

论 著

T2-mapping成像技术对膝关节髌软骨损伤分级诊断价值研究*

钟治晖¹ 查 婧¹ 范华刚¹
黎 蕾¹ 王柳仙¹ 郑 珍²
谢安明^{1,*}1. 联勤保障部队第九〇八医院放射诊断科
(江西 南昌 330002)

2. 江西科技学院医务所 (江西 南昌 330098)

【摘要】目的 探讨T2-mapping成像技术对膝关节髌软骨损伤分级诊断价值研究。方法 选取我院2022年2月至2024年2月收治的膝关节髌软骨损伤患者147例作为损伤组,以关节镜结果作为“金标准”,另将45名健康志愿者作为对照组。根据膝关节髌软骨损伤分级将147例膝关节髌软骨损伤患者分为轻度髌软骨损伤组(I、II级)102例和重度髌软骨损伤组(III、IV级)45名。收集一般资料、均行膝关节MRI常规扫描及T2-mapping序列扫描,分别比较不同区域软骨T2值,通过SPSS 27.0统计软件进行数据统计分析。构建广义线性混合模型分析T2值与膝关节髌软骨损伤分级之间的关系。RCS分析T2值与患者严重损伤风险的剂量-反应关系。结果 T2-mapping 序列诊断膝关节髌软骨损伤分级的准确度为89.18%(239/268)、灵敏度为90.34%(159/176)及特异度为86.96%。5组在股骨内侧髌、股骨外侧髌、内侧胫骨平台、外侧胫骨平台、髌骨关节面的T2值比较差异有统计学意义($P<0.05$);其中IV级组的T2值最高、其次是III级组,再次是II级组,均高于I级组和对照组($P<0.05$)。损伤组股骨内侧髌、股骨外侧髌、内侧胫骨平台、外侧胫骨平台的浅层软骨T2值高于深层软骨,比较差异有统计学意义($P<0.05$)。损伤组股骨内侧髌和股骨外侧髌的负重区T2值高于非负重区,比较差异有统计学意义($P<0.05$)。拟合广义线性混合效应模型分析结果表明,T2值与膝关节髌软骨损伤分级仍存在统计学关联($P<0.001$)。Logistic回归模型结合RCS分析显示,T2值与严重损伤风险之间存在非线性剂量-反应关系,随着T2值的增加,严重损伤风险逐渐上升。结论 T2-mapping序列在膝关节髌软骨损伤诊断中准确度高,且T2值与损伤程度和损伤风险密切相关。

【关键词】T2-mapping; 成像技术; 膝关节; 髌软骨; 损伤分级; 诊断价值

【中图分类号】R658.3

【文献标识码】A

【基金项目】江西省卫生健康委
科技计划(202211554)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.07.051

T2 - mapping Imaging Diagnostic Value of Knee Joint Patellar Cartilage Injury Research*

ZHONG Zhi-hui¹, ZHA Jing¹, FAN Hua-gang¹, LI Lei¹, WANG Liu-xian¹, ZHENG Zhen², XIE An-ming^{1,*}.

1. Department of Radiology, The 908th Hospital of the Joint Logistics Support Force, Nanchang 330002, Jiangxi Province, China

2. Medical Office, Jiangxi University of Technology, Nanchang 330098, Jiangxi Province, China

ABSTRACT

Objective To investigate the value of T2-mapping imaging in the grading of patellar cartilage injury. **Methods** A total of 147 patients with patellar cartilage injury admitted to our hospital from February 2022 to February 2024 were selected as the injury group, with arthroscopic results as the gold standard, and 45 healthy volunteers as the control group. The 147 patients with patellar cartilage injury were divided into mild patellar cartilage injury group (grade I and II, 102 cases) and severe patellar cartilage injury group (grade III and IV, 45 cases) according to the grade of patellar cartilage injury. The general data were collected, and the knee joint MRI routine scan and T2-mapping sequence scan were performed. The T2 values of cartilage in different regions were compared, and the data were statistically analyzed by SPSS 27.0 statistical software. Generalized linear mixed model was constructed to analyze the relationship between T2 value and the grade of patellar cartilage injury. RCS was used to analyze the dose-response relationship between T2 value and the risk of severe injury in patients. **Results** The accuracy, sensitivity and specificity of T2-mapping sequence in the diagnosis of patellar cartilage injury grade were 89.18% (239/268), 90.34% (159/176) and 86.96%. There were significant differences in T2 values of the medial femoral condyle, lateral femoral condyle, medial tibial plateau, lateral tibial plateau, and patellar articular surface among the five groups ($P<0.05$). The T2 value of the grade IV group was the highest, followed by the grade III group and the grade II group, and was higher than that of the grade I group and the control group ($P<0.05$). The T2 values of the superficial cartilage of the medial femoral condyle, lateral femoral condyle, medial tibial plateau, and lateral tibial plateau in the injury group were significantly higher than those of the deep cartilage ($P<0.05$). The T2 values of the medial femoral condyle and lateral femoral condyle in the injury group were significantly higher than those in the non-weight-bearing area ($P<0.05$). The results of generalized linear mixed effects model analysis showed that T2 value was still statistically correlated with the grade of patellar cartilage injury ($P<0.001$). Logistic regression model combined with RCS analysis showed that there was a nonlinear dose-response relationship between T2 value and the risk of serious injury. With the increase of T2 value, the risk of serious injury gradually increased. **Conclusion** T2-mapping has high accuracy in the diagnosis of patellar cartilage injury, and T2 value is closely related to the degree and risk of injury.

Keywords: T2-mapping; Imaging Technology; Knee Joint; Patellar Cartilage; Injury Grading; Diagnostic Value

膝关节作为人体最大的负重关节,其健康状态对于人们的日常活动至关重要^[1]。髌软骨位于膝关节前方,承受着股骨与胫骨之间的巨大压力,因此容易受到损伤^[2]。随着医学成像技术的发展,T2-mapping成像技术以其独特的优势,在膝关节髌软骨损伤的诊断中展现出巨大的潜力^[3]。T2-mapping是一种先进的磁共振成像技术,它通过对组织内水分子的T2弛豫时间进行定量测量,从而反映组织的微观结构和生化特性^[4]。在膝关节髌软骨损伤中,随着损伤程度的加深,软骨组织的结构会发生变化,这些变化会导致T2值的改变^[5]。因此,通过T2-mapping成像技术,可以无创、定量地评估膝关节髌软骨的损伤程度。当前,膝关节髌软骨损伤的分级诊断主要依赖于医生的临床经验和影像学检查。然而,传统的影像学检查方法往往难以准确区分不同级别的损伤,尤其是在轻度损伤时。T2-mapping成像技术的出现,为这一问题提供了可能的解决方案。它不仅能够提供更为准确的损伤程度评估,还能帮助医生制定更为合理的治疗方案和预测患者的预后。本研究旨在探讨T2-mapping成像技术在膝关节髌软骨损伤分级诊断中的作用。通过收集临床病例,分析T2-mapping成像技术在膝关节髌软骨损伤分级诊断中的准确性和可靠性,以期临床提供更为有效的诊断工具,促进膝关节髌软骨损伤的早期诊断和治疗。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取2022年2月至2024年2月于本院就诊的膝关节髌软骨损伤患者147例作为损伤组,其中女51例,男96例,年龄25~68岁,平均(46.16±12.75)岁。

纳入标准:(1)年龄需满18岁;(2)膝关节磨削试验的结果必须为阴性;(3)患者的病情需满足《中国髌股关节骨关节炎诊疗指南(2020年版)》^[6]的诊断要求;(4)患者无其他大型手术的历史,也无神经系统疾病或其他严重疾病。排除标准:(1)之前有过膝关节髌软骨受损或膝关节重建的患者;(2)需要接受特殊治疗的膝关节骨折患者;(3)难以理

【第一作者】钟治晖,男,主管技师,主要研究方向:磁共振T2序列对骨肌系统的应用研究。E-mail: 547273176@qq.com

【通讯作者】谢安明,男,副主任医师,主要研究方向:战创伤颅脑损伤的血流动力学脑灌注成像。E-mail: Xieam76@163.com

解医嘱或存在认知障碍的患者；(4)因其他疾病或受伤导致功能受损的患者，例如纤维肌痛、风湿性疾病等与长期疼痛相关的病症。另取45名正常健康志愿者为对照组，男25例，女20例，年龄23~64岁，平均(42.05±15.28)岁。

1.2 研究方法 行双膝MRI检查：用配备有线圈是12通道3.0T核磁共振扫描仪(联影uMR770)。T2-mapping扫描相关扫描参数如下：矢状质子密度(PD)加权序列(TR/TE = 1600/15 ms，ETL: 8，FOV: 160mm×140mm，矩阵: 512×384，重构矩阵528，空间分辨率: 0.31mm×0.42mm，切片数26，切片厚度3mm，切片间隙0.4mm，翻转角度40°，采集时间2min56 s)，轴向PD FatSat序列(TR/TE = 3985/36 ms，ETL: 16，FOV: 145mm×145mm，矩阵330×336，重构矩阵512，空间分辨率: 0.45mm×0.45mm，切片厚度3mm，切片间隙0.3mm，采集时间4min18s)，矢状PD FatSat序列(TR/TE = 3456/30 ms，ETL: 13，FOV: 160mm×149mm，矩阵468×389，重构矩阵526，空间分辨率: 0.36mm×0.48mm，切片厚度3mm，切片间隙0.3 mm，采集时间4min56s)，冠状PD FatSat序列(TR/TE = 3578/36 ms，ETL 15，FOV: 162mm×145mm，采集矩阵513×336，重构矩阵518，空间分辨率: 0.35mm×0.49mm，切片厚度3mm，切片间隙0.3mm，采集时间4min16s)，矢状PD FatSat三维序列(TR/TE = 1332/168 ms，ETL: 16，FOV: 146mm×169mm，矩阵328×326，重构矩阵465，空间分辨率: 0.36mm×0.41mm，切片厚度3mm，采集时间6min46 s)。

1.3 图像分析 将所捕获的图像传送至工作站后，我们将借助Matlab软件包与PACS系统对这些图像进行深入的处理与分析。此外，我们还将对TE值为12.37毫秒的解剖图像以及T2-mapping图像进行综合性的整合，在每个感兴趣的区域(region of interest, ROI)中，我们会获取全层、浅层和深层软骨等三张连续切片的平均T2值，这些值会根据像素数进行加权处理(如图1所示)。此外，对于每一个ROI，我们会采用空间变异系数来评估T2值的空间分布情况，这个系数是通过计算ROI内T2值的标准差与该区域的平均T2值的比值得到的。为了检验不同阅片者之间的一致性，我们进行了一项盲法测试。在测试中，我们随机选择了5个膝关节，对每个关节进行3次重新分割，并计算出每个ROI的T2值的均方根变异系数(root mean square coefficient of variation, RMSCV)。这项测试是在阅片者不知情的情况下进行的，并且每次阅片的时间间隔为2周，以确保阅片者不会受到前次阅片结果的影响。

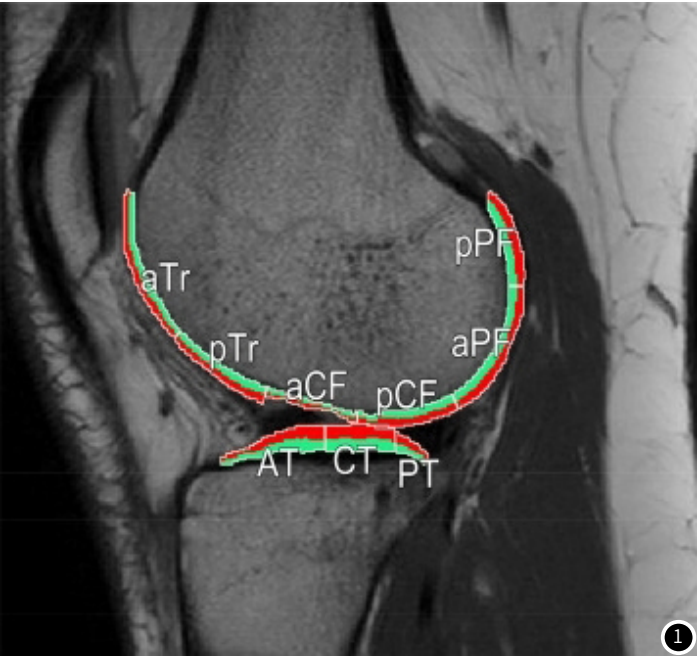


图1 髌骨和胫骨软骨感兴趣区域的图示，位于髌骨外侧髌突中心的矢状片上。前滑车(aTr)、后滑车(pTr)、髌骨前中央(aCF)、髌骨后中央(pCF)、髌骨前部(aPF)、髌骨后部(pPF)、胫骨前(AT)、胫骨中央(CT)、胫骨后(PT)。浅层和深层软骨区域分别用红色和绿色标记。

1.4 评价标准 膝关节髌软骨损伤评估主要是参照Kellgren-Lawrence放射学诊断标准^[7-8]完成，见表1。将 I、II 级记为轻度髌软骨损伤，III、IV 级记为重度髌软骨损伤。

表1 膝关节髌软骨损伤分级

分级	内容
0级	无异常
I 级	关节间隙轻微变窄，伴或不伴骨赘
II 级	关节间隙轻微变窄，骨赘明显
III级	关节间隙变窄程度较明显，且有中等量的骨赘以及硬化性改变
IV级	关节间隙变窄程度十分明显，且有大量的骨赘以及硬化性改变或明显畸形

1.5 统计学方法 数据统计分析利用SPSS 23.0统计软件进行，以平均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示计量资料，采用t检验或单因素方差分析进行对比。通过引入随机效应bi(i=1, 2, ..., m)，联接函数以logit表示，构建广义线性混合模型，即 $\text{logit}(\mu_{ij}) = \log[\mu_{ij}/(1-\mu_{ij})] = \log[P_{ij}/(1-P_{ij})] = x'_{ij}\beta + z'_{ij}b_i$ ，分析T2值与膝关节髌软骨损伤分级之间的关系。限制性立方样条模型(restricted cubic splines, RCS)分析T2值与患者损伤风险的剂量-反应关系。以P<0.05为差异具有统计学意义。

2 结 果

2.1 膝关节髌软骨损伤的分级诊断结果 本研究纳入了147例患者，涵盖268个髌软骨面的评估。通过关节镜检查，发现软骨面损伤的情况分布如下：0级93个，I 级44个，II 级66个，III级38个，以及最为严重的IV级损伤27个。相较之下，采用MRI中的T2-mapping序列进行诊断，得出的分级结果有所不同，具体为：0级85个，I 级数量与关节镜诊断相符，为44个II 级62个，III级43个，以及IV级34个。

2.2 T2-mapping 序列诊断结果 T2-mapping 序列诊断分级的准确度为89.18%(239/268)、灵敏度为90.34%(159/176)及特异度为86.96%(80/92)，见表2。

表2 T2-mapping 序列诊断结果

关节镜	个数	T2-mapping 序列	
		阳性	阴性
阳性	176	159	17
阴性	92	12	80
合计	268	171	97

2.3 不同损伤分级患者下肢不同部位T2-mapping成像T2值比较 5组在股骨内侧髌、股骨外侧髌、内侧胫骨平台、外侧胫骨平台、髌骨关节面的T2值比较差异有统计学意义(P<0.05)；其中IV级组的T2值最高、其次是III级组，再次是II 级组，均高于 I 级组 and 对照组(P<0.05)，见表3。

2.4 损伤组的浅深层软骨T2值比较 损伤组股骨内侧髌、股骨外侧髌、内侧胫骨平台、外侧胫骨平台的浅层软骨T2值高于深层软骨，比较差异有统计学意义(P<0.05)，见表4。

2.5 损伤组的负重区与非负重区的T2值比较 损伤组股骨内侧髌和股骨外侧髌的负重区T2值高于非负重区(P<0.05)，见表5。

2.6 T2值测量的组内一致性和扫描精度误差 经过测量，膝关节的T2值的组内一致性ICC达到了0.89(95%CI为0.65-0.98)。同时，对于所选取ROI，其一致性组内相关系数ICC更是高达0.92(95%CI为0.81-0.99)，这一结果表明我们所测量的T2值具备出色的可靠性。进一步分析膝关节的T2短时扫描精度误差，我们发现其变异系数(Coefficient of variation, CV)仅在0.01-0.06的范围内波动，而对应的RMSCV为0.03。因此，可以断定在此次研究中，ROI区域的精度误差CV及RMSCV的变异系数均保持在较低水平，显示出测量过程中的高稳定性。

2.7 T2值与膝关节髌软骨损伤分级关系的广义混合效应模型 以膝关节髌软骨损伤分级为因变量拟合广义线性混合效应模型，通过迭代加权最小二乘法(iterated weighted least squares, IWLS)求得参数估计惩罚准似然(penalised quasi-likelihood, PQL)函数。拟合广义线性混合效应模型分析结果表明，T2值与膝

关节髌软骨损伤分级仍存在统计学关联($P<0.001$)。见表6。
2.8 限制性立方样条分析T2值与重度髌软骨损伤风险的关系 限制性立方样条模型分析显示T2值与重度膝关节髌软骨损伤的关系均存在非线性剂量-反应关系，随着T2值的升高，膝关节髌软骨损伤患者损伤发展严重风险大大增加。见图2。

表3 不同损伤分级患者下肢不同部位T2-mapping成像T2值比较

组别	股骨内侧髌	股骨外侧髌	内侧胫骨平台	外侧胫骨平台	髌骨关节面
对照组(n=45)	36.16±3.86	35.65±3.14	35.46±4.23	35.18±3.85	34.56±3.32
I级组(n=44)	38.25±0.85 ^a	37.26±0.99 ^a	39.68±1.98 ^a	39.85±4.19 ^a	38.15±0.68 ^a
II级组(n=58)	40.86±1.62 ^{ab}	40.42±1.68 ^{ab}	41.69±1.92 ^{ab}	42.06±1.28 ^{ab}	40.15±2.05 ^{ab}
III级组(n=20)	47.89±3.12 ^{abc}	46.21±2.74 ^{abc}	47.29±3.32 ^{abc}	45.03±1.65 ^{abc}	45.68±1.02 ^{abc}
IV级组(n=25)	54.06±4.62 ^{abcd}	51.62±5.21 ^{abcd}	55.26±5.32 ^{abcd}	53.29±4.38 ^{abcd}	51.06±5.68 ^{abcd}
F值	199.236	172.081	161.857	131.608	156.713
P值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注：与正常组相比，^a $P<0.05$ ；与I级组相比，^b $P<0.05$ ；与II级组相比，^c $P<0.05$ ；与III级组相比，^d $P<0.05$ 。

表4 损伤组的浅深层软骨T2值比较(n=147)

组别	股骨内侧髌	股骨外侧髌	内侧胫骨平台	外侧胫骨平台
浅层软骨	55.26±2.98	56.35±2.96	50.85±6.06	48.98±5.72
深层软骨	50.19±2.56	50.26±2.19	46.18±5.28	44.35±5.12
t值	15.647	20.053	7.045	7.312
P值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

表5 损伤组的负重区与非负重区的T2值比较(n=147)

组别	股骨内侧髌	股骨外侧髌
负重区	57.36±2.96	55.95±2.85
非负重区	49.84±2.35	50.85±2.26
t值	24.124	17.000
P值	<0.001	<0.001

表6 T2值与膝关节髌软骨损伤分级关系的广义混合效应模型

分级	T2值(ms)	β	S.E.	t	P值	95%CI	
						下限	上限
I级	>40.00	55.426	6.780	8.175	<0.001	42.049	68.803
	30.00~40.00	18.194	2.344	7.761	<0.001	13.569	22.820
	<30.00	-	-	-	-	Ref(1.000)	
II级	>40.00	16.233	1.958	8.290	<0.001	12.370	20.097
	30.00~40.00	13.431	1.655	8.118	<0.001	10.167	16.696
	<30.00	-	-	-	-	Ref(1.000)	
III级	>40.00	6.233	1.213	5.139	<0.001	3.840	8.626
	30.00~40.00	5.369	1.154	4.653	<0.001	3.065	8.954
	<30.00	-	-	-	-	Ref(1.000)	
IV级	>40.00	7.623	1.363	5.595	<0.001	3.008	9.984
	30.00~40.00	6.325	2.314	2.733	<0.001	2.702	8.686
	<30.00	-	-	-	-	Ref(1.00)	

注：“-”表示无实际数据。

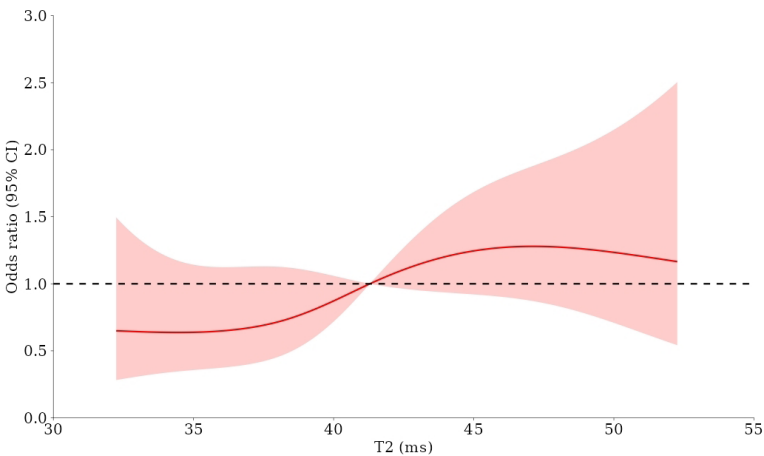


图2 限制性立方样条分析T2值与重度髌软骨损伤风险的关系。

3 讨论

长期的重体力劳作、不断的负重活动以及个体自身的免疫性因素，均可能对膝关节软骨上皮细胞造成损害，而这种损害可能

进一步引发膝关节髌软骨的损伤^[9]。据研究报告指出，膝关节髌软骨受损的患者中，有超过8%的患者可能会丧失关节功能，而需

要接受关节置换手术的患者比例更是高达15%以上^[10]。因此,对膝关节髌软骨损伤进行早期诊断显得尤为重要,这有助于及时进行医疗干预和治疗,并为早期使用甾体类抗炎药或软骨保护类药物提供指导。目前,虽然关节镜检查在诊断膝关节髌软骨损伤方面被视为金标准,能够精确诊断各种类型和程度的损伤,但它属于创伤性检查,费用昂贵,且无法实现连续的动态监测和病情评估,因此在普及上存在一定的挑战。近年来,随着膝关节MRI技术的不断进步,定量MRI成像在评估膝关节髌软骨损伤方面的应用正逐渐受到重视。这种技术为膝关节髌软骨损伤的诊断提供了新的可能性。这种技术能够在分子水平上探讨软骨细胞、软骨基质和软骨下骨之间的代谢失衡,以及软骨退变的过程,如胶原纤维的变性退化、蛋白多糖的丢失、水含量的降低以及水渗透性的改变^[11-13]。因此,该技术被广泛应用于膝关节软骨损伤的诊断和分级研究中。T2-mapping成像技术是基于MRI的T2弛豫时间测量原理,通过特定的脉冲序列和图像处理技术,生成反映软骨内部结构和生化成分的T2值图^[14]。由于软骨损伤时,其内部的生化成分和结构会发生变化,从而导致T2弛豫时间的改变。因此,通过测量和分析软骨的T2值,可以更准确地评估软骨的损伤程度和分级。

本研究结果显示,T2-mapping序列诊断膝关节髌软骨损伤分级的准确度达到了89.18%,这表明该技术能够较为准确地识别膝关节髌软骨的损伤情况。同时,高达90.34%的灵敏度意味着该技术能够较为敏感地检测出真正的损伤病例,而86.96%的特异度则表明其在判断非损伤病例时也有较好的表现。这些高指标充分证明了T2-mapping序列在膝关节髌软骨损伤分级的诊断中的有效性。与Zhao H等^[15]人的研究一致。接下来,我们对不同损伤级别的T2值进行了比较。结果显示,在股骨内侧髌、股骨外侧髌、内侧胫骨平台、外侧胫骨平台以及髌骨关节面等关键部位,不同损伤级别的T2值存在显著差异。特别是IV级损伤组的T2值最高,其次是III级组,再次是II级组,均高于I级组和对照组。这一发现提示我们,随着损伤级别的增加,软骨组织的T2值也会相应升高。这可能是由于损伤导致软骨内部结构和生化成分的改变,进而影响了T2弛豫时间^[16-17]。因此,T2值可以作为评估膝关节髌软骨损伤程度的一个重要指标。此外,我们还发现损伤组股骨内侧髌、股骨外侧髌、内侧胫骨平台、外侧胫骨平台的浅层软骨T2值高于深层软骨。这一差异可能与软骨不同层次的受力情况和营养供应有关^[18]。浅层软骨由于更接近关节面,受到的摩擦和压力更大,因此更容易发生损伤和退变^[19]。同时,浅层软骨的营养供应也相对较差,这可能进一步加剧了其损伤程度。这一发现提示我们在诊断和治疗过程中应更加关注浅层软骨的健康状况。在比较损伤组股骨内侧髌和股骨外侧髌的负重区与非负重区T2值时,我们发现负重区的T2值显著高于非负重区。这可能是由于负重区在长期承受压力和摩擦的过程中,软骨组织发生了更为明显的退变和损伤^[20]。因此,对于经常承受重压的负重区软骨,我们需要给予更多的关注和保护。为了深入探讨T2值与膝关节髌软骨损伤之间的关系,我们采用了广义线性混合效应模型和Logistic回归模型进行统计分析。结果显示,T2值与膝关节髌软骨损伤分级之间存在显著的统计学关联。这表明T2值不仅可以作为损伤分级的依据,还可以为临床医生提供有关损伤程度和预后的有价值信息。同时,Logistic回归模型结合RCS分析进一步揭示了T2值与严重损伤风险之间的非线性剂量-反应关系。随着T2值的增加,严重损伤的风险也逐渐上升。这一发现对于制定针对性的治疗方案和预防策略具有重要意义。

综上所述,本研究T2-mapping序列在膝关节髌软骨损伤诊断中具有较高的准确度、灵敏度和特异度。同时,T2值可以作为评估损伤程度和预后的重要指标。这些发现为临床医生提供了有力的诊断依据和治疗指导建议,有助于改善患者的预后和生活质量。然而,本研究也存在一定的局限性。首先,样本量相对较小,可能存在一定的抽样误差。未来可以通过扩大样本量来提高研究的准确性和可靠性。其次,本研究主要关注了T2值与损伤程度之间的关系,但未涉及其他可能影响T2值的因素(如年龄、性别、体重等)。在未来的研究中,可以进一步探讨这些因素对

T2值的影响。最后,虽然T2-mapping序列在膝关节髌软骨损伤诊断中表现出较高的价值,但仍需要与其他影像检查手段(如X线、CT等)相结合,以提供更全面的诊断信息。在未来的临床实践中,我们可以充分利用T2-mapping序列的优势,结合其他检查手段,为膝关节髌软骨损伤患者提供更为准确、及时的诊断和治疗。同时,随着技术的不断进步和研究的深入,我们相信T2-mapping序列在膝关节软骨损伤诊断中的应用将会越来越广泛,为患者的康复和治疗带来更多的希望。

参考文献

- [1]Sabir S,Fatima R,Zafar M,et al.Comparison of knee pain among physically active and sedentary young adults[J].Asia Pacific Journal of Allied Health Sciences,2023,6(1):14.
- [2]Cartilage Tissue and Knee Joint Biomechanics:Fundamentals,Characterization and Modelling[M].Elsevier,2023.
- [3]Zibetti MVW,Menon RG,de Moura HL,et al.Updates on compositional MRI mapping of the cartilage:emerging techniques and applications[J].J Magn Reson Imaging,2023,58(1):44-60.
- [4]Bruno F,Granata V,Cobianchi Bellisari F,et al.Advanced magnetic resonance imaging (mri) techniques:technical principles and applications in nanomedicine[J].Cancers (Basel),2022,14(7):1626.
- [5]Williams JR,Neal K,Alfayyadh A,et al.Knee cartilage T2 relaxation times 3 months after ACL reconstruction are associated with knee gait variables linked to knee osteoarthritis[J].J Orthop Res,2022,40(1):252-259.
- [6]国家老年疾病临床医学研究中心(湘雅医院),中华医学会骨科学分会关节外科学组.中国髌股关节骨关节炎诊疗指南(2020年版)[J].中华骨科杂志,2020,40(18):1227-1234.
- [7]Ciliberti FK,Guerrini L,Gunnarsson AE,et al.CT- and MRI-based 3D reconstruction of knee joint to assess cartilage and bone[J].Diagnostics (Basel),2022,12(2):279.
- [8]Aubonnet R,Ramos J,Recenti M,et al.Toward new assessment of knee cartilage degeneration[J].Cartilage,2023,14(3):351-374.
- [9]Dong Y,Zhang P,Fan L.Recognition of factors of postoperative complications of knee osteoarthritis patients and comprehensive nursing intervention[J].Comput Math Methods Med,2021,2021(1):1840613.
- [10]文戈.T2*mapping辅助MRI技术对差异性膝关节骨性关节炎软骨损伤程度的诊断价值[J].分子影像学杂志,2020,43(2):5.
- [11]罗慕晴,冯智超,廖云杰,等.定量磁共振成像技术在评估关节软骨退行性变中的应用进展[J].磁共振成像,2018,9(11):874-880.
- [12]Jena A,Goyal N,Rana P,et al.Qualitative and quantitative evaluation of morpho-metabolic changes in bone cartilage complex of knee joint in osteoarthritis using simultaneous 18F-NaF PET/MRI-a pilot study[J].Indian J Radiol Imaging,2023,33(2):173-182.
- [13]Kurz B,Lange T,Voelker M,et al.Articular cartilage-from basic science structural imaging to non-invasive clinical quantitative molecular functional information for AI classification and prediction[J].Int J Mol Sci,2023,24(19):14974.
- [14]Mallio C A,Vadalà G,Russo F,et al.Novel magnetic resonance imaging tools for the diagnosis of degenerative disc disease:a narrative review[J].Diagnostics,2022,12(2):420.
- [15]Zhao H,Li H,Liang S,et al.T2 mapping for knee cartilage degeneration in young patients with mild symptoms[J].BMC Medical Imaging,2022,22(1):72.
- [16]Zaric O,Juras V,Szomolanyi P,et al.Frontiers of sodium MRI revisited:from cartilage to brain imaging[J].J Magn Reson Imaging,2021,54(1):58-75.
- [17]Li M,Xia Z,Li X,et al.Difference in quantitative MRI measurements of cartilage between Wiberg type III patella and stable patella based on a 3.0-T synthetic MRI sequence[J].Eur J Radiol Open,2023,11(1):100526.
- [18]Ochi I,Nozaki T,Nimura A,et al.Subchondral insufficiency fracture of the knee:review of current concepts and radiological differential diagnoses[J].Jpn J Radiol,2022,40(5):443-457.
- [19]Statham P,Jones E,Jennings LM,et al.Reproducing the biomechanical environment of the chondrocyte for cartilage tissue engineering[J].Tissue Eng Part B Rev,2022,28(2):405-420.
- [20]Wei W,Dai H.Articular cartilage and osteochondral tissue engineering techniques:recent advances and challenges[J].Bioact Mater,2021,6(12):4830-4855.

(收稿日期:2024-06-06)

(校对编辑:姚丽娜、翁佳鸿)