

· 影像诊断 ·

磁共振定量磁化率成像在半月板变性和半月板撕裂诊断中的应用价值

陈钰祥

(兰溪市人民医院, 浙江 兰溪 321102)

摘要 目的:探讨磁共振定量磁化率成像(quantitative susceptibility mapping, QSM)在半月板变性和半月板撕裂诊断中的应用价值。**方法:**纳入 100 例拟行磁共振和关节镜检查的疑似半月板损伤患者和 50 例健康志愿者(健康对照组),根据关节镜检查结果,将半月板损伤患者分为半月板变性组和半月板撕裂组。将磁共振检查图像进行 QSM 处理,提取并比较 3 组受试者的磁敏感值,采用受试者操作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线分析磁共振 QSM 在半月板变性和半月板撕裂诊断中的应用价值。**结果:**半月板变性组、半月板撕裂组、健康对照组受试者的磁敏感值比较,组间差异有统计学意义 $[(- 0.03 \pm 0.01) \text{ ppm}, (- 0.12 \pm 0.10) \text{ ppm}, (0.03 \pm 0.01) \text{ ppm}, F = 86.088, P = 0.000]$ 。半月板变性组和半月板撕裂组受试者的磁敏感值均低于健康对照组(LSD- $t = 30.434, P = 0.000$; LSD- $t = 10.554, P = 0.000$);半月板撕裂组受试者的磁敏感值低于半月板变性组(LSD- $t = 6.520, P = 0.000$)。ROC 曲线分析结果显示,以磁敏感值 -0.051 ppm 为标准诊断半月板变性的 ROC 曲线下面积为 0.789($P = 0.000$),灵敏度为 100.00%,特异度为 76.30%,约登指数为 0.763;以磁敏感值 -0.062 ppm 为标准诊断半月板撕裂的 ROC 曲线下面积为 0.981($P = 0.000$),灵敏度为 97.00%,特异度为 100.00%,约登指数为 0.936。**结论:**磁共振 QSM 诊断半月板变性和半月板撕裂具有一定的应用价值。

关键词 膝损伤;半月板;磁共振成像;定量磁化率成像

半月板损伤多由运动不当所致,以年轻人居多^[1]。半月板损伤包括半月板变性和半月板撕裂 2 种类型,且不同损伤类型的治疗方案不同^[2-3]。因此,临床诊断半月板损伤时,明确损伤类型对于治疗方案的制定具有重要意义。关节镜检查是诊断半月板损伤类型的金标准,但其属于有创检查,患者接受度低^[4]。磁共振成像诊断半月板损伤具有较高的灵敏度,但在诊断半月板损伤类型时易受到临床医师主观因素的影响,容易导致误诊^[5-6]。随着磁共振成像技术的不断发展,磁共振定量磁化率成像(quantitative susceptibility mapping, QSM)逐渐在临床上得到应用,其能够准确反映人体组织磁化率的分布,在多种疾病诊断中的价值得到认可^[7-8]。相关研究^[9-10]表明,磁共振 QSM 可用于半月板损伤的诊断。为了进一步探讨磁共振 QSM 在半月板变性和半月板撕裂诊断中的应用价值,我们进行了此项研究,现报告如下。

1 临床资料

1.1 一般资料 选取 2020 年 3 月至 2021 年 3 月在兰溪市人民医院就诊的疑似半月板损伤患者和同期招募的健康志愿者为研究对象。试验方案经医院医学伦理委员会审查通过。

1.2 纳入标准 ①符合半月板损伤的临床表现特

征^[11],拟行磁共振和关节镜检查(仅针对半月板损伤患者);②年龄 18 ~ 60 岁;③体质量 $\leq 80 \text{ kg}$;④同意参与本研究,签署知情同意书。

1.3 排除标准 ①合并股骨、胫骨平台骨折者;②合并膝关节局部感染者;③合并恶性肿瘤者;④有膝关节手术史者;⑤妊娠或哺乳期妇女;⑥有精神疾病史者。

2 方法

2.1 磁共振检查方法 采用 GE SIGNA HDXT 1.5T 磁共振扫描仪对患者患侧膝关节和健康志愿者右侧膝关节进行扫描,采用 Tim4G 线圈系统。受试者取仰卧位,分别采用 T1 加权像(T1 weighted image, T1WI)及 T2 加权像(T2 weighted image, T2WI)行矢状面及冠状面扫描。矢状面 T1WI、T2WI,重复时间(repetition time, TR)分别为 2800 ms、2717 ms,回波时间(echo time, TE)分别为 30 ms、40 ms;冠状面 T1WI、T2WI,TR 分别为 538 ms、2980 ms,TE 分别为 10 ms、85 ms。视野 6 ~ 10 cm,层间距 1 mm,层厚度 5 mm,旋转角度 10° ~ 15°。

2.2 关节镜检查方法 患者取仰卧位,患侧膝关节屈曲 45°,在内外侧膝眼上方 2 mm 处建立关节镜检查通道。外侧为关节镜通道,内侧为探针等器械通

道。按照髌上囊、髌股关节面、内侧沟、内侧间室、髌间窝、外侧沟的顺序依次进行检查,发现组织病变照相记录或取样活检。

2.3 分组方法 将健康志愿者纳入健康对照组;根据关节镜检查结果,将半月板损伤患者分为半月板变性组和半月板撕裂组。

2.4 磁共振 QSM 分析方法 将膝关节磁共振相位图及幅值图传输至 MATLAB 软件,运用拉普拉斯解缠绕算法,对原始相位进行解缠绕,用 ITK-SNAP 在幅值图像上进行掩模手动勾画;应用变核复杂谐波伪影去除算法,去除不均匀的背景,再用二级 QSM 重建算法计算得到 QSM 图谱;在矢状面同空间的原始 QSM 幅值图上分别以半月板损伤区域为中心,完整勾画出整个损伤区域,并进行 2 次手动分割,将其保存为感兴趣区域(region of interest, ROI),利用勾画完成的 ROI 映射到 QSM 图像上提取磁敏感值。健康志愿者选取外侧半月板后角中心区域为 ROI。

2.5 数据统计方法 采用 SPSS16.0 统计软件对所得数据进行统计学分析。3 组受试者性别的组间比较采用 χ^2 检验,年龄、体质量、磁敏感值的组间比较均采用单因素方差分析,磁敏感值的组间两两比较采用 LSD- t 检验;磁共振 QSM 在半月板变性和半月板撕裂诊断中的价值评价采用受试者操作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线分析。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

3 结果

3.1 关节镜检查和分组结果 共纳入 100 例膝关节损伤患者,经关节镜检查确诊半月板变性 53 例(半月板变性组)、半月板撕裂 47 例(半月板撕裂组),半月

板损伤的具体部位见表 1。纳入健康志愿者 50 例(健康对照组)。3 组受试者基线资料比较,差异无统计学意义,有可比性(表 2)。

3.2 磁共振 QSM 分析结果 半月板变性组、半月板撕裂组、健康对照组受试者的磁敏感值比较,组间差异有统计学意义[(-0.03 ± 0.01) ppm, (-0.12 ± 0.10) ppm, (0.03 ± 0.01) ppm, $F=86.088$, $P=0.000$]。半月板变性组和半月板撕裂组受试者的磁敏感值均低于健康对照组(LSD- $t=30.434$, $P=0.000$;LSD- $t=10.554$, $P=0.000$);半月板撕裂组受试者的磁敏感值低于半月板变性组(LSD- $t=6.520$, $P=0.000$)。ROC 曲线分析结果显示,以磁敏感值 -0.051 ppm 为标准诊断半月板变性的 ROC 曲线下面积为 0.789($P=0.000$),灵敏度为 100.00%,特异度为 76.30%,约登指数为 0.763(图 1);以磁敏感值 -0.062 ppm 为标准诊断半月板撕裂的 ROC 曲线下面积为 0.981($P=0.000$),灵敏度为 97.00%,特异度为 100.00%,约登指数为 0.936(图 2)。半月板损伤患者及健康志愿者膝关节影像图片见图 3。

4 讨论

半月板损伤是常见运动损伤,主要表现为膝关节肿胀、疼痛、活动受限,严重影响患者工作和生活^[12]。然而,部分患者半月板损伤后临床表现不明显,而常规 X 线和 CT 检查难以明确半月板损伤,易导致半月板损伤漏诊或误诊,影响患者膝关节功能的恢复^[13]。陈静等^[14]的研究结果表明,核磁共振检查能够提高诊断半月板损伤的准确度,且核磁共振检查用时少,诊断效率高。然而,常规磁共振检查诊断半月板损伤类型,易受临床医师主观因素影响,导致误诊。正常

表 1 半月板损伤部位关节镜检查结果

单位:例

损伤类型	半月板损伤部位				合计
	外侧半月板前角	外侧半月板后角	内侧半月板前角	内侧半月板后角	
半月板变性	10	16	7	20	53
半月板撕裂	7	19	3	18	47

表 2 3 组受试者的基线资料

组别	样本量/例	性别/例		年龄/ $(\bar{x} \pm s, \text{岁})$	体质量/ $(\bar{x} \pm s, \text{kg})$
		男	女		
半月板变性组	53	27	26	36.48 \pm 5.23	73.28 \pm 3.63
半月板撕裂组	47	24	23	36.17 \pm 5.22	73.02 \pm 3.58
健康对照组	50	27	23	35.86 \pm 5.64	72.85 \pm 3.43
检验统计量		$\chi^2=0.120$		$F=0.172$	$F=0.192$
P 值		0.942		0.842	0.825

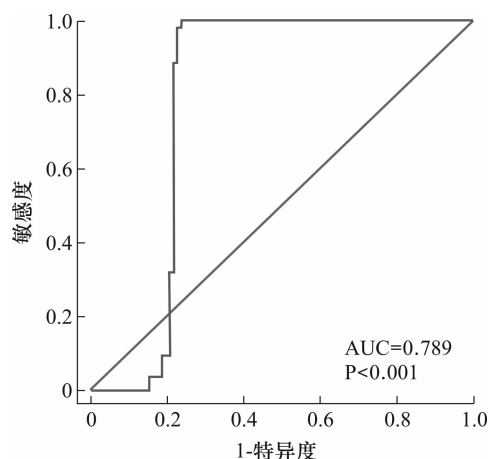


图 1 磁敏感值诊断半月板变性的受试者操作特征曲线图

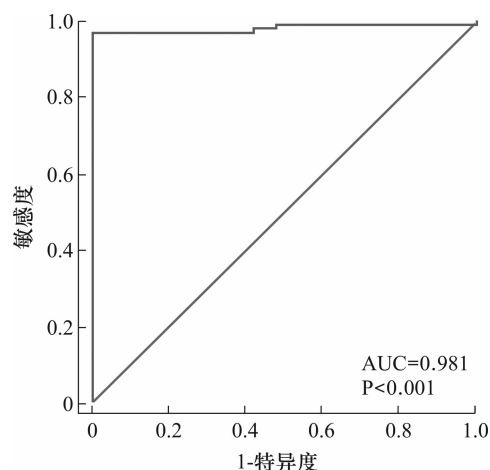
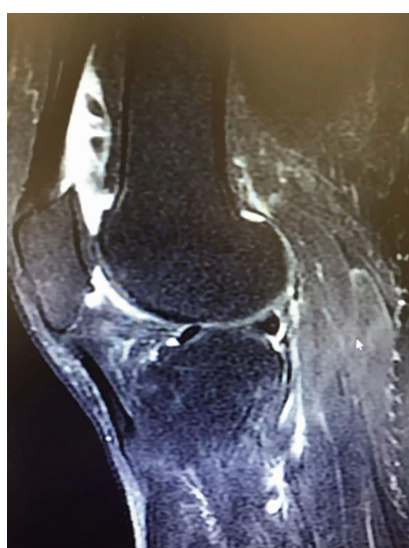


图 2 磁敏感值诊断半月板撕裂的受试者操作特征曲线图



(1) 内侧半月板后角撕裂患者



(2) 外侧半月板后角变性患者



(3) 健康志愿者

图 3 半月板损伤患者和健康志愿者膝关节矢状位 T2 加权像

半月板中的胶原纤维走向一致,呈现顺磁性(磁敏感值 >0),半月板损伤导致胶原纤维走向改变,呈现抗磁性(磁敏感值 <0);与半月板变性比较,半月板撕裂对半月板的破坏更加严重,胶原纤维排列更加无序和混乱,且关节腔积液可能渗入半月板,由于水具有抗磁性,导致半月板撕裂呈现更加明显的抗磁性^[15-16]。本研究结果显示,半月板变性组、半月板撕裂组和健康对照组受试者磁敏感值的组间差异具有统计学意义;以磁敏感值 -0.051 ppm 为标准诊断半月板变性,灵敏度为 100.00%,特异度为 76.30%;以磁敏感值为 -0.062 ppm 为标准诊断半月板撕裂,灵敏度为 97.00%,特异度为 100.00%;提示磁共振 QSM 在半月板变性和半月板撕裂的诊断中具有一定的应用价值。但对于年龄、半月板损伤原因、外伤至磁共振检查时间等因素是否影响磁敏感值等问题,本研究尚未涉及,仍需进一步开展相关临床和基础研究进一步

探讨。

参考文献

- [1] MAMATHA P M, GOPINATHAN J, ELAKKIYA V, et al. Knee meniscus injury: insights on tissue engineering strategies through retrospective analysis and in silico modeling[J]. J Indian Inst Sci, 2019, 99: 429-443.
- [2] 代朋乙, 王战朝, 张智敏, 等. 膝关节镜下腰穿套管针辅助钢丝引导缝合治疗外侧盘状半月板损伤[J]. 中国医刊, 2021, 56(11): 1219-1222.
- [3] 郝烨, 朱云峰, 何京生, 等. 关节镜下两种手术方式治疗老年膝关节半月板损伤的疗效比较[J]. 现代诊断与治疗, 2020, 31(13): 2117-2118.
- [4] MULL C, WOHLMUTH P, KRAUSE M, et al. Hepatocyte growth factor and matrix metalloproteinase 2 levels in synovial fluid of the knee joint are correlated with clinical outcome of meniscal repair[J]. Knee, 2020, 27(4): 1143-1150.
- [5] 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.
- [6] 常丽鹏, 赵敏, 龚国龄, 等. MRI 在膝关节半月板损伤, 前交叉韧带损伤诊断中的应用价值研究[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2020, 18(8): 164-167.
- [7] 毛慧敏, 王新怡, 陈坤健, 等. 单侧大脑中动脉狭窄或闭塞脑铁沉积的定量磁敏感图初步研究[J]. 磁共振成像, 2021, 12(11): 16-20.
- [8] 张晓星, 李跃华. 磁共振技术在脑胶质瘤术前分级中的应用进展[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2019, 25(3): 326-331.
- [9] 李晔, 杨昇偲, 巩涛, 等. MR 定量磁敏感图在鉴别膝关节半月板变性和撕裂中的应用价值[J]. 中华放射学杂志, 2021, 55(5): 522-527.
- [10] BOLLMANN S, RASMUSSEN K G B, KRISTENSEN M, et al. DeepQSM - using deep learning to solve the dipole inversion for quantitative susceptibility mapping[J]. NeuroImage, 2019, 195: 373-383.
- [11] 胥少汀, 葛宝丰, 徐印坎. 实用骨科学[M]. 4 版. 北京: 人民军医出版社, 2012: 2249-2250.
- [12] TARAFDER S, PARK G, LEE C H. Explant models for meniscus metabolism, injury, repair, and healing[J]. Connect Tissue Res, 2020, 61(3/4): 292-303.
- [13] 吕永革, 陈智毅. 膝关节半月板损伤的影像学诊断进展[J]. 中国医学创新, 2015, 12(26): 151-153.
- [14] 陈静, 何鸣, 崔莹. 核磁共振在膝关节半月板损伤方面的应用价值[J]. 临床医药文献电子杂志, 2019, 6(103): 151.
- [15] WEI H, LIN H, QIN L, et al. Quantitative susceptibility mapping of articular cartilage in patients with osteoarthritis at 3T[J]. J Magn Reson Imaging, 2019, 49(6): 1665-1675.
- [16] WANG Y, LIU T. Quantitative susceptibility mapping (QSM): decoding MRI data for a tissue magnetic biomarker[J]. Magn Reson Med, 2015, 73(1): 82-101.

(收稿日期: 2022-02-22 本文编辑: 吕宁)

· 作者须知 ·

论文中对数据进行统计学处理时需要注意的问题

1 对基线资料进行统计学分析 搜集资料应严格遵守随机抽样设计, 保证样本从同质的总体中随机抽取, 除了对比因素外, 其他可能影响结果的因素应尽可能齐同或基本接近, 以保证组间的齐同可比性。因此, 应对样本的基线资料进行统计学分析, 以证明组间的齐同可比性。

2 选择正确的统计检验方法 研究目的不同、设计方法不同、资料类型不同, 选用的统计检验方法则不同。例如: 2 组计量资料的比较应采用 t 检验; 而多组 (≥ 3 组) 计量资料的比较应采用方差分析 (即 F 检验), 如果组间差异有统计学意义, 想了解差异存在于哪两组之间, 再进一步做 q 检验或 LSD- t 检验。许多作者对多组计量资料进行比较时采用两两组间 t 检验的方法是错误的。又如: 等级资料的比较应采用 Ridit 分析或秩和检验或行平均得分差检验。许多作者对等级资料进行比较时采用卡方检验的方法是错误的。

3 假设检验的推断结论不能绝对化 假设检验的结论是一种概率性的推断, 无论是拒绝 H_0 还是不拒绝 H_0 , 都有可能发生错误 (I 型错误和 II 型错误)。因此, 假设检验的推断结论不能绝对化。

4 P 值的大小并不表示实际差别的大小 研究结论包括统计结论和专业结论两部分。统计结论只说明有无统计学意义, 而不能说明专业上的差异大小。 P 值的大小不能说明实际效果的“显著”或“不显著”。统计结果的解释和表达, 应对对比组之间的差异有 (或无) 统计学意义, 而不能说对比组之间有 (或无) 显著的差异。 $P \leq 0.01$ 比 $P \leq 0.05$ 更有理由拒绝 H_0 , 并不表示 $P \leq 0.01$ 时比 $P \leq 0.05$ 时实际差异更大。只有将统计结论和专业知识有机地结合起来, 才能得出恰如其分的研究结论。若统计结论与专业结论一致, 则最终结论也一致; 若统计结论与专业结论不一致, 则最终结论需根据专业知识而定。判断被试因素的有效性时, 要求在统计学上和专业上都有意义。

5 假设检验的结果表达 P 值传统采用 0.05 和 0.01 这 2 个界值, 现在提倡给出 P 的具体数值和检验统计量的具体数值 (小数点后保留 3 位有效数字), 主要理由是: ①以前未推广统计软件之前, 需要通过查表估计 P 值, 现在使用统计软件会自动给出具体的 P 值和检验统计量的具体值 (t 值、 F 值、 χ^2 值等)。②方便根据具体情况判断问题。例如 $P = 0.051$ 与 $P = 0.049$ 都是小概率, 不能简单地断定 $P = 0.051$ 无统计学意义而 $P = 0.049$ 有统计学意义。③便于对同类研究结果进行综合分析。

6 统计学符号的使用 统计学符号的使用应按照 GB 3358—82《统计名词及符号》的规定, 具体可参阅本刊投稿须知中的有关要求。