 0,9;

- specificitatea la sensibilitatea de 90% ar trebui să atingă cel puțin 40%, ca punct limită relevant clinic pentru implementarea screening-ului.

Aceste două criterii trebuiau îndeplinite atât în cazurile de utilizare a screening-ului bazat pe comunitate, cât și în cele bazate pe unități medicale. TAG a considerat că aprobarea unui produs software CAD doar pentru un singur caz de utilizare nu ar fi practică de implementat și ar crea confuzie.

Valoarea limită de 90% pentru sensibilitate a fost considerată o metrică importantă pentru performanță, având în vedere că aceasta a fost valoarea minimă în TPP relevant; de asemenea, este apropiată de sensibilitatea radiologilor experți care au evaluat imaginile CXR pe platforma de validare (94%). TAG a recunoscut că limita de specificitate aleasă de 40% (la o sensibilitate de 90%) a fost sub 70% recomandată în TPP, dar a fost mai apropiată de performanța cititorilor CXR experți umani, care sunt utilizate pe scară largă și rămân cruciale pentru screening.

AUC-ul (pAUC) în intervalul de specificitate de 40-60% a fost considerat a reflecta mai bine performanța clinic pertinentă software-ului CAD, comparativ cu AUC-ul general.

Asigurarea faptului că produsele software CAD pot funcționa bine atât în screening-ul comunitar, cât și în cel bazat pe unități medicale este important pentru a oferi programelor naționale de tuberculoză claritate în achiziții și implementare.

Deși versiunile celor trei produse software CAD evaluate pentru ghidurile de screening din 2021 pot continua să fie folosite, în practică acestea sunt înlocuite cu programele mai noi, iar implementatorii cu actualizarea produselor software mai noi, aprobate

de TAG. Grupul recunoaște că țările ar putea fi nevoite să actualizeze sau să înlocuiască software-ul dacă performanța acestuia se dovedește a fi sub standarde [12]. Versiunile de software, altele decât cele revizuite de GDG pentru ghidurile de screening din 2021 și de TAG în 2025, nu ar trebui considerate ca îndeplinirea standardelor de performanță ale OMS pentru CAD.

Implementarea produselor software CAD va varia în funcție de context, în funcție de obiectiv și priorități locale: unii implementatori favorizează o sensibilitate mai mare în screening, pentru a maximiza detectarea cazurilor, în timp ce alții favorizează o specificitate mai mare, pentru a utiliza cel mai bine resursele pentru testarea confirmării și pentru a nu suprasolicita capacitatea laboratorului radiologic.

Pragul selectat, performanța produsului software va varia în funcție de hardware-ul cu care este utilizat și de populația în care este implementat. Setările optime ale pragului CAD vor depinde de obiectivele și prioritățile implementatorilor. Calibrarea acestor sisteme este esențială pentru implementare, având în vedere variația performanței între diferite praguri.

Integrarea CAD în sistemele de informații medicale este esențială, pentru a asigura securitatea datelor pentru persoane supuse screening-ului și pentru a permite implementarea programatică a screening-ului.

Profesioniști din domeniul sănătății pledează pentru un rol esențial în implementarea CAD, asigurându-se că hardware-ul și software-ul sunt corecte [1].

Detectarea anomaliilor non-TB la persoanele supuse screening-ului este importantă pentru asigurarea examinărilor clinico-diagnostice calitative.

Deși evaluarea TAG nu a luat în considerare utilizarea software-ului CAD pentru detectarea modificărilor non-TB și a altor afecțiuni decât TB, persoane care au prezentat aceste constatări clinice, în special persoane care trăiesc cu HIV, au nevoie de investigații suplimentare adecvate [11]. Sarcina producătorilor să ofere mai multe informații despre alte aspecte ale software-ului care vor fi necesare pentru a satisface cerințele autorităților de reglementare, cum ar fi certificate, planuri de dezvoltare și procesul de actualizare a unei versiuni de software [7].

TAG a confirmat, că tehnologia CAD avansează rapid și se așteaptă că produsele software să continue să se perfecțeze și să devină mai precise în viitor [11]. În scopul evaluării actuale, a fost acceptabil ca pragul de 0,9 pentru pAUC să fie atins de limită superioară de încredere de 95% (observând că acest criteriu ar putea fi atins de produse software care au performanțe slabe, dar au intervale de încredere mai largi). Totuși, în viitor, pe măsură ce tehnologia

se va dezvolta și optimizarea produselor software se îmbunătățesc, acest prag ar trebui să prindă cea mai bună estimare [12].

Impunerea unei cerințe ca produsele software să funcționeze adecvat atât în cadrul screening-ului comunitar, cât și în cadrul screening-ului la nivel de unitate sanitară va stimula producătorii să continue să testeze și să perfecționeze performanța pentru ambele cazuri de utilizare. TAG a evidențiat, de asemenea, importanța cercetărilor pentru a fundamenta evaluările viitoare:

- date suplimentare și analize privind costurile, eficiența costurilor și aspectele de implementare a CAD, cum ar fi fezabilitatea, acceptabilitatea, compatibilitatea cu diferite componente hardware și sisteme de asistență pentru produsele software CAD;

- cercetare de implementare privind cea optimă integrare a CAD în algoritmii pentru diagnosticarea tuberculozei și desemenarea pentru excluderea tuberculozei înainte de inițierea tratamentului preventiv pentru tuberculoză, pentru a reduce întârzierile în acordarea asistenței medicale;

- evaluarea suplimentară a performanței software-ului CAD în subgrupuri cheie, cum ar fi persoanele care trăiesc cu HIV, persoanele cu antecedente de tuberculoză, grupele de vârstă mai înaintată și femeile.

În plus, cercetarea performanței produselor software CAD dincolo de recomandarea actuală a OMS este importantă pentru dezvoltarea continuă a unor astfel de instrumente, în special pentru detectarea cazurilor de TB la persoanele mature, pentru care MRS este insuficient și pentru alte afecțiuni decât tuberculoza, ca parte a unei abordări integrate a sănătății pulmonare [11,12].

Concluzie.

Tehnologia de detectare asistată de computer (CAD AI) în screening-ul sistematic al tuberculozei pulmonare - CAD4TB este cea mai riguros validată tehnologie CAD pentru screening-ul și triajul TB.

Detectarea asistată de computer (CAD AI) este un instrument de interpretare pentru radiografia toracică care poate oferi o interpretare rapidă și automată a rezultatelor radiografiei și poate fi utilizat în plus la descrierea medicului radiolog.

Rezultatele obținute evidențiază performanța operațională, rentabilitatea și fiabilitatea. Aceasta include acuratețea, debitul zilnic, rentabilitatea, economisirea cartușelor Xpert și beneficiile integrării CAD4TB în algoritmii de screening TB.

Utilizarea instalațiilor radiologice ultraportabile va contribui la depistarea precoce a tuberculozei pulmonare și la inițierea promptă a tratamentului și, prin urmare, poate reduce răspândirea bolii în comunitate.

Bibliografie.

1. Nash M, Kadavigere R, Andrade J, Sukumar CA, Chawla K, Shenoy VP et al. *Deep learning, computer-aided radiography reading for tuberculosis: a diagnostic accuracy study from a tertiary hospital in India*. Sci Rep. 2020;10:210 [https://doi.org/10.1038/s41598-019-56589-3].
- 2 Murphy K, Habib SS, Zaidi SMA, Khowaja S, Khan A, Melendez J et al. *Computer aided detection of tuberculosis on chest radiographs: an evaluation of the CAD4TB v6 system*. Sci Rep. 2020;10:5492 (https://www.nature.com/articles/s41598-020-62148-y).
3. WHO consolidated guidelines on tuberculosis. *Module 2: Screening – systematic screening for tuberculosis disease*. Geneva: World Health Organization; 2021 [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/340255/9789240022676-eng.pdf].
4. WHO operational handbook on tuberculosis. *Module 2: Screening – systematic screening for tuberculosis disease*. Geneva: World Health Organization; 2021 [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/340256/9789240022614-eng.pdf].
5. *Technical Advisory Group on Tuberculosis Diagnostics and Laboratory Strengthening*. World Health Organization; 2021 [https://www.who.int/groups/technical-advisory-group-on-tuberculosis-diagnostics-and-laboratory-strengthening].
6. *Global tuberculosis report 2022*. Geneva: World Health Organization; 2022 [https://www.who.int/teams/global-tuberculosis-programme/tb-reports/global-tuberculosis-report-2022].
7. *WHO operational handbook on tuberculosis: module 1: prevention: infection prevention and control*. Geneva: World Health Organization; 2023
8. *AI4HLTH: Artificial intelligence products for tuberculosis healthcare [website]*. Stop TB Partnership and FIND; 2023 [https://www.ai4hlth.org].
9. *Global tuberculosis report 2024*. Geneva: World Health Organization; 2024 [https://www.who.int/publications/i/item/9789240101531].
10. *Call for expression of interest by manufacturers of software for computer-aided detection of tuberculosis [CAD] to submit products for WHO expert assessment [website]*. World Health Organization; 2024 [https://www.who.int/news-room/articles-detail/call-for-expression-of-interest-by-manufacturers-of-software-for-computer-aided-detection-of-tuberculosis-[cad]-to-submit-products-for-who-expert-assessment].
11. *Validation Platform for AI-based diagnostic evaluation [website]*. FIND; 2025 [https://www.finddx.org/what-we-do/projects/validation-platform-for-ai-based-diagnostic-evaluation/].
12. „Use of computer-aided detection software for tuberculosis screening: WHO policy statement” [ISBN 978-92-4-011037-3 / 978-92-4-011038-0] is a World Health Organization.