

MRI 检查在前交叉韧带损伤诊断中的应用

张辉 杨远 陈斐 赵李木子 崔银星 唐寒 熊建义 王大平 朱伟民

摘要 MRI 检查是诊断前交叉韧带(ACL)损伤及其相关损伤的常用影像学检查。术前 MRI 检查不仅有助于明确诊断及制定手术方案,而且在术后再损伤的风险评估上也意义重大。ACL 重建术后 MRI 检查主要用于移植物愈合、骨道位置评估及骨关节炎早期诊断。该文就 MRI 检查在 ACL 损伤诊断中的应用研究进展作一综述。

关键词 前交叉韧带损伤;MRI 检查;胫股解剖;风险评估

DOI: 10.3969/j.issn.1673-7083.2020.05.006

MRI 检查是一种断层成像技术,与其他成像技术(如 CT、超声检查等)相比,具有软组织对比度极好、成像方式多样化、对比度机制多样等优点,因此所获取的信息也更加丰富。MRI 检查本身即可多模态成像,能从多方位、多序列、多种加权模式综合分析检查部位的形态和功能状况。在影像学诊断前交叉韧带(ACL)损伤中,MRI 检查扮演着不可替代的角色。ACL 损伤是一种常见的运动损伤,在运动导致的膝关节损伤中尤为多见^[1]。目前 MRI 检查用于评估 ACL 损伤的研究越来越多,研究并不局限于 ACL 损伤及其相关损伤和术后移植物愈合的评估,还包括 ACL 重建术后再损伤的风险评估。

1 在评估 ACL 损伤中的应用

随着对 MRI 成像技术和成像方法的不断改善,MRI 检查应用于 ACL 损伤及其相关损伤诊断越来越成熟。

1.1 ACL 损伤

MRI 检查作为诊断 ACL 损伤的无创性工具,具有高敏感度和特异度。然而,目前有许多研究表明,临床查体在诊断 ACL 损伤时优于 MRI 检查^[2-3]。这是因为 MRI 检查有许多难以控制的因素,如成像时体位及阅片者专业水平都可能影响评估 ACL 损伤的准确性。有研究报道,MRI 检查评估 ACL 损伤的敏感度与检查时膝关节屈曲角度有关^[4-5]。Gunaydin 等^[4]介绍了一种准确性更高的 MRI 检查方法(俯卧位膝关节最大屈曲位 MRI 检查)用于诊断 ACL 损伤。ACL 部分损伤在术前很

难通过临床查体和常规 MRI 检查来评估。但部分 ACL 损伤占的比例并不低,达到 10%~35% 不等^[6]。因此,有学者提出 MRI 检查联合麻醉下查体来诊断此类损伤。然而,实际上这种联合诊断只能识别出高度怀疑的部分 ACL 损伤,最终往往需通过关节镜才能确诊^[7]。基于部分 ACL 损伤诊断的困难性,俯卧位膝关节最大屈曲角度 MRI 检查可作为一种替代的影像学诊断方法,进一步确定这类患者是保守治疗还是手术治疗,从而避免不必要的关节镜检查及手术^[4]。

1.2 半月板损伤

随着对半月板功能的深入研究,学者们重新认识到半月板在膝关节中的重要性。近些年由于半月板损伤超声诊断技术的进步,以及超声检查具有简便、低成本、较少禁忌证等优点,其在半月板损伤诊断上的应用越来越受欢迎。然而,目前超声检查在诊断半月板损伤上仍不能替代 MRI 检查,因为 MRI 检查可以显示半月板其他信息,如定量 MRI 检查不仅能辅助诊断半月板损伤,而且能评估半月板生化成分变化差异。类似的,Lefevre 等^[8]研究发现,MRI 检查可以用于评估半月板剩余功能,尤其是在根或角撕裂中。MRI 检查在 ACL 重建术后半月板与生物力学的相关性研究中同样扮演着不可替代的角色。Shimizu 等^[9]的研究表明,内后角 T1ρ/T2 值与术后 6 个月时的生物力学有显著相关性,因此认为早期阶段生物力学参数可能是预测 ACL 重建术后持续性内侧半月板异常的潜在生物标志物。

1.3 其他相关损伤

ACL 损伤往往伴随着膝关节的其他损伤。Inderhaug 等^[10]研究发现,在 ACL 和前外侧韧带

(ALL)同时损伤的情况下,单靠 ACL 重建并不能恢复正常膝关节稳定性。近期一项临床研究发现,几乎所有急性 ACL 损伤的膝关节前外侧结构都有损伤,且 MRI 检查诊断前外侧结构损伤与手术探查具有高度相关性,尤其是 ALL 损伤诊断,相比之下, MRI 检查对髁胫束损伤诊断的准确性较低^[11]。然而, Ferretti 等^[12]研究指出 90% 的 ALL 损伤是在急性 ACL 损伤的手术中发现的,而不是在术前 MRI 检查中。术前 ALL 损伤 MRI 检查漏诊是由于阅片者的疏忽、不恰当的成像技术,还是 ALL 本身的原因,这仍是颇受争议的话题。Helito 等^[13]指出, 3 T MRI 检查较 1.5 T MRI 检查更容易识别 ALL 损伤。

2 在 ACL 重建术前的应用

研究报道,具有 ACL 损伤高危因素者在剧烈运动时佩戴预防性膝关节护具或进行预防性训练能有效降低 ACL 损伤风险。而如何识别 ACL 损伤高风险潜在者较为困难, MRI 检查为此能提供许多有价值的参考。

2.1 胫股解剖评估

ACL 损伤除了运动导致的意外损伤这一主要原因外,还有许多其他非意外性因素,其中包括骨形态^[14]。近年来,越来越多的学者研究胫股解剖因素与 ACL 损伤之间的关系^[15-17]。以往研究证实, ACL 损伤与胫骨坡度^[17]、股骨切迹宽度、胫前半脱位^[16]和胫骨内侧凹度等骨形态密切相关。近期有研究提出一种新的 MRI 测量方法即股骨外侧髁指数(LFCI),其可用于测量股骨外侧髁的球形度,并发现 LFCI 降低与 ACL 损伤有关,且 LFCI、外侧胫骨高度和外侧胫骨坡度是 ACL 损伤最常见的危险因素^[2]。研究报道,多次 ACL 重建失败组较 ACL 重建未失败组 MRI 影像上测得的胫骨后倾角大且股骨后外侧髁深度增加^[18]。因此, Grassi 等^[18]建议对接受 ACL 重建术的患者常规评估胫股解剖,以识别发生 ACL 再断裂的高危患者。

2.2 半腱肌腱和股薄肌腱评估

自体腘绳肌腱(半腱肌腱、股薄肌腱)移植是目前最常用的 ACL 重建手术方式。研究表明,较小直径的移植物失败率较高,因此术前评估半腱肌腱、股薄肌腱直径大小有助于手术方案制定,且生物力学测试显示抗拉强度与四股腘绳肌腱直径之间存在很强的相关性^[19]。术前 MRI 影像上测得的自体移植物直径与术中测得的结果具有高度相关性,这使

得术者能更好地确保自体移植物直径足够用于重建 ACL^[20]。以前的影像学研究主要集中在这些肌腱直径而非长度上,以判断其是否适合 ACL 重建。而 Ilahi 等^[21]研究发现,术前 MRI 影像上测得的半腱肌腱和股薄肌腱长度与术中所测量的实际长度密切相关,误差不超过 3 cm。

2.3 ACL 胫骨足迹大小评估

基于对 ACL 解剖和功能的进一步了解,个体化解剖性 ACL 重建已成为标准的手术方法。而根据 ACL 胫骨足迹大小,可分别进行解剖性双束 ACL 重建和解剖性单束 ACL 重建。因此,在术前测量 ACL 胫骨足迹大小有助于确定手术方案。膝关节 MRI 检查是最常用的测量 ACL 胫骨足迹大小的无创性工具。尸体解剖研究表明, MRI 影像上测得的 ACL 胫骨足迹大小与实际尺寸有很强的相关性^[22]。而 Kim 等^[23]同样验证了此结论,并得出了基于 MRI 影像所得的 ACL 胫骨足迹长度和宽度来预测实际 ACL 胫骨足迹长度和宽度的方程,即 $ACL \text{ 胫骨足迹实际长度} = 3.248 + 0.868 \times MRI \text{ 影像上测得的 ACL 胫骨足迹长度(mm)} - 0.237 \times \text{性别(男性}=0, \text{女性}=1)$, $ACL \text{ 胫骨足迹实际宽度} = -0.539 + 0.868 \times MRI \text{ 影像上测得的 ACL 胫骨足迹宽度(mm)} + 0.183 \times \text{性别(男性}=0, \text{女性}=1)$ 。

3 在 ACL 重建术后的应用

ACL 重建术后 MRI 检查能够评估移植物成熟度和完整性、骨道位置及早期诊断骨关节炎(OA)等。

3.1 移植物愈合评估

MRI 检查是定性监测 ACL 重建后移植物愈合的标准无创性工具,移植物信号强度可以反映移植物愈合情况。Hofbauer 等^[24]对比术后 6 个月自体腘绳肌腱重建的 ACL 与健侧 ACL 的 MRI 检查信号强度,认为 ACL 重建后恢复高强度运动的标准不应仅基于功能稳定性和肌肉力量。有研究报道, MRI 检查提示移植物不完全愈合的临床意义尚不清楚^[25-27]。研究表明,关节内移植物的信噪比(SNQ)显著低于骨道内移植物,这意味着骨道内移植物成熟较慢^[27-28]。这与 Araki 等^[29]的研究结果相一致,即关节内移植物重建血管速度快于骨道内移植物。Li 等^[30]评估 ACL 重建术后同种异体肌腱与自体肌腱成熟程度,发现术后 2 年自体肌腱组 SNQ 明显低于同种异体肌腱组,说明同种异体肌腱可能不如自体移植肌腱成熟。ACL 重建术后 MRI

检查 SNQ 并不局限用于评估移植物成熟程度。Lee 等^[31]在 18 例二次关节镜检查的 ACL 重建病例对比研究中发现, ACL 移植物滑膜化程度与 SNQ 呈中度至高度相关。Oshima 等^[32]研究发现, SNQ 与移植物容积比和弯曲角度呈显著正相关。ACL 重建后移植物 SNQ 可用于预测预后, 有助于预估重返运动时间^[33-35]。而 Putnis 等^[36]指出, 从 MRI 检查得到的 SNQ 与术后 1 年的整体临床结果之间没有显著相关性。因此, 通过 SNQ 进一步量化采用信号强度来评估移植物愈合情况仍存争议。

3.2 OA 早期诊断

ACL 损伤的特点是关节不稳定, 通常会引起肌无力和膝关节 OA^[37]。据报道, 68%~80% 的 ACL 损伤患者无论韧带重建与否, 均将在 20 年的随访期内发展为膝关节 OA^[38]。一项动物研究表明, ACL 横断术后 30 d 大鼠膝关节出现 OA 症状^[39]。虽然通过临床症状及 X 线检查能对 OA 做出正确诊断, 但 MRI 检查对于 ACL 重建术后患者早期膝关节 OA 诊断意义重大, 且 MRI 检查检测到早期膝关节 OA 特征主要集中在 ACL 重建术后 1~2 年^[40]。Patterson 等^[41]研究表明, ACL 重建年轻患者存在早期 OA 恶化的风险。这类患者软骨缺陷、半月板病变可能非良性, 并很有可能与未来的膝关节 OA 或功能下降有关^[42]。因此, 对于 ACL 重建年轻患者, MRI 检查识别出发生 OA 的潜在风险有助于针对病因防止膝关节进展成膝关节 OA。

3.3 骨道位置评估

ACL 重建时骨道位置是恢复 ACL 功能的关键。以往的研究表明, 82% 的 ACL 重建失败原因是骨道定位不当^[43]。有研究在手术前后对 40 例 ACL 重建患者受伤与未受伤膝关节进行三维 MRI 检查, 发现尽管采用现代外科技术来进行解剖性 ACL 重建, 但在定位骨道过程中仍存在重要位置误差^[44]。三维 CT 检查由于对骨骼显影较好而成为骨道位置可视化的标准方法, 但其不足之处在于无法识别潜在的骨道拓宽原因如胫骨骨道内液体积聚、囊肿形成等, 而 MRI 检查可以辨别。Grasso 等^[45]对术中骨道进行数字化处理以评价高分辨率 MRI 检查和三维 CT 检查的准确性, 发现高分辨率 MRI 检查结果与术中所得到的数字化数据之间无显著差异, 因此高分辨率 MRI 检查是三维 CT 检查评估骨道位置可靠的替代方案, 高分辨率 MRI 检查最主要的优点为同时可以对整个膝关节进行评估。

4 结语

近年, 随着 MRI 成像技术和成像方法的不断改善, MRI 检查在 ACL 损伤诊断中的应用越来越广泛和精确。临床上, 诊断 ACL 损伤常用的 3 种方法为临床查体、MRI 检查和关节镜检查。众所周知, 诊断 ACL 损伤的金标准是关节镜诊断, 但往往在手术时才能进行。因此, 临床查体和 MRI 检查对于术前诊断 ACL 损伤尤为重要。膝关节 MRI 检查不仅可以用于诊断 ACL 损伤及其相关损伤和评估预后, 而且能够评估发生术后再损伤的风险。综上所述, MRI 检查能够以非侵入性方式显示膝关节多方面整体情况, 在 ACL 损伤诊断中为临床医生提示未被关注的潜在问题。

参考文献

- [1] Sanders TL, Maradit Kremers H, Bryan AJ, et al. Incidence of anterior cruciate ligament tears and reconstruction: a 21-year population-based study[J]. *Am J Sports Med*, 2016, 44(6): 1502-1507.
- [2] Brady MP, Weiss W. Clinical diagnostic tests versus MRI diagnosis of ACL tears[J]. *J Sport Rehabil*, 2018, 27(6): 596-600.
- [3] Kostov H, Arsovski O, Kostova E, et al. Diagnostic assessment in anterior cruciate ligament (ACL) tears[J]. *Pril (Makedon Akad Nauk Umet Odd Med Nauki)*, 2014, 35(1): 209-218.
- [4] Gunaydin B, Sahin GG, Sari A, et al. A new method for diagnosis of anterior cruciate ligament tear: MRI with maximum flexion of knee in the prone position: a case control study[J]. *Int J Surg*, 2019, 68: 142-147.
- [5] Muhle C, Ahn JM, Dieke C. Diagnosis of ACL and meniscal injuries: MR imaging of knee flexion versus extension compared to arthroscopy[J]. *SpringerPlus*, 2013, 2(1): 213.
- [6] Sonnery-Cottet B, Colombet P. Partial tears of the anterior cruciate ligament[J]. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2016, 102(1 Suppl): S59-S67.
- [7] Cavinatto L, Gupta S, Morgan C, et al. Value of preoperative MRI and examination under anesthesia for differentiating complete from partial anterior cruciate ligament tears[J]. *J Knee Surg*, 2019, 32(7): 620-623.
- [8] Lefevre N, Naouri JF, Herman S, et al. A current review of the meniscus imaging: proposition of a useful tool for its radiologic analysis[J]. *Radiol Res Pract*, 2016, 2016: 8329296.
- [9] Shimizu T, Markes AR, Samaan MA, et al. Patients with abnormal limb kinetics at 6 months after anterior cruciate ligament reconstruction have an increased risk of persistent medial meniscal abnormality at 3 years[J]. *Orthop J Sports*

- Med, 2020, 8(1): 2325967119895248.
- [10] Inderhaug E, Stephen JM, Williams A, et al. Biomechanical comparison of anterolateral procedures combined with anterior cruciate ligament reconstruction[J]. Am J Sports Med, 2017, 45(2): 347-354.
- [11] Monaco E, Helito CP, Redler A, et al. Correlation between magnetic resonance imaging and surgical exploration of the anterolateral structures of the acute anterior cruciate ligament-injured knee[J]. Am J Sports Med, 2019, 47(5): 1186-1193.
- [12] Ferretti A, Monaco E, Fabbri M, et al. Prevalence and classification of injuries of anterolateral complex in acute anterior cruciate ligament tears[J]. Arthroscopy, 2017, 33(1): 147-154.
- [13] Helito CP, Helito PV, Costa HP, et al. Assessment of the anterolateral ligament of the knee by magnetic resonance imaging in acute injuries of the anterior cruciate ligament[J]. Arthroscopy, 2017, 33(1): 140-146.
- [14] Hodel S, Kabelitz M, Tondelli T, et al. Introducing the lateral femoral condyle index as a risk factor for anterior cruciate ligament injury[J]. Am J Sports Med, 2019, 47(10): 2420-2426.
- [15] Lansdown D, Ma CB. The influence of tibial and femoral bone morphology on knee kinematics in the anterior cruciate ligament injured knee[J]. Clin Sports Med, 2018, 37(1): 127-136.
- [16] Tanaka MJ, Jones KJ, Gargiulo AM, et al. Passive anterior tibial subluxation in anterior cruciate ligament-deficient knees [J]. Am J Sports Med, 2013, 41(10): 2347-2352.
- [17] Christensen JJ, Krych AJ, Engasser WM, et al. Lateral posterior slope is increased in patients with early graft failure after anterior cruciate ligament reconstruction [J]. Am J Sports Med, 2015, 43(10): 2510-2514.
- [18] Grassi A, Macchiarola L, Urrizola Barrientos F, et al. Steep posterior tibial slope, anterior tibial subluxation, deep posterior lateral femoral condyle, and meniscal deficiency are common findings in multiple anterior cruciate ligament failures: an MRI case-control study[J]. Am J Sports Med, 2019, 47(2): 285-295.
- [19] Boniello MR, Schwingler PM, Bonner JM, et al. Impact of hamstring graft diameter on tendon strength: a biomechanical study[J]. Arthroscopy, 2015, 31(6): 1084-1090.
- [20] Agarwal S, de Sa D, Peterson DC, et al. Can preoperative magnetic resonance imaging predict intraoperative autograft size for anterior cruciate ligament reconstruction? A systematic review[J]. J Knee Surg, 2019, 32(7): 649-658.
- [21] Ilahi OA, Staewen RS, Stautberg EF 3rd, et al. Estimating lengths of semitendinosus and gracilis tendons by magnetic resonance imaging [J]. Arthroscopy, 2018, 34(8): 2457-2462.
- [22] Han Y, Kurzenecwyg D, Hart A, et al. Measuring the anterior cruciate ligament's footprints by three-dimensional magnetic resonance imaging[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2012, 20(5): 986-995.
- [23] Kim SH, Lee HJ, Park YB, et al. Anterior cruciate ligament tibial footprint size as measured on magnetic resonance imaging: does it reliably predict actual size?[J]. Am J Sports Med, 2018, 46(8): 1877-1884.
- [24] Hofbauer M, Soldati F, Szomolanyi P, et al. Hamstring tendon autografts do not show complete graft maturity 6 months postoperatively after anterior cruciate ligament reconstruction[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2019, 27(1): 130-136.
- [25] Cavaignac E, Marot V, Faruch M, et al. Hamstring graft incorporation according to the length of the graft inside tunnels[J]. Am J Sports Med, 2018, 46(2): 348-356.
- [26] Li HY, Li H, Wu ZY, et al. MRI-based tendon bone healing is related to the clinical functional scores at the first year after anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring tendon autograft[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2018, 26(2): 615-621.
- [27] Zhang S, Liu S, Yang L, et al. Morphological changes of the femoral tunnel and their correlation with hamstring tendon autograft maturation up to 2 years after anterior cruciate ligament reconstruction using femoral cortical suspension[J]. Am J Sports Med, 2020, 48(3): 554-564.
- [28] Ahn JH, Jeong HJ, Lee YS, et al. Graft bending angle is correlated with femoral intraosseous graft signal intensity in anterior cruciate ligament reconstruction using the outside-in technique[J]. Knee, 2016, 23(4): 666-673.
- [29] Araki D, Kuroda R, Matsumoto T, et al. Three-dimensional analysis of bone tunnel changes after anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction using multidetector-row computed tomography[J]. Am J Sports Med, 2014, 42(9): 2234-2241.
- [30] Li H, Tao H, Cho S, et al. Difference in graft maturity of the reconstructed anterior cruciate ligament 2 years postoperatively: a comparison between autografts and allografts in young men using clinical and 3.0-T magnetic resonance imaging evaluation[J]. Am J Sports Med, 2012, 40(7): 1519-1526.
- [31] Lee DW, Kim JG, Lee JH, et al. Comparison of modified transtibial and outside-in techniques in anatomic single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction[J]. Arthroscopy, 2018, 34(10): 2857-2870.
- [32] Oshima T, Putnis S, Grasso S, et al. Graft size and orientation within the femoral notch affect graft healing at 1 year after anterior cruciate ligament reconstruction [J]. Am J Sports Med, 2020, 48(1): 99-108.
- [33] Li Q, Zhang Y, Zhan L, et al. Correlation analysis of magnetic resonance imaging-based graft maturity and outcomes after anterior cruciate ligament reconstruction using

- International Knee Documentation Committee scores[J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2019, 98(5): 387-391.
- [34] Biercevicz AM, Akelman MR, Fadale PD, et al. MRI volume and signal intensity of ACL graft predict clinical, functional, and patient-oriented outcome measures after ACL reconstruction[J]. *Am J Sports Med*, 2015, 43(3): 693-699.
- [35] Biercevicz AM, Akelman MR, Rubin LE, et al. The uncertainty of predicting intact anterior cruciate ligament degeneration in terms of structural properties using T(2)(*) relaxometry in a human cadaveric model[J]. *J Biomech*, 2015, 48(6): 1188-1192.
- [36] Putnis S, Neri T, Grasso S, et al. ACL hamstring grafts fixed using adjustable cortical suspension in both the femur and tibia demonstrate healing and integration on MRI at one year[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2020, 28(3): 906-914.
- [37] Cunha JE, Barbosa GM, Castro PA, et al. Knee osteoarthritis induces atrophy and neuromuscular junction remodeling in the quadriceps and tibialis anterior muscles of rats[J]. *Sci Rep*, 2019, 9(1): 6366.
- [38] van Yperen DT, Reijman M, van Es EM, et al. Twenty-year follow-up study comparing operative versus nonoperative treatment of anterior cruciate ligament ruptures in high-level athletes[J]. *Am J Sports Med*, 2018, 46(5): 1129-1136.
- [39] Barbosa GM, Cunha JE, Russo TL, et al. Thirty days after anterior cruciate ligament transection is sufficient to induce signs of knee osteoarthritis in rats: pain, functional impairment, and synovial inflammation[J]. *Inflamm Res*, 2020, 69(3): 279-288.
- [40] van Meer BL, Oei EH, Meuffels DE, et al. Degenerative changes in the knee 2 years after anterior cruciate ligament rupture and related risk factors: a prospective observational follow-up study[J]. *Am J Sports Med*, 2016, 44(6): 1524-1533.
- [41] Patterson BE, Culvenor AG, Barton CJ, et al. Worsening knee osteoarthritis features on magnetic resonance imaging 1 to 5 years after anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Am J Sports Med*, 2018, 46(12): 2873-2883.
- [42] Sharma L, Nevitt M, Hochberg M, et al. Clinical significance of worsening versus stable preradiographic MRI lesions in a cohort study of persons at higher risk for knee osteoarthritis[J]. *Ann Rheum Dis*, 2016, 75(9): 1630-1636.
- [43] MARS Group, Wright RW, Huston LJ, et al. Descriptive epidemiology of the Multicenter ACL Revision Study (MARS) cohort[J]. *Am J Sports Med*, 2010, 38(10): 1979-1986.
- [44] Pedneault C, Laverdiere C, Hart A, et al. Evaluating the accuracy of tibial tunnel placement after anatomic single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Am J Sports Med*, 2019, 47(13): 3187-3194.
- [45] Grasso S, Linklater J, Li Q, et al. Validation of an MRI protocol for routine quantitative assessment of tunnel position in anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Am J Sports Med*, 2018, 46(7): 1624-1631.

(收稿:2020-05-30)

(本文编辑:卢千语)