

DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2024.16.016
文章编号: 1005-8982 (2024) 16-0094-05

临床研究·论著

合成磁共振序列在轻度膝骨性关节炎磁共振扫描图像质量评价及弛豫定量中的应用*

卢懿, 孟莉, 吴鑫鑫, 龚远金, 聂吉林
(中南大学湘雅医院 放射科, 长沙 410008)

摘要: **目的** 探讨合成磁共振(MAGiC)序列在轻度膝骨性关节炎(KOA)磁共振扫描图像质量评价及弛豫定量中的应用。**方法** 选取2023年3月—2024年3月在中南大学湘雅医院就诊的20例轻度KOA患者及20例健康志愿者,共80只膝关节。磁共振图像扫描序列包括常规序列 T_1WI 、 T_2WI 、PDWI、PDWI-FS及MAGiC序列。MAGiC序列图像导入后处理软件获得分解后的 T_1WI 、 T_2WI 、PDWI、PDWI-STIR图像及 T_1 、 T_2 、PD弛豫定量图谱。比较常规序列和MAGiC分解序列的图像质量及两组图像的软骨损伤检出率,同时在MAGiC序列弛豫定量图上测量对照组及轻度KOA组软骨的 T_1 值、 T_2 值、PD值。**结果** 常规序列组与MAGiC序列分解组 T_1WI 、 T_2WI 、PDWI图像质量比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$);常规序列组PDWI-FS图像质量优于MAGiC序列分解组PDWI-STIR($P < 0.05$)。常规序列组与MAGiC序列分解组轻度KOA患者软骨损伤检出率比较,差异无统计学意义($P > 0.05$)。轻度KOA组 T_1 值、 T_2 值和PD值均高于对照组($P < 0.05$)。**结论** MAGiC序列分解结构图可有效检出轻度KOA患者的软骨损伤,其多参数弛豫定量可对KOA软骨损伤程度进行量化,对于早期KOA患者的诊断和病程进展监测具有较高的临床应用价值。

关键词: 膝骨性关节炎;合成磁共振序列,磁共振成像;弛豫定量
中图分类号: R684.3 **文献标识码:** A

Application of synthetic MRI in evaluation of image quality and quantitative relaxometry in MRI scans of mild knee osteoarthritis*

Lu Yi, Meng Li, Wu Xin-xin, Gong Yuan-jin, Nie Ji-lin
(Department of Radiology, Xiangya Hospital of Central South University, Changsha, Hunan 410008)

Abstract: Objective To explore the application value of the synthetic magnetic resonance imaging (MRI) method termed MAGnetic resonance image Compilation (MAGiC) in evaluation of image quality and quantitative relaxometry in MRI scans of mild knee osteoarthritis (KOA). **Methods** A total of 80 knee MRI images were collected from 20 normal volunteers and 20 patients with mild KOA in our hospital from March 2023 to March 2024. The MRI scanning sequences included conventional sequences T_1WI , T_2WI , PDWI, PDWI-FS, and MAGiC sequences. The MAGiC images were imported into post-processing software to obtain decomposed T_1WI , T_2WI , PDWI, and PDWI-STIR images, and T_2 , T_1 , and PD quantitative maps. The image quality of conventional sequences and MAGiC decomposed sequences and the detection rate of cartilage injury in the two groups of images were compared. Meanwhile, the T_1 , T_2 , and PD values of the cartilage in the normal control group and the mild KOA group were measured on the quantitative maps of the MAGiC sequences. **Results** The image quality of conventional sequences T_1WI , T_2WI , PDWI, and fat-suppressed PDWI (PDWI-FS and PDWI-STIR) was higher than

收稿日期: 2024-05-15

* 基金项目: 湖南省自然科学基金(No:2023JJ30927)

[通信作者] 聂吉林, E-mail: 348158933@qq.com; Tel: 13786192901

that of MAGiC decomposed sequences ($P < 0.05$). There was no difference in the detection rate of cartilage injury in mild KOA patients between the conventional sequences and the MAGiC decomposed sequences ($P > 0.05$). The T_1 , T_2 , and PD relaxation time of the normal control group were higher than those in the mild KOA group ($P < 0.05$).

Conclusions The images decomposed from MAGiC sequences can effectively detect cartilage injury in patients with mild KOA, and the multiparameter quantification of relaxation helps to quantify the degree of cartilage injury among these patients. Thus, MAGiC is of high clinical application value for diagnosis and monitoring disease progression of early-stage KOA.

Keywords: knee osteoarthritis; synthetic magnetic resonance imaging sequences; magnetic resonance imaging; quantitative relaxometry

膝骨性关节炎(knee osteoarthritis, KOA)是一种常见的慢性关节疾病,以关节软骨变性、破坏及骨质增生为特征,严重影响患者生活质量。关节软骨损害是引起 KOA 的病理基础。目前磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)已成为 KOA 的常规检查方法,相对于 X 射线和关节镜检查, MRI 具有无创、敏感等优点,可较好地显示 KOA 患者膝关节软骨形态及水肿等损伤^[1-5]。研究表明,磁共振弛豫定量技术可对膝关节软骨及骨质损伤程度进行定量分析,更有利于对 KOA 患者软骨及骨质的病变程度进行量化评估^[6]。但 MRI 时间较长,要满足所有结构相及弛豫定量成像耗时较长,且轻度 KOA 患者关节软骨影像学改变不明显,临床往往不易早期诊断。合成磁共振(magnetic resonance image compilation, MAGiC)序列采用多回波采集,该序列可通过一次成像分解出不同权重的结构相及弛豫定量图谱。本研究分析 MAGiC 序列分解出的膝关节不同权重结构相的图像质量及软骨损伤检出率,并测量比较正常软骨与损伤软骨的纵向弛豫时间(longitudinal relaxation time, T_1)、横向弛豫时间(transverse relaxation time, T_2)、质子密度(proton density, PD),旨在评估 MAGiC 序列在早期 KOA 患者诊断及定量评估中的应用价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取 2023 年 3 月—2024 年 3 月在中南大学湘雅医院就诊的 20 例轻度 KOA 患者及 20 例健康志愿者,共 80 只膝关节磁共振图像。健康志愿者男性 10 例,女性 10 例;年龄 40~56 岁,中位数年龄 50 岁;轻度 KOA 患者男性 11 例,女性 9 例;年龄 45~60 岁,中位数年龄 55 岁。轻度 KOA 患者纳入标准依照《中国骨关

节炎诊疗指南(2021 版)》^[7],选取临床症状为经常出现膝关节疼痛,日常活动基本不受影响或平路行走偶有影响,常于起立、下蹲或者上下楼梯时疼痛,活动轻微受限,偶发膝关节肿胀,无明显畸形;X 射线检查关节间隙轻度狭窄,可能出现骨赘的患者^[8]。所有志愿者及患者检查前均签署磁共振扫描知情同意书。

1.2 扫描仪器及序列参数

所有受试者采用美国通用公司 Premier 磁共振扫描仪,16 通道柔性线圈采集图像。患者取仰卧位,足先进体位,定位中心于髌骨下缘。采集序列包括膝关节 MRI 常规序列 T_1 WI、 T_2 WI、质子密度加权(proton density weighted imaging, PDWI)、脂肪频率选择性激发饱和法脂肪抑制质子密度加权(proton density weighted imaging-fat saturation, PDWI-FS)及 MAGiC 序列。成像参数见表 1。

1.3 图像处理

将采集到的 MAGiC 序列导入美国通用公司后处理工作站进行图像分解。分解得到 T_1 WI、 T_2 WI、PDWI、短时反转恢复法脂肪抑制质子密度加权(proton density weighted imaging-short time inversion recovery, PDWI-STIR)4 组结构相及 T_1 值、 T_2 值、PD 值。

1.4 图像评价

1.4.1 常规序列组与 MAGiC 序列分解组结构相图像质量评价及软骨损伤数记录 采集 80 只膝关节的常规序列与 MAGiC 序列。根据采集序列的不同,将采集到 MRI 图像分为常规序列组和 MAGiC 序列分解组,由 2 位高年资主治医师通过盲评法对两组图像进行质量评分。图像质量评分标准采用半定量方法,Ⅳ级:显示的结构清楚、直观,对比度、立体感强,边缘清晰;Ⅲ级:显示的结构较清楚、直观,对比度、立体感较强,边缘较清晰;Ⅱ级:显示的结构略模糊、欠直观,对比度、立体感不强,边缘欠清晰;

表 1 采集序列参数表

序列	TR/ms	TE/ms	FOV	矩阵	层厚/mm	层间距/mm	成像时间/s
T ₁ WI	600	11.2	160 mm × 160 mm	320 × 256	3	0.3	109
T ₂ WI	2 200	90	160 mm × 160 mm	320 × 256	3	0.3	105
PDWI	2 028	42	160 mm × 160 mm	320 × 256	3	0.3	142
FSWI-FS	2 028	42	160 mm × 160 mm	320 × 256	3	0.3	136
MAGiC	4 000	15.5/91.2	160 mm × 160 mm	320 × 256	3	0.3	248

I 级:显示的结构模糊,对比度不强。根据 KOA 磁共振 Recht 分级评价标准^[1],分别记录轻度 KOA 患者膝关节常规序列组图像与 MAGiC 序列分解组结构相图像上软骨损伤数量。

1.4.2 对照组与轻度 KOA 组膝关节软骨弛豫定量测量 根据临床资料,将受试者分为无关节软骨损伤的对照组和轻度 KOA 组。由 2 位高年资主治医师在轻度 KOA 组 MAGiC 后处理得到的结构相上画取感兴趣区,兴趣区选取关节软骨损伤区域,避开骨皮质、关节腔。软件自动得到兴趣区相应的 T₁值、T₂值、PD 值。对照组兴趣区选取与轻度 KOA 组软骨损伤处保持一致。

1.5 统计学方法

数据分析采用 SSPS 20.0 统计软件。计量资料

以均数 ± 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,比较用 *t* 检验;等级资料以等级表示,比较用秩和检验;计数资料以构成比或率(%)表示,比较用 χ^2 检验。*P* < 0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 常规序列组与 MAGiC 序列分解组结构图像质量比较

常规序列组与 MAGiC 序列分解组 T₁WI、T₂WI、PDWI 图像质量比较,经秩和检验,差异均无统计学意义(*P* > 0.05)。两组 PDWI-STIR 图像质量(PD 脂肪抑制)比较,差异有统计学意义(*P* < 0.05);常规序列组 PDWI-FS 图像质量优于 MAGiC 序列分解组 PDWI-STIR。见表 2 和图 1、2。

表 2 常规序列组与 MAGiC 序列分解组结构相图像质量比较 (n=80, 例)

组别	T ₁ WI				T ₂ WI				PDWI				PD脂肪抑制			
	I 级	II 级	III 级	IV 级	I 级	II 级	III 级	IV 级	I 级	II 级	III 级	IV 级	I 级	II 级	III 级	IV 级
常规序列组	0	0	6	74	0	0	6	74	0	0	6	74	0	0	3	77
MAGiC 序列分解组	0	0	7	73	0	0	7	73	0	0	8	72	0	2	18	60
Z/ χ^2 值	11.677				10.981				8.552				1.221			
<i>P</i> 值	0.231				0.363				0.254				0.002			

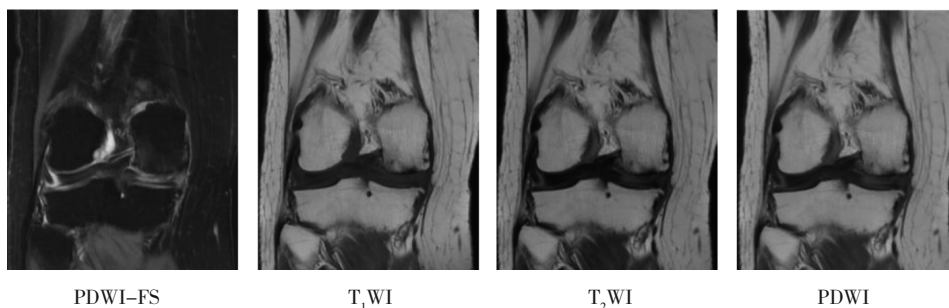


图 1 常规序列组结构相图像

2.2 常规序列组与 MAGiC 序列分解组轻度 KOA 患者软骨损伤检出率比较

常规序列组与 MAGiC 序列分解组轻度 KOA 患

者软骨损伤检出率分别为 67.5% (54/80) 和 66.3% (53/80), 经 χ^2 检验, 差异无统计学意义 ($\chi^2=1.976$, *P* = 0.062)。

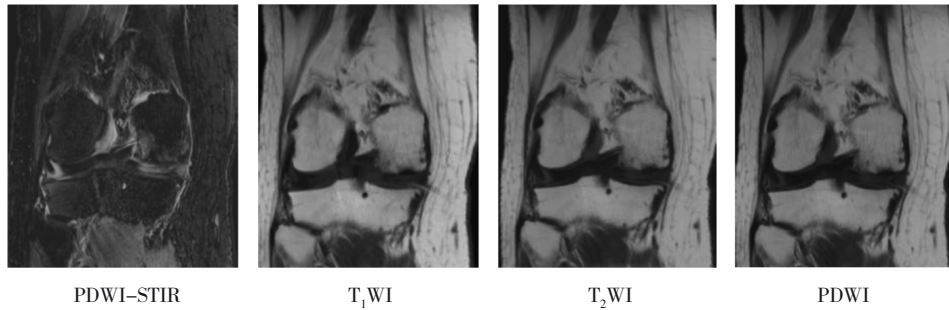
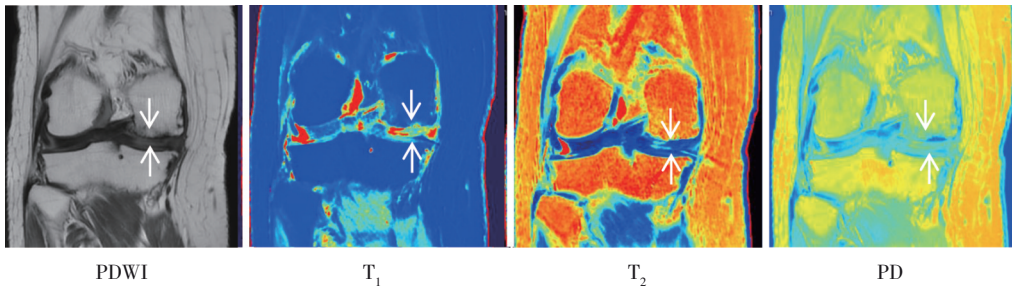


图2 MAGiC序列分解组结构相图像

2.3 对照组与轻度 KOA 组弛豫定量测量值比较

对照组与轻度 KOA 组 T_1 值、 T_2 值和 PD 值比较, 经 t 检验, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$); 轻度 KOA

组 T_1 值、 T_2 值和 PD 值均高于对照组 (见表 3)。MAGiC 弛豫定量伪彩图可见损伤软骨与正常软骨颜色差异 (见图 3)。



箭头示损伤软骨与正常软骨伪彩差异。

图3 MAGiC序列分解的弛豫定量图谱

表 3 对照组与轻度 KOA 组弛豫定量测量值比较
($n=40, \bar{x} \pm s$)

组别	T_1 值	T_2 值	PD值
对照组	945.10 ± 49.88	45.66 ± 2.41	48.66 ± 4.32
轻度 KOA 组	1 366.21 ± 44.62	61.35 ± 3.11	67.72 ± 3.97
t 值	1.991	2.042	-2.315
P 值	0.023	0.034	0.041

3 讨论

MAGiC 序列通过优化多延迟与多回波技术, 饱和脉冲与信号采集交替进行层面切换, 同时对射频场不均匀进行计算校正, 测量采集到的多回波得到 T_2 , 由饱和脉冲定量得到 T_1 , 计算出射频场大小 $B1$ 。再通过 T_1 、 T_2 、 $B1$ 计算出磁化矢量值 $M0$ 及 PD 定量图。MAGiC 序列通过后处理软件处理, 可获得任意 TR、TE、TI 时间组合的不同权重图像^[9]。近年来该序列已逐渐应用于颅脑、直肠、前列腺及骶髂关节等相关疾病的诊断及定量研究^[10-15], 但用于 KOA 的研究相对较少。MAGiC 分解得到的 T_1 WI、 T_2 WI、PDWI 图像质量与常规序列无差异, MAGiC 分解得

到的 PDWI-STIR 图像质量较常规序列 PDWI-FS 稍差, 可能是因为 MAGiC 分解得到的脂肪抑制 PDWI 相采用的是短时反转恢复抑脂, 该脂肪抑制方法会损失部分信噪比, 且该方法对脂肪抑制的特异性相对较差^[16-17]。但分解序列对膝关节软骨损伤的检出率与常规序列无差异。

MAGiC 序列得到的组织 T_1 、 T_2 及 PD 定量图能反映不同组织 T_1 、 T_2 弛豫时间及氢质子含量的差别。 T_1 是组织大分子浓度、结合水及组织含水量的生物标志物, 能较好地显示水肿、炎症和纤维化。 T_2 能反映组织中含水量的变化。近期研究认为 T_2 弛豫定量分析能够用来诊断膝关节软骨损伤, 软骨内组成成分的变化主要影响 T_2 ; 而 T_2 除受到软骨内水分的影响还与胶原纤维组成有关。PD 反映组织中游离水含量^[18-23]。本研究中, 轻度 KOA 患者关节软骨损伤面 3 组定量图值均升高, 而此时 X 射线检查未能显示软骨的变化, 关节间隙、关节骨质增生及关节面硬化等表现均不明显, 提示 T_1 、 T_2 、PD 的定量分析能早期提示关节软骨生化结构的变化。

KOA 发病的早期, 由于症状轻微, 影像学表现

不典型,易出现漏诊,从而错过最佳干预期。采用 MAGiC 序列,一次成像能同时得到多组不同权重的高质量结构图,同时测得关节软骨的不同弛豫定量值,可多纬度量化分析微观结构关节软骨内部组织成分变化,有利于在关节软骨发生形态学改变时发现关节软骨内病变,有助于患者及早采取措施,避免早期 KOA 进展。同时,本研究 MAGiC 序列扫描时间为 4 min 8 s,获得结构相及定量图谱的成像时间明显低于获得同样信息的常规机构相序列和定量序列之和,大大提升了成像效率。

本研究的不足之处在于病例数量有限,且无法保证每例患者在检查前的职业、生活及运动习惯一致,导致潜在的偏倚发生。

参 考 文 献 :

- [1] 王国红,李雪峰. MRI对膝关节损伤的诊断价值[J]. 医学影像学杂志, 2016, 26(9): 1728-1729.
- [2] 王浩轩,虞慧灵,肖捷. MRI在老年膝关节炎患者内侧关节软骨损伤及分级中的诊断价值研究[J]. 浙江创伤外科, 2023, 28(11): 2169-2172.
- [3] 董进,韩瑞,宋少辉,等. 膝关节骨性关节炎软骨损伤的MRI形态评分及T2值变化与临床表现的相关性[J]. 中国现代医学杂志, 2019, 29(4): 69-72.
- [4] 王彩云. 磁共振关节软骨成像新技术-MapIt[J]. 磁共振成像, 2011, 2(2): 152-156.
- [5] 谷艳梅,郭静,田斌,等. 膝骨关节炎 MSCT、MRI 的影像学特征及联合应用的诊断价值[J]. 中国现代医学杂志, 2021, 31(23): 6-10.
- [6] 康宁,俎栋林,张宏杰. 自旋密度 ρ 、弛豫时间T1和T2定量磁共振成像[J]. 中国医学影像技术, 2004, 20(12): 1944-1947.
- [7] 中华医学会骨科学分会关节外科学组,中国医师协会骨科医师分会骨关节炎学组,国家老年疾病临床医学研究中心(湘雅医院),等. 中国骨关节炎诊疗指南(2021年版)[J]. 中华骨科杂志, 2021, 41(18): 1291-1314.
- [8] HAGIWARA A, HORI M, COHEN-ADAD J, et al. Linearity, bias, intrascanner repeatability, and interscanner reproducibility of quantitative multidynamic multiecho sequence for rapid simultaneous relaxometry at 3 T: a validation study with a standardized phantom and healthy controls[J]. Invest Radiol, 2019, 54(1): 39-47.
- [9] KANG K M, CHOI S H, KIM H, et al. The effect of varying slice thickness and interslice gap on T1 and T2 measured with the multidynamic multiecho sequence[J]. Magn Reson Med Sci, 2019, 18(2): 126-133.
- [10] 任丽香,吴昆华,张虹,等. MRI定性定量分析类风湿关节炎患者手腕部骨关节改变[J]. 中国介入影像与治疗学, 2017, 14(10): 632-635.
- [11] 姜云萍,李文娟,占颖莺,等. MAGiC 短时反转恢复序列诊断骶髂关节炎骨髓水肿的价值[J]. 中华放射学杂志, 2021, 55(1): 59-63.
- [12] 徐良洲,徐霖,贺梦吟,等. 集成MRI序列T₁、T₂弛豫定量的可重复性研究[J]. 放射学实践, 2019, 34(11): 1178-1181.
- [13] 刘辉明,尹国平,别非,等. 对比集合序列与常规序列头部MRI图像质量[J]. 中国医学影像技术, 2019, 35(2): 268-271.
- [14] 占颖莺,张珂,郑晶,等. MR集合序列定量参数评价中轴型脊柱关节炎骶髂关节病变[J]. 中国医学影像技术, 2021, 37(8): 1214-1218.
- [15] 刘辉明,尹国平,别非,等. 对比集合序列与常规序列头部MRI图像质量[J]. 中国医学影像技术, 2019, 35(2): 268-271.
- [16] VARGAS M I, DRAKE-PÉREZ M, DELATTRE B M A. Feasibility of a Synthetic MR imaging sequence for spine imaging[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2018, 39(9): 1756-1763.
- [17] YI J, LEE Y H, SONG H T, et al. Double-inversion recovery with synthetic magnetic resonance: a pilot study for assessing synovitis of the knee joint compared to contrast-enhanced magnetic resonance imaging[J]. Eur Radiol, 2019, 29(5): 2573-2580.
- [18] 陈聪,杨丰建,范永前,等. 磁共振T2 mapping成像定量早期诊断膝关节骨性关节炎的价值分析[J]. 中国CT和MRI杂志, 2016, 14(12): 114-117.
- [19] 陈小帅,张平,于蕊,等. 应用T2 mapping成像评价马拉松前后膝关节软骨短中期改变[J]. 中华放射学杂志, 2019, 53(10): 824-828.
- [20] 张天顺. 定量磁共振对膝关节软骨的应用研究进展[J]. 医学影像学杂志, 2021, 31(2): 347-350.
- [21] GREESE J, DIEKHOF T, SIEPER J, et al. Detection of sacroiliitis by short-tau inversion recovery and T2-weighted turbo spin echo sequences: results from the SIMACT study[J]. The Journal of Rheumatology, 2019, 46(4):376-383.
- [22] KANG N, ZU D L, ZHANG H J. Spin density PD, relaxation time T₁ and T₂ quantitative magnetic resonance imaging[J]. Chin Med Imaging Technol, 2004, 20 (12): 1944-1947.
- [23] LEE C, CHOI Y J, JEON K J, et al. Synthetic magnetic resonance imaging for quantitative parameter evaluation of temporomandibular joint disorders[J]. Dentomaxillofac Radiol, 2021, 5: 20200584.

(童颖丹 编辑)

本文引用格式: 卢懿, 孟莉, 吴鑫鑫, 等. 合成磁共振序列在轻度膝骨性关节炎磁共振扫描图像质量评价及弛豫定量中的应用[J]. 中国现代医学杂志, 2024, 34(16): 94-98.

Cite this article as: LU Y, MENG L, WU X X, et al. Application of synthetic MRI in evaluation of image quality and quantitative relaxometry in MRI scans of mild knee osteoarthritis[J]. China Journal of Modern Medicine, 2024, 34(16): 94-98.