

能谱 CT 虚拟平扫在儿童肝肿瘤中的应用价值

吴亚莉, 魏伟安, 易婷

【摘要】 目的:通过能谱 CT 虚拟平扫水基(WB)图、物质压碘(MSI)图与真实平扫(TNC)对儿童肝肿瘤进行定性和定量研究,探讨虚拟平扫替代真实平扫的可行性。**方法:**连续性搜集我院 30 例肝肿瘤患儿,所有患儿均行 CT 平扫、动脉期、门脉期和实质期扫描。将门脉能谱 GSI 数据导入后处理工作站生成虚拟平扫 WB 图和 MSI 图,对 TNC、WB 和 MSI 三组图像进行 5 分制主观评分和病灶检出能力比较。测量 TNC 和 WB 各个部位的 CT 值和图像背景噪声,计算肝实质和肝肿瘤的信噪比(SNR),比较 TNC、WB 和 MSI 三组图像的对比噪声比(CNR)。采用相关样本的符号秩和检验比较 TNC 与 MSI 的相关参数,对 TNC、MSI、WB 图像的 CNR 值和主观评分分别进行方差分析和 Kruskal-Wallis *H* 检验。**结果:**MSI 的 SD 值、肝肿瘤和腹主动脉的 CT 值、肝实质和肝肿瘤的 SNR 值均高于 TNC,而肝实质的 CT 值低于 TNC,差异均有统计学意义($P < 0.05$);三组图像对病灶的检出能力差异无统计学意义($P > 0.05$)。WB 图的 CNR(4.74 ± 0.32)高于 TNC 图(3.07 ± 0.27)和 MSI 图(3.41 ± 0.28),而 MSI 和 TNC 的主观评分均高于 WB,差异均有统计学意义($P < 0.05$);MSI 与 TNC 之间的 CNR、主观评分差异均无统计学意义($P > 0.05$)。能谱三期扫描的有效辐射剂量较常规四期扫描下降约 22%。**结论:**儿童肝门脉期能谱 CT 虚拟平扫可以提供较好的图像质量和诊断信息,替代 TNC 可降低 22% 的辐射剂量。

【关键词】 肝肿瘤; 儿童; 体层摄影术, X 线计算机; 虚拟平扫

【中图分类号】 R735.7; R814.42 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2022)05-0616-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2022.05.016

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Study on children with liver tumors by spectral CT virtual non-contrast images WU Ya-li, WEI Wei-an, Yi Ting. Department of Child Healthcare, Hunan Children's Hospital, Changsha 410007, China

【Abstract】 Objective: In order to explore the feasibility of virtual plain CT instead of real plain CT, we used energy spectrum CT virtual plain CT water-based (WB) image, material iodized iodine (MSI) image and real plain CT (TNC) image to study the qualitative and quantitative characteristics of pediatric liver tumors. **Methods:** There were 30 children with liver tumors in our hospital performed CT in non-contrast, artery, portal vein and parenchymal phase. The spectral GSI data were transmitted into post-processing station AW4.7 to generate WB images and MSI images. The TNC, WB and MSI images were scored subjectively on 5 points and the sensitivity of lesion detection was evaluated. The CT values and image background noise of TNC and WB were measured, and the signal-to-noise ratio (SNR) values of liver parenchyma and liver tumors were calculated. Meanwhile, the contrast noise ratio (CNR) values of TNC, WB and MSI images were compared. Wilcoxon rank sum test was used to compare the parameters of TNC and MSI. The analysis of variance and Kruskal-Wallis *H* test were carried out respectively on the CNR values and subjective scores. **Results:** SD value of MSI, CT value of liver tumor and abdominal aorta, SNR value of liver parenchyma and liver tumor were all higher than TNC, while CT value of liver parenchyma was lower than TNC. There was no significant difference in the sensitivity of the three groups in detecting lesions ($P > 0.05$). The CNR of WB (4.74 ± 0.32) was higher than TNC (3.07 ± 0.27) and MSI (3.41 ± 0.28), while the subjective scores of MSI and TNC were higher than those of WB ($P < 0.05$). There was no significant difference in CNR and subjective

作者单位: 410007 长沙, 湖南省儿童医院儿童保健科(吴亚莉), 放射科(魏伟安, 易婷)

作者简介: 吴亚莉(1990—), 女, 湖南怀化人, 医师, 主要从事儿童肿瘤相关工作。

通讯作者: 魏伟安, E-mail: 654527095@qq.com

基金项目: 院级青年(医技药)项目

scores between MSI and TNC ($P>0.05$). The effective radiation dose ED of energy spectrum three-phase scanning was about 22% lower than that of conventional phase IV scanning. **Conclusions:** Spectral CT virtual non-contrast images of hepatic portal phase in children can provide comparable image quality and diagnostic information, which replace TNC can reduce radiation dose by 22%.

[Key words] Liver tumor; Child; Tomography, X-ray computed; Virtual non-contrast

肝肿瘤作为儿童常见的实体肿瘤,其发病率不断上升,儿童肝肿瘤约占儿童恶性肿瘤的 0.3%~2.0%^[1],且儿童肝母细胞瘤发病率以 2.18% 的速率逐年递增^[2]。目前,CT 已成为临床评估肝肿瘤最常用的影像学方法之一,但其多期扫描产生的高辐射是造成医源性辐射的重要原因并可能增加继发性癌症的风险^[3];而能谱 CT 则可通过对增强图像进行后处理产生虚拟平扫(virtual non-contrast, VNC)图像,从而具有降低辐射剂量的潜质。其中一种通过水碘两种物质分离形成水基(water based, WB)图,另一种通过对单能量 70 keV 的图像进行物质抑制碘形成虚拟无增强图像,即物质压碘(material suppressed iodine, MSI)图^[4-5]。虽然,林禹等^[6]通过对成人进行肝能谱 CT 研究,结果表明三期 VNC 与真实平扫(true non-contrast, TNC)有较高的匹配度且均满足影像诊断需求,但对儿童肝肿瘤的研究相对较少。因此,本研究通过分析能谱 CT 的 WB 图和 MSI 图在儿童肝肿瘤中的临床应用,旨在探讨虚拟平扫替代真实平扫从而降低辐射剂量的可行性。

材料与方法

1. 病例资料

连续性搜集 2021 年 1 月—2021 年 5 月我院肝肿瘤患儿 30 例,其中男 19 例,女 11 例,年龄 2.25~9.58 岁,平均(4.78 ± 1.95)岁,全部患儿均行腹部 CT 四期扫描,包括平扫期、动脉期、门脉期及肝实质期。病例排除标准:①图像运动伪影较多;②临床及影像资料不完整。

2. 检查方法

对于不配合的患儿口服水合氯醛,按 0.2 mL/kg 剂量给药,待患儿熟睡后方可进行 CT 检查。CT 检查采用 GE Revolution CT 扫描机,患儿取仰卧位,扫描范围从膈顶至双肾下缘,增强扫描采用非离子型等渗对比剂碘克沙醇(320 mg I/mL),剂量 1.5 mL/kg,以 1.0~1.5 mL/s 流率使用双筒高压注射器(Ulrich, Germany)经手背静脉注射,于肝门层面腹主动脉设置 ROI 触发,当阈值达到 180 HU 时行动脉期扫描,门脉期和肝实质期分别在动脉期后 20 s 和 60 s 进行扫描。扫描参数:转速 0.6 s/r,螺距 1.375:1,准直器宽度 80 mm,扫描层厚和层间距均为 2.5 mm。平扫期、动

脉期和肝实质期均采用管电压 120 kV,管电流 220 mAs。门脉期采用 GSI 扫描模式,管电压 80/140 kV,管电流 195 mAs。所得原始图像均行多模型迭代重建(Adaptive statistical iterative reconstruction Veo, ASIR-V),重建层厚和层间距均为 0.625 mm,权重为 40%,门脉期能谱图像采用物质分离技术得到虚拟平扫图像,分别是 MSI 图和 WB 图。

3. 图像评估

客观评估:将 TNC、MSI 和 WB 图像传至 AW4.7 后处理工作站上进行分析,所有数据测量均由同 1 位放射科技师完成。首先,在 TNC 图和 MSI 图的肝门层面测量腹主动脉、脾和左侧竖脊肌的 CT 值和 SD 值,以左侧竖脊肌 SD 值作为图像背景噪声。其次,在 TNC 图、MSI 图和 WB 图上,选取显示肝肿块最大的同一层面进行测量,在肿块的实质部位和周围正常的肝实质区勾画感兴趣区(ROI)测量 CT 值(水基值)和 SD 值。所有数据均采用 compare 功能测量 3 次,取其平均值作为最终测量结果。计算肝实质和肝肿块的信噪比(signal noise ratios, SNR)值, $SNR = CT_{ROI} / SD_{ROI}$;计算肝肿物的对比噪声比(contrast noise ratio, CNR)值, $CNR = (CT_{肝实质} - CT_{肿块}) / 0.5 \times (SD_{肝实质} + SD_{肿块})$ 。

主观评分:由 2 位儿科影像医师(10 年以上工作经验)以门脉期增强图像作为参考,对 TNC、MSI 和 WB 三组平扫图像采用 5 分法进行评分:1 分,图像质量极差,噪声大,解剖结构和病灶显示不清且无法做出诊断;2 分,图像质量较差,噪声较多,解剖结构和病灶部分模糊,仍不能满足诊断要求;3 分,图像质量一般,噪声中等,解剖结构和病灶可以区分,尚能作出诊断;4 分,图像质量良好,噪声较少,解剖结构和病灶细节显示较好;5 分,图像质量极好,无噪声,解剖结构和病灶显示清晰。当 2 位医师主观评分出现分歧时,取其平均值作为最终数据。

病灶检出能力:综合增强扫描图像显示的病灶作为评判标准,分别比较 TNC、MSI 和 WB 对肝肿瘤病灶的检出能力,计算各自敏感度。

记录每例患儿的 CT 剂量长度乘积(dose-length product, DLP),并计算有效辐射剂量(effective dose, ED)。 $ED = DLP \times k$,其中 k 为组织权重因子, $k = 0.020 \text{ mSv/mGy} \cdot \text{cm}$ 。

4. 统计学分析

采用 SPSS 25.0 软件进行统计学分析。计量资料进行正态分布和方差齐性检验,结果服从正态分布的数据以均值±标准差($\bar{x} \pm s$)表示。2 位医师的一致性分析采用 Kappa 检验,Kappa 系数 k 值 >0.75 表示一致性较好, k 值为 $0.40 \sim 0.75$ 表示一致性一般, k 值 <0.4 表示一致性差,取 2 位医师的平均值作为主观评分的最终数据。对 TNC 与 MSI 组的 CT 值、SD 值比较采用相关样本的符号秩和检验,采用方差分析比较 TNC、MSI 和 WB 组图像的 CNR 值,组内两两比较采用 Bonferroni 法。采用 Kruskal-Wallis H 检验比较三组图像的主观评分,组内两两比较采用 Mann-Whitney U 检验。采用卡方检验对三组图像的肝病灶检出率进行比较。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 一般资料

所有患儿均行手术病理活检,30 例患儿中乙肝肝硬化合并肝癌 1 例,肝母细胞瘤 13 例,间叶错构瘤 6 例,局灶性增生 5 例,婴儿内皮血管瘤 I 型 3 例,感染病灶 2 例。

2. 图像质量评估

TNC 与 MSI 图像对比:两组脾和左侧竖脊肌的 CT 值之间差异无统计学意义($P > 0.05$),TNC 图像的肝实质 CT 值高于 MSI 图像,而 MSI 图像的背景噪声、肝肿瘤和腹主动脉的 CT 值、肝实质和肝肿瘤的 SNR 值均高于 TNC 图像,差异均具有统计学意义($P < 0.05$,表 1)。TNC、MSI 和 WB 图像对比:三组图像的 CNR 值之间差异有统计学意义($Z = 15.529$, $P < 0.001$),表现为 WB 图像的 CNR(4.74 ± 0.32)高

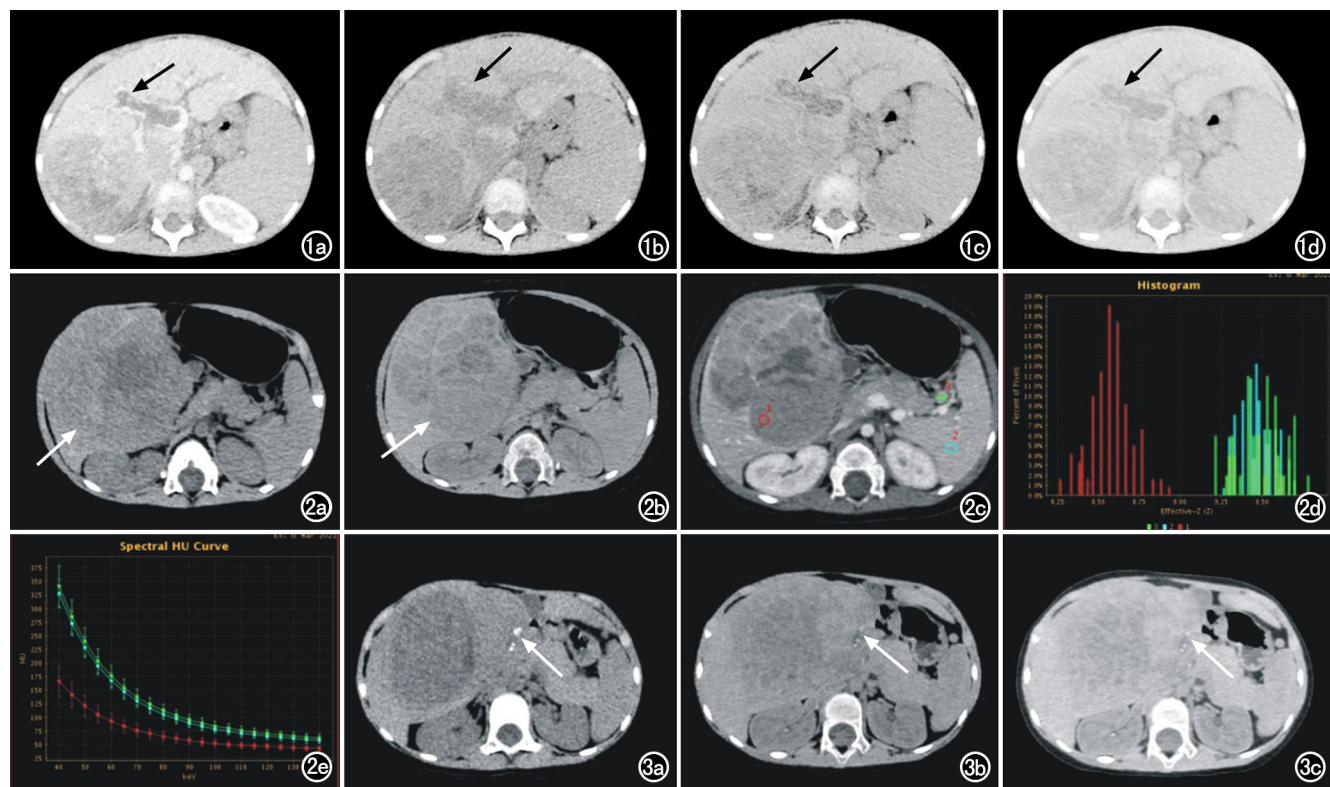


图 1 乙肝肝硬化合并肝癌患者,男,8 岁。a) 门脉期(PV)图门静脉主干癌栓栓塞(箭);b) 真实平扫(TNC)图门静脉主干增宽,其内的癌栓显示不清(箭);c) 物质压碘(MSI)图,门脉主干癌栓清晰显示(箭)且优于 TNC;d) 水基(WB)图,门脉主干癌栓清晰显示(箭),但主观评分低于 TNC 和 MSI。图 2 肝母细胞瘤患者,女,1.5 岁。a) 真实平扫(TNC)图,肝母细胞瘤的边界显示不清(箭);b) 物质压碘(MSI)图,肝母细胞瘤的边界显示清晰(箭),同时瘤内液化坏死灶较 TNC 显示清晰;c) 门脉期(PV)图,ROI 分别置于肝母细胞瘤实质成分(红)、脾(蓝)及脾门类结节(绿);d) 原子序数图,脾门类结节(绿)与脾(蓝)的原子序数分布相近且远离肝母细胞瘤(红),提示脾门类结节为副脾结构;e) 能谱曲线图,脾门类结节(绿)与脾(蓝)的能谱曲线斜率相近且高于肝母细胞瘤(红),提示脾门类结节为副脾结构。图 3 外生性肝母细胞瘤患者,男,3 岁。a) 真实平扫(TNC)图示瘤内钙化灶(箭);b) 物质压碘(MSI)图,钙化灶显示范围缩小(箭);c) 水基(WB)图,钙化灶同样显示欠佳(箭)。

于 TNC 图像(3.07 ± 0.27)和 MSI 图像(3.41 ± 0.28), 差异有统计学意义($P<0.001$),而 MSI 图像与 TNC 图像之间差异无统计学意义($P=0.238$)。

2 位放射科医师对三组图像主观评分结果的一致性较好。其中,TNC 与 MSI 的主观评分差异无统计学意义($P>0.05$),且均高于 WB 图像(P 值分别为 0.002、0.008,表 2)。MSI 和 WB 图像对肿块边界和内部结构的显示优于 TNC 图像(图 1、2),但 MSI 和 WB 图像对小钙化、出血灶的显示欠佳(图 3)。

病灶检出能力(敏感度):TNC 检出 54 个病灶 (79.41%, 54/68),MSI 检出 58 个病灶 (85.29%, 58/68),WB 检出 57 个病灶 (83.82%, 57/68),三者对病灶的检出率差异无统计学意义($Z=0.897, P=0.639$)。

3.辐射剂量比较

辐射剂量:真实平扫的 DLP [(174.12 ± 11.87) mGy/cm]和 ED [(3.48 ± 0.23) mSv]均高于门脉期 GSI 的 DLP [(152.79 ± 10.42) mGy/cm]和 ED [(3.05 ± 0.21) mSv],差异均具有统计学意义($P<0.001$),虚拟平扫较真实平扫的有效辐射剂量下降约 12%,而缺少平扫的三期扫描较常规四期扫描的有效辐射剂量下降约 22%。

表 1 TNC 图与 MSI 图的客观参数比较

组别	TNC	MSI	Z 值	P 值
肝实质 CT	64.74±5.94	63.13±5.12	2.098	0.036
肝肿瘤 CT	45.05±9.69	47.95±6.84	2.726	0.006
脾 CT	49.27±2.93	49.65±4.18	0.473	0.636
竖脊肌 CT	54.88±3.34	53.90±5.14	0.433	0.665
腹主动脉 CT	37.46±4.43	49.64±7.00	3.690	<0.001
背景噪声	6.00±1.80	4.76±1.07	4.639	<0.001
肝实质 SNR	10.22±2.58	15.85±4.05	4.783	<0.001
肝肿瘤 SNR	7.06±2.14	10.13±2.84	4.721	<0.001

讨 论

常规 CT 平扫图像用来分析肿瘤的一般特征表现,结合增强图像能准确观察肿瘤强化特点及血供情况,还能评估治疗前后肿瘤的改变^[7-8]。肝 CT 检查常需结合多期相扫描共同进行,导致患儿接受大剂量辐射并提高了继发癌症的风险,因此如何降低辐射剂量的同时又能将 CT 扫描的优势充分发挥显得尤为重要。能谱 CT 通过物质分离技术将增强序列中的对比剂碘去除形成 VNC 图像,利用 VNC 替代 TNC,减少

CT 扫描期相从而达到降低辐射剂量的目的。

近年来关于能谱 CT 虚拟平扫的研究有较多分歧。朱小倩等^[9]通过研究发现肝实质的平扫与动脉期 VNC 的 CT 值存在统计学差异,而与静脉期 VNC 的 CT 值无统计学差异。林禹等^[6]则认为肝三期增强 VNC 与常规平扫 TNC 之间的肝实质 CT 值差异均无统计学意义,且 VNC 的 SD 值均小于 TNC。而王丽檀^[10]通过对原发性肝癌进行研究,结果显示 VNC 的 CT 值和 SNR 值均高于 TNC。众所周知,平扫图像的 CT 值仅取决于组织的固有特征,而虚拟平扫图像的 CT 值则是通过碘水物质分离将图像的碘成分去除后的数据创建的,因此碘浓度跟 BMI 和组织心血管系统等有关^[11-12]。一项针对 293 例肾肿物的回顾性分析结果显示不同机型的 VNC 图像具有较好的诊断性能^[13],且对病灶特征的显示与平扫图像具有较高的一致性,但 VNC 和 TNC 两者图像 CT 值的平均最大差值为 9.2 HU,这与本研究结论相近。本研究以富血供肝肿瘤为主,研究对象为生长发育阶段的儿童,其新陈代谢旺盛,因此可能导致 MSI 在肝实质和肝肿瘤的 CT 值与 TNC 存在差异,但最大差异均不超过 6 HU,且两者的 SNR 值均高于 TNC。

刘东权等^[14]通过对肾占位病变的虚拟平扫进行研究,发现虽然 WB 图的 CNR 值高于 TNC 图,但两者对病灶的显示能力无明显差异,这与本研究的结论相一致。本研究中 MSI 与 TNC 的 CNR 值无明显差异,但 MSI 却可通过测量 CT 值反映物质衰减特性,这是 WB 所不能提供的。本研究结果显示 TNC、MSI、WB 三者间对肝病灶的检出能力无明显差异,但 MSI 和 WB 对钙化的显示能力较弱,这可能与虚拟图像算法的识别误差有关^[15]。Lacroix 等^[16]研究发现门脉期 VNC 对肝病灶的显示能力强于 TNC,这可能与研究对象、肿瘤类型的不同有关,其乏血供肝肿瘤占比达 73%。本研究以儿童富血供肿瘤为主,肿瘤内的碘成分在虚拟图像重建过程中未能完全分离,其对比度弱于乏血供肿瘤。另外,本研究结果显示虽然能谱扫描的辐射剂量低于常规扫描,但 MSI 图与 TNC 图之间的主观评分无明显差异,这之前的大多数研究结论相一致^[5-6,9,15-16]。采用 VNC 的三期扫描方案替代 TNC 的四期扫描方案,辐射剂量可降低约 22%。

本研究存在以下局限性:病例数较少,未能进一步

表 2 2 位医师对三组图像质量的主观评分 (例)

序列	观察者 1					观察者 2					Kappa 值	平均分
	1 分	2 分	3 分	4 分	5 分	1 分	2 分	3 分	4 分	5 分		
TNC	0	0	2	13	15	0	0	2	12	16	0.820	4.45±0.60
MSI	0	0	3	13	14	0	0	1	15	14	0.763	4.40±0.59
WB	0	0	6	21	3	0	0	5	22	3	0.774	3.91±0.50

研究强化模式、供血方式与 VNC 之间的相关性,同时缺乏动脉期和实质期 VNC 数据,未来需增加各型肝肿瘤的病例数行进一步分析,同时结合能谱曲线、碘基图、原子序数等多参数能谱 CT 数据进行儿童肝肿瘤的综合研究。

综上所述,儿童肝肿瘤门脉期能谱 CT 的 VNC 与 TNC 具有较高的匹配度,其中 MSI 还可提供反映物质 X 线衰减特性的 CT 值,可以替代 TNC,以减少患儿扫描期相从而降低辐射剂量。

参考文献:

- [1] von Schweinitz D. Management of liver tumors in childhood[J]. *Semin Pediatr Surg*, 2005, 15(1): 17-24.
- [2] Yuan XJ, Wang HM, Jiang H, et al. Multidisciplinary effort in treating children with hepatoblastoma in China[J]. *Cancer Lett*, 2016, 375(1): 39-46.
- [3] Pearce MS, Salotti JA, Little MP, et al. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study [J]. *Lancet*, 2012, 380(9840): 499-505.
- [4] 柴亚如, 高剑波, 邢静静, 等. 能谱 CT 虚拟平扫压碘图像在胃癌检出与显示中的可行性探讨[J]. *中华医学杂志*, 2016, 96(5): 329-333.
- [5] 武卫杰, 岳松伟, 王会霞, 等. 能谱 CT 虚拟平扫评估肺纯磨玻璃结节的可行性研究[J]. *放射学实践*, 2020, 35(3): 346-351.
- [6] 林禹, 张潇潇, 张有彬, 等. 双层探测器光谱 CT 虚拟平扫应用于肝脏三期增强扫描[J]. *中国医学影像技术*, 2020, 36(S1): 29-33.
- [7] European Association for the Study of the Liver. EASL clinical practice guidelines: management of hepatocellular carcinoma[J]. *J Hepatol*, 2018, 69(1): 182-236.
- [8] Katherine SC, Andrew MM, Lauren MB, et al. Validation of the

liver imaging reporting and data system treatment response criteria after thermal ablation for hepatocellular carcinoma[J]. *Liver Transpl*, 2020, 26(2): 203-214.

- [9] 朱小倩, 陈晨, 魏晓磊, 等. 光谱 CT 虚拟平扫在肝脏及肾上腺 CT 衰减一致性研究[J]. *临床放射学杂志*, 2021, 40(2): 354-358.
- [10] 王偈幢. 双源 CT 双能量虚拟平扫在原发性肝癌的应用[J]. *中国 CT 和 MRI 杂志*, 2021, 19(1): 104-106.
- [11] Giuseppe C, Peter S, Usman M, et al. Dual energy computed tomography analysis in cancer patients; what factors affect iodine concentration in contrast enhanced studies? [J]. *Eur J Radiol*, 2019, 120(11): 108698.
- [12] Yamauchi H, Buehler M, Goodsitt MM, et al. Dual-energy CT-based differentiation of benign posttreatment changes from primary or recurrent malignancy of the head and neck: comparison of spectral hounsfield units at 40 and 70keV and iodine concentration[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2016, 206(3): 580-587.
- [13] Meyer M, Nelson RC, Vernuccio F, et al. Virtual unenhanced images at dual-energy CT: influence on renal lesion characterization [J]. *Radiology*, 2019, 291(2): 381-390.
- [14] 刘东权, 应碧伟, 李强. 能谱 CT 虚拟平扫在肾脏占位病变的应用探索[J]. *临床放射学杂志*, 2017, 36(12): 1831-1834.
- [15] Takahashi N, Hartman RP, Vrtiska TJ, et al. Dual-energy CT iodine-subtraction virtual unenhanced technique to detect urinary stones in an iodine-filled collecting system: a phantom study[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2008, 190(5): 1169-1173.
- [16] Lacroix M, Mulé S, Herin E, et al. Virtual unenhanced imaging of the liver derived from 160mm rapid-switching dual-energy CT (rsDECT): comparison of the accuracy of attenuation values and solid liver lesion conspicuity with native unenhanced images[J]. *Eur J Radiol*, 2020, 133(12): 109387.

(收稿日期: 2021-08-16 修回日期: 2021-12-14)