

## 论著 • 临床研究

## 磁共振 3D-WATS 对膝关节软骨损伤的诊断价值研究

彭龙辉, 吴贵成, 杨志杰, 蔡立杰, 蔡素娇<sup>△</sup>

(莆田九十五医院, 福建 莆田 351100)

**[摘要]** 目的 探讨磁共振三维选择性水激发序列(3D-WATS)对膝关节软骨损伤的诊断价值。方法 选择 2022 年 1 月至 2023 年 9 月该院诊治的疑似膝关节软骨损伤患者 76 例。所有入选者均进行磁共振成像(MRI)检查。以膝关节镜检查结果作为“金标准”,分析不同序列[T2 弛豫时间图成像(T2-mapping)、质子密度加权成像(PDWI)、3D-WATS]诊断膝关节软骨损伤的临床价值,并计算不同序列检查结果与“金标准”检查结果的一致性。另外对比不同序列检查软骨非缺损处与缺损处信号强度比值。结果 76 例疑似膝关节软骨损伤患者中有 52 例确诊。3D-WATS 诊断膝关节软骨损伤的灵敏度、特异度、准确度、阳性预测值、阴性预测值[96.15%(50/52)、95.83%(23/24)、96.05%(73/76)、98.04%(50/51)、92.00%(23/25)]均高于 PDWI、T2-mapping 检查[分别为 73.08%(38/52)、58.33%(14/24)、68.42%(52/76)、79.17%(38/48)、50.00%(14/28)及 80.77%(42/52)、66.67%(16/24)、76.32%(58/76)、84.00%(42/50)、61.54%(16/26)],差异均有统计学意义( $P < 0.05$ )。PDWI 序列诊断膝关节软骨损伤的结果与“金标准”结果一致性较差( $Kappa = 0.301, P < 0.05$ ),T2-mapping 序列诊断膝关节软骨损伤的结果与“金标准”结果一致性理想( $Kappa = 0.464, P < 0.05$ ),3D-WATS 诊断膝关节软骨损伤的结果与“金标准”结果一致性极好( $Kappa = 0.910, P < 0.05$ )。3D-WATS、PDWI、T2-mapping 检查软骨非缺损处与缺损处信号强度比值分别为(1.79±0.43)、(1.31±0.38)、(1.04±0.27),各序列间对比差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。结论 膝关节软骨损伤诊断中应用磁共振 3D-WATS 具有较高的准确度、灵敏度,可为临床诊断提供更多有价值的参考信息,值得推广应用。

**[关键词]** 膝关节软骨损伤; 磁共振三维选择性水激发序列; 诊断效能

DOI:10.3969/j.issn.1009-5519.2024.24.013

中图分类号:R445;R684

文章编号:1009-5519(2024)24-4202-04

文献标识码:A

Study on the diagnostic value of magnetic resonance 3D-WATS  
for knee cartilage injuries

PENG Longhui, WU Guicheng, YANG Zhijie, CAI Lijie, CAI Sujiao<sup>△</sup>

(The 95th Hospital of Putian, Putian, Fujian 351100, China)

**[Abstract]** **Objective** To explore the diagnostic value of magnetic resonance three-dimensional water excitation with spatial targeting (3D-WATS) for knee cartilage injuries. **Methods** A total of 76 patients with suspected knee cartilage injuries diagnosed and treated in our hospital from January 2022 to September 2023 were selected. All participants underwent magnetic resonance imaging (MRI). With arthroscopic examination of the knee joint as the “gold standard,” the clinical value of different sequences [T2 relaxation time mapping (T2-mapping), proton density-weighted imaging (PDWI), and 3D-WATS] in diagnosing knee cartilage injuries was analyzed, and the consistency between the results of different sequences and the “gold standard” was calculated. Additionally, the signal intensity ratios of non-defective and defective cartilage areas in different sequences were compared. **Results** Among the 76 patients with suspected knee cartilage injuries, 52 were confirmed. The sensitivity, specificity, accuracy, positive predictive value, and negative predictive value of 3D-WATS in diagnosing knee cartilage injuries [96.15% (50/52), 95.83% (23/24), 96.05% (73/76), 98.04% (50/51), 92.00% (23/25)] were higher than those of PDWI and T2-mapping [73.08% (38/52), 58.33% (14/24), 68.42% (52/76), 79.17% (38/48), 50.00% (14/28) and 80.77% (42/52), 66.67% (16/24), 76.32% (58/76), 84.00% (42/50), 61.54% (16/26), respectively], with statistically significant differences ( $P < 0.05$ ). The diagnostic results of PDWI for knee cartilage injuries showed poor consistency with the “gold standard” ( $Kappa = 0.301, P < 0.05$ ). The diagnostic results of T2-mapping for knee cartilage injuries showed good consistency with the “gold standard” ( $Kappa = 0.464, P < 0.05$ ). The diagnostic results of 3D-WATS for

knee cartilage injuries showed excellent consistency with the “gold standard” ( $Kappa=0.910, P<0.05$ ). The signal intensity ratios of non-defective and defective cartilage areas in 3D-WATS, PDWI, and T2-mapping were  $1.79\pm 0.43, 1.31\pm 0.38, \text{and } 1.04\pm 0.27$ , respectively, with statistically significant differences among the sequences ( $P<0.05$ ). **Conclusion** The application of magnetic resonance 3D-WATS in the diagnosis of knee cartilage injuries has high accuracy and sensitivity, providing more valuable reference information for clinical diagnosis and is worthy of promotion and application.

**[Key words]** Knee cartilage injuries; Magnetic resonance three-dimensional water excitation with spatial targeting; Diagnostic efficacy

软骨损伤是膝关节退行性骨关节病变最常见的早期改变,在临床较为常见,且以中老年群体为高发人群,患者常伴软骨下骨硬化、软骨变性、增生等表现,症状以关节肿胀、疼痛为主,不仅影响患者日常活动,严重者甚至导致关节畸形,丧失关节功能<sup>[1]</sup>。膝关节软骨损伤会严重损害患者关节功能,加剧患者痛苦,因关节软骨受损后无法自行修复,需予以积极有效的治疗,以及时恢复骨关节功能,改善患者预后<sup>[2-3]</sup>。尽早明确诊断并予以针对性治疗是改善患者预后的关键<sup>[4]</sup>。目前,临床诊断膝关节软骨损伤多依赖于影像学技术,磁共振成像(MRI)凭借软组织分辨率高、成像清晰已成为常用的检查方法,为临床诊断提供参考价值<sup>[5]</sup>。MRI具有多种成像序列,常规序列检查膝关节软骨损伤假阳性、假阴性较多,临床应用仍有一定局限性。三维选择性水激发序列(3D-WATS)已广泛用于周围神经系统成像应用中,选用 1 331 的二项式脉冲进行激发,脂肪抑制效果更加彻底<sup>[6]</sup>。本研究旨在探讨磁共振 3D-WATS 对膝关节软骨损伤的诊断价值,具体报道如下。

## 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 选择 2022 年 1 月至 2023 年 9 月于本院诊治的疑似膝关节软骨损伤患者 76 例,其中女 31 例,男 45 例;体重 40~83 kg,平均( $67.64\pm 6.52$ ) kg;年龄 36~74 岁,平均( $58.34\pm 5.28$ )岁。纳入标准:(1)均伴不同程度的膝关节肿胀、活动受限、响声、疼痛等症状表现;(2)自愿进行磁共振检查;(3)磁共振检查后 1 周内行关节镜检查;(4)无膝关节相关治疗史;(5)签署同意书。排除标准:(1)对本研究检查方法有禁忌证;(2)入组前有手术治疗史;(3)伴严重创伤;(4)伴精神疾病或认知障碍;(5)视听障碍,无法进行自主表达。本研究已经过本院伦理委员会审批同意(审批号:20230069)。

## 1.2 方法

**1.2.1 检查方法** 所有入选者均进行 MRI 检查,所用仪器选择西门子 3.0T 超导 MRI 仪,采用专用线圈。提前向患者说明本次检查的相关注意事项,取得患者配合,嘱咐患者放松身心,切勿过度紧张或出现急促呼吸,安静、平稳地配合检查。患者仰卧位于检查床上,双手自然摆放于头两侧,足先进,下肢自然伸

直,扫描位置在髌骨下缘。进行多方位成像,各项参数为轴位 T2WI[各项扫描参数如下:回波时间(TE) 65 ms、重复时间(TR) 2300 ms、视野(FOV)  $140\times 140$ 、层厚 4mm、矩阵  $268\times 265$ ]、标准矢状位 T1WI(各项扫描参数如下:TE 20 ms、TR 650 ms、FOV  $160\times 160$ 、层厚 4 mm、矩阵  $320\times 256$ )、T2WI(各项扫描参数如下:TE 65 ms、TR 2 200 ms、FOV  $160\times 160$ 、层厚 4 mm、矩阵  $268\times 265$ )、T2 弛豫时间图成像(T2-mapping)(各项扫描参数如下:TR 1 925 ms、FOV  $160\times 160$ 、层厚 4 mm、矩阵  $268\times 260$ )、质子密度加权成像(PDWI)(各项扫描参数如下:TE 30 ms、TR 3 950 ms、FOV  $160\times 160$ 、层厚 4 mm、矩阵  $268\times 260$ )及 3D-WATS(各项扫描参数如下:TE 4.3 ms、TR 20 ms、FOV  $160\times 160$ )。所得图像由影像科专业医生(工作时间超过 10 年,具备丰富的临床经验)进行点评,至少 2 位医生进行盲法阅片,仔细分析患者软骨损伤情况,意见不一致时可进行协商解决。

**1.2.2 判断标准** 软骨损伤程度可分为 5 级:正常为 0 级;分层结构不清,但表面尚光整为 1 级;表面不光整,但程度小于总厚度的 50% 为 2 级;表面受损严重,超过总厚度的 50% 为 3 级;整个软骨出现损坏和剥落,且暴露软骨下骨为 4 级。

**1.2.3 观察指标** (1)以膝关节镜作为“金标准”,分析不同序列(T2-mapping、PDWI、3D-WATS)诊断的临床价值:a 为真阳性,d 为真阴性,c 为假阳性,b 为假阴性。 $(a+d)/n$  可计算出准确度, $a/(a+c)$  可计算出灵敏度, $d/(b+d)$  可计算出特异性, $a/(a+b)$  可计算出阳性预测值, $d/(c+d)$  可计算出阴性预测值。并计算不同序列检查结果与“金标准”检查结果的一致性。(2)对比不同序列检查软骨非缺损处与缺损处信号强度比值。

**1.3 统计学处理** 采用 SPSS22.0 统计学软件进行数据分析,计量资料以  $\bar{x}\pm s$  表示,采用  $t$  检验;一致性采用 Kappa 检验;计数资料以率表示,采用  $\chi^2$  检验;3 种序列间的比值采用单因素方差分析; $P<0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 膝关节镜检查结果** 76 例疑似患者中,经膝关节镜检查发现有 52 例存在损伤,其中 12 例 1 级、26

例 2 级、10 例 3 级、4 例 4 级, 另外 24 例未见明显损伤。

**2.2 诊断效能** 3D-WATS 诊断膝关节软骨损伤的灵敏度、特异度、准确度、阳性预测值、阴性预测值, 均高于 PDWI、T2-mapping, 差异均有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。见表 1、2。

**2.3 不同序列诊断结果与“金标准”检查结果一致性分析** PDWI 诊断膝关节软骨损伤的结果与“金标准”结果一致性较差 ( $Kappa = 0.301, P < 0.05$ ), T2-mapping 诊断膝关节软骨损伤的结果与“金标准”结

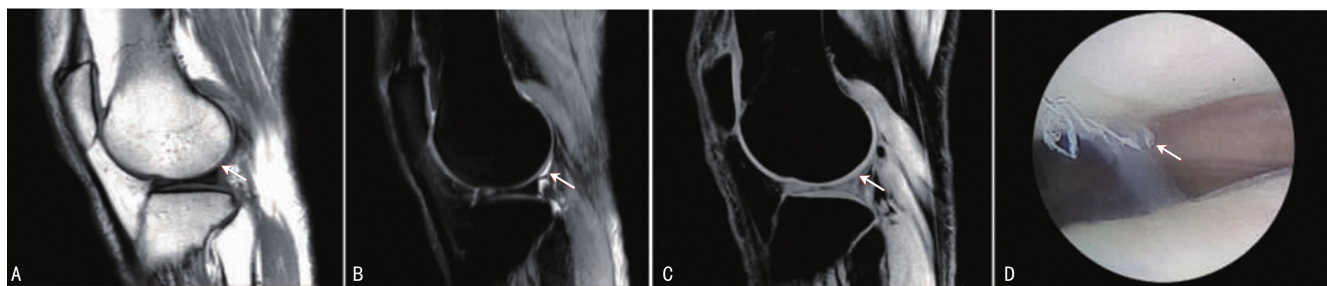
果一致性理想 ( $Kappa = 0.464, P < 0.05$ ), 3D-WATS 诊断膝关节软骨损伤的结果与“金标准”结果一致性极好 ( $Kappa = 0.910, P < 0.05$ )。典型病例见图 1。

表 1 不同序列诊断膝关节软骨损伤结果 ( $n$ )

膝关节镜检查	$n$	T2-mapping		PDWI		3D-WATS	
		阳性	阴性	阳性	阴性	阳性	阴性
阳性	52	42	10	38	14	50	2
阴性	24	8	16	10	14	1	23
合计	76	50	26	48	28	51	25

表 2 不同序列诊断膝关节软骨损伤的价值对比 [ $\% (n/n)$ ]

不同序列	灵敏度	特异度	准确度	阳性预测值	阴性预测值
T2-mapping	80.77(42/52)	66.67(16/24)	76.32(58/76)	84.00(42/50)	61.54(16/26)
PDWI	73.08(38/52)	58.33(14/24)	68.42(52/76)	79.17(38/48)	50.00(14/28)
3D-WATS	96.15(50/52)	95.83(23/24)	96.05(73/76)	98.04(50/51)	92.00(23/25)
$\chi^2$	10.339	9.581	19.436	8.630	11.093
$P$	0.006	0.008	<0.001	0.013	<0.001



注: A. 矢状位 T1WI 图像; B. 矢状位 PDWI 均未显示软骨损伤; C. 3D-WATS 可清晰显示软骨损伤; D. 关节镜检查显示软骨 I 期损伤。

图 1 股骨外髁软骨轻度损伤患者的矢状位 T1WI、PDWI、3D-WATS 和关节镜观察

**2.4 不同序列检查软骨非缺损处与缺损处信号强度比值比较** 3D-WATS、PDWI、T2-mapping 检查软骨非缺损处与缺损处信号强度比值分别为  $(1.79 \pm 0.43)$ 、 $(1.31 \pm 0.38)$ 、 $(1.04 \pm 0.27)$ , 各序列间比较差异有统计学意义 ( $F = 81.801, P < 0.001$ )。

### 3 讨论

膝关节软骨在关节表面主要发挥润滑、缓冲压力等作用, 受膝关节退行性疾病或过度运动影响, 极易发生膝关节软骨损伤, 已成为骨科常见病变<sup>[7]</sup>。膝关节软骨损伤后会引发膝关节一系列症状, 对患者日常行走及生活造成较大影响, 严重降低患者生活质量, 因此, 尽早明确诊断并予以针对性治疗是改善患者预后的关键<sup>[8-9]</sup>。影像学检查是诊断膝关节软骨损伤的常用方法, 尤其是 MRI, 可多方位、多序列成像, 清晰显示病变情况, 为临床诊断提供参考信息<sup>[10]</sup>。目前, 磁共振检查序列较多, 不同序列检查结果存在较大差异, 关于哪种序列检查膝关节软骨损伤的价值更高还未达成共识。

PDWI 与常规 2D 序列是最常用的检查序列, 主

要通过质子密度加权及其压脂像进行评估, 便于显示病变情况<sup>[11]</sup>。但随着广泛应用发现, PDWI 序列诊断准确度较低, 时常发生漏诊、误诊情况, 其原因可能与该序列空间分辨率低、部分容积效应掩盖损伤信号改变有关<sup>[12]</sup>。临床相关研究结果显示, 细胞外基质的合成与分解失去平衡是膝关节软骨损伤最先出现的表现, 水含量与水的通透性均会增加, 此改变在磁共振上呈信号增高表现, 适合进行 T2-mapping 序列检查<sup>[13]</sup>。T2-mapping 在早期软骨损伤中应用广泛, 能够较好地显示细微损伤, 但随着应用发现, 该序列检查结果易受磁场均匀度、检查线圈等影响, 导致假阳性、假阴性频发, 应用价值仍有待提高, 更适合作为补充筛查手段。膝关节软骨损伤后会对抗压负重能力产生影响, 且随着损伤加重还会出现形态学改变, 经较高空间分辨率采集能够及时发现这些细微改变<sup>[14]</sup>。相对常规 2D 序列检查而言, 3D 序列检查采集方式的成像效果更加理想, 或许能够提升诊断效能。本研究结果显示, 76 例疑似膝关节软骨损伤患者中, 有 52 例确诊。3D-WATS 诊断膝关节软骨损伤的灵敏度、特

异度、准确度、阳性预测值、阴性预测值,均高于 PDWI、T2-mapping。PDWI、T2-mapping、3D-WATS 诊断膝关节软骨损伤的结果分别与“金标准”结果一致性从“较差”提高到“极好”。3D-WATS 检查软骨非缺损处与缺损处信号强度比值高于 PDWI、T2-mapping。表明膝关节软骨损伤诊断中应用磁共振 3D-WATS 具有较高的准确度、灵敏度,可为临床诊断提供更多有价值的参考信息,值得推广应用。黄飞等<sup>[15]</sup>研究通过以关节镜检查结果为标准,对比了 PDWI、T2-mapping 和 3D-WATS 对软骨损伤的诊断效能发现,3D-WATS 对膝关节软骨损伤的诊断效能及分期一致性均高于 PDWI、T2-mapping,可为临床诊断提供更多有价值的参考信息,便于临床作出准确诊断。3D-WATS 是利用频率与空间的双重选择脉冲仅激发组织中的水成分,能够较好地抑制脂肪,使其不产生信号,噪声小,获取的组织信号更加纯净<sup>[16]</sup>。3D-WATS 检查损伤组织与正常组织会产生强烈的信号对比,能够更好地勾勒其轮廓,反映病变情况,且减少伪影发生,在膝关节软骨损伤影像诊断中有一定优势。

综上所述,膝关节软骨损伤诊断中应用磁共振 3D-WATS 具有较高的准确度、灵敏度,可为临床诊断提供更多有价值的参考信息,值得推广应用。

## 参考文献

- [1] ŠPRLÁKOVÁ-PUKOVÁ A, ŠTOURACOVÁ A, REPKO M, et al. Prospective multiparametric magnetic resonance monitoring of changes in lesions of hyaline cartilage of the knee joint after treatment by microfractures and implantation of biological collagen type I matrix implants[J]. Acad Radiol, 2021, 28(8): 1133-1141.
- [2] 王明磊, 李春, 刘君伟, 等. 基于核磁共振 T2 mapping 定量评价温针灸对早期兔膝关节骨关节炎软骨损伤的修复作用[J]. 针刺研究, 2023, 48(11): 1117-1124.
- [3] 赵双全, 梁久平, 宋建勋, 等. 膝关节骨性关节炎软骨损伤的分布特征及 MRI 定量成像对比研究[J]. 影像诊断与介入放射学, 2020, 29(3): 189-194.
- [4] 朱莉, 邹文远, 敖锋. 三种 MRI 生理学定量技术对早期膝关节软骨损伤的诊断价值[J]. 陕西医学杂志, 2021, 50(3): 293-296.
- [5] 刘晓艺, 蒲如剑, 梁洁, 等. 3.0T MRI T2 mapping 纹理特征在膝关节骨性关节炎软骨损伤分级中的价值[J]. 磁共振成像, 2021, 12(7): 34-38.
- [6] 李晶, 叶清岚, 蔡磊, 等. 膝关节韧带、关节软骨及半月板损伤的多层螺旋 CT 与 MRI 诊断分析[J]. 实用放射学杂志, 2023, 39(8): 1314-1317.
- [7] 占颖莺, 张怡, 秦培鑫, 等. 应用 3D-DESS 序列评估膝关节骨性关节炎软骨损伤的可行性及可重复性[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2020, 18(3): 124-127.
- [8] 杨峰, 赵惠钰, 李洪秋, 等. 三维双回波稳态序列在前交叉韧带重建术前评估软骨损伤中应用价值[J]. 临床军医杂志, 2021, 49(2): 148-150.
- [9] JUNG M, KARAMPINOS D C, HOLWEIN C, et al. Quantitative 3-T magnetic resonance imaging after Matrix-associated autologous chondrocyte implantation with autologous bone grafting of the knee: the importance of subchondral bone parameters [J]. Am J Sports Med, 2021, 49(2): 476-486.
- [10] 马为彬, 罗禹, 刘坚林, 等. 3.0T 磁共振诊断膝关节半月板损伤与关节镜的一致性研究[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2023, 21(9): 170-172.
- [11] 朱乐发, 肖叶玉, 夏学文, 等. 不同翻转角双回波稳态序列 MRI 评价膝关节骨性关节炎软骨损伤[J]. 中国医学影像技术, 2020, 36(11): 1697-1701.
- [12] 陈蕾, 白杨, 黄冕, 等. 3D-MATRIX 序列在膝关节成像中的临床应用评价: 与常规 2D MR 序列比较[J]. 实用放射学杂志, 2021, 37(9): 1531-1535.
- [13] 潘珂, 黄小华, 刘念, 等. 人工智能-压缩感知加速的磁共振质子密度加权成像序列在膝关节骨关节炎软骨损伤评价中的应用研究[J]. 磁共振成像, 2022, 13(10): 138-143.
- [14] 史珊, 谢利民, 方继良, 等. 磁共振成像 T2-mapping 与 3D-SPACE 序列评估国际骨循环研究协会分期中 2 期及 3A 期股骨头坏死软骨损伤的差异性研究[J]. 中国医学装备, 2023, 20(5): 72-76.
- [15] 黄飞, 吴伟, 郭大静, 等. 磁共振三维选择性水激发序列在膝关节软骨损伤中的应用价值[J]. 第三军医大学学报, 2021, 43(9): 871-875.
- [16] 王彩云, 马贺骥. 3.0 TMRI 3D-FS-FLASH、T2-mapping 较常规序列诊断膝关节软骨早期损伤优势分析[J]. 陕西医学杂志, 2020, 49(1): 40-43.

(收稿日期: 2024-05-21 修回日期: 2024-11-01)