

MR评价前交叉韧带重建术后膝关节稳定性

吴艳¹, 曾旭文^{1*}, 梁治平¹, 刘斯润³, 王文², 钟敏之¹, 黄洁玲¹, 陈松¹

(暨南大学第四附属医院//广州市红十字会医院 1.放射科, 2.骨科, 广东 广州 510220; 3.暨南大学附属第一医院//广州华侨医院 放射科, 广东 广州 510630)

摘要:【目的】探讨 MRI 评估前交叉韧带重建术后膝关节稳定性的价值。【方法】对 158 例符合条件的前交叉韧带重建术后患者进行 MRI 扫描及膝关节临床稳定性检查,分析骨隧道、移植术及内固定装置的影像表现并与临床检查结果对比。依据临床检查将患者分为膝关节不稳组(26 例)及稳定组(132 例),比较两组胫骨、股骨骨隧道内径的变化,比较两组在骨隧道内口位置、移植术表现及内固定装置的 MR 征象阳性率;Kappa 一致性检验骨隧道内口位置、移植术及固定装置的 MR 表现和临床检查结果的一致性,计算上述 MR 征象诊断膝关节稳定性的敏感度、特异度、准确率、阳性预测值、阴性预测值。【结果】胫骨、股骨骨隧道内径变化在不稳组及稳定组的差异有统计学意义($P < 0.01$),骨隧道内径变化不稳组大于稳定组。两组在骨隧道内口位置、移植术表现、内固定装置的 MR 阳性率差异有统计学意义,不稳组高于稳定组($P < 0.001$),与临床检查结果的一致性检验 Kappa 值分别为 0.599, 0.744, 0.285; $P < 0.001$ 。【结论】MRI 在评估前交叉韧带重建术后膝关节稳定性方面具有一定的价值,能为临床随访及二次手术提供有价值的信息。

关键词: 膝关节;前交叉韧带重建;磁共振成像;稳定性

中图分类号:R687.2

文献标志码:A

文章编号:1672-3554(2015)02-0257-07

MRI Diagnosis of Knee Stability after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

WU Yan, ZENG Xu-wen*, LIANG Zhi-ping, LIU Si-run, WANG Wen, ZHONG Min-zhi,
HUANG Jie-ling, CHEN Song

(1.Department of Radiology, 2.Department of Orthopaedic, The Forth Affiliated Hospital of Jinan University, Guangzhou 510220, China; 3. Department of Radiology, The First Affiliated Hospital of Jinan University Guangzhou 510630, China)

Corresponding to: ZENG Xu-wen, E-mail: 13926190802@163.com

Abstract:【Objective】 This study aimed to investigate the value of MRI to evaluate knee stability after anterior cruciate ligament reconstruction. 【Methods】 Clinical and MRI study were performed on 158 eligible patients with anterior cruciate ligament reconstruction, bone tunnel, graft and internal fixation device MR imaging were analyzed and compared with knee stability results by clinical examination. According to results of clinical examination, 26 cases were diagnosed instability (positive group) and 132 cases were stability (negative group). The changes of the tibial and femoral tunnel diameter, differences of positive rate in bone tunnel position, graft and internal fixation between two groups were compared. Kappa test for consistency between clinical examination and MR performance in bone tunnel position, graft and internal fixation. Sensitivity, specificity, accuracy, positive and negative predictive values were calculated for MRI diagnosing knee joint instability. 【Results】 Inner diameter changes of the tibial and femoral tunnel in group instability were greater than group stability, the difference was statistically significant ($P < 0.01$). There was a higher positive rate in positive group than negative group with MR sign of bone tunnel position, graft performance and internal fixation ($P < 0.001$), Kappa value was 0.599, 0.744, 0.285, respectively, $P < 0.001$, statistical differences between the two groups. 【Conclusions】 There was certain value of MRI in assessing knee stability after anterior cruciate ligament reconstruction, which may provide valuable information for clinical post-operation follow up and second operation.

Key words: knee joint; anterior cruciate ligament reconstruction; magnetic resonance imaging; stability

[J SUN Yat-sen Univ(Med Sci), 2015, 36(2): 257-263]

收稿日期:2014-11-25

基金项目:国家自然科学基金(30973067);广东省自然科学基金(S2012010009732);广东省医学科研基金(A20132511);广州市医药卫生科技项目(2014A011020)

作者简介:吴艳,在读硕士研究生;*通信作者:曾旭文,主任医师,硕士生导师,E-mail: 13926190802@163.com

前交叉韧带(anterior cruciate ligament, ACL)重建术后膝关节功能的恢复与患者生活质量密切相关。影响术后膝关节稳定性的原因众多,如术前膝关节损伤情况、手术相关因素、术后功能锻炼等^[1]。膝关节稳定性的评估多采用临床检查,但常常无法分析导致不稳的具体原因。本研究主要针对与手术相关的因素如骨隧道、移植物、内固定物情况,排除术前复合损伤程度、术后功能锻炼、患者自身状态所致的差异,对比 ACL 重建术后 MR 表现与临床检查结果,分析两者在膝关节稳定性评估的相关性,寻找导致关节不稳的手术相关原因,讨论 MR 在评价 ACL 重建术后膝关节功能恢复情况的价值,为术后疗效评估及二次手术方案提供依据。

1 材料与方法

1.1 一般资料

收集 2008 年 1 月-2013 年 3 月期间于我院行前交叉韧带重建手术的患者资料,所有患者满足以下纳入标准:①手术均为同一组医生行前交叉韧带自体腘绳肌腱单束重建,移植物胫骨隧道内段采用可吸收螺钉挤压固定,股骨端采用带祥钢板悬吊固定;②术后功能锻炼恢复计划相同;③重建术后时间超过 18 个月。排除标准:①术前合并后外、后内侧结构或髌股关节严重损伤,影响膝关节稳定性;②接受前交叉韧带重建翻修术;③合并其他全身急、慢性疾病影响功能恢复;④术后发生严重损伤所致的移植物再断裂。本组共纳入 158 例,均行膝关节 MR 检查及临床检查,MR 检查的时间范围为 2009 年 7 月-2014 年 9 月,手术与本研究纳入的 MR 检查时间间隔为 18~53 个月,平均 25.3 个月。患者的 MR 检查与临床检查间隔时间小于 3 d。

1.2 临床评估

所有患者由经验丰富的两名骨科医师分别于门诊随访时以及 MR 检查前进行以下临床评分及膝关节稳定性检查:①膝关节功能评估采用 Lysholom 评分:根据疼痛、步行、关节屈曲活动情况、不稳定感、肿胀、上下楼梯、绞锁有无等进行评分,共 100 分。②Lachman 试验:平卧,足置于检查床上,屈膝 10°-15°,检查者一手抓住患者的股骨下端,一手抓住胫骨上端作相反方向的前后推动,

如有超过健侧的向前移位,视为阳性。③前抽屉试验(anterior drawer test, ADT):平卧,足平放于检查床上,屈膝 90°,屈髋 45°,检查者坐在患者足背上以固定,分别在小腿外旋位、中立位、内旋位等三种位置下,向前牵拉胫骨上端,观察胫骨结节向前移位的程度,移位>5 cm 为阳性。④轴移试验(pivot-shift test):患者侧卧,检查者一手握住踝部,屈曲膝关节到 90°,另一手在膝外侧施力,使膝处于外翻位置,然后缓慢伸直膝关节,至屈曲 30°位时觉得疼痛与弹跳,即为阳性。本研究中②、③、④项检查任一项为阳性即认为膝关节存在不稳。

1.3 手术材料与方法

纳入患者均采用自体腘绳肌腱单束重建,手术材料使用美国施乐辉(smith&nephew)公司聚乳酸(PLLA)材料可吸收螺钉 Bio RCI Screw,螺钉直径 6~10 mm 不等,长度 25 mm 或 30 mm。美国施乐辉(smith&nephew)公司带祥钢板 ENDOBUTTON CL,型号 7209352。MR 检查使用德国西门子公司 Siemens Avanto 1.5T MR 扫描仪,膝关节 8 通道相控阵线圈。膝关节伸直位。检查序列包括轴位 FSE T1WI(TR 450 ms/TE 1 ms)、矢状位 FS-PDWI(TR 3000 ms/TE 41 ms)、冠状位 FSE T2WI (TR 3200 ms/TE 77 ms) 及 FS-PDWI (TR 3000 ms/TE 41 ms)。矩阵 320×256,FOV 20 mm×20 mm,层厚 3 mm,层间距 0.9 mm。

1.4 MR 图像分析

由 2 名有经验的骨关节方向高年资影像诊断医师未知临床检查结果的情况下独立阅片,针对手术因素相关的 MRI 征象进行评估,若意见不同,请示上级医师讨论并达成一致。与手术相关的影像指标评价标准如下。

(1)骨隧道。股骨内口冠状位位于髌间窝后缘的外上边缘,10-11 点(右膝)或 1-2 点(左膝);矢状位位于髌间窝顶皮质线(Blumensaat 线)的后 1/4 处,后缘保留 1~2 mm 骨皮质^[2]。胫骨内口冠状位位于胫骨髌间隆突中央;矢状位位于 Blumensaat 线后方原 ACL 足迹后份,Harner 四分法,胫骨平台自前向后 1/4~1/2 区域^[3]。测量 MR 横断位图像上骨隧道内外口各 5 mm 及中点处管径,三点取平均值;术中钻孔内径由第 3 位医师查阅临床资料获得,将 MR 所测胫骨、股骨内径与术中钻孔内径相减得出差值。

(2)移植物。移植物评价参照^[4]:阴性为移植

物在关节腔内为连续低信号,与股骨髁间窝顶无接触;阳性为移植物信号增高,呈部分低信号带或移植物断裂。

(3)内固定装置。胫骨隧道内可吸收螺钉位于骨隧道内且长轴与移植物长轴平行^[5],股骨端带袢钢板位于股骨隧道外口,移植物被缝线牵拉悬吊固定。

1.5 统计学分析

采用 SPSS 19.0 软件,独立样本 *t* 检验检测胫骨、股骨骨隧道内径变化在稳定组与不稳组的差异; χ^2 检验比较两组在骨隧道内口位置、移植物表现及内固定装置的 MR 征象阳性率;Kappa 一致性检验比较 MR 表现和临床检查结果的一致性, ≥ 0.75 表示一致性较好,0.40 ~ 0.75 表示一致性中等,< 0.40 表示一致性差;计算上述 MR 征象诊断膝关节稳定性的敏感度、特异度、准确率、阳性预测值、阴性预测值。 $P < 0.05$ 认为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 临床评估

158 例患者中,男 132 例,女 26 例;ACL 重建年龄 28.3 (14 ~ 51) 岁,术后到 MR 检查时间 25.3 (18 ~ 53) 月。Lyshlom 评分 75 ~ 92 分,平均为 89.3 分,部分患者出现一项或多项不适。其中,12 例出现疼痛,33 例行走困难,21 例关节活动受限,17 例膝关节无力感,25 例上下楼困难,4 例出现绞

锁。临床评估结果为膝关节不稳 26 例,稳定 132 例,临床各试验检查结果见表 1,两名骨科医师检查结果经一致性检验(Kappa = 0.785, $P < 0.01$)。

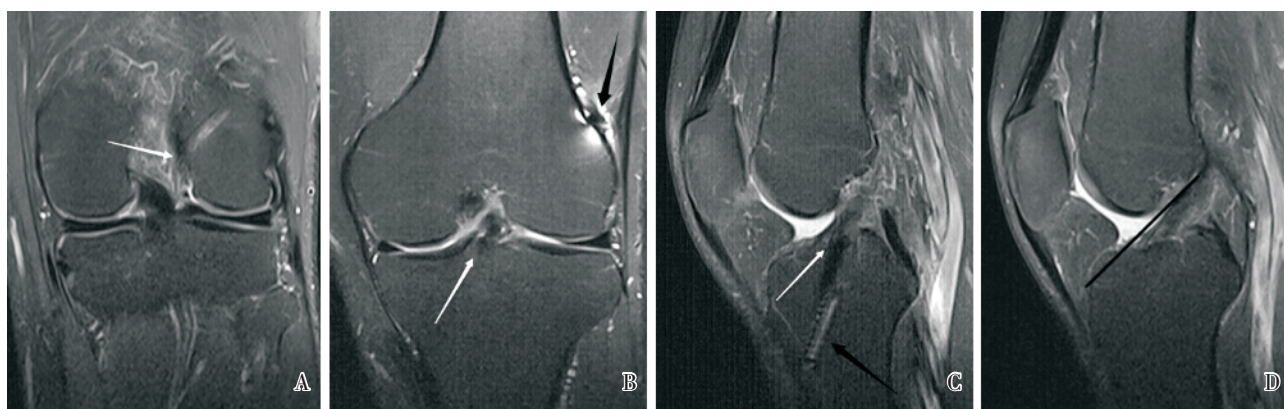
表 1 膝关节稳定性各临床检查结果

Table 1 Clinical examination for knee joint stability

Examination test	Positive	Negative	Total
Lachman test	23	135	158
Anterior drawer test	19	139	158
Pivot-shift test	13	145	158

2.2 MR 图像评估

本研究中患者胫骨与股骨术中钻孔内径一致,平均值 8.30 mm,MR 测得胫骨、股骨隧道平均值分别 10.78 mm、10.20 mm。MR 测量值与术中钻孔内径差值(表 2)。158 例纳入对象中,影像表现正常者 108 例(图 1);骨隧道内口位置异常共 17 例,其中股骨内口偏前 9 例(图 2),胫骨内口异常 6 例,5 例偏前(图 3),1 例偏后;2 例胫骨、股骨内口同时靠前。37 例移植物与股骨髁间窝接触,接触点信号明显增高,肿胀,其中 4 例出现移植物信号不连续,呈部分低信号带(图 4)。内固定位置异常 5 例,股骨端纽扣松脱 3 例(图 5),胫骨螺钉突入内口 2 例。所有纳入对象中,18 例患者胫骨端可吸收螺钉降解吸收,移植物与骨隧道壁结合良好。共 6 例出现不同程度隧道积液或小囊肿。两名放射科医师分析骨隧道内口位置、移植物及固定装置 MR 表现的一致性检验 Kappa 值分别为 0.873、0.914、0.987, P 均小于 0.01。膝关节不稳组在骨隧道内口



29-year-old male patient with ACL reconstruction for 21 months. Coronal PD-FS WI(A,B) show the correct bone tunnel position(white arrow) of femoral(A) and tibial(B). Coronal PD-FS WI(B) and Sagittal PD-FS WI (C) show the correct fixation position(black arrow) of Endobutton in femoral and the screw in tibia. The graft was parallel to Blumensaat line(black line) and the signal of graft was similar to the normal ACL(D).

图 1 骨隧道、移植物及固定装置正常

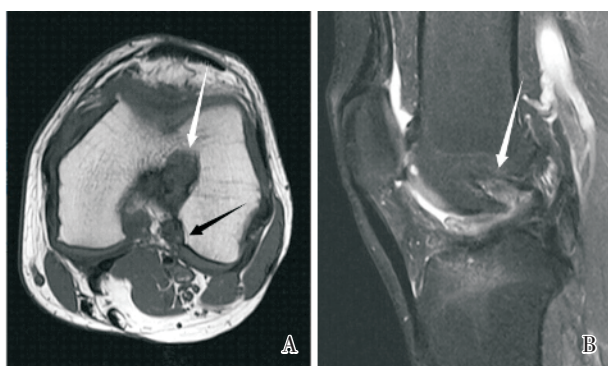
Fig.1 Correct bone tunnel position, graft, and fixation position

表 2 膝关节不稳组和稳定组 MR 征象阳性率及骨隧道内径变化值的比较

Table 2 Comparison of positive rate in MRI sign and changes of bone tunnel diameter between group instability and group stability [$\bar{x} \pm s$ or $n/N(\%)$]

Group	MRI		sign		
	Changes of tunnel diameter/mm		Bone tunnel position	Graft	Internal fixation
	tibial	femoral			
Instability ($N = 26$)	2.62 ± 0.74	1.98 ± 0.96	14/26(53.85)	25/26(96.15)	5/26(19.23)
Stability ($N = 132$)	2.11 ± 0.32	1.76 ± 0.54	25/26(96.15)	12/132(9.09)	0
Statistic value	$t = 28.73$	$t = 19.26$	$\chi^2 = 43.37$	$\chi^2 = 83.09$	$\chi^2 = 18.92$
P	< 0.01	< 0.01	< 0.001	< 0.001	< 0.001

Data of bone tunnel position, graft and internal fixation between two groups were compared using Fisher exact test; Independent sample t test for data of tunnel diameter.



A 29-year-old patient. Traverse T1WI(A) and sagittal PD-FS WI(B) show the inner hole of femoral (white arrow) was in the front of correct position (black arrow). Clinical examination of Lachman test is positive.

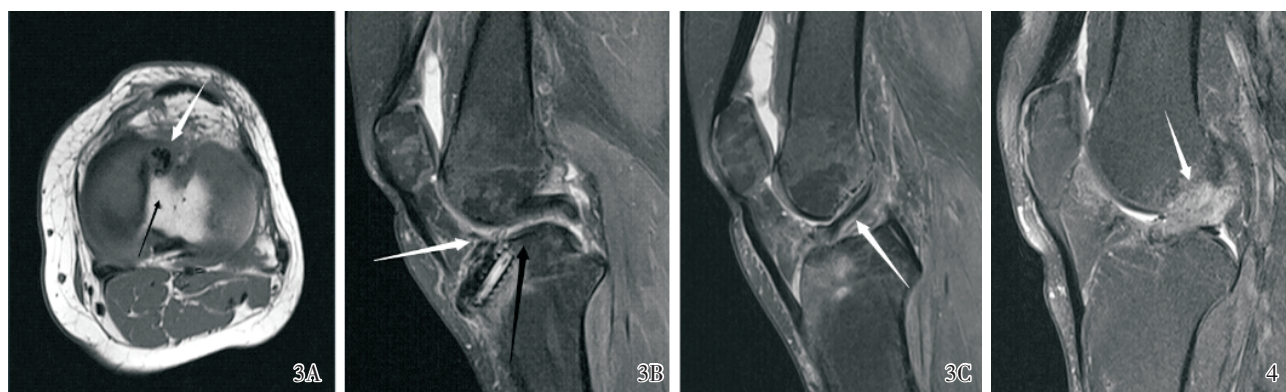
图 2 股骨骨隧道内口位置靠前

Fig.2 Abnormal position of femoral bone tunnel

位置、移植物信号、内固定位置方面 MR 征象阳性率高于稳定组,差异有统计学意义(表 2)。MR 征象评估 ACL 重建术后膝关节稳定性的敏感度、特异度、准确度、阳性和阴性预测值及 MR 与临床检查的一致性结果如表 3。

3 讨论

绝大多数患者 ACL 重建术后膝关节功能逐渐恢复,但部分患者仍有疼痛、肿胀、不稳、屈伸受限等症状,影响生活质量,临床表现无特异性。MR 在膝关节损伤修复^[6-8]及 ACL 重建术后骨隧道位置、移植物完整性评价并指导术后康复计划制定等方面已有相关研究^[9-10]。本研究主要针对与手术相关



Tibial bone tunnel inner hole was anterior from the correct position in a 26-year-old patient. Traverse T1WI(A) and sagittal PD-FS WI show the inner hole (black arrows) was anterior. Black arrow (A, B) show the correct position. The Sagittal PD-FS WI (C) show the graft was extended. Lachman and pivot-shift test were positive.

图 3 胫骨骨隧道内口异常,移植物延长

Fig.3 Abnormal position of tibial bone tunnel

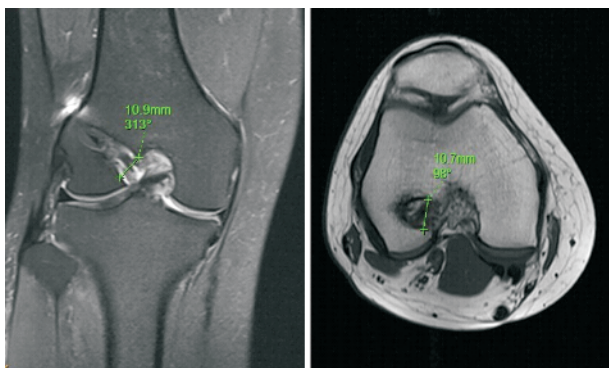
A 31-year-old patient. Sagittal FS-PDWI show a thickened ACL with the signal intensity increased.

图 4 移植物撞击股骨髁外壁
Fig.4 ACL graft impingement



A 21-year-old patient. Transverse T1WI (A) show the graft in femoral tunnel disappear. The Sagittal (B) show the graft prolapsed from the femoral tunnel. Clinical examination show the knee was instability.

图 5 股骨端纽扣固定物松脱移
Fig.5 Loose fixation of femoral



The femoral tunnel enlarged for the long axis of graft was not parallel to the bone tunnel in a 35-year-old female patient after ACL reconstruction for 49 months. Diameter of the tunnel in surgery is 7 mm.

图 6 股骨隧道扩大
Fig.6 Enlarged femoral tunnel

的因素, 讨论 MR 评估 ACL 重建术后膝关节稳定性的价值, 为术后疗效及二次手术提供依据。

3.1 骨隧道内口位置及移植物形态、信号

骨隧道内口位置不准在前交叉韧带重建技术

不良中最常见^[12]。正确的等距点确保关节屈曲时移植物长度变化最小, 偏离等距点移植物拉伸松弛^[13]。胫骨隧道内口靠后或股骨隧道内口近于髁顶中线, 出现“垂直韧带”而致旋转不稳。胫骨隧道偏前、外移植物撞击髁间窝顶及外侧壁^[14], MR 表现为移植物增粗、水肿、水平走形、局部信号增高。除骨隧道位置异常及髁间窝狭窄导致的撞击之外, “韧带化”过程为移植物信号增高的另一重要原因, ACL 重建术后前 4 ~ 9 个月由于组织坏死、细胞增殖、血管及周围滑膜增生, 移植物信号增高, 12 个月后恢复为类似正常 ACL 的低信号^[15]。本研究纳入的对象均为术后时间大于 18 个月的患者, 尽量排除由于韧带化过程所致的移植物信号增高。

本组研究显示, 以临床检查为“金标准”, 膝关节不稳时, MR 表现为骨隧道内口位置异常的概率为 53.85%; 若稳定, MR 内口位置正常概率为 79.14%, 内口位置异常诊断膝关节不稳的特异度较灵敏度稍高, 但两者均偏低, 表明内口异常并非导致膝关节不稳唯一原因。MR 与临床检查的一致性为 0.559, 一致性中等; 本研究的 MR 骨隧道内口位置异常患者中, 有 3 例股骨隧道位置略偏前并伴移植物信号增高, MR 表现阳性, 临床检查膝关节并无不稳, 提示临床检查的膝关节稳定时, 植物仍可能存在的异常; 但这亦有可能与临床检查评估膝关节稳定性标准的完善性及临床检查医师的经验有关。

移植物信号预测膝关节稳定性具有较高的真阳性率及真阴性率, 分别为 96.15%、90.01%, 这可能与 MR 对韧带信号的改变较敏感有关, 其他征象如骨隧道位置, 内径诊断标准则存在主观差异及 MR 客观观察的限制。通过移植物形态及信号的 MR 异常表现预测膝关节不稳出现假阳性, 此部分患者无膝关节不稳, 亦排除了骨隧道异常所

表 3 MR 征象评估 ACL 重建术后膝关节稳定性
Table 3 MRI sign evaluate knee stability after ACL reconstruction

MRI sign	Stability evaluation [% (n/N)]					Kappa	P
	sensitivity	specificity	accuracy rate	PPV	NPV		
Bone tunnel Position	53.85(14/26)	79.14(129/132)	90.50(143/158)	82.35(14/17)	91.49(129/141)	0.599	< 0.001
Graft	96.15(25/26)	90.91(120/132)	91.77(145/158)	67.52(5/37)	99.17(120/121)	0.744	< 0.001
Internal fixation	19.23(5/26)	100(132/132)	86.71(137/158)	100(5/5)	86.27(132/153)	0.285	< 0.001

PPV: positive predictive value; NPV: negative predictive value

致的移植物撞击等其他手术相关因素对移植物信号的影响,可能因个体差异所致的韧带化过程时间延长,MR 检查时移植物信号尚未恢复至正常低信号有关。

3.2 骨隧道内径改变与移植物内固定装置

骨隧道扩大的原因众多,如钻孔热量对骨组织的损伤、肌腱在骨隧道内的微移动、可吸收材料降解及关节液渗透等均可导致骨隧道扩大^[16](图6),其多发生于术后 3、4 个月之内^[17],随后保持稳定,移植物与骨道融合过程异常,止点完整性破坏,移植物松弛而继发膝关节不稳。本研究纳入对象随访时间大于 18 个月,骨隧道内径大小基本稳定;均采用自体腘绳肌腱,尽量排除异物肌腱排斥反应引起的骨溶解;MR 横断面测量骨隧道值与术中钻孔内径的差值代表各研究对象骨隧道内径的改变,结果显示稳定组与不稳定组在胫骨及股骨隧道内径变化的差异均具有统计学意义,不稳定组大于稳定组,表明膝关节不稳可能与骨隧道扩大相关。Klein 等^[18]研究表明隧道最宽处、横钉近端的骨隧道扩大程度与 Lysholm 评分相关。然而 Jansson 等^[19]认为骨隧道扩大未对术后关节评分及活动度产生影响,关于骨隧道扩大与否与临床效果的相关性存在争议,这可能与测量所用技术、方法、纳入对象及稳定性评估标准的不同有关。

Endobutton、过顶技术、横杆或 staple 等股骨隧道内固定技术使移植物隧道内部分可沿隧道纵轴滑动,即“蹦极效应”^[20],引起隧道壁骨质吸收。内固定螺钉硬度较高,在部分骨质疏松和骨隧道扩大或骨缺损患者易出现松动。远关节线的悬吊固定较螺钉挤压固定更易出现“雨刷效应”,固定方式的不同亦可造成特定部位的扩大^[18]。本组共有 6 例出现骨隧道积液或小囊肿,其中 5 例出现于骨隧道扩大者,1 例出现在可吸收螺钉完全吸收者,与隧道感染不同,隧道积液或小囊肿通常出现在随访的后期,而隧道感染则通常出现在重建术后早期。本研究中 2 例胫骨隧道螺钉突入内口,3 例股骨端纽扣扣松脱。固定装置 MR 表现异常预测膝关节不稳的特异度为 100%,提示膝关节稳定时,固定装置 MR 表现通常正常;阳性预测值 100%,即固定物位置发生异常,通常会导致关节不稳。灵敏度及 MR 表现与临床检查结果的一致性均较低,这可能与导致膝关节不稳的因素较多,固定物位置异常的发生率较低有关,由于固定物异常所

致的膝关节不稳仅占有导致膝关节不稳原因中很少一部分。

本研究以临床物理检查作为术后关节稳定性的诊断标准存在一定的主观性及不完善性。临床医师体检的经验及影像评估的主观性亦可能影响检查结果。另外,纳入对象术后时间跨度较大及时间界点的选择所致的韧带化过程中移植物信号个体差异亦可能对结果造成影响。

综上所述,骨隧道内口位置、内径的改变,移植物形态信号及内固定装置对诊断前交叉韧带重建术后膝关节稳定性均具有一定的价值,MR 可分析导致关节不稳原因的手术相关因素,可为临床随访及二次手术提供依据。

参考文献

- [1] 敖英芳,马勇,崔国庆,等.前交叉韧带重建失败的原因分析[J].中华外科杂志,2007,45(2):86-89.
Ao YF, Ma Y, Cui GQ, et al. Factors leading to failure of anterior cruciate ligament reconstruction [J]. Chin J Surg, 2007, 45(2): 86-89.
- [2] Streich NA, Friedrich K, Gotterbarm T, et al. Reconstruction of the ACL with a semitendinosus tendon graft: a prospective randomized single blinded comparison of double-bundle versus single-bundle technique in male athletes [J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2008, 16(3): 232-238.
- [3] McCauley TR. MR imaging evaluation of the postoperative knee[J]. Radiology, 2005, 234(1): 53-61.
- [4] Rak KM, Gillogly SD, Schaefer RA, et al. Anterior cruciate ligament reconstruction: evaluation with MR imaging[J]. Radiology, 1991, 178(2): 553-556.
- [5] 郭文力,侯阳,潘诗农,等.三维 CT 对前交叉韧带重建术后早期效果的评价[J].中国医学影像技术,2008,24(4):605-607.
Guo WL, Hou Y, Pan SN, et al. Early assessment of anterior cruciate ligament reconstruction by 3D-CT [J]. Chin J Med Imaging Technol, 2008, 24(4): 605-607.
- [6] 曾旭文,梁治平,步军,等.低场强四肢关节磁共振在膝关节骨挫伤中的应用[J].中山大学学报:医学科学版,2007,28(5):550-552.
Zeng XW, Liang ZP, Bu J, et al. Application of low field joint MRI in bone contusion of knee [J]. J SUN Yat-sen Univ: Med Sci, 2007, 28(5): 550-552.
- [7] 曾旭文,梁治平,陈鸿辉,等.专用四肢关节磁共振在兔膝关节软骨缺损修复中的应用[J].中山大学学

- 报: 医学科学版, 2009, 30(4): 413-417.
- Zeng XW, Liang ZP, Chen HH, et al. Research of low field intensity joint MR scan in rabbit knee articular cartilage defect repair[J]. J SUN Yat-sen Univ: Med Sci, 2009, 30(4): 413-417.
- [8] 谭源满, 曾旭文, 钟敏之, 等. 兔髌韧带重建术后骨-腱愈合磁共振定量评价的初步研究[J]. 中山大学学报: 医学科学版, 2014, 35(5): 768-774.
- Tan YM, Zeng XW, Zhong MZ, et al. Magnetic Resonance Imaging to quantify evaluation the bone-tendon healing after patellar ligament reconstruction in rabbits[J]. J SUN Yat-sen Univ: Med Sci, 2014, 35(5): 768-774.
- [9] Naraghi AM, Gupta S, Jacks LM, et al. Anterior cruciate ligament reconstruction: MR imaging signs of anterior knee laxity in the presence of an intact graft[J]. Radiology, 2012, 263(3): 802-810.
- [10] Araujo P, Van EC, Torabi M, et al. How to optimize the use of MRI in anatomic ACL reconstruction [J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2013, 21(7): 1495-1501.
- [11] Chang MJ, Chang CB, Choi JY, et al. Can magnetic resonance imaging findings predict the degree of knee joint laxity in patients undergoing anterior cruciate ligament reconstruction? [J]. BMC Musculoskelet Disord, 2014, 15(3): 214-225.
- [12] Pinczewski LA, Salmon LJ, Jackson WF, et al. Radiological landmarks for placement of the tunnels in single-bundle reconstruction of the anterior cruciate ligament[J]. J Bone Joint Surg Br, 2008, 90(2): 715-724.
- [13] Bencardino JT, Beltran J, Feldman MI, et al. MR imaging of complications of anterior cruciate ligament graft reconstruction[J]. Radiographics, 2009, 29(7): 2115-2126.
- [14] Howell SM, Hull ML. Checkpoints for judging tunnel and anterior cruciate ligament graft placement [J]. J Knee Surg, 2009, 22(2): 161-170.
- [15] 梁治平, 余深平, 曾旭文, 等. 重建前交叉韧带韧带移植生长的MR信号改变初步研究[J]. 影像诊断与介入放射学, 2010, 19(3): 155-157.
- Liang ZP, Yu SP, Zeng XW, et al. Evaluation of the growth of reconstruction anterior cruciate ligament graft: preliminary study with low-field MRI[J]. J Diagn Imag Intervent Radiol, 2010, 19(3): 155-157.
- [16] Stener S, Ejerhed L, Sernert N, et al. A long-term prospective randomized study comparing biodegradable and metal interference screws in anterior cruciate ligament reconstruction surgery: radiographic results and clinical outcome[J]. Am J sports Med, 2010, 38(8): 1598-1605.
- [17] Webster KE, Feller JA, Hameister KA. Bone tunnel enlargement following anterior cruciate ligament reconstruction: a randomised comparison of hamstring and patellar tendon grafts with 2-year follow-up [J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2001, 9(2): 86-91.
- [18] Klein JP, Lintner DM, Downs D, et al. The incidence and significance of femoral tunnel widening after quadrupled hamstring anterior cruciate ligament reconstruction using femoral cross pin fixation [J]. Arthroscopy, 2003, 19(5): 470-476.
- [19] Jansson KA, Harilainen A, Sandelin J, et al. Bone tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction with the hamstring autograft and endobutton fixation technique. A clinical, radiographic and magnetic resonance imaging study with 2 years follow-up [J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 1999, 7(5): 290-295.
- [20] Hoher J, Moller HD, Fu FH. Bone tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction: fact or fiction? [J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 1998, 6(4): 231-240.

(编辑 刘清海)