·论著·

1.5T MRI不同3D序列对膝关节半月板根部成像效果比较

高瑞晖* 郝金华 邓日明 韦 敏
中山火炬开发区医院放射医学科 (广东 中山 528437)

【摘要】**目的** 比较三维可变反转角快速自旋回波序列(3D-SPACE)、三维真稳态进动快速成像序列(3D-Ture FISP)对膝关节半月板根部的成像质量。**方法** 30例患者采用1.5T MRI 3D-SPACE和3D-TrueFISP序列行膝关节成像，计算两组图像半月板的信噪比(SNR)、对比噪声比(CNR)，并对半月板根部图像质量进行主观评分。采用独立样本t检验比较2组间客观评价指标的差异，采用Mann-Whitney U检验比较主观评分的差异。**结果** 对膝关节的3D MRI成像中，3D-TrueFISP序列的半月板信噪比、半月板与滑液、半月板与肌肉的对比信噪比高于3D-SPACE序列，差异有显著统计学意义(*P*<0.001)；外侧半月板后根部成像3D-TrueFISP序列组的主观评分高于3D-SPACE序列组，差异有统计学意义(*P*<0.05)；内侧半月板前、后根部及外侧半月板前根部成像2组图像的主观评分差异无统计学意义(*P*>0.05)。**结论** 对膝关节半月板根部的MRI成像效果，3D-True FISP序列优于3D-SPACE序列。

【关键词】磁共振成像；半月板，胫骨； 膝关节
【中图分类号】R445.2
【文献标识码】A
DOI:10.3969/j.issn.1009-3257.2022.05.032

Comparison of Different 3D Sequences of 1.5T MRI on Meniscal Roots Imaging

GAO Rui-hui*, HAO Jin-hua, DENG Ri-ming, WEI Min.
Department of Radiology, Zhongshan Torch Development Zone Hospital, Zhongshan 528437, Guangdong Province, China

Abstract: ***Objective*** To obtain the imaging quality of the knee meniscus root, a comparison was made between the three-dimensional variable reverse Angle rapid spin echo sequence (3D-SPACE) and the three-dimensional true steady-state precession rapid imaging sequence (3D-TRUE FISP). ***Methods*** In this study, 30 cases of knee joint were examined with 1.5T MRI using 3D-SPACE and 3D-TrueFISP sequences. The signal-to-noise ratio (SNR) and contrast ratio (CNR) of meniscus in two groups of images were calculated, and the image quality of meniscus root was subjective rated. The objective evaluation indexes of the two groups of data were compared mainly by unpaired t test, while the subjective scores were compared by Mann-Whitney U test. ***Results*** In 3D MRI of knee joint, the signal-to-noise ratio (SNR) of meniscusa and the contrast-to-noise ratio (CNR) of meniscus to synovial fluid and meniscus to muscle of 3D-TrueFISP sequence were higher than those of 3D-SPACE sequence (*P*<0.001). In the 3D-TrueFISP sequence group, the subjective score of posterolateral semilunar plate root was higher than that of the 3D-SPACE sequence group (*P*<0.05). There was no significant difference in the subjective scores of other semilunar boards between the two groups (*P*>0.05). ***Conclusion*** It can be found that the 3D-True FISP sequence is superior to the 3D-Space sequence in MRI imaging of the knee meniscus root.

Keywords: Magnetic Resonance Imaging; Meniscus, Tibial; Knee Joint

临床上常规采用MRI 2D序列观察半月板，但由于半月板根部解剖结构细小(长度<1cm)[1]，常规冠状位、矢状位及轴位成像对根部的观察存在局限性，漏诊、误诊率高[2]。近年来快速发展的MRI 3D序列具有各向同性的优势，受到临床重视并应用到骨关节扫描。目前三维可变反转角快速自旋回波(3-dimensionalsampling perfection with application optimized contrastusing different flip angle evolutions，3D-SPACE)序列在膝关节损伤的临床及研究中逐渐增多，较2D序列能更好的显示半月板根部的解剖结构与病变[3]，但仍存在不足。本研究通过对比3D-SPACE和三维真稳态进动快速成像(3D-truefast imaging with steady-state precession，3D-TrueFISP)序列的图像质量，旨在为临床选择半月板根部成像的优势序列提供参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集2021年3月至4月于我院行膝关节MRI扫描的患者。共30例患者纳入研究，男18例，女12例，年龄31~50岁，平均年龄(41.1±7.6)岁。

纳入标准：接受常规2D序列加2组不同3D序列扫描膝关节的患者。排除标准：外伤致膝关节骨折、严重变形者；有膝关节手术史或膝关节肿瘤、肿瘤样病变者；既往有明确膝关节病变者如骨性关节等疾病者、类风湿性关节炎、色素绒毛结节性滑膜炎、痛风性关节炎等；磁共振检查禁忌证者(如幽闭恐惧症，金属移植物等)；各种原因导致图像不合格者。

1.2 检查方法 应用1.5T MR扫描仪(Avonto，Siemens)，配合使用膝关节8通道相控阵专用线圈并以“超声耦合剂软胶袋”包裹膝关节[4]，采用仰卧足先进体位对膝关节进行平扫。所有病例均在完成常规2D-FSE序列扫描后，行3D-SPACE序列及3D-TrueFISP序列扫描，扫描参数见表1。将原始图像发送到syngo MR D13工作站进行各向同性多平面重建，重建方位包括矢状位、轴位及平行内、外侧半月板后根长轴的斜冠状位，层厚及层间距均为1mm。

1.3 图像质量评价 客观评价：由同一名放射科医生在后处理工作站上分别测量内、外侧半月板体部的信号强度，感兴趣区(region of interest，ROI)选取测量对象的最大冠状面，面积尽量最大化而不超出半月板的边缘，反复测量3次取中

【第一作者】高瑞晖，男，副主任医师，主要研究方向：MRI诊断。E-mail：361275969@qq.com
【通讯作者】高瑞晖

间值。计算信噪比(signal noise ratio，SNR)和对比噪声比(contrast to noise ratio，CNR)。*SNR*=*S*/*SD*，*CNR*=|*S*-*S1*|/*SD*，其中S为半月板的信号强度，S1为邻近组织信号强度(本研究为膝关节滑液和股骨后方局部腓肠肌)，SD为背景噪声标准差。

主观评价：由2名高年资MR诊断医师通过阅读原始图像及各方位重建图像，分别观察半月板4个根部(内侧半月板前根、后根，外侧半月板前根、后根)，对解剖细节及边缘的主观清晰度进行综合评价，采用双盲法对图像质量进行独立评分，1分：图像质量差，解剖结构模糊不清，难以观察；2分：图像质量较差，可大致辨认解剖结构，边缘不清；3分：图像质量中等，可清楚辨认解剖结构，但细节及边缘模糊(图1)；4分：图像质量良好，解剖细节及边缘显示较清楚(图2)；5分：图像质量优，解剖细节显示清晰，边缘锐利(图3)。

表1 主要扫描参数

参数	3D-SPACE	3D-TrueFISP
TR/TE(ms)	1200/30	11.24/4.97
反转角度	120°	28°
矩阵	256×256	256×256
视野(mm^2)	160×160	160×160
层厚(mm)	0.7	0.7
带宽(kHz)	200	200
扫描时间	7分24秒	4分53秒

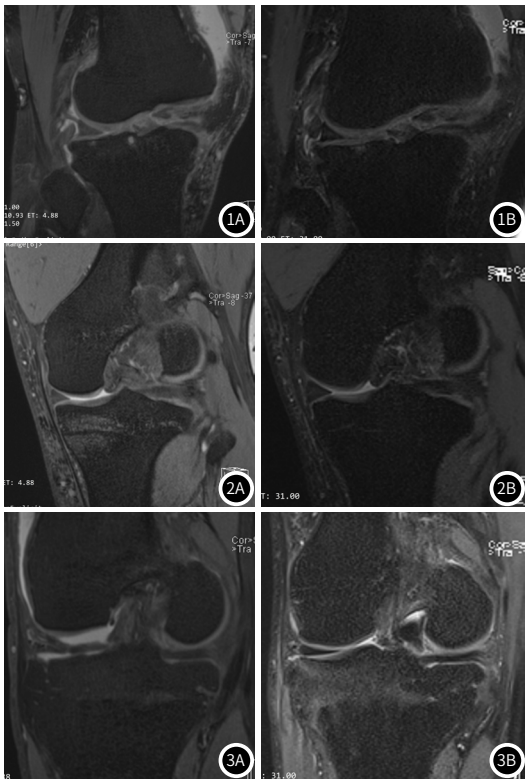

图1 男，70岁，内侧半月板前根沿长轴斜冠状位重建图像，主观评分3分。图1A及图1B分别是3D-TrueFISP序列及3D-SPACE序列图像。**图2** 男，27岁，外侧半月板后根沿长轴斜冠状位重建图像，主观评分4分。图2A及图2B分别是3D-TrueFISP序列及3D-SPACE序列图像。**图3** 男，28岁，内侧半月板后根沿长轴斜冠状位重建图像，主观评分5分。图3A及图3B分别是3D-TrueFISP序列及3D-SPACE序列图像。

1.4 统计学方法 采用SPSS 23.0 统计分析软件，计量资料均以($\bar{x}\pm s$)表示。SNR和CNR两个序列间比较采用独立样本t检验。2名放射科医师对图像质量的主观评价符合程度采用Kappa一致性检验，Kappa≤0.40为一致性较差，0.40<Kappa<0.75为一致性较好，Kappa≥0.75为一致性好。如2名医师评分结果一致性较好或一致性好，则以抽签法择定其中1名医师的评分结果行进一步统计学分析。两个序列组间主观评分差异采用Mann-Whitney U检验。*P*<0.05为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 客观评价结果 3D-TrueFISP序列内、外侧半月板图像的SNR及CNR均较3D-SPACE序列图像高，差异有统计学意义(*P*<0.001)，见表2。

表2 MRI不同3D序列半月板SNR和CNR值

部位	3D-SPACE	3D-TrueFISP	t值	*P*值
内侧半月板体部SNR	9.41±5.01	39.18±9.79	14.8268	0.000
外侧半月板体部SNR	7.67±4.14	33.25±10.94	11.9779	0.000
内侧半月板体部-关节液CNR	38.07±17.03	132.25±48.77	9.9858	0.000
外侧半月板体部-关节液CNR	39.82±16.91	138.19±49.95	10.2171	0.000
内侧半月板体部-肌肉CNR	13.98±6.84	25.61±11.16	4.8666	0.000
外侧半月板体部-肌肉CNR	1.71±0.27	31.04±16.23	9.8908	0.000

2.2 主观评价结果 2名阅片者的主观评分一致性好，Kappa值为0.897(*P*=0.000)。外侧半月板后根部成像3D-TrueFISP序列组的主观评分(4.70±0.79)高于3D-SPACE序列组(4.30±0.75)，差异有统计学意义(*P*<0.05)。3D-SPACE序列图像内侧半月板前、后根部及外侧半月板前根部的主观评分分别为3.00±1.08、4.13±1.04、4.30±0.75，3D-TrueFISP序列图像相应部位的主观评分分别为3.13±1.17、4.20±0.96、4.70±0.79，差异无统计学意义(*P*>0.05)，见表3。

表3 MRI不同3D序列半月板主观评分

部位	3D-SPACE	3D-TrueFISP	z值	*P*值
内侧半月板前根部	3.00±1.08	3.13±1.17	-0.323	0.746
外侧半月板前根部	4.30±0.75	4.70±0.79	-2.83	0.005
内侧半月板后根部	4.13±1.04	4.20±0.96	-0.199	0.842
外侧半月板后根部	4.17±1.02	4.20±1.13	-0.375	0.707

3 讨 论

若半月板根部断裂，将导致半月板脱位，加剧半月板退变及关节软骨损伤，最终发展为骨性关节炎[5-6]。临床因其缺乏特异性症状及有效体查而容易漏诊，膝关节镜对半月板根部的观察也受到空间限制[7]。半月板根部的走行方向类似“X”形，且MRI 2D序列层厚一般≥3mm，难以准确有效地评价其解剖细节，故对根部撕裂的诊断价值不大。国外学者较早将3D序列应用于半月板根部的观察，其中Lim等[8]的研究结果表明3D序列对半月板后根部损伤具有较好的诊断效能；

同时薄层MRI扫描能消除厚层扫描引起的部分容积效应，从而降低漏诊率及误诊率。国内近几年也陆续开展了3D-SPACE序列与2D序列的对比研究。王萍[9]用3.0T MRI诊断内、外侧半月板后根撕裂，发现3D序列的特异性和阳性预测值均明显高于常规2D序列。而姜言梅[10]将1.5T MRI 3D-SPACE序列应用于诊断半月板损伤的研究中，得出对损伤分级的能力较常规2D序列有优势的结论。然而，3D-SPACE序列也存在一定的缺点。赵晓梅等[3]的研究结果表明，与2D序列相比，3D-SPACE序列虽能更准确地评估前交叉韧带的损伤程度，但并不能提高前交叉韧带及半月板损伤的诊断准确性，且由于单次扫描时间较长而容易出现运动伪影导致误诊。

3D-SPACE序列是从快速自旋回波(turbo spin echo，TSE)序列上衍生而来，通过调节可变化的翻转角，采用小角度的回聚脉冲，延长T_2弛豫时间，从而获得长度>1000的超长回波链和大TE的采集，可以避免T_2衰减效应以及回波链较长带来的模糊效应，噪声也得到显著降低，从而得到优质的PDWI图像[11]。该序列的成像原理也决定了组织间的信号对比主要来自质子密度差异，因此图像信息较单一，组织细节显示能力稍差。

3D-TrueFISP序列在心脏、神经系统、内耳及关节方面的应用均有优势，但至今未查询到应用在评价半月板根部的报道。相关研究有孙岩等[11]将3D-TrueFISP序列应用于观察膝关节面软骨，发现对关节软骨的3层结构显示效果优于2D-PDWI序列，而略逊于3D-SPACE序列。但半月板根部的组织成分与关节软骨不同，它是由纤维成分构成，组织学上与韧带成分相似[12]，因此呈短T_2值、长T_1值的特点。3D-TrueFISP序列是稳态进动中信号最强的序列，它在相位编码、频率编码和层面编码方向均利用重绕梯度场来平衡稳态自由进动重聚信号，所获图像具有高SNR和T_2/T_1加权图像对比的优点，关节液的T_2/T_1值大而呈高信号，半月板根部的T_2/T_1值小而呈低信号，两者形成良好对比[13]。本研究中3D-TrueFISP序列组图像的SNR及CNR均明显高于3D-SPACE序列组。由于3D-TrueFISP序列的图像对比是由T_2、T_1值及质子密度共同决定的，因此图像信息丰富，这更利于区分半月板根部细微的信号变化，提高诊断准确度。笔者观察发现，半月板后根部于3D-SPACE序列和3D-TrueFISP序列可表现为低信号、高信号或高/低相间的梳齿状信号影，这种梳齿状信号可能与半月板后根部由多种纤维束构成有关[14]。本研究中3D-TrueFISP序列组图像外侧半月板后根部的主观评分略胜一筹也正是因其对于这种纤维结构的细节显示效果更佳，且外侧半月板后根部结构较复杂不利于3D-SPACE序列对解剖细节的观察；前者这种细节显示的优势可能更利于观察半月板后根部的细微撕裂。文献报道于MRI常规序列，外侧半月板后根部撕裂的诊断准确性低于内侧半月板后根部[15]。3D-TrueFISP序列或能提高外侧半月板后根部撕裂诊断的准确性。

3D-TrueFISP序列的缺点是图像质量受磁场均匀度影响较大[11,13]，本研究所有扫描序列均采用了郝金华等[16]的“超声耦合剂软胶袋垫衬法”来减轻图像中的磁化率伪影。本研究的不足之处是未与金标准膝关节镜进行对照，因此不能区分探讨不同3D序列观察正常及异常半月板根部的差异，这将在下一步研究中继续完善。

综上所述，对于膝关节半月板根部的观察，MRI 3D序列较2D序列有诸多优势。3D-SPACE序列目前的研究及临床应用较多，其对关节软骨的显示效果较好。通过本研究发现，3D-TrueFISP序列对半月板根部解剖细节的观察更有优势，且扫描时间更短；缺点是对磁场不均匀性敏感，图像稳定性稍差。因此3D-TrueFISP序列在半月板根部损伤的诊断中具有潜在的临床应用价值，可作为3D-SPACE序列的补充供临床选择。

参考文献

[1]Zusmanovich M.Meniscal root tears a comprehensive review[J].Bull Hosp Jt Dis(2013),2021,79(1):58-62.

[2]LaPrade C M,James E W,Cram T R,et al. Meniscal root tears: A classification system based on tear morphology[J].Am J Sports Med,2015,43(2):363-369.

[3]赵晓梅,黄耀渠,伍琼慧,等.2D与3D MR快速自旋回波序列对膝关节交叉韧带及半月板损伤的诊断价值比较[J].放射学实践,2017,32(1):73-78.

[4]郝金华,孙小影,王涛,等.超声耦合剂软胶袋垫衬法对磁共振高分辨率睾丸成像质量影响[J].放射学实践,2018,33(6):627-632.

[5]汪睿,钱银锋,王紫玥,等.半月板根部撕裂与膝骨性关节炎严重度的关系[J].放射学实践,2019,34(6):664-667.

[6]Pache S,Aman Z S,Kennedy M,et al.Meniscal root tears: Current concepts review[J].Arch Bone J Surg,2018,6(4):250-259.

[7]张海飞,康鑫威.MRI诊断胫骨平台骨折患者半月板损伤的价值观察[J].中国CT和MRI杂志,2021,19(4):171-173..

[8]Lim D,Lee Y H,Kim S,et al.Fat-suppressed volume isotropic turbospin echo acquisition (VISTA) MR imaging in evaluating radial and root tears of the meniscus: Focusing on reader-defined axial recon-struction[J].Eur J Radiol,2013,82(12):2296- 2302.

[9]王萍.膝关节半月板根部3D MRI表现及3D MRI对根部撕裂诊断价值[D].济南:山东大学,2017.

[10]姜言梅.1.5T MR3D-SPACE序列在膝关节半月板损伤中的诊断价值[D].青岛:青岛大学,2017:1-50.

[11]孙岩,吴雪,谢萍,等.磁共振3D-SPACE、3D-TrueFISP、2D-FSE-PD序列膝关节软骨成像的比较研究[J].实用放射学杂志,2015,(1):131-135.

[12]张建军,崔建岭,刘冲,等.膝关节半月板根部MRI影像解剖[J].中华解剖与临床杂志,2016,21(6):535-540.

[13]娄路馨,于爱红,程晓光,等.联合应用MR3D STIR SPACE和True FISP成像序列对臂丛神经病变的诊断价值[J].中国临床医学影像杂,2016,27(9):654-658.

[14]黄晓斌,靳激扬.半月板后根部损伤的MRI诊断研究进展[J].国际医学放射学杂志,2017,40(4):419-423.

[15]刘秀香,郑卓肇,程钢,等.MR诊断膝关节内、外侧半月板后根部撕裂的价值[J].中华放射学杂志,2014,48(11):919-922.

[16]郝金华,孙小影,王涛,等.超声耦合剂软胶袋垫衬法对睾丸DWI图像质量的影响[J].中国医学影像技术,2018,34(6):929-933.

(收稿日期：2021-05-10)