

论 著

去金属伪影序列在腰椎金属植入物术后磁共振成像中的应用*

魏娟¹ 李培岭^{1,2} 赵振江^{1,2}
郭智萍^{2,*}1.河南省洛阳正骨医院(河南省骨科医院)
放射科(河南 郑州 450000)
2.河南省慢病健康管理重点实验室
(河南 郑州 450000)

【摘要】目的 探讨去金属伪影序列(syngo WARP)在腰椎金属植入物术后磁共振成像的应用价值。方法 比较纳入研究标准的39例腰椎金属植入物术后患者1.5T MRI矢状位短反转时间反转恢复(STIR)序列与syngo WARP T₂-tirm序列在植入物伪影面积、植入物周围解剖结构的可见性及术后并发症诊断可信度方面的差异。结果 syngo WARP T₂-tirm序列金属伪影的面积明显小于常规STIR序列,差异具有统计学意义($P<0.01$); syngo WARP T₂-tirm序列能清晰显示植入物周围椎体、椎弓根及椎间孔,差异具有统计学意义($P<0.01$);而常规STIR序列可清晰显示椎间孔内神经根,差异具有统计学意义($P<0.01$); syngo WARP T₂-tirm序列对术后并发症的评估优于常规STIR序列。结论 syngo WARP T₂-tirm序列可有效降低金属植入物的伪影,对腰椎术后解剖结构的显示有一定优势,能有效的评估术后并发症。

【关键词】脊柱;磁共振成像; Syngo WARP序列; 金属伪影

【中图分类号】R323.3

【文献标识码】A

【基金项目】2020年河南省科技攻关项目
(202102310362)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2022.12.059

Application of Demetal Artifact Sequence in Postoperative Magnetic Resonance Imaging of Lumbar Metal Implants*

WEI Juan¹, LI Pei-ling^{1,2}, ZHAO Zhen-jiang^{1,2}, GUO Zhi-ping^{2,*}.1.Department of Radiology, Luoyang Orthopedic-Traumatological Hospital of Henan Province(Henan Province Orthopedic Hospital), Zhengzhou 450000, Henan Province, China
2.Hennan Key Laboratory of Chronic Disease Management, Zhengzhou 450000, Henan Province, China

ABSTRACT

Objective To investigate the value of syngo WARP in postoperative magnetic resonance imaging of lumbar metal implants. **Methods** The 1.5T sagittal MRI short inversion time inversion recovery (STIR) sequence and syngo WARP T₂-tirm sequence were compared in terms of implant artifact area, peri-implant anatomic structure, and diagnostic reliability of postoperative complications in 39 patients with inclusion criteria after lumbar metal implants. **Results** The area of metal artifacts in Syngo WARP T₂-tirm sequence was significantly smaller than that in conventional STIR sequence ($P<0.01$). Syngo WARP T₂-tirm sequence could clearly show the vertebral body, pedicle and intervertebral foramen around the implant, and the difference was statistically significant ($P<0.01$). Conventional STIR sequence could clearly display foraminal nerve roots, and the difference was statistically significant ($P<0.01$). The Syngo WARP T₂-tirm sequence was superior to the conventional STIR sequence in assessing postoperative complications. **Conclusion** Syngo WARP T₂-tirm sequence can effectively reduce the artifact of metal implants, and has certain advantages in the display of postoperative lumbar anatomical structure, and can effectively evaluate postoperative complications.

Keywords: Spine; Magnetic Resonance Imaging; Syngo WARP Sequence; Metal Artifact

随着腰椎疾病患者的增多,接受腰椎金属植入物手术的患者日益增加,其中,自体骨移植联合腰椎椎弓根螺钉内固定成为腰椎退行性疾病的标准治疗术式^[1]。MRI检查由于良好的软组织分辨率,在腰椎金属植入物术后患者中得到广泛应用,去金属伪影(syngo WARP)优化序列由于可减少腰椎金属植入物术后患者MRI图像中的金属伪影,有助于清晰显示金属植入物周围的解剖结构及病变范围,在腰椎金属植入物术后患者中得到一定的应用^[2-3]。MRI检查的抑脂序列有益于病变的显示,对诊断术后患者是否存在并发症至关重要^[4]。但由于去金属伪影序列扫描时间较普通序列长,作为MRI常规检查有一定限制。本研究的目的是探讨1.5T MRI腰椎金属植入物患者短反转时间反转恢复(short tau inversion recovery sequence, STIR)序列与脂肪抑制syngo WARP序列在金属植入物伪影面积、植入物周围解剖结构的可见性及术后并发症评估方面的差异,探讨脂肪抑制syngo WARP序列在腰椎金属植入物患者中是否较STIR序列具有优越性。

1 资料与方法

1.1 研究对象 本研究为回顾性研究,收集2020年1月至2021年7月,在我院行1.5T MRI检查的腰椎金属植入物术后的患者图像。

本研究的纳入标准如下:在腰椎和骶骨之间行椎弓根螺钉固定的成年患者;MRI扫描序列中均包括矢状位常规STIR序列及syngo WARP T₂-tirm序列的患者图像;所用金属植入物均为钛合金椎弓根螺钉。所有患者在进行检查前均签署知情同意书。

1.2 MRI数据采集 采用德国Siemens Magnetom Aera 1.5T超导MRI扫描仪,使用18通道脊柱相控阵线圈,所有患者扫描序列中均包括矢状位常规STIR序列及syngo WARP T₂-tirm成像;扫描序列的重复时间(repetition time, TR)、回波时间(echo time, TE)、视野(field of view, FOV)、层厚、层间距、矩阵、带宽,具体参数见表1。

1.3 图像分析 由两位9年以上的高年资放射科医生在PACS工作站进行图像测量、分析及评估,主要包括植入物伪影面积的测量、评价植入物周围解剖结构的可见性及术后并发症的评估。

1.3.1 定量评价 伪影面积测量:由1位医师选取同一患者常规STIR序列和syngo WARP T₂-tirm序列中相匹配的旁正中(金属螺钉椎间孔层面)矢状位图像,手动勾画感兴趣区,测量金属伪影的面积,包括信号缺失所形成的暗区、信号堆积所形成的亮区及金属植入物周围的几何失真区域^[5-6]。

1.3.2 定性评价 植入物周围解剖结构可见性的评估,包括椎体、椎弓根、椎间神经孔、神经根及椎管在螺钉界面的可见度,评分标准如下:0级,完全不可见;1级,可见面积小于解剖结构的25%;2级,可见面积在25%-50%之间;3级,可见面积在50%~75%之间;4级,可见面积超过预期面积的75%,但轻微受金属伪影影响;5级,完全可见。

术后并发症诊断的评估,包括椎体、椎间盘、椎间孔和椎弓根螺钉、椎管、椎旁

【第一作者】魏娟,女,主治医师,主要研究方向:骨肌系统影像学诊断。Email: wj20130824@163.com

【通讯作者】郭智萍,女,主任医师,主要研究方向:影像诊断及健康管理。E-mail: gzpsou@126.com

软组织的术后并发症。对于每个结构，并发症是否存在分为以下两类：不确定性的，即怀疑是否存在；确定性的，绝对有或绝对无。包括椎旁软组织有无水肿、血肿、脓肿或窦道；椎体骨质信号有无异常；椎间孔是否存在狭窄；椎间盘有无突出等异常改变；椎管异常改变，包括椎管内血肿或脓肿，椎管狭窄，脊髓或马尾信号异常，脑脊液痿等；椎弓根螺钉异常的评价，包括位置异常或有无穿破骨质；如果在任何层面看到任何不确定的病变，图像就被认为是不确定[7]。两名医师分别对图像进行评价，意见不一致时经协商给出统一意见。

1.4 统计学分析 使用SPSS 25.0软件进行统计分析，两种序列间金属伪影面积的比较采用配对t检验， $P<0.01$ 表示差异有统计学意义；用Wilcoxon秩和检验评估植入物周围解剖结构可见性的差异， $P<0.01$ 表示差异有统计学意义；观察者间的可靠性评估使用kappa一致性分析， k 值 >0.75 为一致性好， k 值在 $0.4\sim0.75$ 之间为一致性较好， k 值 <0.4 为一致性差；计量资料结果以均数 $\pm$ 标准差($\bar{x}\pm s$)表示。

2 结果

39例腰椎植入物患者中，男性21例，女性18例，年龄32岁~79岁，平均年龄 56.69 ± 10.54 岁。术后检查时间5天~5年6个月，平均术后检查时间约9.2个月，其中15例患者术后检查时间小于10天。平均节段数 2.64 ± 0.843 ，其中2节段22例，3节段10例，4节段6例，5节段1例。

2.1 金属伪影面积比较 syngo WARP T₂-tirm序列和常规STIR序列上金属伪影面积分别为 (21.38 ± 9.64) 和 $(32.46\pm12.72)\text{cm}^2$ ， $t=-12.755$ ， $P=0.000$ ， $P<0.01$ ，差异具有统计学意义。syngo WARP T₂-tirm序列金属伪影面积明显小于常规STIR序列(图1、图2)。

2.2 植入物周围解剖结构的可见性评价 将两名影像诊断医师

在syngo WARP T₂-tirm序列和常规STIR序列矢状位上对植入物周围椎体、椎弓根、椎间孔及神经根的可见性进行Kappa一致性分析，Kappa值范围为 $0.713\sim0.809$ ，两者一致性较好。经Wilcoxon秩和检验， $P<0.001$ ，差异均具有统计学意义(表2)。两者比较，syngo WARP T₂-tirm序列能够清晰显示植入物周围椎体、椎弓根及椎间孔，而常规STIR序列能清晰显示椎间孔内神经根。

2.3 术后并发症的评估 39例患者中，术前诊断椎管狭窄35例，椎体骨折2例，椎体及软组织感染2例。术后MRI复查示：2例患者由于椎旁软组织水肿范围较小，syngo WARP T₂-tirm序列能明确有软组织水肿，而常规STIR序列由于金属伪影存在而难以确定；3例患者syngo WARP T₂-tirm序列能明确存在椎体骨髓水肿，而常规STIR序列由于金属伪影存在而难以确定(图3)。对于椎管及椎间盘是否存在病变，两个序列评估基本一致。4例患者由于金属伪影较大，常规STIR序列难以确定是否存在椎间孔狭窄，而syngo WARP T₂-tirm序列可明确椎间孔狭窄。

表1 39例患者矢状面常规STIR和syngo WARP T₂-tirm磁共振成像参数

项目	矢状面STIR T ₂ WI	矢状面T ₂ -tirmWARP
TR(ms)	3200	3270
TE(ms)	170	170
FOV(mm×mm)	320×320	320×320
层厚(mm)	4.0	4.0
层间距(mm)	4.0	4.0
矩阵	320×320	320×320
带宽	191	651

表2 腰椎金属植入物周围解剖结构可见性评价

	观察者1				观察者2			
	WARP	STIR	Z值	P	WARP	STIR	Z值	P
椎体	2.97 ± 0.486	1.87 ± 0.570	-5.154b	0.000	2.92 ± 0.580	1.85 ± 0.540	-4.925b	0.000
椎弓根	1.95 ± 0.647	0.72 ± 0.724	-5.175b	0.000	1.82 ± 0.601	0.64 ± 0.666	-5.190b	0.000
椎间孔	3.51 ± 0.756	2.95 ± 0.560	-3.657b	0.000	3.44 ± 0.718	2.85 ± 0.540	-3.758b	0.000
神经根	2.00 ± 1.051	2.79 ± 0.864	-3.933c	0.000	1.77 ± 0.931	2.74 ± 0.850	-4.530c	0.000

注：数据采用平均值 $\pm$ 标准差表示，2名观察者对植入物周围解剖结构采用从0(完全不可见)到5(完全可见)的评分法。可见性的值是靠近金属固定水平的上下节段之间的最低等级， $P<0.01$ 表示差异具有统计学意义。(WARP: syngo WARP T₂-tirm序列矢状位；STIR: 常规STIR序列矢状位)

3 讨论

3.1 syngo WARP序列减低金属植入物伪影的研究 腰椎金属植入物患者行MRI检查时，金属伪影产生的原因主要是金属植入物存在导致周围局部磁场不均匀，金属植入物附近的磁场信号强度发生改变，导致空间位置错误、信号丢失和脂肪抑制失败^[8-9,11-14]。在MR图像上主要表现为信号丢失所形成的暗区、信号过度积累所形成的亮区以及组织结构的几何形变、解剖结构的失真^[10,13-15]。减少金属伪影的策略包括：低磁场强度成像、相位和频率编码方向的选择、基于自旋-回波的脉冲序列、高接收带宽、高射频带宽、薄层成像、增加图像矩阵、使用短反转时间反转恢复序列(STIR)^[14,17]。其中syngo WARP序列与常规序列相比，主要采用视角倾斜技术(viewangle tilting, VAT)、层面编码金属伪影校正技术(slice encoding for metal artifact correction, SEMAC)以及高带宽技术，能有效减少或者去除金属植入物伪影，并能够提高金属植入物周围局部组织解剖及病变的显示能力^[13,16-21]。STIR序列在金属存在的情况下，通过匹配反转脉冲和激励脉冲的带宽，可以消除金属内固定周围残余的失效脂肪抑制，有效提高肿瘤、骨髓水肿、感染的检出^[12,15-16]。

本研究中，腰椎金属植入物患者MRI检查，syngo WARP T₂-

tirm序列和常规STIR序列金属伪影的面积分别为 (21.38 ± 9.64) 和 $(32.46\pm12.72)\text{cm}^2$ ，syngo WARP T₂-tirm序列能有效减小金属伪影面积约35%，与以往研究^[3,8,14,16]syngo WARP序列可有效降低金属植入物伪影一致。本研究用测量金属伪影面积的方法，给出两种序列腰椎植入物患者的金属伪影面积，使得金属伪影减少的数据更为直观化、具体化。

3.2 syngo WARP序列降低金属伪影的价值 syngo WARP序列扫描时间较常规序列有所延长，且信噪比稍有降低^[3,8,15,19]。部分术后患者由于疼痛难以坚持，会产生运动伪影，影响图像质量。从本研究结果来看，syngo WARP tirm序列可有效减低植入物周围的金属伪影，使椎体、椎管及椎间孔得以良好的显示；另一方面，由于syngo WARP tirm序列信噪比降低，椎间孔内神经根的显示较常规STIR序列稍差，这一结论与以往研究^[17]稍有出入，其原因可能是观察者不能完全盲评，出现观察偏倚所致。对术后并发症的评估，由于syngo WARP T₂-tirm序列能明显降低金属伪影，有助于病变的显示，优于常规STIR序列对患者术后并发症的评估。

尽管有很多研究报道了syngo WARP序列的优点^[3,8,13,18,20]，但对syngo WARP序列是否能取代传统成像还不确定。从本研究和

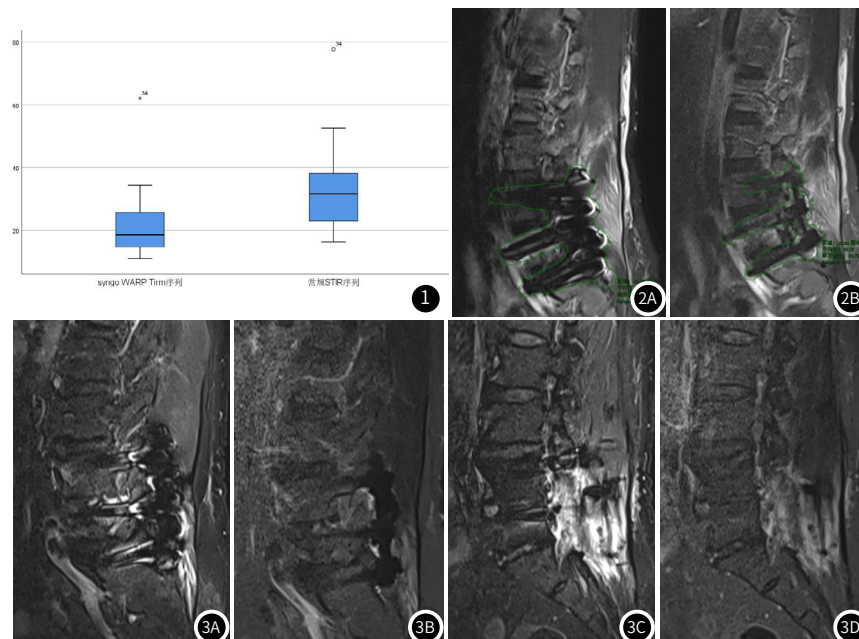


图1 箱式图显示syngo WARP T₂-tirm 序列和常规STIR序列上金属伪影面积的差别, syngo WARP T₂-tirm序列金属伪影面积的平均值显著小于常规STIR序列。**图2** 45岁女性患者, 因腰椎椎管狭窄行L4-5椎体融合术并L4-S1腰椎后路内固定术, 实线表示手工绘制的ROI, 包括信号空洞、信号堆积和几何失真区, 常规STIR序列(图2A)和syngo WARP T₂-tirm序列(图2B)伪影面积分别约41.35cm²和22.69cm²。**图3** 65岁男性患者, 因腰椎椎管狭窄行L4-5、L5-S1椎体融合术并L4-S1腰椎后路内固定术, 矢状位相同层面示syngo WARP T₂-tirm序列(图3B、图3D)金属内固定伪影面积较常规STIR序列(图3A、图3C)明显减小, 图3B可清晰显示椎间孔、椎弓根, 但椎间孔内神经根的显示相对较差; 图3C示L5椎体受金属植入物伪影的影响, 无法准确判断L5椎体螺钉周围是否存在骨髓水肿, 图3D示同层面金属植入物伪影明显减小, L5椎体无骨髓水肿存在。

既往研究的结果来看, 作者建议在术后随访MRI检查中采用syngo WARP序列作为常规序列的补充。

3.3 本研究的局限性 首先, syngo WARP tirm序列和常规STIR序列图像存在差异, 主观评分方面无法做到完全盲评, 会出现评分偏倚; 其次, 由于本研究样本量较小, 观察到的并发症种类并不完全, 有待后续扩大样本量继续研究; 再次, 本研究仅纳入矢状位syngo WARP T₂-tirm序列和常规STIR序列其他序列并未纳入此次研究中, 有待于进一步完善观察研究。

参考文献

- [1] 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(04): 144-146.
- [2] Jungmann PM, Agten CA, Pfirrmann CW, et al. Advances in MRI around metal. J Magn Reson Imaging. 2017, 46(4): 972-991.
- [3] 高菲菲, 魏毅, 卫淑芳, 等. 3.0 T MRI去除脊柱金属植入物伪影的临床可行性研究[J]. 中华放射学杂志. 2017, (7): 519-524.
- [4] Xin C, Liu H, Li S, et al. Using SEMAC at 3 T MR to evaluate spinal metallic implants and peripheral soft tissue lesions[J]. Medicine (Baltimore), 2020, 99(25): 1-9.
- [5] Susa M, Oguro S, Kikuta K, et al. Novel MR imaging method—MAVRIC—for metal artifact suppression after joint replacement in musculoskeletal tumor patients[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2015, 16: 377.
- [6] 杨仁杰, 查云飞, 范阳, 等. MAVRIC-SL技术抑制颈椎前路术后STIR图像上金属伪影的可行性[J]. 放射学实践. 2019, (4): 463-467.
- [7] Park C, Lee E, Yeo Y, et al. Spine MR images in patients with pedicle screw fixation: Comparison of conventional and SEMAC-VAT sequences at 1.5 T[J]. Magn Reson Imaging, 2018, 54: 63-70.
- [8] 陈财忠, 李初晨, 张润杰, 等. 去金属伪影序列在脊柱金属植入物患者MR成像中的应用[J]. 中华放射学杂志. 2014, (4): 320-323.
- [9] 代自伦, 黄声丽. 去金属伪影序列对胸腰椎体金属植入患者磁共振影像的影响[J]. 中国CT和MRI杂志, 2015, 13(06): 104-107.
- [10] Fleege C, Makowski M, Rauschmann M, et al. Carbon fiber-reinforced pedicle screws reduce artifacts in magnetic resonance imaging of patients with lumbar spondylodesis[J]. Sci Rep, 2020, 10(1): 16094.
- [11] Reichert M, Ai T, Morelli JN, et al. Metal artifact reduction in MRI

at both 1.5 and 3.0 T using slice encoding for metal artefact correction and view angle tilting[J]. British institute of Radiology, 2015, 88(1048): 20140601.

- [12] Khodarahmi I, Isaac A, Fishman EK, et al. Metal About the Hip and Artifact Reduction Techniques: From Basic Concepts to Advanced Imaging[J]. Seminars in Musculoskeletal Radiol, 2019, 23(3): e68-e81.
- [13] 朱婧怡, 常剑, 张子田, 等. 骨折内固定术后复查MAVRIC-SL序列去金属伪影的研究[J]. 磁共振成像. 2020, (4): 296-299.
- [14] Murakami S, Verdonschot RG, Kataoka M, et al. A standardized evaluation of artefacts from metallic compounds during fast MR imaging[J]. British institute of Radiology, 2016, 45(8): 20160094.
- [15] Peschke E, Ulloa P, Jansen O, et al. Metallic Implants in MRI -Hazards and Imaging Artifacts[J]. Fortschr Röntgenstr, 2021,
- [16] Xin C, Liu H, Li S, et al. Using SEMAC at 3 T MR to evaluate spinal metallic implants and peripheral soft tissue lesions[J]. Medicine, 2020, 99: 25(e20139).
- [17] Wimmer W, Hakim A, Kiefer C, et al. MRI Metal Artifact Reduction Sequence for Auditory Implants: First Results with a Transcutaneous Bone Conduction Implant[J]. Audiol Neurotol, 2019, 24(2): 56-64.
- [18] 张晶晶, 孙伟, 曾蒙苏, 等. 去金属伪影序列syngo WARP在磁共振成像中的应用[J]. 中国临床医学, 2016, (5): 644-647.
- [19] Han SB, Yoon YC, Kwon JW. Comparison Study between Conventional Sequence and Slice-Encoding Metal Artifact Correction (SEMAC) in the Diagnosis of Postoperative Complications in Patients Receiving Lumbar Inter-Body Fusion and Pedicle Screw Fixation Surgery[J]. PLOS ONE. 2016, 11(10): e0163745.
- [20] Tran LTX, Sakamoto J, Kuribayashi A, et al. Quantitative evaluation of artefact reduction from metallic dental materials in short tau inversion recovery imaging: efficacy of syngo WARP at 3.0 tesla[J]. Dentomaxillofac Radiol. 2019, 48(7): 20190036.
- [21] Lee YH, Hahn S, Kim E, et al. Fat-suppressed MR Imaging of the Spine for Metal Artifact Reduction at 3T: Comparison of STIR and Slice Encoding for Metal Artifact Correction Fat-suppressed T2-weighted Images[J]. Magn Reson Med Sci, 2016, 15(4): 371-378.

(收稿日期: 2022-03-12)

(校对编辑: 姚丽娜)