

AUTOMATICKÁ DETEKCE (CAD) V CT DIAGNOSTICE PLICNÍ EMBOLIZACE: JAKÝ JE PŘÍNOS PRO MLADÉHO RADIOLOGA?

AUTOMATED DETECTION (CAD) IN CT DIAGNOSTICS OF PULMONARY EMBOLISM: POSSIBLE BENEFIT FOR JUNIOR RADIOLOGIST?

původní práce

Jan Baxa¹
Jiří Ferda¹
Alena Bednářová¹
Renata Vondráková¹
Hynek Mírka¹
Lucie Baxová²
Boris Kreuzberg¹

¹Radiodiagnostická klinika LF UK a FN, Plzeň

²I. interní klinika LF UK a FN, Plzeň

Přijato: 5. 8. 2008.

Korespondenční adresa:

MUDr. Jan Baxa
Radiodiagnostická klinika LF UK a FN
Alej Svobody 80, 306 40 Plzeň
e-mail: baxaj@fnplzen.cz

Práce byla podpořena výzkumným projektem MSM 0021620819.

Práce byla prezentována jako vědecké sdělení na výročním kongresu ESTI 2008 v Nice (Francie).

SOUHRN

Baxa J, Ferda J, Bednářová A, Vondráková R, Mírka H, Baxová L, Kreuzberg B. Automatická detekce (CAD) v CT diagnostice plicní embolizace: Jaký je přínos pro mladého radiologa?

Cíl. Zjistit přesnost aplikace CAD v detekci periferní plicní embolizace při CTA plicnice a zhodnotit možný přínos pro mladého radiologa.

Materiál a metoda. Zkoumaný soubor obsahoval 18 pacientů (9 žen) s pozitivním nálezem a 18 pacientů s negativním nálezem při CTA plicnice. Celkový počet embolů u těchto pacientů byl 78 (41 v segmentární a 37 v subsegmentární úrovni; 4,3 embolu na pacienta). Všechny 36 vyšetření bylo analyzováno aplikací CAD (PE-CAD, Siemens Medical Solutions, Německo). Dále byl stejný soubor analyzován mladým radiologem (30 měsíců praxe), který nejdříve vyhodnotil vyšetření samostatně a poté výsledky porovnal s analýzou provedenou aplikací CAD. Pro kontrolu byl soubor zhodnocen samostatně ještě zkušeným radiologem.

Výsledky. Aplikace CAD správně detekovala 44 embolů (57 %), průměrný počet falešně pozitivních nálezů na pacienta byl 3,1 (celkem 112). Analýza výsledků podle jednotlivých embolů prokázala celkovou (segmentární + subsegmentární) senzitivitu aplikace CAD 56 % (segmentární – 73 %, subsegmentární 38 %) a pozitivní prediktivní hodnotu (PPV) 42 %. Celková senzitivita mladého radiologa se po porovnání výsledků zvýšila z 83 % na 87 % (segmentární – z 95 % na 97 % + subsegmentární – z 70 % na 75 %). Senzitivita zkušeného radiologa dosáhla

SUMMARY

Baxa J, Ferda J, Bednářová A, Vondráková R, Mírka H, Baxová L, Kreuzberg B. Automated detection (CAD) in CT diagnostics of pulmonary embolism: Possible benefit for junior radiologist?

Aim. Of our study was to evaluate the accuracy of CAD tool for automated detection of segmental and sub-segmental pulmonary embolism and the capability of this software to help junior radiologist in evaluation of CT pulmonary angiography (CTPA).

Method. We selected 18 patients (9 women aged 17–79 years, men aged 58 years) from our set of CTPA's with total of 78 emboli (41 segmental/37 subsegmental; 4.33 emboli per patient). As a control group we randomly picked 18 patients with negative CTPA. All 36 examinations were analysed by CAD tool (PE-CAD, Siemens Medical Solutions, Germany), by junior radiologist (2.5 years experience with CT) alone and in consensus with the CAD tool and finally by senior radiologist (14 years experience with CT). The findings of head senior radiologist (15 years practice of thorax CT) were considered as reference for presence of all of emboli.

Results. CAD correctly detected 44 emboli (30 segmental, 14 subsegmental), the average false positive rate of the CAD was 3.1 per examination (overall 112). As for the analysis of segments, the overall (segmental + subsegmental) sensitivity of the CAD was 56.4% (segmental = 73.2%; subsegmental = 37.8%) and the positive predictive value (PPV) was 42.3%. Junior radiologist profited by the consensus with the CAD, their overall sensitivity increased from 83.3% to

92 % (segmentární – 100 %; subsegmentární 94 %). V analýze podle pacienta (alespoň 1 správně pozitivní embolus) dosáhla aplikace CAD senzitivity 83 % a negativní prediktivní hodnoty (NPV) 79 %.

Závěr. Naše práce i výsledky ostatních studií prokazují potenciál systému automatické detekce zlepšit úspěšnost mladého radiologa v detekci periferní plicní embolizace při CTA plicnice; je tedy využitelný pro tzv. „druhé čtení“.

Klíčová slova: automatická detekce, CAD, CT pneumoangiografie, plicní embolizace.

87.2% (segmental – from 95.1% to 97.2%; subsegmental – from 70.2 to 75.2%) and the PPV from 93.2% to 95.6%. Senior radiologist achieved the overall sensitivity of 92.3% (segmental = 100%; subsegmental = 94.1%) and PPV of 96.1%.

As for the analyses of patients, the sensitivity of CAD was 83.3% and the negative predictive value (NPV) was 78.6%, the sensitivity of junior radiologist in consensus with the CAD was 94.5% and the NPV was 93.8%, the sensitivity and NPV of senior radiologist were 100%.

Conclusion. Our own results show the capability of the CAD tool to improve performance of junior radiologist in detecting of segmental and subsegmental pulmonary embolism at CTPA. CAD is feasible as a “second reader” in the evaluation of CTPA, but low sensitivity in detecting subsegmental embolism and high false positive rate demand further improvement.

Key words: automated detection, computer – aided diagnosis, CT pulmonary angiography, pulmonary embolism.

ÚVOD

Plicní embolizace je velmi časté a v neléčených případech potenciálně fatální onemocnění. Přesná diagnostika plicní embolizace je tedy důležitá pro následující vyšetřovací algoritmus a léčbu, která se řídí schválenými doporučeními (1).

Spirální multidetektorová technologie znamenala výrazné zvýšení senzitivity v detekci plicní embolizace pomocí výpočetní tomografie (CT), a to zejména v segmentární a subsegmentární lokalizaci. Právě z důvodu velmi vysoké přesnosti je v současnosti multidetektorová CT-angiografie považována za zlatý standard v diagnostice plicní embolizace (2).

Hodnocení CT angiografie plicního řečiště (CTAP) patří mezi rutinní vyšetření, které je však, vzhledem ke komplikovanosti periferního plicního řečiště, relativně náročné. Stále užší nominální kolimace moderních CT přístrojů dále znamená zvyšující se množství rekonstruovaných CT obrazů, které je nutné zhodnotit, což prodlužuje dobu potřebnou pro vyšetření.

Zároveň s rozvojem multidetektorové technologie dochází ke stále intenzivnějšímu rozvoji speciálních softwarových aplikací, které pomáhají při hodnocení („computer-aided diagnosis“ – CAD). Systémy automatické detekce, které samostatně vyhledávají patologické léze, jsou nejsložitější a softwarově nejnáročnější aplikace z této skupiny. Mezi ně patří například systémy vyhledávající plicní uzly v CT či RTG vyšetřeních,

léze v digitální mamografii a střevní polypy v CT kolografii. Novinkou posledních pěti let je vývoj systémů automatické detekce plicních embolů (3).

V naší práci jsme se zaměřili na prototyp automatického systému pro detekci plicních embolů (PE-CAD), který je součástí aplikace Circulation (Siemens Medical Solutions, Forchheim, Německo). Naším cílem bylo zhodnotit potenciál PE-CAD a jeho přínos pro mladého radiologa v detekci segmentární a subsegmentární embolizace.

MATERIÁL A METODA

Testovaný soubor

Z našeho souboru CTAP z let 2006 a 2007 jsme vybrali 18 pacientů s pozitivním nálezem na segmentární a subsegmentární úrovni. Do souboru byli zařazeni pacienti s celkovým množstvím embolů menším než 10. Soubor jsme doplnili 18 pacienty s negativním nálezem. Pozitivní i negativní nálezy byly potvrzeny 2 atestovanými radiology specializovanými v CT zobrazování hrudníku (15 a 10 let praxe), a tedy stanoven celkový počet 78 embolů u 18 pacientů (41 v segmentární a 37 v subsegmentární lokalizaci).

Vyšetřovací protokol

Pro vyšetření byl použit 64-řadý výpočetní tomograf (Soma-tom Sensation 64, Siemens Medical Solutions, Forchheim, Německo) za použití standardního protokolu pro CTA plic-nice: 120 kV, 140 mA_{seff}, nominální kolimace 64 × 0,6 mm, perioda rotace rentgenky 330 ms, faktor stoupání 0,95. Pro hodnocení plicního řečiště byla použita data s šířkou obrazu 0,6 mm a přesahem vrstev 0,4 mm, rekonstruována v kernelu s nízkým rozlišením rozhraní denzit (Siemens B30).

Vyšetření byla prováděna po intravenózním podání neo-nické jodové kontrastní látky s koncentrací jodu 400 mg/l (Io-meron 400, Bracco, Itálie) v množství 80 ml. Kontrastní látka byla aplikována přetlakovým injektorem rychlostí 5 ml/s se záplachem 50 ml fyziologického roztoku rychlostí 3 ml/s.

Akvizice dat v kraniokaudálním směru v rozsahu plic byla automaticky spouštěna metodou bolus trackingu po dosažení hodnoty 80 HU v ascendentní hrudní aortě.

Analýza dat

Nejdříve byl souborem testován PE-CAD, který je jednou z funkcí aplikace Circulation® (Siemens Medical Solutions, Forchheim, Německo). Po načtení dat systém automaticky provedl vyhodnocení s nabídkou seznamu možných embolů, který byl porovnán se skutečným nálezem. Zároveň byl za-znamenan počet falešně pozitivních nálezů.

Mladý radiolog (30 měsíců praxe v hodnocení CT) prová-děl vyšetření v náhodném pořadí bez znalosti, zda se jedná o vyšetření s pozitivním či negativním nálezem. Hodnocení bylo prováděno ve třech rovinách multiplanárního zobrazení s šíří vrstvy 1 mm. Pro hodnocení 1 pacienta byl stanoven ča-sový limit 10 minut. Po skončení byl radiologem opět spuštěn automatický detekční systém a výsledky vzájemně porovná-ny.

Pro možnost porovnání provedl hodnocení souboru také zkušený radiolog (12 let v hodnocení CT) bez následné kon-frontace s výsledky automatického detekčního systému.

VÝSLEDKY

Automatickým detekčním systémem bylo správně deteko-váno 44 embolů z celkového počtu 78 (57 %), 30 ze 41 seg-mentárních a 14 z 37 subsegmentárních. Průměrný počet falešně pozitivních nálezů na pacienta byl 3,1 (celkem 112). Analýza výsledků podle jednotlivých embolů prokázala cel-kovou (segmentární + subsegmentární) senzitivitu PE-CAD 56 % (segmentární – 73 %, subsegmentární 38 %) a pozitivní prediktivní hodnotu (PPV) 42 %. V analýze podle jedno-tlivých pacientů byl jako správně pozitivní určen ten, u kterého PE-CAD správně našel alespoň 1 embolus. PE-CAD správně určil jako pozitivní 15 pacientů z 18, jako falešně pozitiv-ní označil 7 pacientů (senzitivita 83 %, specifická 61 %, PPV 68 %, NPV 79 %).

Mladý radiolog dosáhl celkové senzitivity 83 %, po porov-nání s PE-CAD se zvýšila na 87 % (segmentární – z 95 % na 97 %, subsegmentární – z 70 % na 76 %). V analýze podle pa-cienta byl jako falešně negativní označen 1 pacient, jako faleš-ně pozitivní 2 pacienti (senzitivita 95 %, specifická 89 %, PPV 90 %, NPV 94 %).

Tab. 1. Porovnání výsledků CAD v jednotlivých studiích (Hvězdičkou označeny studie testující novou verzi.)

Tab. 1. Comparison of results of CAD in different studies (Asterisk indicates studies of new version of PE-CAD.)

Studie	Perif. emboly	CAD senzitivita			Falešně pozitivní Ø na pa-cienta
	počet	celkově	segment.	subseg-ment.	
Engelke C, GER (Siemens)	820	34,0 %	41,0 %	28,0 %	4,1
Baxa J, CZE (Siemens)	78	57,0 %	73,0 %	38,0 %	3,1
Buhman S, GER (Siemens)*	147	82,0 %			3,9
Das M, GER (Siemens)*	215	83,0 %	87,0 %	77,0 %	4,0

Tab. 2. Porovnání výsledků mladých radiologů v jednotlivých studiích (Hvězdičkou označeny studie testující novou verzi.)

Tab. 2. Comparison of results of junior radiologists in different studies (Asterisk indicates studies of new version of PE-CAD.)

Studie	Praxe na CT měsíce	Segment. + subsegment.		Segment.		Subsegment.	
		bez CAD	s CAD	bez CAD	s CAD	bez CAD	s CAD
Engelke C, GER (Siemens)	18	73 %	77 %	80 %	84 %	66 %	75 %
Baxa J, CZE (Siemens)	30	83 %	87 %	95 %	97 %	70 %	76 %
Das M, GER (Siemens)*	12			71 %	83 %	63 %	81 %

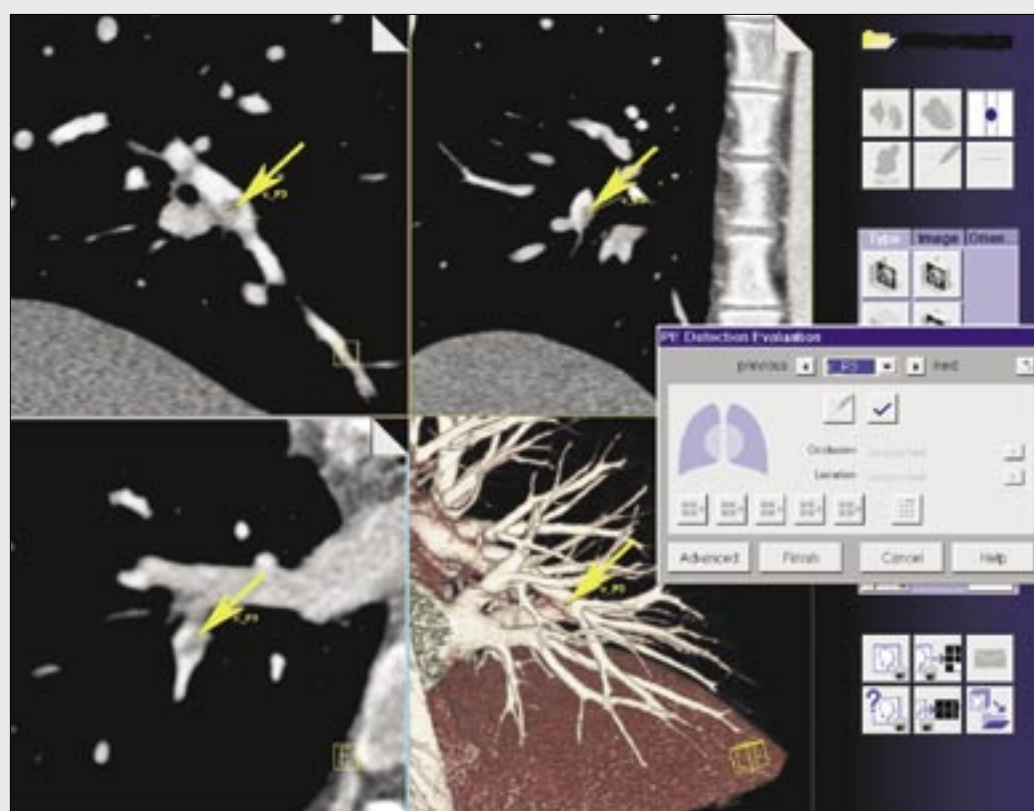
Zkušený radiolog dosáhl v analýze podle embolů celko-vé senzitivity 92 % (segmentární – 100 %, subsegmentární – 89 %). V analýze podle pacientů dosáhl senzitivity 100 %.

DISKUSE

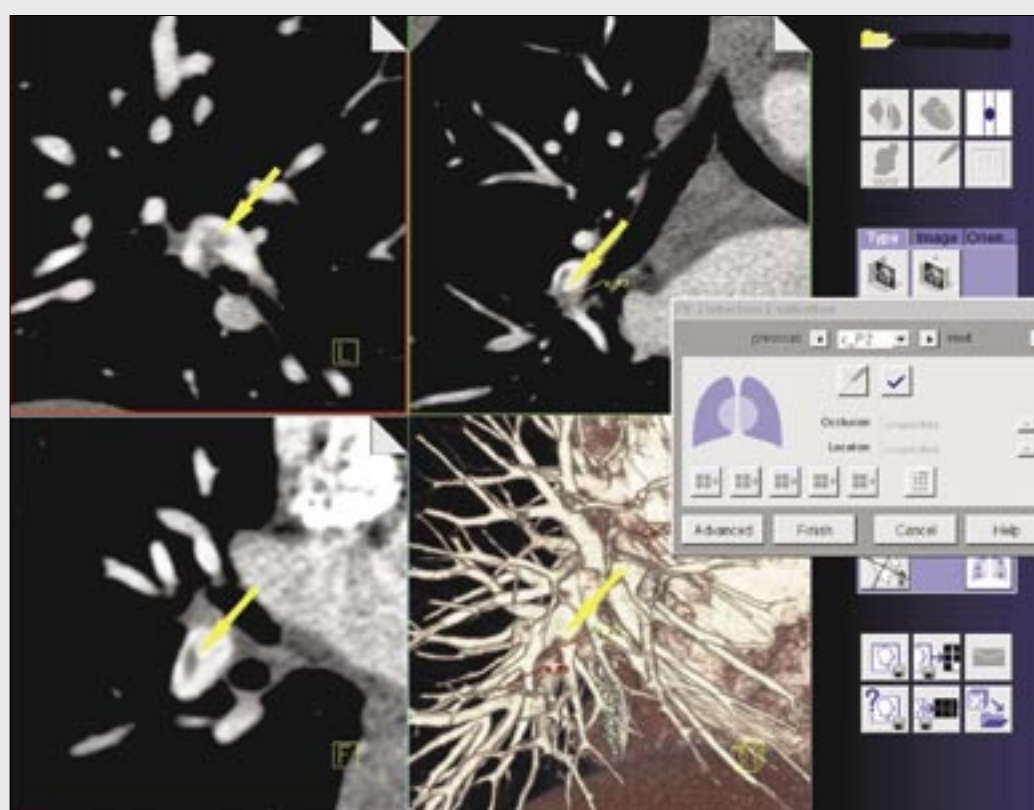
Mezinárodní prospektivní multicentrická studie zabývající se diagnostikou plicní embolizace (PIOPED II) označila plicní angiografii pomocí multidetektorové výpočetní tomografie (CTAP) za metodu první volby u většiny pacientů, s výjimkou těhotných žen, pacientů s poškozenou funkcí ledvin a těžkou alergií na jodové kontrastní látky (4, 5). Na základě doporuče-ní této studie dochází postupně k růstu počtu vyšetření CTAP (FN Plzeň v roce 2003: 56 vyšetření, 2004: 78 vyšetření, 2005: 126 vyšetření; 2006: 212 vyšetření; 2007: 342).

Moderní multidetektorové výpočetní tomografy umožnily hodnocení plicního řečiště na segmentární a zejména subseg-mentární úrovni, zároveň však objektivně zvýšila nároky na radiologa, který musí hodnotit větší rozsah plicního řečiště na větším množství řezů než v případě starších CT přístrojů (s 1 až 4 řadami detektorů) (6).

Hodnocení CTAP je rutinní dovedností patřící mezi jedno z prvních akutních vyšetření prováděných mladým radiolo-gem v rámci své specializační přípravy. Primární hodnocení i tzv. „druhé čtení“ je však vzhledem k rozsahu a komplikova-nosti plicního řečiště velmi náročné a vyžaduje systematický přístup. Vzhledem k závažnosti plicní embolizace s nutností urgentní léčby v případě pozitivního nálezu je nutné provést hodnocení i v relativně krátké době (7).

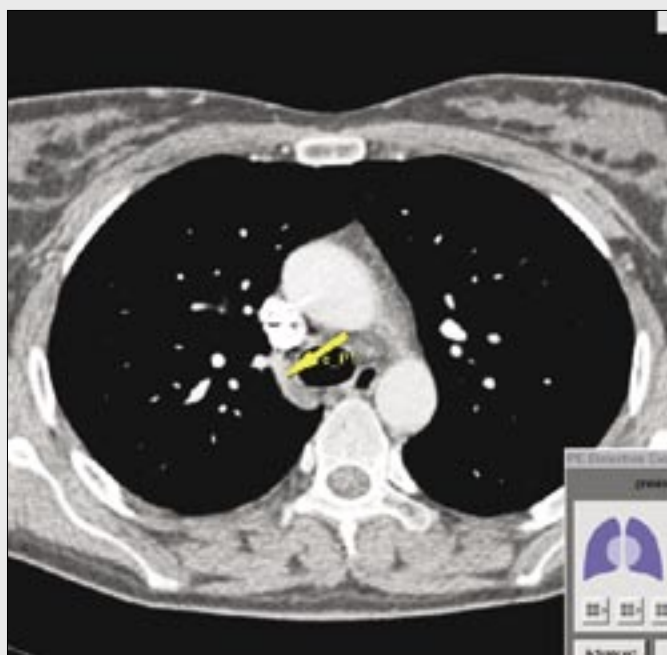


▲ Obr. 1A



▲ Obr. 1B

Obr. 1A, B. **Správně pozitivní nálezy plicních embolů**
 Fig 1A, B. **True positive findings of pulmonary emboli**



▲ Obr. 2A

Obr. 2. **Falešně pozitivní nálezy**

A – v. azygos; B – plicní žíla; C – hilové uzliny

Fig. 2. **False positive findings**

A – azygos vein; B – pulmonary vein; C – hilar lymph nodes

Obecným principem aplikací CAD je zpřesnit práci radiologa, tzn., snížit počet falešně negativních nálezů a zvýšit pozitivní i negativní prediktivní hodnotu. CAD pro vyhledávání plicních embolů je relativní novinkou v této oblasti, existuje již však několik studií, které se věnují možnému využití tohoto systému. Engelke et al. v své práci testoval největší počet embolů (celkem 1116 u 56 pacientů) a zjistili poměrně nízkou senzitivitu stejného typu PE-CAD jako v naší práci, ale prokázali statisticky významné zlepšení výsledků mladého radiologa v diagnostice periferní plicní embolizace po porovnání s výsledky PE-CAD. Možnou limitací této práce je velký průměrný počet embolů u jednoho pacienta ($\bar{19,9} \pm 15,3$) (8).

V naší práci jsme testovali stejný prototyp CAD jako Engelke et al., ale pokusili jsme se vytvořit soubor s nízkým průměrným počtem embolů na pacienta (4,33) (1–9) se snahou zhodnotit možnosti CAD a mladého radiologa při diagnostice periferní embolizace s malým počtem embolů. Námi zjištěná senzitivita PE-CAD byla vyšší, ovšem zejména na subsegmentární úrovni stále poměrně nízká (37 %). Naše práce také prokázala pozitivní vliv PE-CAD na výsledky mladého radiologa. Limitací práce je nízký počet testovaných embolů, ovšem pro potvrzení předpokladů byl dostatečný.

V současné době již existuje nová verze PE-CAD (Siemens Medical Solutions, Německo). Buhmann et al. a Das et al. ve svých studiích prokázali výrazné zlepšení senzitivity této nové verze PE-CAD v porovnání s předchozí (9). Das et al. také zjišťoval vliv na výsledky radiologa a prokázali zlepšení výsledků nejen mladého, ale i zkušeného radiologa. Nová verze PE-CAD neznamenalá redukci průměrného počtu falešně pozitivních nálezů (10).

Schoepf et al. testoval jiný prototyp CAD (ImageChecker CT, R2 Technology Inc., Sunnyvale, USA) s poměrně vysokou senzitivitou (92% na segmentární a 90% na subsegmentární úrovni) (11). Stejnou verzi CAD testoval však ve své studii také Maizlin et al. s celkovou senzitivitou (53,3%) (12).

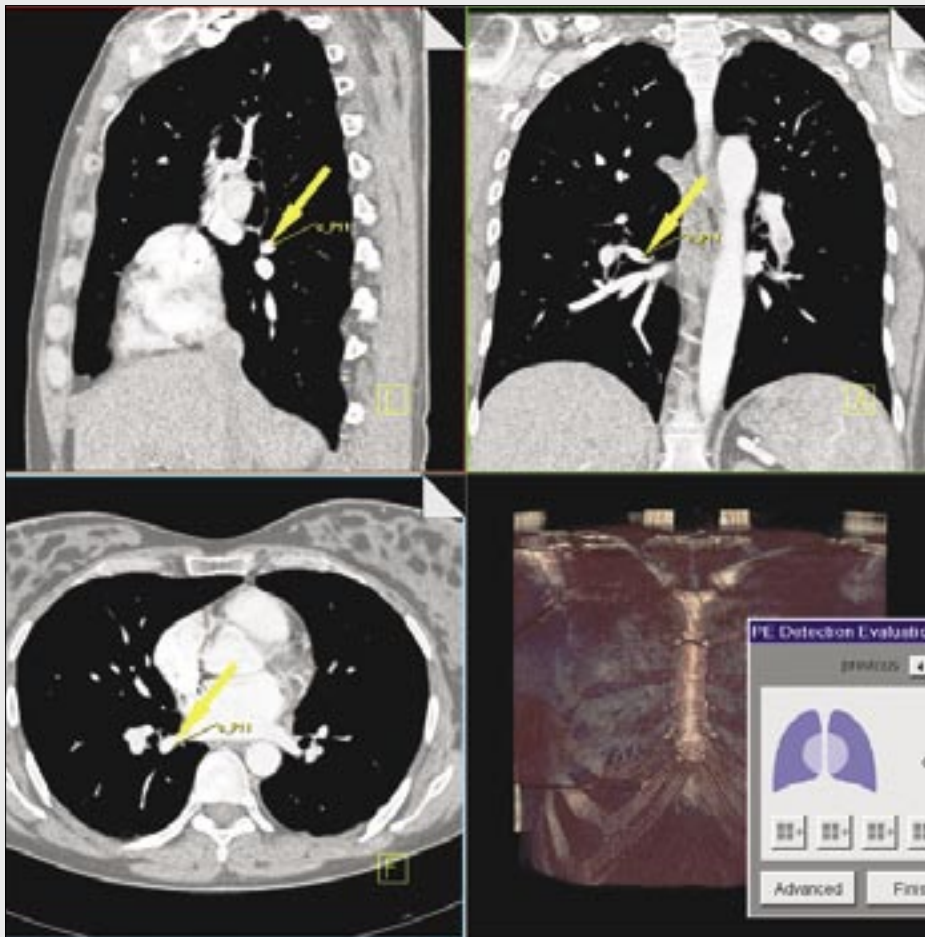
Zhou et al. vyvinul vlastní CAD software pro detekci plicní embolizace a prezentuje záchyt 92 % embolů na proximální úrovni a 77,8 % na subsegmentární úrovni (13). Stejně jako Schoepf et al. a Maizlin et al. testoval CAD pouze jako samostatný nástroj bez zjištění vlivu na radiologa.

Z našich zkušeností i z výsledků ostatních studií tedy jednoznačně vyplývá, že CAD může významně zpřesnit práci mladého radiologa, jehož senzitivita je nižší než u zkušených kolegů (14). Naši snahou bylo zhodnotit potenciál CAD v situaci solitární embolizace či embolizace s malým množstvím embolů, kdy nejvíce hrozí falešně negativní nález. V případech většího množství embolů na periferní úrovni není určení přesného počtu pro následnou léčbu důležité. Zejména proto je nutný další vývoj softwaru, zejména s ohledem na zvýšení přesnosti záchytu subsegmentární embolizace, kde dochází nejčastěji k falešně negativním nálezům. Dále považujeme za přínosné otestovat vliv náplně plicního řečiště kontrastní látkou, pohybových artefaktů a vyšší úrovně šumu u obézních pacientů na přesnost CAD.

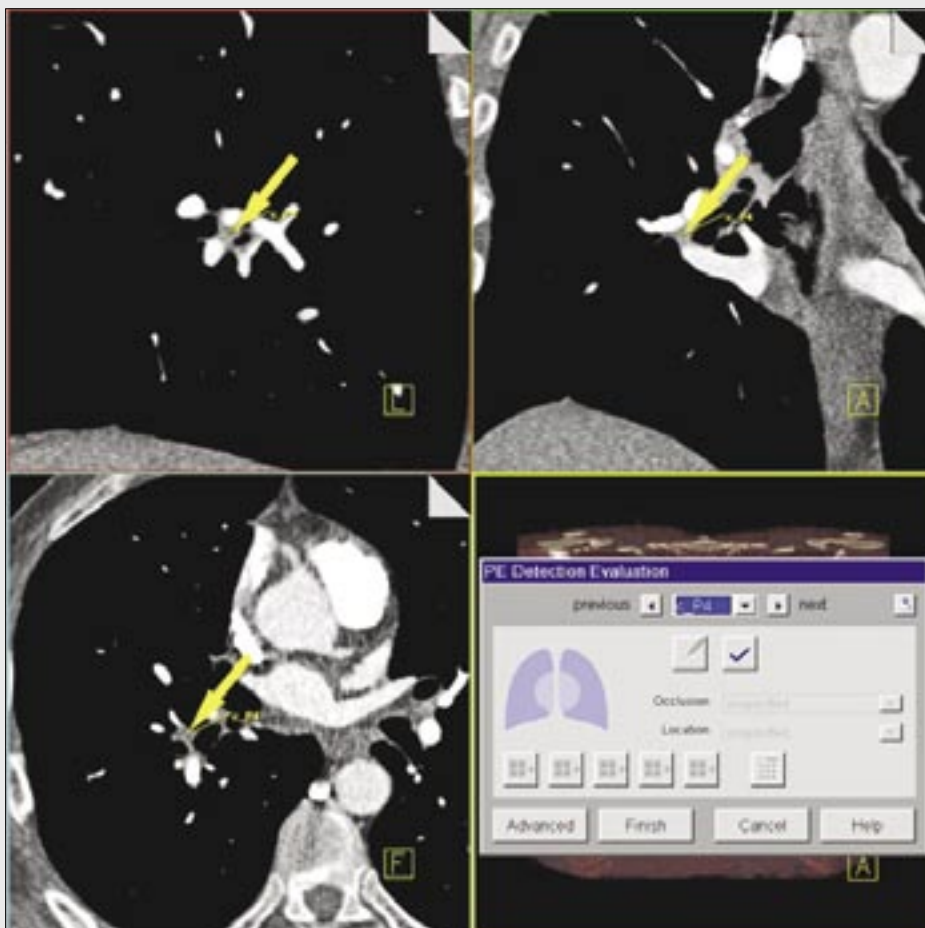
V současnosti jediným vyzkoušeným a doporučeným použitím CAD v běžné praxi je tzv. „druhé čtení“ (15). Možnost opačného využití, tedy kontrola výsledku CAD radiologem zatím nebyla vyzkoušena, ale vzhledem k poměrně vysoké senzitivě nových verzí CAD se zdá být tato možnost velmi zajímavá, zejména s ohledem na úsporu času v rámci akutní diagnostiky.

ZÁVĚR

Aplikace CAD pro detekci plicní embolizace prokázala schopnost zlepšit přesnost mladého radiologa v detekci periferní plicní embolizace a je využitelná jako tzv. „druhé čtení“. Další vývoj vyhledávacích algoritmů v nových verzích CAD znamená významné zvýšení senzitivity zejména na subsegmentární úrovni plicního řečiště.



◀ Obr. 2B



◀ Obr. 2C

LITERATURA

1. Le Gal G, Righini M, Parent F, et al. Diagnosis and management of subsegmental pulmonary embolism. *J Tromb Haemost* 2006; 4: 724–731.
2. Ghaye B, Szapiro D, Mastora I, et al. Peripheral pulmonary arteries: how far in the lung does multi-detector row spiral CT allow analysis? *Radiology* 2001; 219: 629–636.
3. Liang J, Bi J. Computer aided detection of pulmonary embolism with tobogganing and multiple instance classification in CT pulmonary angiography. *Inf Process Med Imaging* 2007; 20: 630–641.
4. Stein PD, Woodard PK, Weg JG, et al. Diagnostic pathways in acute pulmonary embolism: recommendations of the PI-OPED II investigators. *Am J Med* 2006; 119: 1048–1055.
5. Stein PD, Woodard PK, Weg JG, et al. Diagnostic pathways in acute pulmonary embolism: recommendations of the PI-OPED II investigators. *Am J Med* 2007; 242: 15–21.
6. Ferda J. CT angiografie. Praha: Galén 2004.
7. Wildberger JE, Mahnken AH, Das M, et al. CT paging in acute pulmonary embolism: diagnostic strategies. *Eur Radiol* 2005; 15: 919–929.
8. Engelke C, Schmidt S, Bakai A, Auer F, Marten K. Computer-assisted detection of pulmonary embolism: performance evaluation in konsensus with experienced and inexperienced chest radiologists. *Eur Radiol* 2008; 18: 298–307.
9. Buhmann S, Hezog P, Liang J, et al. Clinical evaluation of a computer-aided diagnosis (CAD) prototype for the detection of pulmonary embolism. *Acad Radiol* 2007; 14: 651–658.
10. Das M, Mühlenbruch G, Helm A, et al. Computer-aided detection of pulmonary embolism: Influence on radiologists' detection performance with respect to vessel segments. *Eur Radiol* 2008; 18: 1350–1355.
11. Schoepf UJ, Schneider AC, Das M, et al. Pulmonary embolism: Computer-aided detection at multidetector row spiral computed tomography. *J Thorac Imaging* 2007; 22: 319–323.
12. Maizlin ZV, Vos PM, Godoy MB, Cooperberg PL. Computer-aided detection of pulmonary embolism on CT angiography: Initial experience. *J Thorac Imaging* 2007; 22: 324–329.
13. Zhou C, Chan HP, Patel S, et al. Preliminary investigation of computer-aided detection of pulmonary embolism in free-dimensional computed tomography pulmonary angiography images. *Acad Radiol* 2005; 12: 782–792.
14. Ghanima W, Nielssen BE, Holmen LO, et al. Multidetector computed tomography (MDCT) in the diagnosis of pulmonary embolism: interobserver agreement among radiologists with varied levels of experience. *Acta Radiol* 2007; 48: 165–170.
15. Chan HP, Hadjiiski L, Zhou C, Sahiner B. Computer-aided diagnosis of lung cancer and pulmonary embolism in computed tomography – a review. *Acad Radiol* 2008; 5: 535–555.

Thorsten B. Moeller, Emil Reif

ATLAS DER SCHNITT-BILDANATOMIE: MUSKULOSKELETTALES SYSTEM / Atlas anatomie v řezech: muskuloskeletální systém

Thieme: Stuttgart 2008; 291 s. ISBN 978-3-13-1411771-8.

Jistě všichni známe Moellerovy malé kapesní anatomické atlásky. Já osobně jsem jimi byl vybaven při prvním dni nástupu na plzeňskou Radiodiagnostickou kliniku a slouží mi celých patnáct let. Thiemeho nakladatelství nyní vydává jejich velkoformátového kolegu, který je věnovaný muskuloskeletálnímu systému. Jak je již u těchto typů atlasů zvykem, bok po boku zde stojí vynikající schematická ilustrace nyní doplněná skutečně excelentními obrazy magnetické rezonance. Kvalita

obrazů magnetické rezonance je vynikající, v mnohé předčí dříve publikované obrazy. Atlas probírá jednotlivé tělesné oblasti řez po řezu. Tabule zahrnují frontální a sagitální řezy celým tělem a řezy ve třech rovinách přes končetiny včetně všech kloubů.

Jde o knihu, jejíž přítomnost by měla být na pracovišti magnetické rezonance nebo výpočetní tomografie samozřejmostí.

doc. MUDr. Jiří Ferda, Ph.D.