

HRCT plic – technika vyšetření, CT anatomie, základní typy patologických nálezů

MUDr. Zdeněk Chudáček, Ph.D.

Radiodiagnostické oddělení FN Plzeň-Bory

Výpočetní tomografie s vysokým prostorovým rozlišením (HRCT) plic se již přes dvě desetiletí podílí na diagnostice difúzních pneumopatií a je dnes v klinickém algoritmu většinou nezbytná pro stanovení diagnózy i kontrolu dalšího vývoje nemoci, případně slouží k topickému zaměření invazivních diagnostických postupů. V článku podává autor velmi hrubý nástin základní problematiky HRCT plic, která se dnes stala obsáhlou a významnou disciplínou radiodiagnostiky.

Klíčová slova: výpočetní tomografie s vysokým rozlišením, difúzní plicní choroby, plicní intersticiium.

HRCT of lungs – technique, CT anatomy, basic types of pathological findings

High-resolution computerized tomography (HRCT) of the lung participates in the diagnostics of the diffuse lung diseases for more than two decades. Today in most cases this method is essential for the determination of the diagnosis, follow up and targeting of the invasive diagnostic procedures. In this article the autor makes a broad survey of the basic problems in HRCT of the lung, which became a comprehensive and important discipline in imaging of today.

Key words: high-resolution computerized tomography, diffuse lung diseases, lung interstitium.

Med. Pro Praxi 2010; 7(6 a 7): 299–302

Úvod

High-resolution CT (HRCT), výpočetní tomografie s vysokým prostorovým rozlišením, je metodika primárně určená pro zobrazování **difúzních plicních procesů**. Mimořádně vysoké rozlišení detailu je zde umožněno velkým inherentním kontrastním rozdílem mezi plicními strukturami a plynem je obklopujícím. S určitými výhradami není samotná HRCT vhodná pro diagnostiku ložiskových lézí, kde musí být doplněna nebo nahrazena rutinním spirálním CT vyšetřením hrudníku. Od svého zavedení v osmdesátých letech minulého století překonala, díky vysokému rozlišení detailu, HRCT v zobrazování difúzních pneumopatií skiagram, klasickou tomografii či rutinní CT hrudníku a umožnila přiblížit se při analýze patologického plicního procesu u živého pacienta mikroskopické úrovni.

Technika vyšetření

Obvyklé HRCT zobrazení plic probíhá v řezech 1 mm silných, s užitím ostře kreslicího výpočetního algoritmu (tzv. ultraspharp kernel) pro rekonstrukci CT obrazů ze získaných dat (obrázek 2). Odstup jednotlivých řezů je 10–20 mm, akvizice dat probíhá při stojící úložné desce (tzv. sekvenční skenování), na vrcholu nádechu a v poloze na zádech (7). Takovéto řezy je možné zhotovit již na většině konvenčních CT přístrojů.

Vysoké prostorové rozlišení **moderních spirálních skenerů**, pohybujících se až kolem 0,3 mm, identické ve všech třech osách pacientova těla

(tzv. izotropie dat), umožňuje navíc rekonstrukci relativně kvalitních HRCT řezů nejen v rovině kolmé na dlouhou osu těla, ale v jakékoli jiné rovině. Má-li však dosáhnout kvalitních výsledků (nízký šum a vysoké rozlišení), je spirální HRCT spojeno až s 10násobnou radiační dávkou. I když může přinést některé dodatečné informace, není proto užíváno rutinně, v nízkodávkové podobě je někdy přijatelné k provádění kontrol. Existují zde však možnosti **dodatečného zpracování (postprocesingu)** dat získaných při akvizici, kupř. tzv. volumetrie, tj. měření objemu vybraných ložiskových lézí. Postprocesingová technika projikující detaily s největší absorpcí záření z vybrané části vyšetřovaného objemu do jedné roviny se nazývá maximum intenzity projection (MIP) a může výrazně pomoci v diagnostice plicních procesů.

Skenování ve výdechu nebo skeny na břiše jsou doplňovány v určitých případech v rámci diferenciální diagnostiky pneumopatií.

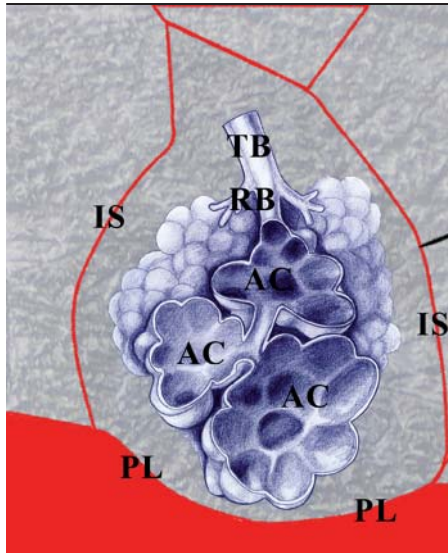
Hodnoty anodového proudu a potažmo i **radiační dávka** u obvyklého HRCT zobrazení plic mají být zhruba o 50–100% vyšší než u standardního CT vyšetření. Jen tak se podaří potlačit nepříznivý vliv vysokého šumu u tenkých řezů na kvalitu obrazu. Pouze díky velkým odstupům jednotlivých skenů zde celková dávka pro pacienta není vysoká. V průběhu sledování patologického plicního procesu bývá indikována řada HRCT kontrol. Většinou postačují řezy s většími odstupy ke snížení celkové radiační dávky, nebo nízkodávkové

akviziční protokoly na multislice CT zařízeních. Vždy při tom ale musíme brát na zřetel význam exaktní HRCT diagnózy pro terapii procesu a preferovat diagnostický přínos na úkor radiační dávky. Zásadní je dávku správně přizpůsobit konstituci nemocného. U obézních pacientů je zapotřebí většinou výrazně vyšší dávka k dosažení únosného šumu v obraze a naopak u dětí je nutné napětí a proud na rentgence značně snížit. Je lépe, pokud je pacient vyšetřován stále na tomtéž CT pracovišti a standardizovaným protokolem.

HRCT obraz – anatomie

Plíce je anatomicky v podstatě utvářena z bronchovaskulárních svazků a sekundárních lobulů. **Bronchovaskulární svazky** jsou tvořeny většími bronchy, plicními cévami a podpůrným vazivem – tzv. centrálním intersticiem. **Sekundární lobuly** jsou periferní jednotky plicního parenchymu, kde se setkávají dýchací cesty s kapilárami procházejícími nosnou konstrukcí z vazivové tkáně – tzv. periferního intersticia. HRCT dnes umožňuje in vivo identifikovat sekundární lobulus za patologických, ale někdy i fyziologických podmínek (10).

Koncepce sekundárního lobulu a jeho význam pro interpretaci patologických změn byly známy dlouho před zavedením HRCT. Radiologická identifikace sekundárního lobulu byla prvně uskutečněna E. R. Heitzmanem již v roce 1969, který první upozornil na zásadní roli této anatomické struktury ve své práci

Obrázek 1. Schéma sekundárního lobulu

PL = pleurální povrch plic; IS = interlobulární septa; TB = terminální bronchiolus; RB = respirační bronchioly; AC = aciny

„The Lung“ publikované v roce 1973, tedy asi 15 let před zavedením HRCT.

Bronchovaskulární svazky sestávají z oblasti hilu vycházejících, dichotomicky se větvících a směrem do periferie se zužujících plicních tepen provázených paralelně jdoucími, podobně utvářenými bronchy. V CT obraze se zobrazují podle polohy vůči rovině řezu buď jako podélné opacity (arterie) provázené kolejničovitou strukturou (bronchus), nebo jako okrouhlá či oválná opacita (arterie) sousedící bezprostředně s kroužkovitým útvarem (bronchus). Plicní žíly, které jsou rovněž součástí HRCT obrazu plic, mají jiný směr – k levé síni a menší větve se napojují k větším monopodiálně.

Sekundární lobulus (obrázek 1) je mnohostěnný útvar o průměru asi 2 cm. Na CT je nejlépe identifikovatelný v periférii plic – subpleurálně. Do centra lobulu se jako jádro vnořují spolu s nejperifernějším úsekem centrálního intersticia – **centrilobulárním intersticiem** centrilobulární arterioly a bronchioly. Z centrilobulárního bronchiolu odstupuje asi 3–5 terminálních bronchiolů. Jde o nejdálší úsek dýchacích cest mající ještě muskulární stěnu. Následují bronchioly respiratorní a z nich vycházejí sublobulární jednotky parenchymu známé jako aciny. V HRCT obraze vidíme pouze centrilobulární arterioly, bronchiolus je tloušťkou své stěny 0,1 mm pod mezí rozlišení a není za normálních okolností vidět. Lobulus je vyplněn sítí podpůrného vaziva – **intralobulární intersticiem**, ve kterém se nacházejí nejperifernější oddíly dýchacích cest zodpovědné za výměnu plynů – respiratorní bronchioly, alveolární dukty, alveolární vaky a alveoly. V podpůrném vazivu běží arterioly,

venuly a síť kapilár. Lymfatické cévy jsou v lobulu jak centrálně, tak i periferně. V HCRT obraze není intralobulární intersticiem zdravé plic vidět periferně, ve vrstvě několika mm od pleurálního povrchu plic. Pokud zde najdeme větvičky se projasněním nebo opacitami, jde o patologické změny, většinou na podkladě dilatace bronchiolů, prázdných nebo vyplněných hlenem.

Perilobulární intersticiem ohraničuje lobulus. Interlobulární septa jsou víceméně kolmá k povrchu plic, probíhají paralelně a obsahují kromě lymfatických i perilobulární venuly, identifikovatelné radiologicky.

Rozhraní pleura-parenchym. V HRCT obraze jde o většinou hladce konturované rozhraní tmavé plic a mediastinálního tuku nebo žebíř a mezižebířních svalů. V subpleurálním prostoru bývá různé množství tuku, které je stěží identifikovatelné, příležitostně jsou zde přítomné cévy.

Terminální bronchioly jsou díky svému průsvitu (zachytávání cizorodých částic na jejich stěnách), muskulární stěně (spazmy vedoucí k obstrukčním fenoménům), nepřítomnosti cílů a hlenotvorných buněk (obtížná očista) angažovány v řadě patologických procesů díky kterým trpí periferní aciny a sekundární lobulus jako celek (5).

Patologické HRCT obrazy (5)

A. Retikulární charakter změn

Dominujícím nálezem jsou vzájemně se proplétající tenké lineární opacity. Vzniká zesílením lobulárního a často i centrálního intersticia v důsledku různých příčin (nahromadění tekutiny, depozita amyloidu, buněčná infiltrace, fibróza atp.) a podle toho mění i vzhled. **Hladké zesílení** je centrálně charakteristické rovnoměrným zesílením stěn bronchů a rozšířením přilehlých cév. Periferně jde o zvýraznění rozhraní lobulů a jemnou retikulaci, která je protíná. V centru lobulu vyniká arteriola a mohou se zvýraznit normálně neviditelné stěny bronchů. Lobulární uspořádání plic je zachováno a je pouze zvýrazněno proti normální plic. Patologickým podkladem může být edém, organické látky, buněčná infiltrace (3). **Nodulární zesílení** periferního i centrálního intersticia je spojeno s přítomností mikronodularit (obrázek 2). Architektura lobulu je zachována pokud nejsou nodularity dány fokální fibrózou. **Nepravidelné zesílení** intersticia v průběhu hranic lobulů a peribronchovaskulárních svazků je spojeno s jejich nepravidelným průběhem a porušením architektury nebo jejím setřením. Je charakteristické pro fibrotizující procesy.

B. Nodulární charakter změn

Typické jsou malé okrouhlé opacity vázané na určitou část lobulu a mající vztah k pleurálnímu povrchu. Mikronoduly jsou menší než 3 mm a makronoduly od 3 do 10 mm. Je typický pro granulomatózní změny vznikající přímo v plicích nebo hematogenním či bronchogenním šířením (9).

Centrilobulární noduly (obrázek 2) odděluje od okrajů lobulu, pleury a interlobií transparentní lem. Jsou typické pro choroby postižující periferní bronchioly a jejich okolí. Pokud jsou postiženy peribronchiolární dýchací cesty, má nodulus smazané okraje (nodulární změny vzhledu mléčného skla). **Náhodně uložené noduly** mívají vysokou denzitu a ostré hranice a omezují se na intersticiem. V lobulu a parenchymu jsou uniformně rozloženy.

Perilymfaticky uložené noduly se podobně nacházejí v perilobulárním a subpleurálním intersticiu a jsou vázány na povrch plic a interlobia. Přicházejí u chorob šířících se podél lymfatických cest. Mají ostré hranice a vysokou, uniformní denzitu.

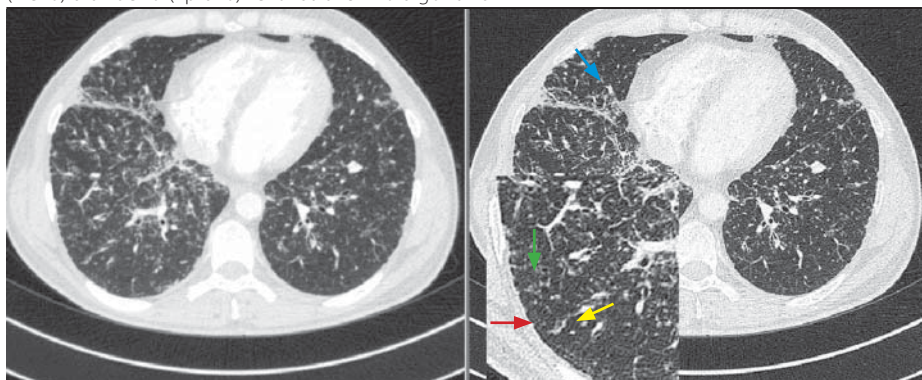
C. Alveolární charakter změn

Hlavním nálezem jsou opacity rezultující z alveolární náplně. Denzita změn závisí na rozsahu náplně, od částečné (opacity mléčného skla = ground glass opacities) až po kompletní (hutné zastření = consolidation) (obrázek 3). Postižení drobných dýchacích cest může mít charakter zúžení lumen (nepřímou známkou jsou hypodenzity v periferním plicním parenchymu díky regionální oligemii) nebo náplň rozličným materiálem (jsou ektatické a jejich denzita proti okolnímu parenchymu stoupne). Alveolární charakter změn dominuje u alveolárních onemocnění, ale setkáme se s ním i u řady jiných plicních chorob (1).

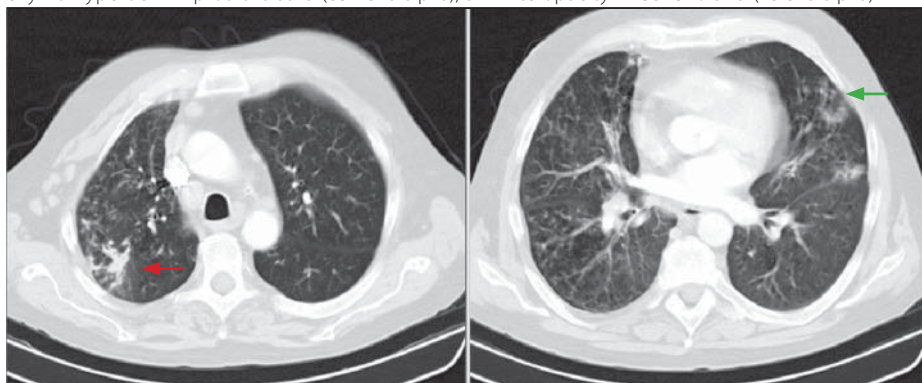
Směšená denzita – akutní změny se vyznačují přítomností opacit vzhledu mléčného skla i hutných infiltrátů v různém poměru (obrázek 4). Pokud jsou infiltráty vzhledu mléčného skla provázeny retikulací, nabývají změny vzhledu dláždění netříděným kamenem (tzv. crazy paving). Bývá i postižení bronchiálních stěn nebo bronchiektaziemi a špatně ohraničenými centrilobulárními noduly. Akutní forma se prezentuje bilaterálním, často rozsáhlým, postižením, měnícím svůj vzhled, velikost a lokalizaci během hodin nebo dnů.

Směšená denzita – chronické změny se vyznačují přítomností podobných změn, chronický charakter je však typický spíše lokalizovanými

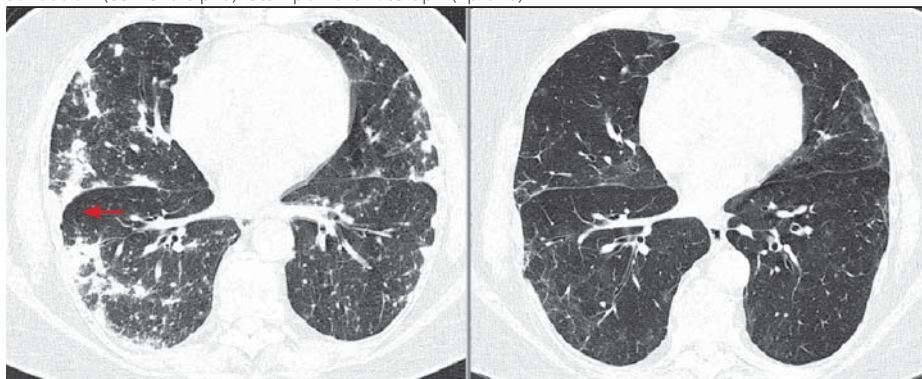
Obrázek 2. HRCT plic. Biopticky ověřená sarkoidóza II. stadia. Subpleurální (červená šipka), centrilobulární (zelená šipka) a perilobulární mikronoduly (žlutá šipka). Nepravidelný retikulární vzhled (modrá šipka). Mírné zmnožení centrálního intersticia. Porovnání skenů 1 mm silných, vzniklých s užitím měkkého (vlevo) a tvrdého (vpravo) rekonstrukčního algoritmu



Obrázek 3. HRCT plic. Biopticky ověřená chronická intersticiální pneumonie s obrazem podobným reparativní fázi difúzního alveolárního poškození. Polékové poškození po chemoterapii (vlevo). Zastření v parenchymu hyperdenzní proti svalstvu (červená šipka), skvrnitě opacities mléčného skla (zelená šipka)



Obrázek 4. HRCT plic. Hypersenzitivní pneumonitis = extrinsická alergická alveolitis – akutní stadium, ověřená biopticky (vlevo). Oboustranná hutná zastření vzdušných partií v periférii plic = airspace consolidation (červená šipka). Stav po kortikoterapii (vpravo)



skvrnitými infiltráty s pomalým vývojem i v průběhu týdnů až měsíců.

Mozaikovitá oligemie s obstrukčními fenomény (air-trapping). Vyznačuje se přítomností skvrnitých oblastí zvýšené transparence parenchymu plicního, často s lobulární distribucí. Současně je snížený počet i průměr plicních cév v dané oblasti. Jde o typický obraz obstrukce drobných dýchacích cest. Důsledkem alveolární hypoventilace je oligemie v díky hypoxické vazokonstrikci. Okolní parenchym vyhlíží relativně hyperdenzní, zčásti díky hyperperfúzi (pseudo-ground-glass). Zatímco oligemie v důsledku

cévní obstrukce (chronická tromboembolická choroba) se ve výdechu nemění, hypoxická oligemie se naopak zvýrazňuje (air-trapping).

Změny vzhledu kvetoucího stromu (tree-in-budd). Charakteristické jsou jemné, větvičky se opacitami v periférii plíce, zakončené malými nodulárními opacitami s různou denzitou. Větvičky se opacitami jsou dány dilatovanými bronchioly, vyplněnými jiným materiálem než je vzduch (strom), zatímco nodulární opacitami (květy) odpovídají shlukům částečně nebo zcela materiálem vyplněných alveolů, obvykle s neostrými konturami (centrilobulární noduly). Uvedený

charakter změn je typický pro bronchogenně se šířící choroby.

D. Cystický charakter změn

Hlavním nálezem jsou malé, zcela transparentní okrsky plíce (cysty), které více nebo méně prostupují plicní parenchym. Mohou, ale nemusí mít vlastní stěnu. Cystické okrsky plíce mohou být výsledkem rozšíření bronchů nebo bronchiolů díky distenzi jejich stěny, trakčním změnám, zvýšenému endoluminárnímu tlaku či fokální hyperinsufiaci sklípků s rupturami jejich stěn (4).

Shluky hroznů (clusters of grapes) cysty jsou hroznovitě uspořádány kolem bronchovaskulárního svazku. Mají silnější stěnu a nerovnoměrnou velikost. Časté bývají hladinky tekutiny (hlen, hnis, krev) a inkluze v cystách (mycetom pohyblivý se změnou polohy těla, tumor). Při kompletní náplni patologickým obsahem mají cysty pseudonodulární vzhled (6).

Řetízek perel (string of pearls) cysty jsou v jedné vrstvě uloženy subpleurálně. Bývají tenkostěnné, stěny jsou tvořeny interlobulárními septy ztlustělými mírnou fibrózou. Pro cystu nad 1 cm užíváme termínu bula. Buly mívají silnější stěnu díky rozsáhlejší fibróze.

Voštiny, vzhled pláště (honeycombing) jsou silnostěnné, okrouhlé cysty uspořádané v několika vrstvách (obrázek 6). Plicní architektura postiženého okrsku je porušena, časté jsou bronchiektázie nebo bronchioloektázie. Představuje terminální stadium řady fibrotizujících procesů (end-stage lung). Objem plíce je zmenšen. Časným příznakem zmenšení objemu je dislokace mezilalokových rýh, v pozdních stádiích se posouvají bronchovaskulární svazky a mediastinum.

Náhodně uložené cysty jsou uloženy zcela nahodile a bez zjevného shlukování. Stěny mají různou tloušťku nebo mohou zcela chybět. Drobná centrální hyperdenze může odpovídat centrilobulární arterii. Mají relativně homogenní distribuci v postiženém parenchymu. Vzhled chorob charakterizovaných tímto vzhledem může být velmi podobný. Diferenciální diagnóza proto vyžaduje pečlivé posouzení kraniokaudální distribuce změn a postižení kostofrenických úhlů (2, 5, 8, 10).

Obecné rysy analýzy

HRCT obrazu u jednotlivých chorob

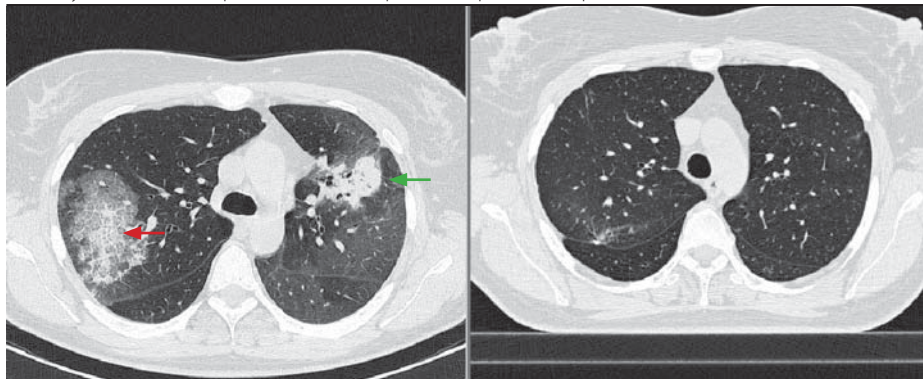
V samotném HRCT obraze je nutné se zaměřit na přítomnost určitého základního charakteru změn, případně jejich kombinaci, doprovodné nálezy (hilová a mediastinální adenopatie, pleu-

rální výpotek, rozpad etc.), distribuci změn v kraniokaudálním směru a ve směru laterolaterálním, změny plicního objemu a další. Úspěšnost HRCT při stanovení správné diagnózy difúzní plicní choroby a snížení potřeby invazivních vyšetření závisí nejenom na **typickém vzhledu změn**, ale také na **zkušenosti radiodiagnostika**. Výrazně se dále v tomto směru uplatňuje **znalost klinického obrazu a laboratorních nálezů, charakter vyšetřovaného souboru nemocných, prevalence onemocnění a možný dopad chybné diagnózy na léčbu nemocného**. V anamnéze je nutné se zaměřit na medikaci (imunosupresiva etc.), noxy podmiňující hypersenzitivní pneumonitis nebo profesní choroby, systémová onemocnění, familiární formy idiopatické plicní fibrózy nebo sarkoidózy. Epizody aspirace, recidivující sinusitis, kloubní potíže, kožní anomálie zvyšují pravděpodobnost kolagenních cévních chorob. Hemoptýza se váže k plicním hemoragickým syndromům. Některé difúzní plicní choroby lze s dostatečnou jistotou diagnostikovat kombinací HRCT a klinického či laboratorního obrazu (eosinofilie etc.), u jiných lze takto jen zúžit diferenciální diagnózu, jsou i HRCT obrazy zcela nespecifické. U chorob s podobným HRCT obrazem, jako je idiopatická plicní fibróza a chronická hypersenzitivní pneumonitis, může být potom invazivní diagnostika nezbytná s ohledem na zcela odlišné postupny terapeutické. **Senzitivita HRCT při zachycení chorobných změn nemusí být 100 %**, a to i u závažných klinických změn ověřených histopatologicky (8). Může tomu být vzácně i naopak (obrázek 7). Velice důležitá je role HRCT při **navedení invazivních metodik** na oblasti plic s nejvýraznějším postižením. Nález rozsáhlých fibrózních změn a honeycombing, signalizující tzv. end-stage plíce může zabránit zbytečné biopsii, zvláště u pacientů se závažnými komorbiditami. Naopak nález nespecifických skvrnitých opacit vzhledu mléčného skla, případně kombinovaných s retikulárními změnami, signalizuje přítomnost některé z řady chorob s výrazně odlišnou prognózou a léčbou, což si u mnohých případů vyžádá intervenční diagnostiku (10).

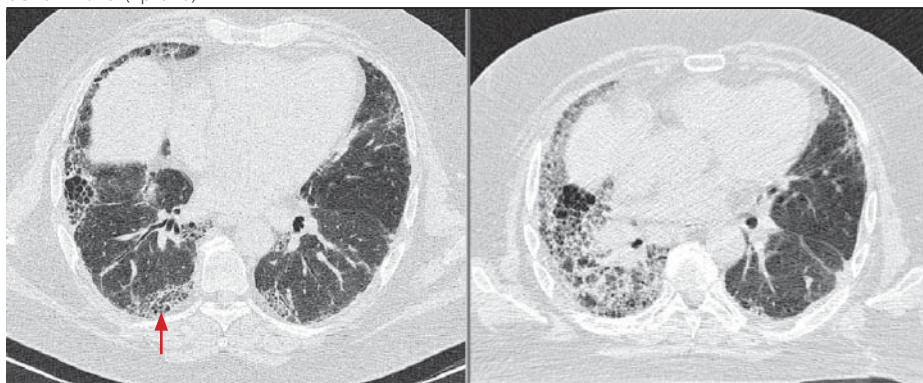
Závěr

HRCT svým prostorovým rozlišením významně překonává jak skiagram, tak i klasické CT vyšetření plic, případně kostí. Tuto zobrazovací metodiku lze proto velmi dobře uplatnit především při primární diagnostice difúzních

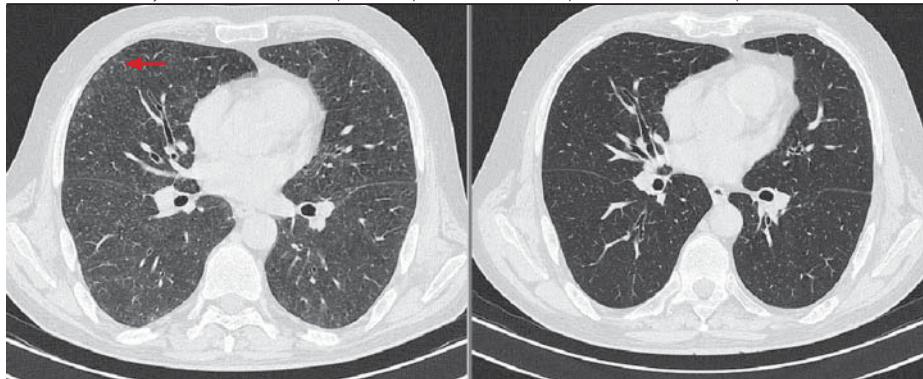
Obrázek 5. HRCT plic. Kryptogenní organizující se pneumonie ověřená biopicky (vlevo). V pravé plíci periferní opacita vzhledu mléčného skla mozaikovitě struktury se zvýrazněním interlobulárních sept = perilobular pattern (červená šipka). V levé plíci typická, několik cm velká, hutná opacita s viditelnými bronchy a kontaktem s pleurou (zelená šipka). Stav po léčbě (vpravo)



Obrázek 6. HRCT plic. Biopicky ověřená tzv. obvyklá intersticiální pneumonie = usual interstitial pneumonia (vlevo) s voštinovitou přestavbou = honeycombing (červená šipka). Progrese změn v průběhu 1 roku (vpravo)



Obrázek 7. HRCT plic. Difúzní plicní proces v HRCT i klinickém obraze, podezřelý též klinicky z extrínické alergické alveolitis (červená šipka). Nepotvrzen při plicní biopsii. Nemocný pracoval 40 let jako svářeč, chronický kuřák (vlevo). Ústup změn při režimové terapii onemocnění (vpravo)



pneumopatií, následných kontrolách a zaměřením invazivních vyšetřovacích postupů. Hodnocení HRCT nálezů není jednoduché a vyžaduje specializaci a multidisciplinární přístup. Zhotovení kvalitních HRCT skenů je zatíženo vyšší dávkou. Zvláště při opakovaných kontrolách lze využít nízkodávkové (tzv. low dose) techniky, snižující radiační zátěž. I přes vysokou dostupnost HRCT vyšetření v dnešní době a jednoduchost technického zhotovení musí být indikace k vyšetření uvážlivé, zvl. u mladých jedinců a fertilních žen,

a očekávaný přínos vyšetření musí zřetelně převážit nad rizikem.

MUDr. Zdeněk Chudáček, Ph.D.

Radiodiagnostické oddělení FN Plzeň-Bory
Bardkova 17, 326 00 Plzeň
chudacek@fnplzen.cz

Literatura

1. American Thoracic Society/European Respiratory Society International Multidisciplinary Konsensus Classification of the Idiopathic Interstitial Pneumonias. *Am J Respir Crit Care Med* 2002; 165: 277.
2. Collins J. CT signs and patterns of lung disease *Radiol. Clin North Am* 2001; 39: 1115.
3. Erasmus JJ, McAdams HP, Rossi SE. High-resolution CT of drug-induced lung disease. *Radiol Clin North Am* 2002; 40: 61.
4. Lee KH, Lee JS, Lynch DA, et al. The radiologic differential diagnosis of diffuse lung diseases characterized by multiple cysts or cavities. *J Comput Assist Tomogr* 2002; 26: 5.
5. Maffessanti M, Dalpiaz G, Cancellieri A, et al. *Diffuse Lung Diseases*. Milan: Springer, 2007.
6. McGuinness G, Naidich DP. CT of airways disease and bronchiectasis. *Radiol Clin North Am* 2002; 40: 1.
7. Prokop M, Galanski M, Molen AJ, et al. *Spiral and Multislice Computed Tomography of the Body*. Stuttgart: Thieme, 2003.
8. Schaefer-Prokop C, Prokop M, Fleischmann D, et al. High-resolution CT of diffuse interstitial lung disease: key findings in common disorders. *Eur Radiol* 2001; 11: 373.
9. Statement on sarcoidosis. Joint Statement of the American Thoracic Society (ATS), the European Respiratory Society (ERS) and the World Association of Sarcoidosis and other Granulomatous Disorders (WASOG). *Am J Respir Crit Care Med* 1999; 160: 736.
10. Webb WR, Miller NL, Naidich DP, et al. *High-Resolution CT of the Lung*. Philadelphia: Lippincott, 2001.