

前交叉韧带损伤影像学研究进展

刘淑仪, 潘建科, 刘军, 刘岷

【摘要】 常规MRI对于诊断前交叉韧带(ACL)损伤具有一定的局限性。本文主要介绍定量分析技术在ACL损伤诊断中的应用进展,这些技术包括扩散加权成像(DWI)、扩散张量成像(DTI)及双能量CT(DECT),并探讨常规MRI和三维MRI在诊断ACL损伤中的价值。

【关键词】 前交叉韧带; 三维重建; 扩散张量成像; 扩散加权成像; 磁共振成像; 体层摄影术, X线计算机

【中图分类号】 R686.5; R445.2; R814.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2016)09-0893-03

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2016.09.023

前交叉韧带(anterior cruciate ligament, ACL)损伤是常见的膝关节损伤之一,会引起远期并发症如软骨退变、骨性关节炎等。随着治疗方法的改进及精准医学的发展需求,临床迫切需要能准确判断ACL损伤程度的检查技术。目前ACL损伤主要依靠MRI诊断,然而根据ACL的MRI信号特点进行诊断具有一定局限性。随着影像技术的发展,三维采集成像、扩散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)、扩散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)及双能量CT(dua-energy CT, DECT)逐渐在ACL损伤中得以应用,本文就近年来ACL损伤的影像研究进展进行综述。

常规MRI及三维MRI在前交叉韧带损伤诊断中的应用

前交叉韧带起自胫骨髁间棘的前外侧面,呈散开状止于股骨外侧髁的后内侧面,其走行平行于股骨髁间窝皮质线(blumasaat线),分为较细长的前内侧束(anteromedial bundles, AMB)和较粗、较短的会后侧束(posterolateral bundles, PLB)两部分。常规MRI在诊断ACL损伤中具有重要作用,但对完全撕裂和部分撕裂的鉴别诊断有一定局限性^[1-2],有学者认为MRI诊断ACL部分撕裂的敏感度、特异度、准确度均比完全撕裂的ACL低^[3],ACL损伤的MRI表现分为直接征象和间接征象,诊断ACL损伤主要依靠直接征象,但对部分撕裂的诊断仍存在困难。发生急性完全撕裂容易误诊为部分撕裂,其原因是撕裂后韧带滑膜完整误认为连续性没有中断,而较重的部分撕裂容易误诊为完全撕裂。间接征象可出现在ACL完全撕裂和部分撕裂中,间接征象仅强烈提示ACL损伤,对ACL完全撕裂和部分撕裂的鉴别诊断意义不大。另外,由于韧带退变出现嗜酸红黏液样变性或急性扭伤水肿,导致韧带内出现异常信号增高出现假阳性^[3-4];或者常规矢状面扫描易造成ACL显示不连续,造成损伤的假象,无法与慢性撕裂断端有溶解吸收者区别,易造成假阴性。故常规MRI对ACL完全撕裂、部分撕裂和慢性撕裂的鉴别具有局限性,常给临床的诊治带来不便。

随着MRI技术的发展,越来越多新序列用于ACL损伤的检查。三维MRI扫描可以行任意角度重建直至完全显示

ACL,可消除MRI扫描中部分容积效应的影响,利用斜矢状面与斜冠状面可更好显示完整的ACL,甚至可分辨出AMB与PLB的解剖结构,提高ACL损伤的诊断符合率^[5-6]。如各向同性三维快速自旋回波脉冲(three-dimensional isotropic resolution fast spin-echo, 3D-FSE-Cube)序列是由并行成像及扩展回波链长采集,具有较高的空间分辨率,可任意角度重建图像。闫凤全等^[7]运用3D-Cube T₂WI序列进行研究,结果表明该序列可显示完整ACL,对ACL损伤的诊断特异度、敏感度及准确度均较常规MRI序列高,特别对于部分撕裂的诊断价值明显高于常规序列。Kijowski等^[8]报道3D-Cube序列对前交叉韧带撕裂、内侧半月板撕裂、外侧半月板撕裂的检出敏感度与特异度与常规MRI无明显差异,认为三维MRI序列适合外伤、不能耐受长时间扫描的患者。三维真稳态快速成像(three-dimensional fast imaging employing steady-state acquisition, 3D-FIESTA)序列是采用极短的TR、TE值和较大的偏转角脉冲激发,液体和软组织的对比较好,对韧带挫伤水肿更加敏感^[9];胥毅等^[10]将该序列用于ACL诊断,发现更有利于ACL损伤的检出,这是由于采用极短的TR和TE值,血液流动的搏动伪影小,液体成分由于T₂值较长,因此在图像上呈现明显高信号,液体与软组织间形成很好的对比。目前已可见三维平衡式快速场回波(three-dimensional balanced fast field echo, 3D-BFFE)序列和三维快速自旋回波(three-dimensional turbo spin echo, 3D-FT TSE)序列应用于ACL损伤的报道,邓军等^[11]使用原始扫描层厚行超薄层重建,多平面观察可分辨出ACL的AMB和PLB等细微解剖结构,其中2例慢性ACL部分撕裂因形态、信号变化不明显而被常规MRI漏诊,而以上序列对此显示清晰。

DWI及DTI在前交叉韧带损伤诊断中的应用

1. 原理

DWI是一种测量自旋质子的微观随机位移运动的成像技术,主要测量水分子的扩散运动特性。DTI是在DWI的基础上发展起来的一项MR新技术,利用组织中水分子扩散运动存在各向异性的原理,探测组织微观结构变化,并且能够定量地评价纤维的走行和连接,可更加准确地评价多种组织纤维的损伤,其测量指标包括各向异性(fractional anisotropy, FA)值、表观扩散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)值等。FA值是水分子各向异性成分占整个扩散张量的比例,变化范围为0

作者单位:510000 广州,广州中医药大学第二附属医院影像科(刘淑仪、刘岷),骨科(潘建科、刘军)

作者简介:刘淑仪(1990-),女,广东东莞人,硕士研究生,主要从事影像诊断工作。

通讯作者:刘岷, E-mail: liuxian74@hotmail.com

基金项目:国家自然科学基金资助项目(81473698)

~1,反映分子的空间位移程度,且与组织的方向有关,数值越大,表示各向异性程度越高;ADC值用来衡量水分子在人体组织环境中的扩散运动,反映扩散敏感梯度方向上的水分子位移强度,ADC值越高,代表组织内水分子扩散运动越强^[12-14]。Sinha等^[15-16]研究表明组织形态学变化,如长度、角度、位置等,能够影响组织内的质子扩散因素,从而影响组织的FA值,因此,DTI应用于ACL损伤诊断具有一定的理论基础。

2. DWI及DTI在前交叉韧带中的临床应用

Delin等^[17]于2012年首次成功报道ACL的DWI-ADC图,认为DWI结合常规MRI能够准确诊断ACL完全撕裂与部分撕裂,但该文没有定量测量、评价走形和连接。近年来,陆续有关于DTI定量测量正常ACL、ACL重建术后移植韧带的报道,如陈立勋等^[18]对正常ACL的DTI与MRI进行比较研究,结果表明ACL上段FA值能够反映矢状面ACL-胫骨角,ACL的上段、下段FA值能够预测Blumensaat线-ACL角,ACL下段FA值与ACL胫骨止点位置具有相关性,而矢状面ACL-胫骨角、Blumensaat线-ACL角诊断ACL撕裂的敏感度较高^[19-20],矢状面ACL-胫骨角、Blumensaat线-ACL角及ACL胫骨止点的MRI测量结果有助于指导ACL个性化重建、ACL的胫骨止点定位及ACL重建术后追踪,故通过定量测量ACL各段的FA值,可具体评价ACL撕裂程度及进行ACL重建术后追踪。Yang等^[21]对40例正常志愿者及15例ACL重建术后患者进行DTI及扩散张量纤维束成像(Diffusion tensor tractography, DTT),将ACL人为地从上至下平均设置3个感兴趣区,结果显示正常ACL及其分股的AMB、PLB均能被清楚追踪,移植韧带及其分股的纤维束也均能清楚显示;移植韧带的ADC值低于正常ACL,FA值高于正常ACL,表明移植韧带纤维走形更具有有一致性,故运用DTI及DTT技术可清晰显示前交叉韧带及移植韧带的纤维束,并可提供量化数据。另外,DWI序列的ADC maps不仅能够提高常规MRI对ACL部分撕裂、完全撕裂诊断的特异度,还有助于定量评价ACL重建术后的移植物及骨隧道的复杂愈合过程^[17-18]。随着相关研究的深入,陆续有报道关于DTI在软骨、肌肉及周围神经中的定量研究^[22-24],而目前对于不同组织最佳b值的选择尚有争议。

DECT在前交叉韧带损伤诊断中的应用

1. 原理

机体的韧带、肌腱以及软骨主要由原子序数小的成分组成,而它们的X线衰减系数相近,造成分辨力有限,在传统CT中难以进行鉴别。但由于这些组织成分中胶原分子侧链中的密实羟赖氨酸和羟脯氨酸对不同能量的X线有较明显的衰减差异^[25],因此可以利用不同能量的X线下软组织相对应的CT值差异得出化学成分的组织特性图,这就是双能量CT进行韧带、肌腱及软骨成像的基本原理,这对研究正常韧带、肌腱的解剖及评价损伤韧带、肌腱的连续性以及软骨的完整性提供了一定帮助。DECT凭借其各向同性的高空间分辨力,结合CT三维重建方式,如容积再现(volume rendering, VR)、多平面重组(multi planar reformation, MPR)、双能肌腱韧带模式等,能够从不同方位和角度立体、清晰显示ACL形态、走形及边缘附着点等情况,为ACL损伤的诊断提供一种新的、有价值的方法。

2. DECT在前交叉韧带中的临床应用

Sun等^[26]利用DECT成像对膝关节韧带进行研究,并采用VR重建图像立体显示韧带,表明ACL可清晰显示,DECT对膝关节髌韧带、后交叉韧带、腓侧副韧带和胫侧副韧带均可立体显示其附着点、走形及边缘情况,对较薄的胫侧副韧带显示欠佳,同时,DECT结合MPR图像,可多方位、多角度进行细节的观察。柏瑞等^[27]将受损的ACL对照关节镜进行分析,发现与对侧正常ACL的染色程度不同,受损ACL的染色程度低于对侧正常的前交叉韧带,甚至不染色,即“双能染色减少征”,诊断符合率达95.5%,认为该征象可作为诊断ACL急性损伤的特异性征象,推测可能与受损韧带胶原分子侧链中的密实羟赖氨酸和羟脯氨酸含量减少有关。翟长彬^[28]利用MPR和VR图像对交叉韧带的CT值和起始端、中段的厚度进行测量,发现损伤韧带CT值低于正常韧带,其原因可能为韧带周围水肿或渗出所致,关节镜诊断为完全断裂的韧带CT值变化最为明显。此外还发现损伤韧带的厚度比正常韧带明显增厚,以韧带起始端损伤厚度变化最为显著,因此通过测量CT值和韧带厚度能够比较直观地预测交叉韧带的损伤程度。Glazebrook等^[29]对慢性及亚急性损伤的ACL进行斜矢状面扫描,发现DECT能更好地分辨正常ACL和损伤的ACL、完全撕裂的ACL和部分撕裂的ACL。有学者利用DECT对急性ACL损伤进行诊断,发现其具有较高的敏感度和特异度,对于完全撕裂的ACL诊断符合率高达93%^[30]。DECT对ACL重建术后移植韧带也能清晰显示,这是因为移植植物是以自体半腱肌或异体韧带为材料,与膝关节其它韧带密度有差异,易于区分;同时,DECT对韧带重建骨道的走形、形态也能较好显示^[31-32]。

展望

随着影像技术的发展,越来越多的检查方法用于ACL损伤的诊断。三维MR成像序列由于具有较高的空间分辨力,能分辨出细微的解剖结构,可作为重要补充序列用于ACL损伤的早期诊断。DWI、DTI及DECT可提供定量数据,对ACL的损伤进行量化分析,能更直观地显示ACL组织结构乃至分子水平的变化,帮助临床更好地作出治疗决策。

参考文献:

- [1] DeFranco MJ, Bach BR. A comprehensive review of partial anterior cruciate ligament tears[J]. J Bone J Surg Am, 2009, 91(1): 198-208.
- [2] Sampson MJ, Jackson MP, Moran CJ, et al. Three Tesla MRI for the diagnosis of meniscal and anterior cruciate ligament pathology: a comparison to arthroscopic findings[J]. Clin Radiol, 2008, 63(10): 1106-1111.
- [3] Van DP, Vanhoenacker FM, Gielen JL, et al. Three tesla magnetic resonance imaging of the anterior cruciate ligament of the knee: can we differentiate complete from partial tears? [J]. Skeletal Radiol, 2011, 40(6): 701-707.
- [4] 郭吉敏, 刘春霖, 曹满瑞, 等. 前交叉韧带损伤的MRI相关征象分析[J]. 放射学实践, 2010, 26(11): 1268-1271.
- [5] 张继良, 史大鹏, 藏卫东, 等. 膝关节前交叉韧带的MRI三维成像研究[J]. 磁共振成像, 2011, 2(1): 38-41.
- [6] Rajeswaran G, Lee JC, Healy JC. MRI of the popliteofibular ligament; isotropic 3D WE-DESS versus coronal oblique fat-sup-

- pressed T₂W MRI[J]. *Skeletal Radiol*, 2007, 36(12):1141-1146.
- [7] 闫凤全,李文华,董尔生,等. MR 3D CUBE 技术对膝关节前交叉韧带损伤的诊断价值[J]. *中国 CT 和 MRI 杂志*, 2012, 10(5):95-97.
- [8] Kijowski R, Davis KW, Woods MA. Knee joint: comprehensive assessment with 3D isotropic resolution fast spin-echo MR imaging—diagnostic performance compared with that of conventional MR imaging at 3.0T[J]. *Radiology*, 2009, 252(2):486-495.
- [9] Hatipolu HG, Durakoglugil T, Ciliz D, et al. Comparison of FSE T₂W and 3D FIESTA sequences in the evaluation of posterior fossa cranial nerves with MR cisternography[J]. *Diagn Interv Radiol*, 2007, 13(2):56-60.
- [10] 胥毅,郑洁,安超. 三维稳态快速成像序列在膝关节前交叉韧带 MRI 检查中的应用研究[J]. *临床医药实践*, 2014, 23(6):419-421.
- [11] 邓军,梁碧玲,陈健宇,等. 前交叉韧带损伤的 3D MRI 诊断价值[J]. *中国医学影像技术*, 2008, 24(6):814-817.
- [12] Florisson JM, Dudink J, Koning IV, et al. Assessment of white matter microstructural integrity in children with syndromic craniocynostosis: a diffusion-tensor imaging study [J]. *Radiology*, 2011, 261(2):534-541.
- [13] Zijta FM, Lakeman MM, Froeling M, et al. Evaluation of the female pelvic floor in pelvic organ prolapse using 3.0Tesla diffusion tensor imaging and fibre tractography[J]. *Eur Radiol*, 2012, 22(12):2806-2813.
- [14] Rousset P, Delmas V, Buy JN, et al. In vivo visualization of the levator ani muscle subdivisions using MR fiber tractography with diffusion tensor imaging[J]. *J Anat*, 2012, 221(3):221-228.
- [15] Sinha U, Sinha S, Hodgson JA, et al. Human soleus muscle architecture at different ankle joint angles from magnetic resonance diffusion tensor imaging[J]. *J Appl Physiol*, 2011, 110(3):807-819.
- [16] Hatakenaka M, Yabuuchi H, Sunami S, et al. Joint position affects muscle proton diffusion: evaluation with a 3T MR system [J]. *Am J Roentgenol*, 2010, 194(2):W208-211.
- [17] Delin C, Silvera S, Coste J, et al. Reliability and diagnostic accuracy of qualitative evaluation of diffusion-weighted MRI combined with conventional MRI in differentiating between complete and partial anterior cruciate ligament tears[J]. *Eur Radiol*, 2013, 23(3):845-854.
- [18] 陈立勋,赵衡,李劲松,等. 健康人前交叉韧带的扩散张量成像及其与 MRI 的比较[J]. *中南大学学报(医学版)*, 2013, 38(6):610-616.
- [19] Gentili A, Seeger LL, Yao L, et al. Anterior cruciate ligament tear: indirect signs at MR imaging[J]. *Radiology*, 1994, 193(3):835-840.
- [20] Lee K, Siegel MJ, Lau DM, et al. Anterior cruciate ligament tears: MR imaging-based diagnosis in a pediatric population[J]. *Radiology*, 1999, 213(3):697-704.
- [21] Yang X, Li M, Chen D, et al. Diffusion tensor imaging for anatomical and quantitative evaluation of the anterior cruciate ligament and ACL grafts: a preliminary study[J]. *J Comput Assist Tomogr*, 2014, 38(4):489-494.
- [22] Hooijmans MT, Damon BM, Froeling M, et al. Evaluation of skeletal muscle DTI in patients with duchenne muscular dystrophy [J]. *NMR Biomed*, 2015, 28(11):1589-1597.
- [23] Raya JG, Gerd M, Silvia AN, et al. Diffusion-tensor imaging of human articular cartilage specimens with early signs of cartilage damage[J]. *Radiology*, 2013, 266(3):831-841.
- [24] Jaana H, Taru S, Sakari A, et al. Diffusion tensor imaging and tractography of distal peripheral nerves at 3T[J]. *Clin Neurophysiol*, 2005, 116(10):2315-2323.
- [25] Johnson TR, Krauss B, Sedlmair M, et al. Material differentiation by dual energy CT: initial experience [J]. *Eur Radiol*, 2007, 17(6):1510-1517.
- [26] Sun C, Miao F, Wang XM, et al. An initial qualitative study of dual-energy CT in the knee ligaments[J]. *Surg Radiol Anat*, 2008, 30(5):443-447.
- [27] 柏瑞,欧陕兴,刘海凌,等. 双能染色减少征在膝关节交叉韧带损伤中诊断价值初步探讨[J]. *临床放射学杂志*, 2011, 30(3):381-383.
- [28] 翟长彬. 双源 CT 在膝关节交叉韧带损伤成像中的应用评价[D]. 西宁:青海大学, 2013.
- [29] Glazebrook KN, Brewerton LJ, Shuai L, et al. Case-control study to estimate the performance of dual-energy computed tomography for anterior cruciate ligament tears in patients with history of knee trauma[J]. *Skeletal Radiol*, 2014, 43(3):297-305.
- [30] Peltola EK, Koskinen SK. Dual-energy computed tomography of cruciate ligament injuries in acute knee trauma[J]. *Skeletal Radiol*, 2015, 44(9):1295-1301.
- [31] Yasumoto M, Deie M, Sunagawa T, et al. Predictive value of preoperative 3-dimensional computer tomography measurement of semitendinosus tendon harvested for anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Arthroscopy*, 2006, 22(3):259-264.
- [32] Rispoli DM, Sanders TG, Miller MD, et al. Magnetic resonance imaging at different time periods following hamstring harvest for anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Arthroscopy*, 2001, 17(1):2-8.

(收稿日期:2016-03-04 修回日期:2016-03-14)