

Képalkotó technikák az interstitialis tüdőbetegségekben

dr. Tárnoki Dávid László^{1,2}, dr. Tárnoki Ádám Domonkos^{1,2}

¹ Semmelweis Egyetem Orvosi Képalkotó Klinika, Budapest

² Országos Onkológiai Intézet, Onkológiai Képalkotó és Invazív Diagnosztikai Központ, Nemzeti Tumorbiológiai Laboratórium

Az interstitialis tüdőbetegségek (ILD) képalkotása igen bonyolult terület. A multidiszciplináris (ILD) teamen belül fontos szerep jut a radiológus által meghatározott mintázatnak. AzILD gold standard képalkotó módszere a HRCT, amely mellett pár éve megjelent a fotonszámológó CT technika (PCCT), ami jobb képminőséget biztosít, általa a mintázatok megítélése is pontosabb, mivel 0,2 mm-es szeletvastagság is elérhető, mindemellett alacsonyabb sugárterheléssel jár. A mellkasi ultrahang kiváló kiegészítő módszer, amely során műtermékeket keresünk, s lehetőséget nyújthat az ismertILD-s betegek osztályon való napi monitorozásában. Mindemellett a rekesz kitérésének vizsgálatában használható az M-módú ultrahang technika, mellyel az átvilágítás kiváltható lehet. Az utóbbi években az MR és a nukleáris medicina által is további ismereteket szereztünk azILD tekintetében, mint például az aktív gyulladásos területek elkülönítése a stabil fibrotikus régióktól, vagy a progresszió előrejelzése.

Kulcsszavak: interstitialis tüdőbetegség, progresszió

Imaging techniques in interstitial lung diseases

Imaging of interstitial lung diseases (ILD) is a very complex field. Within the multidisciplinary (ILD) team, the pattern defined by the radiologist plays an important role. The gold standard imaging method ofILD is high resolution CT (HRCT), in addition to which the photon-counting CT technique (PCCT) appeared a few years ago, which provides better image quality and makes the assessment of patterns more accurate, as a slice thickness of 0.2 mm is also available, and it also involves lower radiation exposure. Chest ultrasound is an excellent additional method, during which we look for artifacts, and it can provide an opportunity for daily monitoring of patients with knownILD in the ward. In addition, the M-mode ultrasound technique can be used to examine the movement of the diaphragm, instead of using fluoroscopy. In recent years, MR and nuclear medicine have also gained additional knowledge regardingILD, such as the separation of active inflammatory areas from stable fibrotic regions, or the prediction of progression.

Keywords: interstitial lung diseases, progression

Bevezetés

Az intersticiális tüdőbetegségek (ILD) a tüdő kötőszövetes vázának, interstitiumának diffúz gyulladást és hegesedést okozó betegségek csoportja. Az ILD-k diffúz parenchymális tüdőbetegségek egy csoportját képezik, prevalenciájuk férfiaknál 81/100000, a nőknél 67/100000-re tehető (1). Az IPF túlélése rosszabb, mint több daganatos betegség, akár a tüdőrák: 3-5 év kezeletlen esetekben (2).

Az ILD-k jelenlegi osztályozása főképp a mögöttes etiológiai, ill. a klinikai, radiológiai és patológiai tulajdonságok alapján történik az ATS/ERS/JRS/ALAT aktuális, idiopathias tüdőfibroszra (IPF) vonatkozó irányelvei szerint (3, 4), amely alapján az ILD-k négy fő csoportba sorolhatók:

- az ismert etiológiájú vagy ismert betegséggel kapcsolatos intersticiális tüdőbetegségek,
- granulomatosus betegségek,
- ritka ILD-k, jól definiálható klinikai-patológiai elváltozásokkal,
- idiopathiás intersticiális pneumóniák (IIP).

Az ILD-k körülbelül kétharmada idiopathiás, míg egyharmadért ismert endogén vagy exogén okok felelősek, beleértve a környezeti / foglalkozási tényezőket, fertőzéseket, gyógyszereket, kábítószert és az irradatiót.

A legelterjedtebb formák közé tartozik többek között az IPF és a kötőszöveti betegséggel összefüggő intersticiális tüdőbetegségek (CTD-ILD). Az IPF és a nem-IPF ILD elkülönítése igen fontos, mivel az IPF-es betegek rosszabb prognózisúak a többi fibrotikus ILD-hez képest, illetve eltérő gyógyszeres kezelést is kívánnak, amely kezelési módszerek a légzésfunkció csökkenés mértékének csökkenéséhez vagy stabilizálásához vezetnek (5).

Az ATS/ERS/JRS/ALAT aktuális irányelve alapján minden ILD-ben szenvedő beteg számára részletes kivizsgálás szükséges a betegség konkrét okainak kiderítése érdekében, beleértve a környezeti expozíció, a gyógyszerhasználat és a szerológiai vizsgálatokat.

Az ILD-k gold standard képalkotó módszere a vékony szeletes CT (HRCT) technika, amely mellett napjainkban megjelent fotonszámláló CT be-

rendezések (PCCT) új utakat nyithatnak a betegség további megismerésében. Mindezek mellett a tüdő képalkotásában további képalkotó módszerek, mint például az ultrahang (UH), mágneses rezonancia képalkotás (MR) és a molekuláris képalkotás (pl. pozitronemissziós tomográfia, PET és a foton emissziós számítógépes tomográfia, SPECT) is kezdenek teret nyerni az utóbbi évek kutatásainak eredményei alapján az intersticiális tüdőbetegségekben, hogy addicionális prognosztikai, funkcionális és molekuláris információkat nyújtsanak (6). Ezen nem invazív képalkotó módszerekkel új információkat nyerhetünk az ILD kezelésének javításában, egyes betegségek molekuláris jellemzőinek felismerésében, személyre szabott kezelési módszerek segítségével.

Az ILD alapvizsgálatról, a mellkasröntgenről csak említést teszünk, melynek során a tüdő interstitiumának beszűrődése basalis dominanciájú retikuláris rajzolatfokozódással jár, mely deformálhatja a tüdő normális alapstruktúráját, és súlyos esetben lépesméz tüdő is kialakulhat. A következőkben az ILD diagnosztikájában szerepet játszó egyéb képalkotó technikákat foglaljuk össze.

HRCT

A gold standard vékony szeletes (~0,9 –1,1 mm) HRCT technika a szekunder lobulust ábrázolja, ugyanis ezen a szinten zajlanak a fibrotikus eltérések. A HRCT vizsgálatot fibrózis gyanú esetén hason fekvő helyzetben javasolt elvégezni (dependencia zavaró jeleinek elkerülése miatt, bár erre nincs nemzetközi ajánlás), ill. kislégúti betegség gyanúja esetén kilégzéssel sorozat (pl. air trapping kizárására hiperszenzitív pneumonitis, HP esetén) is szükséges. A „hagyományos” vastagszeletes mellkas CT-vel (2–3 mm-es szeletvastagság) ezen alapegység nem vizualizálható.

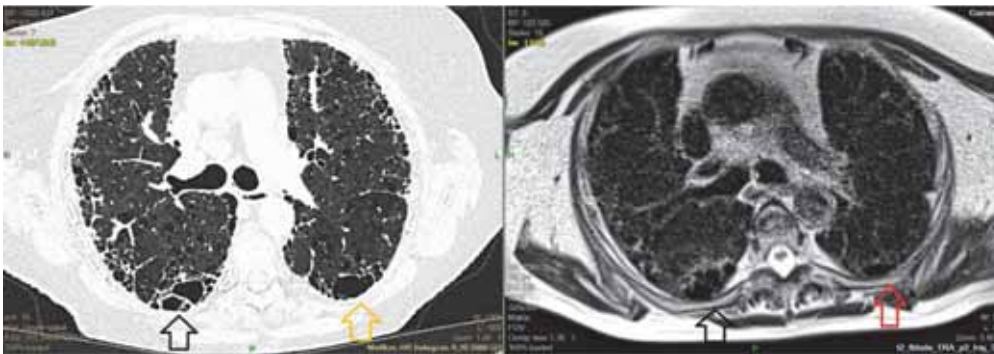
A CT-vizsgálatot spirál üzemmódban, 120 kVp, 2000 mA, 0,5 mp rotációs idő, 0,5 mm-es kollimáció és HRCT kernel beállítások mellett javasolt elvégezni. A CT-felvételek rekonstrukciója 1 mm-es szeletvastagsággal javasolt, axiális, koronális és sagittális síkban. Amennyiben a sugárdózist

csökkentjük (pl. low-dose CT technika esetén), az a képminőség romlásával járhat együtt, ami akadályozza az ILD-ben előforduló finom tüdőparenchymális elváltozások megítélését.

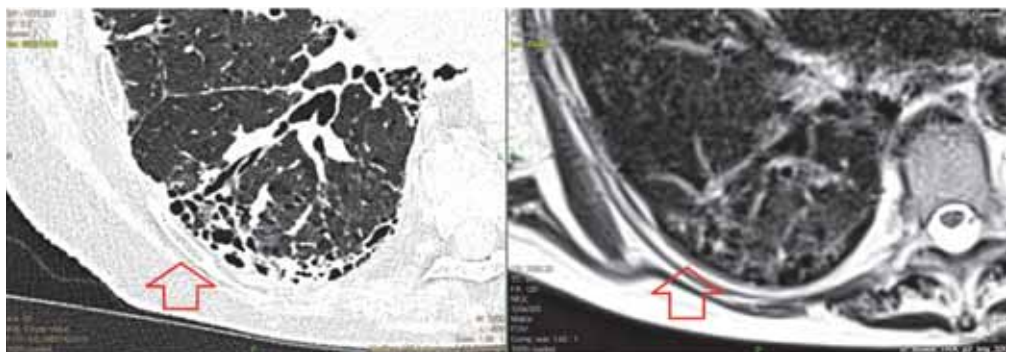
Számos kutatás segítségével kifejlesztésre kerültek olyan számítógépes képelemzési és diagnosztikai technikák (pl. computer aided diagnosis, CAD, illetve mesterséges intelligencia, AI algoritmusok), amelyek a HRCT-vizsgálatokon segítik az ILD-k hatékonyabb diagnosztizálását. Az elmúlt évtizedben ugyanis nő az érdeklődés az ILD-k objektív számszerűsítésére szolgáló számítógépes módszerek iránt, melyben a mély tanuláson (deep learning) alapuló képelemzés megjelenése új lehetőségeket teremtett. Ennek legfontosabb területe a diagnózis segítése, főként olyan radiológiai centrumokban,

ahol nincs ILD-ben jártas radiológus, továbbá a betegség korai felismerésére és a betegség prognózisának előrejelzése (7).

A HRCT mintázatok pontos elkülönítése igen fontos, mivel nemcsak a betegségek túlélése eltérő (néhány hónap, év, akár évtized), hanem adott betegségek terápiás vonatkozásai is különbözőek: szteroidkezelés, standard immunszuppresszió, valamint napjaikban egyre nagyobb figyelmet kapó antifibrotikus szerek (pl. nintedanib, pirferidon). A radiológiai mintázatok gyakran egymásba át is mehetnek, gyakran atípusosak, valamint akár keveredhetnek is egymással. A pontos radiológiai diagnosztika ezért sokszor nagy kihívást jelent, és multidiszciplináris együttműködést igényel a pulmonológusok, immunológusok, patológusok, valamint



1a. ábra 62 éves RA miatt gondozott COPD-s nőbeteg, CPFE-definitív UIP mintázat PCCT képe (bal oldal) honeycombinggal (fekete és sárga nyíl), illetve mellkasi MR vizsgálattal (jobb oldali kép) azonos szinten (fekete és piros nyíl)



1b. ábra 62 éves RA miatt gondozott COPD-s nőbeteg, CPFE-definitív UIP mintázat PCCT képe (bal oldal) honeycombinggal és tractios bronchiectasiával (piros nyíl), illetve mellkasi MR vizsgálattal (jobb oldali kép)

a radiológusok részéről a klinikai adatok integrálása, valamint a betegség radiológiai mintázatainak értelmezése érdekében.

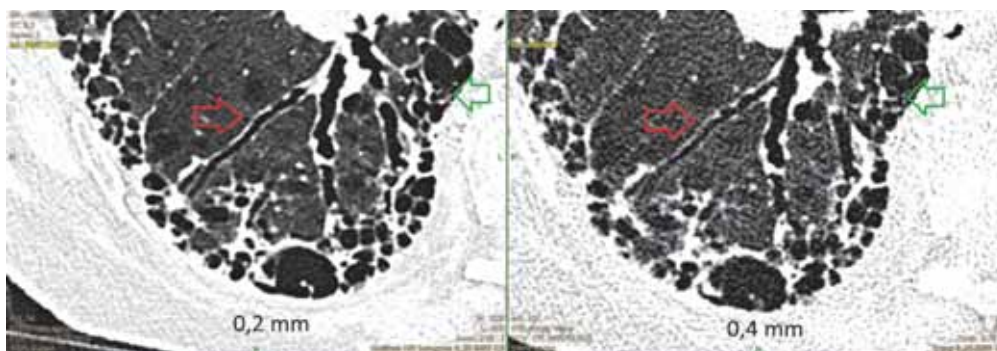
A legrosszabb prognózissal járó mintázat az UIP, amelynek radiológiai kategóriái: definitív UIP, valószínű UIP (probable UIP), meghatározhatatlan UIP (indeterminate for UIP) és az alternatív diagnózis (8).

A definitív UIP radiológiai mintázatát jellemzi a kétoldali bazális és subpleurális elhelyezkedésű retikuláció és a lépesméz rajzolat (honeycombing), a perifériás traktiós bronchiectasia és bronchiolectasia. Ezen mintázat leírása esetén a biopszia elvégzése nem szükséges. A HRCT segíthet továbbá a biopszia helyének megválasztásában (1a, b. ábra).

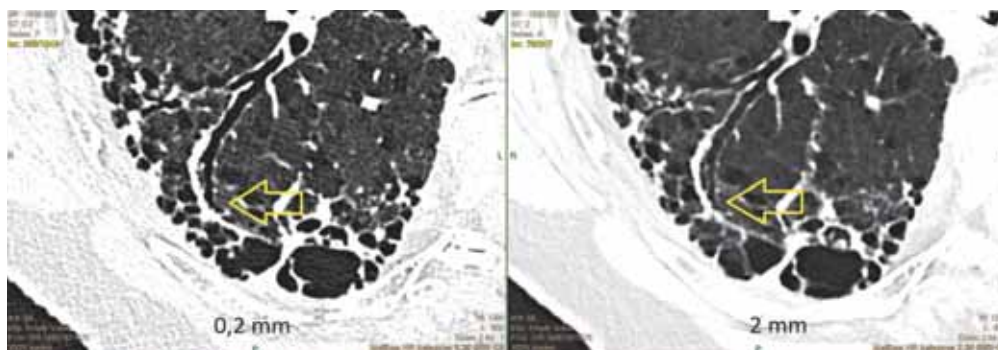
A valószínű UIP (pUIP) esetén a definitív UIP-hez képest annyi a különbség, hogy nincs lépesméz rajzolat (honeycombing).

A meghatározatlan UIP mintázatnál basalis és subpleurális fibrosis látható, enyhe retikulációval, GGO-val és/vagy szerkezeti dystorsióval, valamint egyéb, specifikus etiológiára nem utaló jelekkel. Utóbbi mintázatoknál az ILD team dönt arról, hogy milyen további vizsgálatok szükségesek a diagnózis felállításához, amennyiben az ATS/ERS/JRS/ALAT által ajánlott műtéti tüdőbiopszia nem lehetséges.

A diagnózis megerősítésére a bronchoalveoláris lavage és a tüdőbiopszia is alkalmazható (9).



1c. ábra 62 éves RA miatt gondozott COPD-s nőbeteg, CPFE-definitív UIP mintázat. PCCT kép, a bal oldali 0,2 mm vastag UHR képen csaknem a pleuráig követhető a bronchiolectasia (piros nyíl), honeycombinggal, míg a jobb oldali képen 0,4 mm vastag szelettel már kissé elmosódottabb kontúrú bronchiolus látszik.



1d. ábra 62 éves RA miatt gondozott COPD-s nőbeteg, CPFE-definitív UIP mintázat. PCCT kép, a bal oldali 0,2 mm vastag UHR képen csaknem a pleuráig követhető a bronchiolectasia (sárga nyíl), honeycombinggal, míg a jobb oldali képen 2 mm vastag szeletes képen kissé elmosódottabb falú bronchiolus látszik.

A fibrosist kísérő aktív gyulladás tejüveg-homályként mutatkozik.

CTD-ILD-k esetén szükséges a betegség kiterjedésének megítélése a CT vizsgálaton, melyre a legelterjedtebb módszer a vizuális szemikvantitatív HRCT-pontszám elemzés (9), a *Wangkaew. és mtsai.* által használt szemikvantitatív pontozás az öt lebeny GG, fibrosis, bronchiectasia és honeycombing kiterjedését méri (10). CTD-ILD esetén terápia jelentőségű, hogy 25% feletti vagy alatti a vizuális szemikvantitatív fibrotikus pontszám, mely korrelációt mutat a túléléssel, különösen enyhe betegségben szenvedő betegeknél (11). A kvalitatív (vizuális) és szemikvantitatív képalkotó technikák azonban korlátozottan használhatók a betegség progressziójában bekövetkező finom változások kimutatására (11). A korábban említett kvantitatív képalkotás, beleértve a textúra-alapú analízist a gépi és mély tanulással összekapcsolva, egy új és ígéretes megközelítés, amely lehetővé teszi a pontosabb megítélést (12).

A CT-követés hasznos lehet továbbá az alapbetegséggel nem összefüggő szövődmények kimutatására, mint a fertőzések, akut exacerbációk és da-ganatok (13).

Photon counting CT (PCCT)

Az utóbbi évtized fejlesztéseinek eredménye a CT technológiában megjelent fotonszámoló CT (photon counting CT, PCCT), amelynek megjelenésével nagyban javult a képminőség főként a mellkasi, musculoskeletális, gastrointestinalis, cardiovascularis, és molekuláris képalkotás terén, mely mellett a sugárterhelés is csökkent.

A PCCT új röntgensugár-detektorral, azaz a fotonszámoló detektorral (PCD) működik a hagyományos energiaintegráló detektorok (EID) helyett. A PCD-k olyan vegyületekből készülnek (pl. szilícium, kadmium-tellurid), amelyek minden egyes röntgenfotont közvetlenül elektromos impulzussá alakítanak át, lehetővé téve a kisebb detektor pixel méretet, a fotonok energiájának felbontását, ezáltal a zaj csökken, a térbeli felbontás emelkedik, a sugárkeményedés és a röntgensugár-dózis is csök-

kenthető (14-15). A PCD detektorok energiafelbontó képessége révén elsőként lehetővé vált a spektrális bázisú képalkotás (pl. monoenergetikus képalkotást vagy a víz/jód anyagú képalkotást). A PCCT-vel ultra-magas felbontású (UHR) CT képeket lehet készíteni min. 0,25 mm-es szeletvastagsággal (16).

Az ILD mintázatok felismeréséhez igen nagy térbeli felbontásra van szükség, mivel a legfontosabb jelek, pl. az intralobuláris retikulációk, a bronchiectasia, honeycombing a szekunder lobulusok szintjén ábrázolódnak, a fent említett PCCT előnyei miatt a mintázatok jobb felismerése lehetséges, akár egy korai stádiumú ILD esetében is. Egy nem régi közleményben az ILD-s betegeknél a PCCT a distalisabb hörgőosztlásokat is tudták vizualizálni, ill. harmad/negyed/ötödrendű hörgő-falak is jobban láthatóak voltak (17) (*1c,d. ábra*).

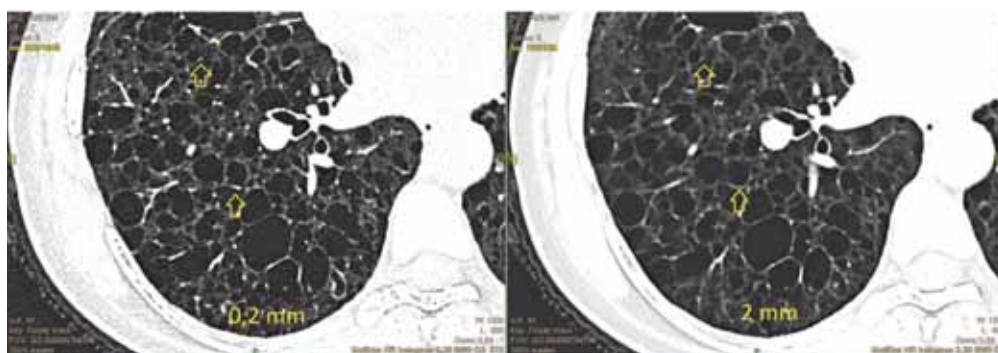
Hasonlóképpen, egy hazai vizsgálatban 61 RA-ban szenvedő betegnél, akiknél korábban nem volt definitív ILD diagnózis, nagy felbontású (HR, 0,4 mm-es szeletvastagság) és ultra-nagy felbontású (UHR, 0,2 mm-es szeletvastagság) végeztek PCCT vizsgálatot, melynek során a retikuláció és a bronchiectasia jobban ábrázolódtott az UHR méréseken a HR protokollhoz képest, míg a GGO és a honeycombing megítélése nem különbözött a két technika között, mindemellett alacsonyabb effektív sugárdózissal járt (18).

Számos kutatás zajlik napjainkban annak meghatározására, hogy meghatározzák a PCD-CT-ben rejlő lehetőségeket, sok helyen a hagyományos CT alternatívájaként használva a mellkas képalkotásában, új perspektívákat nyitva. Főként a tüdőnodulusok megítélésében történtek kutatások. ILD témakörében kevés még az irodalom. *Jungblut és mtsai.* az ILD-ben szenvedő szisztémás sclerosis (SSc) betegek PCCT vizsgálatának dóziscsökkentését elemezték. Eredményeik kimutatták, hogy a PCCT a hagyományos EID-s detektoros CT-rendszerekhez képest csökkentheti a sugárdózist a képminőség és a diagnosztikai teljesítmény fenntartása mellett, SSc-ILD vizsgálata során (19).

Összefoglalva, a PCCT előnye a hagyományos CT-hez és a HRCT-hez képest nagyobb térbeli felbontás, a finomabb elváltozások, valamint a tüdő-



2a. ábra 53 éves Lymphangioleiomyomatosisal gondozott nőbeteg, korábban több alkalommal ptx és mko. pleurodesis, VATS thoracotomia történt. Bal oldalon 0,2 mm-es szeletvastagságú, jobb oldalon 2 mm vastag szeletvastagságú PCCT kép, amelyen a lymphangioleiomyomatosisra jellemző cystosus elváltozások ábrázolódnak.



2b. ábra 53 éves Lymphangioleiomyomatosisal gondozott nőbeteg, korábban több alkalommal ptx és mko. pleurodesis, VATS thoracotomia történt. Bal oldalon 0,2 mm-es szeletvastagságú, jobb oldalon 2 mm vastag szeletvastagságú PCCT kép. A 0,2 mm-es UHR képen sokkal jobban kivehetők kisebb cysták, illetve a cysták falaiban lévő érkepletek (sárga nyilak), mint a 2 mm-es szeleteken.



3. ábra 64 éves IPF miatt nintedanib terápiában részesülő férfi, VATS UIP mintázatot igazolt. PCCT képek, pUIP-mintázat. A bal oldali 0,2 mm-es képen igen jó felbontásban látható a pleuráig kiterjedő tractios bronchiectasia, míg a jobb oldali 2 mm-es szeleten kevésbé jó felbontásban észlelhető (sárga nyíl).

nodulusok térfogatának jobb értékelése és a tüdőerek jobb láthatósága, amely fontos az ILD-k képalakításában is (2a,b. ábra).

UH

Az ultrahang alkalmazása a pleurális folyadékok, az alveoláris szindróma, az interstitialis szindróma, a pneumothorax, perifériás consolidatio ill. az akut légzési elégtelenség (BLUE protokoll) megítélésében nyert teret az utóbbi évtizedben. A mellkasi ultrahang elvégzése standardizáltan javasolt, ülő (posterior) vagy fekvő (anterior területek vizsgálatára) helyzetben, intercostalis résekben vizsgálva lineáris transducerrel, pl. a BLUE pontok alkalmazása révén (elülső mellkasfalán felső és alsó BLUE pontok, ill. PLAPS pont a hátsó axilláris vonal mögött) (20). Fontos megemlíteni, hogy a tüdő felszínének kb. 20%-a transthoracalisán nem vizsgálható (axilla retroscapularis, periclavicularis és a hónalj felső részei).

A denevér jel a két borda és az azok között elhelyezkedő parietális pleura adja. Normál légzőmozgások során B-módban a tüdőcsúszás (lung sliding) észlelhető, amely M-módban a tengerparti jelet eredményezi. Az A-vonalak a pleurális vonal szabályos időközönként megjelenő vízszintes műtermékek. A B-vonal, normális egyéneknél is észlelhető (3-4 db), pleurától kiinduló függőleges vonal, amely ILD-s betegek esetében számtalan látható (21).

ILD-k esetében számtalan diffúzan elhelyezkedő B-vonal (főleg dorsobasalis területeken), irreguláris pleurális vonallal, subpleurális eltérésekkel (kis echoszegény képletek), ill. ritkán minimális pleurális folyadékkal ábrázolódhatnak. Természetesen a gold standard HRCT marad továbbra is az ILD-k képalakító módszere, az UH kép a CT-minitázat ismeretében mérvadó. A tüdő UH-gal elsősorban az interstitialis eltérések követése lehetséges (B-vonalak száma). Minél több B-vonal látható, annál súlyosabb az eltérés.

A rekesz mozgása jobb oldalon a máj, bal oldalon a lép ablakán keresztül M-módban vizsgálható, ILD-s betegekben gyakorta előforduló csökkent rekeszkitérés esetén kiemelt fontosságú.

Napjainkban a mellkasi UH kiegészítő szereppel bír az ILD-k képalakításában (pl. rekeszkitérés) a gold standard HRCT mellett, jelenleg a tüdő UH alkalmazását egyik irányelv sem veszi figyelembe (22) (4 a, b. ábra).

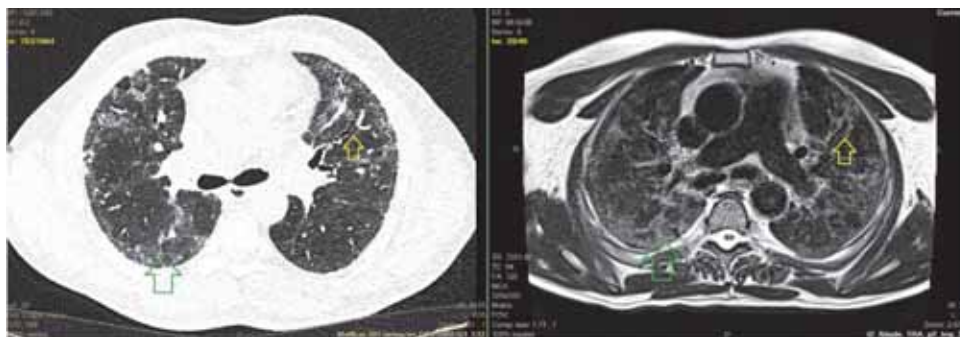
Egyéb képalakító módszerek

MR

Annak ellenére, hogy a HRCT továbbra is az első számú képalakító módszer az ILD-k vizsgálatára, az MR képalakítás új fejlesztései által a durvább parenchymalis eltérések, a gyulladáshoz kapcsolódó aktivitás megjelenítése javult, azonban IPF-ben mellkasi MR



4. a-b ábra 68 éves férfi, HRCT-vel igazolt IPF, nintedanib kezelés alatt áll. **A)** M-módban tengerpart jel, amely a szabályos tüdő-csúszást igazolja: fenn a tenger (statikus mellkasfal), alul a homokos part látható (mozgó pleura) a bal oldali képen. A jobb oldali képen a pleurából kiinduló egy-egy B-vonal látható (sárga nyíl). **B)** M-módban a rekeszi kitérés is vizsgálható, számszerűsíthető (bal oldali kép).



5. ábra 64 éves IPF miatt nintedanib terápiaiban részesülő férfi, VATS UIP mintázatot igazolt. Bal oldali PCCT képen pUIP-mintázat látható GGO-val (zöld nyíl) és bronchiectasiával (sárga nyíl). Jobb oldali mellkasi MR-en (0,55T) a tractios bronchiectasia az UHR PCCT-hez (0,2 mm) hasonlóan felismerhető (sárga nyíl), csakúgy mint a dorsalis reticulatio és GGO T2 hyperintenzitásként (zöld nyíl) a T2 BLADE sorozaton.



6. ábra 62 éves RA miatt CFPE-definitív UIP mintázattal gondozott COPD-s nőbeteg. A mellkasi MR lehetőséget biztosít a dinamikus szekvenciák (TRUFI) segítségével a rekeszkitérés kvantitatív megismerésére, bármely síkban.

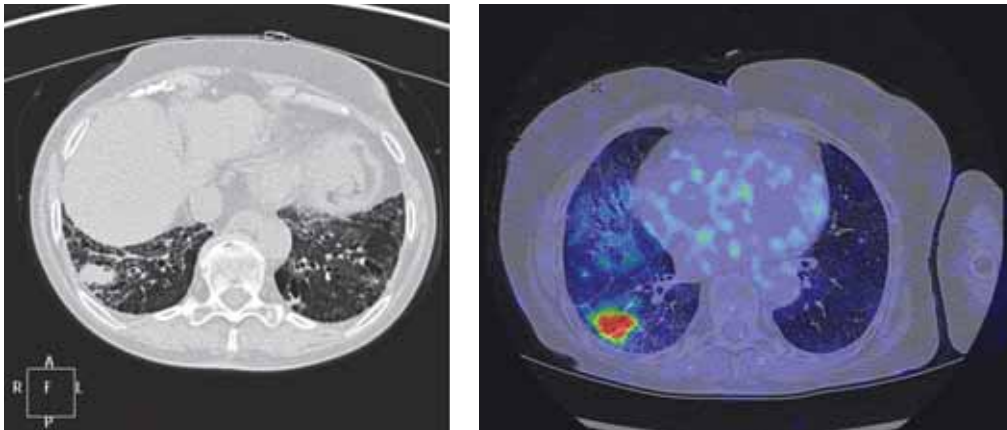
alkalmazására még nincs evidencia a cystás tüdőbetegségeken kívül.

A tüdő alacsony protonszűrősége korlátozza az MR számára detektálható jelet a zavaró szuszceptibilitási és mozgási műtermékek mellett, azonban új szekvenciák, a jobb akvizíciós technikák és a képfelbontás javulásával jobban vizualizálhatóvá vált a tüdő, azonban a CT-hez képest változatlanul kisebb az MR térbeli felbontása (23).

A vizsgálat lélegzet visszatartással, vagy légzés triggerelten (pl. Fast T2-súlyozott spin-echo szekvencia) végezhető. Az interstitialis elváltozások T2-súlyozott szekvenciákon növelik a parenchyma szignálintenzitását, a mellkasfal izmaihoz hasonló jelet mutatnak, így a T2 súlyozott képeken az infiltrátumok, mucus, folyadékgyülemek és gyulladásos bronchusfali megvastagodások válhatnak láthatóvá.

Az alveolitis is magas jelet adhat T2-súlyozott mérésen, amely a terápiás válasz egyik jeleként is követhető kontroll vizsgálatok során, illetve az aktív gyulladásos vagy stabil fibrotikus eltérések elkülönítésében segít. Kontrasztanyag adását követően (3D-GRE szekvenciákon) a gyulladásos területek magasabb jelintenzitást mutatnak 1 vagy 3 perces sorozatokon, majd kimosódás jeleit mutatják (24-26).

A T1 súlyozott 3D GRE szekvenciákon leginkább a nodulusok, consolidatiók és a mediastinum ítéhető meg (27). A steady-state free-precession GRE képeken a rövid echo és akvizíciós időnek köszönhetően a mozgási műtermékek kevésbé zavaróak, ezek szekvencia a tüdőfibrozisra kb. 89%-os, a GGO-ra kb. 75%-os, a trakciós bronchiectasiara kb. 67%-os, a cystás fibroszra 45%-os szenzitivitással bír. (28) A TrueFISP szekvenciák hasznosak



7 a-b ábra 82 éves nő, anamnézisében kevert kötőszövetes autoimmun betegség (DSSC), pulmonalis artériás hypertenzió (PAH), fibroticus NSIP-mintázat, cyclophosphamid kezelések. **A)** A HRCT-n a tractios bronchiectasia, GGO és reticulatio mellett a jobb alsó lebenyben térfoglaló eltérés látható. **B)** FDG PET/CT-n a jobb alsó lebenyi solid képlet intenzív FDG felvétele látható (SE Nukleáris Medicina Tanszék).

lehetnek az erek ábrázolásában, főképp a pulmonalis embolia kérdése esetén, amely előfordulhat fibrozis esetén is.

A Half-Fourier akvizíció vagy ultra-rövid echo idő (UTE) szekvencia alkalmazásával az ILD jó diagnosztikus pontossággal vizualizálható, SSc-s betegekben az ILD és GGO kiterjedésének meghatározására is használták (29-30).

Pár éve elérhetőek az alacsony térerejű (0,55T), mesterséges intelligenciával fejlesztett szuperkonduktív MR berendezések, amely konfiguráció javított B0-mező homogenitáson és ezzel összefüggésben meghosszabbított T2*-t biztosít, és csökkentek a szuszceptibilitási grádiensek (5. ábra). A dinamikus szekvenciák (pl. FFE, TRUFI) által a rekesz mozgása kvantitatívan mérhető (6. ábra).

A mellkasi MR elasztográfia (MRE) egy másik technika, amelyet az ILD-k ígéretes biomarkere lehet a jövőben. Ezen nem invazív technika számszerűsítheti a nyírási merevség (shear stiffness) topográfiai eloszlását a szövetekben, amit széles körben használnak a májfibrózis értékelésében. ILD-ben a fibroticus parenchyma nyírási merevségét magasabbak találták egyes közlemények (31).

A hyperpolarisált gázok, pl. hélium (^3He MRI) vagy xenon (^{129}Xe MRI) belégzését követően a tüdő ventilációja, és mikrostruktúrája vizsgálható, amely hasznos krónikus obstruktív tüdőbetegsé-

gekben (COPD), asztmában, és cystás fibrosisban. Ezen módszer hazánkban a gázok előállításában rejlő magas költségek miatt nem terjedtek el.

PET/CT

Viszonylag kevés irodalom érhető el a PET-CT szerepéről az ILD-k tekintetében, főként a gyulladós területek megítélésében lehet majd jövőbeni szerepe. Egy vizsgálat kimutatta, hogy SSc-s betegekben a HRCT-n látható GGO és lépesmészes területek metabolikus aktivitást mutattak az ^{18}F -FDG PET/CT-n, azonban a ^{18}F -FDG PET/CT nem tudja megkülönböztetni a tüdőparenchyma gyulladós és fibrotikus elváltozásait. Ezen információ viszont szerepet játszhat ezen betegek prognózisában és nyomon követésében (32). Egyes közlemények szerint amennyiben magas standardizált felvételi érték (SUV) mérhető, az a sejtes IIP-kre utalhat, míg az alacsony SUV értékek a fibrotikus folyamatokhoz társulhatnak. A kutatási fázisokban lévő új PET traccerek ígéreteseknek tűnnek az ILD-k aktivitásának és a progressio megítélésében (pl. ^{68}Ga -FAPI) (33). Az ILD-s betegekben viszonylag gyakran megjelenhetnek térfoglaló képletek (főként UIP során a dorsalis és subpleuralis reticulation belül), amelyek karakterizálásában fontos szerepe van az FDG-PET/CT vizsgálatnak (7. ábra).

Konklúzió

Az ILD-k diagnosztizálása olykor igen bonyolult, amely multidiszciplináris megközelítést igényel. Az ILD-k mintázatának elkülönítésében vezető szerepet játszik a gold standard HRCT vizsgálat, amely alapján eldönthető, szükséges-e további vizsgálat, például bronchoalveoláris lavage vagy tüdőbiopszia a diagnózis felállítására. A forradalmian új PCCT technika jobb képminőséget biztosít az ILD-k megítélésében, mivel 0,2 mm-es szeletvastagság is elérhető, mindemellett alacsonyabb sugárterheléssel jár. Az ultrahang technika során az interstitialis eltérések követése lehetséges a B-vonalak számának vizsgálatával, valamint a rekesz kitérésének vizsgálata is elvégezhető, mellyel az átvilágítás kiváltható lehet. Az új, gyors MR szekvenciáknak köszönhetően az MR tüdőbeli technikai korlátai részben kiküszöbölhetővé váltak, magas jel-zaj arányt és magas felbontású 3D tüdő morfológiai képalkotást kínálva. A jövőben további vizsgálatok szükségesek annak igazolására, hogy a tüdő MR szerepet játszhat-e az ILD-s betegek követésében a gold standard HRCT vizsgálat mellett. Az MR-rel elkülöníthetőek az aktív gyulladásos területek a stabil fibrotikus régióktól. A PET-CT vizsgálatnak elsősorban az ILD-s betegekben kialakuló térfoglaló képletek megítélésében van szerepe, de kutatások arra is utalnak, hogy főként a gyulladásos területek megítélésében lehet a jövőben szerepe, továbbá új PET tracerek is ígéreteseknek tűnnek az ILD-k aktivitásának és a progresszió előrejelzésében.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetünket szeretnénk kifejezni a Semmelweis Egyetem Orvosi Képzőközpontjának igazgatójának, *Prof. Dr. Maurovich-Horvat Pálnak*, továbbá *Prof. Dr. Müller Veronikának*, a Semmelweis Egyetem Pulmonológiai Klinika igazgatójának, hogy lehetővé tették az ILD-s betegek PCCT vizsgálatait. Köszönetünket fejezzük ki *Dr. Györke Tamásnak* a PET-CT képekért. Köszönet illeti *Prof. Dr. Polgár Csabát*, illetve *Dr. Takácsi-Nagy Zoltánt*, akik lehetővé tették a mellkasi MR vizsgálatokat. Köszönjük a CT és MR operátorok segítségét a vizsgálatok ki-

vitelezésében. A kutatást a Nemzeti Tumorsejtbiológiai Laboratórium projekt (NLP-17) támogatta.

A publikáció megjelenését a Boehringer Ingelheim tette lehetővé. Az itt közölt információk a szerző nézeteit tükrözik, ami eltérhet a Boehringer Ingelheim álláspontjától. A megemlített készítmények használatakor az érvényes alkalmazási előírás az irányadó.

IRODALOMJEGYZÉK

- Müller V. Az interstitialis tüdőbetegségek (ILD) diagnosztizálása. A sarcoidosis és az idiopathiás tüdőfibrosis (IPF) kezelése felnőttekben. (Alapelvek). *Medicina Thoracalis* 2013;66:6:326-339.
- Ley B, Elicker BM, Hartman TE, et al. Idiopathic pulmonary fibrosis CT and risk of death. *Radiology*. 2014;273(2):570-579.
- Raghu G, Rochweg B, Zhang Y, et al. An official ATS/ERS/JRS/ALAT Clinical practice guideline: treatment of idiopathic pulmonary fibrosis, an update of the 2011 clinical practice guideline. *Am J Respir Crit Care Med*. 2015;192:e3-19.
- Raghu G, Remy-Jardin M, Richeldi L, et al. Idiopathic Pulmonary Fibrosis (an Update) and Progressive Pulmonary Fibrosis in Adults: An Official ATS/ERS/JRS/ALAT Clinical Practice Guideline. *Am J Respir Crit Care Med*. 2022;205(9):e18-e47.
- Broens B, Duitman JW, Zwezerijnen GJC, et al. Novel tracers for molecular imaging of interstitial lung disease: A state of the art review. *Autoimmun Rev*. 2022 Dec;21(12):103202.
- Montesi SB, Caravan P. Novel Imaging Approaches in Systemic Sclerosis-Associated Interstitial Lung Disease. *Curr Rheumatol Rep*. 2019;21(6):25.
- Walsh SLF, Humphries SM, Wells AU, et al. Imaging research in fibrotic lung disease; applying deep learning to unsolved problems. *Lancet Respir Med*. 2020;8(11):1144-1153.
- Raghu G, Remy-Jardin M, Myers JL, et al. Diagnosis of idiopathic pulmonary fibrosis. An official ATS/ERS/JRS/ALAT clinical practice guideline. *Am J Respir Crit Care Med*. 2018;198(5):e44-68.
- Almeida RF, Watte G, Marchiori E, et al. High resolution computed tomography patterns in interstitial lung disease (ILD): prevalence and prognosis. *J Bras Pneumol*. 2020;46(5):e20190153.
- Wangkaew S, Euathrongchit J, Wattanawattawas P, et al. Correlation of delta high-resolution computed tomography (HRCT) score with delta clinical variables in early systemic sclerosis (SSc) patients. *Quant Imaging Med Surg*. 2016;6(4):381-390.
- Chahal A, Sharif R, Watts J, et al. Predicting Outcome in Idiopathic Pulmonary Fibrosis Addition of Fibrotic Score at Thin-Section CT of the Chest to Gender, Age, and Physiology Score Improves the Prediction Model. *Radiol Cardiothorac Imag*. 2019;1(2):e180029.
- Walsh SLF, Devaraj A, Enghelmayer JJ, et al. Role of imaging in progressive-fibrosing interstitial lung diseases. *Eur Respir Rev*. 2018;27(150):180073-180073.

13. Torres PPTES, Rabahi MF, Moreira MADC, et al. Importance of chest HRCT in the diagnostic evaluation of fibrosing interstitial lung diseases. *J Bras Pneumol.* 2021;47(3):e20200096.
14. Taguchi K, Iwanczyk J.S. Vision 20/20: Single photon counting x-ray detectors in medical imaging. *Med. Phys.* 2013;40:100901.
15. Blevins I. Spectral, Photon Counting Computed Tomography: Technology and Applications. CRC Press; Boca Raton, FL, USA: 2020. X-Ray Detectors for Spectral Photon-Counting CT; pp. 179–191.
16. Nakamura Y, Higaki T, Kondo S, et al. An introduction to photon-counting detector CT (PCD CT) for radiologists. *Jpn J Radiol.* 2023;41(3):266-282.
17. Si-Mohamed S., Boccalini S., Rodesch P.-A., et al. Feasibility of lung imaging with a large field-of-view spectral photon-counting CT system. *Diagn. Interv. Imaging.* 2021;102:305–312.
18. Marton N, Gyebnar J, Fritsch K, et al. Photon-counting computed tomography in the assessment of rheumatoid arthritis-associated interstitial lung disease: an initial experience. *Diagn Interv Radiol.* 2023;29(2):291-299.
19. Jungblut L, Euler A, von Spiczak J, et al. Potential of Photon-Counting Detector CT for Radiation Dose Reduction for the Assessment of Interstitial Lung Disease in Patients With Systemic Sclerosis. *Invest Radiol.* 2022;57(12):773-779.
20. Lichtenstein D, Mezière G. The BLUE-points: three standardized points used in the BLUE-protocol for ultrasound assessment of the lung in acute respiratory failure. *Crit Ultrasound J* 2011; 3:109–110.
21. Lichtenstein, Daniel. Lung ultrasound in the critically ill. *Current Opinion in Critical Care* 2014;20(3):315-322.
22. Reissig A, Copetti R. Lung ultrasound in community-acquired pneumonia and in interstitial lung diseases. *Respiration.* 2014;87(3):179-89.
23. Lonzetti L, Zanon M, Pacini GS, et al. Magnetic resonance imaging of interstitial lung diseases: A state-of-the-art review. *Respir Med.* 2019;155:79-85.
24. Biederer J., Mirsadraee S., Beer M., et. al.: MRI of the lung (3/3)—current applications and future perspectives. *Insights Imaging* 2012; 3: pp. 373-386.
25. Yi C.A., Lee K.S., Han J., et. al.: 3-T MRI for differentiating inflammation- and fibrosis-predominant lesions of usual and nonspecific interstitial pneumonia: comparison study with pathologic correlation. *AJR* 2008; 190:878-885.
26. Neji H, Attia M, Affes M, et al. Interstitial lung diseases: Imaging contribution to diagnosis and elementary radiological lesions. *Semin Diagn Pathol.* 2018;35(5):297-303.
27. B. Hochhegger, VVSd Souza, E. Marchiori, et al., Chest magnetic resonance imaging: a protocol suggestion, *Radiol. Bras.* 2015;48(6):373–380.
28. S. Rajaram, A.J. Swift, D. Capener, A, et al., Lung morphology assessment with balanced steady-state free precession MR imaging compared with CT, *Radiology* 2012;263(2):569–577.
29. Y. Ohno, H. Koyama, T. Yoshikawa, et al., Pulmonary high-resolution ultrashort TE MR imaging: comparison with thin-section standard-and low-dose computed tomography for the assessment of pulmonary parenchyma diseases, *J. Magn. Reson. Imaging* 2016;43(2):512–532.
30. Landini N, Orlandi M, Occhipinti M, et al. Ultrashort Echo-Time Magnetic Resonance Imaging Sequence in the Assessment of Systemic Sclerosis-Interstitial Lung Disease. *J Thorac Imaging.* 2023;38(2):97-103.
31. Y.K. Mariappan, K.J. Glaser, R.D. Hubmayr, et al. MR elastography of human lung parenchyma: technical development, theoretical modeling and in vivo validation, *J. Magn. Reson. Imaging* 2011;33(6):1351–1361.
32. Bastos AL, Ferreira GA, Mamede M, et al. ST. PET/CT and inflammatory mediators in systemic sclerosis-associated interstitial lung disease. *J Bras Pneumol.* 2022;48(4):e20210329
33. Bergmann C, Distler JHW, Treutlein C, et al. 68Ga-FAPI-04 PET-CT for molecular assessment of fibroblast activation and risk evaluation in systemic sclerosis-associated interstitial lung disease: a single-centre, pilot study. *Lancet.* 2021;3(3):185-194.