

## ·非血管介入 Non-vascular intervention·

## 迭代重建技术结合低剂量扫描在 CT 引导肝癌微波消融术中的运用

袁 回, 李 达, 徐瑞瑞, 张 岩

**【摘要】 目的** 分析混合迭代重建技术(iDose<sup>4</sup>)在 CT 引导微波消融(MWA)治疗肝癌中对图像质量和患者的辐射剂量的影响。**方法** 随机收集 205 例 CT 引导下 MWA 手术患者,根据重建方式和毫安值的不同分为 3 组:对照组 84 例(标准重建+200 mAs)、iDose<sup>4</sup> 组 59 例(iDose<sup>4</sup>+200 mAs)和低剂量组 62 例(iDose<sup>4</sup>+140 mAs),分别记录每例术中进针前、消融前针到位、拔针后 3 个序列 CT 图像的客观参数,包括:噪声,用图像的标准差(SD)表示,信噪比(signal to noise ratio,SNR)、对比噪声比(contrast to noise ratio,CNR),整体图像质量的主观评价。并记录以上 3 个序列每例患者的容积 CT 剂量指数(CT dose index volume,CTDIvol),总剂量长度乘积(dose-length product,DLP),总有效辐射剂量(effective dose,ED)。**结果** 与对照组对比,iDose<sup>4</sup> 组进针前、针到位、拔针后 3 个序列 CT 图像 SD 显著较低( $P<0.001$ ),SNR、CNR 显著较高( $P<0.001$ ),主观评价也有优势( $P<0.05$ ),CTDIvol,DLP,ED 差异均无统计学意义( $P>0.05$ );低剂量组 CTDIvol,DLP,ED 有明显较低( $P<0.001$ ),针到位序列 CT 图像 SD 较低( $P<0.05$ )、SNR、CNR 较高( $P<0.05$ ),主观评价也存在差异( $P<0.05$ ),其他 2 个序列 CT 图像 SD、SNR、CNR、主观评价的差异无统计学意义( $P>0.05$ )。**结论** iDose<sup>4</sup> 的运用能够在不增加患者辐射剂量的情况下,明显提高肝 MWA 术中 CT 图像的质量。另外,在结合低毫安扫描时,能大幅降低患者辐射剂量的同时,还能相对提高存在有消融针的 CT 图像的质量。

**【关键词】** iDose<sup>4</sup>; 微波消融; CT 引导; 图像质量; 低剂量; 肝癌

中图分类号:R735.7 文献标志码:A 文章编号:1008-794X(2021)-03-0249-05

**Clinical application of iterative reconstruction technique combined with low-dose CT scanning in CT-guided microwave ablation of hepatic carcinomas** YUAN Hui, LI Da, XU Ruirui, ZHANG Yan. Department of Minimally Invasive Intervention, Sun Yat-sen University Cancer Center, National Key Laboratory of Oncology of South China, Guangzhou, Guangdong Province 510060, China

Corresponding author: ZHANG Yan, E-mail: zhangyan@sysucc.org.cn

**【Abstract】 Objective** To discuss the effect of hybrid iterative reconstruction technique(iDose<sup>4</sup>) on image quality and radiation dose during CT-guided microwave ablation(MWA) for hepatic carcinoma. **Methods** A total of 205 patients with hepatic carcinoma, who received CT-guided MWA, were randomly collected. According to the reconstruction method and mA value, the patients were divided into control group ( $n=84$ , using standard reconstruction algorithm and 200 mAs), iDose<sup>4</sup> group( $n=59$ , using iDose<sup>4</sup> and 200 mAs), and low-dose group( $n=62$ , using iDose<sup>4</sup> and 140 mAs). The objective parameters on 3 sequences CT images, including noise(expressed by SD of the image), signal-to-noise ratio(SNR), contrast-to-noise ratio(CNR) and subjective evaluation of overall image quality, were separately measured at the following three points of time: needle insertion, ablation needle into target site and needle removal after MWA. The CT dose index volume(CTDIvol), total dose-length product(DLP), and total effective radiation dose(ED) of each patient of three groups were recorded. **Results** Compared with the control group, the SD values measured on CT images of 3 sequences in iDose<sup>4</sup> group were significantly reduced( $P<0.001$ ), while the SNR and CNR were

DOI:10.3969/j.issn.1008-794X.2021.03.007

基金项目:国家自然科学基金面上项目(81771242)

作者单位:510060 广州 中山大学肿瘤防治中心微创介入科、华南肿瘤学国家重点实验室

通信作者:张 岩 E-mail: zhangyan@sysucc.org.cn

significantly increased ( $P < 0.001$ ). The subjective evaluation of iDose<sup>4</sup> group was superior to that of control group ( $P < 0.05$ ), and there were no significant differences in CTDIvol, DLP and ED between the two groups ( $P > 0.05$ ). In the low-dose group, CTDIvol, DLP and ED were obviously reduced ( $P < 0.001$ ), on the images of ablation needle into target site the CD value was reduced ( $P < 0.05$ ), while SNR and CNR were increased ( $P < 0.05$ ), and the difference in subjective evaluation between the two groups was also statistically significant ( $P < 0.05$ ). No statistically significant differences in SD, SNR and CNR existed between the two groups ( $P > 0.05$ ).

**Conclusion** The use of iDose<sup>4</sup> can remarkably improve the quality of CT images in performing MWA for hepatic carcinoma while with no increasing the radiation dose of patients. In addition, when low-dose scanning is used together, iDose<sup>4</sup> can greatly reduce the patient's radiation dose, while simultaneously improving the quality of CT images containing ablation needles. (J Intervent Radiol, 2021, 30: 249-253)

**【Key words】** iDose<sup>4</sup>; microwave ablation; CT guidance; image quality; low-dose; hepatic carcinoma

肝癌是我国最常见的肿瘤之一,大多数患者确诊时已经失去手术切除的机会,在延长患者生存期的局部治疗中,肝癌的介入治疗尤为重要<sup>[1-2]</sup>。肝癌微波消融(MWA)手术具有创伤小、费用低、术后恢复快、及手术时间短等优势<sup>[3-6]</sup>。在单发小肝癌的治疗中,能够达到与肝切除术治疗相同的效果<sup>[7]</sup>,即便是在大肝癌失去手术切除机会的患者中,也能获得令人满意的局部控制效果<sup>[8]</sup>。由于CT扫描的速度快,对小病灶检出率高,对碘油沉积、气体等显示清晰<sup>[9-10]</sup>,目前CT引导下肝癌MWA手术在临床上应用已经非常成熟<sup>[5]</sup>。但是CT存在电离辐射,在引导肝MWA手术中需要多次扫描,这对于患者所接受的辐射剂量是叠加的<sup>[11-12]</sup>。含有金属成分的MWA针会使CT图像存在较为严重的伪影。探讨迭代重建技术(iDose<sup>4</sup>)结合低毫安值扫描能否提高CT图像质量,减少患者辐射是本文研究的目的。

## 1 材料与方法

### 1.1 一般资料

回顾性分析我院2019年4—8月进行CT引导肝癌MWA治疗的患者205例。根据患者治疗时CT扫描毫安值及图像重建方式的不同,将其分为对照组84例(标准重建+200 mAs)、iDose<sup>4</sup>组59例(iDose<sup>4</sup>+200 mAs)、低剂量组62例(iDose<sup>4</sup>+140 mAs)。

### 1.2 方法

**1.2.1 成像方法** 各组患者均在Philips Brilliance Big Bore CT引导下肝MWA手术,并随机选用维京、长城、亿高3家MWA治疗仪。所有患者均无CT增强扫描,除毫安值及图像重建方式不同外,其他扫描参数完全一致,管电压120 kV,层厚5 mm,层间距5 mm,FOV 350 mm,螺距0.94。对照组、iDose<sup>4</sup>组、低剂量组患者分别采用管电流200 mA和标准

算法、200 mA和iDose<sup>4</sup>算法、140 mA和iDose<sup>4</sup>算法扫描重建CT图像。选取微波针到达肿瘤区域为针到位层面、进针前及拔针后的肿瘤区域图像为进针前层面和拔针后层面。

### 1.2.2 图像评价分析

**1.2.2.1 客观评价** 在飞利浦后处理工作站,采用软组织窗(窗宽60、窗位360)分别对进针前层面、针到位层面、拔针后层面的图像进行测量,测量的兴趣区(ROI)大小为 $(50 \pm 3)$  mm<sup>2</sup>放在同层腹主动脉和背景区域上,并避开血管边缘及伪影区,记录腹主动脉的平均CT值为CT<sub>血管</sub>,标准差SD为SD<sub>血管</sub>,背景区的平均CT值为CT<sub>背景</sub>。图像噪声SD采用腹主动脉SD<sub>血管</sub>,计算信噪比(SNR)和对比噪声比(CNR): $SNR = CT_{血管} / SD_{血管}$   $CNR = (CT_{血管} - CT_{背景}) / SD_{血管}$ 。分别记录对照组、iDose<sup>4</sup>组、低剂量组的SD、SNR、CNR。

**1.2.2.2 主观评价** 由2名主治医师职称及以上介入科医师采用双盲法进行对图像评判,出现分歧请上级医师综合分析并达成共识。考虑到主动脉,下腔静脉,肿瘤区域、正常肝实质及肝脏相邻器官的视觉显着性,以5点李克特量表对整体图像质量进行了评分。5分,图像无任何伪影,噪声少,上述5种组织结构显示非常清晰,能很好地引导手术进行;4分,图像无伪影或少量金属伪影,噪声稍多,以上5种组织结构至少4种显示清晰,能较好地引导手术进行;3分,图像存在金属伪影,噪声多,以上5种组织结构至少3种显示良好,且不影响微波手术进行;2分,图像存在较多金属伪影,噪声多,以上5种组织结构多个显示欠清,但根据多个层面分析,能勉强引导手术进行;1分,图像金属伪影非常严重,以上5种组织结构显示不清楚,不能引导手术进行,需重新扫描。

**1.2.3 辐射剂量分析** 分别收集每例患者进针前、

针到位、拔针后这 3 个序列的 CTDIvol、DLP、ED 及扫描层数, DLP 与 ED 分别表示每例患者 3 个序列 DLP 总和与 ED 总和。有效剂量  $ED=DLP \times K$ ,  $K$  为腹部转换系数, 采用欧洲 CT 质量标准指南腹部平均值为 0.015。分别收集对照组、iDose<sup>4</sup> 组及低剂量组每例患者的 CTDIvol、DLP、ED。

### 1.3 统计分析

运用 SPSS Statistics 17.0 软件对各项数据进行统计学分析, 所有数据用  $k-s$  检验是否为正态分布。除微波针型号、性别采用卡方检验以外, 3 组患者其他数据采用单因素方差分析或者 Kruskal-Wallis 检验比较组间主效应是否显著, 组间比较采用独立样本  $t$  检验或非参数 Mann-Whitney  $U$  检验, 以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 一般情况评估

根据入组和排除标准共收集患者 205 例, 其中男 166 例, 女 39 例; 年龄为 26~84 岁, 平均 (56.3±11.0) 岁, 根据患者治疗时 CT 扫描毫安值及图像重建方式的不同, 将其分为对照组、iDose<sup>4</sup> 组、低剂量组, 分别对 3 组患者的性别、年龄、体重、身高、体质指数 (BMI)、体表面积 (BSA)、扫描层数和微波针型号进行统计学分析, 差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ ) (表 1)。

### 2.2 图像质量的客观指标及主观评分

客观评分中, 与对照组对比, iDose<sup>4</sup> 组术中 3 个序列图像 SD、SNR、CNR 及主观评分的差异均有统计

表 1 3 组患者的基本资料统计学分析

基本资料	对照组	iDose <sup>4</sup> 组	低剂量组	$P$ 值
型号 (维京/长城/亿高)/例	65/18/1	47/6/6	47/11/4	0.089
性别 (男/女)/例	66/18	46/13	54/8	0.338
年龄/岁	55.5±10.09	56.4±11.8	57.3±11.5	0.626
体重/kg	60.93±9.98	63.81±11.04	62.35±10.77	0.459
身高/cm	165.15±7.03	166.10±7.17	166.14±5.89	0.579
BMI/(kg/m <sup>2</sup> )	22.30±3.15	23.05±3.15	22.53±3.34	0.390
BSA/m <sup>2</sup>	1.67±0.15	1.71±0.16	1.69±0.15	0.302
扫描层数	88.15±17.97	85.39±16.85	89.98±15.54	0.326
BSA 体表面积				

学意义 ( $P < 0.05$ ); 低剂量组针到位时图像 SD、SNR、CNR、主观评分的差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ), 进针前、拔针后时图像 SD、SNR、CNR、主观评分的差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ ) (见表 2)。主观评分中, iDose<sup>4</sup> 组的图像质量明显高于对照组 (见图 1)。低剂量组在消融针到位时图像质量优于对照组 (见图 2), 进针前及拔针后时图像质量无明显差异 (见图 3)。

### 2.3 辐射剂量

由于各组均采用固定的毫安秒及千伏值, 对照组与 iDose<sup>4</sup> 组每次扫描的 CTDIvol 均为 11.8, 两组 DLP、ED 差异无明显统计学意义 ( $P > 0.05$ ); 而低剂量组的 CTDIvol 为 8.3, DLP、ED 差异均有统计学意义 ( $P < 0.05$ ) (见表 2)。

## 3 讨论

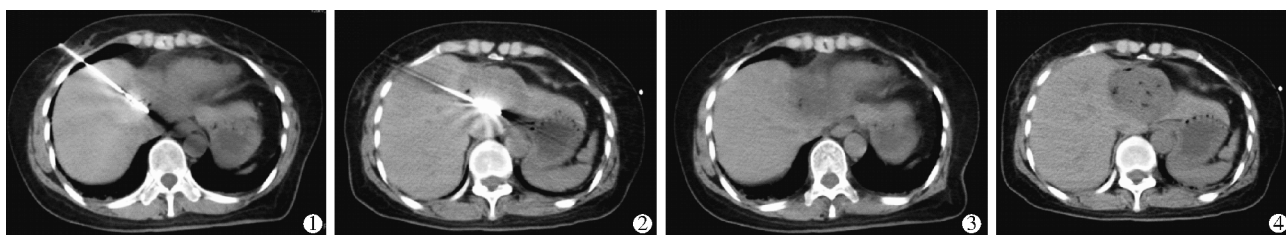
### 3.1 迭代重建技术的发展

由于 CT 技术的更新发展, 在基于迭代重建的基础上, 目前有新一代软件来用于降低图像噪声, 减少图像伪影。有文献指出<sup>[13-14]</sup>IMR (全模型迭代重

表 2 3 组患者图像 SD、SNR、CNR、主观评分及辐射剂量的比较

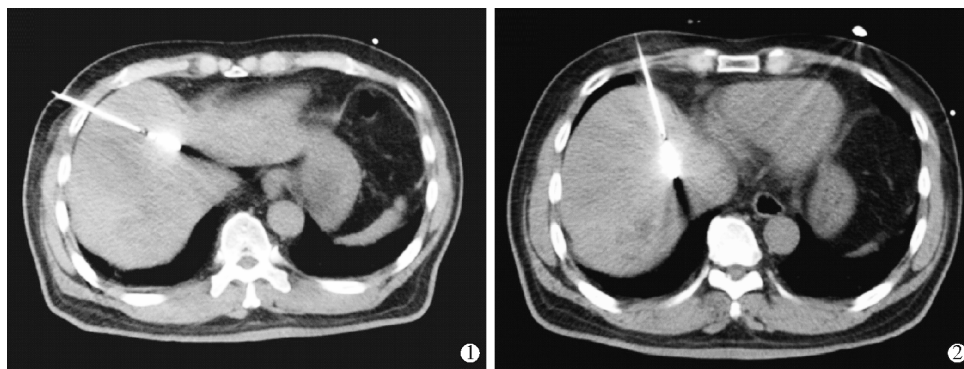
客观评价和主观评价	对照组	iDOSE <sup>4</sup> 组	低剂量组	$P$ 值	
				iDOSE <sup>4</sup> 组比对照组	低剂量组比对照组
进针前					
SD	10.37±2.25	8.37±2.23	9.89±2.35	<0.001	0.191
SNR	4.05±1.12	4.98±1.55	4.23±1.20	<0.001	0.453
CNR	104.52±21.95	132.27±35.48	110.65±26.18	<0.001	0.207
主观评分微波针到位	4.25±0.44	4.47±0.50	4.23±0.46	0.006	0.783
SD	11.7±2.76	8.97±2.32	10.39±2.57	<0.001	0.003
SNR	3.51±1.05	4.42±1.43	3.96±1.17	<0.001	0.027
CNR	93.31±21.96	122.29±29.26	105.72±26.34	<0.001	0.003
主观评分拔针后	2.30±0.46	2.69±0.57	2.55±0.50	<0.001	0.002
SD	10.58±2.57	8.32±2.25	10.10±2.54	<0.001	0.210
SNR	3.78±1.05	4.70±1.60	3.98±1.07	<0.001	0.298
CNR	103.33±24.16	133.45±37.36	108.37±25.48	<0.001	0.204
主观评分辐射剂量	4.18±0.39	4.39±0.49	4.21±0.45	0.005	0.617
CTDIvol (mGy)	11.8	11.8	8.3	—	—
DLP (mGy·cm)	656.3±106.5	640.7±99.2	469.6±64.6	0.376	<0.001
ED (mSv)	9.84±1.60	9.61±1.49	7.04±0.97	0.376	<0.001





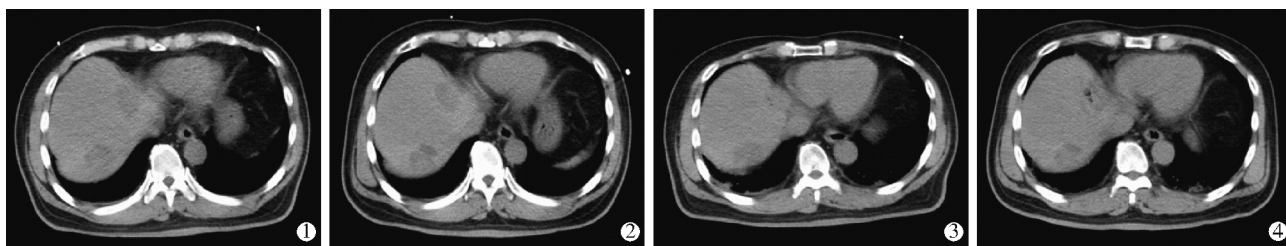
①③分别为 iDose4 组的针到位与拔针后图像,②④分别为对照组微波针到位与拔针后 CT 图像。①③图像更为细腻,金属伪影也相对较轻,整体图像质量要优于②④

图 1 iDose<sup>4</sup> 组与对照组图像质量比较



①为低剂量组微波针到位图像,金属伪影较轻;②为对照组微波针到位图像,整体图像质量较低

图 2 低剂量组与对照组进针到位时图像质量



①③分别为低剂量组的进针前与拔针后的图片,②④分别为对照组进针前与拔针后的图片,各组整体图像质量没有明显的差异

图 3 进针前与拔针后图像质量比较

建)能进一步降低图像噪声,提高图像质量,减少患者的辐射剂量,但 IMR 重建图像存在失真现象。金属伪影去除技术(Orthopedic Metal Artifact Reduction, O-MAR)能更好地去除金属伪影,但 O-MAR 算法在减少金属伪影的同时可能又会引入其它新的伪影。研究显示迭代去金属伪影算法(iterative reconstruction algorithm and dedicated metal artifact reduction, iMAR)能减少 MWA 针的金属伪影,提高含有 MWA 针的图像质量<sup>[15]</sup>。每种新技术的运用都能更好地提高 CT 图像质量,但是随着在临床运用的普及,遇到的问题也需更进一步去归纳、总结及完善。

### 3.2 iDose<sup>4</sup> 重建技术对 CT 引导下肝癌 MWA 术的意义

iDose<sup>4</sup> 重建是一种在投影空间和图像空间均进行重建的方法,在重复迭代的过程中逐渐使图像的噪声数据减少,从而使图像的质量得到提高,是

目前改善图像质量的普遍运用方法<sup>[13,16]</sup>。有文献报道 iDose<sup>4</sup> 在 CT 检查扫描时的运用能有效降低患者的辐射剂量,减少图像噪声,提高图像的质量,包括在胸部、腹部、盆腔、肝脏、鼻窦不同部位及婴幼儿心血管的运用<sup>[13,17-19]</sup>。CT 是肝癌 MWA 术常规引导方式之一,CT 图像质量对肝癌 MWA 术前路线的规划,术中进针的引导,术后效果的评估都非常重要。由于 MWA 针含有金属材质,在术中进针的 CT 扫描图像上存在大量金属伪影<sup>[15]</sup>,另外因为病灶的位置、大小及术者的经验水平的因素,术中 CT 扫描次数又较多,随之患者所受辐射剂量也相应增加。iDose<sup>4</sup> 迭代重建技术结合低毫安值的运用,在保证 CT 图像的质量不下降的前提下,减少了患者所受的辐射剂量。此外在含有金属伪影严重的针到位层面,低剂量组图像的客观指标及主观评分均优于对照组,这与王茹等<sup>[20]</sup>报道的文献 iDose<sup>4</sup> 重建技术借

助了多噪声模型可以抑制条带状伪影的生成,来减少 TACE 术后肝内碘油沉积所致硬化伪影是一致的。

### 3.3 降低 CT 引导肝癌 MWA 患者的辐射剂量

有文献报道可以通过导管鞘辅助穿刺技术来减少穿刺次数,虽然此文献没有报道辐射剂量方面的影响,但穿刺次数的减少可以直接减少 CT 扫描次数,来降低患者的辐射剂量<sup>[9]</sup>。有文献报道在 CT 引导肝 MWA 术中,在病灶有碘油沉积的患者,可以降低毫安值来减少患者的辐射剂量,但此方法会导致图像的分辨率降低,图像的整体质量下降,但运用 iDose<sup>4</sup> 重建技术,能够很好的避免图像质量降低等问题,在无碘油沉积病灶也能正常行低剂量的消融手术<sup>[21]</sup>。

综上所述,iDose<sup>4</sup> 重建技术能够降低图像噪声,提高图像的质量,结合低剂量扫描,能保证 CT 图像质量不下降且能有效降低患者的辐射剂量。尽管有更新一代的 IMR 迭代重建技术,但是作为普遍运用的 iDose<sup>4</sup> 迭代重建技术更加成熟,iDose<sup>4</sup> 结合低剂量扫描在 CT 引导肝 MWA 术中的运用值得推广。

### 参考文献

- [1] Wan YL, Eric CL. Loco-regional intervention for hepatocellular carcinoma[J]. J Intervent Med, 2019, 2: 43-46.
- [2] Inchingolo R, Posa A, Mariappan M, et al. Locoregional treatments for hepatocellular carcinoma: current evidence and future directions[J]. World J Gastroenterol, 2019, 25:4614-4628.
- [3] 刘会永,万象新,符孔,等. CT 引导下经皮微波消融术与腹腔镜手术治疗原发性肝癌的疗效比较[J]. 介入放射学杂志, 2019, 28:991-995.
- [4] Zuo MX, Huang JH. The history of interventional therapy for liver cancer in China[J]. J Intervent Med, 2018, 1:70-76.
- [5] Yin T, Li W, Zhao P, et al. Treatment efficacy of CT-guided percutaneous microwave ablation for primary hepatocellular carcinoma[J]. Clin Radiol, 2017, 72: 136-140.
- [6] Vietti Violi N, Duran R, Guiu B, et al. Efficacy of microwave ablation versus radiofrequency ablation for the treatment of hepatocellular carcinoma in patients with chronic liver disease: a randomised controlled phase 2 trial [J]. Lancet Gastroenterol Hepatol, 2018, 3:317-325.
- [7] Ryu T, Takami Y, Wada Y, et al. Hepatic resection versus operative microwave ablation for single hepatocellular carcinoma  $\leq 5$  cm: a propensity score-matched analysis[J]. Surgery, 2019, 166: 254-262.
- [8] Zhang TQ, Huang ZM, Shen JX, et al. Safety and effectiveness of multi-antenna microwave ablation-oriented combined therapy for large hepatocellular carcinoma[J]. Therap Adv Gastroenterol, 2019, 12:1-14.
- [9] 高峰,黄祥忠,任冬青,等. 导管鞘辅助穿刺技术在 CT 引导微波消融治疗原发性肝癌中的应用[J]. 介入放射学杂志, 2016, 25:1074-1077.
- [10] 周国永,刘伟波,张翠禄,等. 多层螺旋 CT 引导下经皮穿刺活检术的临床应用优势分析[J]. 中国当代医药, 2017, 24:124-127.
- [11] Rehani MM, Yang K, Melick ER, et al. Patients undergoing recurrent CT scans: assessing the magnitude [J]. Eur Radiol, 2020, 30:1828-1836.
- [12] Lee JK, Lee MS, Moon MH, et al. Translocation frequency in patients with repeated CT exposure: comparison with CT-naïve patients[J]. Radiat Res, 2019, 192: 23-27.
- [13] Yang L, Zhuang J, Huang M, et al. Optimization of hybrid iterative reconstruction level and evaluation of image quality and radiation dose for pediatric cardiac computed tomography angiography[J]. Pediatr Radiol, 2017, 47: 31-38.
- [14] Wellenberg RHH, van Osch JAC, Boelhouwers HJ, et al. CT radiation dose reduction in patients with total hip arthroplasties using model-based iterative reconstruction and orthopaedic metal artefact reduction[J]. Skeletal Radiol, 2019, 48: 1775-1785.
- [15] Do TD, Melzig C, Vollherbst DF, et al. The value of iterative metal artifact reduction algorithms during antenna positioning for CT-guided microwave ablation[J]. Int J Hyperthermia, 2019, 36: 1223-1232.
- [16] 施晓雷,樊荣荣,钱懿,等. 全模型迭代重建技术较 iDose<sup>4</sup> 在低剂量肝脏增强 CT 应用中的优势[J]. 临床放射学杂志, 2019, 38:1320-1323.
- [17] Arapakis I, Efsthopoulos E, Tsitsia V, et al. Using “iDose<sup>4</sup>” iterative reconstruction algorithm in adults’ chest-abdomen-pelvis CT examinations: effect on image quality in relation to patient radiation exposure[J]. Br J Radiol, 2014, 87:1-8.
- [18] 张宇,李松柏. 应用 iDose<sup>4</sup> 迭代重组技术的低剂量鼻窦 CT 图像质量评价[J]. 影像诊断与介入放射学, 2015, 24:225-228.
- [19] Kondo M, Nishie A, Fujita N, et al. Impact of hybrid iterative reconstruction on unenhanced liver CT [J]. Br J Radiol, 2017, 90: 1-7.
- [20] 王茹,姜彦,徐凯,等. iDose<sup>4</sup> 与 O-MAR 迭代算法对 TACE 术后 CT 成像质量和疗效评估的价值[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2016, 22: 457-462.
- [21] 房达,崔石昌,李京华,等. CT 引导微波消融治疗肝癌中 CT 剂量的优化控制[J]. 医学影像学杂志, 2016, 26:1837-1840.

(收稿日期:2020-03-24)

(本文编辑:俞瑞纲)