

původní práce

Klinicko-ekonomický potenciál PET/MR při stagingu karcinomu rekta

Clinical and economical potential of PET/MRI in rectal cancer staging

Alexandra Litavcová¹, Marek Dostál^{1,2}, Miloš Keřkovský¹, Simon Smrčka¹, Andrea Šprláková-Puková¹, Marek Mechl¹

¹Klinika radiologie a nukleární medicíny LF MU a FN, Brno

²Biofyzikální ústav LF MU, Brno

Hlavní stanovisko práce

Zhodnotit potenciál ¹⁸F-FDG-PET/MR při stagingu karcinomu rekta.

SOUHRN

Litavcová A, Dostál M, Keřkovský M, Smrčka S, Šprláková-Puková A, Mechl M. Klinicko-ekonomický potenciál PET/MR při stagingu karcinomu rekta

Cíl: Cílem této práce je představit klinicko-ekonomické aspekty stagingu karcinomu rekta pomocí ¹⁸F-FDG-PET/MR.

Metodika: Pro staging nádorů rekta byl na našem pracovišti sestaven vyšetřovací protokol, který maximalizuje výtěžnost této zobrazovací metody za minimální čas. Protokol zahrnuje trupové PET/MR s pokrytím od báze lební přibližně do půli stehien, dynamické kontrastní vyšetření jater s aplikací hepatospecifické kontrastní látky, MR rekta a cílenou sekvenci na oblast plic. Pro srovnání ekonomicko-radiační situace jsme porovnali čtyři různé scénáře s využitím různých zobrazovacích metod, které mohou v praxi nastat při stagingu karcinomu rekta. U těchto modelových scénářů jsme porovnali celkovou radiační zátěž a celkové ekonomické náklady dle bodového systému.

Výsledky: V období let 2018–2020 bylo na našem pracovišti provedeno 3950 PET/MR vyšetření, z čehož 867 (21,95 %) bylo provedeno PET/MR protokolem pro staging karcinomu rekta. Klinickým přínosem stagingu karcinomu rekta pomocí PET/MR je zrychlení diagnostického postupu. Staging karcinomu rekta pomocí ¹⁸F-FDG-PET/MR je 2. nejekonomičtější scénář, jehož radiační dávka je nejnižší.

Závěr: PET/MR u tumorů rekta umožňuje vzhledem ke koncepci „one-stop-shop“ detailní zhodnocení lokoregionálního nálezu i vzdálené diseminace při jednom vyšetření, urychluje celý diagnostický proces a snižuje radiační dávku u pacientů.

Klíčová slova: PET/MR, tumor rekta, staging, ekonomické aspekty.

Major statement

To evaluate the potential of ¹⁸F-FDG-PET/MRI in staging of rectal cancer.

SUMMARY

Litavcová A, Dostál M, Keřkovský M, Smrčka S, Šprláková-Puková A, Mechl M. Clinical and economical potential of PET/MRI in rectal cancer staging

Aim: The aim of this paper is to present clinical-economic aspects of rectal cancer staging using ¹⁸F-FDG-PET/MRI.

Methods: For rectal cancer staging was designed the PET/MRI protocol, which maximizes diagnostic performance of this imaging method in a minimum of time. This protocol includes PET/MRI from skull base to mid-thigh, dynamic contrast enhanced MRI of liver with hepatospecific contrast agent, MRI of the rectum, sequence for lung evaluation. We compare 4 different scenarios using different imaging methods for rectal cancer staging. For each scenario we calculate total radiation exposure and economical costs.

Results: From 2018 to 2020 our department performed 3950 PET/MRI examinations, 867 (21,95%) were performed by PET/MRI protocol for rectal cancer staging. The clinical benefit of PET/MRI in rectal cancer staging is the speeding-up of the diagnostic process. According to the proposed economic-radiation situations, the scenario using ¹⁸F-FDG-PET/MRI for rectal cancer staging was 2nd most economical with the lowest radiation exposure.

Conclusion: PET/MRI for rectal cancer allows as a “one-stop-shop” imaging method detailed evaluation of locoregional finding and distant dissemination in one diagnostic setting, speeds up diagnostic process and reduces radiation exposure of patients.

Key words: PET/MRI, rectal cancer, staging, economic aspects.

Přijato: 31. 1. 2021

Korespondenční adresa:

Mgr. Ing. Marek Dostál, Ph.D.
Klinika radiologie a nukleární medicíny LF MU a FN
Jihlavská 20, 625 00 Brno
e-mail: dostal.marek@fnbrno.cz

Konflikt zájmů: žádný.

Podpořeno MZ ČR – RVO (FNBr, 65269705) a MUNI/A/1342/2020.

ÚVOD

Zobrazovací metody u pacientů s karcinomem rekta determinují prognózu onemocnění a optimální léčebnou strategii. Předoperační hodnocení rozsahu a šíření tumoru je základem pro časný i lokálně pokročilý karcinom rekta, pro hodnocení odpovědi na neoadjuvantní chemoradioterapii a pro posouzení resekability rekurentního onemocnění. K hodnocení lokoregionálního a vzdáleného šíření tumoru je využívána řada různých zobrazovacích metod (1, 2).

Současné konvenční diagnostické stagingové vyšetření se u pacientů s karcinomem rekta skládá ze zobrazení rekta pomocí magnetické rezonance (MR) k zhodnocení lokoregionálního rozsahu onemocnění a ze zobrazení hrudníku a břicha výpočetní tomografie (CT) k zhodnocení diseminace (3). MR vyniká vysokým tkáňovým kontrastem, absencí ionizačního záření a obejde se v některých případech bez aplikace kontrastní látky i.v. (4). Nevýhodou MR je délka vyšetření, menší dostupnost vyšetření a vyšší počet kontraindikací. CT má vysoké prostorové rozlišení, jedná se o rychlou a dostupnou metodu. Nevýhodou CT je přítomnost ionizačního záření, podání jodové kontrastní látky i.v. a nižší tkáňový kontrast.

Alternativní metodou pro staging nádorů tračnicku je kombinace pozitronové emisní tomografie (PET) a CT (PET/CT) s využitím 18-fluorodeoxyglukózy (FDG). Tato metoda je vysoce senzitivní (86–100%) v případě detekce kolorektálního karcinomu a polypů větších než 6 mm (5), nicméně specifická této metody pro odlišení benigních hyperplastických polypů od kolorektálního karcinomu je pouze 43 % (6). Tato metoda je ovšem zatížena vysokou radiační dávkou a kvůli nižšímu tkáňovému kontrastu CT se často doplňuje cílené MR rekta. PET/CT má z těchto důvodů dle současných klinických doporučení využití při detekci diseminace a při objasnění konkrétní klinické situace (7). Lze ho použít například předoperačně k hodnocení vzdálených metastáz u lokálně pokročilého onemocnění, nebo pokud je konvenční staging nejednoznačný před chirurgickým zákrokem v oblasti jaterních metastáz a u pacientů se stoupajícími hladinami karcinoembryonálního antigenu (7–9).

Relativně nová hybridní metoda kombinující PET a MR (PET/MR) se

synchronním náběrem dat obou modalit může být vhodnou metodou pro staging nádorů tračnicku, protože kombinuje vysoký tkáňový kontrast MR s PET (5), snižuje radiační zátěž, výrazně neprodlužuje vyšetření, vede k lepší registraci obrazů a vzhledem k přítomnosti magnetického pole se snižuje dolet pozitronu, což může mít pozitivní vliv na rozlišovací schopnost (10).

Cílem této práce je představit klinicko-ekonomické aspekty zobrazovacího vyšetření pacientů s karcinomem rekta pomocí metody PET/MR.

METODIKA

Klinika radiologie a nukleární medicíny (KRNM) Fakultní nemocnice Bohunice (FNB) disponuje hybridním strojem PET/MR (Signa 3T, GE healthcare, Chicago, Illinois, USA) se dvěma povrchovými cívkami a páteří s celkovým počtem 48 kanálů. Kvůli přítomnosti silného magnetického pole přístroj využívá pro detekci γ -záření polovodičové detektory

na bázi lutecia, které mají vysokou detekční účinnost, výborné časové rozlišení s možností rekonstrukce obrazu metodou Time of Flight (TOF). Vzhledem k těmto vlastnostem je možné podávat menší množství FDG (11) bez snížení kvality obrazu. Pacientům se hodinu před vyšetřením aplikuje FDG o aktivitě 3 MBq/kg tělesné hmotnosti a pacient následně leží v přitmě.

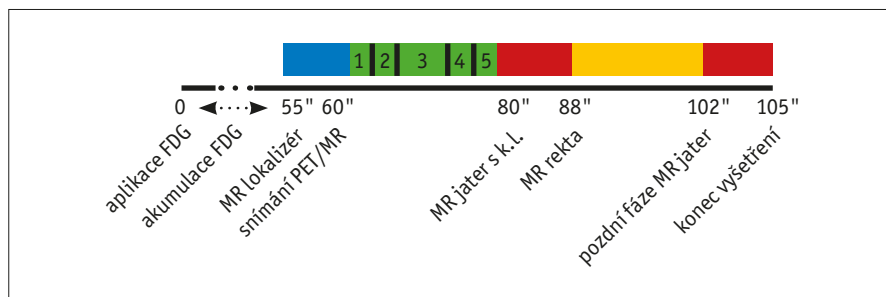
Pro staging nádorů rekta byl sestaven vyšetřovací protokol, který maximalizuje výtěžnost této modalit za minimální čas. Protokol zahrnuje trupové PET/MR s pokrytím od báze lební přibližně do půli stehien, MR vyšetření jater s aplikací hepatospecifické kontrastní látky, MR rekta a cílenou sekvenci na oblast plic pro detekci případných metastáz. PET náběr se provádí na pět tříminutových kroků, přičemž v oblasti jater je korigován na pohybové artefakty pomocí snímání dechové aktivity pacienta, což zmenšuje rozmazání obrazu v důsledku pohybových artefaktů, zpřesňuje lokalizaci nálezu a jeho kvantifikaci. Tato korekce ovšem

Tab. 1. Přehled PET/MR vyšetření

Table 1. Overview of PET/MR examinations

| PET | Náběr PET | MR sekvence | Čas sním. | Poznámky |
|-----------------------------------|--------------------------|-------------|---|---|
| PET 1,2,5 | 3:00 | MRAC | 0:18 | korekce útlumu PET |
| | | Ax T2 | 0:38 | SSFSE – volné dýchání |
| | | Ax T1 Dixon | 0:12 | LAVA-flex, zadržovaný dech |
| PET 3 | 6:00 | MRAC | 0:18 | korekce útlumu PET |
| | | Ax T2 | 0:38 | SSFSE – volné dýchání |
| | | Ax T1 Dixon | 0:12 | LAVA-flex, zadržovaný dech |
| | | Ax DWI | 2:00 | SS-EPI, trigování s dechem |
| PET 4 | 3:00 | MRAC | 0:18 | korekce útlumu PET |
| | | Ax T2 | 0:38 | SSFSE – volné dýchání |
| | | Ax T1 Dixon | 0:12 | LAVA-flex, zadržovaný dech |
| | | Ax T2 FS | 1:30 | FSE, trigování s dechem, plíce |
| celkový strojočas PET | | | 18:29 | nezahrnuje plánování PET části, kalibrační sekvence a posun stolu v průběhu vyšetření |
| průměrná doba PET (S0) | | | 20:19 (1:06) | průměrný čas od první MRAC sekvence až po poslední MR sekvenci (20 vyšetření) |
| Anatomická oblast | Cílené MR sekvence | | | |
| játra | Ax T1 Dixon Dynamicky | 2:18 | LAVA-flex, dynamicky, čtyři fáze, se zadržným dechem, hepatospecifická k.l. | |
| játra | Ax T2 FS | 2:00 | FSE, trigování s dechem | |
| rektum | Ax DWI | 2:27 | SS-EPI, volné dýchání | |
| rektum | Ax T2 | 3:30 | FSE, orientace dle tumoru | |
| rektum | Cor T2 | 4:03 | FSE, orientace kolmo na tumor | |
| játra | Ax T1 Dixon | 0:14 | LAVA-flex, zadržovaný dech | |
| játra | Cor T1 Dixon | 0:15 | LAVA-flex, zadržovaný dech | |
| celkový strojočas PET/MR | | | 36:34 | nezahrnuje plánování PET části, kalibrační sekvence a posun stolu v průběhu vyšetření |
| průměrná celková doba PET/MR (S0) | | | 49:32 (2:58) | průměrný čas od první lokalizační sekvence až po poslední (20 vyšetření) |

Čas sním. – čas snímání dat, Ax – axiální, Cor – koronální, DWI – difúzně vážený obraz, SSFSE – single shot fast spin echo, SS-EPI – single shot echo planar imaging, FSE – fast spin echo, Dixon – algoritmus pro separaci signálu tuku a vody, S0 – směrodatná odchylka
Čas sním. – data acquisition time, Ax – axial, Cor – coronal, DWI – diffusion weighted image, SSFSE – single shot fast spin echo, SS-EPI – single shot echo planar imaging, FSE – fast spin echo, Dixon – algorithm for separation of fat and water signal, S0 – standard deviation



1 Jednotlivé kroky při 18-fluorodeoxyglukóze (FDG) PET/MR vyšetření karcinomu rekta s aplikací hepatospecifické MR kontrastní látky (k.l.)

Individual steps in 18-Fluorodeoxyglucose (FDG) PET/MRI examination of rectal cancer with application of hepatospecific MRI contrast agent (k.l.)

vyžaduje dvojnásobnou dobu snímání (6 min), toto prodloužení PET náběru je využito k MR snímání difúzně váženého obrazu (DWI) jater. V každém kroku jsou provedeny MR sekvence pro následnou korekci útlumu PET obrazu (MRAC). Celková doba vyšetření včetně plánování sekvencí je do 50 minut. Přesný popis vyšetření je v tabulce 1 a na obrázku 1.

Rekonstrukce PET obrazu je prováděna s i bez korekce na útlum záření pomocí pseudo-CT obrazu vytvořeného registrací MRAC obrazu a CT atlasu implementovaného výrobcem. Je používána 3D metoda VUE FX s 28 subsety, dvěma iteracemi a cutoff filtrem 5 mm. Rozsah pole (FOV) je 60 cm s rekonstrukční maticí 256 × 256 o celkovém počtu 348 řezů o tloušťce 2,75 mm. V oblasti jater jsou použita pouze data, která byla zaznamenána ve výdechu pacienta pomocí metody Q-static.

Výsledná diagnóza je shodou lékaře nukleární medicíny a radiologa. Všechna PET/MR vyšetření procházejí druhým čtením.

Dle seznamu platných výkonů MZ ČR (12) je PET/MR vyšetření oceněno 14 965 body (výkon č. 47357), PET/CT 14 710 body (výkon č. 47355), MR pánve 5372 bodů (výkon č. 89715), MR jater s podáním kontrastní látky 8159 bodů (výkon č. 89715 + 89725) a CT těla nativní a s KL 2 199 bodů (výkon č. 89611).

Pro srovnání ekonomicko-radiační situace jsme připravili čtyři různé scénáře, které mohou v praxi nastat:

1. CT hrudníku a břicha nativně a s k.l. s doplněním cíleného MR rekta
2. CT hrudníku a břicha nativně a s k.l. s doplněním cíleného MR rekta a MR jater s k.l.
3. PET/CT s k.l. s doplněním cíleného MR rekta

4. PET/MR s cíleným MR rekta a MR jater s k.l.

Všechny příklady jsou pro pacienta o hmotnosti 70 kg. Pro odhad velikosti efektivní dávky jsou použity MDRÚ, věstník MZ ČR či odborná literatura dle modalit.

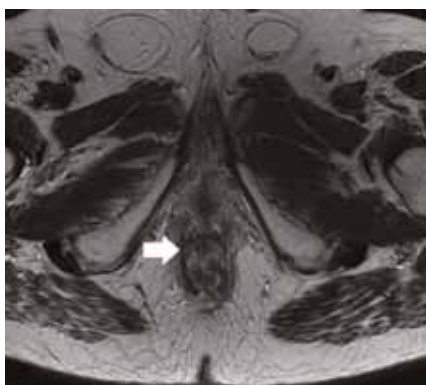
VÝSLEDKY

Za poslední 3 roky (2018–2020) používání PET/MR bylo provedeno 3950 vyšetření, z čehož 867 (21,95 %) bylo provedeno výše uvedeným protokolem pro staging karcinomu rekta.

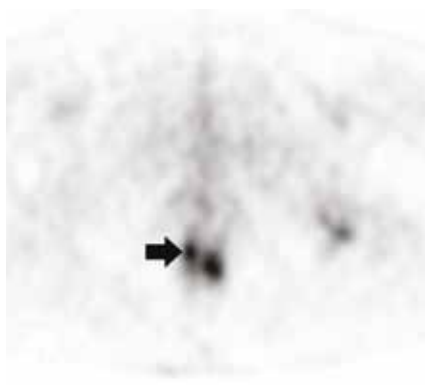
Obrázek 2 ukazuje přínos kombinace PET a MR, kde kombinace těchto metod lépe ozřejmuje vztah distálního tumoru rekta ke svěračům. Obrázek 3 zobrazuje lokálně pokročilý tumor orálního rekta s patologickou zvětšenou pararektální uzlinou, s typickým korelátem zvýšeného vychytávání ¹⁸F-FDG v oblasti primárního tumoru i postižené regionální uzliny. Obrázek 4 zobrazuje názornou ukázkou přínosu PET/MR v detekci vzdálených metastáz vůči konvenčně využívanému zobrazení pomocí CT, kdy PET/MR detekuje více jaterních metastáz. Obrázek 5 ukazuje na přínos PET/MR v detekci incidentálního nálezu patologického ložiska štítné žlázy během stagingu karcinomu rekta, který měl následně vliv na zvolený terapeutický postup.

Výsledky ekonomicko-radiační situace různých scénářů jsou v tabulce 2.

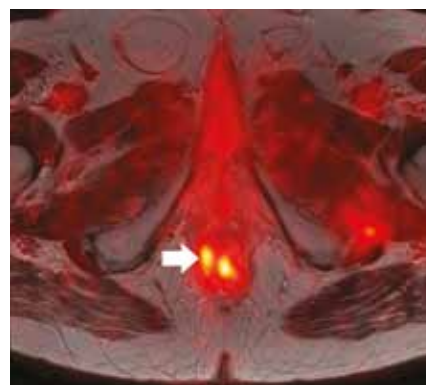
2a



2b



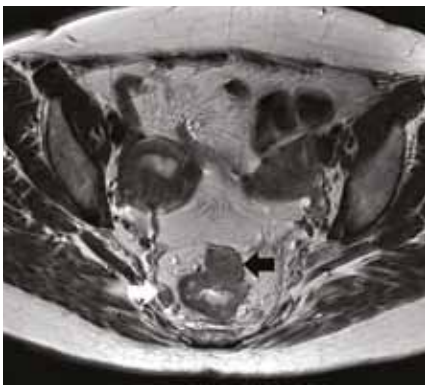
2c



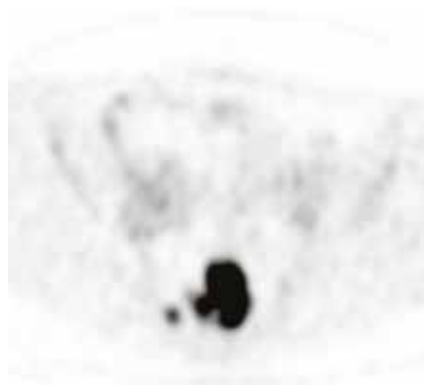
2 Distální tumor rekta s okrajovou infiltrací m. puborectalis vpravo: (a) axiální T2 vážená MR sekvence ukazuje patologický signál, který zasahuje okrajově do m. puborectalis; (b) tento nálezu potvrzuje a lépe ozřejmuje ¹⁸F-FDG-PET, kde je v daném místě prokázán fokus zvýšeného vychytávání ¹⁸F-FDG; (c) fúze ¹⁸F-FDG-PET/MR

Distal rectal tumor with marginal infiltration of the right puborectal muscle: (a) axial T2-weighted MRI sequence shows pathological signal extending marginally to the right puborectal muscle; (b) ¹⁸F-FDG-PET confirms this finding and better visualizes the focus of increased uptake of ¹⁸F-FDG in this area; (c) ¹⁸F-FDG-PET/MRI fusion

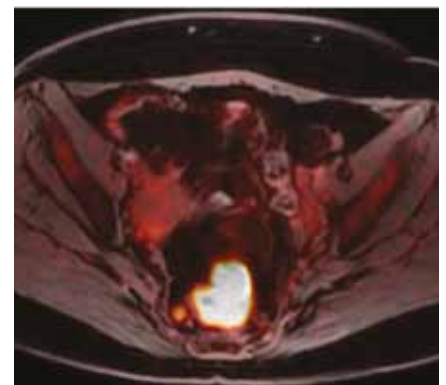
3a



3b

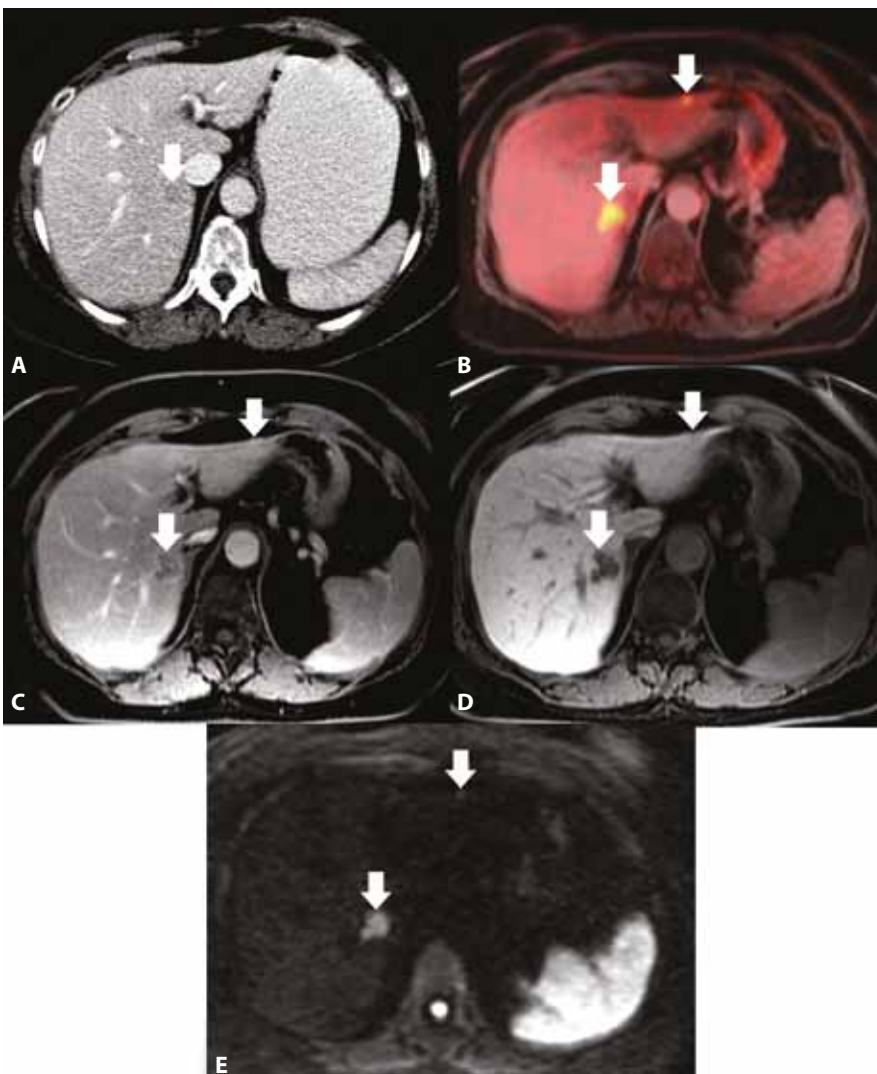


3c



3 Tumor orálního rekta na ¹⁸F-FDG-PET/MR: (a) axiální T2 vážená MR sekvence ukazuje cirkulární infiltraci stěny rekta s výraznou extramurální solidní porcí tumoru propagující se ventrálně (černá šipka) a patologicky zvětšenou uzlinu vpravo pararektálně (bílá šipka); (b) v PET obraze typický korelát zvýšeného vychytávání ¹⁸F-FDG v oblasti primárního tumoru rekta a patologické pararektální uzliny; (c) fúze ¹⁸F-FDG-PET/MR

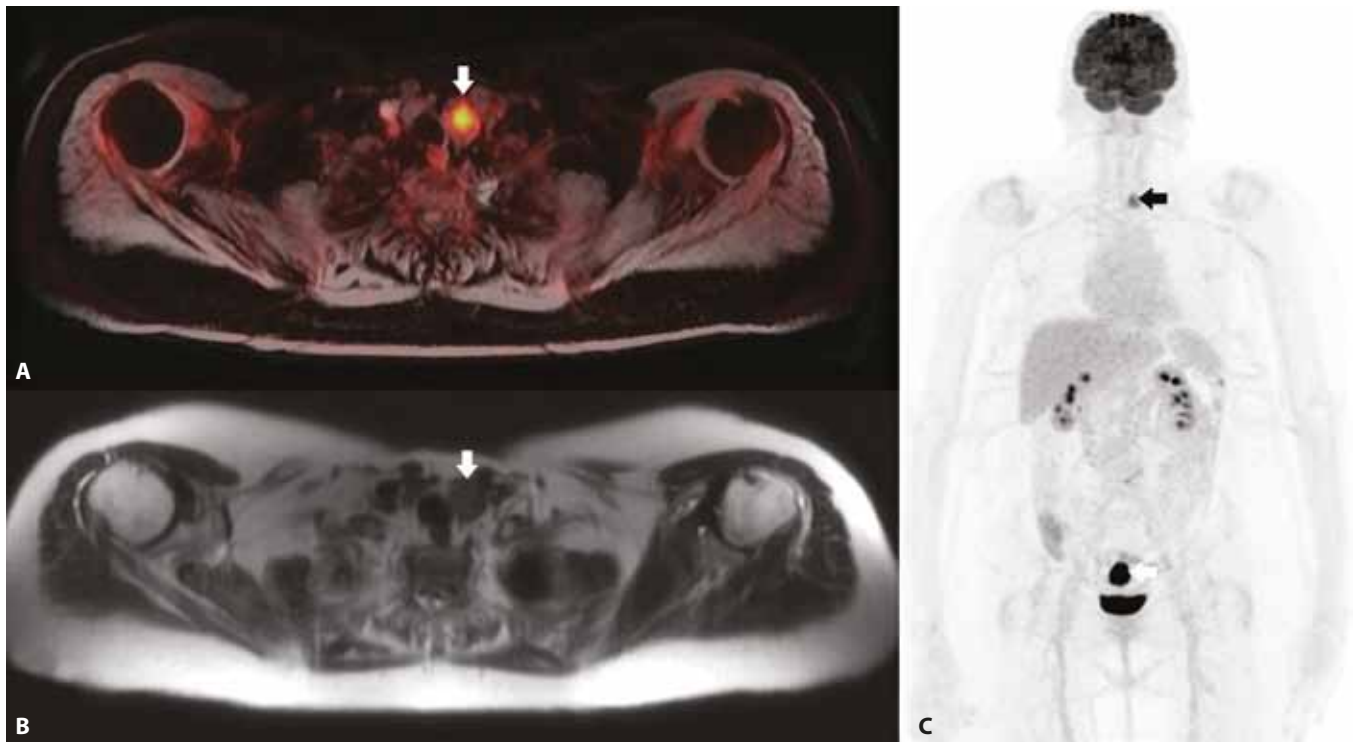
High rectal cancer on ¹⁸F-FDG-PET/MRI: (a) axial T2-weighted MRI sequence shows circular infiltration of the rectal wall with ventral propagation of large extramural solid tumorous portion (black arrow) and enlarged pathologic lymph node in the right pararectal space (white arrow); (b) PET shows a typical correlate of increased uptake of ¹⁸F-FDG in the area of the primary tumor and pathological lymph node; (c) ¹⁸F-FDG-PET/MRI fusion



4 Metastázy karcinomu rekta v játrech:

(A) CT, portovenózní fáze v axiální rovině detekuje jedno lehce hypodenzní ložisko v S7; (B) ¹⁸F-FDG-PET/MR fúze ukazuje nález dvou ložisek se zvýšeným vychytáváním ¹⁸F-FDG, potvrzují nález metastázy v S7 a navíc prokazuje i další drobné metastatické ložisko subkapsulárně v S3; (C) MR, T1 axiální sekvence v pozdní fázi ukazuje hypointenzní ložisko v S7, subkapsulární ložisko v S3 má pouze zcela diskrétní obtížně dohledatelný korelát; (D) MR, T1 axiální sekvence v hepatobiliární fázi ukazuje hypointenzní ložisko v S7, subkapsulární ložisko v S3 má diskrétní obtížně dohledatelný hypointenzní korelát; (E) obraz difuzního vážení (b-hodnota 100 s/mm²) ukazuje diskrétním hyperintenzním korelátem drobného ložiska v S3 subkapsulárně a hyperintenzním korelátem ložiska v S7

Liver metastases of rectal cancer: (A) CT, portal venous phase in axial plane detect only one slightly hypodense lesion in S7; (B) ¹⁸F-FDG-PET/MRI fusion shows two liver lesion with increased uptake ¹⁸F-FDG, confirms metastatic liver lesion in S7 and moreover shows another small subcapsular metastatic lesion in S3; (C) MR, T1 axial sequence at delayed phase shows the hypointense lesion in S7, correlate of the subcapsular lesion in S3 is discrete and difficult to find; (D) MRI, T1 axial sequence at hepatobiliary phase shows the hypointense lesion in S7, correlate of the subcapsular lesion in S3 is discrete hypointense and difficult to find; (E) diffusion-weighted image (b-value 100 s/mm²) shows discrete hyperintense correlate of the small subcapsular lesion in S3 and hyperintense correlate of the lesion in S7



5 **Incidentální nález patologického ložiska štítné žlázy během stagingu karcinomu rekta pomocí ¹⁸F-FDG-PET/MR, histologicky byl potvrzen papilární karcinom štítné žlázy:** (A) ¹⁸F-FDG-PET/MR fúze ukazuje zvýšené vychytávání ¹⁸F-FDG v levém laloku štítné žlázy; (B) T2 axiální MR sekvence ukazuje pouze zvětšený levý lalok štítné žlázy s lehkou nehomogenitou signálu; (C) ¹⁸F-FDG-PET MIP s fokusem zvýšeného vychytávání ¹⁸F-FDG v levém laloku štítné žlázy (černá šipka) a v oblasti rekta (bílá šipka)

Incidental finding of the pathological nodule in the thyroid gland during rectal cancer staging using ¹⁸F-FDG-PET/MRI, histologically was proven goiter papillary carcinoma: (A) ¹⁸F-FDG-PET/MRI fusion shows increased uptake of ¹⁸F-FDG in the left thyroid lobe; (B) T2 axial MRI sequence shows only enlarged left thyroid lobe with only slightly signal inhomogeneity; (C) ¹⁸F-FDG-PET MIP with the focus of increased uptake of ¹⁸F-FDG in the left thyroid lobe (black arrow) and the rectum (white arrow)

Dle místní diagnostické referenční úrovně pracoviště (MDRÚ) je součin kerry a délky CT vyšetření (DLP) u CT hrudníku a břicha 480 mGy · cm, což při použití konverzního faktoru 0,0145 (dle AAPM TG-96 (15)) zhruba odpovídá efektivní dávce 6,96 mSv zvlášť pro nativní a post kontrastní obraz.

Dle věstníku MZ ČR 2-2016 (16) je pro PET/MR doporučeno aplikovat 200–740 MBq v případě dospělého pacienta o hmotnosti 70 kg, což odpovídá efektivní dávce 3,8–14,06 mSv. MDRÚ na pracovišti je 3 MBq/kg hmotnosti pacienta, což v případě 70 kg odpovídá aktivitě 210 MBq neboli efektivní dávce 3,99 mSv.

Dle studií se efektivní dávka z PET/CT pohybuje okolo 16,5 mSv (17).

Hlavním klinickým přínosem výše popsaného protokolu PET/MR vyšetření je urychlení diagnostického postupu. Zavedený protokol PET/MR vyšetření s cílenými MR morfologickými sekvencemi na oblast primárního tumoru a dynamickým kontrastním MR zobrazením jater má vůči konvenčně využívanému stagingu vyšší diagnostickou výtěžnost vyšetření (5, 8, 13, 14). V jednom kroku eliminuje případnou nutnost došetření nejasných nálezů dalšími zobrazovacími metodami. Vysoká diagnostická výtěžnost PET/MR vyšetření je přínosná zejména při detekci vzdálených metastáz a detekci časné pooperační recurence nádoru v oblasti pánve, které mají vliv

Tab. 2. Souhrn čtyř různých scénářů, které mohou v klinické praxi nastat nejčastěji

Table 2. A summary of 4 different scenarios that may occur most frequently in clinical practice

| Scénář | Termíny strojů | Čas vyšetření | Aplikace k.l. (typ) | Efektivní dávka (mSv) | Bodové ohodnocení |
|--------|----------------|---------------|---------------------|-----------------------|-------------------|
| 1 | 2 | 0:40 | 1 (I) | 13,92 | 7571 |
| 2 | 3 | 1:05 | 2 (I+Gd) | 13,92 | 15730 |
| 3 | 2 | 0:45 | 1 (I) | 16,50 | 20082 |
| 4 | 1 | 0:50 | 1 (Gd) | 3,99 | 14965 |

- 1. scénář – CT hrudníku a břicha s k.l. s doplněním cíleného MR rekta
- 2. scénář – CT hrudníku a břicha s k.l. s doplněním cíleného MR rekta a MR jater s k.l.
- 3. scénář – PET/CT s doplněním cíleného MR rekta
- 4. scénář – PET/MR s cíleným MR rekta a MR jater s k.l.
- k.l. – kontrastní látka, I – jódová k.l., Gd – gadoliniová k.l.
- scenario 1 – CT of the chest and abdomen with C.A. with the addition of a targeted MRI rectum
- scenario 2 – CT of the chest and abdomen with C.A. with supplementation of targeted MRI rectum and MRI liver with C.A.
- scenario 3 – PET/CT with addition of targeted MRI rectum.
- scenario 4 – PET/MRI with targeted MRI of the rectum and MRI of the liver with C.A.
- C.A. – contrast agent, I – iodine C.A., Gd – gadolinium C.A.

na léčebný postup a tím i na celkové přežití pacientů s karcinomem rekta.

DISKUSE

Zobrazovací metody sehrávají klíčovou roli v lokoregionálním stagingu karcinomu rekta i při detekci vzdálených metastáz a tím následně ovlivňují klinické rozhodování v managementu léčby, které má dopad na přežití pacientů (2, 7). Pro tento účel jsou nejvyužívanější zobrazovací metody CT a MR, případně PET/CT vyšetření (2, 7, 8, 18). PET/MR má ve spektru využívaných zobrazovacích metod své místo, jelikož umožňuje v jednom kroku provést u pacientů s karcinomem rekta zhodnocení lokálního tumoru i vzdálených metastáz (8, 13, 18). Odpadá tím nutnost několika vyšetření, kdy pacient absolvuje samostatně MR vyšetření pánve se zaměřením na oblast tumoru rekta pro zhodnocení lokálního stagingu nebo pooperační rekurence a CT vyšetření břicha a hrudníku pro zhodnocení vzdálených metastáz. V případě nejasného nálezu na CT u hodnocení vzdálených metastáz může nastat situace, kdy jsou následně voleny zobrazovací metody s vyšší senzitivitou a specifitou (MR jater, hybridní zobrazovací metody), což následně může prodloužit a prodražít celý diagnostický proces (8).

V lokálním posouzení tumoru rekta má v současnosti vzhledem ke své dostupnosti dominantní uplatnění zejména MR zobrazení, které má vynikající tkáňový kontrast důležitý pro odlišení normální tkáň od patologicky změněné, umožňuje zobrazit jednotlivé vrstvy střevní stěny a předpovědět možnost negativního cirkumferenčního resekcčního okraje a umožňuje též určení hloubky invaze mimo lamina muscularis propria (1, 4, 18). U vyšších stadií může MR zobrazit extramurální vaskulární invazi tumoru, která je nezávislým prognostickým faktorem lokální i vzdálené rekurence a horšího celkového přežití (4). U lokálního stagingu je udávána senzitivita MR vyšetření 82–86 %, specifita 76–77 % a přesnost 74–82 % (18). PET/MR vůči MR rekta umožňuje přesnější hodnocení lokálního rozsahu tumoru rekta při určení délky tumoru, vztahu k vnějšímu svěrači a přesnější hodnocení nodálního stagingu. PET/MR tak nabízí možnost zlepšit klinické

rozhodování při volbě strategie léčby, například při hodnocení nádorů distálního rekta s možným postižením vnějšího svěrače (5).

V oblasti stagingu vzdálených metastáz jsou nejvyužívanější zobrazovací metody CT, MR, PET/CT. Výpočetní tomografie má u stagingu vzdálených metastáz senzitivitu 58–89 %, specifitu 87–94,9 % a přesnost 52–77 %. Magnetická rezonance má u stagingu vzdálených metastáz senzitivitu 80 až 85 %, specifitu 92,5–99 % a přesnost 82–98 %. PET/CT má u stagingu vzdálených metastáz senzitivitu 66–86 %, specifitu 67–97,2 % a přesnost 64–83 (18).

V diagnostice jaterních metastáz MR převyšuje CT nebo PET/CT (19). PET/MR, jehož součástí je i dynamické kontrastní vyšetření jater, vykazuje při detekci vzdálených metastáz vůči kontrastnímu CT vyšetření vyšší specifitu (98 % vs. 72 %) (8). Z důvodu zpřesnění diagnostiky a dosažení maximální výtěžnosti této zobrazovací metody je proto dynamické kontrastní vyšetření jater zahrnuté i v našem protokolu.

V diagnostice vzdálených metastáz vykazuje PET/MR vůči konvenčnímu stagingu (MR pánve a CT hrudníku a břicha) mírně vyšší diagnostickou přesnost (88,4 % vs. 82,6 %), přičemž u pacientů s extramurální vaskulární invazí je diagnostická přesnost PET/MR vůči konvenčnímu stagingu také vyšší (88,9 % vs. 85,5 %) (8).

Dle pilotních studií vykazuje PET/MR vůči PET/CT vyšší diagnostickou přesnost v oblasti T- stagingu nádorů rekta (18, 20). V oblasti nodálního a metastatického stagingu má PET/MR v porovnání s PET/CT dle některých pilotních studií přibližně srovnatelnou diagnostickou přesnost (7, 20). Kromě těchto menších pilotních studií nejsou v současné době k dispozici v oblasti srovnání PET/MR s PET/CT studie s větším počtem pacientů.

PET/MR navíc umožňuje správnou interpretaci většiny incidentálních nálezu, kde při rozsahu vyšetření umožňuje identifikovat a charakterizovat patologické incidentální nálezy i v méně častých lokalitách zahrnujících např. krční lokalitu. Odhalení dalšího patologického procesu, který vyžaduje také včasnou léčbu, tak může ovlivnit léčebný plán u karcinomu rekta (13).

Limitací PET/MR v onkologickém zobrazování je omezená schopnost MR

detekovat drobné plicní nodularity. Tato limitace je způsobena jednak z důvodu signifikantních respiračních pohybů a inherentní relativně nízkou proto-novou hustotou plicního parenchymu. Konvenční MR sekvence jsou obvykle schopné dobře zobrazit plicní noduly větší než 1 cm (8, 18). Využitím speciálních cílených MR sekvencí na oblast plicního parenchymu, které částečně eliminují dechové pohyby, však můžeme dosáhnout lepšího zobrazení a tím i lepší detekce plicních nodulit menších než 1 cm (21, 22). V našem protokolu vyšetření máme pro tento účel zařazenou axiální T2 váženou sekvencí s potlačením tuku (T2-FS).

Z výsledků je zřejmé, že při využití PET/MR dochází ke značné redukci absorbované dávky ionizujícího záření, které je způsobeno z části vynecháním některého z CT vyšetření a z části aplikací menšího množství radiofarmaka. Při frekvenci doporučených kontrolních vyšetření Českou onkologickou společností představuje PET/MR nižší radiační zátěž pro pacienty ve srovnání s kontrolními vyšetřeními pomocí CT nebo PET/CT.

Ekonomicko-managerský přínos PET/MR se na první pohled zdá být vysoký. Může dojít k uvolnění míst na MR a CT strojích pro jiné pacienty, v řadě případů snížení celkového bodového ohodnocení v průběhu celé diagnostiky pacienta, snížení množství potřebného radiofarmaka a v některých případech může být ušetřena kontrastní látka. Ovšem musíme brát v potaz i pořizovací cenu jednotlivých přístrojů, které jsou velmi variabilní podle vybavení stroje, ale pro hrubý odhad uvádíme ceny, které jsme dohledali u veřejných zakázek na portálu „Hlídač státu“. Například cena 3T MR se pohybuje okolo 40 mil., v případě CT 20 mil., PET/CT 50 mil. a PET/MR 3T 100 mil. Pro přesné stanovení ekonomických přínosů PET/MR by bylo třeba provést důkladnou analýzu přínosů a nákladů (cost-effectiveness).

ZÁVĚR

FDG PET/MR představuje novou diagnostickou zobrazovací metodu, která má nesporný vliv na klinický management pacientů s karcinomem rekta. Vzhledem ke koncepci „one-stop-shop“ umožňuje při jednom vyšetření detailní zhodnocení lokoregionálního nálezu

i vzdálené diseminace, čímž urychluje celý diagnostický proces a šetří kapacity ostatních diagnostických modalit. PET/MR dle prvotních dostupných údajů disponuje vyšší diagnostickou výtežností v porovnání s lépe etablovanými zobrazovacími metodami v otázce lokálního nálezu i metastatického postižení, dle našich zkušeností generuje minimum indikací dalších diagnostických metod pro došetření případných nejasných nálezů, čímž přispívá k redukci celkových nákladů

na diagnostiku. Výhodou oproti CT či PET/CT je redukce radiační zátěže pacientů, což je významné v případech opakovaných vyšetření při sledování pacientů po léčbě. Nevýhodou PET/MR je omezená dostupnost této diagnostické metody v České republice a vysoká pořizovací cena těchto přístrojů, která mohla být do určité míry kompenzována úsporami v diagnostice a následné léčbě pacientů s karcinomem rekta, což je otázka pro budoucí podrobnější studie nákladové efektivity. ●

LITERATURA

1. **Kekelidze M, D'Errico L, Pansini M, Tyndall A, Hohmann J.** Colorectal cancer: Current imaging methods and future perspectives for the diagnosis, staging and therapeutic response evaluation. *World J Gastroenterol* 2013; 19(46): 8502–8514.
2. **Balyasnikova S, Brown G.** Optimal Imaging Strategies for Rectal Cancer Staging and Ongoing Management. *Curr Treat Options Oncol* [Internet]. 2016 [cited 2021 Jan 28]; 17. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4891388/>
3. **Glynn-Jones R, Wyrwicz L, Tiret E, Brown G, Rödel C, Cervantes A, et al.** Rectal cancer: ESMO Clinical Practice Guidelines for diagnosis, treatment and follow-up†. *Annals of Oncology* 2017; 28: iv22–40.
4. **Bohatá Š.** The significance of magnetic resonance imaging rectal cancer. *Onkologie* 2017; 11(2): 61–65.
5. **Catalano OA, Lee SI, Parente C, Cauley C, Furtado FS, Striar R, et al.** Improving staging of rectal cancer in the pelvis: the role of PET/MRI. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* [Internet] 2020 Oct 9 [cited 2021 Jan 28]. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00259-020-05036-x>
6. **Abdel-Nabi H, Doerr RJ, Lamonica DM, Cronin VR, Galantowicz PJ, Carbone GM, et al.** Staging of primary colorectal carcinomas with fluorine-18 fluorodeoxyglucose whole-body PET: correlation with histopathologic and CT findings. *Radiology* 1998; 206(3): 755–760.
7. **Rutegård MK, Båtsman M, Axelsson J, Brynolfsson P, Brännström F, Rutegård J, et al.** PET/MRI and PET/CT hybrid imaging of rectal cancer – description and initial observations from the RECTOPET (REctal Cancer trial on PET/MRI/CT) study. *Cancer Imaging* [Internet] 2019 Jul 23 [cited 2021 Jan 28]; 19. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6651930/>
8. **Queiroz MA, Ortega CD, Ferreira FR, Nahas SC, Cerri GG, Buchpiguel CA.** Diagnostic accuracy of FDG-PET/MRI versus pelvic MRI and thoracic and abdominal CT for detecting synchronous distant metastases in rectal cancer patients. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2021; 48(1): 186–195.
9. **Strasberg SM, Dehdashti F.** Role of FDG-PET staging in selecting the optimum patient for hepatic resection of metastatic colorectal cancer. *Journal of Surgical Oncology* 2010; 102(8): 955–959.
10. **Huang S, Savic D, Yang J, Shrestha U, Seo Y.** The Effect of Magnetic Field on Positron Range and Spatial Resolution in an Integrated Whole-Body Time-Of-Flight PET/MRI System. *IEEE Nucl Sci Symp Conf Rec* (1997) [Internet] 2014 Nov [cited 2021 Jan 28]; 2014. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4828037/>
11. **Sekine T, Delso G, Zeimpekis KG, de Galiza Barbosa F, ter Voert EEGW, Huellner M, et al.** Reduction of 18F-FDG Dose in Clinical PET/MR Imaging by Using Silicon Photomultiplier Detectors. *Radiology* 2017; 286(1): 249–259.
12. **Výkony – Zdravotní výkony** [Internet] [cited 2021 Jan 28]. Available from: <https://szv.mzcr.cz/vykon>
13. **Yoon JH, Lee JM, Chang W, Kang H, Bandos A, Lim H, et al.** Initial M Staging of Rectal Cancer: FDG PET/MRI with a Hepatocyte-specific Contrast Agent versus Contrast-enhanced CT. *Radiology* 2019; 294(2): 310–319.
14. **Kang B, Lee JM, Song YS, Woo S, Hur BY, Jeon JH, et al.** Added Value of Integrated Whole-Body PET/MRI for Evaluation of Colorectal Cancer: Comparison With Contrast-Enhanced MDCT. *American Journal of Roentgenology* 2016; 206(1): W10–20.
15. **McCullough C, Cody D, Edyvean S, Geise R, Gould B, Keat N, et al.** The Measurement, Reporting, and Management of Radiation Dose in CT [Internet]. *AAPM* 2008 Jan [cited 2021 Jan 28]. Available from: <https://www.aapm.org/pubs/reports/detail.asp?docid=97>
16. **Věstník č. 2/2016** [Internet]. Ministerstvo zdravotnictví [cited 2021 Jan 28]. Available from: <https://www.mzcr.cz/vestnik/vestnik-c-2-2016/>
17. **Martí-Climent JM, Prieto E, Morán V, Sancho L, Rodríguez-Fraile M, Arbizu J, et al.** Effective dose estimation for oncological and neurological PET/CT procedures. *EJNMMI Res* [Internet] 2017 Apr 24 [cited 2021 Jan 28]; 7. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5403773/>
18. **Catalano OA, Coutinho AM, Sahani DV, Vangel MG, Gee MS, Hahn PF, et al.** Colorectal cancer staging: comparison of whole-body PET/CT and PET/MRI. *Abdom Radiol* 2017; 42(4): 1141–1151.
19. **Sivesgaard K, Larsen LP, Sørensen M, Kramer S, Schlander S, Amanavicius N, et al.** Diagnostic accuracy of CE-CT, MRI and FDG PET/CT for detecting colorectal cancer liver metastases in patients considered eligible for hepatic resection and/or local ablation. *Eur Radiol* 2018; 28(11): 4735–4747.
20. **Paspulati RM, Partovi S, Herrmann KA, Krishnamurthi S, Delaney CP, Nguyen NC.** Comparison of hybrid FDG PET/MRI compared with PET/CT in colorectal cancer staging and restaging: a pilot study. *Abdom Imaging* 2015; 40(6): 1415–1425.
21. **Burris NS, Johnson KM, Larson PEZ, Hope MD, Nagle SK, Behr SC, et al.** Detection of Small Pulmonary Nodules with Ultrashort Echo Time Sequences in Oncology Patients by Using a PET/MRI System. *Radiology* 2016; 278(1): 239–246.
22. **Chandarana H, Heacock L, Rakheja R, DeMello LR, Bonavita J, Block TK, et al.** Pulmonary nodules in patients with primary malignancy: comparison of hybrid PET/MRI and PET/CT imaging. *Radiology* 2013; 268(3): 874–881.