

• 膝关节影像学专题 •

膝关节软骨损伤及修复术后的 MRI 研究进展

张敏, 郭智萍 综述 李石玲 审核

【中图分类号】R445.2; R684 【文献标识码】A 【文章编号】1000-0313(2004)04-0253-03

膝关节软骨损伤影像学检查的重要性及研究现状

膝关节是人体最大最复杂的关节,其表面覆盖着一层关节软骨。关节软骨是无血管、淋巴管和神经的组织,因此损伤后自身的修复能力有限;并且修复组织的组成、结构和力学特性均明显区别于正常关节软骨,因此关节软骨损伤后常导致关节功能障碍,严重影响关节的正常功能。应用影像学方法正确评价关节软骨损伤的程度是临床治疗的基础。

用外科手术促进关节软骨损伤的修复或软骨形成已广泛应用于临床,主要有钻孔术、自体软骨膜移植^[1]、自体软骨移植^[2,3]、自体骨软骨移植^[4]、同种异体骨软骨移植^[5]等,术后效果的评估也需要通过影像学检查方法来实现。

关节软骨的影像学检查方法包括传统 X 线、CT、MRI 及超声。传统 X 线不能直接显示关节软骨,只能通过骨性结构的异常间接反映关节软骨的损伤。Van de Berg 等^[6]在尸体膝关节上进行的实验表明 CT 关节造影对膝关节软骨缺损的敏感性和特异性与 MRI 相似。但 CT 关节造影与 MR 关节造影都属于有创检查,不宜常规应用。超声能够显示软骨和软骨下骨质的形态和破坏情况,缺点是图像分辨力低,而且检查者的操作技术和个人经验对检查结果影响较大,3D 高分辨力超声的应用使这种情况大为改观^[7]。关节镜能够直观地显示关节表面的软骨形态及周围邻近结构的异常,可同时进行手术治疗,但作为创伤性检查存在着多种并发症^[8]。

正常膝关节软骨的 MR 影像

关节软骨是一种特殊的结缔组织,其磁共振信号特征反映了组织结构和生物化学特征,并且受各种扫描序列和参数的影响。许多学者对正常关节软骨的 MR 表现进行了组织学对照研究,并对其多层的 MR 表现进行了分析。

Lehner 等^[9]用重 T₁WI、T₂WI 显示牛髌骨软骨呈双层形态,表层呈长 T₁、长 T₂ 信号,底层为短 T₁、短 T₂ 信号。Modl 等^[10]采用高分辨 SE 序列 T₁WI 和 T₂WI 显示正常人膝关节和踝关节软骨,获得了三层结构的 MR 图像。表层和深层在 T₁WI 和 T₂WI 上均显示为低信号,中层显示为中等或高信号,并推测关节软骨信号分层与软骨内胶原纤维的排列方向有关。Rubenstein 等^[11]用标准 SE 序列研究牛髌骨软骨分层现象,并用各层胶原纤维的排列方向以及主磁场的关系(即魔角效应)来解释分层现象和各层信号。目前对于关节软骨 MR 分层现象的原因存在多种解释,观察到的现象也不统一,说明这种现

象是受多种复杂因素影响的。但关节软骨的 MR 表现确实反映了其组织结构特征,两者之间存在关联。

膝关节软骨损伤的 MR 成像

外伤、炎症及其它理化因素均可造成关节软骨中胶原纤维成分丢失,软骨内的含水量增加,随着病变进展会出现局部软骨缺失,甚至软骨下骨质裸露。因此膝关节软骨损伤后 MR 改变包括关节软骨信号异常、失去光滑的表面轮廓以及关节软骨厚度和体积改变。不同原因关节软骨损伤的 MRI 表现特点不同。Trattinig 等^[12]认为急性软骨创伤所造成的关节软骨缺损边缘锐利,软骨缺损区的边缘与软骨下骨质夹角为锐角,而且常能发现游离于关节内的软骨碎片;骨关节炎等软骨的退变性疾病表现为多发性关节软骨缺损,边缘圆钝,与软骨下骨质夹角为钝角。间接征象为软骨下骨硬化、软骨下囊性变、骨赘和关节内游离体等。在膝关节负重区病变较严重时,可造成膝关节间隙的不均匀狭窄。炎性病变时由于酶的分解作用造成的关节软骨变薄的表现较广泛而均匀。

迄今为止,尚没有一种为大家所公认的关节软骨病变的 MRI 分级系统,现在大多数的分级方法都是以 Outerbridge 关节镜分级系统为基础变化而来,对关节软骨病变的深度进行评估。Yulish 等^[13]依据关节软骨的病理改变对 MR 表现进行了分级。I 级:软骨内出现异常信号,但软骨表面形态正常;II 级:软骨表面轻度不规则和/或局部软骨缺损小于关节软骨厚度的 50%;III 级:软骨表面明显不规则,局部软骨厚度减小大于 50% 但小于 100%;IV 级:软骨完全缺失,软骨下骨暴露。

常用 MR 扫描方法

1. 自旋回波(spin echo, SE)序列

T₁WI 具有较高的空间分辨力和信噪比,能够显示关节软骨与周围组织的结构关系,特别是软骨与软骨下骨的分界显示清晰,但在关节软骨和关节积液之间缺乏对比,因此该序列不适于关节腔积液的检查。T₂WI 和 PDWI 序列图像的优点在于关节软骨和关节积液之间对比良好,关节软骨为中低信号,关节积液为高信号。并且可以通过一次扫描获得 T₂WI 和 PDWI 两组序列图像。但 T₂WI 难以显示关节软骨与软骨下骨的分界,不能准确地测量关节软骨的厚度。FSE 序列扫描层厚最小约 2~3 mm,因此对较轻微的关节软骨损伤显示仍有不足。Kawahara 等^[14]通过 MR 与关节镜的比较研究认为 FSE 序列对轻度关节软骨异常的敏感度较低,为 31.8%;而在中度和重度关节软骨异常的检查中诊断价值较高。Sonin 等^[15]采用快速自旋回波质子密度加权成像(fast spin-echo proton density-weighted imaging)诊断关节软骨损伤的符合率为 79.6%~86.1%。

作者单位:050051 石家庄,河北医科大学附属第三医院 CT 室
作者简介:张敏(1972-),男,河北藁城人,硕士研究生,主治医师,主要从事 CT 及 MR 诊断工作。

2. 梯度回波(Gradient-echo, GRE) 序列

GRE 序列图像对比度良好, 能够进行容积数据采集, 从而获得高空间分辨力的连续薄层图像, 并可以通过后处理的方式进行多平面重组及关节软骨的三维重建。在高场强条件下, 三维梯度回波序列对 II、III 级关节软骨损伤的显示具有明显的优越性^[16]。通过三维技术可以作连续薄层扫描, 提高了空间分辨力, 减少了部分容积效应和信息的丢失, 增加了对微小病灶的检出能力。Drape 等^[17]采用 0.2T 磁共振机进行三维梯度回波成像(3D-GE T₁WI) 观察膝关节骨性关节炎软骨变化, 结果显示此序列成像方法对显示软骨退变敏感度和特异性达 74% 和 92%。Lavid 等^[18]的实验研究证明膝关节磁共振薄层扫描图像的三维立体计算机重建能够表现关节软骨表面的不规则形态, 图像重建的效果依赖于扫描层面的厚度。为了清晰的显示病变的边缘, 三维立体重建图像的照明和阴影也很重要。当病变的长径与扫描平面存在夹角时, 三维计算机重建图像定量病变大小较二维磁共振图像占优势。但是即使采用 0.7 mm 的厚度进行扫描, 三维立体重建 MR 图像对于较小的关节软骨侵蚀的分辨能力也是有限的。

3. 关节软骨的 MR 辅助成像技术

脂肪抑制(fat suppression, FS): FS 可用于各种 MR 扫描序列中, 增加软骨和骨髓及液体的对比度, 减小化学位移伪影。

平面回波成像(echo planar imaging, EPI): 为了缩短检查时间, Tractnig 等^[19]采用了多次激发 3D FS 平面回波成像技术, 与 3D FS GE 序列相比可缩短 4 倍的扫描时间, 软骨和软骨下骨之间较高的对比噪声比与 3D FS GE 序列相似, 但软骨和关节积液的对比噪声比明显降低(由于液体呈较高信号)。3D FS EPI 和 3D FS GE 序列在关节软骨异常的诊断敏感性方面, 经统计学检验差异无显著性意义。

磁化传递对比(Magnetization transfer contrast, MTC): 指应用一个偏移共振的射频脉冲饱和复杂大分子池中的质子, 通过在自由水中减少稳态磁化, 造成磁化传递的信号降低。在 T₂*WI 或 T₂WI 中加用 MTC 能够明显降低关节软骨和滑膜的信号强度, 但对关节滑液的信号强度影响较小, 因此可以提高软骨与滑液的对比^[20]。

MR 关节造影成像: 在关节腔中引入对比剂, 使关节软骨与关节腔内对比剂形成明显对比。Kramer 等^[21]认为 MR 关节造影成像在早期关节软骨异常的发现和分级准确性方面明显优于 3D-T₂-FISP 序列。但由于属有创性检查, 限制了其在临床的广泛应用。

MR 对膝关节软骨修复的术后评估

MR 对不同手术方法术后评估的评价因素有所不同, 国际软骨修复学会(international cartilage repair society, ICRS) 对关节软骨修复的 MR 评估方法进行了标准化, 把各种评价因素进行了系统化^[22]。

MR 扫描能够对关节软骨缺损的修复组织进行多方面的测量, 包括修复组织体积与缺损区体积的百分比; 修复区关节软骨厚度的最大值和最小值, 及其与周围邻近正常关节软骨厚度

的百分比; 若修复组织增生肥厚, 则其最大厚度与正常关节软骨厚度百分比将 > 100%。另外, 应当尽可能的区分填充组织的骨性部分和软骨部分, 并分别进行评价。

软骨下骨不仅能够吸收外力对关节软骨的冲击, 对关节软骨的新陈代谢也起着非常重要的作用。通过软骨下骨中脉管的灌注, 提供了关节软骨 50% 以上的葡萄糖、氧和水的需要量^[23]。因此, 软骨下骨在关节软骨损伤和修复中的作用不容忽视, 关节软骨修复组织与软骨下骨的整合失败将会导致关节软骨与软骨下骨全部或部分的分离, 分离的关节软骨可能会游离或仍在原位。当关节软骨游离时, 在 MRI 上表现为修复区的关节软骨局限性缺损; 另外 MRI 也常能够显示游离于关节腔内的关节软骨。若分离的关节软骨仍位于原位, 其 MR 表现类似于关节软骨的瓣状剥脱, 即在分离的关节软骨与软骨下骨之间出现线状的水样信号影, 并与关节间隙相沟通, MR 关节造影显示更明显。

术后早期阶段关节软骨修复区下方常见水肿样信号^[17]。随着修复区的愈合, 水肿样信号逐渐缩小。对于骨软骨移植的病例, 这种水肿样信号会随着移植骨与受体部位的结合而逐渐消散。但采用其它软骨修复技术的病例, 修复区持续而明显的骨髓异常信号可能代表修复失败。因此 MR 检查对骨髓内水肿样信号的强度和范围进行评估对关节软骨修复的预后具有重要意义。Brittberg 等^[22]把水肿样信号按照分布的范围分为 5 级: 表浅(位于软骨下骨板下方)、浅(位于关节软骨表面到骺线之间距离 1/3 的范围内)、深(超出关节软骨表面到骺线之间距离的 1/3, 但不足 2/3)、广泛(信号范围至少达到关节软骨表面到骺线之间距离的 2/3, 但未超出骺线)、极广泛(范围超过骺线)。按照在脂肪抑制序列(PDWI-FS、T₂WI-FS、STIR) 或 CE-T₁WI 序列中水肿样信号的强度分为 3 度: 轻度(信号强度低于周围肌肉组织)、中度(与周围肌肉组织信号相等)、重度(信号强度高于周围肌肉组织)。

Sanders 等^[24]对 29 例术后患者 MRI 观察表明, 在膝关节自体骨软骨移植术后的 MRI 表现差异较大, 移植骨方向和表面连续性的轻微变化, 在短期内不会导致不良的临床后果。

未来及展望

MRI 作为一种非创伤性的检查方法能够准确评价关节软骨形态和轮廓的改变, 另外对于周围的韧带、肌腱、软骨下骨及骨髓的异常也能同时显示。关节软骨的 MR 检查除了将更注重对早期病变的检测和病变的 MR 定量检查以外, 随着临床上三维重建技术的不断发展和应用, 医师将有可能采用 MRI 更直观的评估关节软骨形态学的改变以及将关节软骨损伤疗效的评估定量化。

参考文献:

- [1] Amiel D, Coutts RD, Abel M, et al. Rib perichondrial grafts for the repair of full-thickness articular cartilage defects. A morphological and biochemical study in rabbits[J]. J Bone Joint Surg Am, 1985, 67(6): 911-920.
- [2] Brittberg M, Lindahl A, Nilsson A, et al. Treatment of deep cartilage

- defects in the knee with autologous chondrocyte transplantation[J]. N Engl J Med, 1994, 331(14): 889-895.
- [3] Peterson L, Brittberg M, Kiviranta I, et al. Autologous chondrocyte transplantation. Biomechanics and long-term durability [J]. Am J Sports Med, 2002, 30(1): 2-12.
- [4] Jakob RP, Franz T, Gautier E, et al. Autologous osteochondral grafting in the knee: indication, results, and reflections[J]. Clin Orthop, 2002, 401(1): 170-184.
- [5] Meyers MH, Akeson W, Convery FR. Resurfacing of the knee with fresh osteochondral allograft[J]. J Bone Joint Surg Am, 1989, 71(5): 704-713.
- [6] Vande Berg B, Lecouvet FE, Poilvache P, et al. Assessment of the knee cartilage in cadavers with dual-detector spiral CT arthrography and MR imaging[J]. Radiology, 2002, 222(2): 430-436.
- [7] Lefebvre F, Grallat N, Cherin E, et al. Automatic three-dimensional reconstruction and characterization of articular cartilage from high-resolution ultrasound acquisitions[J]. Ultrasound Med Biol, 1998, 24(9): 1369-1381.
- [8] Allum R. Complications of arthroscopy of the knee[J]. J Bone Joint Surg Br, 2002, 84(7): 937-945.
- [9] Lehner KB, Rech HP, Gmeinwieser JK, et al. Structure, function and degeneration of bovine hyaline cartilage: assessment with MR imaging in vitro[J]. Radiology, 1989, 170(2): 495-499.
- [10] Modl JM, Sether LA, Haughton VM, et al. Articular cartilage correlation of histologic zones with signal intensity at MR imaging[J]. Radiology, 1991, 181(3): 853-855.
- [11] Rubenstein JD, Kim JK, Morav-Protner I, et al. Effects of collagen orientation on MR imaging characteristics of bovine articular cartilage[J]. Radiology, 1993, 188(1): 219-228.
- [12] Trattnig S, Mlynarik V, Huber M, et al. Magnetic resonance imaging of articular cartilage and evaluation of cartilage disease[J]. Invest Radiol, 2000, 35(10): 595-601.
- [13] Yulish BS, Montanez J, Goodfellow DB, et al. Chondromalacia patellae: assessment with MR imaging. Radiology, 1987, 164(3): 763-766.
- [14] Kawahara Y, Uetani M, Nakahara N, et al. Fast spin-echo MR of the articular cartilage in the osteoarthrotic knee: correlation of MR and arthroscopic findings[J]. Acta Radiol, 1998, 39(2): 120-125.
- [15] Sonin AH, Pensy RA, Mulligan ME, et al. Grading articular cartilage of the knee using fast spin-echo proton density-weighted MR imaging without fat suppression[J]. AJR, 2002, 179(5): 1159-1166.
- [16] Woertler K, Strothmann M, Tombach B, et al. Detection of articular cartilage lesions: experimental evaluation of low- and high-field-strength MR imaging at 0.18 and 1.0 T[J]. J Magn Reson Imaging, 2000, 11(6): 678-685.
- [17] Drape JL, Pessis E, Auleley GR, et al. Quantitative MR imaging evaluation of chondropathy in osteoarthritic knees[J]. Radiology, 1998, 208(1): 49-55.
- [18] Lavid NE, DePaolis DC, Pope TW, et al. Analysis of three-dimensional computerized representations of articular cartilage lesions[J]. Invest Radiol, 1996, 31(9): 577-585.
- [19] Trattnig S, Huber M, Breienseher M J, et al. Imaging articular cartilage defects with 3D fat-suppressed echo planar imaging: comparison with conventional 3D fat-suppressed gradient echo sequence and correlation with histology[J]. J Comput Assist Tomogr, 1998, 22(1): 8-14.
- [20] Loeuille D, Olivier P, Mainard D, et al. Review: magnetic resonance imaging of normal and osteoarthritic cartilage[J]. Arthritis Rheum, 1998, 41(6): 963-975.
- [21] Kramer J, Recht MP, Imhof H, et al. Post contrast MR arthrography in assessment of cartilage lesions[J]. J Comput Assist Tomogr, 1994, 18(2): 218-224.
- [22] Brittberg M, Winalski CS. Evaluation of cartilage injuries and repair[J]. J Bone Joint Surg Am, 2003, 85-A(Suppl 2): 58-69.
- [23] Imhof H, Sulzbacher I, Grampp S, et al. Subchondral bone and cartilage disease: a rediscovered functional unit[J]. Invest Radiol, 2000, 35(10): 581-588.
- [24] Sanders TG, Mentzer KD, Miller MD, et al. Autogenous osteochondral "plug" transfer for the treatment of focal chondral defects: post-operative MR appearance with clinical correlation[J]. Skeletal Radiol, 2001, 30(10): 570-578.

(收稿日期: 2003-08-21 修回日期: 2003-09-24)

• 外刊摘要 •

间接磁共振关节造影成像对肩袖关节上关节唇病变的诊断价值

Herold T, Hente R, Zorger N, et al

目的: 前瞻性评估间接磁共振关节造影对肩袖关节上关节唇病变的诊断价值。方法: 对 35 例有急性或慢性肩袖关节疾病史的患者(男 9 例, 女 26 例)行磁共振平扫和间接磁共振关节造影成像。独立分析磁共振平扫和间接磁共振关节造影的图像并与关节镜的检查结果行相关性比较分析。关节镜、磁共振平扫和间接磁共振关节造影对肩袖关节上关节唇病变的诊断分型都参照 Synder 分类系统。结果: 35 例患者中有 22 例经关节镜诊断患有肩袖关节上关节唇病变(63%), 其中 9 例为 I 型(41%), 9 例 II 型(41%), 3 例(13.5%) III 型和 1 例(4.5%) IV

型。磁共振平扫发现肩袖关节上关节唇病变的敏感度、特异度和符合率分别为 73%、85% 和 77%; 间接磁共振关节造影的敏感度为 91%, 特异度 85%, 符合率为 89%。22 例患者中 9 例磁共振平扫的结果与关节镜相符(占 41%), 而间接磁共振关节造影则有 18 例相符合(占 82%)。结论: 间接磁共振关节造影是一种非损伤的方法, 对肩袖关节上关节唇病变诊断的敏感性很高, 可为手术提供有关韧带撕裂的范围及程度的重要信息。

华中科技大学同济医学院附属同济医院 张菁译 漆剑频校

摘自 Fortschr Röntgenstr, 2003, 175(11): 1508-1514.