

论 著

MRI 3D-Vibe、T2 Mapping成像在腕关节TFCC损伤中的应用及软骨定量研究*

杨 泉 董胜超 杨圣辉
王 祺*

华北医疗健康集团邢台总医院CT/MRI科
(河北 邢台 054000)

【摘要】目的 探讨MRI三维容积插入式屏气检查及T2 mapping成像在腕关节三角纤维软骨复合体(TFCC)损伤应用及软骨定量分析中的应用价值。**方法** 选取2023年7月至2024年6月于本院诊治的120例疑似腕关节TFCC损伤,以腕关节镜为金标准,经金标准确诊为腕关节TFCC损伤共78例,均在关节镜确诊前做有MRI 3D-Vibe、T2 mapping成像检查,观察并判断其TFCC损伤分型及T2值。采用四格表法计算MRI 3D-Vibe、T2 mapping成像诊断腕关节TFCC损伤的阳性、阴性预测值;绘制受试者工作特征(ROC)曲线分析MRI 3D-Vibe、T2 mapping成像诊断腕关节TFCC损伤的AUC、敏感度和特异度。**结果** 120例疑似腕关节TFCC损伤行MRI 3D-Vibe检查,阳性和阴性预测值分别为81.58%、63.64%;行T2 mapping成像检查,阳性和阴性预测值分别为77.27%、50.00%;行两项联合检查,阳性和阴性预测值分别为82.95%、84.38%。两项联合诊断确诊率高于MRI 3D-Vibe、T2 mapping成像,但与MRI 3D-Vibe比较,差异无统计学意义($\chi^2=2.526, P=0.112$),与T2 mapping成像比较,差异具有统计学意义($\chi^2=10.526, P<0.05$)。阳性组的T2值(40.00 ± 7.25)ms高于阴性组($\chi^2=2.388, P<0.05$);且I B、C、D型的T2值高于I A型($P<0.05$)。ROC曲线分析显示, MRI 3D-Vibe、T2 mapping成像及两项联合诊断腕关节TFCC损伤的AUC值分别为(0.719、0.648、0.789, $P<0.05$);敏感度分别为79.49%、65.34%、93.59%;特异度均为66.67%、64.29%、64.29%。**结论** MRI 3D-Vibe联合T2 mapping成像在腕关节TFCC损伤诊断中具有较高效能,有利于降低误诊率。

【关键词】 腕关节; MRI 3D-Vibe; T2 mapping成像; TFCC

【中图分类号】 R322.7+2

【文献标识码】 A

【基金项目】 邢台市重点研发

计划项目(2023ZZ058)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.11.053

Application of MRI 3D-Vibe Combined T2 Mapping Imaging in TFCC Injury Assessment and Quantitative Cartilage Analysis of Wrist Joint*

YANG Quan, DONG Sheng-chao, YANG Sheng-hui, WANG Qi*

Department of CT/MRI, Xingtai General Hospital of North China Medical and Health Group, Xingtai 054000, Hebei Province, China

ABSTRACT

Objective To investigate the value of MRI three-dimensional volumetric insertion breath-hold examination and T2 mapping imaging in the application of triangular fibrocartilage complex (TFCC) injuries of the wrist joint and cartilage quantitative analysis. **Methods** 120 cases of suspected TFCC injury of the wrist joint diagnosed in our hospital from July 2023 to June 2024 were selected, and wrist arthroscopy was used as the gold standard, and a total of 78 cases were diagnosed as TFCC injury of the wrist joint by the gold standard, all of them had MRI 3D-Vibe and T2 mapping imaging examination before arthroscopic confirmation of diagnosis, and their TFCC injury typing and T2 value were observed and judged. The positive and negative predictive values of MRI 3D-Vibe and T2 mapping in the diagnosis of wrist TFCC injury were calculated by using four-cell table method. Receiver operating characteristic (ROC) curve was drawn to analyze the AUC, sensitivity and specificity of MRI 3D-Vibe and T2 mapping imaging in diagnosing wrist TFCC injury. **Results** 120 patients suspected of wrist TFCC injury were examined by MRI 3D-Vibe, and the positive and negative predictive values were 81.58% and 63.64%, respectively. After T2 mapping, the positive and negative predictive values were 77.27% and 50.00%, respectively. The positive and negative predictive values were 82.95% and 84.38%, respectively. The diagnosis rate of the two combined diagnoses was higher than that of MRI 3D-Vibe and T2 mapping imaging, but the difference was not statistically significant compared with MRI 3D-Vibe ($\chi^2=2.526, P=0.112$), while the difference was statistically significant compared with T2 mapping imaging ($\chi^2=10.526, P<0.05$). The T2 value (40.00 ± 7.25 ms) in the positive group was higher than that in the negative group ($\chi^2=2.388, P<0.05$). The T2 value of type I B, C and D was higher than that of type I A ($P<0.05$). ROC curve analysis showed that the AUC values of MRI 3D-Vibe, T2 mapping imaging and the combined diagnosis of wrist TFCC injury were (0.719, 0.648 and 0.789, $P<0.05$). Sensitivity was 79.49%, 65.34% and 93.59%, respectively. The specificity was 66.67%, 64.29%, 64.29%. **Conclusion** MRI 3D-Vibe combined T2 mapping imaging has high efficiency in the diagnosis of wrist TFCC injury, which is conducive to reducing the misdiagnosis rate.

Keywords: Wrist; MRI 3D-Vibe; T2 Mapping Imaging; TFCC

腕关节三角纤维软骨复合体(Triangular fibrocartilage Complex, TFCC)是前臂与手掌之间的重要连接点,对确保力量从前臂传递至手掌和维持腕关节的稳定性具有重要作用^[1-2]。但当其受损,则会引起相邻关节不稳、尺侧疼痛,以及尺骨撞击等一系列临床表现。目前临床将腕关节镜检查作为诊断TFCC的金标准,虽然其具有高灵敏度和准确性,但属于有创操作,无法保证患者的依从性^[3]。MRI作为一种无创、高分辨率、可重复性的检查方法。已有研究报道,其在膝关节、踝关节等韧带损伤诊断中具有较高的检出率,可清晰观察软组织走行和轮廓^[4]。但也有研究指出,传统MRI序列扫描对诊断腕关节TFCC损伤方面可能存在局限性^[5]。因此本研究建议采用三维容积插入式屏气检查(3D volumetric interpolated breath-hold examination, 3D-Vibe)与T2 mapping序列扫描,其中3D-Vibe为MRI新技术,可任意角度重建,较适用于软骨和纤维结构的扫描;而T2 mapping成像是一种通过量化相关组织水含量的水脂分离成像技术;两者通过联合进一步提高腕关节TFCC损伤的检出率。结果如下:

1 资料与方法

1.1 临床资料 选取2023年7月至2024年6月于本院诊治的120例疑似腕关节TFCC损伤,以腕关节镜为金标准,经金标准确诊为腕关节TFCC损伤共78例。120例受试者中,男性65例、女性55例;年龄28~68岁,平均值(43.25 ± 2.63)岁;BMI 19~27kg/m²,平均值(24.12 ± 3.52)kg/m²。

纳入标准: 经腕关节镜确诊为创伤性TFCC损伤; TFCC挤压试验阳性;年龄>18岁;认知功能正常;既往未接受过腕关节手术治疗。排除标准: 既往有腕关节骨折史;患有恶性肿瘤;患有精神障碍类疾病;患有风湿性疾病。

1.2 方法 (1)MRI检测方法: 采用西门子Siemens 3.0T Skyra磁共振成像仪及手腕专用表面线圈,指导受试者取仰卧位,线圈中心对准腕关节,行腕关节常规平扫、MRI 3D-Vibe、T2 mapping序列扫描。①冠状位3D-Vibe序列扫描参数: 视野(FOV) 220mm×220mm, 重复时间(TR)13.5ms, 回波时间(TE) 6.0ms, 层厚0.5 mm, 矩

【第一作者】 杨 泉, 男, 主治医师, 主要研究方向: 医学影像。E-mail: 33703042@qq.com

【通讯作者】 王 祺, 女, 主任医师, 主要研究方向: 医学影像。E-mail: unabletohold@126.com

阵238×256。②冠状位T2 mapping序列扫描参数：视野(FOV) 160mm×160mm，重复时间(TR)1510.0ms，回波时间(TE) 11.20ms、22.40ms、33.60ms、44.80ms、56.0ms，层厚0.5 mm，矩阵238×256。

(2)图像处理：由2名临床经验≥5年的影像学主治医师根据

3D-Vibe图像判断受试者是否存在腕关节TFCC损伤，并判断损伤性质及程度，见表1；诊断意见不统一时，经讨论达成一致意见。将T2 mapping原始图像传至后处理工作站，采用Syngo.via软件分析，并在三角纤维软骨盘(TFC)勾勒2mm²的兴趣区(ROI)，自动计算T2值。见图1。

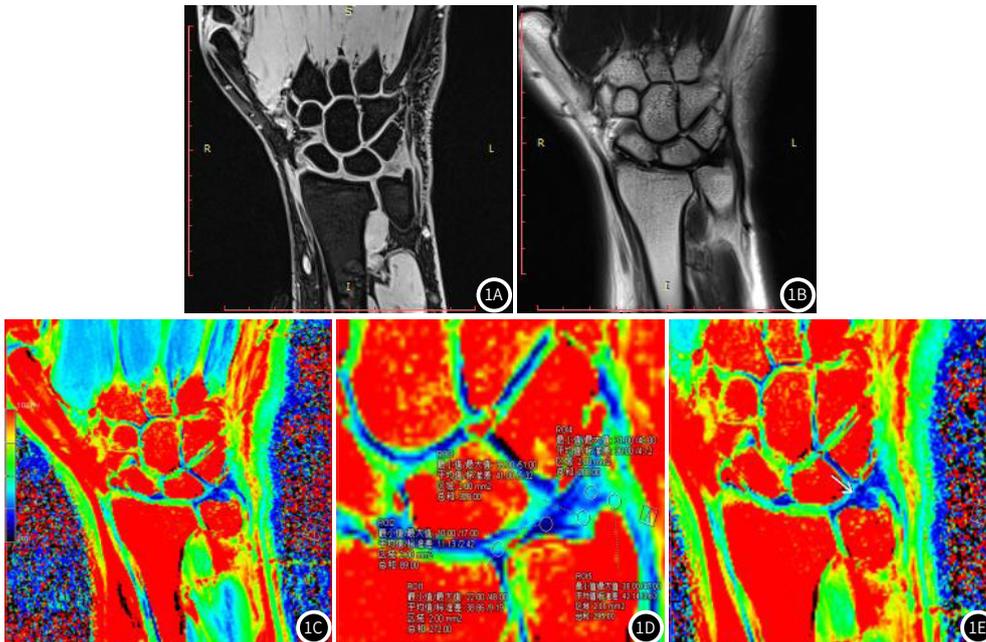


图1 感兴趣区(ROI)勾画示意图。1A: 冠状位腕关节三角纤维软骨复合体受检者的3D-Vibe图；1B: 冠状位腕关节受检者T2 mapping解剖图；1C: 冠状位腕关节受检者T2 mapping伪彩图；1D: 勾画面积约2mm²的ROI, ROI 1为桡侧软骨、ROI 2为三角纤维软骨盘、ROI 3为纤维血管组织、ROI 4为类半月板同系物、ROI 5为尺侧附着处；1E: 三角纤维软骨盘损伤患者，T2信号增高，三角纤维软骨盘颜色变化(箭头)。

表1 创伤性TFCC损伤的MRI 3D-Vibe影像表现

创伤性TFCC损伤类型	MRI 3D-Vibe影像表现
I A型	TFC中心见裂缝样高信号影
I B型	尺骨茎突连接部或尺骨茎突凹处韧带附着处结构模糊，呈高信号
I C型	尺三角韧带不连续，断端结构模糊，信号增高
I D型	桡骨乙状切迹连接部形态呈不规则，信号增高

注：TFC为三角纤维软骨盘。

(3)ROC曲线绘制方法：以腕关节镜结果为金标准，绘制MRI 3D-Vibe、T2值及两项联合诊断腕关节TFCC损伤的受试者工作特征(ROC)曲线，以T2值截断值>37.52为诊断腕关节TFCC损伤的阳性标准，反之则为阴性；三项联合采用平行联合诊断方式，以任一检查方法结果为阳性即可确诊为阳性，以两项检查结果均为阴性即可确诊为阴性。

1.3 统计学方法 采用SPSS 22.0软件分析本次数据。计量资料和计数资料分别采用($\bar{x} \pm s$)和(n; %)表示，行t检验/ χ^2 /Z检验；阳

性与阴性预测值采用四格表法计算；一致性采用Kappa检验；诊断价值采用ROC曲线分析；以P<0.05为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 阳性预测值和阴性预测值比较 120例疑似腕关节TFCC损伤患者行MRI 3D-Vibe检查，阳性和阴性预测值分别为81.58%、63.64%，与金标准相比，一致性一般(Kappa=0.419, P<0.001)；行T2 mapping成像检查，阳性和阴性预测值分别为77.27%、50.00%，与病理结果相比，一致性较差(Kappa=0.278, P<0.001)；行两项联合检查，阳性和阴性预测值分别为82.95%、84.38%，与病理结果相比，一致性较好(Kappa=0.612, P<0.001)。两项联合诊断确诊率高于MRI 3D-Vibe、T2 mapping成像，但与MRI 3D-Vibe比较，差异无统计学意义($\chi^2=2.526, P=0.112$)，与T2 mapping成像比较，差异具有统计学意义($\chi^2=10.526, P<0.05$)。见表2。

2.2 MRI 3D-Vibe检出创伤性TFCC损伤类型与金标准结果对比 78例腕关节TFCC损伤患者经MRI 3D-Vibe检出62例，其中I A型占17例、I B型占26例、I C型占12例、I D型占7例。见表3。

表2 三种方法的阳性预测值和阴性预测值

金标准	MRI 3D-Vibe		T2 mapping成像		两项联合		合计
	阳性	阴性	阳性	阴性	阳性	阴性	
阳性	62	16	51	27	73	5	78
阴性	14	28	15	27	15	27	42
合计	76	44	66	54	88	32	120

注：金标准为腕关节镜。

表3 MRI 3D-Vibe检出创伤性TFCC损伤类型与金标准结果对比[n(%)]

创伤性TFCC损伤类型	金标准	MRI 3D-Vibe	χ^2 值	P值
I A型	24	17(70.83)	8.195	0.004
I B型	30	26(86.67)	4.286	0.038
I C型	16	12(75.00)	4.571	0.033
I D型	8	7(87.50)	1.067	0.302
合计	78	62(79.49)	17.829	<0.001

2.3 阳性组和阴性组的T₂值比较 阳性组的T₂值(40.00±7.25) ms高于阴性组($\chi^2=2.388, P<0.05$); 且I B、C、D型的T₂值高于I A型($P<0.05$)。见表4。

表4 阳性组和阴性组的T₂值比较

组别	创伤性TFCC损伤类型	T ₂ 值(ms)
阳性组(n=78)	I A型(n=24)	34.95±4.95
	I B型(n=30)	41.29±5.39 ^{ac}
	I C型(n=16)	44.07±4.98 ^{ac}
	I D型(n=8)	48.23±5.62 ^{abc}
阴性组(n=42)		36.94±5.52
F值		20.436
P值		<0.001

注: ^a与I A型比较, $t=5.864、6.957、7.335, P<0.05$;

^b与I B型比较, $t=3.211, P<0.05$; ^c与阴性比较, $t=3.325、4.509、5.287$ 。

2.4 诊断效能分析 ROC曲线分析显示, MRI 3D-Vibe、T₂ mapping成像及两项联合诊断腕关节TFCC损伤的AUC值分别为(0.719、0.648、0.789, $P<0.05$); 敏感度分别为79.49%、65.34%、93.59%; 特异度均为66.67%、64.29%、64.29%; 两

项联合的AUC值高于MRI 3D-Vibe、T₂ mapping成像单独, 但与MRI 3D-Vibe比较, 差异无统计学意义($Z=0.990, P=1.678$), 与T₂ mapping成像比较, 差异具有统计学意义($Z=1.953, P<0.05$)。见表5和图2。

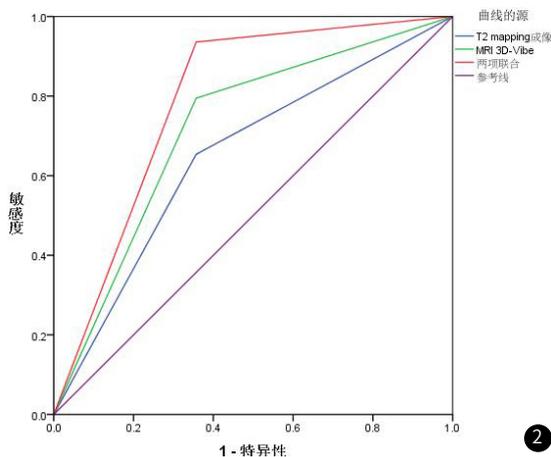


图2 MRI 3D-Vibe、T₂ mapping成像及两项联合诊断腕关节TFCC损伤的效能分析。

表5 MRI 3D-Vibe、T₂ mapping成像及两项联合诊断腕关节TFCC损伤的效能分析

检验结果变量	AUC	标准误	P	渐近95%置信区间		约登指数	敏感度(%)	特异度(%)
				下限	上限			
MRI 3D-Vibe	0.719	0.051	<0.001	0.619	0.819	0.438	79.49	66.67
T ₂ mapping成像	0.648	0.053	0.007	0.544	0.752	0.297	65.34	64.29
两项联合	0.789	0.049	<0.001	0.694	0.885	0.579	93.59	64.29

3 讨论

腕关节TFCC损伤为骨科常见疾病, 也是引起腕关节尺侧疼痛、手腕活动受限的常见原因^[6]。按照其类型不同, 可分为创伤型和退变型两种, 前者是由外力直接或间接作用于腕关节所引起, 可造成TFCC撕裂或穿孔^[7]; 后者是由长期慢性劳损、年龄增长等因素造成TFCC退行性改变^[8]。据临床调查, 相较于退变型TFCC损伤, 以创伤型TFCC损伤更为多见, 尤其是在年轻且活动频繁的人群中^[9]。腕关节镜为临床诊断腕关节TFCC损伤的金标准, 通过在腕关节建立通道, 再将镜头和器械置入关节内部, 清晰观察TFCC形态及结构, 这对准确判断TFCC损伤类型和程度具有重要意义^[10]。但属于有创操作, 并且对操作者的技术具有较高的要求, 导致其广泛应用受限。因此寻找一种更科学有效的诊断方法成为临床颇为关注的焦点。X线、CT为临床诊断骨科疾病的常用影像学方法, 但针对其在腕关节TFCC损伤中, 发现上述方法虽然能清晰地显示骨骼结构, 但仅能观察尺桡骨病变, 难以检出韧带、软组织、关节盘损伤, 故而无法准确地评估TFCC损伤程度和类型^[11]。

MRI技术因具有高分辨率和对比度而在骨科疾病诊断中得到广泛应用; 针对其作用原理分析, 发现MRI是利用强磁场和射频脉冲来显示软组织、韧带、关节盘等结构形态^[12-13]。譬如MRI 3D-Vibe是一种采用薄层扫描和高分辨率重建的无辐射成像技术, 能清晰显示TFCC等细小的软骨和纤维结构变化, 以及韧带和关节盘的完整性, 对判断TFCC是否损伤具有重要意义^[14-15]。本研究结果显示, 3D-Vibe诊断腕关节TFCC损伤与金标准的符合率为75.00%, 共检出I A型17例、I B型26例、I C型12例、I D型7例。从该结果得出3D-Vibe在诊断腕关节TFCC损伤方面具有一定

效能。尽管3D-Vibe技术具有高分辨率和多角度重建等优势, 但由于TFCC结构较为复杂, 且尺寸较小, 对于损伤程度较轻或细微损伤可能难以准确识别, 进而导致漏诊; 另外, TFCC损伤的症状、体征与腱鞘炎、关节炎等疾病较为相似, 极有可能造成误诊。T₂ mapping成像是一种新型MRI影像技术, 通过测量感兴趣区的T₂弛豫时间值来评估TFCC微观结构和组成, 相比其他影像学方法, 能定量分析关节软骨内成分及结构变化情况^[16-18]。本研究结果表明, 阳性组的T₂值高于阴性组; 且I B、C、D型的T₂值高于I A型, 从该结果得出在TFCC损伤的影响下, 组织内水分子运动变得更加自由, 导致T₂值升高; 并随着TFCC损伤程度的加重, 组织内微观结构变化也更加明显, 因此T₂值进一步升高。本研究还发现, I A型患者的T₂值与阴性组比较, 差异无统计学意义, 这可能是TFCC损伤程度较轻, 组织内水分子运动可能未发生明显变化, 因此T₂值变化较小, 影响诊断确诊率。基于该点, 本研究提出MRI 3D-Vibe与T₂ mapping成像联合, 以此提高检出率, 结果显示, 两项联合诊断腕关节TFCC损伤的AUC值0.789、敏感度93.59%高于MRI 3D-Vibe、T₂ mapping成像单独检测, 进一步论证了两项联合的可行性, 但可能是受样本量较小影响, 导致两项联合的AUC值与MRI 3D-Vibe比较, 差异无统计学意义, 还需扩大样本进一步论证。

综上所述, MRI 3D-Vibe联合T₂ mapping成像在腕关节TFCC损伤诊断中具有较高效能, 有利于降低误诊率。

