

## • 肿瘤介入 Tumor intervention •

## 宝石 CT 能谱成像在肝癌经皮肝动脉化疗栓塞术后疗效评估及随访中的应用价值

何川东, 周莹, 黄丹, 王忠, 林华, 王东, 王晋秋, 廖丽萍, 刘启榆

**【摘要】目的** 评价宝石 CT 能谱成像(GSI)对肝癌 TACE 术后疗效评估及随访中的应用价值。**方法** 选取 2013 年 2 月至 2014 年 10 月经病理证实为肝癌经 TACE 术后患者 30 例进行回顾性分析。所有 30 例患者 TACE 术后 1~3 个月分别行宝石 CT 能谱扫描及 DSA 复查,两者平均间隔时间 2~4 d。一次 CT 扫描得出混合能量(QC 图)及能谱(Mono)图像,图像后处理采用 ADW4.6 工作站和 GSI-viewer 软件。采用 2 种方法观察,A 法观察 QC 平扫、动脉期及门静脉期;B 法观察最佳单能量、碘/水(iodine/water)基物质图及能谱特征。由 2 名从事腹部影像工作经验丰富的副主任医师分别对图像在后处理工作站上进行独立评价,结果与 DSA 对照,计算 A、B 2 种方法的敏感性、特异性等指标,采用  $\chi^2$  检验比较 2 种方法的诊断能力。**结果** 30 例 TACE 术后复查患者共检出 154 个病灶,DSA 明确其中 100 个病灶有强化,54 个病灶无强化。A 法灵敏度为 72.0%(72/100),特异度为 77.8%(42/54);B 法灵敏度为 97.0%(97/100),特异度为 94.4%(51/54),两者灵敏度及特异度差异均有统计学意义( $\chi^2=23.04$ ,  $\chi^2=7.11$ ,  $P<0.05$ )。A 法与 DSA 一致性中等( $\kappa=0.47$ ,  $P<0.01$ ),B 法与 DSA 一致性良好( $\kappa=0.91$ ,  $P<0.01$ )。**结论** 与常规 CT 相比,在不增加辐射剂量的前提下,GSI 能明显提高小病灶及多发病灶的检出率;GSI 根据能谱分析图的不同特征,反映肿瘤的同源性,客观地提示某一病灶是否为复发或转移灶,有效地鉴别肝脏乏血性肿瘤与其他病变,在肝癌 TACE 术后疗效评估及随访中更加准确。

**【关键词】** 宝石能谱 CT; 原发性肝癌; TACE; DSA; 疗效评估

中图分类号:R735.7 文献标志码:A 文章编号:1008-794X(2016)-01-0034-06

Clinical application of CT gemstone spectral imaging in assessing therapeutic efficacy of transcatheter arterial chemoembolization for hepatocellular carcinoma HE Chuan-dong, ZHOU Ying, HUANG Dan, WANG Zhong, LIN Hua, WANG Dong, WANG Jin-qiu, LIAO Li-ping, LIU Qi-yu. Department of Radiology, Mianyang Municipal Central Hospital, Mianyang, Sichuan Province 621000, China

Corresponding author: LIU Qi-yu, E-mail: hecd738@163.com

**【Abstract】Objective** To discuss the clinical application of CT gemstone spectral imaging (GSI) in assessing therapeutic efficacy and in follow-up evaluation of hepatocellular carcinoma (HCC) after transcatheter arterial chemoembolization (TACE) treatment. **Methods** The clinical data of 30 patients with pathologically-proved HCC, who were encountered during the period from Feb. 2013 to Oct. 2014, were retrospectively analyzed. One to 3 months after TACE, CT GSI and DSA were performed in all patients; the average interval between the two examinations was 2~4 days. The mixed energy (QC) and energy spectrum (Mono) images were obtained by single CT scanning; ADW4.6 workstation and GSI-view software were used to make post-processing of images. The following two methods were adopted to make observation: (a) QC plain scan, the arterial phase and portal venous phase were used to make observation; (b) to observe the optimal single energy, iodine/water basis material image and spectrum characteristics. Two experienced assistant chief-physicians who engaged in abdominal imaging diagnosis separately and independently made the evaluation of

DOI: 10.3969/j.issn.1008-794X.2016.01.008

基金项目: 绵阳市科技应用技术与开发课题项目(14S-02-2)

作者单位: 621000 四川 绵阳市中心医院放射科(黄丹为四川医科大学在读硕士研究生)

通信作者: 刘启榆 E-mail: hecd738@163.com

the images on the post-processing workstation. The results were compared with DSA findings, and the sensitivity, specificity and other indicators of the two methods were calculated. The diagnostic abilities of the two methods were compared using Chi-square test. Results After TACE, reexamination detected 154 lesions in the 30 patients, among which DSA showed enhancement in 100 lesions and non-enhancement in 54 lesions. The sensitivity and specificity of (a) method were 72% (72/100) and 77.8% (42/54) respectively, while the sensitivity and specificity of (b) method were 97% (97/100) and 94.4% (51/54) respectively; the differences in the sensitivity and specificity between the two methods were statistically significant ( $\chi^2=23.04$  and  $\chi^2=7.11$  respectively,  $P<0.05$ ). The coincidence rate of (a) method with DSA was medium (47.0%,  $K=0.47$ ,  $P<0.01$ ), while the coincidence rate of (b) method with DSA was good (91.0%,  $K=0.91$ ,  $P<0.01$ ). Conclusion Compared with conventional CT scan, GSI scan can significantly improve the detection rate of small and multiple lesions without increasing the radiation dose. Based on the different characteristics of the energy spectrum images, GSI can reflect the homology of the tumors, objectively indicate whether a lesion is a recurrence or a metastasis, and effectively differentiate the liver tumor that is lack of blood supply from other diseases, thus, more accurate evaluation of TACE efficacy can be made. (J Intervent Radiol, 2016, 25: 34-39)

【Key words】 gemstone spectral CT imaging; primary hepatocellular carcinoma; transcatheter arterial chemoembolization; DSA; efficacy evaluation

肝细胞癌(hepatocellular cancer, HCC)发病率在全球呈逐年上升趋势<sup>[1]</sup>,在我国,其发病率及死亡率均居世界之首<sup>[2]</sup>。HCC 就诊时手术切除率只有 20%~30%;复发率高达 60%~70%<sup>[3]</sup>。HCC 非外科手术治疗众多,而经皮肝动脉化疗栓塞术(TACE)是目前最常用的首选疗法<sup>[4]</sup>。TACE 的疗效与碘油沉积程度及其血供有密切关系,多数治疗后仍有残存瘤体。由于侧支循环的建立,HCC 复发、转移很常见,绝大多数需多次重复治疗。因此,及时准确地评估肝癌 TACE 疗效,早期发现残存活性灶和复发、转移灶至关重要。

肝癌 TACE 术后疗效的判定及随访的常规影像学检查 DSA,是发现存活肿瘤的金标准<sup>[5]</sup>。但是,DSA 有创,TACE 术后监测单纯依靠反复的 DSA 检查并不现实。目前仍然缺乏一种简单、无创、有效及可重复率高的影像学方法对 TACE 术后的患者进行疗效评估和随访观察。

宝石能谱 CT 成像(gemstone spectral imaging, GSI)对肿瘤病灶的能谱特征进行综合分析,已成为影像学及临床肿瘤学研究的热门课题。作为一种新的影像学检查手法,它通过球管高低电压(80/140 kVp)的瞬时切换技术,可生成 40~140 keV 的 101 个单能量图像,实现高清成像和物质分离。通过对原始数据的处理,获得多种能谱图像,从而实现物质的定性、定量分析,大大提高了诊断的准确性和安全性<sup>[6]</sup>。我科将 GSI 应用于肝癌 TACE 术后复查,旨在讨论 GSI 对肝癌 TACE 术后疗效评估及随访中的

应用价值。

## 1 材料与方法

### 1.1 临床资料

连续纳入 2013 年 2 月—2014 年 10 月于我院诊治的 HCC 并拟行 TACE 手术的患者 30 例,其中男 19 例,女 11 例,年龄 36~72 岁,平均 57.2 岁。排除患有严重心血管、呼吸系统疾病、肾功能不良、对比剂过敏及具有动脉穿刺禁忌者。行 TACE 术参照原发性肝癌诊疗规范(2011 版)标准。所有患者研究方案通过伦理委员会的审查、批准,并在患者行 TACE 术及 GSI 扫描前签署知情同意书。随访和治疗间隔参照原发性肝癌诊疗规范(2011 版)。30 例患者均接受 TACE 术 1~3 次,术前 2~4 d 行 GSI 扫描。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 图像获取

1.2.1.1 宝石能谱 CT 双期扫描:使用能谱 CT 扫描仪(GE Discovery 750 HDCT)进行平扫及宝石能谱成像。检查前日晚餐后禁食、检查当日清晨空腹,检查前饮水 800~1 000 ml 充盈胃,以利于辨认器官间的毗邻关系,避免与腹部肿块相混淆。扫描范围自膈顶至双肾下极。在获取前后位定位像之后,先行腹部平扫。经肘静脉泵注非离子型对比剂碘海醇(350) 80 ml,速率 2.9 ml/s,体弱者以公斤体重计算,相应降低流速及对比剂总量。注射启动后 35 s 行动脉期扫描,70 s 行门静脉期扫描。然后采用 GSI 模式进行双期增强扫描,得到动、门脉双期的 QC 图像及带

能谱信息的能谱图像。扫描参数:电压:80/140 kVp 0.5 ms 瞬时切换, mA 自动录入,螺距:1.375:1,准直宽度 40 mm,层厚 5 mm,重建层厚 1.25 mm,0.625 mm。

**1.2.1.2 肝脏 DSA 造影:**采用 Seldinger 技术经股动脉穿刺,将导管置于腹腔干或肝总动脉、肠系膜上动脉造影。造影图像采集包括动脉期、实质期、静脉期图像。明确肿瘤部位、大小、数目及供血动脉后,以微导管超选择插管至肝左、右动脉及供血动脉,分别给予灌注化疗及碘化油乳剂栓塞。判断肿瘤残存活性灶或复发、转移时,均以 DSA 出现供血动脉增粗、肿瘤血管丰富和肿瘤染色、碘油沉积作为标准。

**1.2.2 图像处理** 一次 CT 扫描得出混合能量(QC 图)及能谱图像。图像后处理采用 AW4.6 工作站和 GSI-viewer 软件。重建出 40~140 keV 共 101 个单能量图像、碘(水)基物质对图像及能谱分析图像(能谱曲线、散点图等)、QC 图像。利用最佳对比噪声比(carrier noise ratio, CNR)技术,从 101 个单能量图像中挑选出病灶与其邻近正常肝组织形成最佳 CNR 的单能量图像。感兴趣区(ROI)的放置尽量避开碘油沉积浓密区及放射状伪影区域。在常规混合能量、最佳单能量及碘基图上分别选择正常肝组织、病灶中心层面最大径上均匀放置大小一致的 ROI,测量病灶的 CT 值、碘基值,并做能谱分析图(曲线图、散点图),观察能谱图的特征(包括曲线斜率及分布特点)。

**1.2.3 图像评价** 由 2 名从事腹部影像工作经验丰富且对本研究内容不知情的放射科副主任医师独立地对得到的图像在后处理工作站上采用 A、B 2 种方法评价肿瘤血供、有无残存活性病灶、有无复发及转移病灶,并与 DSA 对照。A 法观察 QC 图的平扫、动脉期及门静脉期(相当于常规 CT);B 法观察能谱图像的最佳单能量图、碘/水(iodine/water)基物质图及能谱特征。比较 A、B 2 种方法与 DSA 检出病灶的一致性。结果不一致时,由第 3 名主任医师观察原始图像及重组图像,最后得出一致结论。

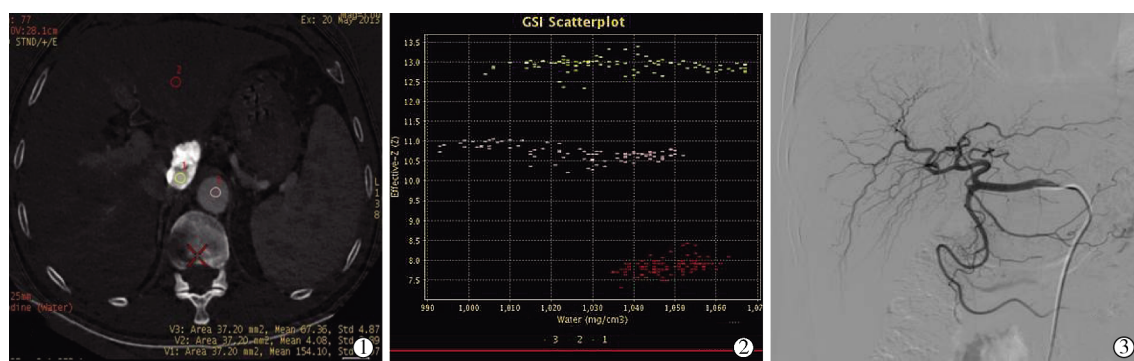
### 1.3 统计分析

使用 SPSS 17.0 软件及相应统计检验方法,以 DSA 结果为金标准,分别计算 A、B 2 种方法的灵敏度、特异度、阳性预测值、阴性预测值及诊断符合率,采用  $\chi^2$  检验比较 2 种方法诊断能力的差异, Kappa 检验评价 2 种方法与 DSA 的一致性,  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 DSA 结果

30 例 TACE 术后复查患者中, HCC 单发者为 6 例, 多发者为 24 例, 共检出 154 个病灶, 直径 1.1~14.4 cm(边界不清者融合呈块状算 1 个病灶), 其中 100 个病灶 DSA 显示有明显肿瘤血管或(和)染色, 54 个病灶仅有碘油沉积, 而未见明显肿瘤染色或肿瘤血管(图 1)。



①碘(水)图,病灶后份碘油沉积缺损区碘基值( $154.10 \pm 8.07$ )明显高于正常肝实质及主动脉碘基值( $67.36 \pm 4.87$ );②离散图,缺损区(黄色)与肝实质(红色)、主动脉(橘色)碘基值离散明显,提示未见肿瘤残存;③DSA 未见肿瘤血管及染色

图 1 尾状叶肝癌 TACE 术后未见肿瘤残存

### 2.2 两种方法的诊断结果

A 法共检出 84 个病灶有强化, 正确诊断其中 72 个病灶, 误将 12 个无血供病灶判断为有强化, 漏诊 28 个乏血供病灶。22 个病灶由于碘油干扰及肝硬化背景等原因判断为等密度, 18 个误诊为囊肿。以 DSA 为金标准, 灵敏度为 72.0%(72/100), 特异度

为 77.8%(42/54), 阳性预测值为 85.7%(72/84), 阴性预测值为 60.0%(42/70), 诊断符合率为 74.0%(114/154)(表 1)。

B 法共检出 100 个病灶有强化(图 2), 正确诊断其中 97 个病灶(图 3), 将 3 个 DSA 无强化病灶误诊为有强化, 漏诊 3 个有血供病灶。其中错误判



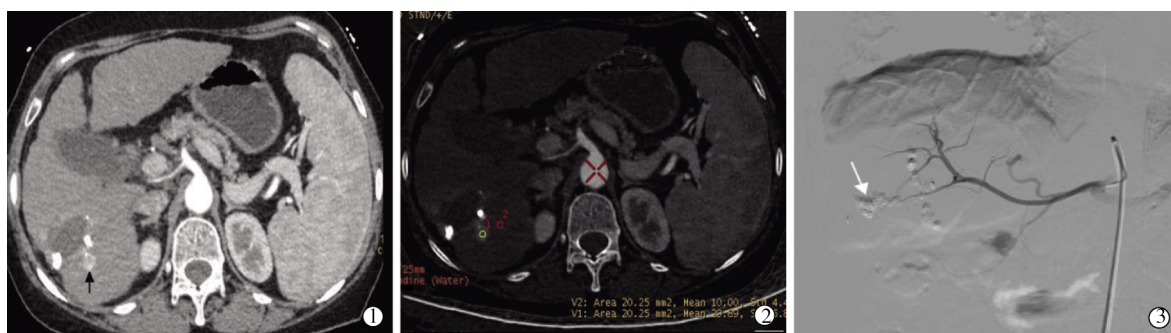
表 1 肝癌 TACE 术后 A 法、B 法与 DSA 检出病灶结果(个)

DSA	A		B		合计
	有强化	无强化	有强化	无强化	
异常染色或肿瘤血管	72	28	97	3	100
仅有碘油沉积	12	42	3	51	54
合计	84	70	100	54	154

断为有强化 3 个病灶均位于碘油沉积周围,6 个漏诊病灶碘(水)基物质图无强化、呈低密度,误诊为

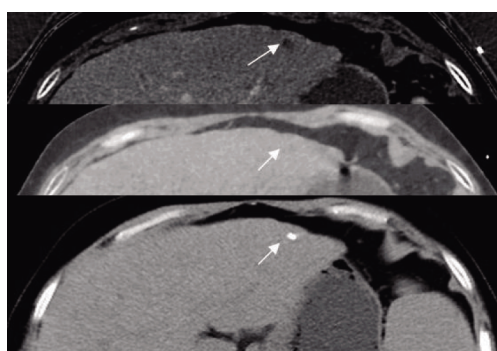
囊肿。以 DSA 为金标准,敏感度为 97.0%(97/100),特异性为 94.4%(51/54),阳性预测值为 97.0%(97/100),阴性预测值为 94.4%(51/54),诊断符合率为 96.1%(148/154)。

B 法 CNR 曲线发现显示病灶的最佳单能图像在 60~70 KeV 区间(图 4)。检出病灶与原发病灶能谱曲线图斜率一致,基本重叠(图 5)。



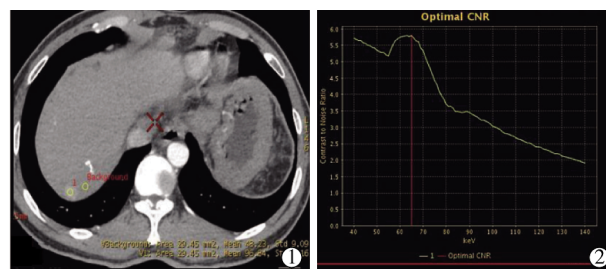
①67 KeV 肿块边缘残存灶明显放大、凸显(黑箭);②残存灶碘基值( $29.89 \pm 5.83$ )明显高于正常肝实质碘基值( $10.00 \pm 4.45$ ),提示病灶有明显对比剂进入、强化;③DSA 证实残存灶明显染色(白箭)

图 2 肝右叶肝癌 TACE 术后残存



注:上图为术前碘(水)图,呈低密度,中图为水(碘)图,呈等密度,QC 诊断为囊肿,GSF 诊断为转移;下图为术后平扫,结节内明显碘油沉积

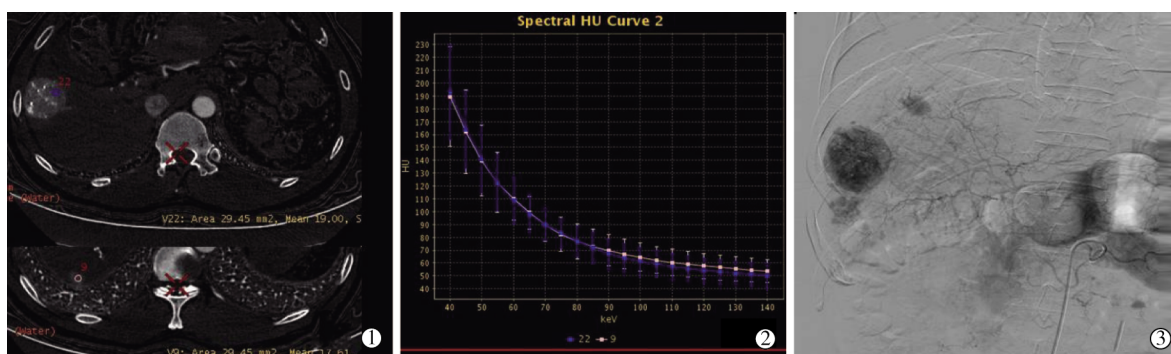
图 3 肝癌 TACE 术后肝左叶外段包膜下转移结节(箭头)



①分别在转移灶与正常肝实质放置均匀大小一致的 ROI;②CNR 曲线 肝右叶转移灶最佳单能量在 60~70 区间

图 4 肝癌 TACE 术后肝右叶转移

两种方法灵敏度差异有显著统计学意义( $\chi^2=23.04, P<0.01$ ),特异性差异有统计学意义( $\chi^2=7.11, P<0.05$ );A 法与 DSA 一致性中等( $\kappa=0.47, P<0.01$ ),B 法与 DSA 一致性良好( $\kappa=0.91, P<0.01$ )。



①分别在肝癌原发病灶与肝右叶病灶放置均匀一致 ROI;②ROI 病灶能谱曲线基本一致、重叠,提示两者性质相同;③DSA 证实肝内多发肿瘤染色病灶

图 5 肝癌 TACE 术后肝内转移

### 3 讨论

#### 3.1 肝癌 TACE 术后疗效评价的现状

DSA 是评价 TACE 疗效最灵敏和特异的方法<sup>[5]</sup>,能准确地显示 TACE 治疗后残存活性灶的肿瘤血管、染色、动静脉瘘以及侧支循环等情况,并能据此进行相应的治疗,一直被认为是发现存活肿瘤的金标准。但是,DSA 为有创操作,TACE 术后监测单纯依靠反复的 DSA 检查并不现实。目前临床上对肝癌 TACE 术后疗效评估及随访的影像学手段较多,但主要是 CT、MRI。MRI 不受碘油沉积的影响,文献报道其灵敏度、特异度和准确性优于 CT 和超声<sup>[7]</sup>,但禁忌证多,扫描时间长,且由于肿瘤存活区与坏死区 DWI 信号有一定重叠,对少量肿瘤残存及少血供病灶也会造成判断困难。MSCT 可较好显示肝癌强化血管及血供情况,是作为肝癌 TACE 术后影像学复查的首选方法<sup>[8]</sup>。但是,常规 CT 是混合能量,会产生线束硬化伪影,导致物质 CT 值的“漂移”,加上 TACE 术后血流动力学的变化、碘油沉积不均匀、碘油沉积周围的放射状伪影,病灶细胞分化程度、动脉供血不丰富或存在动静脉双重供血、肝硬化背景等诸多因素的影响,导致病变与周围组织间对比度差,部分患者在常规 CT 平扫或增强扫描时可呈等密度或强化不典型,削弱了常规 CT 评价残存肿瘤组织的能力,增加了 CT 判断疗效的困难。另外,由于坏死肿瘤组织缺乏血供或肿瘤区动脉栓塞治疗后发生凝固性坏死,以上区域均可出现碘油沉积缺失,碘油缺损区并不一定意味着肿瘤残存或复发。常规 CT 对乏血供及小病灶检出率低,漏诊的情况并不少见<sup>[9]</sup>。本研究对混合能量 CT(相当于常规 CT)图像的评价过程中,虽然 ROI 的放置尽量避开碘油沉积浓密区及放射状伪影,但仍有 12 例患者因为碘油沉积等原因而误诊为强化,漏诊 28 个乏血供病灶;22 个病灶由于碘油干扰及肝硬化背景等原因判断为等密度,18 个误诊为囊肿。

#### 3.2 GSI 在肝癌 TACE 术后的疗效评价及随访中的优势和价值

GSI 应用具有较高纯度和较高通透性的全新探测器材,实现了双 kVp 的瞬时切换及单能量 CT 成像,其密度分辨率和空间分辨率是目前最高的,为疾病的准确定性、明确定位、快速诊断和及时制订治疗方案提供更为可靠的信息,较常规 CT 成像有着显著的优势和突破<sup>[10]</sup>。

##### 3.2.1 优化图像质量和对比噪声比 GSI 通过优化图像质量和选择最佳单能量图像,有利于消除常规

CT 产生的线束硬化伪影和避免平均衰减效应,提高图像对比噪声<sup>[11]</sup>,对提高主观判断图像质量有意义。

#### 3.2.2 定量分析

传统影像学方法主要观察肿瘤的形态学及 CT 值的变化,但是肿瘤大小变化多发生于化疗栓塞后 3~6 个月<sup>[12]</sup>。GSI 碘基图像可直接测定碘含量及均一化的碘含量,从而间接反映不同病变及不同病变进展阶段的血供情况。有研究结果显示,含碘对比剂溶液不同浓度碘含量的测量值与真实值之间有显著相关性,碘含量测量值与真实值的差异无统计学意义<sup>[13-14]</sup>。

#### 3.2.3 乏血供及小病灶的检出

GSI 能根据不同物质在不同单光子能量下的吸收系数不同,产生各自不同的特征性吸收曲线,从而实现对物质的分离和鉴别,即:不同物质的能谱曲线在不同的 KeV 水平的分离度不同,碘的能谱曲线上,随着单能 KeV 的减小,含碘的肝动脉及肝实质的 CT 值差增大,从而提高病变与正常肝组织间的对比度以及组织间的对比度,有放大、突显作用;GSI 能够提高乏血供和小病灶及多发病灶的检出率,提高诊断准确性,避免病灶遗漏<sup>[15]</sup>。本组资料最佳单能图像在 60~70 KeV 区间,与文献报道一致<sup>[15]</sup>。GSI 检出病灶的数量多于混合能量图像,分别为 97 个和 72 个,与 DSA 的一致性良好。本研究中 GSI 检查组的灵敏度、特异度均明显高于 QC 组。3 个 GSI 强化病灶位于肿瘤病灶及碘油沉积区域周围,而 DSA 为阴性,其形态呈非结节及肿块型,碘基值及曲线斜率位于肿瘤强化病灶和正常肝实质之间,考虑与肝癌 TACE 术后反应性肉芽组织或(和)碘油沉积有关。本研究 GSI 组 3 例患者病灶最佳单能量及碘定量测量无强化,水(碘)图为低密度,漏诊为囊肿,而术后可见碘油沉积,提示病灶术前为无/少血供转移瘤。另外 GSI 还可通过分析病灶与原发病灶能谱特征的相似性,客观地为病变的性质和起源提供指导性意见<sup>[16]</sup>,帮助鉴别诊断。在本研究中发现大部分检出病灶与原发病灶的能谱曲线图及散点图特征基本一致,提示肿瘤的同源性。少数不一致的原因可能是由于肿瘤液化坏死,残存肿瘤细胞少,ROI 内大部分为液化坏死灶,而非肿瘤细胞所导致。

综上,肝癌 TACE 术后形态学变化通常晚于血流变化,所以形态学评价并不能满足疗效评价的要求。与传统 CT 值相比,GSI 的 CT 值与碘浓度有更高的相关性,表明 GSI 的 CT 值误差更小、更准确,更能反映真实的碘浓度。GSI 的碘基图像及水基图像可以对物质密度进行定量测定,较传统 CT 值测



量对物质成分的评价更为准确、更具说服力。并能通过对局部组织碘聚集量的测定和对比治疗前后病灶内碘含量的变化,间接反映组织器官的血流灌注及病灶血流动力学变化,较常规 CT 更灵敏,能检出更多的小病灶。GSI 还能通过对可疑病灶与原发灶能谱分析图特征的对比,更客观地判断和鉴别是否为残留、复发或转移灶,较常规 CT 更准确。

### 3.3 GSI 在肝癌 TACE 术后疗效评估及随访应用中的不足

虽然 GSI 具有伪影消除技术(metal artifacts reduction system, MARS), 本研究对病灶 ROI 的选择也尽量避开碘油沉积浓密区及放射状伪影,但仍有部分病灶由于碘油沉积的影响而误诊、漏诊;少许无血供病灶碘(水)图呈低密度误诊为囊肿;ROI 的大小、放置的部位由于个人主观因素导致能谱曲线斜率变化大。因此,还需要大量的临床研究和不断优化 GSI 相关技术。

GSI 可以多参数成像,它突破常规 CT 仅靠形态学和 CT 值单参数成像诊断模式,将 CT 从形态学带入功能学领域,可以更准确判断肝癌 TACE 术后疗效及早期发现残存活灶、复发灶、转移灶,是肝癌 TACE 术后复查和随访的一种简单、无创、更高效的影像学检查方法,为肝癌 TACE 术后早期进一步的治疗提供更可靠的影像学依据,从而有利于帮助提高患者的治愈率、生存率。

### [参考文献]

- [1] Song do S, Bae SH. Changes of guidelines diagnosing hepatocellular carcinoma during the last ten-year period[J]. Clin Mol Hepatol, 2012, 18: 258-267.
- [2] 史中兴. 肝癌影像诊断进展[J]. 实用放射学杂志, 2011, 27: 784-787.
- [3] Llovet JM, Bruix J. Novel advancements in the management of hepatocellular carcinoma in 2008[J]. J Hepatol, 2008, 48: S20-S37.
- [4] Zangos S, Gille T, Eichler K, et al. Transarterial chemoembolization in hepatocellular carcinomas: technique, indications, results[J]. Radiology, 2001, 41: 906-914.
- [5] Zheng XH, Guan YS, Zhou XP, et al. Detection of hypervascular hepatocellular carcinoma: comparison of multi-detector CT with digital subtraction angiography and Lipiodol CT [J]. World J Gastroenterol, 2005, 11: 200-203.
- [6] Zhao LQ, He W, Li JY, et al. Improving image quality in portal venography with spectral CT imaging[J]. Eur J Radiol, 2012, 81: 1677-1681.
- [7] Kubota K, Yamanishi T, Itoh S, et al. Role of diffusion-weighted imaging in evaluating therapeutic efficacy after transcatheter arterial chemoembolization for hepatocellular carcinoma[J]. Oncol Rep, 2010, 24: 727-732.
- [8] 庄广义, 任伟新, 迪里木拉提·巴吾冬, 等. 原发性肝癌 TACE 术后 CT 和 DSA 随访对比分析[J]. 介入放射学杂志, 2009, 18: 942-945.
- [9] Haider MA, Amitai MM, Rappaport DC, et al. Multi-detector row helical CT in preoperative assessment of small ( $\leq 1.5$  cm) liver metastases: Is thinner collimation better? [J]. Radiology, 2002, 225: 137-142.
- [10] L P, Lin XZ, Li J, et al. Differentiation of small hepatic hemangioma from small hepatocellular carcinoma: recently introduced spectral CT method[J]. Radiology, 2011, 259: 720-729.
- [11] Matsumoto K, Jinzaki M, Tanami Y, et al. Virtual monochromatic spectral imaging with fast kilovoltage switching: improved image quality as compared with that obtained with conventional 120-kVp CT[J]. Radiology, 2011, 259: 257-262.
- [12] Mendez-Romero A, Verheij J, Dwarkasing RS, et al. Comparison of macroscopic pathology measurements with magnetic resonance imaging and assessment of microscopic pathology extension for colorectal liver metastases[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2012, 82: 159-166.
- [13] Graser A, Johnson TR, Hecht EM, et al. Dual-energy CT in patients suspected of having renal masses: can virtual nonenhanced images replace true nonenhanced images? [J]. Radiology, 2009, 252: 433-440.
- [14] Zhang D, Li X, Liu B. Objective characterization of GE discovery CT750 HD scanner: gemstone spectral imaging mode[J]. Med Phys, 2011, 38: 1178-1188.
- [15] 叶晓华, 周 诚, 吴国庚, 等. CT 能谱单能量成像对不同肝脏肿瘤检出影响的初步探讨[J]. 中华放射学杂志, 2011, 45: 718-722.
- [16] 林晓珠, 沈 云, 陈克敏. CT 能谱成像的基本原理与临床应用研究进展[J]. 中华放射学杂志, 2011, 45: 798-800.

(收稿日期:2015-05-05)

(本文编辑:俞瑞纲)