

MACTM技术在全髋关节置换术后CT去金属伪影中的应用*

杨帆¹, 梁译文², 邵强³, 李琛玮⁴, 袁元^{1△}, 潘雪琳¹, 李真林¹

1. 四川大学华西医院放射科(成都 610041); 2. 四川大学华西临床医学院影像技术系(成都 610041);

3. 上海联影医疗科技有限公司临床应用培训部(上海 201807);

4. 上海联影医疗科技有限公司中央研究院(上海 201807)

【摘要】目的 探讨联影CT金属伪影校正技术(MACTM)在全髋关节置换术后CT复查中的应用价值。**方法** 回顾性收集2018年12月-2020年3月在我院行全髋关节置换术后CT复查的患者72例,将原始数据分别进行滤波反投影(FBP)和MACTM重建。在两组重建图像中选取3个相同的层面(髌白起始层面、髌白中心层面、髌白下缘)并放置一致处勾画感兴趣区(ROI),测量3个层面的金属高低密度伪影区、金属髋关节间隙、金属旁骨组织、肌肉、膀胱及皮下脂肪的CT值和图像噪声,计算其平均值,以皮下脂肪为参考计算金属植入物旁的骨组织、肌肉以及膀胱的信噪比(SNR)和对比噪声比(CNR),对两组数据进行比较。由2位放射科医生对两组重建图像进行盲法主观评分,并采用Kappa检验评价其一致性。**结果** 两组重建图像的高低密度伪影区及关节间隙CT值、图像噪声存在差异。MACTM组与FBP组相比,高密度区与关节间隙的CT值减少,低密度区CT值增加,各区的图像噪声值均减少。金属邻近骨组织、肌肉及膀胱的SNR和CNR,MACTM组均高于FBP组,差异有统计学意义($P<0.05$)。MACTM组主观评分优于FBP组,差异有统计学意义($Z=-6.564, P<0.05$)。在2位放射科医生主观评分的一致性检验中,FBP组一致性为中度(Kappa值为0.72),MAC组一致性为良好(Kappa值为0.85)。**结论** MACTM重建在全髋关节置换术后CT复查中能够减少金属伪影,使关节间隙显示更加清晰,提高了CT图像质量,效果优于FBP重建。

【关键词】 金属伪影 全髋关节置换术 CT 算法 关节间隙

Application Value of CT Metal Artifact Correction Technology (MACTM) in CT Review after Total Hip Replacement
YANG Fan¹, LIANG Yi-wen², SHAO Qiang³, LI Chen-wei⁴, YUAN Yuan^{1△}, PAN Xue-lin¹, LI Zhen-lin¹. 1. Department of Radiology, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China; 2. Department of Medical Imaging Technology, West China School of Medicine, Sichuan University, Chengdu 610041, China; 3. Department of Applied Training, Shanghai Lianying Medical Technology Co. Ltd., Shanghai 201807, China; 4. Department of Research Institute, Shanghai Lianying Medical Technology Co. Ltd., Shanghai 201807, China

△ Corresponding author, E-mail: yuanyuan1686@126.com

【Abstract】 Objective To evaluate the application value of CT metal artifact correction technology (MACTM) in CT review after total hip replacement. **Methods** A total of 72 patients who underwent CT re-examination after total hip replacement from December 2018 to March 2020 were enrolled, and the original data were reconstructed by filter backup projection (FBP) and MAC. Select three identical levels in the two sets of reconstructed images and place the same ROI. The selected levels were the initial level, central level, and lower edge of acetabulum. Measure the CT and noise (SD) of metal high and low density artifacts of the three levels area, as well as metal hip joint space, metal para-bone tissue, muscle, bladder and subcutaneous fat, and calculate the average value. Subcutaneous fat value was used as a reference to calculate the SNR and CNR of metal implant para-bone tissue, muscle and bladder. Two radiologists scored the two groups of reconstructed images using blinded method, Kappa's test was used to compare the homogeneity. **Results** There were differences between the two groups of reconstructed images in high- and low-density artifact areas, joint gap CT values, and image noise. Compared with the FBP group, the CT value of the high-density area and the joint space of the MAC group decreased, the CT value of the low-density area increased, and the noise value of each area decreased. The SNR and CNR of metal adjacent bone tissue, muscle and bladder were higher in the MAC group than those in the FBP group, and the difference was statistically significant ($P<0.05$). The difference in subjective scores between the two groups was statistically significant ($Z=-6.564, P<0.05$). 2 radiologists had moderate consistency with Kappa value of 0.72 on FBP group, and good consistency with Kappa value of 0.85 on MAC group. **Conclusion** MACTM in CT review after total hip

* 四川省科技厅重点研发计划项目(No. 2019YFS0434)资助

△ 通信作者, E-mail: yuanyuan1686@126.com

replacement can reduce metal artifacts, make the joint space more clear, and improve the quality of CT images.

【Key words】 Metal artifact Total hip replacement CT Algorithm Hip joint space

随着我国社会人口的老齡化,老年人股骨颈坏死、关节炎的发病人数逐年增加^[1-2]。全髋关节置换术是治疗股骨颈坏死和慢性难治性髋关节疼痛的常用手术之一。术后常用X线、CT及MRI进行复查。X线是评价金属植入物位置、稳定性的基本方式,但其重叠影像会影响髋关节解剖细节的显示;MRI检查时间长、禁忌证多,且金属植入物会影响磁场均匀性导致植入物周围组织显示欠佳^[3]。CT可以对金属植入物本身的情况、植入物与周围组织的关系、周围软组织的变化等进行评估,在关节置换术后的复查中具有不可替代的作用^[4-6]。但是,植入物的金属伪影会对CT图像产生影响。伪影是由人体组织和金属植入物的密度差异引起的,产生的原因包括光子饥饿效应、射线束硬化效应以及散射线等^[7]。传统的滤波反投影(filter backup projection, FBP)是CT的基础算法,其缺点是在CT图像中极大地增加了金属植入物的射线硬化效应,使图像伪影重、噪声大。金属伪影校正(metal artifact correction, MACTM)是联影公司研发的重建算法,在减少金属伪影的同时,能够保留金属植入物的信息及邻近组织的解剖细节。本研究探讨MAC技术在全髋关节置换术后CT复查中的应用,旨在提高全髋关节置换术后的CT图像质量。

1 资料和方法

1.1 研究对象

回顾性收集2018年12月-2020年3月由于全髋关节置换术在四川大学华西医院行髋关节CT复查患者的资料。纳入标准:①全髋关节置换术后;②CT复查在联影uCT780上进行,且扫描方案与1.2所述一致。排除标准:①运动伪影严重,影响诊断;②金属植入物脱位或术后关节间隙完全融合,无法进行测量分析。最后收集72例患

者资料,其中男33例,女39例,年龄21~84岁,平均年龄(56.05±13.03)岁。其中,在本院手术者41例,外院手术31例。因本研究为回顾性研究,故没有进行伦理审查。

1.2 检查方法

所有患者均采用联影公司uCT780行髋关节CT螺旋扫描。患者仰卧位头先进,身体正中矢状面垂直并对准床面中线,尽量保持两侧髋关节对称。扫描范围从髋臼上缘5 cm至金属植入物下缘5 cm,包括全双髋关节及金属植入物,扫描方向从头到足侧。扫描参数:管电压140 kV、管电流量180 mAs、准直器160 mm×0.5 mm、矩阵512×512、螺距0.9875,球管旋转时间0.8 s,重建层厚1 mm、层间距0.8 mm、窗宽400 Hu、窗位30 Hu。所有患者扫描后分别采用FBP和MACTM两种算法对图像进行重建。

1.3 图像质量评价

1.3.1 客观评价 将FBP和MACTM的1 mm图像载入UIDeal67工作站,勾画兴趣区(region of interest, ROI)并进行测量。每个患者均选取3个层面,分别为髋臼上缘层面、髋臼中心层面、髋臼下缘层面,勾画金属高低密度伪影区、金属髋关节间隙、金属旁骨组织、腰大肌、膀胱及对侧臀部皮下脂肪的ROI, ROI大小为50~70 mm²,其中金属髋关节间隙ROI大小为10~20 mm²。测量ROI内的CT图像中各组织与X线衰减系数相当的对应值(CT值_x)及图像噪声(CT值的标准差, standard deviation, SD)^[8-9],计算3个层面平均值。以对侧臀部皮下脂肪CT值(CT值_{脂肪})和SD_{脂肪}为参考,计算金属旁骨组织、腰大肌以及膀胱的信噪比(signal to noise ratio, SNR)和对比噪声比(contrast to noise ratio, CNR)。两组图像测量时层面一致, ROI大小及位置完全复制^[10]。ROI放置如图1。SNR=CT值_x/SD_{脂肪}, CNR=(CT值_x-CT值_{脂肪})/SD_{脂肪}。

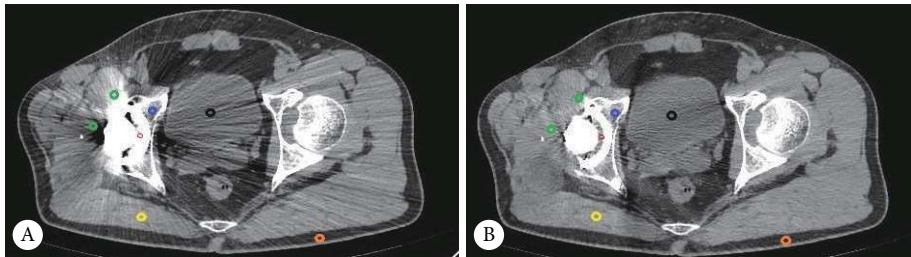


图1 患者男, 65岁, 右髋关节置换术后1周CT复查FBP (A) 和MAC (B) 后处理算法图像中ROI的设置(重建1 mm图像)

Fig 1 Male patient, 65 years old, one week after right hip arthroplasty, CT review of FBP (A) and MAC (B) post-processing algorithm image in ROI settings (reconstructed 1 mm image)

ROI were placed close to the metal implant, in the hypo- and hyperdense region (green ROIs), hip joint space (red ROI), adjacent bone (blue ROI), psoas muscle (yellow ROI), bladder (black ROI), subcutaneous fat of contralateral buttocks (orange ROI).

1.3.2 主观评价 由2名放射科医师(分别有5年和8年的骨关节影像诊断经验)采用盲法对两组1 mm重建图像进行主观评分,两位医师意见不一致时通过协商达成一致意见。评分为5分制,评分标准^[11-12]:5分,图像没有伪影,金属植入物外形、位置、间隙以及金属周围组织清晰显示,图像质量佳;4分,图像少量伪影,金属植入物外形、位置、间隙以及金属周围组织能够识别,图像质量较好;3分,图像有伪影,金属植入物外形、位置、间隙以及金属周围组织部分可见,图像质量一般;2分,图像较多伪影,金属植入物外形、位置、间隙以及金属周围组织少部分可见,图像质量较差;1分,图像大量伪影,金属植入物外形、位置、间隙以及金属周围组织不可见,图像质量差。

1.4 统计学方法

采用Kologorov-Smirnov进行计量资料的正态性检验,满足正态分布的资料用 $\bar{x} \pm s$ 表示,不满足正态分布的计量资料用中位数(P_{25}, P_{75})表示。根据是否满足正态分

布,选择配对样本 t 检验或Wilcoxon秩检验比较FBP组和MAC组的金属高低密度伪影区和金属髋关节间隙的CT值、噪声,金属旁骨组织、腰大肌与膀胱的SNR和CNR,以及两组之间的主观评分, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。采用Kappa检验评价2名医师间主观评分的一致性,Kappa值为0表示无一致性,Kappa值 < 0.40 为一致性较差, $0.40 \leq \text{Kappa值} < 0.75$ 为一致性中等,Kappa值 ≥ 0.75 为一致性较好。

2 结果

2.1 两组图像CT值和图像噪声的比较

MACTM组金属高密度伪影区ROI平均CT值比FBP组减少了146.42 Hu(95%CI: 124.554 ~ 168.285),即降低了38.19%,差异有统计学意义($P < 0.05$)。MACTM组平均噪声值比FBP组减少了18.05(95%CI: 13.962 ~ 22.138),即降低25.35%,差异有统计学意义($P < 0.05$)。见表1。

表 1 两组图像金属高低密度伪影区、金属髋关节间隙的CT值和图像噪声比较

Table 1 Comparison of CT value and image noise in hypo- and hyperdensity metal artifact areas, metal hip joint space between the two groups

Group	n	CT value/Hu			Image noise value		
		Hyperdense artifact region	Hypodense artifact region	Metal hip joint space	Hyperdense artifact region	Hypodense artifact region	Metal hip joint space
FBP	72	383.39±145.34	-313.82±137.25	134.97±272.62	71.20±55.25	59.91±27.38	172.21±90.53
MAC TM	72	236.97±173.47	-163.90±15.74	38.50±112.60	53.15±47.13	41.68±17.46	89.82±79.28
t		13.352	-8.834	3.397	8.803	6.520	8.777
P		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

MACTM组金属低密度伪影区ROI平均CT值比FBP组增加了149.92 Hu(95%CI: 183.753 ~ 116.077),即增加47.77%,差异有统计学意义($P < 0.05$)。MACTM组平均噪声值比FBP组减少了18.24(95%CI: 12.660 ~ 23.813),即降低30.44%,差异有统计学意义($P < 0.05$)。见表1。

金属髋关节间隙中,MACTM组CT值比FBP组减少了96.46 Hu(95%CI: 39.837 ~ 153.098),即降低了71.47%,差异有统计学意义($P < 0.05$)。MACTM组平均噪声值比FBP组减少了82.38 (95%CI: 63.671 ~ 101.104),即降低了

47.84%,差异有统计学意义($P < 0.05$)。见表1。

2.2 两组图像金属旁骨组织、腰大肌及膀胱SNR和CNR的比较

MACTM组金属旁骨组织、腰大肌及膀胱的SNR和CNR均高于FBP组,差异均有统计学意义($P < 0.05$)。见表2。

2.3 两组图像主观质量评分的比较

2名医师对两组图像主观评分一致性检验中,FBP组的Kappa值为0.72,具有中等一致性,MAC组Kappa值为0.85,具有良好的一致性。FBP组图像评分在3分及以上

表 2 两组图像金属旁骨组织、腰大肌及膀胱的SNR和CNR比较

Table 2 Comparison of SNR and CNR in the adjacent bone tissue, psoas muscle and bladder

Group	n	SNR			CNR		
		Adjacent bone tissue (median (P_{25}, P_{75}))	Psoas muscle ($\bar{x} \pm s$)	Bladder ($\bar{x} \pm s$)	Adjacent bone tissue (median (P_{25}, P_{75}))	Psoas muscle (median (P_{25}, P_{75}))	Bladder ($\bar{x} \pm s$)
FBP	72	2.50 (0.63, 5.58)	2.79±2.23	-1.07±1.98	7.94 (5.03, 12.75)	8.78 (5.61, 12.18)	5.81±3.68
MAC TM	72	3.22 (2.01, 5.77)	3.23±1.99	-0.46±1.91	9.58 (6.22, 9.58)	9.77 (7.33, 13.54)	7.16±3.89
t/Z		-2.870	-2.258	-3.309	-2.911	-4.019	-4.083
P		0.004	0.045	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

者3例, MACTM组图像评分3分及以上者为37例。两组的主观评分差异具有统计学意义($Z = -6.564, P < 0.05$), 且

MACTM组主观评分[4(3, 4)]优于FBP组[3(2, 3)], 由图2可见, MACTM组金属伪影较少, 金属植入物结构显示更加

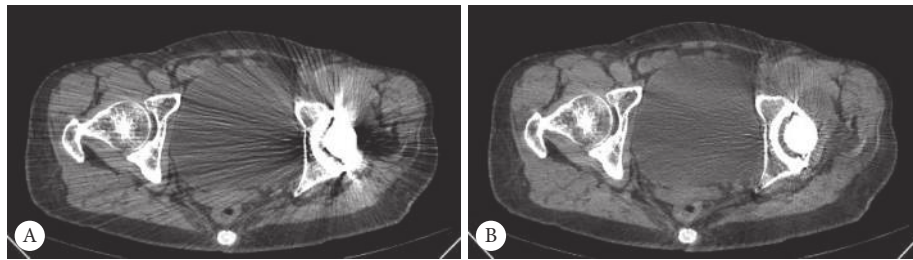


图2 患者女, 52岁, 全髋关节置换术后半年

Fig 2 Female patient, 52 years old, 6 months after right hip replacement

A is an FBP reconstructed 1 mm image with a subjective score of 2; B is a MACTM reconstructed 1 mm image with a subjective score of 4.

明显, 图像质量较好。

3 讨论

CT是全髋关节置换术后评价髋关节情况的重要手段, 但常规CT图像上金属伪影严重干扰了金属植入物及周围组织的显示。因此, 减少金属植入物的伪影一直是全髋关节置换术后CT影像研究的热点^[13-15]。常见的去伪影算法包括投影插值算法、迭代重建算法及混合算法^[16-17]。投影插值算法^[18]通过由金属物体产生的投影被替换为来自不包含任何金属的相邻投影的插值信号, 能有效减少金属伪影, 但金属本身和金属周围结构的信息容易丢失, 导致图像信息不全。迭代重建算法^[19]能在投影数少、数据不完全和低辐射剂量条件下, 得到高质量、低噪声的图像, 但耗时较长, 且在重建时易缺失组织边界锐利度。MACTM是联影公司最近研发的金属伪影校正技术, 结合了插值和迭代算法的优势, 基本原理是先通过图像域分割找到金属, 再对金属图像正投影, 找到被金属破坏的投影数据, 通过插值和加权的方法最大程度上修复投影数据, 最后对矫正后的投影数据反投影, 得到校正图像。MACTM通过考虑金属的密度和形状, 由此设计算法, 以充分保留金属边缘信息, 同时抑制伪影和噪声。

全髋关节置换术后CT复查的图像经常显示金属伪影严重的区域主要位于髋臼附近, 而既往文献^[20-22]大多数只测量了金属伪影最严重的单一层面。为了更加全面的对髋臼周围的金属伪影进行评价, 本研究以髋臼窝为中心, 分别选择上、中、下3个层面进行测量。在每个层面的CT图像中, 光子饥饿效应和散射效应主要产生高密度伪影, 严重的衰减结构之间光束硬化效应主要产生低密度伪影, 故金属植入物的伪影常表现为放射状高密度影和星条状低密度暗区^[23]。通过对层面中伪影最严重区域, 即金属高低密度伪影区进行测量, 可以量化评估MACTM

对金属伪影的影响。本研究结果发现, 金属高密度伪影区MAC组CT值较FBP组降低了38.19%, 噪声降低了25.35%; 金属低密度伪影区MACTM组CT值增加了47.77%, 噪声降低了30.44%。其原因是由于金属高密度伪影中, 金属植入物相邻的低对比度结构很容易被伪影遮挡, MACTM通过数据校准、去噪, 能减少光子饥饿引起的细小条纹伪影, 使金属高密度伪影区CT值降低, 图像噪声降低。同时, 利用原始数据进行插值补偿, 消除了大部分阴影, 提高了金属低密度伪影区的CT值。因此, MACTM图像中金属高密度伪影区和金属低密度伪影区的CT值均有改善, 图像中的噪声明显降低, 此结果与LAUKAMP等^[24]对于高低密度伪影区CT值和噪声值的研究结果相似。

除了测量金属高、低密度伪影区的CT值和图像噪声之外, 本研究还对金属髋关节间隙进行了测量, 这是因为髋关节间隙是骨科医生关注的重点, 但是目前的去金属伪影的研究少有对关节间隙的分析测量。众所周知, CT检查能够详细显示髋关节结构, 可以有效评估术后并发症, 主要包括骨溶解、金属植入物松动、植入物周围骨折、关节周围积液等^[25], 其中骨溶解是髋关节翻修手术的常见原因之一, 多由人工关节界面磨损颗粒导致^[26-27]。清晰的金属髋关节间隙图像, 可以充分显示磨损颗粒, 有助于评价骨溶解, 所以本研究选择髋关节间隙作为研究重点, 旨在解决临床问题。结果显示, 使用MAC后金属髋关节间隙CT值降低了71.47%, 噪声值降低了47.84%, 说明通过MACTM可以去除部分金属伪影的干扰, 使CT图像能够更加直观的展示金属髋关节间隙的结构和形貌, 呈现金属植入物磨损的程度, 有助于临床医生分析假体的使用情况及预估其使用年限。

相较于国内许多关于金属伪影的研究只量化比较CT值和噪声值^[28-29], 本研究还对金属旁组织的SNR和CNR进行了测量和评价。这是因为金属植入物周围组织

的SNR和CNR不仅可以反映伪影对周围组织的影响程度,而且能反映整体的CT图像质量。研究结果显示MACTM重建后金属髋关节旁的骨组织、腰大肌以及膀胱的SNR和CNR均高于FBP组,差异有统计学意义,说明通过抑制伪影和噪声,MACTM能够保护和恢复金属髋关节旁骨组织、肌肉及盆腔的对比度,较为清晰的显示金属植入物周围组织的影像特点,对于明确金属髋关节置换术后疼痛与功能的病因有重要的辅助作用,尤其对金属髋关节置换术后伴有盆腔疾病的患者^[30-31],如膀胱肿瘤等,MACTM重建可以更好的显示盆腔的解剖结构。同时,主观评分结果也证实了MACTM组图像优于FBP组($P < 0.05$)。

本研究存在一些不足。首先,金属髋关节置换术中常见的两个主要成分是钛合金和钴铬合金,但由于纳入的部分患者为院外手术,手术材料未知,所以没有对不同金属材料进行分类;其次,由于纳入的样本量较少,没有对双侧髋关节置换的患者进行单独分析;再次,没有对MACTM是否会引入其它伪影进行研究。

综上所述,MACTM不需要特殊CT硬件设备的支持,在常规CT扫描后,即可快速重建,操作简便,在全髋关节置换术后的CT复查中可以有效去除金属植入物的伪影,使关节间隙显示清晰,改善整体图像质量,在评估术后并发症方面具有重要的临床价值。

参 考 文 献

- [1] 张晓军. 半髋与全髋关节置换术在老年股骨颈骨折治疗中的疗效对比. 中国药物与临床, 2020, 20(2): 231-233.
- [2] 朱月新, 槐金艳, 万明宇, 等. 老年患者全髋关节置换术围手术期镇痛的研究进展. 医学综述, 2020, 26(12): 2385-2390.
- [3] 刘卓, 魏拓, 洪楠, 等. 双能量CT联合金属伪影削减算法抑制股骨柄假体金属伪影的模型研究. 放射学实践, 2019, 34(3): 332-336.
- [4] 张客松, 韩青, 单悦展, 等. CT金属去伪影技术在骨科的应用. 中华实验外科杂志, 2018, 35(4): 791-792.
- [5] 李传东, 陈晓亮, 赵其超, 等. 基于SEMAR技术在CT检查中去除金属假体伪影临床应用价值的研究. 临床放射学杂志, 2017, 36(7): 1038-1041.
- [6] JEWON J, HYUN-JOO K, EUNSUN O, *et al.* Visibility of bony structures around hip prostheses in dual-energy CT: with or without metal artefact reduction software. J Med Imaging Radiat Oncol, 2018, 62(5): 634-641.
- [7] SONG O K, CHUNG Y E, SEO N, *et al.* Metal implants influence CT scan parameters leading to increased local radiation exposure: a proposal for correction techniques. PLoS One, 2019, 14(8): e0221692[2020-05-16].<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0221692>.
- [8] 王素雅, 万娅敏, 刘杰, 等. 超低剂量下不同迭代重建技术在肺动脉成像中的优化. 中国医学影像技术, 2016, 32(5): 790-794.
- [9] 彭刚, 张志伟, 郁斌, 等. 不同CT扫描参数与迭代去金属伪影算法效果的相关性. 中国医学影像技术, 2020, 36(4): 601-605.
- [10] NEUHAUS V, GROSSE HOKAMP N, ZOPFS D, *et al.* Reducing artifacts from total hip replacements in dual layer detector CT: combination of virtual monoenergetic images and orthopedic metal artifact reduction. Eur J Radiol, 2019, 111: 14-20.
- [11] 谢迎娣, 陶景山, 吴献华, 等. 256iCT O-MAR技术去金属伪影临床应用研究. 实用放射学杂志, 2017, 33(11): 1799-1801.
- [12] 郁仁强, 吕发金, 张志伟, 等. IMAR对椎体植入物患者CT图像的影响. 重庆医学, 2019, 48(9): 1549-1551.
- [13] BOLSTAD K, FLATABØ S, AADNEVIK D, *et al.* Metal artifact reduction in CT, a phantom study: subjective and objective evaluation of four commercial metal artifact reduction algorithms when used on three different orthopedic metal implants. Acta Radiol, 2018, 59(9): 1110-1118.
- [14] HACKENBROCH C, SCHÜLE S, BEER M. Metal artifact and dose reduction in CT imaging with orthopaedic implants: a comparison study of different available CT techniques. Semin Musculoskelet Radiol, 2019, 23(S 02): S1-S18[2020-05-16]. <https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/abstract/10.1055/s-0039-1692562>. doi: 10.1055/s-0039-1692562.
- [15] DALILI D, HABERLAND U, HODGSON D, *et al.* A tale of twos: dual-energy CT, an indispensable metal artifact reduction tool around implants: a multi-center experience from two primary and revision hip arthroplasty units. Semin Musculoskelet Radiol, 2019, 23(S2): S1-S18[2020-05-16]. <https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/abstract/10.1055/s-0039-1692581>. doi: 10.1055/s-0039-1692581.
- [16] 肖文, 曾理. CT图像的金属伪影校正方法综述. 中国体视学与图像分析, 2019, 24(1): 29-36.
- [17] 李铭, 卢彦飞, 袁刚, 等. 应用先验插值校正CT金属伪影. 液晶与显示, 2015, 30(6): 1032-1039.
- [18] 高留刚, 倪昕晔. CT图像金属伪影校正算法研究现状. 国际生物医学工程杂志, 2015, 38(2): 124-128.
- [19] 孙鸿飞, 高留刚, 倪昕晔. 计算机断层扫描图像金属伪影校正方法研究现状. 中国医学影像技术, 2017, 33(4): 616-619.
- [20] 张洪洋, 丁长伟. O-MAR技术在髋关节置换术后CT中的应用. 解剖学研究, 2018, 40(1): 62-65.
- [21] 李艳, 沈倩, 兰永树, 等. 骨去金属伪影技术对腰椎内固定术后CT图像质量影响的研究. 放射学实践, 2020, 35(3): 394-397.
- [22] 温齐平, 张滨, 潘俊, 等. O-MAR技术在头颈CT检查中去除口腔内金属伪影的应用评估. 中国医疗设备, 2017, 32(1): 50-53.
- [23] 张客松, 徐晓麟, 韩青, 等. 骨科去金属伪影技术在人工关节置换术CT检查中的应用. 吉林大学学报(医学版), 2019, 45(1): 179-183.
- [24] LAUKAMP K R, LENNARTZ S, NEUHAUS V F, *et al.* CT metal artifacts in patients with total hip replacements: for artifact reduction monoenergetic reconstructions and post-processing algorithms are both efficient but not similar. Eur Radiol, 2018, 28(11): 4524-4533.
- [25] 彭伟清, 江丽莎, 冯银标, 等. 人工髋关节置换术后假体周围骨质溶解的X线及CT表现. 实用医技杂志, 2017, 24(12): 1294-1295.
- [26] 孙金琼, 张朝晖, 郭立利, 等. 金-聚乙烯全髋关节置换术后金属离子

- 沉积症翻修一例. *骨科*, 2019, 10(6): 567-570.
- [27] 黄行健, 周一新, 杨德金, 等. 全髋关节置换术后晚期并发症的影像学评估. *骨科临床与研究杂志*, 2017, 2(1): 57-63.
- [28] 刘彪, 陈小玫, 郑进天, 等. 能谱CT虚拟单能图像重建和金属伪影去除算法在减少脊柱金属植入物伪影中的应用. *医学影像学杂志*, 2019, 29(8): 1394-1398.
- [29] 邓凯, 杨海涛, 吴雄, 等. 第3代双源CT虚拟单能量成像去除腰椎金属内固定伪影的效果评估. *暨南大学学报(自然科学与医学版)*, 2019, 40(4): 358-363.
- [30] PILANIA K, JANKHARIA B. Longitudinal followup of incidentally detected pseudotumors in patients with metal on metal implants: a retrospective study. *Indian J Orthop*, 2017, 51(4): 440-446.
- [31] TRABZONLU T A, TERRAZAS M, MOZAFFARY A, *et al.* Application of iterative metal artifact reduction algorithm to CT urography for patients with hip prostheses. *AJR Am J Roentgenol*, 2020, 214(1): 137-143.

(2020-05-26收稿, 2020-08-03修回)

编辑 沈进