

论 著

MAVRIC-SL技术在膝关节金属置换术后3.0T MR成像上的应用价值*

1. 四川大学华西医院放射科

(四川 成都 610041)

2. 四川大学华西医院骨科

(四川 成都 610041)

陈庭宇¹ 唐鹤菡¹ 姚 凯²徐 慧¹ 张金戈¹

【摘要】目的 探讨MAVRIC-SL技术在膝关节金属假体置换后3T磁共振成像中的应用价值。**方法** 收集在本院行钛合金材料膝关节置换后需磁共振复查的18名患者。所有患者均在GE 750W 3.0T MRI扫描仪上行术后膝关节冠状及矢状位的PD-FSE及PD-MAVRIC-SL扫描。分别测得两组图像金属假体及周围伪影区域面积大小,记录两组图像的异常病变发现数,并采用双盲法对两组图像的确诊信心、解剖细节、金属植入物与组织交界处可视化进行评分。**结果** (1)图像金属假体及周围伪影面积在PD-MAVRIC-SL序列的冠状位(47.47 ± 1.87) cm^2 和矢状位(45.05 ± 2.09) cm^2 上分别小于PD-FSE的冠状(62.7 ± 1.11) cm^2 及矢状(59.87 ± 0.52) cm^2 ($P < 0.05$); (2)MAVRIC-SL序列对在金属植入物与组织交界面显示及伪影评分、解剖结构的显示均优于FSE序列 ($P < 0.05$); (3)MAVRIC-SL序列较FSE序列更利于异常病变的发现 ($P < 0.05$)。**结论** 较传统FSE序列而言,MAVRIC-SL序列可明显降低膝关节置换术后金属伪影、改善图像质量、提高诊断信心,具有重要的临床应用价值。

【关键词】 膝关节; MAVRIC-SL技术; 金属伪影; 金属假体

【中图分类号】 R322.7+2

【文献标识码】 A

【基金项目】 四川省医学科学研究课题(编号:16PJ009)

DOI: 10.3969/j.issn.1672-5131.2020.09.050

通讯作者: 唐鹤菡

Application of MAVRIC-SL Technique of Knee Joint Metal Replacement at 3.0T MRI*

CHEN Ting-yu, TANG He-han, YAO Kai, et al., Department of Radiology, West China Hospital of Sichuan University, Chengdu 610041, Sichuan Province, China

[Abstract] Objective To explore the application value of MAVRIC-SL technique in patients with metal prosthesis replacement at 3T MRI. **Methods** 18 patients with Titanium alloy prosthesis were recruited. All patients underwent the MRI examination (GE Discovery 750W 3.0T) with FSE and MAVRIC-SL in coronal and sagittal plane. The area of metal implants and surrounding artifacts were measured. The display and artifact of interface between metal implant and tissue, the anatomical details and the diagnosis confidence were scored by double-blind methods. The number of abnormal lesions found in two groups were recorded. **Results** (1) The area of metal implants and surrounding artifacts of PD-MAVRIC-SL in coronal plane (47.47 ± 1.87) cm^2 and in sagittal plane (45.05 ± 2.09) cm^2 were less than PD-FSE coronal plane (62.7 ± 1.11) cm^2 and sagittal plane (59.87 ± 0.52) cm^2 respectively ($P < 0.05$). (2) The display and artifact of interface between metal implant and tissue, the anatomical details and the diagnosis confidence of MAVRIC-SL were superior to FSE ($P < 0.05$). (3) Compared with FSE, MAVRIC-SL is beneficial to detecting abnormal lesions ($P < 0.05$). **Conclusion** Compared with FSE technique, MAVRIC-SL technique could reduce the artifacts of imaging, improve the qualification of image, increase the diagnosis confidence significantly in patients with knee metal arthroplasty.

[Key words] Knee Joint; MAVRIC-SL; Technique; Metal Artifacts; Metal Implants

全膝关节置换术(total knee arthroplasty, TKA)是治疗终末期膝关节疾病的有效方法之一^[1],近年来被普遍应用于临床。但膝关节置换术后并发症,如:磨损、松动、感染、骨溶解等,是影响术后疗效的主要原因^[2]。因此,尽早、及时发现并诊断TKA术后并发症,对患者的预后至关重要。

较X线、CT而言,磁共振(magnetic resonance imaging, MRI)在显示关节软骨、周围软组织、液化灶等方面更具优势,可良好显示关节积液,肉芽肿,骨溶解,肿瘤复发等^[3]。但TKA术后植入的金属假体会导致B0磁场的不均匀,影响金属植入物部位病变的显示,阻碍诊断。

近年来,人们对金属假体的成分及磁共振的序列作了一系列改进,以期降低关节金属植入物对MRI成像的影响。多采集变谐波图像融合-选择性激发技术(Multiacquisition with variable resonance image combination-selective, MAVRIC-SL)^[4-5]是近年来新发展的一种磁共振技术,它能够很好地降低金属植入物对磁共振成像的干扰,提高金属植入物的关节磁共振图像质量。但是该技术用于全膝关节置换术后的磁共振图像评估鲜有报道。本文旨在通过对常规FSE序列和MAVRIC-SL序列的比较,探讨MAVRIC-SL技术在膝关节金属置换术后的应用价值。

1 材料和方法

该研究得到四川大学华西医院医疗伦理委员会的批准,编号为NO:201302009,所有患者在检查前均签署知情同意书。

1.1 研究对象 纳入2017年9月至12月来我院行钛合金材料膝关节置换后磁共振复查的患者18名,其中男性8名、女性10名,年龄范围为:35~62岁,平均年龄 $= (51.06 \pm 7.51)$ 岁。18名患者行TKA的原因分别为:膝关节骨性关节炎(5例, Kellgren-Lawrence分级均为IV级),胫骨平台骨折(1例),膝关节滑膜肿瘤(2例),膝关节骨肉瘤(6例),膝关节骨巨细胞瘤(4例)。

纳入标准:①患者行单侧膝关节行TKA术后6个月以上;②患者因病情需行膝关节MRI扫描;③患者年龄为18~75岁;④患者无磁共振检查禁忌症,如植入非磁共振兼容心脏起搏器等。

排除标准:①患者有幽闭恐惧症;②患者不配合检查。

1.2 成像方法 采用GE 750W 3.0T MRI扫描仪及4通道膝关节专用线圈对18例膝关节行冠状或矢状位的图像采集,序列包括:

1.2.1 快速自旋回波(fast spin echo, FSE)序列组:质子加权成像(proton weighted imaging, PDWI)、质子加权成像加脂肪抑制(PD-STIR);

1.2.2 MAVRIC-SL序列组:PD-MAVRIC-SL、PD-MAVRIC-SL-STIR脂肪抑制序列(扫描序列及参数见表1)。

1.3 图像分析 采用GE ADW 4.6工作站,对图像进行定量和定性分析。

1.3.1 定量分析^[6]:在冠状或矢状的PD-FSE及PD-MAVRIC-SL上进行测量。测量时,以胫骨平

台平面为中心,取相同上下范围,在范围内测量金属假体和伪影面积。如图1-4。

1.3.2 定性分析:由两位具有5年以上诊断经验的肌肉骨骼放射学医师共同分析图像。分析时隐藏所有患者姓名、序列名称、参数等相关信息。意见不一致时,两位放射诊断医师共同协商,并最终获得一致意见。

分别对FSE序列组及MAVRIC-SL序列组中的金属植入物与组织交界面显示及伪影、解剖细节、诊断信心评价、异常病变发现数目进行Likert评分。

①金属植入物与组织交界面显示及伪影评分^[5]:5分-未见金属伪影,金属植入物与组织交界面显示非常清晰;4分-轻微伪影,金属植入物与周围组织交界面可较好显示;3分-轻度伪影,金属植入物与周围组织交界面基本可见;2分-伪影干扰较重,金属植入物与周围组织交界面勉强可见;1分-伪影干扰严重,金属植入物与周围组织交界面无法显示。

②解剖细节评分^[5]:3分-髌骨、前后交叉韧带显示清晰;2分-髌骨、韧带部分可见;1分-膝关节解剖结构不可见。

③诊断信心评分^[5]:1分-诊断信心在FSE序列组高于MAVRIC-SL序列组;2分-诊断信心在FSE序列组与MAVRIC-SL序列组上无差别;3分-可以在FSE序列组诊断,但是在MAVRIC序列组上可显示更清晰;4分-FSE序列组不能诊断,但MAVRIC-SL序列组可能勉强诊

断;5分-FSE序列组不能诊断,但在MAVRIC-SL序列组上能较好诊断。

④异常病变发现数目^[5-6]:评价在膝关节置换术后可能存在的并发症,如关节积液、滑膜炎、骨髓水肿、肌腱病变和骨溶解的异常。并同时记录任何其他异常发现。关节积液被定义为关节内液体的异常存在;滑膜炎被定义为增厚囊壁内的液体积聚;骨髓水肿被定义为骨髓轻微的信号上升;肌腱病变表现为肌腱信号的改变和增厚;骨溶解被定义为邻近骨髓信号由中至高信号强度替代,并伴随潜在的骨皮质破坏。

1.4. 统计方法 采用SPSS Statistics23统计学软件对所得数据进行分析。

1.4.1 采用配对T检验:比较金属假体及周围伪影区域面积的大小在两组序列上无差异。

1.4.2 采用两配对样本的Wilcoxon秩和检验:比较两组序列的金属植入物与组织交界处显示及伪影、解剖细节、诊断信心。

1.4.3 采用配对两样本的(麦克尼马尔)McNemar变化显著性检验比较异常结果的差异。

计量资料呈正态分布者以 $(\bar{x} \pm s)$ 表示。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

18名患者均能良好配合检查,符合纳入标准。

2.1 定量分析

测得冠状位

表1 扫描序列及成像参数

序列	TR/TE (ms)	TI (ms)	层厚 (mm)	视野 (cm ²)	矩阵	回波链长度	扫描时间 (秒)
PD-FSE	2200/30	---	4	26 × 20.8	320 × 256	10	165s
PD-STIR	4859/30	180	4	26 × 20.8	320 × 256	8	219s
PD-MAVRIC-SL	3666/6.2	---	4	26 × 20.8	320 × 256	20	323s
PD-MAVRIC-SL-STIR	4500/6.2	175	4	26 × 20.8	320 × 256	20	378s

表2 PD-FSE 与 PD-MAVRIC-SL金属植入物伪影面积比较

检查方位	PD-FSE金属植入物 伪影面积 (cm ²)	PD-MAVRIC-SL金属植入物 伪影面积 (cm ²)	P值
冠状位	62.70 ± 1.11cm ²	47.47 ± 1.87cm ²	P < 0.05
矢状位	59.87 ± 0.52cm ²	45.05 ± 2.09cm ²	P < 0.05

表3 膝关节金属假体置换术后采集序列的定性分析

评分类型	FSE	MAVRIC-SL	P值
金属植入物与组织交界面显示及伪影	1.35 ± 0.76	3.90 ± 0.31	P < 0.05
解剖细节显示	1.15 ± 0.38	2.50 ± 0.51	P < 0.05

表4 异常病变在MAVRIC-SL序列及FSE序列中的显示

异常病变类型	PD-FSE	PD-MAVRIC-SL	P值
关节积液	3	12	0.004
滑囊炎	2	6	0.125
骨髓水肿	0	2	0.5
肌腱病变	1	3	0.5
骨溶解	1	2	1.0
其它异常发现(可不改骨肿瘤复发)	4	9	0.063
异常病变发现总数	12	33	< 0.001

PD-MAVRIC-SL序列的图像金属假体及周围伪影面积较PD-FSE序列减少24%。测得矢状位PD-MAVRIC-SL序列的图像金属假体及周围伪影面积较PD-FSE序列减少25%(见表2,图5-8、9-12)。

2.2 定性分析

2.2.1 金属植入物与组织交界处的显示及伪影评分:MAVRIC-SL序列对在金属植入物与组织交界面显示及伪影的影响优于FSE序列(图5-8、9-12,表3)。

2.2.2 解剖细节评分:MAVRIC-SL序列对于TKA术后金属植入物区域的解剖结构的显示优于(2.50 ± 0.51)FSE序列(1.15 ± 0.38),差异有统计学意义(P < 0.05)(图5-8、9-12,表3)。

2.2.3 诊断信心评分:平均的诊断信心评分为(4.55 ± 0.22),说明较FSE序列而言,MAVRIC-SL序列能提高诊断医师对病变的诊断信心(图5-8、9-12,13-16)。

2.2.4 异常病变评估中发 现,与FSE序列相比,MAVRIC-SL序列对关节积液的显示优于FSE序列(P=0.004)(图13-16)。在MAVRIC-SL序列上发现两例骨髓水肿,但在FSE序列上未能查见。对于异常病变的发现总数,MAVRIC-SL序列明显高于FSE序列(P < 0.01)(见表4)。

3 讨 论

膝关节是人体最大的关节之一,其解剖结构复杂,易受外伤及关节磨损的困扰。近年来,膝关节损伤发生率逐年上升,并随着年龄的增长而发病率增高^[7-9]。膝关节功能受损,会导致膝关节疼痛、运动受限等情况,严重影响患者的生活质量。同时,膝关节周围也是骨肿瘤的好发部位,如骨巨细胞瘤、骨肉瘤等^[10]。当膝关节有严重病变,如创伤性关节炎、膝关节滑膜良性肿瘤或骨肿瘤、胫骨高位截骨

术后的骨关节炎、结核或者化脓性感染、缺血性骨软骨坏死性病 变等,经过保守治疗无效或效果 不明显,则常进行全膝关节置换 术^[11-12]。

但是,虽然TKA有较好的安全性,但是仍不可避免其并发症, 主要包括:膝关节肿瘤术后复 发、假体感染、滑囊炎、肌腱炎 关节不稳、关节僵硬、膝关节畸 形、假体周围骨溶解等^[10, 13]。这 些并发症给患者带来痛苦,也直 接影响治疗的近期和远期效果。 尽早、精确的诊断对并发症的治 疗与控制有着积极影响。磁共振 相较于X线及CT,具有多参数、 多平面成像,组织对比度高等优 势,有利于骨髓炎、肿瘤等诊 断。但是TKA术后的金属植入物 会影响MRI的磁场均匀性,引起图 像变形、金属伪影等问题,影响MRI 图像质量和诊断。

3.1 MRI降低金属伪影的相关 研究 基于磁共振成像原理,金属 植入物带来的磁敏感伪影可影 响MRI图像质量,干扰对金属植 入物周围精细解剖结构、周边软 组织修复状态及并发症的判断^[14]。快速自旋回波序列的180°重聚脉 冲能够减轻金属周围磁场不均匀 带来的伪影,但效果不明显^[15]。 有学者指出^[16],适当增加接收带 宽,可降低金属伪影,但带宽的 增加同时会引起SNR的降低。

MAVRIC-SL序列是一种既能显 著降低金属伪影,又能获得足够 信噪比的新技术。它结合多采集 变谐波图像融合(MAVRIC)和切片 编码的金属伪像校正(SEMAC)^[17] 技术,可以显著减少金属硬件附 近的磁敏感伪影^[18-20]。该序列采 用不同频段的多个范围的频率选 择性激励,能最小化图像失真,并 结合从不同频段获得的多个单独 的光谱图像,提供高信噪比(SNR)

图像；另一方面，它通过选择梯度使用多层激发，采用视角倾斜^[21]，从而达到降低图像变形、降低金属伪影的目的。但是MAVRIC-SL序列既往研究对象多为髌关节置换术后的患者或膝关节金属钉植入^[5, 18]，用于全膝关节置换术后患者的报道较少，且罕见TKA术后的脂肪抑制序列评价。

3.2 3.0 T MRI MAVRIC-SL序列降低金属伪影的价值 本研究将MAVRIC-SL序列应用到TKA术后患者的磁共振检查上，发现在冠状及矢状位图像上，MAVRIC-SL序列的金属植入物伪影面积较FSE序列分别降低了24.3%及24.8%，说明金属植入物伪影在MAVRIC-SL序列上的干扰得到了较好的控制。

在对图像质量的主观评分上发现，MAVRIC-SL较FSE而言，能够更加清晰地显示金属植入物与组织交界面，减轻金属植入物的变形、失真及金属植入物周边组织信号的丢失，降低伪影对图像质量的干扰；MAVRIC-SL序列较FSE序列更有利于TKA术后膝关节解剖部位的显示，其评分提高了116%；同时，在对病变作出判断时，MAVRIC-SL对病变的形态、大小、边界显示更清晰，因此诊断医师在MAVRIC-SL序列上更具有诊断信心。

在对异常病变的评估上，MAVRIC-SL序列能够提供更多数目的异常病变显示。在这20例膝关节扫描中，我们发现总的异常数目发现在MAVRIC-SL序列上为33个，而在FSE序列上仅为12个，异常病变个数的发现提高了近2倍。Martin Kretschmar等在将MAVRIC-SL序列应用于髌关节置换术后的患者时，也发现了类似的研究结果^[4]。

3.3 本研究的局限性 本研究有几个局限：①本研究纳入例

数较少，仅18例TKA术后膝关节磁共振扫描；②没有对MAVRIC-SL序列和FSE序列SNR、CNR等做出评价；③所有的异常发现都没有进行病理跟踪证实。

综上所述，MAVRIC-SL序列相较于常规FSE序列而言，可明显减少膝关节置换术后在3T MRI检查的金属伪影、改善图像质量、提高诊断信心，为TKA术后诊断肿瘤复发，关节积液，骨溶解等提供重要的临床依据，具有较高的临床应用价值。

参考文献

- [1] BISTOFIA, MASSAZZA G, ROSSO F, et al. Cemented fixed-bearing PFC total knee arthroplasty: survival and failure analysis at 12-17 years [J]. J Orthop Traumatol, 2011, 12 (3): 131-136.
- [2] 田孟强, 刘军, 张宇, 等. 全膝关节置换手术相关并发症探讨 [J]. 中国修复重建外科杂志, 2008, 23 (1): 55-59.
- [3] POTTER HG, FOO LF. Magnetic resonance imaging of joint arthroplasty. Orthop Clin North Am, 2006, 37 (3): 361-373.
- [4] KRETZSCHMAR M, NARDO L, HAN MM, et al. Metal artefact suppression at 3T MRI: comparison of MAVRIC-SL with conventional fast spin echo sequences in patients with Hip joint arthroplasty [J]. Eur Radiol, 2015, 25 (8): 2403-2411.
- [5] CHOI SJ, KOCH KM, HARGREAVES BA, et al. Metal artifact reduction with MAVRIC SL at 3-T MRI in patients with hip arthroplasty [J]. AJR Am J Roentgenol, 2015, 204 (1): 140-147.
- [6] 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 (16): 377.
- [7] BOZIC KJ, KURTZ SM, LAU M, et al. The epidemiology of revision total knee arthroplasty in the United States [J]. Clin Orthop Relat Res, 2010, 468 (1): 45-51.
- [8] 吴立红, 陈志刚, 沈良册, 等. 膝关节常见运动创伤康复研究进展. 中国康复, 2012, 3 (27): 214-216.
- [9] LINGARD EA, KATZ JN, WRIGHT EA, et al. Predicting the outcome of total knee arthroplasty [J]. J Bone Joint Surg Am, 2004, 86 (10): 2179-2186.
- [10] 郭卫, 王现海, 李大森, 等. 肿瘤性人工膝关节置换治疗膝关节骨肉瘤疗效及并发症分析 [J]. 中华外科杂志, 2007, 12 (45): 825-828.
- [11] 王建伟, 张光明, 徐中和, 等. 人工膝关节置换在膝周恶性骨肿瘤保肢术中的应用 [J]. 广东医学, 2006, 6 (27): 822-823.
- [12] 牛鸣, 马飞, 马菊蓉, 等. 基于3D打印的个性化截骨技术与传统方式行全膝关节表面置换的临床对比 [J]. 南方医科大学学报, 2017, 37 (11): 1467-1475.
- [13] 曹建伟, 廖有乔. 膝关节置换术及假体的研究进展 [J]. 医学综述, 2014, 19 (20): 3547-3548.
- [14] LIEBL H, HEILMEIER U, LEE S, et al. In vitro assessment of knee MRI in the presence of metal implants comparing MAVRIC-SL and conventional fast spin echo sequences at 1.5 and 3 T field strength [J]. J Magn Reson Imaging, 2015, 41 (5): 1291-1299.
- [15] 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 (51): 519-524.
- [16] TOMS AP, SMITH-BATEMAN C, MALCOLM PN, et al. Optimization of metal artefact reduction (MAR) sequences for MRI of total hip prostheses [J]. Clin Radiol, 2010, 65 (6): 447-452.
- [17] 高浪浪, 齐顺, 刘莹, 等. SEMAC 技术在脊柱金属植入物MRI中的应用价值 [J]. 实用放射学杂志, 2016, 32 (11): 1778-1780.
- [18] KOCH, BRAU AC, CHEN W, et al. Imaging near metal with a MAVRIC-SEMAC hybrid [J]. Magn Reson Med, 2011, 65 (1): 71-82.
- [19] LU W, PAULY KB, GOLD GE, et al. SEMAC: Slice Encoding for Metal Artifact Correction in MRI [J]. Magn Reson Med, 2009, 62 (1): 66-76.
- [20] HAYTER CL, KORR MF, SHAH P, et al. MRI after arthroplasty: comparison of MAVRIC and conventional fast spin-echo techniques. AJR, 2011, 197 (3): 405-411.
- [21] CHEN CA, CHEN W, GOODMAN SB, et al. New MR imaging methods for metallic implants in the knee: artifact correction and clinical impact. J Magn Reson Imaging, 2011, 33 (5): 1121-1127.

(本文图片见封二)
(本文编辑: 刘龙平)

【收稿日期】2019-06-09

MAVRIC-SL技术在膝关节金属置换术后3.0T MR成像上的应用价值*

(图片正文见第 166 页)

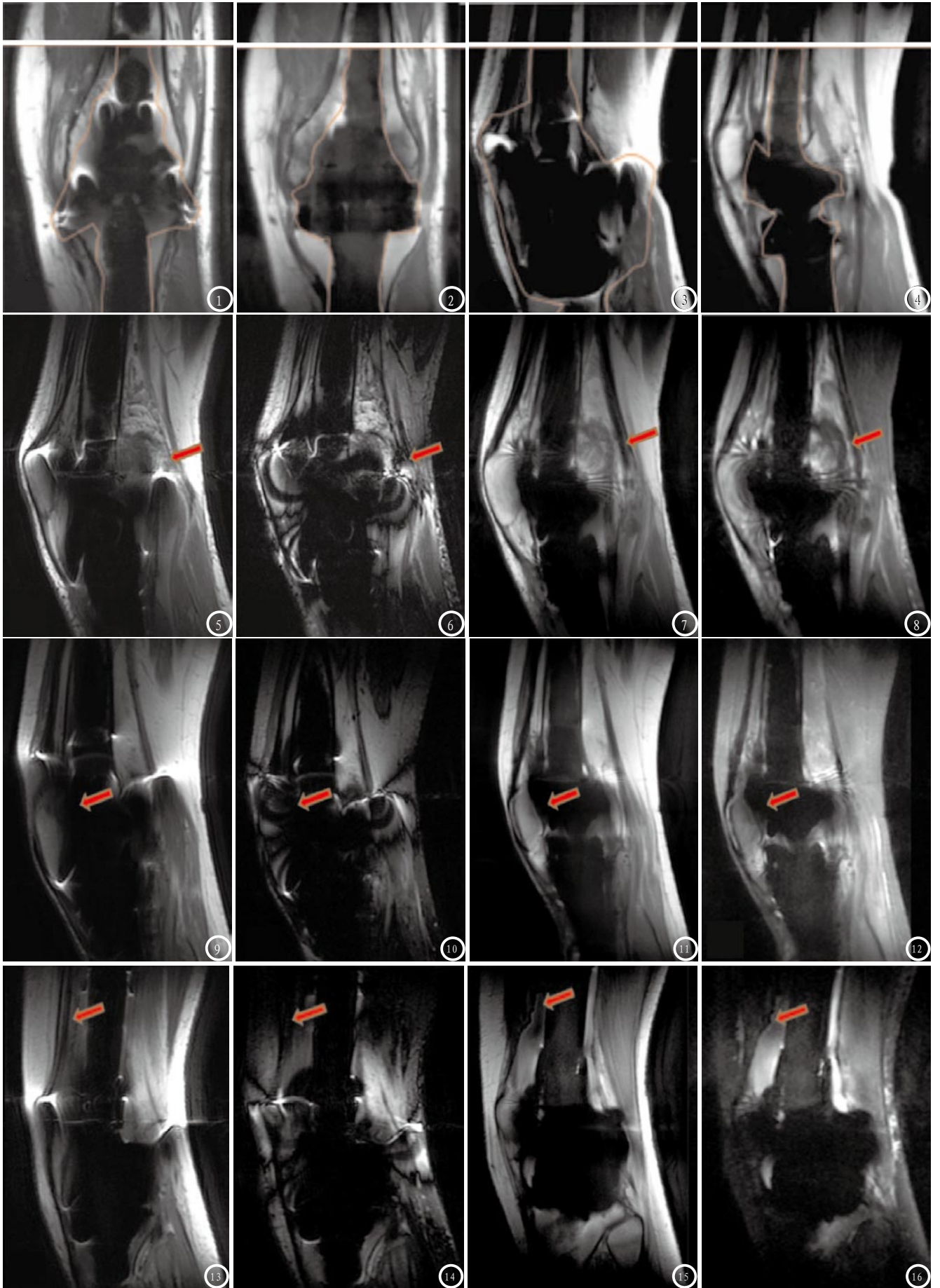


图1-4 金属假体及伪影面积测量示意图；图5-8 男性，35岁，2015年6月左侧膝关节骨巨细胞切除术后行膝关节金属假体置换，2017年9月肿瘤复发；图9-12 女性，50岁，膝关节关节炎(Kellgren-Lawrence分级为IV级)，TKA术后常规复查；图13-16 男性，61岁，骨肉瘤切除术后，复查发现关节积液(箭头)。图13 为PD-FSE，图14 为PD-STIR，图15 为PD-MAVRIC-SL，图16 为PD-MAVRIC-SL-STIR。