

„VENTILAČNĚ-PERFUZNÍ“ ZOBRAZENÍ PLIC POMOCÍ CT S DUÁLNÍ ENERGIÍ ZÁŘENÍ

„VENTILATION-PERFUSION“ IMAGING OF THE LUNG USING DUAL-ENERGY CT

původní práce

Jiří Ferda¹
Jan Baxa¹
Hynek Mírka¹
Thomas Flohr¹
Bernhard Schmidt¹
Alena Bednářová²
Boris Kreuzberg²

¹Radiodiagnostická klinika LF UK a FN, Plzeň

²Siemens Medical Solutions, CT division, Forchheim, Germany

Přijato: 8. 8. 2008.

Korespondenční adresa:

doc. MUDr. Jiří Ferda, Ph.D.
Radiodiagnostická klinika LF UK a FN
Alej Svobody 80, 306 40 Plzeň
e-mail: ferda@fnplzen.cz

SOUHRN

Ferda J, Baxa J, Mírka H, Flohr T, Schmidt B, Bednářová A, Kreuzberg B. „Ventilačně-perfuzní“ zobrazení plic pomocí CT s duální energií záření

Cíl. Zhodnotit možnosti porovnání ventilace a perfuze plicního parenchymu analýzou dat CT provedeného skenováním duální energií záření X (DECT) při podezření na plicní embolizaci (PE).

Materiál a metoda. Byla provedena analýza dat u 20 vyšetření CT-angiografie plicnice indikovaných z důvodu podezření z plicní embolizace. U všech analyzovaných vyšetření byly nalezeny změny perfuze plicní tkáně. U všech vyšetření byla ověřena diagnóza. Všechna vyšetření byla zhotovena pomocí dvou zdrojového CT s použitím duální energie záření (DECT) s expozičními hodnotami 140 kV (systém A) a 80 kV (systém B) s kolimací $2 \times (32 \times 0,6 \text{ mm})$ u obou systémů, vyšetření byla provedena po aplikaci 100 ml jodové kontrastní látky o koncentraci 400 mgI/ml. Vzájemně byly porovnány mapy distribuce jodu (pulmonary perfusion blood volume – PBV) rekonstruované softwarovým modulem Syngo DualEnergy (Siemens, Forchheim, Německo) a vrstevné zobrazení algoritmem minimum intenzity projection (MinIP) představující mapy distribuce vzduchu v plicní tkáni.

Výsledky. Podle distribuce vzduchu a perfuze v plci byly nálezy rozděleny do skupin: A – normální perfuze a distribuce vzduchu; B – perfuzní defekt bez redistribuce vzduchu; C – snížená perfuze a zvýšený obsah vzduchu; D – perfuzní výpadek a zvýšený obsah vzduchu; E – zvýšená perfuze a normální obsah vzduchu; F – zvýšená perfuze a snížený obsah vzduchu; G – snížená perfuze a snížený obsah vzduchu. Plicní embolizace se vyskytovala ve skupinách A a B, záněty malých

SUMMARY

Ferda J, Baxa J, Mírka H, Flohr T, Schmidt B, Bednářová A, Kreuzberg B. „Ventilation-perfusion“ imaging of the lung using dual-energy CT

Aim. To evaluate possibilities of comparison lung parenchyma perfusion and ventilation using data analysis of chest dual-energy CT (DECT) in patients with suspected pulmonary embolism (PE).

Material and method. 20 examination of chest DECT performed due to the suspected pulmonary embolism were evaluated using Dual Energy software (Siemens, Forchheim, Germany) to analyze lung perfusion blood volume (PBV), the air distribution in lung was assessed using minimum intensity projections (MinIP). All examinations performed on dual source CT system (Definition, Siemens, Forchheim, Germany) after application of 100 ml of iodine contrast agent (concentration 400 mgI/ml) using 140 kV on system A, 80 kV on system B, collimation $2 \times (32 \times 0.6 \text{ mm})$ in both systems. Perfusion distribution and distribution of air were compared each other.

Results. According to the air and perfusion distribution in the lung, the findings were divided in following groups A – normal perfusion and normal air distribution; B – perfusion defect without air redistribution; C – decreased perfusion and increased air content; D – perfusion defect and increased air content; E – increased perfusion and normal air content; F – increased perfusion and decreased air content; G – decreased perfusion and decreased air content. Pulmonary embolism was found in group A or B; small airways inflammation with air-trapping in group C; emphysema in group D and lung infection in group F.

Conclusion. “Ventilation-perfusion” imaging using DECT is able to detect the chan-

dýchacích cest ve skupině C, emfyzém ve skupině D a plicní infekce ve skupině F.

Závěr. „Ventilačně-perfuzní“ zobrazení pomocí DECT je schopno odlišit změny ventilačně-perfuzního poměru a pomáhá v identifikaci jejich příčiny.

Klíčová slova: dual-energy CT, plicní perfuze, plicní ventilace.

ges of ventilation-perfusion ratio and may aid to identify the cause.

Key words: dual energy CT, lung perfusion, lung ventilation.

ÚVOD

Plicní ventilace a perfuze se za normálních i patologických stavů vzájemně velmi úzce ovlivňují (1, 2). Většina patologických stavů plicního parenchymu mění průtok krve plicní kapilární sítí nebo provzdušňování alveolárního systému. Mezi zobrazovacími metodami jsou nejrozšířenější ty, které jsou založeny na zobrazování plicního cévního systému nebo na nepřímém zobrazení prokrvené plicní tkáně indikátorovou technikou. Jen málo zobrazovacích metod používá zobrazení ventilace, a to zejména použitím inhalace vzácných plynů (3, 4). V současnosti není rutinně používána žádná zobrazovací metoda, která by používala zobrazení provzdušnění a prokrvení v jediném vyšetření.

Při zobrazení plicního parenchymu výpočetní tomografií (CT) s intravenózní aplikací kontrastní látky je výsledná denzita plicního parenchymu nejvíce závislá na distribuci jodu a vzduchu ve tkáni – tedy je závislá na látkách, jejichž distribuce v plicním parenchymu je vyjádřením plicní ventilace a perfuze. CT se dvěma zdroji záření (DSCT) dovoluje provést analýzu chemického složení tkání, pokud je použita současná expozice tkáně dvěma energiemi záření a pokud je následným zpracováním provedena tzv. tkáňová dekompozice (5, 6). Analýza dat CT s duální energií záření X (DECT) je založena na jevu rozdílné absorpce těžkých prvků při nižší a vyšší energii použitého záření. Prvními aplikacemi DECT se stala evaluace obsahu jodu v tkáních po intravenózní aplikaci kontrastní látky a dále chemická analýza urolitiázy. Cílem práce je prezentovat první výsledky se zobrazením poruch ventilačně-perfuzního poměru kombinovaným hodnocením provzdušnění a prokrvení plicní tkáně při CT-angiografii plicnice duální energií záření.

MATERIÁL A METODA

Do experimentální studie byla použita data ze 20 vyšetření nemocných, u nichž byla následně nepochybně stanovena diagnóza a u nichž nebyla přítomná kondenzace plicní tkáně. Ve všech případech byla CT-angiografie plicnice provedena kvůli podezření na plicní embolizaci a technikou s využitím dvojí

energie záření (DECT). V souboru bylo zastoupeno 11 mužů a 9 žen, 42,7 let, rozpětí 18–78 roků.

Všechna vyšetření byla provedena na přístroji Somatom Definition (Siemens Medical Solutions, Forchheim, Německo), který je vybaven dvěma systémy rentgenka-detektorová soustava. Systém A pracuje během vyšetření plic duální energií s pracovním napětím 140 kV a data sbírá z field-of-view 500 mm, systém B používá pracovní napětí 80 kV a sbírá data z field-of-view 260 mm. Obě soustavy pracují s kolimací 32 × 0,6 mm, kdy jsou pomocí Z-samplingu získávány 64 stopy za jedinou otáčku o 360°. Celkově celý systém tedy získává v jediný okamžik 128 datových stop, z nichž je polovina získávána vždy s jinou energií použitého záření. Perioda rotace gantry je 330 ms, rychlost posunu stolu v poměru k úhrnné kolimaci dává faktor stoupání 0,9.

Všechna vyšetření byla provedena po intravenózní aplikaci 100 ml jodové kontrastní látky průtokem 4 ml/s o koncentraci 400 mgI/ml s proplachem 50 ml fyziologického roztoku přetlakovým injektorem (Ohio, Ulrich, Ulm, Německo).

Získaná data jsou rekonstruována s kvalitami 140 kV, 80 kV a s vypočtenou kvalitou ekvivalentní 120 kV (faktor poměru 80 kV/140 kV = 0,3) v šíři vrstvy 2 a 0,6 mm s rekonstrukčním algoritmem pro hodnocení CT-angiografie (kernel B26) a pro HRCT plic (kernel B60). Pro účely studie byla data zpracována pomocí programu Syngo DualEnergy (Siemens Medical Solutions, Forchheim, Německo) a využitím algoritmu lung BPV (blood perfusion volume). Byly kalkulovány mapy distribuce jodu představující mapy rozložení plicní perfuze. Pro hodnocení provzdušnění plicního parenchymu bylo provedeno zobrazení plicního parenchymu algoritmem minimum intensity projection (MinIP) v programu Syngo 3D (Siemens Medical Solutions, Forchheim, Německo). Při hodnocení nálezu byly porovnány oba typy rekonstrukcí (BPV a MinIP) vzájemně a dále se zobrazením plicního parenchymu pomocí okénka pro plicní CT-angiografii, algoritmem maximum intensity projection (MIP) a dále se zobrazením plicního parenchymu s vysokým rozlišením (HRCT v plicním okénku). Jednotlivé nálezy byly následně konfrontovány s klinickými diagnózami.

VÝSLEDKY

Porovnáním perfuzních map a obrazů MinIP bylo možno rozlišit určité vzorce vzájemného vztahu provzdušnění a prokrvení plicní tkáně. Podle distribuce vzduchu a perfuze v plicích byly nálezy rozděleny do skupin: A – normální perfuze a distribuce vzduchu; B – perfuzní defekt bez redistribuce vzduchu; C – snížená perfuze a zvýšený obsah vzduchu; D – perfuzní výpadek a zvýšený obsah vzduchu; E – zvýšená perfuze a normální obsah vzduchu; F – zvýšená perfuze a snížený obsah vzduchu; G – snížená perfuze a snížený obsah vzduchu. Plicní embolizace se vyskytovala ve skupinách A a B, záněty malých dýchacích cest ve skupině C, emfyzém ve skupině D a plicní infekce ve skupině F. Chování perfuze a distribuce vzduchu u jednotlivých patologických stavů shrnujeme v tabulce 1. Podle vzorců bylo možné usuzovat na stejnosměrnou nebo protisměrnou změnu poměru provzdušnění a prokrvení tkáně. U jednotlivých skupin diagnóz tedy bylo možno vysledovat jisté uniformní chování, i když vzhledem k malému souboru nebylo možné výsledky zcela zobecnit.

Plicní embolizace

Plicní embolizace byla prokázána u celkem devíti nemocných. U šesti nemocných se jednalo o masivní centrální plicní embolizaci s postižením lobárních, segmentárních i subsegmentárních větví, u jednoho nemocného byla prokázána masivní subsegmentární embolizace s volnými hlavními a lobárními větvemi a u dvou nemocných embolizace s postižením jednoho segmentu. V perfuzních mapách se projevilo defektem perfuze především postižení na segmentární a perifernější úrovni. Defekty perfuze byly prokázány u všech nemocných. U masivní plicní embolizace s postižením hlavních větví bylo možno pozorovat výpadek perfuze v segmentech s úplnou okluzí větví plicnice, jen minimálně sníženou perfuzi v neúplně obturovaných segmentech a s hyperperfuzí segmentů bez embolů. Zajímavé bylo chování perfuze u nemocného s mnohočetnou periferní subsegmentární embolizací – v některých oblastech, kde nebyly patrné defekty ve větvích plicnice, byly naopak patrné defekty perfuze vzhledem k rozsahu perfuzních změn bylo možno embolizaci označit jako masivní.

Pokud byly posuzovány MinIP obrazy, byla jen nepatrně snížená denzita v oblasti hypoperfuze či výpadku perfuze, nebo byla denzita stejná – nedošlo tedy k významným změnám redistribuce obsahu vzduchu.

Air trapping

U dvou nemocných bylo možné diferencovat změny odpovídající air trappingu, šlo o jednu nemocnou s bronchiolitidou a o nemocného s astmatem (později byla i hladina D-dimerů normální). Ani u jednoho z nich nebyla nalezena plicní embolizace hodnocením lumina plicní arterie a jejích větví. V perfuzních obrazech bylo možné diferencovat pokles perfuze v periferních oblastech plic s kompenzatorním lehkým zvýšením perfuze v centrální části plicního parenchymu. Pokles perfuze nebyl tak dramatický jako u plicní embolizace. Při hodnocení MinIP obrazů bylo možné vysledovat mozaikovitě zvýšení obsahu vzduchu v periférii plic, která kopírovala lobulární uspořádání plic a oblasti hypoperfuze. Posouzením HRCT obrazů byla u obou nemocných pozorována rozšíření stěny bronchů na úrovni segmentárních a subsegmentárních generací.

Tab. 1. **Vzorce chování distribuce perfuze a distribuce vzduchu pozorované při DECT hrudníku**

Tab. 1. **Behavior patterns of perfusion distribution and air distribution in lung tissue observed on chest DECT**

Typ postižení	Distribuce perfuze (DE PBV)	Distribuce vzduchu (MinIP)
centrální embolizace neúplná okluze	normální perfuze	normální podíl vzduchu
centrální embolizace úplná okluze	segmentální výpadek	minimálně zvýšený podíl vzduchu
periferní embolizace	periferní výpadky	minimálně zvýšený podíl vzduchu
air-trapping	mírná hypoperfuze	zvýšení podílu vzduchu
mrtvý prostor emfyzému	pokles perfuze	vysoký podíl vzduchu
ušetřený parenchym u emfyzému	hyperperfuze	menší podíl vzduchu
zánět	hyperperfuze	opacita
intesticiální postižení	hypoperfuze	retikulace

Zánětlivé postižení

U tří nemocných byl zachycen plicní infekční zánět ve fázi intraalveolární exsudace s obrazem typu mléčného skla v obrazech HRCT. U všech nemocných byla zjištěna hyperperfuze v postižené oblasti, kdy úroveň perfuze odpovídala vyšším hodnotám než u parenchymu zdravého. Při hodnocení MinIP obrazů byla v oblastech zánětlivého postižení pozorována snížená vzdušnost.

Emfyzém

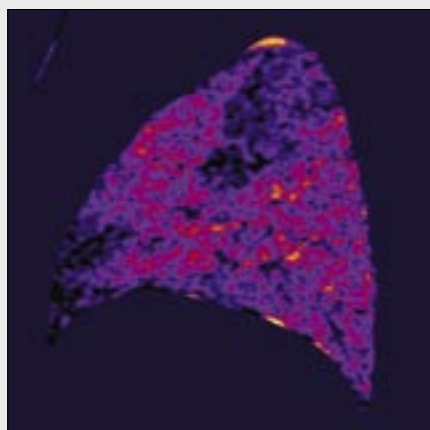
Při postižení plicního parenchymu emfyzémem byla při perfuzním vyšetření zobrazena normální či lehce zvýšená perfuze v plicním parenchymu relativně ušetřeném emfyzémem, naopak v oblastech vystupňovaného postižení plicní tkáně došlo k velmi výraznému poklesu plicní perfuze. Výrazně snížená denzita na MinIP obrazech kopírovala oblasti s poklesem perfuze na obrazech perfuzních. Výrazné snížení denzity plicního parenchymu odpovídalo vystupňovanému mrtvému alveolárnímu prostoru.

Intersticiální procesy

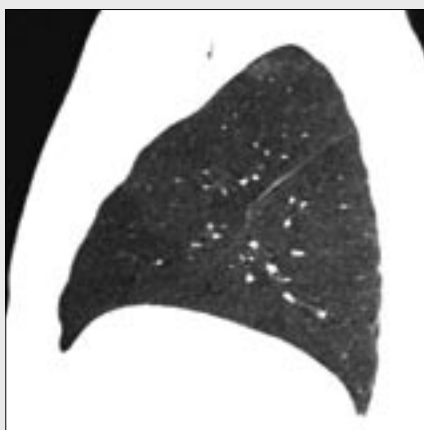
Ve dvou případech intersticiálních procesů s fibroprodukcí se jednalo jednou o idiopatickou plicní fibrózu s postižením typu obvyklé plicní pneumonie (usual interstitial pneumonia – UIP). V jednom případě byla později plicní biopsií potvrzena sarkoidóza. U obou případů byla nalezena snížená perfuze plicního parenchymu společně se snížením provzdušnění plicní tkáně – v obou případech byla vyvolávajícím momentem trakční síla vaziva v intersticiu.

DISKUSE

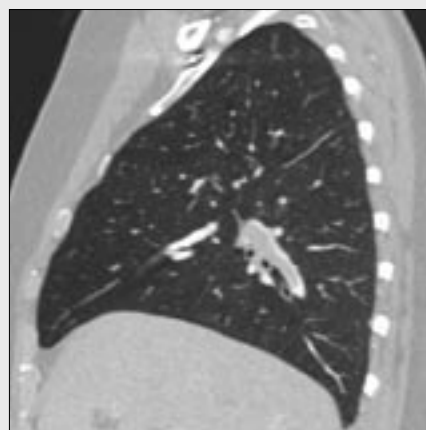
V práci předkládáme koncept zobrazení míry provzdušnění a míry perfuze plicní tkáně pomocí map distribuce intravaskulárně uloženého jodu a intraalveolárního vzduchu. Ventilačně perfuzní zobrazení plic bylo dosud doménou především kombinovaného zobrazení u plicní scintigrafie, kdy byla pro-



▲ Obr. 1A



▲ Obr. 1B



▲ Obr. 1C



▲ Obr. 1D



▲ Obr. 1E



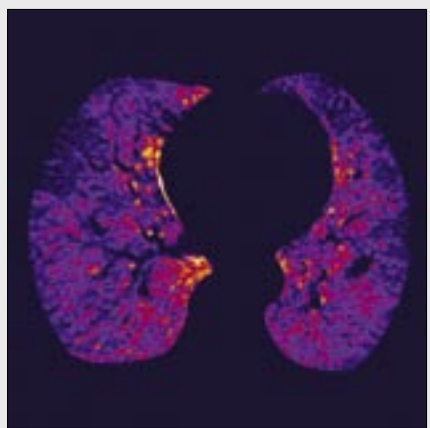
▲ Obr. 1F

Obr. 1. Masivní centrální plicní embolizace. Perfuzní defekty v oblasti kompletní obturace větvi plicnice, distribuce vzduchu jen minimálně nehomogenní v celém rozsahu plicního parenchymu
A – perfuzní mapa; B – MinIP obraz; C – HRCT; D, E – MPR s emboly; F – MIP

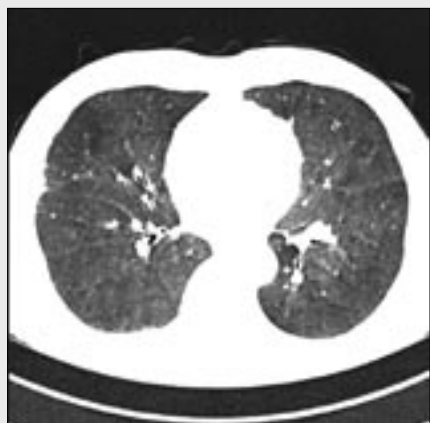
Fig. 1. Massive central pulmonary embolism, perfusion defects in the region of complete pulmonary arterial obstruction, air distributed minimally inhomogeneously throughout the whole lung tissue
A – perfusion map; B – MinIP image; C – HRCT; D, E – MPR with emboli; F – MIP

Obr. 2. Periferní embolizace se subsegmentárními emboly. Perfuzní defekty v periférii plicního parenchymu s lehkou nehomogenitou distribuce vzduchu
A – perfuzní mapa; B – MinIP obraz; C – HRCT; D – emboly na axiálním obraze CTA

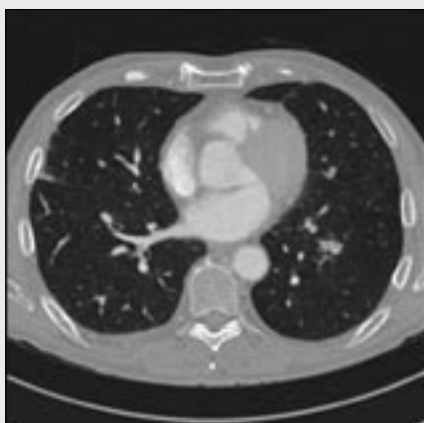
Fig. 2. Peripheral pulmonary embolism with subsegmental emboli. Perfusion defects in the periphery of lung tissue with slightly inhomogeneity of air distribution
A – perfusion map; B – MinIP image; C – HRCT; D – axial image of CTA with subsegmental emboli



◀ Obr. 2A



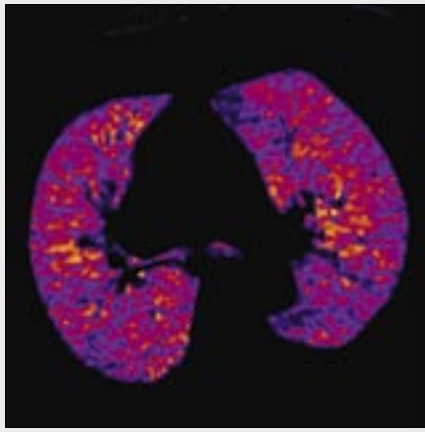
▲ Obr. 2B



▲ Obr. 2C



▲ Obr. 2D



▲ Obr. 3A



▲ Obr. 3B



▲ Obr. 3C

Obr. 3. Air trapping u akutní bronchiolitidy, pokles perfuze v oblasti zadrženého vzduchu v periférii plice

A – perfuzní mapa; B – MinIP obraz; C – HRCT

Fig. 3. Air-trapping in acute bronchiolitis, decreased perfusion in the regions of trapped air distributed in the lung periphery

A – perfusion map; B – MinIP image; C – HRCT

váděna odděleně dvě vyšetření pro posouzení perfuze a ventilace, kdy neshoda v deficitu distribuce radiofarmaka sloužila jako známka pro identifikaci oblastí s plicní embolizací. Zobrazovací metody používají pro posuzování ventilace především vzácné plyny – například hyperpolarizované helium u magnetické rezonance, nebo xenon u výpočetní tomografie (3, 4). Použití těchto plynů je jednak ekonomicky nákladné, jednak logisticky velmi náročné, ale navíc závislé na využití speciálních inhalátorů a tlakových láhví s plynem.

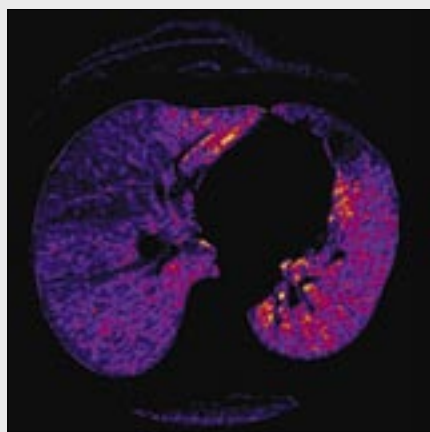
Zobrazení plicní perfuze pomocí DECT vychází z premisy, že koncentrace jodu je v arteriální fázi zobrazení plicního parenchymu dána především intravaskulární distribucí jodu a nikoliv distribucí extracelulární a extravaskulární. Proto pouze s nepatrným zjednodušením mapa distribuce jodu představuje mapu plicního cévního objemu – pulmonary blood perfusion volume (pulm. BPV). Výpočet mapy distribuce jodu v plicní tkáni je založen na tkáňové dekompozici tří materiálů analýzou dat pořízených pomocí záření se 140 kV a s 80 kV. Vzhledem k tomu, že převažující látkou v plicním parenchymu je vzduch, u něhož je denzita shodná u obou kvalit záření (–1000), stačí při tkáňové dekompozici vyhodnotit koncentraci jodu (5). Část denzity, za níž ve tkáni odpovídá jod, lze díky jeho mimořádným vlastnostem chování – extrémním vzestupem denzity při energii záření X odpovídající napětí 80 kV na rentgence – stanovit pomocí expozice zářením se dvojí energií a následným zpracováním dat (5, 6).

V CT je přirozenou kontrastní látkou v plicním parenchymu vzduch, na jeho obsahu je nejvíce závislá denzita plicního parenchymu. Pokud je použito algoritmu zobrazení minimum intensity projection (MinIP je algoritmus zobrazení dat zcela opačného efektu než je maximum intensity projection – MIP), zobrazuje se distribuce vzduchu v plicní tkáni s potlačením vlivu ostatních struktur v plicích, především cév naplněných jodovou kontrastní látkou (7–9). Užitím MinIP v plicní tkáni se zvýrazňují ty oblasti, v nichž je zvýšený podíl vzduchu ve srovnání s okolní tkání. Je známým paradoxem, že snížená denzita plicního parenchymu je vyvolána zvýšeným objemem vzduchu, který nepodléhá ventilaci – tzv. alveolární mrtvý prostor. Na výsledné nízké denzitě tkání se jen minimálně

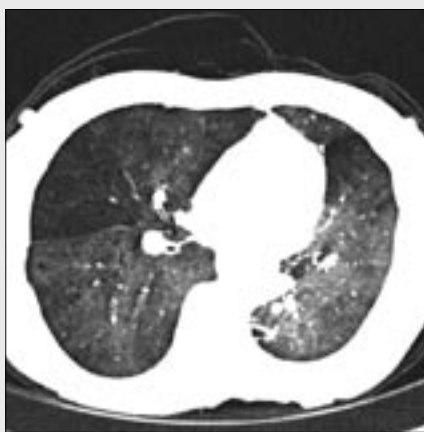
podílejí plicní cévy. Naopak oblasti, kde je zvýšený podíl intraalveolární tekutiny, nebo jde o oblasti plicní konsolidace, je výsledná denzita velmi vysoká, stejná jako u měkkých tkání mediastina nebo hrudní stěny. Pomocí MinIP tak je možné zobrazit nikoliv dobře ventilované, ale naopak špatně ventilované oblasti – oblast air trappingu, tedy zadržování vzduchu ve výdechu kolabujícím bronchiálním stromem nebo oblast, kde je porucha ventilace způsobena mrtvým alveolárním prostorem u emfyzému (8, 9). Snížená ventilace se projevuje i reaktivně v oblastech, kde je snížený průtok krve – dochází k reaktivnímu zúžení bronchů a mírnému poklesu objemu ventilovaného vzduchu při paradoxně lehce zvýšenému objemu vzduchu v plicní tkáni. Pomocí rozdílných denzit při MinIP je možné odlišit oblasti s omezenou výměnou vzduchu a normálně ventilované plíce. Vyšetření sice byla prováděna v mírném inspiriu, nemocní vyšetřovaní pro podezření na plicní embolizaci však v naprosté většině případů hyperventilují z důvodu dušnosti, a proto se zvýrazňují oblasti zadržení vzduchu typu air trappingu. V úvahu přichází i provádění CT-angiografie plicnice ve výdechu, což je ale pro nemocného trpícího dušností více stresující.

Fyziologické a patologicko-fyziologické vzájemné působení ventilace a perfuze je velmi komplexní (1, 2, 10, 11). Proto není možné je jednoduchým způsobem zobecnit. Pro pochopení jednotlivých patofyziologických změn, které můžeme pozorovat při CT vyšetření se zobrazením perfuze i ventilace, je nutné mít na zřeteli některé základní pochody ovlivňující průtok krve v plicích.

Plicní cévní řečiště se liší od řečiště systémového tím, že tloušťka stěny plicních arterií je jen asi třetinová ve srovnání se systémovými tepnami stejného řádu. U drobných arterií plicního řečiště je stěna tvořena jen malým množstvím hladké svaloviny a endotelem, také v postkapilárních venulách je obdobné malé množství svalové tkáně. Naopak plicní kapiláry jsou relativně široké a tvoří rete, do něhož jsou umístěny jednotlivé skupiny alveolů. Architektura plicní tkáně a plicního cévního systému předurčuje významné vzájemné ovlivňování mezi funkcí plicního řečiště vyjádřeného perfuzí a funkcí funkčního parenchymu vyjádřeného ventilací.



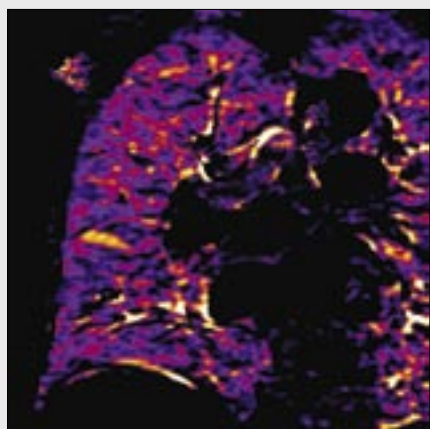
▲ Obr. 4A



▲ Obr. 4B



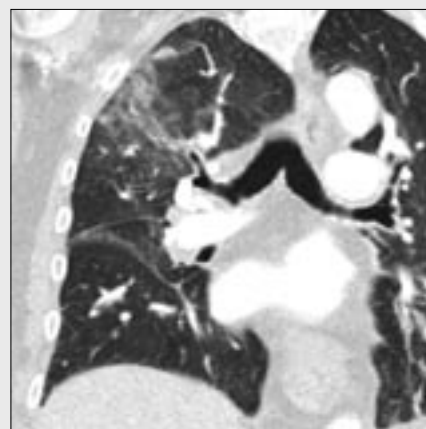
▲ Obr. 4C



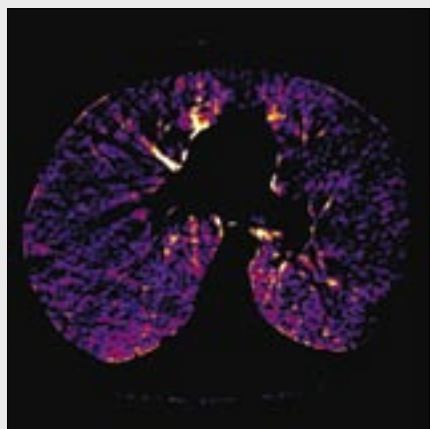
▲ Obr. 5A



▲ Obr. 5B



▲ Obr. 5C



▲ Obr. 6A



▲ Obr. 6B



▲ Obr. 6C

Obr. 4. Mrtvý prostor u emfyzému, perfuze v nejvíce postiženém parenchymu je minimální, maximální v relativně ušetřeném parenchymu
A – perfuzní mapa; B – MinIP obraz; C – HRCT

Fig. 4. Dead space in emphysema, perfusion is minimised in the most involved parenchyma, maximal perfusion is present in relatively preserved parenchyma

A – perfusion map; B – MinIP image; C – HRCT

Obr. 5. Infekce Candida albicans. Hyperperfuze v oblasti infiltrace typu mléčného skla

A – perfuzní mapa; B – MinIP obraz; C – HRCT

Fig. 5. Candida albicans infection. Hyperperfusion in the region of ground glass opacities

A – perfusion map; B – MinIP image; C – HRCT

Obr. 6. Intersticiální postižení – pokročilá sarkoidóza. Relativní zvýšení perfuze v oblastech, kde je plicní parenchym nejméně postižen

A – perfuzní mapa; B – MinIP obraz; C – HRCT

Fig. 6. Interstitial lung disease – advanced sarcoidosis. Relatively increased perfusion in the region of lesser involvement

A – perfusion map; B – MinIP image; C – HRCT

Fyziologicky, až na nevýznamné zkratky mezi bronchiálním arteriálním a plicním arteriálním řečištěm a na drenáž myokardu thebesiánskými žilami (tzv. fyziologický zkrat), prochází všechna krev přečerpáná systémovým oběhem plicním řečištěm. Plicní cévy jsou distenzibilním nízkotlakým systémem, který v klidu vleže obsahuje pouze asi 1000 ml krve, přičemž objem kapilárního plicního řečiště je pouhých 100 ml. Mezi plicními arteriemi, plicním kapilárním systémem a poté dále i plicními žilami existuje pomalý tlakový spád (1).

Významný vliv na plicní cirkulaci má gravitace. Hydrostatický tlak způsobuje výrazný tlakový spád mezi výše uloženými plicními tepnami a tepnami uloženými níže. Více je tento tlakový spád vyjádřen v poloze vertikální než horizontální. V poloze vertikální se v plicním parenchymu objevují čtyři charakteristické zóny (s plynulým přechodem mezi nimi). V první zóně apikální je atmosferický tlak za některých okolností vyšší, než je tlak v kapilárním systému, dochází tak ke kolapsu plicních cév a plicní alveolární prostor se pak stává alveolárním mrtvým prostorem. V zóně druhé je tlak v plicním arteriálním i žilním řečišti vyšší než atmosferický. V arteriálním systému značný tlakový nepoměr ve srovnání s plicními žilami a krev pak do žil po tlakovém spádu „přepadává“, tlakový spád odpovídá přibližně rozdílu mezi tlakem plicním arteriálním a tlakem atmosferickým. Hovoří se o vodopádovém jevu. V dolní části plic se uplatňuje na plicní perfuzi především tlakový rozdíl mezi plicnicí a levou srdeční síní. V bazálních částech plic se může uplatňovat i onkotický tlak bílkovin na tlakovém spádu, a ovlivňovat tak výslednou perfuzi (1). Při CT vyšetření jsou jednotlivé zóny méně vyhraněné, protože nedochází k tak výraznému spádu hydrostatického tlaku. Nicméně je znám fenomén gravitačních atenuací, které mají svůj původ právě v porušení perfuze zvýšeným intersticiálním tlakem a ovlivněním ventilace příslušných partií. Na perfuzních mapách lze v poloze vleže jasně pozorovat, že nejvíce perfundované plicní partie jsou dorzální segmenty horních i dolních laloků, naopak nejnižší úroveň perfuze je v oblastech přední dotekové linie v oblasti pectorálních segmentů, středního laloku a linguly.

Za klidu a normálních fyziologických okolností je objem ventilovaného vzduchu u normálního jedince přibližně 4,2 l za minutu, průtok krve plicním řečištěm je 5,5 l. Ventilace perfuzní poměr v plicích je tedy 0,8. Gravitací je však výrazně ovlivněn ventilace perfuzní poměr v jednotlivých částech plic. Jak perfuze, tak i ventilace se ve směru od báze k plicnímu vrcholu ve zpřímené poloze snižují, stejně tak v poloze na zádech se perfuze i ventilace snižují z dorzální strany k ventrální. Ve vyšších oblastech je však velmi vysoký poměr ventilace vzhledem k perfuzi. Rozdíly v densitě plicního parenchymu se projevují jen nepatrným snížením density plicní tkáně na MinIP obrazech (1, 10).

Kromě aktivní stimulace krční sympatikem a endoteliálními působky (oxid dusnatý NO), je regulována plicní perfuze také pasívními mechanismy. Nejvýznamnější je zvýšení srdečního výdeje, vzhledem k distenzibilitě řečiště je plicní řečiště schopné pojmout významně vyšší objem krve a její hemoglobin plně saturovat (2, 10). Vzhledem k tomu, že akcelerace srdečního výdeje se při CT vyšetření neděje, je tento mechanismus pro interpretaci nálezu nevýznamný. Významnější je faktor lokálního působení kyslíku při ventilaci. Při snížení ventilace nedostatek kyslíku v alveolárním prostoru vede k výrazné vazokonstrikci a k odklonění plicní perfuze mimo hypoventilovanou část plic. Při CT se tento jev projevil u našich nemocných s air trappingem zvýšením objemu vzduchu při jeho zadržování nikoliv výměně sledovaným poklesem perfuze. Častým jevem je, že část se zachovalou ventilací je více prokrvena, tedy zde zvýšeně působí kyslík a oblast je kompenzatorně výrazně hyperperfundována, protože se zde výrazně uplatňuje Poiseuilleův zákon (odpor je nepřímo úměrný čtvrté mocnině poloměru trubice). V CT obrazu zde byla zobrazena zvýšená perfuze při zachování normální density plicního parenchymu na MinIP.

Výrazný vliv na perfuzi plicním kapilárním řečištěm mají i intersticiální síly. Intersticiem způsobuje při nádechu mocný radiální tah, jehož následkem je kolaps kapilárního řečiště a dilatace cév většího průsvitu. U intersticiálních plicních procesů je při nádechu tento efekt velmi výrazný a podílí se na snížení perfuze postiženou plicní tkání pozorovatelné na perfuzních mapách i u našich nemocných s intersticiálním postižením.

Při zánětlivém postižení plicního parenchymu se v iniciálních fázích projevuje spíše jeho překrvení vlivem působení lokálních mediátorů zánětu, proto se objevuje lokální překrvení plicní tkáně, které bylo pozorovatelné i při perfuzním zobrazení.

ZÁVĚR

Zobrazení plicní cirkulace pomocí duální energie záření představuje možnost jak studovat v terénu patologických změn poruch cirkulace a plicní perfuze. Porovnáním se zobrazením a hypoventilované plicní tkáně pomocí MinP obrazů lze studovat vztahy poruch perfuze a ventilace. Pomocí podrobného studia změn v konkrétních případech lze blíže specifikovat plicní postižení a zejména v akutních stavech dušnosti nebo jiné klinické symptomatologie správně odlišit poruchy plicní cirkulace reaktivní od poruch plicní perfuze způsobené plicní embolizací. U plicní embolizace je naopak možné kromě oblastí zasažených makroskopickou embolizací objevit místa, která mají postiženou plicní perfuzi na podkladě mikroskopické endovaskulární obliterace mikrocirkulace.

LITERATURA

1. **Fishman AP. (ed.)** The pulmonary circulation: normal and abnormal. Philadelphia: University of Pennsylvania Press 1990.
2. **Herget J.** Patophysiology of the pulmonary blood vessels in chronic lung disease. *Physiol Res* 1991; 40: 129–137.
3. **Chae EJ, Seo JB, Goo HW, Kim N, Song KS, Lee SD, Hong SJ, Krauss B.** Xenon ventilation CT with a dual-energy technique of dual-source CT: initial experience. *Radiology* 2008; 248: 615–624.
4. **Nakagawa T, Sakuma H, Murashima S, Ishida N, Matsumura K, Takeda K.** Pulmonary ventilation-perfusion MR imaging in clinical patients. *J Magn Reson Imaging* 2001; 14: 419–424.
5. **Johnson TRC, Krauss B, Sedlmair M, et al.** Material differentiation by dual energy CT: initial experience. *Eur Radiol* 2007; 17: 1510–1517.
6. **Ferda J, Flohr T, Kreuzberg B.** Zobrazení tkání výpočetní tomografií s duální energií záření – první zkušenosti s klinického využití. *Ces Radiol* 2008; 62: 11–22.
7. **Satoh S, Kitazume Y, Taura S, Kimura Y, Shirai T, Ohdama S.** Pulmonary Emphysema: Histopathologic Correlation With Minimum Intensity Projection Imaging, High-Resolution Computed Tomography, and Pulmonary Function Test Results. *J Comput Assist Tomogr* 2008; 32: 576–582.
8. **Satoh S, Ohdama S, Shibuya H.** Sliding thin slab, minimum intensity projection imaging for objective analysis of emphysema. *Radiat Med* 2006; 24: 415–421.
9. **Endo S, Murayama F, Hasegawa T, Sohara Y, Fuse K.** Helical computed tomographic minimum-intensity projection of a slit in an airway obstruction. *Ann Thorac Surg* 1999; 67: 847–849.
10. **Cope DK, Grimbert F, Downey JM, et al.** Pulmonary capillary pressure: a review. *Crit Care Med* 1992; 20: 1043–1056.
11. **Weitzenblum E, Apprill M, Oswald M, et al.** Pulmonary hemodynamics in patients with chronic obstructive pulmonary disease before and during episode of peripheral edema. *Chest* 1994; 105: 1377–1382.

Martin Breitsenseher, Martin Dominkus, Gabriele Amann

BILDGEBENDE DIAGNOSTIK UND THERAPIE DER WEICHTEILTUMOREN / Diagnostické zobrazování a terapie nádorů měkkých částí

Thieme, Stuttgart 2008; 294 s. ISBN 978-3-13-143131-8.

Rozsáhlá publikace věnovaná velmi komplikované problematice nádorových onemocnění měkkých tkání je rozčleněna na celkem 11 kapitol, které se nejprve věnují obecným otázkám nádorů měkkých částí, jejich epidemiologii, klinické diagnostice.

Kniha je rozdělena na obecnou část a část kazuistickou. Velmi přínosná, obsáhlá a dobře dokumentovaná mikrofotografiemi histologických obrazů a makrofotografiemi celých nádorů je část systematicky probírající nádory měkkých tkání dle recentní WHO klasifikace z roku 2002. Důraz je kladen na důkladný rozbor původu nádorů a na jejich biologické chování a také na jednotlivé klinické projevy včetně biochemických nálezů a možné celkové odezvy organismu.

Podrobná je rovněž kapitola, která se věnuje jak metodologicky, tak rozbořením zásad hodnocení všem radiodiagnostickým

metodám. Důraz je kladen především na zobrazení magnetickou rezonancí. Velmi bohatá je obrazová dokumentace, která zahrnuje jednak vlastní zobrazení magnetickou rezonancí, výpočetní tomografií nebo ultrazvukem, ale také přehledná schémata popisující postup analýzy zobrazení.

V oddíle věnovaném metodám nukleární medicíny je jistě přínosné srovnání indikací jednotlivých metod a především podrobný výklad týkající se pozitronové emisní tomografie. Čtyři kapitoly jsou věnovány chirurgickému přístupu k léčbě nádorů měkkých tkání, radiologické intervenční léčbě, chemoterapii i radioterapii.

Bohatě vypravený kazuistický oddíl s popisem a obrazovou dokumentací padesáti konkrétních případů jen podtrhuje celkový vynikající dojem z publikace, kterou lze doporučit všem pracovištím, kde se podobnou problematikou zabývají.

doc. MUDr. Jiří Ferda, Ph.D.