

PERFUZNÍ CT JATER

PERFUSION CT OF THE LIVER

přehledový článek

Hynek Mírka¹

Jiří Ferda¹

Jan Baxa¹

Vladislav Třeška²

Václav Liška²

Bernard Schmidt³

Thomas Flohr³

¹Klinika zobrazovacích metod LF UK a FN, Plzeň

²Chirurgická klinika LF UK a FN, Plzeň

³Siemens Medical Solutions, CT Division, Department of Research and Development, Forchheim, Germany

Přijato: 1. 11. 2010

Korespondenční adresa:

MUDr. Hynek Mírka, Ph.D.

Klinika zobrazovacích metod LF UK a FN

Alej Svobody 80, 304 60 Plzeň

e-mail: mirka@fnplzen.cz

Práce byla podpořena výzkumným záměrem MSM 0021620819 a granty IGA MZ ČR 10230, IGA MZ NS 9727-4, IGA MZ NS 10240-3.

SOUHRN

Mírka H, Ferda J, Baxa J, Třeška V, Liška V, Schmidt B, Flohr T. Perfuzní CT jater

Perfuzní CT (PCT) je metoda využívaná k hodnocení mikrovaskularizace orgánů. V oblasti jater umožňuje posoudit nejen celkovou perfuzi, ale i odlišit její arteriální a portální složku. Díky tomu je možné hodnotit míru neoangiogeneze v nádorových ložiscích a její změny v rámci terapie. PCT také přispívá k hodnocení změn vaskularizace u chronických hepatopatií. Zásadní kvalitativní posun nastal se zavedením přístrojů s velkým počtem řad detektorů, které umožňují zobrazit perfuzi v rozsahu celého orgánu. Perfuzní CT tak lze využít nejen pro podrobnější hodnocení již známých nádorových ložisek, ale i k jejich vyhledávání.

Klíčová slova: jaterní nádory, cirhóza, perfuze, počítačová tomografie.

SUMMARY

Mírka H, Ferda J, Baxa J, Třeška V, Liška V, Schmidt B, Flohr T. Perfusion CT of the liver

Perfusion CT (PCT) is a method used for the assessment of microvascularisation. In liver it enables to evaluate not only total perfusion, but also to distinguish between its arterial and portal component. Thanks to this possibility is this method able to evaluate neoangiogenesis in tumorous tissue and its reaction to the therapy. It is also contributing in the diagnostics of chronic hepatopathies. Substantial qualitative shift arose after introduction of multidetector computed tomography with high number of detector rows, that allows to examine the whole volume of the liver and so perfusion CT can be utilized not only for more detailed evaluation of known tumors but also for their detection.

Key words: cirrhosis, computed tomography, liver tumors, perfusion.

ÚVOD

Pokrok ve výzkumu nádorových onemocnění přináší nejen zlepšení možností léčby, ale i zvyšující se nároky na diagnostické zobrazování, jehož metody se posouvají z čistě morfologické úrovně na úroveň funkční. Jednou z takových funkčních metod je perfuzní CT (PCT), které se používá k hodnocení ložiskových a difuzních odchylek mikrovaskularizace orgánů. Teoretické a experimentální základy metody byly položeny již na přelomu sedmdesátých a osmdesátých let 20. století.

Komerčně se začala využívat se zavedením spirálních přístrojů v první polovině devadesátých let (1–6).

V oblasti jater má PCT velký význam pro diagnostiku, predikci vývoje a hodnocení efektu léčby maligních nádorů a lze ji využít i pro diagnostiku chronických hepatopatií. Umožňuje nejen kvantifikovat celkovou perfuzi, ale i odlišit její arteriální a portální složku. Kvantifikace perfuzních parametrů vychází z měření změn denzity tkáně během prvního oběhu malého množství rychle podané extracelulární kontrastní látky a jejího porovnání s denzitou cév a sleziny. Kontrastní

látky je distribuována nejen cévním systémem, ale přechází i do extracelulárního extravaskulárního prostoru. Perfúzní vyšetření tedy umožňuje hodnotit jak průtok cévami, tak výměnu s extravaskulárním prostorem (7). I když se jedná dle našich zkušeností i literatury o perspektivní metodu, neexistují zatím rozsáhlejší studie a metanalýzy, které by objektivně potvrdily její přínos a místo v diagnostickém algoritmu.

Až do nedávné doby bylo možno hodnotit pouze malý objem tkáně (jednu nebo několik vrstev), což limitovalo možnosti využití PCT jako nástroje pro detekci ložiskových změn. Toto zásadní omezení bylo odstraněno se zavedením multi-detektorových přístrojů s velkým počtem řad detektorů, které jsou schopné vyšetřit perfúzi celého orgánu (objemové perfúzní CT – VPCT). To se děje buď současným náběrem velkého množství datových stop při konstantní poloze nemocného, nebo postupným náběrem menšího množství datových stop během kyvadlového pohybu stolu. Příklad vyšetřovacího protokolu pro přístroj s kyvadlovým pohybem stolu (Siemens Somatom Definition) je uveden v tabulce 1.

Výpočet perfúzních parametrů vychází z lineárního vztahu mezi koncentrací kontrastní látky a densitou. Software vyhodnocuje změnu denzity parenchymu v čase a srovnává ji s vývojem denzity aorty, portální žíly a sleziny. Výstupem jsou barevné mapy a číselné hodnoty. Základními perfúzními parametry společnými pro všechny orgány jsou objem a průtok krve, střední tranzitní čas, čas do maximálního nasycení a permeabilita. V játrech je navíc nezbytné odlišení arteriálního a portálního zásobení, které jsou vyjádřeny parametry arteriální a portální perfúze a jaterním perfúzním indexem (obr. 3). Pro tento účel se jako referenční hodnota využívá denzita parenchymu sleziny. Moment jeho maximálního nasycení určuje hranici mezi výpočtem arteriální a portální složky.

Významným zdrojem nepřesností v hodnocení může být pohyb jater, který, vzhledem k minimálně minutu trvající akvizici, musí být zákonitě přítomen. Současný software umožňuje pohyb jater korigovat a synchronizovat řezy ve všech cyklech. Proto je lepší nenutit pacienty k zadržování dechu, ale nechat je během vyšetření zvolna pravidelně dýchat.

Dynamická vyšetření jsou ve srovnání s běžnými vyšetřovacími technikami vždy spojena se zvýšenou radiační zátěží. PCT jater představuje v závislosti na technice provedení 3–10× vyšší radiační dávku než standardní CT. Redukce dávky je možné dosáhnout snížením expozičních parametrů nebo počtu skenovacích cyklů.

PŘEHLED PERFÚZNÍCH PARAMETRŮ

Průtok krve (blood flow – BF) – rychlost průtoku krve cévním řečištěm (ml/100 g/min nebo ml/100 ml/min).

Objem krve (blood volume – BV) – objem tekoucí krve v cévách (ml/100 g nebo ml/100 ml).

Střední tranzitní čas (mean transit time – MTT) – doba průtoku krevních elementů od arteriálního po venózní konec krevního řečiště (s).

Čas do maximálního nasycení (time to peak – TTP) – doba do maximálního nasycení tkáně kontrastní látkou (s).

Permeabilita (PMB) – rychlost přestupu kontrastní látky do extravaskulárního prostoru (ml/100 g/min nebo ml/100 ml/min).

Tab. 1. **Vyšetřovací protokol, kyvadlový mód – přístroj Somatom Definition (Siemens, Forchheim, SRN)**

Table 1. **Examination protocol, shuttle mode – machine Somatom Definition (Siemens, Forchheim, Germany)**

Parametr	Hodnota
kV	100
mAs	130
dávková modulace	vypnuto
kolimace	24 × 1,2 mm
perioda rotace	0,33 s
rozsah vyšetření	20 cm
rekonstruovaná šíře vrstvy	1,5/5 mm
increment	0,7/3 mm
rekonstrukční algoritmus	potlačení rozhraní
počet cyklů	25
perioda	2,5 s
koncentrace KL	400 mg/ml
objem KL	40 ml
rychlost aplikace KL	6 ml/s
dose length product (VPCT)	2815 mGy . cm
dose length product (dvoufázové CT)*	500–700 mGy . cm **

* hodnota u dvoufázového CT jater, pro srovnání; ** u dvoufázového CT jater je, na rozdíl od VPCT, zapnut systém dávkové modulace a nemají stejnou délku v ose z.

Arteriální perfúze (arterial liver perfusion – ALP) – průtok arteriálním řečištěm (ml/100 g/min nebo ml/100 ml/min).

Portální perfúze (portal vein liver perfusion – PVP) – průtok portálním řečištěm (ml/100 g/min nebo ml/100 ml/min).

Jaterní perfúzní index (hepatic perfusion index – HPI) – podíl arteriální perfúze na celkové perfúzi jater (%).

Časová MIP rekonstrukce (time MIP) – nejedná se o perfúzní parametr, ale o maximum intensity projection rekonstrukci vytvořenou sloučením všech fází vyšetření do jednoho obrazu. Užívá se pro detekci ložiskových změn a zobrazení jejich vztahu k cévám.

Normální hodnoty jsou uvedeny v tabulce 2.

CÉVNÍ ZÁSOBENÍ JATER

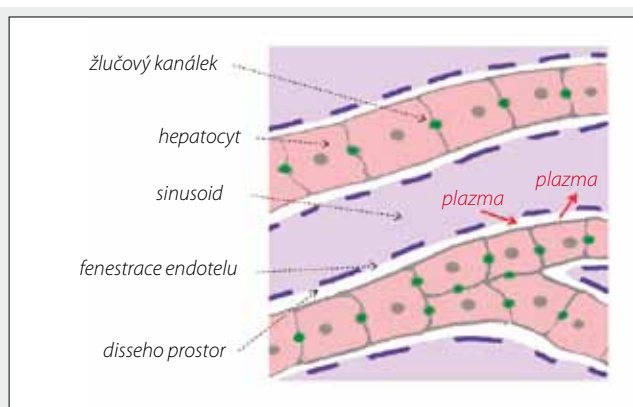
Játra je možné chápat jako systém dvou vzájemně komunikujících kompartmentů – intravaskulárního a extravaskulárního (Disseho prostor) (obr. 1). Zvláštností intravaskulárního kompartmentu je, že má dva přítoky – větve portální žíly a jaterní tepny (obr. 2). U nádorových procesů a cirhózy dochází ke změnám v cévním řečišti, které ovlivňují arteriální

Tab. 2. **Změny perfúzních parametrů u jaterních lézí**

Table 2. **Changes in perfusion parameters in liver lesions**

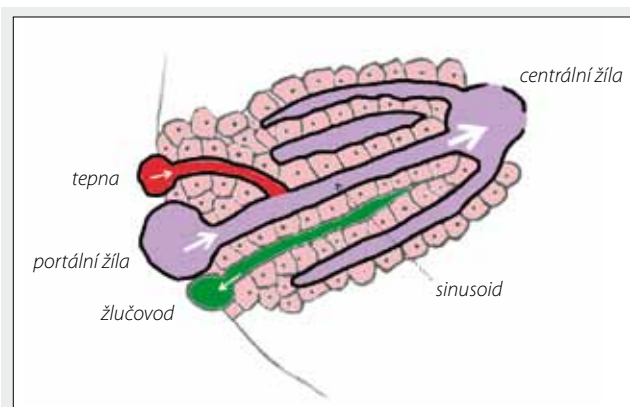
Typ léze	BF	BV	TTP	MTT	PMB	ALP	PVP	HPI
HCC, hypervaskularizované meta	↑	↑	↓	↓	↓	↑	↓	↑
hypovaskularizované meta	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↑
cirhóza	↓	↓	x	↑	↑	↑	↓	↑

↑ – zvýšení; ↓ – snížení; x – údaje chybí



▲ Obr. 1

Obr. 1. Jaterní sinusoid a Disseho prostor
Fig. 1. Liver sinusoid and space of Disse



▲ Obr. 2

Obr. 2. Cévní anatomie jaterního lalůčku
Fig. 2. Vascular anatomy of the liver lobule

a portální průtok a jejich vzájemný poměr, který je za normálních okolností 1 : 3 (8).

U nádorů je hlavním podkladem perfuzních změn neoangiogeneze, jejímž hlavním projevem je zvýšené arteriální zásobení. Hepatocelulární karcinom vzniká většinou v terénu jaterní cirhózy přeměnou regeneračního uzlu v uzel dysplastický a následně karcinom. Během tohoto vývoje se z buněk endotelu sinusoid vytváří síť arteriol, které nemají napojení na portální systém a běží mimo jaterní triádu. Důležitou roli zde hraje cévní endoteliální růstový faktor (vascular endothelial growth factor – VEGF), jehož zvýšená hladina je současně ukazatelem aktivity tumoru a prognostickým faktorem (7, 9).

Metastázy vznikají extravazací nádorových buněk cirkulujících v krvi. S postupným růstem nádorového ložiska se zvyšuje potřeba výživy a od určité velikosti je k jejímu udržení nezbytná novotvorba cév. Jejím podkladem je, stejně jako u hepatocelulárního karcinomu, proliferace buněk endotelu sinusoidů za účasti cévního endoteliálního růstového faktoru. Zároveň bylo zjištěno, že u jaterních metastáz dochází ke globálnímu zvýšení arteriální perfuze jater, což se vysvětluje pravděpodobným uvolňováním nádorových vazoaktivních mediátorů (7, 10, 11).

Při cirhóze dochází ke kapilarizaci sinusoidů, pro kterou je charakteristická defenestrace endotelu a depozice kolagenu v Disseho prostoru. Výsledkem je zvýšení nitrojaterní cévní rezistence a pokles portálního průtoku spojený s otevřením portosystémových kolaterál. Nedostatek portálního krevního zásobení je kompenzován dilatací tepenného systému a zvýšením arteriálního průtoku (7, 9).

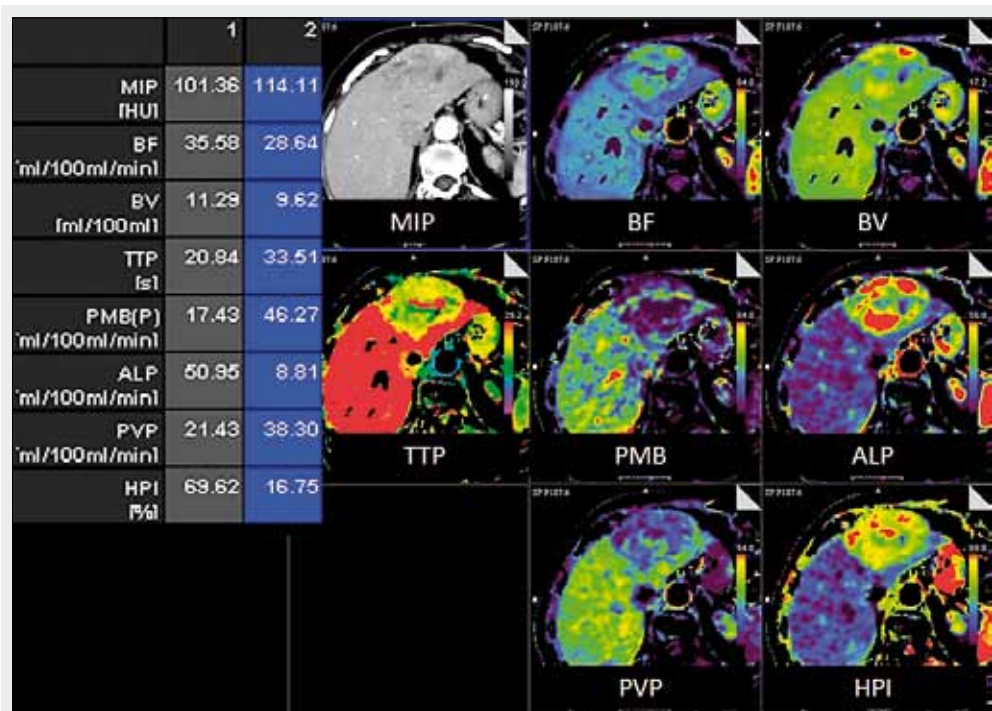
HEPATOCELULÁRNÍ KARCINOM

Práce zabývající se detekcí hepatocelulárního karcinomu pomocí PCT dokazují, že tato metoda odliší spolehlivě hepatocelulární karcinom od normálního i cirhotického jaterního parenchymu především na základě zvýšení arteriální perfuze (arteriální perfuze, jaterní perfuzní index), snížení portální perfuze a zkrácení tranzitního času (tab. 3) (12–16). Je rovněž popisováno zvětšení objemu krve (obr. 3). Vyskytují se diskrepance v hodnotách průtoku a permeability, které jsou

vysvětlovány malými počty pacientů v souborech a odlišnou metodikou (12, 17). Autoři jedné z těchto studií zjistili, že perfuzní parametry se také významně liší podle stupně diferenciací nádoru. U dobře diferencovaného karcinomu našli oproti ostatním formám statisticky významně vyšší hodnoty celkového průtoku, objemu a permeability a kratší tranzitní čas. PCT se tedy může do jisté míry podílet i na určení stupně diferenciací. Nebyla ale prokázána souvislost změn perfuzních parametrů s hladinou alfa fetoproteinu a mírou angioin vazí (17). Experimentálně na zvířecím modelu bylo potvrzeno, že PCT může nádor detekovat již v době, kdy ještě nejsou zjistitelné morfologické změny (18). PCT je přínosné i při plánování biopsie nádoru. Tím, že určí místo nejvyšší míry neoangiogeneze (a tedy i růstové aktivity nádoru), předejde arteficiálnímu podhodnocení grade způsobenému nevhodným výběrem místa odběru materiálu (19).

METASTÁZY

Játra jsou velmi častým místem metastazování maligních nádorů. Detekce metastáz je zásadní pro staging onemocnění a pro plánování terapie. PCT se nejvíce uplatňuje u metastáz kolorektálního karcinomu, kde bylo prokázáno, stejně jako u hepatocelulárního karcinomu, zvýšení arteriální perfuze a jaterního perfuzního indexu, snížení portální perfuze, zkrácení tranzitního času a snížení permeability. Odlišné je snížení celkového objemu a průtoku krve. Tyto změny jsou charakteristické pro všechny hypovaskularizované metastázy (obr. 4). U hypervaskularizovaných metastáz nacházíme změny obdobné jako u hepatocelulárního karcinomu (tab. 3) (6, 20, 21). Dle práce srovnávající přesnost standardního CT a PCT při detekci metastáz bylo prokázáno zvýšení senzitivity CT ze 78,4 na 89,2% a specifity ze 78,3 na 83,6% (22). Ve studii, která probíhá na našem pracovišti, bylo dle předběžných výsledků u 74 metastáz kolorektálního karcinomu zjištěno zvýšení senzitivity z 86 na 97,3%. Další práce prokazují, že je PCT schopné detekovat i mikrometastázy, které nelze jiným způsobem zobrazit. Projevují pouze zvýšením rezistence v jaterních sinusoidech, které lze detekovat na základě difuzních změn perfuze podobných jako u ložiskových lézí (23, 24).



Obr. 3

Obr. 3. Hepatocelulární karcinom levého jaterního laloku, barevné mapy a číselné vyjádření perfuzních parametrů. Sloupec 1 (šedý) – nádor; sloupec 2 (modrý) – jaterní parenchyma
 Fig. 3. Hepatocellular carcinoma of the left liver lobe, colour maps and numerical quantification. Column 1 (grey) – tumor, column 2 (blue) – liver parenchyma

Tab. 3. Perfuzní parametry normálního parenchymu (střední hodnoty)
 Table 3. Perfusion parameters of normal liver parenchyma (mean values)

Studie	BF (ml/100 g/min*) (ml/100 ml/min**)	BV (ml/100 g*) (ml/100 ml**)	TTP (s)	MTT (s)	PMB (ml/100 ml/min)	ALP (ml/100 ml/min)	PVP (ml/100 ml/min)	HPI (%)
Weidekann (39)						20	102	
Zhou (16)	106,2*	20,2*		15,1		17	90	16
Hashimoto (36)	103,9*	12,5*		11,1				18,4
Chen (32)				15,6	18,9			
Miles (6)						17	34	
Blomley (21)						19	43	
Van Beers (35)	108**			16				17
FN Plzeň ***	34,9**	11,0**	26,2		15,6	14,8	44,8	25,8

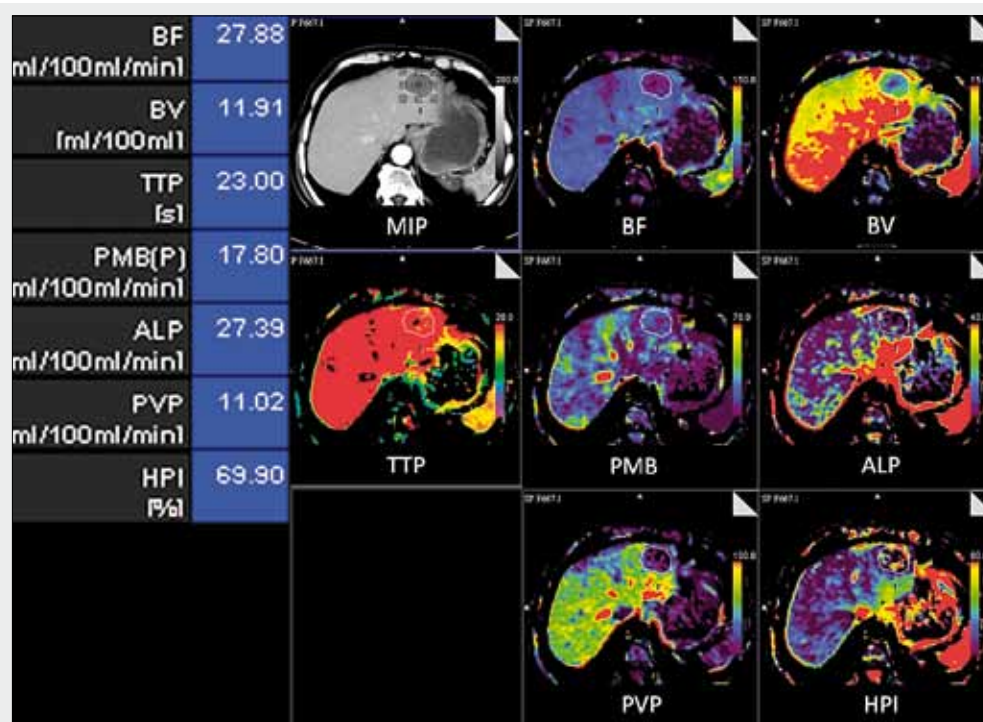
*** zatím nepublikované předběžné výsledky; výraznější diskrepance v některých parametrech jsou způsobené odlišnou metodikou

TERAPIE JATERNÍCH NÁDORŮ

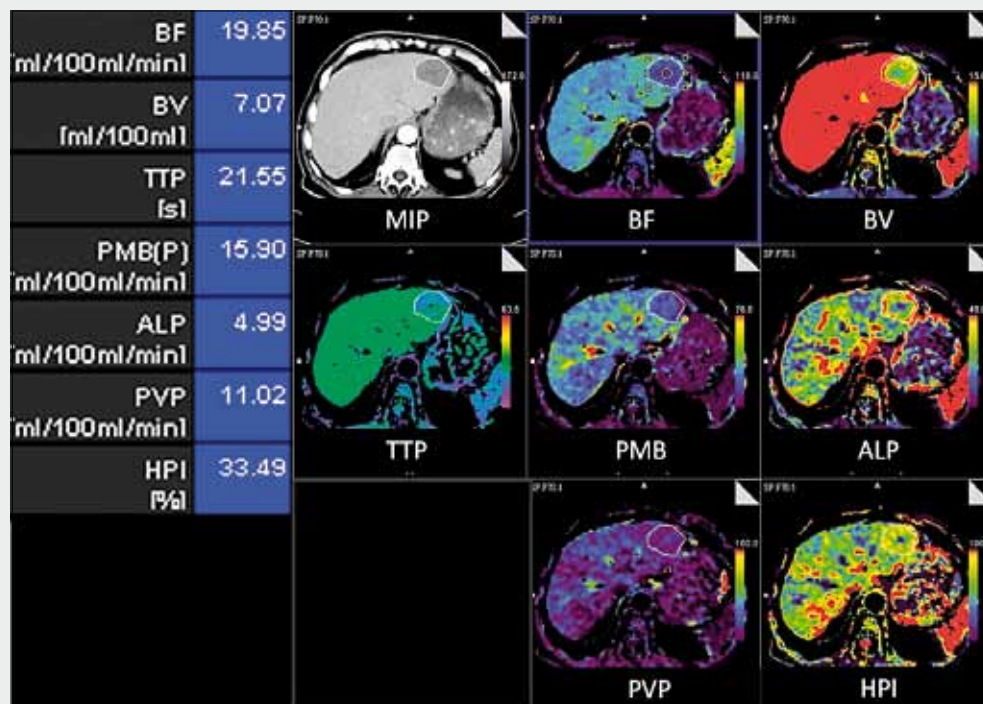
PCT je vhodnou metodou ke kontrole efektu lokální i celkové terapie jaterních nádorů. Pozitivní odpověď na léčbu je provázána snížením parametrů ukazujících na přítomnost neoangiogeneze. V současnosti je často využívána biologická léčba zaměřená právě na její potlačení (preparáty sorafenid, bevacizumab a další). Informace, kterou poskytuje PCT, tedy přesně koresponduje s účinkem léčby a umožňuje jej posoudit dříve než ostatní metody (obr. 4) (25, 26). Pro validní hodnocení je nezbytné provést vstupní vyšetření před léčbou. Poté se během léčby, po několika cyklech chemoterapie, provádí kon-

trola, která určí, zda nádor na léčbu reaguje. Pokud je efekt pozitivní, je léčba dokončena, v opačném případě je změněna (27, 28).

Při úspěšné destrukční léčbě nádoru (RFA apod.) dochází ke kompletní nekróze nádorové tkáně, která je provázána výpadkem všech perfuzních parametrů. Recidiva nebo non-ablace se projeví ložiskovým zvýšením arteriální perfuze a dalšími změnami typickými pro přítomnost viabilní nádorové tkáně (29). V časném období po výkonu (1–3 měsíce) se objevuje v periférii nekrózy zánětlivá reakce, která má v PCT obrazy podobné vlastnosti jako nádorová tkáň a v některých případech ji není možné odlišit od recidivy nebo non-ablace



Obr. 4A



Obr. 4B

Obr. 4. **Metastáza kolorektálního karcinomu – pozitivní reakce na biologickou léčbu.** A – vstupní vyšetření; B – kontrola po třech cyklech, velikost ložiska se nemění, redukce BF, BV, ALP a HPI

Fig. 4. **Metastasis of the colorectal carcinoma – positive reaction to the biological therapy.** A – initial examination; B – examination after 3 cycles, size of the lesion is unchanged, reduction of BF, BV, ALP and HPI

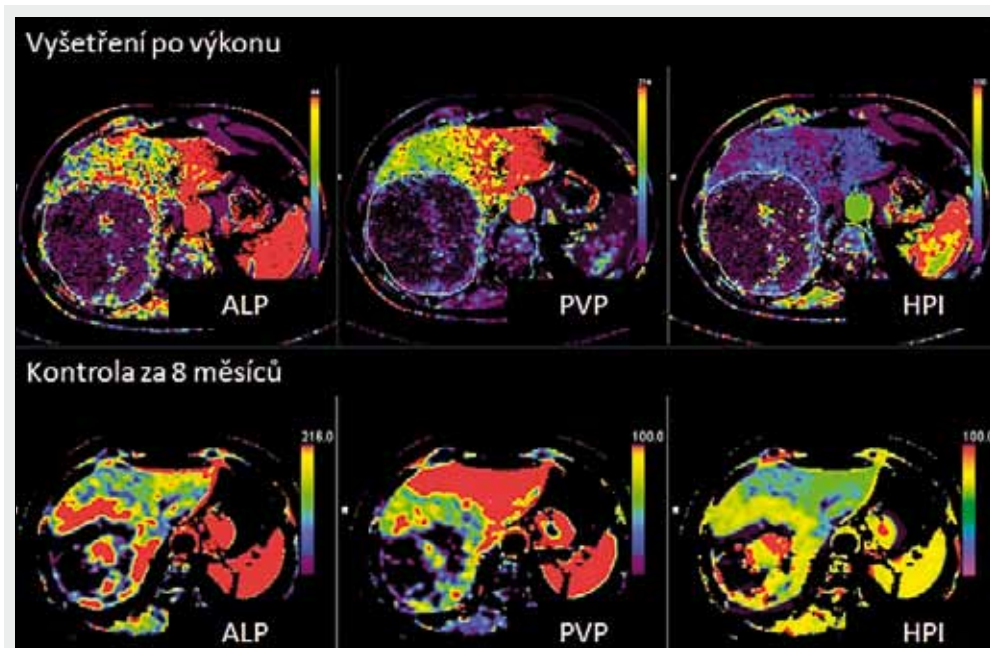
nádoru. Hodnocení efektu léčby se proto provádí až po třetím měsíci.

Po chemoembolizaci se zjišťuje rozsah nekrózy nádoru a změny perfuze jeho eventuálních viabilních zbytků (obr. 5) (30–32). Pomocí PCT je rovněž možno kontrolovat efekt embolizace portální žíly za účelem posílení regenerace zdravé jaterní tkáně u nemocných před jaterní resekcí s nedostatečným předpokládaným reziduem jaterní tkáně. V embolizované části dochází ke snížení portální perfuze a kompenzačnímu zvýšení perfuze arteriální (obdobně jako u cirhózy), ve zbylé části jaterního parenchymu dochází k opačným změnám portální a arteriální perfuze (33). Předmětem výzkumu

je, zda tyto změny perfuze mohou pomoci predikovat míru regerace zdravé jaterní tkáně.

JATERNÍ FIBRÓZA A CIRHÓZA

Diagnostika chronických hepatopatií pomocí zobrazovacích metod je problematická, protože se v některých případech neprojevují morfologickými změnami, které by byly detekovatelné běžným způsobem. Určení míry přestavby parenchymu a jejího vývoje v čase je přitom důležité pro volbu léčby a stanovení prognózy onemocnění. Má také význam pro urč-



Obr. 5

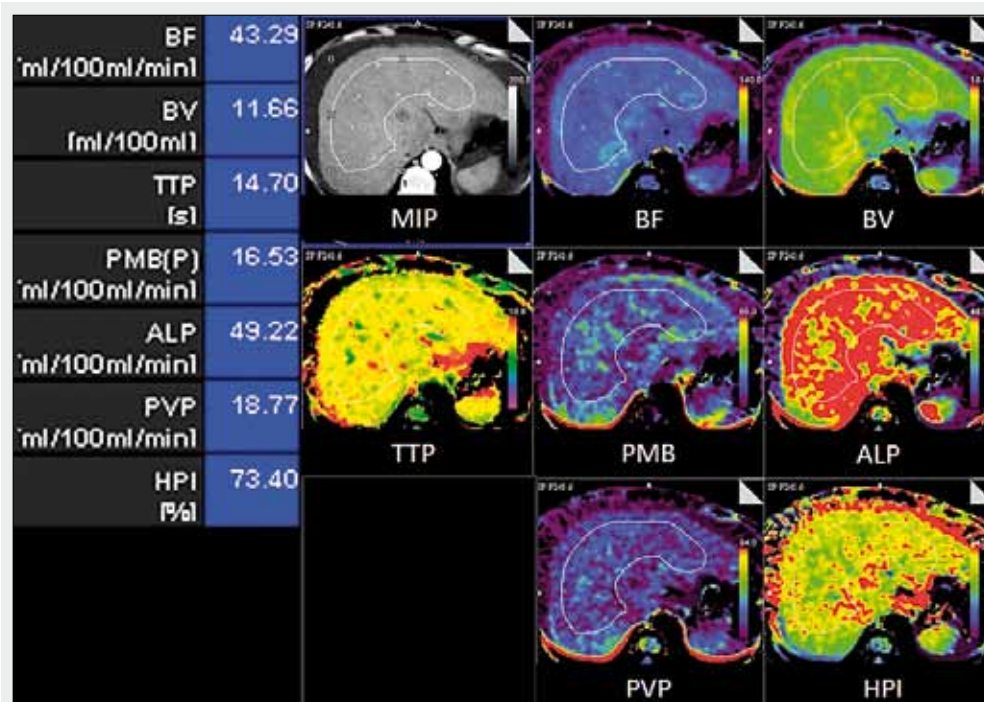
Obr. 5. Hepatocelulární karcinom léčený chemoembolizací. Horní řada – vyšetření těsně po výkonu, výpadek perfuze v rozsahu téměř celého nádoru; dolní řada – recidiva po 8 měsících, v periférii i centru ložiska se objevují oblasti s arteriální hyperperfuzí
Fig. 5. Hepatocellular carcinoma treated with chemoembolization. Upper row – examination immediately after the procedure, perfusion defect of almost entire tumor; lower row – recurrence after 8 months, zones of increased arterial perfusion in the periphery and in the centre of the tumor

Tab. 4. Perfuzní parametry u patologických jaterních procesů (střední hodnoty)

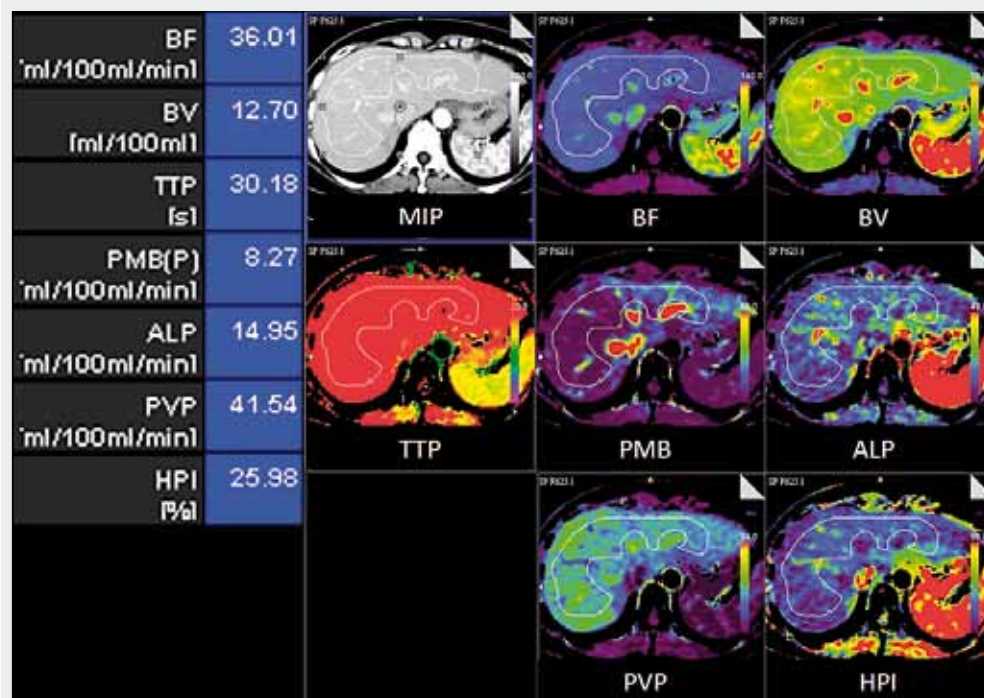
Table 4. Perfusion parameters in pathological liver processes (mean values)

Léze	Studie	Měřená oblast	BF (ml/100 g/min)* (ml/100 ml/min)**	BV (ml/100 g)* (ml/100 ml)**	TTP (s)	MTT (s)	PMB (ml/100 g/min)* (ml/100 ml/min)**	ALP (ml/100 ml/min)	PVP (ml/100 ml/min)	HPI (%)
HCC	Sahani (17)	tumor	92,8*	4,9**		8,1	34,5*			
		parenchym	14,9*	2,6**		14,9	23,5*			
	Long (12)	tumor	46,9**					27,5	19,4	60,4
		parenchym	86,78**					12,2	74,56	14
	FN Plzeň *	tumor	41,5**	10,7**	17,3		19**	52,5	16,3	76,3
		parenchym	27,0**	9,08**	28,9		31,2**	9,44	35,0	20,4
metastázy CRC	Miles (6)	tumor						43		
		parenchym						19		
	Blomley (21)	tumor						50		
		parenchym						17		
	Legett (40)	tumor						> 25		
	Perkins (41)	tumor								> 37
cirhóza	Chen (32)	tumor	28,8**	9,1	21,1		13,6**	27,4	22,8	57,3
		parenchym	34,9**	11,0**	26,2		15,6	14,8	44,8	25,8
	Blomley (21)	cirhoza				12,2	24,9			
		kontrolní sk.				15,6	18,9			
	Miles (6)	cirhoza						25	93	
		kontrolní sk.						19	43	
cirhóza	Van Beers (35)	cirhoza	67**			51				41
		kontrolní sk.	108**			16				17

*** zatím nepublikované předběžné výsledky



Obr. 6A



Obr. 6B

Obr. 6. **Jaterní cirróza.** A – perfuzní změny u pokročilé jaterní cirrózy; B – normální parenchym

Fig. 6. **Liver cirrhosis.** A – perfusion changes in advanced liver cirrhosis; B – normal liver parenchyma

ní funkční rezervy jater před resekci pro hepatocelulární karcinom v terénu cirrózy. Jedinou známkou difuzního onemocnění jsou v těchto případech odchylky jaterní perfuze, které je možno neinvazivně diagnostikovat pomocí PCT.

Změny mikrovaskularizace u fibrózy a cirrózy se projevují snížením portální perfuze a zvýšením arteriální perfuze, která však nedokáže plně kompenzovat snížený přísun krve portálním řečištěm. Proto jsou parametry celkový průtok a objem sniženy. Vlivem zvýšené cévní rezistence se prodlužuje tranzitní čas. Obliterace Disseho prostoru kolagenem se odráží ve zvýšení permeability (obr. 6) (6, 17, 21, 32, 34, 35). Bylo prokázáno, že PCT umožňuje časnou detekci jaterní fibrózy a cirrózy a zároveň dokáže odlišit fibrózu od cirrózy (17). Jiná práce ukazuje, že změny perfuzních parametrů se liší

u jednotlivých stádiích cirrózy dle Childovy klasifikace (36). Vzhledem ke zvýšené radiační zátěži je vhodné hodnocení chronické hepatopatie provádět pouze jako vedlejší výstup vyšetření prováděných za účelem detekce a charakterizace hepatocelulárního karcinomu. V jiných případech je vhodnější zvolit méně zatěžující a levnější alternativu v podobě elastografie nebo biopsie.

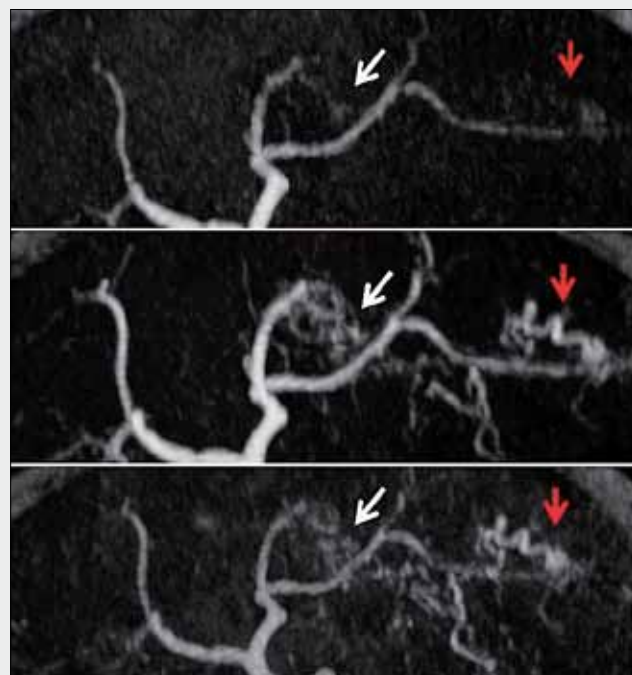
DALŠÍ APLIKACE METODY

PCT je možno využít i v dalších situacích, kdy je třeba posuzovat a časně detekovat odchylky perfuze jater, jako je stav po transplantaci nebo po vytvoření portosystémového zkra-

tu (TIPS apod.). Literární údaje o využití v těchto indikacích jsou ale zatím jen ojedinělé (37–39). Z dat získaných při objemovém perfuzním vyšetření je možno vytvářet dynamické CT angiografie (4D CT angiografie), které jsou přínosné při podrobném hodnocení cévních abnormalit, jako je patologická vaskularizace nádorů, arteriovenózní zkratky nebo kolaterální oběh (obr. 7).

ZÁVĚR

Perfuzní CT jater je funkční metoda, která umožňuje hodnotit perfuzní změny u ložiskových a difúzních jaterních procesů. Přispívá k jejich časnější a přesnější detekci a bližší charakterizaci. U maligních nádorů je vhodná i k hodnocení odpovědi na léčbu. Zásadním mezníkem ve vývoji této metody je zavedení CT přístrojů s velkým počtem řad detektorů, které umožňují vyšetřit perfuzi celého orgánu. Vzhledem k tomu, že je spojena s vyšší radiační zátěží, je třeba ji indikovat pouze v odůvodněných případech. Zatím neexistují rozsáhlejší studie a metaanalýzy, které by objektivně zhodnotily skutečný přínos PCT a určily jeho místo v diagnostickém algoritmu. Nicméně dle našich i jiných zkušeností se jeví jako perspektivní.



▲ Obr. 7

Obr. 7. 4D CT angiografie, hepatocelulární karcinom. Postupné plnění arterioportálního zkratu (bílé šipky) a nádorové tepny (červené šipky). Obrázky jsou řazeny shora dolů.

Fig. 7. 4D CT angiography, hepatocellular carcinoma. Progressive filling of arterioportal shunt (white arrows) and tumorous artery (red arrows). Figures are arranged up to down.

LITERATURA

1. Miles KA, Griffiths MR. Perfusion CT: a worthwhile enhancement? The British Journal of Radiology 2003; 76: 220–231.
2. Axel L. Cerebral blood flow determination by rapid-sequence computed tomography: theoretical analysis. Radiology 1980; 137: 679–686.
3. Wolfkiel CJ, Ferguson JL, Chomka EV, et al. Measurement of myocardial blood flow by ultrafast computed tomography. Circulation 1987; 76:1262–1273.
4. Jaschke W, Sievers RS, Lipton MJ, Cogan MG. Cinecomputed tomographic assessment of regional renal blood flow. Acta Radiol 1990; 31: 77–81.
5. Miles KA, Hayball M, Dixon AK. Colour perfusion imaging: a new application of computed tomography. Lancet 1991; 337: 643–645.
6. Miles KA, Hayball MP, Dixon AK. Functional images of hepatic perfusion obtained with dynamic CT. Radiology 1993; 188: 405–411.
7. Pandharipande PV, Krinsky GA, Rusinek H, et al. Perfusion Imaging of the Liver: Current Challenges and Future Goals. Radiology 2005; 234: 661–673.
8. Tsushima Y, Funabasama S, Aoki J, Sanada S, Endo K. Quantitative perfusion map of malignant liver tumors, created from dynamic computed tomography data. Acad Radiol 2004; 11(2): 215–223.
9. Anjali D Amarapurkar, Vibhav S, Kim V. Angiogenesis in liver cirrhosis and hepatocellular carcinoma. Indian J Pathol Microbiol 2008; 51(3): 323–328.
10. Dezso K, Bugyik E, Papp V, et al. Development of Arterial Blood Supply in Experimental Liver Metastases. Am J Pathol 2009; 175(2): 835–843.
11. Miles KA. Tumour angiogenesis and its relation to contrast enhancement on computed tomography: a review. Eur J Radiol 1999; 30: 198–205.
12. Long X, Cao J, Shi L, Li W, Liu H. MSCT perfusion imaging and its correlation with perfusion parameters, survival expression, MVD, and pathologic grade in hepatocellular carcinomas. Zhong Nan Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban 2009; 34(11): 1096–1102.
13. Yang HF, Du Y, Ni JX et al. Perfusion computed tomography evaluation of angiogenesis in liver cancer. Eur Radiol 2010; 20(6): 1424–1430.
14. Ippolito D, Sironi S, Pozzi M, et al. Hepatocellular carcinoma in cirrhotic liver disease: functional computed tomography with perfusion imaging in the assessment of tumor vascularization. Acad Radiol 2008; 15(7): 919–927.
15. Komemushi A, Tanigawa N, Kojima H, Kariya S, Sawada S. CT perfusion of the liver during selective hepatic arteriography: pure arterial blood perfusion of liver tumor and parenchyma. Radiat Med 2003; 21: 246–251.
16. Zhou ZF, Huang HL, Xu B, et al. Clinic application with MSCT perfusion in liver tumor. Linchuang Fangshexue Zazhi 2006; 25: 233–237.

17. **Sahani DV, Holalkere NS, Mueller PR, Zhu AX.** Advanced hepatocellular carcinoma: CT perfusion of liver and tumor tissue – initial experience. *Radiology* 2007; 243 (3): 736–743.
18. **Fournier LS, Cuenod CA, de Bazelaire C, et al.** Early modifications of hepatic perfusion measured by functional CT in a rat model of hepatocellular carcinoma using a blood pool contrast agent. *Eur Radiol* 2004; 14: 2125–2133.
19. **Zhong L, Wang WJ, Xu JR.** Clinical application of hepatic CT perfusion. *World J Gastroenterol* 2009; 15(8): 907–911.
20. **Dugdale PE, Miles KA.** Hepatic metastases: the value of quantitative assessment of contrast enhancement on computed tomography. *Eur J Radiol* 1999; 30(3): 206–213.
21. **Blomley MJ, Coulden R, Dawson P, et al.** Liver perfusion studied with ultrafast CT. *J Comput Assist Tomogr* 1995; 19: 424–433.
22. **Meijerink MR, van Waesberghe JH, van der Weide L, et al.** Total-liver-volume perfusion CT using 3-D image fusion to improve detection and characterization of liver metastases. *Eur Radiol* 2008; 18(10): 2345–2354.
23. **Leggett DA, Kelley BB, Bunce IH, Miles KA.** Colorectal cancer: diagnostic potential of CT measurements of hepatic perfusion and implications for contrast enhancement protocols. *Radiology* 1997; 205: 716–720.
24. **Cuenod C, Leconte I, Siauve N, et al.** Early changes in liver perfusion caused by occult metastases in rats: detection with quantitative CT. *Radiology* 2001; 218: 556–561.
25. **Meijerink MR, van Crujisen H, Hoekman K, et al.** The use of perfusion CT for the evaluation of therapy combining AZD2171 with gefitinib in cancer patients. *Eur Radiol* 2007; 17(7): 1700–1713.
26. **Ferda J, Mírka H, Duras P, Kreuzberg B.** Diagnostické zobrazení mikrosvětla a makrosvětla nádorů. *Ces Radiol* 2010; 64(Suppl 1): 7–23.
27. **Pauls S, Gabelmann A, Heinz W, et al.** Liver perfusion with dynamic multidetector-row computed tomography as an objective method to evaluate the efficacy of chemotherapy in patients with colorectal cancer. *Clinical Imaging* 2009; 33: 289–294.
28. **Vignot S, Spano J, Bloch J, et al.** CT perfusion as index of activity of antiangiogenic treatment of metastatic carcinoma. *J Clin Oncol* 2008; 26(Suppl): Abstr. 3548.
29. **Meijerink MR, van Waesberghe JH, van der Weide L, et al.** Early detection of local RFA site recurrence using total liver volume perfusion CT initial experience. *Acad Radiol* 2009; 16(10): 1215–1222.
30. **Tsushima Y, Unno Y, Koizumi J, Kusano S.** Hepatic perfusion changes after transcatheter arterial embolization (TAE) of hepatocellular carcinoma: measurement by dynamic computed tomography (CT). *Dig Dis Sci* 1998; 43: 317–322.
31. **Kan Z, Kobayashi S, Phongkitkarun S, Charnsangavej C.** Functional CT quantification of tumor perfusion after transhepatic arterial embolization in a rat model. *Radiology* 2005; 237: 144–150.
32. **Chen G, Ma DO, He W, et al.** Computed tomography perfusion in evaluating the therapeutic effect of transarterial chemoembolization for hepatocellular carcinoma. *World J Gastroenterol* 2008; 14(37): 5738–5743.
33. **Wakabayashi H, Nakano S, Ishimura K, et al.** Changes in arterial and portal perfusion in embolized and nonembolized hepatic lobes after portal vein embolization evaluated by helical computed tomography. *Surg Today* 2001; 31(11): 991–995.
34. **Tsushima Y, Blomley JK, Kusano S, Endo K.** The portal component of hepatic perfusion measured by dynamic CT: an indicator of hepatic parenchymal damage. *Dig Dis Sci* 1999; 44(8): 1632–1638.
35. **Van Beers BE, Leconte I, Materne R, et al.** Hepatic perfusion parameters in chronic liver disease: dynamic CT measurements correlated with disease severity. *Am J Roentgenol* 2001; 176: 667–673.
36. **Hashimoto K, Murakami T, Dono K, et al.** Assessment of the severity of liver disease and fibrotic change: the usefulness of hepatic CT perfusion imaging. *Oncol Rep* 2006; 16: 677–683.
37. **Huang YH, Yang JY, Chen W, et al.** Assessment of hepatic hemodynamics with dynamic computed tomography in end stage liver disease after transplantation. *Linchuang Fangshexue Zazhi* 2005; 24: 40–45.
38. **Bader TR, Herneth AM, Blaicher W, et al.** Hepatic perfusion after liver transplantation: noninvasive measurement with dynamic single-section CT. *Radiology* 1998; 209: 129–134.
39. **Weidekamm C, Cejna M, Kramer L, Peck-Radosavljevic M, Bader TR.** Effects of TIPS on liver perfusion measured by dynamic CT. *Am J Roentgenol* 2005; 184: 505–510.
40. **Leggett DA, Kelley BB, Bunce IH, Miles KA.** Colorectal cancer: diagnostic potential of CT measurements of hepatic perfusion and implications for contrast enhancement protocols. *Radiology* 1997; 205: 716–720.
41. **Perkins AC, Whalley DR, Ballantyne KC, Hardcastle JD.** Reliability of the hepatic perfusion index for the detection of liver metastases. *Nucl Med Commun* 1987; 8: 982–989.