

本文引文格式: 邓文林, 黄景茂, 宁家鹏, 等. 多对比定量磁共振参数值评价前交叉韧带重建术后移植植物成熟度及其与临床功能评分的相关性[J]. 右江民族医学院学报, 2026, 48(3): 363-367, 378.

【论著与临床报道】

多对比定量磁共振参数值评价前交叉韧带重建术后 移植植物成熟度及其与临床功能评分的相关性

邓文林¹, 黄景茂¹, 宁家鹏¹, 廖惠¹, 廖志艺¹, 黎福明²

- (1. 广西钦州市第一人民医院放射科, 广西 钦州 535000;
2. 广西钦州市中医院放射科, 广西 钦州 535000)

摘要: **目的** 运用多对比定量 MRI 参数值(T1、T2 和 PD 值)监测前交叉韧带重建术后移植植物(重建韧带)的成熟度, 并分析其与临床功能评分的相关性。 **方法** 前瞻性收集 2023 年 5 月至 2024 年 5 月行前交叉韧带重建手术的患者 90 例, 于手术后 12 周、24 周和 48 周分别测量移植植物关节内段和胫骨内段的多对比定量 MRI 参数, 并分析上述参数与 IK-DC 和 Lysholm 评分的相关性。 **结果** 前交叉韧带重建术后 12 周、24 周和 48 周, 关节内段和胫骨内段移植植物的 T1、T2 及 PD 值均呈现先增加后降低趋势, 而术后 IKDC 和 Lysholm 评分均有增加趋势。 Spearman 相关分析提示胫骨内段 T2 值与 IKDC 评分呈负相关($r = -0.192, P = 0.025$), 胫骨内段 T2 值(术后 12 周)与 Lysholm 评分呈弱正相关($r = 0.346, P = 0.020$)。 **结论** 多对比定量 MRI 参数值能在一定程度上反映前交叉韧带重建术后移植植物的成熟度, 但其与临床功能评分的相关性欠佳, 尚需综合考虑其他临床指标。

关键词: 多对比定量磁共振; 参数; 移植植物; 成熟度; 临床功能

中图分类号: R445.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-5817(2026)03-0363-06

doi:10.3969/j.issn.1001-5817.2026.03.006

Evaluation of graft maturation after anterior cruciate ligament reconstruction using multi-contrast quantitative MRI parameters and their correlation with clinical functional scores

DENG Wenlin¹, HUANG Jingmao¹, NING Jiapeng¹, LIAO Hui¹, LIAO Zhiyi¹, LI Fuming²

- (1. Department of Radiology, the First People's Hospital of Qinzhou, Qinzhou 535000, Guangxi, China; 2. Department of Radiology, Qinzhou Hospital of Traditional Chinese Medicine, Qinzhou 535000, Guangxi, China)

Abstract: **Objective** To monitor the maturation of graft following anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR) with multi-contrast quantitative MRI parameters [T1, T2 and proton density (PD) values], and to analyze the correlation between these parameters and clinical functional scores. **Methods** A total of 90 patients who underwent ACLR between May 2023 and May 2024 were prospectively enrolled. Multi-contrast quantitative MRI parameters of the intra-articular and intraosseous tibial segments of grafts were measured at 12, 24, and 48 weeks postoperatively. The correlations between these parameters and the International Knee Documentation Committee (IKDC) and Lysholm scores were analyzed. **Results** At 12, 24 and 48 weeks after

基金项目: 广西壮族自治区卫生健康委自筹经费科研课题(Z-N20231848)

第一作者: 邓文林, 副主任医师, 研究方向: 神经系统、骨关节肌肉系统疾病, E-mail: yb010103@163.com

通讯作者: 黎福明, 副主任医师, 研究方向: 骨关节肌肉系统疾病, E-mail: m1027673266@163.com

ACLR, T1, T2 and PD values of both intra-articular and intraosseous tibial segments of grafts presented an initial rise followed by a subsequent decline, whereas IKDC and Lysholm scores displayed an upward trend postoperatively. Spearman correlation analysis indicated that T2 values of intraosseous tibial segments of grafts were negatively correlated with IKDC scores ($r = -0.192, P = 0.025$); T2 values of intraosseous tibial segments of grafts at postoperative week 12 showed a weak positive correlation with Lysholm scores ($r = 0.346, P = 0.020$). **Conclusion** Multi-contrast quantitative MRI parameters can partially reflect graft maturation after ACLR, whereas their correlation with clinical functional scores is suboptimal; therefore, other clinical indicators need to be considered comprehensively.

Key words: multi-contrast quantitative magnetic resonance imaging; parameters; graft; maturation; clinical function

前交叉韧带重建术后,大约有 4%~23.2%的患者由于不恰当或过早的康复运动而导致重建韧带的二次损伤^[1-2]。对移植物的成熟度进行精准评价将有助于减少二次损伤发生率。前交叉韧带重建术后,患者的康复活动计划受多种因素的影响,包括:腱-骨愈合情况、肌肉力量、稳定性、敏捷性、神经肌肉控制和心理因素等^[3-4]。但上述评价方法尚不能客观和直接地反映移植物的成熟度。因此,探索一种无创和实时监测移植物成熟度的新方法,将为此类患者提供重要的指导。

MulTiPlex(MTP)作为联影独家的多对比定量磁共振成像技术,不仅仅是单一的序列技术,而且其从序列设计、采集加速、重建流程、关键算法到图像后处理都进行了全方位创新。具体地说,MTP 基于 3D 双稳态梯度回波(GRE)序列,创新性地通过双翻转角激发、双重复时间及多回波数据采集,一次扫描不仅能够获得常规 T1WI、T2WI、PDWI 图像,还能同步采集反映组织生物及物理特性的定量参数值。多项研究证实多对比定量磁共振成像技术能够在一定程度上反映移植物的成熟度和组织结构^[5-7]以及实际可行性^[8]。另外,临床上国际膝关节文献委员会(IKDC)和 Lysholm 评分常被用于患者术后临床功能的评价,并指导康复计划。然而,目前国内关于 MTP 在前交叉韧带重建术后移植物成熟度的研究报道较少,探讨 MRI 定量值与传统临床功能评分之间的相关性研究也较少。本研究旨在运用多对比定量 MRI 参数值(T1、T2 和 PD 值)定期监测移植物成熟度,并探讨其与临床功能评分的相关性,以期前交叉韧带重建术后患者制定临床康复计划提供依据。

1 资料与方法

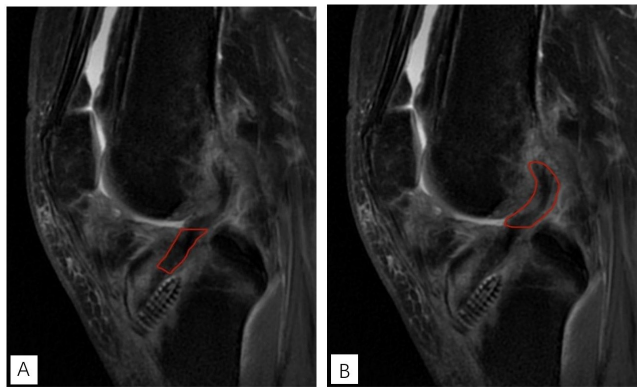
1.1 一般资料 本研究采用前瞻性队列研究,通过 G*Power 3.1 软件计算,设定效应量为 0.3,统计功效为 0.8, α 为 0.05,所需最小样本量为 82 例。本研究实际纳入 90 例,超出最小样本量,可充分保障相关性分析的统计学效能。收集 2023 年 5 月至 2024 年 5 月

于本院行前交叉韧带重建的 90 例患者。本研究通过医院伦理委员会批准(伦理审批号:A-20250501)。纳入标准:①临床确诊前交叉韧带断裂,并行手术重建;②术后 48 周能恢复日常运动,或根据恢复情况能进行一定程度的对抗性运动;③临床及影像学资料完整。排除标准:①胫骨内重建韧带长度<1 cm;②合并后交叉韧带、内侧和外侧副韧带断裂;③前交叉韧带双束手术重建;④膝关节滑膜炎或感染;⑤合并膝关节肿瘤;⑥既往膝关节手术史;⑦合并膝关节骨折。对纳入患者分别于术后 12 周、24 周和 48 周,对患侧膝关节行 MRI 检查及临床功能 IKDC 和 Lysholm 评分。

1.2 MRI 检查 扫描设备为联影 uMR 880 3.0 T MRI 扫描仪,线圈采用 16 通道膝关节表面线圈。扫描时采取仰卧位,足先进,膝关节自然弯曲约 15°,沙袋和填充物固定并嘱咐患者保持膝关节不动。为避免复查 MRI 扫描时重建韧带处于不同的位置和紧张状态(“蹦极效应”和“雨刷效应”),本研究扫描技师需记录患者膝关节第一次扫描时的位置,后续复制第一次扫描时的定位即可。多对比定量 MRI 参数:取斜矢状位,扫描基线平行于股骨外侧髁,MTP 序列扫描中心位于胫骨结节,扫描时间共 6 min 5 s。具体参数:FOV=18.0 mm × 10.0 mm,层厚=3 mm,间距=0.5 mm,TR=4000 ms,TE=19.5/97.7 ms,层数=24 层,矩阵=320×256,激励次数=1。

1.3 MRI 图像分析及临床功能评分 将原始数据导入联影后处理工作站,自动生成 T1WI、T2WI 及 PDWI 图像,将处理界面转化到 PDWI 图像,并勾画感兴趣区(ROI)。采用单盲法,由两名骨关节主治医师在不知道患者信息情况下,独立测量移植物关节内段和胫骨内段的多对比定量磁共振定量值(T1、T2、PD),取其平均值作为最终测量值(见图 1)。临床功能评分采用 IKDC 和 Lysholm 评分,分别于术后 12 周、24 周和 48 周多对比定量磁共振检查前,评估其临床功能。前交叉韧带重建术后移植物增殖期为 4~12 周;术后 12~24 周移植物进入成熟重塑期,组织水肿基本消

退,胶原纤维排列更紧密;术后 6 个月(24 周)移植胶原纤维排列已接近正常前交叉韧带,且生物力学强度恢复至正常韧带的 60%~70%,是成熟度评估的核心节点^[9-12]。



注:A 为胫骨内段 ROI 勾画:在 PDW 图像上选取胫骨骨髓内重建韧带显示最佳层面;ROI 勾画时避开骨髓道螺钉伪影,并记录 ROI 与螺钉的距离;B 为关节内段 ROI 勾画:在 PDW 图像上选取重建韧带关节腔段显示最佳层面,尽量避开骨骼及关节积液进行勾画;若一个矢状位一个层面无法包罗全关节腔内段重建韧带,可选择第 2 个层面进行补充。由后处理软件自动计算感兴趣区 T1、T2 及 PD 值,取 2 个测量区均值作为该病人最终的测量值。

图 1 ROI 勾画示意图

1.4 统计学方法 采用 SPSS 29.0 和 GraphPad Prism 10.0 软件进行统计分析,以 $P<0.05$ 为差异具有统计学意义。计量资料若呈正态分布,则以 $(\bar{x}\pm s)$ 表示,组间比较采用独立样本 t 检验;若呈偏态分布,则以中位数和四分位数间距表示,组间比较采用 Mann-Whitney U 检验。两测量者间的一致性,采用组内相关系数进行评价。采用 Spearman 相关分析评估多对比定量磁共振参数与 IKDC 和 Lysholm 评分的相关性,采用参数 r 值评估相关性,一般认为, $0.2\leq r<0.4$ 为弱相关, $0.4\leq r<0.6$ 为中度相关, $0.6\leq r<0.8$ 为强相关, $0.8\leq r<1$ 为极强相关。

2 结果

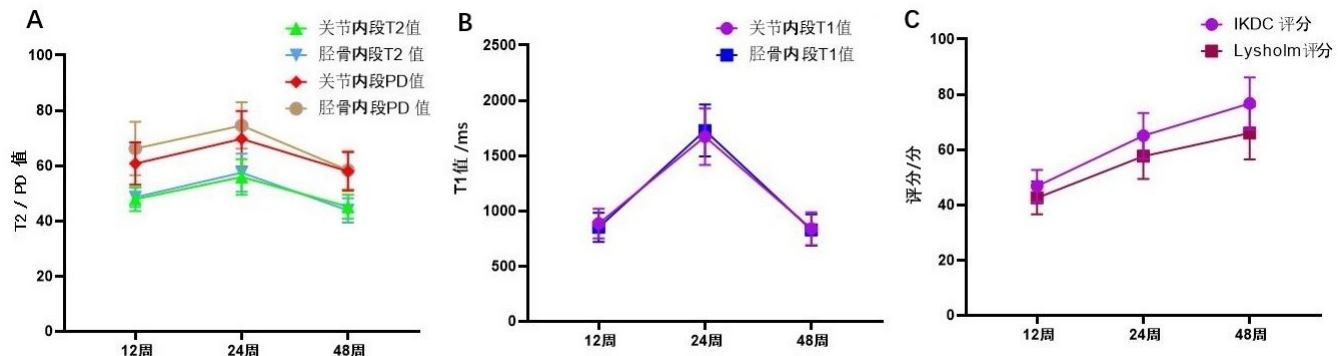
2.1 一般资料及一致性评价 共纳入 90 例患者,包括男性 56 例,年龄 18~68 岁,女性 34 例,年龄 19~72 岁。两位测量者间一致性检验结果显示:测量结果具有较高的一致性,其 PD、T2 和 T1 测量值的组内相关系数分别为 0.791、0.814 和 0.804。

2.2 移植多对比定量磁共振参数及患者临床功能评分变化情况 前交叉韧带重建术后,多对比定量磁共振值(T1、T2 及 PD 值)均出现先增加,后降低的情况;胫骨内段移植在术后 12 周、24 周时,PD 值高于关节内段($P<0.05$, $P<0.01$);余各个时间段两组间合成磁共振值差异无统计学意义($P>0.05$);术后 IKDC 及 Lysholm 评分则不断增加($F=160.606$, $P<0.05$);详见表 1 及图 2。

表 1 前交叉韧带重建术后移植成熟度关节内段和胫骨内段多对比定量磁共振定量值比较

时间及 测量值	术后 12 周			术后 24 周			术后 48 周		
	T1 值/ms	T2 值/ms	PD 值/pu	T1 值/ms	T2 值/ms	PD 值/pu	T1 值/ms	T2 值/ms	PD 值/pu
关节内段	885.37±133.30	47.92±4.35	60.79±7.72	1672.51±255.16	56.54±6.42	60.79±10.21	838.94±148.25	45(42~48)	56.51±7.64
胫骨内段	851.91±131.36	48.65±3.62	66.21±9.73	1728.71±234.32	57.93±6.94	74.63±8.45	827.82±142.63	43(41~47)	58.38±7.61
t/Z	1.222	-0.855	-2.931	-1.093	-1.109	-2.457	0.292	-1.741	-0.241
P	0.225	0.395	0.004	0.277	0.270	0.016	0.771	0.082	0.810

注:表内正态分布计量资料数据以 $(\bar{x}\pm s)$ 表示,非正态分布计量资料数据以 $M(P_{25}\sim P_{75})$ 表示。



注:A 为多对比定量磁共振值(T2 及 PD 值),均呈现先增加后降低的情况;B 为对比定量磁共振值(T1 值),呈现先增加后降低的情况;C 为术后 IKDC 及 Lysholm 评分则不断增加。

图 2 前交叉韧带重建术后

2.3 前交叉韧带重建术后移植物多对比定量磁共振参数与患者临床功能评分的相关性分析 前交叉韧带重建术后关节内段 T1 值、T2 值和 PD 值与 IKDC 和 Lysholm 评分无相关性 ($P>0.05$)。胫骨内段 T2 值(总体)与 IKDC 评分为负相关($r=-0.192$, $P=$

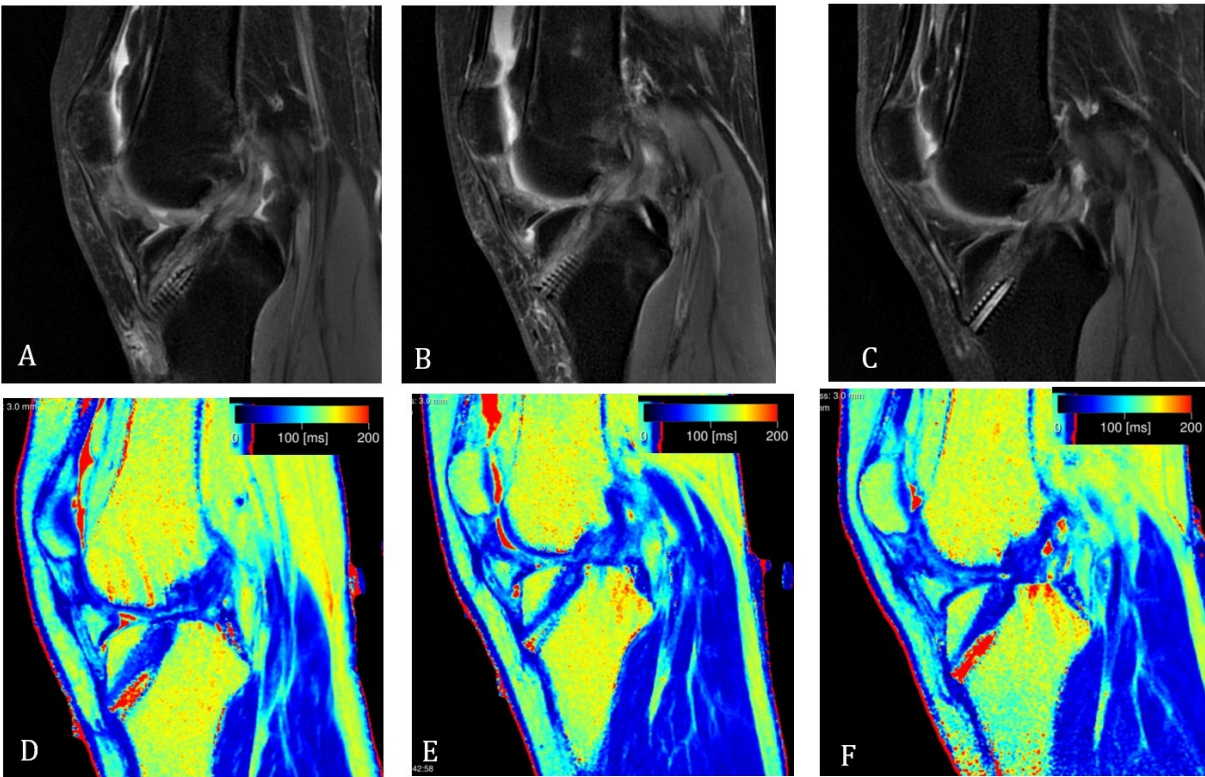
0.025),胫骨内段 T2 值(术后 12 周)与 Lysholm 评分为弱正相关($r=0.346$, $P=0.020$),余观察点前交叉韧带重建术后移植物多对比定量磁共振参数与临床功能评分无明显相关($P>0.05$),见表 2、表 3。

表 2 前交叉韧带重建术后移植物关节内段多对比定量磁共振定量值与 IKDC 和 Lysholm 评分的相关性

项目	关节内段 T1 值				关节内段 T2 值				关节内段 PD 值			
	总体	术后	术后	术后	总体	术后	术后	术后	总体	术后	术后	术后
		12 周	24 周	48 周		12 周	24 周	48 周		12 周	24 周	48 周
IKDC 评分(r_s)	0.030	0.191	0.165	-0.065	-0.024	0.120	0.208	0.115	-0.049	0.069	0.037	0.105
P	0.729	0.208	0.280	0.671	0.784	0.431	0.171	0.453	0.576	0.653	0.808	0.492
Lysholm 评分(r_s)	0.049	0.009	-0.057	-0.042	-0.023	0.215	0.164	-0.190	-0.005	0.184	0.025	0.035
P	0.570	0.951	0.711	0.785	0.793	0.157	0.281	0.211	0.955	0.225	0.871	0.819

表 3 前交叉韧带重建术后移植物胫骨内段多对比定量磁共振定量值与 IKDC 和 Lysholm 评分的相关性

项目	胫骨内段 T1 值				胫骨内段 T2 值				胫骨内段 PD 值			
	总体	术后	术后	术后	总体	术后	术后	术后	总体	术后	术后	术后
		12 周	24 周	48 周		12 周	24 周	48 周		12 周	24 周	48 周
IKDC 评分(r_s)	0.070	0.134	0.521	-0.103	-0.192	0.176	-0.077	0.084	-0.140	0.120	0.147	0.105
P	0.418	0.382	0.318	0.499	0.025	0.247	0.614	0.585	0.105	0.431	0.334	0.494
Lysholm 评分(r_s)	0.077	0.013	-0.110	-0.072	-0.130	0.346	0.104	-0.034	-0.162	-0.089	0.002	0.091
P	0.372	0.930	0.471	0.636	0.133	0.020	0.495	0.822	0.060	0.559	0.988	0.553



注:A~C 分别为该患者手术后 12 周、24 周和 48 周膝关节矢状位 PDWI 图像;D~F 分别为该患者手术后 12 周、24 周和 48 周 MRI-T2 mapping 图像。该患者重建韧带的 PD 值先增加后降低,随着随访时间的延长,胫骨端骨道不断缩小,重建韧带逐渐成熟。

图 3 前交叉韧带重建术后

3 讨论

明确 MRI 定量参数值与前交叉韧带重建术后移植成熟度和临床功能恢复情况之间的关系,仍具复杂性和挑战性。本研究显示:多对比定量 MRI 定量参数值能在一定程度上反映前交叉韧带重建术后移植物的成熟度,但其与临床功能评分的相关性欠佳。

前交叉韧带重建术后,移植物从组织和病理学上将会经历缺血坏死期、血运重建期、细胞增殖及重塑期等多个阶段^[11-12]。由于各阶段之间界限模糊且个体差异较大,因而精准评估将面临挑战。研究表明,自体 and 异体移植物的信噪比均会逐渐升高,且自体移植物的信噪比将在手术后 6 个月左右到达顶峰^[11-13]。其原因可能是:在膝关节前交叉韧带重建手术后的早中期阶段,随着移植物的强行植入,移植物将会发生渗出、水肿、炎性细胞的生成、局部组织坏死和血管生成等微观上的组织和结构改变,这些改变使得移植物的 T1 值、T2 值和 PD 值增加。在前交叉韧带重建术后的中后期阶段,移植物不断地进行细胞增殖和重塑,炎性细胞逐渐减少,组织水肿和细胞外间隙水分子逐渐减少,重建韧带胶原纤维的结构和排列逐渐具有顺序性,这些改变使得移植物的 T1 值、T2 值和 PD 值降低。本研究结果提示,多对比定量 MRI 定量参数值也在一定程度上反映了上述改变过程,并与多数文献一致^[7-10,13]。需要指出的是,虽然关节内段和胫骨内段的多对比定量 MRI 定量参数值各个时间段总体相差不大,但胫骨内段移植物的 PD 值均高于关节内段。其原因可能是:PD 和 T2 定量值主要与腱-骨愈合区水含量、胶原纤维结构及新生血管密度有关,而胫骨段移植物作为移植物的附着区,其水含量和新生血管的密度可能高于关节内段。同时,PD 序列较短的 TE 时间增强了其对微观结构变化的敏感性,进一步放大了区域间的差异性。

本研究中,前交叉韧带重建术后移植物多对比定量 MRI 的定量参数值(T1 值、T2 值和 PD 值)与患者的临床功能评分相关性欠佳,这与部分研究的结果一致^[12-14]。其原因可能是:①MRI 参数与临床评分的评价维度存在本质差异。MRI 定量参数(T1 值、T2 值、PD 值)聚焦于移植物的微观组织学变化,如胶原纤维排列、水含量及血管密度,仅反映移植物局部成熟度;而 IKDC、Lysholm 评分是对膝关节整体功能的综合评估,涵盖疼痛、运动能力、稳定性等多维度,受移植物以外因素影响更大^[14];②移植物“韧带化”进程与临床功能恢复存在时间差。ACL 移植物“韧带化”需 1.5~2.0 年才能完成成熟,而临床评分在术后 6 个月已接近峰值,时间差导致 MRI 参数与临床评分难以形成强关联^[15];③评分系统还严重依赖患者的主观感

受,其个体差异可能较为显著。在临床实践中,虽然医师已反复告知患者评分的要点,并对其进行培训。但随着患者病情好转和膝关节功能逐渐恢复,部分患者对病情重视程度下降,导致评分结果存在一定程度的波动。另外,由于国外纳入更多客观功能指标(如松弛度、软骨力学),更全面反映膝关节功能,而国内仅依赖主观评分,易受干扰。这可能是造成研究结果存在一定差异的原因^[16-17]。由于膝关节的康复运动具有复杂性,能否通过增加 MRI 随访检查次数,以 MRI 参数的变化趋势来反映移植物的成熟情况,将是下一步研究的方向。

本研究的不足:第一,ROI 勾画采用单一层面,未对前交叉韧带重建术后移植物整体进行评价;其次,由于股骨段腱-骨愈合区存在较明显转角,未对其进行测量;最后,前交叉韧带重建术后移植物 ROI 勾画采用人工勾画,未采用机器学习和自动勾画等。

综上所述,多对比定量 MRI 定量参数值(T1 值、T2 值及 PD 值)能在一定程度上反映膝关节前交叉韧带重建术后移植物的成熟度,但其与临床功能评分的相关性欠佳。传统单一依赖 MRI 或临床评分易导致决策偏差,患者临床康复进程需要综合考虑“影像学指标+功能测试+康复指标”的三层整合,避免单一指标的局限性。

参考文献:

- [1] ENNIS H E, BONDAR K, MCCORMICK J, et al. The 50 most cited articles in the indications, risk factors, techniques, and outcomes of ACL revision surgery[J]. J Knee Surg, 2021, 34(11): 1170-1181.
- [2] SEPPÄNEN A, SUOMALAINEN P, KIEKARA T, et al. Double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction resulted in better International Knee Documentation Committee objective grading at fifteen year follow-up compared to single-bundle reconstruction[J]. Int Orthop, 2024, 48(4): 905-912.
- [3] 徐玥, 李卫平, 宋斌, 等. 健康心理控制源对前交叉韧带重建术后早期康复效果的影响[J]. 中山大学学报(医学科学版), 2022, 43(6): 1028-1034.
- [4] 周益帆, 郝东升. 前交叉韧带重建患者术后重返运动时机的研究进展[J]. 国际骨科学杂志, 2024, 45(6): 367-372.
- [5] 张妃媛, 管雪琴, 李米芳, 等. 定量 T2 mapping 评估前交叉韧带重建术后 6 个月、12 个月移植物成熟度变化并与临床评分相关性[J]. 临床放射学杂志, 2024, 43(1): 110-115.

(下转第 378 页)

[10] SUZUKI T, MICHIHATA N, HASHIMOTO Y, et al. Association between aspirin dose and outcomes in patients with acute Kawasaki disease: a nationwide retrospective cohort study in Japan[J]. *Eur J Pediatr*, 2024, 183(1):415-424.

[11] 朱未未, 陈惠, 杨小敏, 等. 甲基强的松龙联合氢氯吡格雷片对川崎病患者炎症因子及疼痛程度的影响[J]. *中国妇幼保健*, 2025, 40(1):45-48.

[12] 王璐, 顾美珍. 阿司匹林和氯吡格雷治疗川崎病的临床效果比较及对患儿凝血功能和免疫功能的影响[J]. *中国妇幼保健*, 2023, 38(20):3911-3915.

[13] 李程, 梅远伦. 拜阿司匹林与氯吡格雷双联抗血小板治疗对老年急性脑梗死患者细胞炎性因子及凝血功能的影响分析[J]. *中外医疗*, 2024, 43(29):122-125.

[14] 蔡海明, 张旭, 林惠泉. 氯吡格雷联合阿司匹林在川崎病合并中小型冠状动脉瘤患儿治疗中的临床效果[J]. *中外医疗*, 2024, 43(10):98-102.

[15] 黄向阳, 张琼惠. 氯吡格雷辅助治疗儿童丙种球蛋白无反应型川崎病的临床效果[J]. *儿科药学杂志*, 2021, 27(2):24-27.

收稿日期: 2025-10-20; 修回日期: 2026-01-07

(本文编辑 钟琳)

(上接第 367 页)

[6] MALAHIAS M A, CAPECE F M, BALLARATI C, et al. Sufficient MRI graft structural integrity at 9 months after anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring tendon autograft[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2022, 30(6):1893-1900.

[7] 杨匡洋, 王昌兵. MRI 评价自体骨-髌韧带-骨与股四头肌腱行前交叉韧带重建后移植成熟度及膝关节的功能[J]. *中国组织工程研究*, 2022, 26(6):963-968.

[8] 颜艳芳. 合成磁共振(MAGIC)联合弥散张量成像(DTI)评估前交叉韧带移植成熟度的研究[D]. 南宁: 广西医科大学, 2021.

[9] JANSSEN RPA, SCHEFFLER S U. Intra-articular remodelling of hamstring tendon grafts after anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2014, 22(9):2102-2108.

[10] BOYD E, ENDRES N K, GEESLIN A G. Postoperative healing and complications based on anterior cruciate ligament reconstruction graft type[J]. *Ann Jt*, 2024, 9:30.

[11] ZHOU T P, XU Y H, ZHANG A A, et al. Association of graft maturity on MRI with return to sports at 9 months after primary single-bundle ACL reconstruction with autologous hamstring graft[J]. *Orthop J Sports Med*, 2024, 12(5):23259671241248202.

[12] 张妃媛. 基于 MRI 对前交叉韧带重建术前预测移植直径以及术后移植成熟度评估[D]. 广州: 南方医科大学, 2022.

[13] SHIMODAIRA H, TENSIO K, KOYAMA S, et al. Effect of a new remnant-preserving technique with anatomical double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction on MRI-based graft maturity: a comparison cohort study[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2023, 31(6):2394-2405.

[14] BOUGUENNEC N, ROBINSON J, DOUIRI A, et al. Two-year postoperative MRI appearances of anterior cruciate ligament hamstrings autografts are not correlated with functional outcomes, anterior laxity, or patient age[J]. *Bone Jt Open*, 2021, 2(8):569-575.

[15] ZHANG Z Y, HONG L J, BAI W B, et al. Increased global posterior tibial slope is significantly associated with higher ACL graft signal intensity on 2-Year postoperative MRI after primary ACL reconstruction using hamstring tendon autografts[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2024, 25(1):905.

[16] LI H, CHEN J W, LI H Y, et al. MRI-based ACL graft maturity does not predict clinical and functional outcomes during the first year after ACL reconstruction[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2017, 25(10):3171-3178.

[17] 王成立, 邓娜, 彭伟生, 等. 磁共振 T2-mapping 对膝关节前交叉韧带重建术后软骨变性和移植成熟度的评估研究[J]. *中国医疗器械信息*, 2024, 30(16):126-128.

收稿日期: 2025-12-22; 修回日期: 2026-01-10

(本文编辑 覃黎黎)