

论 著

IMAR技术在去除腰椎内固定金属伪影中的应用价值*

陈宗桂¹ 陆思璇² 管海辰¹
张英俊¹ 董晓军^{1,*}1.湖南医药学院(湖南 怀化 418000)
2.湖南省直中医院(湖南 株洲 412008)

【摘要】目的 探讨双源CT中, IMAR技术对腰椎内固定术后金属伪影的应用价值。方法 对32例腰椎内固定术后拟行腰椎CT检查的患者, 行西门子Force双源CT 256容积扫描后重建获得图像。行腰椎CT检查后, 采用滤波反投影算法(FBP)和滤波反投影算法迭代去金属算法(FBP+IMAR)分别对扫描后数据重建。对比两组CT图像的CT值、伪影指数和平均梯度评价IMAR技术对金属伪影的抑制效果。最后, 由3名高年资放射医师根据螺钉周围软组织、竖脊肌、螺钉植入和椎体的显示情况评价FBP+IMAR组和FBP组重建得CT图像。结果 FBP+IMAR组重建得到CT图像在软组织及竖脊肌处CT值、平均梯度大于FBP组($P<0.05$), 而伪影指数小于FBP组($P<0.05$)。FBP+IMAR组重建得到CT图像在金属与骨质处CT值和伪影指数小于FBP组($P<0.05$), 而平均梯度大于FBP组($P<0.05$)。远离金属螺钉的软组织处, FBP+IMAR组重建得图像的CT值、平均梯度和伪影指数与FBP组无明显区别, 差异无统计学意义($P>0.05$)。在软组织、竖脊肌及金属与骨质界面的显示, FBP组重建CT图像评分低于FBP+IMAR组($P<0.05$)。结论 IMAR技术能有效减少腰椎内固定术后金属伪影, 提高CT图像质量, 有助于准确观察椎弓根、螺钉的位置和提高解剖结构清晰度, 为评价腰椎内固定术后的治疗效果提供科学、准确的参考数据。

【关键词】去金属伪影技术; 椎弓根内固定; 三维处理; 迭代去金属伪影算法

【中图分类号】R814.3

【文献标识码】A

【基金项目】湖南省自然科学基金面上项目(2021JJ30480); 湖南省教育厅一般项目(22C1183);

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2023.11.051

Value of IMAR Iterative Algorithm in Removing Metal Artifacts of Lumbar Internal Fixation*

CHEN Zong-gui¹, LU Si-xuan², GUAN Hai-chen¹, ZHANG Ying-jun¹, DONG Xiao-jun^{1,*}.

1.Hunan University of Medicine, Huaihua 418000, Hunan Province, China

2.Hunan Province Directly Affiliated TCM Hospital, Zhuzhou 412008, Hunan Province, China

ABSTRACT

Objective To explore the application value of IMAR technology in dual source CT for metal artifacts after lumbar internal fixation. **Methods** The image of 32 patients who were scheduled to undergo lumbar CT examination after lumbar internal fixation were reconstructed by Siemens Force dual-source CT 256 volume scan. Concretely, after lumbar CT examination, the scanned data were reconstructed by filtered back projection algorithm (FBP) and filtered back projection algorithm plus iterative metal artifact removal algorithm (FBP+IMAR) respectively. Then, the CT value, artifact index and average gradient of CT images in two groups were compared to evaluate the suppression effect of IMAR technology on metal artifacts. Finally, three senior radiologists evaluated the reconstructed CT images of the FBP+IMAR group and the FBP group according to the displays of the soft tissue surrounding the screw, psoas major muscle, screw implantation, and vertebral body. **Results** The CT value and average gradient of the reconstructed CT images in soft tissue and erector spinal in FBP+IMAR group were higher than those in FBP group ($P<0.05$), while the artifact index was lower than that in FBP group ($P<0.05$). The CT value and artifact index of the reconstructed CT images at the interface between metal and bone in FBP+IMAR group were lower than those in FBP group ($P<0.05$), and the average gradient was higher than that in FBP group ($P<0.05$). There was no significant difference in CT value, average gradient and artifact index between the FBP+IMAR group and the FBP group in the soft tissue far from the metal screw ($P>0.05$). The results of soft tissue, erector spinal and vertebral pedicle presented the reconstructed CT image score in FBP group was lower than that in FBP+IMAR group ($P<0.05$). **Conclusion** IMAR technology can effectively reduce metal artifacts after lumbar internal fixation, improve CT image quality, facilitate the accurate observation of the position of pedicle and screw and enhance the clarity of anatomical structure, which provide scientific and accurate reference data for evaluating the treatment effect after lumbar internal fixation.

Keywords: Metal Artifact Reduction; Pedicle Internal Fixation; 3D Processing; Iterative Metal Artifact Reduction

在腰椎疾病的治疗中, 腰椎内固术是一项有效的治疗技术。它主要用以治疗腰椎不稳、脊柱侧凸、退变性椎间盘、腰椎椎管狭窄等疾病^[1-3], 对腰椎内固术的随访、疗效评估和术后的影像学复查发挥着重要作用。当前所有影像学检查手段中, CT影像学检查逐渐成为临床上术后评价螺钉植入情况的金标准^[4]。但是, 在常规CT图像中, 腰椎内固定术后影像检查, 金属螺钉对X线有较高衰减, CT图像常表现为亮暗条纹, 使得术后效果的评估受到严重影响。迭代去金属伪影算法(iterative metal artifact reduction, IMAR)是专门针对金属伪影的一种算法。但是, 对IMAR算法去除腰椎内金属伪影的效果鲜有相关研究报道。为此, 本文对32例腰椎内固定术后拟行腰椎CT检查病人的影像资料进行回顾性分析, 以探讨IMAR技术对消除金属伪影的作用, 以期改善术后CT图像质量, 并为临床医师提供更多的影像资料。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集2021年6月至2022年6月, 于我院行腰椎椎弓根内固定术后CT复查患者32例。在临床上, 患者被诊断为退变性椎体滑脱、椎管狭窄、退变性椎间盘等。其中, 女14例, 男18例, 年龄范围为24-88岁, 平均(55.1 ± 2.9)岁。因本研究为回顾性研究, 故而未进行伦理审查。在研究中, 研究对象的辐射剂量没有做任何调整, 没有伦理上的争论, 受检者无需签署知情同意书。

1.2 方法 患者取仰卧位, 双臂上举, 采用西门子Force双源CT进行螺旋扫描, 扫描范围为全部腰椎椎体, 扫描参数:管电流600mA, 管电压130kVp, 层厚0.5mm, 螺距0.65, 间隔0.5mm, 固定窗宽/窗位(骨窗1800 HU/600 HU, 软组织窗530 HU/65HU), 机架旋转一周的最短时间为0.28s。于常规腰椎扫描参数中, 进行IMAR选项勾选, 获取IMAR技术处理后的图像资料。在各组图像中, 选择腰椎内螺纹钉金属伪影影响最大层面。比较IMAR技术处理前后, 两组图像上4个感兴趣区域的AI值、CT值与AG值, 并进行统计分析, 以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。通过扫描获取的图像, 均要保存于后处理工作站。

1.3 图像质量评价

1.3.1 图像主观评价 采用IMAR技术对后处理工作站中的CT金属伪影图像进行处理。为了保护病人隐私, 会隐藏CT影像中的病人信息与扫描参数。CT图像显示的参数: 软组织窗位为65HU、窗宽为530HU; 骨窗的窗位为600HU、窗宽为1800HU。将CT金属伪影处理前后的两组图像采用多平面重建(MPR)和容积再现(VR), 以评价IMAR技术对金

【第一作者】陈宗桂, 男, 讲师, 主要研究方向: CT图像金属伪影的抑制。E-mail: zonggui1129@163.com

【通讯作者】董晓军, 男, 副教授, 主要研究方向: CT图像金属伪影的抑制和三维重建。E-mail: 365407126@qq.com

属伪影的抑制效果。由三名高级职称医生分别对IMAR处理前后的CT图像冠状面、横断面与矢状面进行影像质量评估,评估内容包括金属伪影对椎间盘、软组织、竖脊肌与椎弓根的影响。根据Gondim等^[5]公布的评分标准:伪影重,不能辨认正常结构,1分;辨认结构较为困难,2分;可以辨认结构,但缺乏信心,3分;可以辨认结构,自信心中等,4分;可以辨认结构,有较高的信心,5分。

1.3.2 图像客观评价 在IMAR技术处理前后测量并记录ROI内CT值。选择每一组伪影最重层面取4个感兴趣区分别测量其CT值、伪影指数值和平均梯度值,其中ROI1为受金属伪影影响最严重的软组织(即密度最低)区域;ROI2为金属与骨质界面;ROI3为受金属伪影影响的竖脊肌处;ROI4为受金属伪影影响最小的软组织处。对各个ROI进行5次测量,取平均值。在测量过程中,两组图像感兴趣区的大小与位置尽可能保持一致。另外,本文还采用伪影指数值(artifact index, AI)和平均梯度(average gradient, AG)评价IMAR技术抑制金属伪影的效果。伪影指数的公式(1):

$$AI = \sqrt{SD_{ROI}^2 - SD_{fat}^2}$$

式中, SD_{ROI} 是感兴趣区域内的标准差值, SD_{fat} 是脂肪区域内的标准差值。伪影指数是定量反映组织受金属伪影影响程度大小,伪影指数越大,图像分辨率越差,CT图像表达的信息越少。平均梯度主要指金属伪影周围的灰度变化情况,也就是灰度变化率,灰度变化率可以用来描述图像的清晰度。公式(2):

$$AG = \frac{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} \sqrt{(\Delta I_x^2 + \Delta I_y^2) / 2}}{M \times N}$$

其中, $M \times N$ 为图像矩阵, ΔI_x 与 ΔI_y 为分别对图像以水平和垂直方向的结构元素进行形态学处理后,获得的梯度信息。一般图像具有的平均梯度越大,图像表达的信息越全面,图像的清晰度越高。因此,其值越大越好。

1.4 统计学方法 对比分析IMAR技术处理前后2组图像,采用SPSS 19.0软件分别对感兴趣区域的AI值、CT值和AG值及影像质量评分等各项评价指标进行配对样本t检验,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 主观评价结果 骨质和金属界面、螺钉周围软组织、椎弓根与竖脊肌显示情况。去伪影后,骨质和金属界面、螺钉周围软组织和竖脊肌区域评分高于去伪影前($P < 0.05$),见表1。

表1 比较FBP组和FBP+IMAR中伪影最重的软组织区域、金属与骨质界面和竖脊肌处的主观评分

变量	FBP	FBP+IMAR	P
软组织	1.93±0.51	3.85±0.39	<0.05
金属与骨质界面	1.21±0.37	3.93±0.41	<0.05
竖脊肌	1.71±0.52	4.23±0.82	<0.05

2.2 客观评价结果 将图像传送到后处理工作站,利用IMAR技术对处理前后的薄层图像进行多平面重建(MPR),如图1所示。其中图1A表示IMAR处理前的影像,由于在金属螺钉与骨质界面产生的高密度伪影,使得金属螺钉周围的软组织和螺钉与周围骨质界面显示不清;螺钉在竖脊肌上产生低密度的金属伪影导致无法通过CT图像评判金属螺钉的植入情况。图1B为IMAR处理后的影像,软组织上的低密度与高密度伪影显著减轻。螺钉与周围骨质界面显示清楚,同时金属螺钉对竖脊肌的影响明显减弱。经VR重建后,获得CT图像的三维成像,见图2。在图2上可以明显观察到采用IMAR技术使螺钉在椎弓根上产生的金属伪影得到抑制,图像细节显示良好,周围结构清晰可见。在伪影最重层面,测量感兴趣区域的CT值,见表2~表5。FBP+IMAR组中金属螺钉附近软组织和竖脊肌的CT值和AG值较FBP组均提高,差异有统计学意义($P < 0.05$)。而FBP+IMAR组的伪影指数比FBP组低($P < 0.05$)。IMAR处理后结果提示经过IMAR技术校正后,组织的CT值更接近正常组织的CT值,图像细节显示更清晰和伪影更小,CT图像更加真实可靠。FBP+IMAR组中金属与骨质界面的CT值和伪影指数比FBP组小,两组对比均有统计学意义($P < 0.05$)。而FBP+IMAR组的AG值比FBP组高,差异有统计学意义($P < 0.05$)。IMAR处理后结果提示经过IMAR技术校正后,金属与骨质界面的CT值更接近正常组织CT值,图像质量更高且能提供更多信息。FBP+IMAR组中受伪影影响最小软组织的CT值、AG和伪影指数较FBP组没有明显区别($P > 0.05$)。结果表明IMAR技术对非金属伪影区域的影响较小,并且正常组织解剖细节能够有效保留。

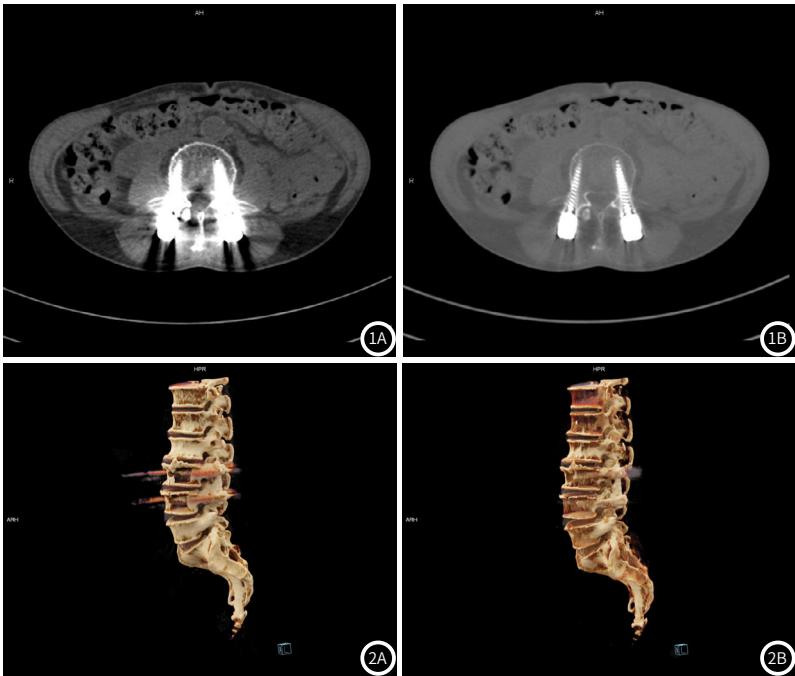


图1A-图1B 椎弓根内固定术后CT图像。图1A采用IMAR技术处理前CT图像,该图像伪影明显,图像显示不清晰。图1B采用IMAR技术处理后CT图像,该图像伪影明显减少,图像显示清晰。
图2A-图2B 图2A为常规CT重建后VR图像,伪影重,椎弓根显示差;图2B为采用IMAR重建后VR图像,伪影较轻,椎弓根显示好。

表2 IMAR处理前后各ROI1的CT值(HU)、AI值和AG值

组别	FBP	FBP+IMAR	FBP	FBP+IMAR	FBP	FBP+IMAR
	CT值	CT值	AI值	AI值	AG值	AG值
ROI1	-352.61±17.55	-31.64±12.53	110.12±25.32	29.36±6.18	3.74±0.33	13.37±1.07
t	84.2		-17.53		48.56	
P	<0.05		<0.05		<0.05	

表3 IMAR处理前后各ROI2的CT值(HU)、AI值和AG值

组别	FBP	FBP+IMAR	FBP	FBP+IMAR	FBP	FBP+IMAR
	CT值	CT值	AI值	AI值	AG值	AG值
ROI2	3581.48±141.92	3094.26±95.4	55.72±11.77	51.74±11.18	2.41±0.39	4.95±0.90
t	8.65		-10.51		-14.32	
P	<0.05		<0.05		<0.05	

表4 IMAR处理前后各ROI3的CT值(HU)、AI值和AG值

组别	FBP	FBP+IMAR	FBP	FBP+IMAR	FBP	FBP+IMAR
	CT值	CT值	AI值	AI值	AG值	AG值
ROI3	-172.37±21.23	38.76±12.38	30.54.35±7.44	8.22±2.71	2.36±0.18	9.36±1.34
t	-48.61		-15.936		29.344	
P	<0.05		<0.05		<0.05	

表5 IMAR处理前后各ROI4的CT值(HU)、AI值和AG值

组别	FBP	FBP+IMAR	FBP	FBP+IMAR	FBP	FBP+IMAR
	CT值	CT值	AI值	AI值	AG值	AG值
ROI4	44.11±8.72	41.50±6.22	9.36±1.83	8.72±0.69	9.89±0.72	8.89±1.58
t	-1.375155		1.86		1.856	
P	0.174032		0.067		0.068	

3 讨 论

椎弓根螺钉内固定术在腰椎疾病,如腰椎不稳、腰椎滑脱、退行性疾病等方面得到了广泛的应用^[6-8]。金属伪影在CT图像的表现呈星状或者黑白条状伪影,可减少金属周围组织结构的清晰度,不利于术后骨质破坏、腰椎细微骨折、椎管内结构等情况的显示,严重影响手术疗效的评价。尽管调整窗宽和窗位有助于抑制金属伪影,但是其不能完全去除X线束硬化伪影,常常需要借助容积再现技术加以补充,但这些技术对细微骨折部位的解剖细节显示不够清晰。针对CT图像中金属伪影,常用的方法有双源CT和能谱CT等^[9-10]。但是,采用以上方法需要重复扫描或采用两束不同能量X线束快速扫描,这必然会导致患者受到更多辐射的剂量。

目前已有相关研究提出了不同的方法以抑制CT扫描中金属植入物的影响,并且取得不同程度的效果^[11-13]。郁仁强等^[14]研究表明IMAR技术会使得噪声明显降低,提高CT图像的质量,使组织CT值与真实值更接近,对术后观察更加有利。郁斌等^[15]的研究表明IMAR技术可使得金属伪影的严重程度得到显著改善,并对组织CT值进行校正,使之与真实CT值更加接近。在本研究中,FBP+IMAR组靠近金属伪影区域(软组织及竖脊肌)的AI值均小于FBP组和AG值与CT值均大于FBP组,这说明了IMAR技术能显著降低金属伪影的严重程度,并对组织CT值进行校正,使之与组织真实CT值更加接近。这与郁仁强和郁斌等人的研究结果相似,但并不完全一致。针对IMAR技术对于金属与骨质界面的CT值、AI值和AG值的影响不大。其原因可能是IMAR技术对金属区域分割过程中,未能准确将金属区域分割出来导致残留数据提高了校正后组织的CT值,这部分残留的数据仍旧会使图像细节失真和界限不清等。Yu L等^[16]研究表明经过校正后的CT图像,金属植入物周边残留伪影可能是金属与组织分割不完整,使得两种组织交界处的数据插值错误,从而导致重建后CT图像在两种组织的交界存在失真,这与本研究的结果一致。在远离金属伪影区域的软组织FBP+IMAR组和FBP组的CT值、AI值和AG值无显著差异。这说明了对于没有金属伪影存在的组织IMAR技术不会对其有影响。本研究对于CT图像的主观评分进一步说明IMAR技术在抑制CT金属伪影的有效性。

由此可见IMAR技术能够改善腰椎金属内固定术后CT图像质量,为骨科医师提供更全面的信息,让医师对患者疗效、并发症及预后做出准确地评价。同时,所得到的影像更具真实感,可为临床提供更精确、更多的影像信息。

参考文献

- [1] Tang Y, Ye J, Hu X, et al. Retroperitoneoscopic debridement and internal fixation for the treatment of lumbar tuberculosis[J]. Medicine (Baltimore), 2021, 100 (37): 1-7.
- [2] Liu L, Luo L, Zhao C, et al. Postoperative management strategy of surgical site infection following lumbar dynesys dynamic internal fixation[J]. Pain Res Manag, 2021, 25 (1): 1-8.
- [3] 姜善华, 马守战, 郭永传. 对比PLIF术单侧或双侧椎间融合器在腰椎滑脱合并腰椎管狭窄症中的应用效果[J]. 罕少疾病杂志, 2023, 30 (01): 79-80.
- [4] 段伟, 谭瑞, 甘璐, 等. 三维CT模拟双通道螺钉置入同一腰椎椎弓根成功率的影响因素分析[J]. 骨科, 2021, 12 (2): 103-109.
- [5] Gondim Telxreira PA, Meyer JB, Baumann C, et al. Total hip prosthesis CT with single-energy projection based metallic artifact reduction: impact on the visualization of specific periprosthetic soft tissue structures[J]. Skeletal Radiol, 2014, 43 (9): 1237-1246.
- [6] 梅凌, 倪涛, 董晓俊, 等. 腰椎退行性疾病患者行内固定配合椎间植骨融合术后CT影像学效果评价[J]. 中国CT和MRI杂志, 2021, 19 (4): 144-146.
- [7] 王可天. 核素骨显像、MSCT在腰椎退行性病态患者诊治中的应用[J]. 中国CT和MRI杂志, 2021, 19 (02): 140-143.
- [8] 王海峰, 曾忠友, 金辉. 后路腰椎椎间融合术中使用皮质骨轨迹螺钉或椎弓根螺钉治疗腰椎退行性疾病[J]. 脊柱外科杂志, 2020, 18 (1): 53-57.
- [9] 王林, 刘斌. 双源CT单能谱成像技术在胸部内固定术后使用优化方案[J]. 实用放射学杂志, 2018, 34 (1): 121-125.
- [10] 张洪, 何晓清, 邹亚毅. 双源CT双能量成像技术在骨关节金属内固定去伪影成像的应用[J]. 中国CT和MRI杂志, 2018, 16 (11): 137-139.
- [11] 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[J]. 放射学实践, 2020, 35 (3): 394-397.
- [12] 李杰, 王春杰, 袁慧书. 金属伪影去除技术减低全膝关节置换物伪影的效果评价[J]. 实用放射学杂志, 2021, 37 (4): 659-662.
- [13] 戴贵东, 梁卡丽, 肖正远, 等. MSCT去金属伪影技术在颅内动脉瘤栓塞术评估中的应用价值[J]. 实用放射学杂志, 2018, 34 (7): 1107-1109.
- [14] 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[J]. 重庆医学, 2019, 48 (9): 1549-1551, 1559.
- [15] 郁斌, 吕富荣, 张黎, 等. 胸部CT扫描中迭代去金属伪影算法减少金属伪影的有效性[J]. 中国医学影像技术, 2017, 33 (4): 590-593.
- [16] Yu L, Zhang X, Li X, et al. Metal artifact reduction in 2D CT images with self-supervised cross-domain learning[J]. Phys Med Biol, 2021, 66 (17): 1-13.

(收稿日期: 2023-03-27)

(校对编辑: 孙晓晴)