

论 著

MRI评估滑膜炎及其膝关节症状的研究*

陈国勋 陈木键 何剑明
方雄明*
广州市第十二人民医院骨外科
(广东广州 510620)

【摘要】目的 探讨有症状的膝关节骨性关节炎患者滑膜炎MRI测量与膝关节症状之间的关系。方法 纳入接受维生素D治疗的症状性膝关节骨性关节炎患者。在增强扫描(CE)MRI上,采用已建立的半定量方法测量滑膜厚度,而滑膜组织体积(STV)以绝对STV(ASTV)和相对于股骨髁宽度(RSTV)来评估。同时还评估了膝关节下区的STV。使用多元线性回归模型分析滑膜测量和症状之间的关系。结果 膝关节症状和滑膜炎厚度评分之间没有线性关联。全关节ASTV(0.88, 95%CI: 0.17, 1.59)和髁下ASTV(5.96, 95%CI: 1.22, 10.7)与膝关节疼痛呈正相关。全关节rSTV与疼痛(7.96, 95%CI: 2.60, 13.33)和总分(5.63, 95%CI: 0.32, 10.94)有较强的相关性。膝关节下rSTV与疼痛(55.47, 95%CI: 19.99, 90.96)、功能(38.59, 95%CI: 2.1, 75.07)和总分(41.64, 95%CI: 6.56, 76.72)有更强的相关性。结论 CE-MRI上的全关节和特定部位的膝关节下STV测量分别与膝关节疼痛有关(具体如何相关)。在膝关节骨性关节炎试验中,相对于股骨髁大小的体积可能是有希望的结果指标。

【关键词】膝关节炎; 滑膜炎; MRI
【中图分类号】R684.3
【文献标识码】A
【基金项目】2023年度广东省医学科研基金
指令性课题项目(C2023062);
广州市卫生健康科技一般引导项目
(20231A010040)
DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.05.052

MRI Evaluation of Synovitis and Its Correlation with Symptoms of Knee Osteoarthritis*

CHEN Guo-xun, CHEN Mu-jian, HE Jian-ming, FANG Xiong-ming*.
Department of Orthopedics, The Twelfth People's Hospital of Guangzhou, Guangzhou 510620, Guangdong Province, China

ABSTRACT
Objective To investigate the relationship between MRI measurement of synovitis and knee joint symptoms in patients with symptomatic knee osteoarthritis. **Methods** Patients with symptomatic knee osteoarthritis who received vitamin D treatment were included. On contrast-enhanced scanning (CE) MRI, established semi quantitative methods are used to measure synovial thickness, while synovial tissue volume (STV) is evaluated using absolute STV (ASTV) and relative femoral condylar width (RSTV). At the same time, the STV in the knee joint area was also evaluated. Use multiple linear regression models to analyze the relationship between synovial measurement and symptoms. **Results** There is no linear correlation between knee joint symptoms and synovitis thickness score. The total joint ASTV (0.88, 95% CI: 0.17, 1.59) and patellar ASTV (5.96, 95% CI: 1.22, 10.7) are positively correlated with knee joint pain. There is a strong correlation between total joint rSTV and pain (7.96, 95% CI: 2.60, 13.33) and total score (5.63, 95% CI: 0.32, 10.94). There is a stronger correlation between rSTV below the knee joint and pain (55.47, 95% CI: 19.99, 90.96), function (38.59, 95% CI: 2.1, 75.07), and total score (41.64, 95% CI: 6.56, 76.72). **Conclusion** Whole joint and specific sub knee STV measurements on CE-MRI are associated with knee joint pain, respectively. In knee osteoarthritis experiments, the volume relative to the size of the femoral condyle may be a promising outcome indicator.
Keywords: Knee Osteoarthritis; Synovitis; MRI

膝骨性关节炎(KOA)是45岁以上人群膝关节疼痛的最常见原因,滑膜炎症存在于膝关节炎骨性关节炎的所有阶段,很可能是继发性现象^[1]。目前,对于膝关节炎患者MRI上滑膜炎的最佳评估方法还没有达成共识^[2]。MRI上有几个滑膜炎的标志,包括关节积液的体积和液体敏感序列上增厚的滑膜信号增加,以及增强(CE)滑膜的体积^[3]。在大型流行病学成像研究中,经常使用非CE MRI,尽管这种技术不能最佳地区分积液和滑膜^[4]。当使用CE-MRI作为参考标准时,它是滑膜炎的敏感但非特异的标记物。通常使用半定量方法来评估膝关节炎中的滑膜炎,其中分数被用来分级滑膜扩张的严重程度,定量的方法是直接测量滑膜组织的体积^[5]。用于评估滑膜炎的成像生物标志物可能在确定OA临床试验的参与者和评估以滑膜炎为治疗靶点的治疗效果方面发挥越来越大的作用^[6]。因此,本研究的目的是利用CE-MR探讨不同滑膜炎指标与症状性膝关节炎症状的关系。

1 资料与方法

1.1 研究资料 纳入2023年1月至2024年1月接受维生素D治疗的症状性膝关节炎患者。共有96名参与者随机接受1:1比例的口服维生素D(800IU/天)或匹配的安慰剂。受试者均进行矢状和/或轴向T1加权(T1-W)脂肪抑制(FS)磁共振成像、轴向质子密度加权(PD-w)FS和/或冠状面短tau反转恢复(STIR)扫描,以进行相应的随访、滑膜炎厚度评分、滑膜组织体积(STV)测量和至少一次随访。参与者进行了CE-MRI扫描、症状数据、滑膜厚度评分、总ASTV和总rSTV,并在随访期间至少测量了一次膝下STV。参与者的平均年龄(S.D.)65.4岁(68.1岁),大多数参与者是女性。所有参与者的WOMAC评分都是在获取MRI时获得的。

1.2 研究方法 图像采集在1.5T磁共振扫描仪上,使用专用相控阵膝关节线圈。矢状位和轴向增强后T1-W脂肪抑制(FS)(重复时间(TR)600-800ms,回波时间(TE)12.5-16.2ms,采集矩阵256×160,层间距0.6 mm,层厚3 mm),轴向质子密度加权(PD-w)FS(TR3800-4820ms,TE31.2-32.5ms,矩阵256×192,层间距0.2 mm,层厚4 mm)和冠状短焦反转恢复(STIR)(TR3000-4760ms,TE46.1-56.9ms,矩阵256×192,层间距0.3mm,层厚3mm)。对于图像采集,参与者被放置在仰卧位以进行扫描。在获得第一次CE扫描前3分钟静脉注射加多二胺[0.2mL/kg体重];所有扫描都在造影剂注射后11分钟内获得。单个读取器(T.A.P)使用前面已经描述的半自动方法来执行STV(MM3)的分割。简而言之,软件分段基于用户在应用于目标图像的3D掩模内选择的阈值来增强STV(在CE-MRI上)。在整个关节测量的STV称为总绝对STV(ASTV)。使用矢状位T1-W脂肪抑制的CE扫描对(最痛的)膝关节进行STV分割。

【第一作者】陈国勋,男,主治医师,主要研究方向:骨关节外科。E-mail: lvyangjun78@163.com
【通讯作者】方雄明,男,主治医师,主要研究方向:骨关节外科。E-mail: 2591924416@qq.com

滑膜厚度使用半定量分级系统进行评估^[4,7],包括髌下区域内的11个区域的顺序评分为0-3[正常,轻度(<2 mm),中度(2-4 mm),重度(>4 mm)]。厚度在矢状位或轴位增强后序列上进行评估。创建了一个总滑膜厚度的综合测量方法,该方法等于所有滑膜炎评分的总和。然后按照以前的方法将滑膜厚度分为正常(0-4)、轻度(5-8)、中度(9-12)和重度(13)。疼痛、功能和僵硬症状使用WOMAC问卷进行评估。WOMAC评分采用视觉模拟评分(VAS),评分范围0~100 mm(无疼痛/残疾)。WOMAC总分是疼痛、功能和僵硬的综合体。分数与过去48小时内经历的症状相对应。

1.3 统计学方法 研究参与者的特征是正态分布变量的平均值和标准差,以及非正态分布变量的中位数和四分位数范围(IQR)。使用STATA15.1分析数据。为了检验滑膜炎(连续或分类测量)和症状之间的关系,本研究使用了多元线性回归:(I)总的ASTV;(II)总的rSTV;(III)髌下的ASTV;(IV)髌下的rSTV;(V)整个关节滑膜炎的厚度评分;(VI)作为暴露的各个暴露和WOMAC症状(疼痛、功能、僵硬和总分)的多元线性回归评分。滑膜炎评分被包括为类别暴露,因为假设半定量评估的滑膜炎和膝关节症状之间的关系将是非线性的。本研究正式测试了线性回归的假设,并确认没有违规行为。所有回归模型都调整了潜在的混杂因素,包括年龄、性别、体重指数(BMI)和Heberden's结节的存在或不存在。

2 结果

2.1 STV与髌下滑膜炎体积的相关测量分析 具体如图1所示,计算关节腔内的总STV相对于股骨髁宽度,并表示为单一结果:总相对STV(rSTV)。为了计算相对体积,本研究在总共四个连续的切片上评估了每个参与者的股骨髁的宽度(股骨髁处于最明显和最大尺寸的位置)。所有图像都在软件窗口内最大化,以使测量标准化。宽度测量取平均值,总相对值计算如下:[总绝对STV(Mm³)/平均股骨宽度(Mm)]。本研究进一步将CE-MRI上的高信号分割到了髌下区域,并将这个体积称为全膝关节下STV;从头到尾都称为髌下ASTV。髌下区域被定义为直接邻近髌骨下极的区域。按[总绝对髌下STV(mm³)/平均股骨宽度(mm)]计算总的相对髌下STV,称为髌下rSTV。



图1 (A) 股骨的轮廓和(B)为髌下脂肪垫(Hoffa's)确定的感兴趣区域。

2.2 滑膜炎总厚度评分和症状 膝关节症状和滑膜炎厚度评分之间没有线性关联。全关节ASTV(0.88, 95%CI: 0.17, 1.59)和髌下ASTV(5.96, 95%CI: 1.22, 10.7)与膝关节疼痛呈正相关。全关节rSTV与疼痛(7.96, 95%CI: 2.60, 13.33)和总分(5.63, 95%CI: 0.32, 10.94)有较强的相关性。膝关节下rSTV与疼痛(55.47, 95%CI: 19.99, 90.96)、功能(38.59, 95%CI: 2.1, 75.07)和总分(41.64, 95%CI: 6.56, 76.72)有更强的相关性。

3 讨论

有研究表明,滑膜炎的半定量和定量MRI测量与症状性KOA的症状之间存在关联,尽管这种关系的强度有所不同^[8]。有研究在一项针对症状性KOA的关节内皮质类固醇注射治疗的试验中报道^[9],滑膜炎体积与膝关节疼痛增加呈正相关,评分降低表明疼痛加重。同样,有研究发现^[10],滑膜厚度评分和整个关节STV与膝关节疼痛相关,随着病情加重,病情加重疼痛。本研究在这些研究的基础上进一步描述了在同一研究样本中使用CE-MRI测量滑膜炎的不同指标与症状之间的关联,从而允许进行研究内比较^[11]。

本研究观察到STV(绝对和相对测量)与膝关节疼痛之间存在线性关联;然而,本研究没有观察到滑膜炎厚度(整个关节和髌下)评分与症状之间的关联^[12]。一种可能的解释可能是由于CE-MRI序列评估的结构不同。半定量评分评估滑膜厚度,虽然可以替代滑膜炎,但可能包括非活动性炎症和活动性炎症^[13]。相反,定量评估体积捕捉到活动性滑膜炎,与渗出性炎症不同,表现为滑膜信号增强^[14]。本研究也可能在滑膜增厚的水平上不够强大,无法检测出真正的联系。然而,观察到STV的绝对和相对测量与多个WOMAC亚单位之间的关联将使本研究得到适当的支持^[15]。有研究发现^[16],髌骨上袋的大小与膝关节的大小有关;因此,本研究推测,那些骨大小较大的人可能增加了STV,而与疾病的严重程度无关。本研究观察到,与绝对测量相比,相对于股骨髁大小的全关节STV和髌下STV与膝关节疼痛的相关性更强^[17]。本文提出的计算相对STV和特定部位的相对STV的方法可以很容易地应用于有症状的膝骨性关节炎的类似研究。未来的工作包括将这种计算相对STV测量的方法应用于其他膝关节骨关节炎队列和临床试验数据集;以确认该方法的适用性和测量误差^[18]。来自观察性研究的证据表明^[19],霍法氏滑膜炎与放射学膝关节骨性关节炎的风险之间存在关系。然而,关于Hoffa滑膜炎和疼痛之间的关系的证据很少,尽管有证据支持经常累及膝下区域^[20]。有研究发现^[21],膝关节疼痛的改变与膝下滑膜炎的改变有关(4.89, 95%CI: 0.42, 9.36)。类似地,本研究观察到了疼痛与髌下ASTV的关系(5.96, 95%CI: 1.22, 10.7),本研究还观察到了膝下rSTV与疼痛的关系(55.47, 95%CI: 19.99, 90.96)。然而,当使用相关措施时,影响的幅度最大,这表明在膝关节骨性关节炎和滑膜炎的研究中需要考虑膝关节大小的异质性^[22]。这项研究的主要优势是滑膜炎的评估是在CE-MRI上进行的。尽管本研究无法将组织学结果与MRI测量滑膜炎,有强有力的证据支持CE-MRI评估的滑膜炎与组织学之间的相关性。

综上所述,在有症状的膝骨性关节炎患者中,本研究观察到全关节STV的绝对测量值与特定部位的髌下STV和膝关节症状之间的相关性。相关测量与膝关节症状的相关性更强,滑膜厚度和膝关节症状之间没有线性关联。在膝骨性关节炎的试验中,STV的相关测量可能被证明是有用的结果。

参考文献

- [1] DALOS D, MARSHALL P R, LISSY M, et al. Influence of leg axis alignment on MRI T2* mapping of the knee in young professional soccer players[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2024, 25 (1): 144.
- [2] 李俊, 胡清华, 方民杰. 对比分析MRI与MSCT对膝关节隐匿性骨折的诊断价值[J]. 罕少疾病杂志, 2024, 31 (7): 117-118.
- [3] 陈亚龙, 肖新广, 上官建伟. 磁共振FLAIR-FS序列成像在诊断早期膝关节滑膜炎中的应用研究[J]. 罕少疾病杂志, 2024, 31 (4): 92-94.
- [4] MILLIRON E, BERAN M C, DIBARTOLA A C. Editorial commentary: osteochondral allograft of the knee - diffuse edema at 6 months on MRI predicts failure[J]. Arthroscopy, 2024, 40 (9): 2453-2454.
- [5] LEE S M, KIM M, PARK C, et al. Deep Learning-reconstructed parallel accelerated imaging for knee MRI[J]. Curr Med Imaging, 2024, 20: e5048717.
- [6] BROWN J S, OLSSON O, ISACSSON A, et al. Clinical versus MRI grading of the medial collateral ligament in acute knee injury[J]. Res Sports Med, 2024, 32 (1): 12-16.
- [7] OSTERGAARD M, WETTERSLEV M, HADSBJERG A E, et al. The OMERACT whole-body MRI scoring system for inflammation in peripheral joints and entheses (WIPE) in spondyloarthritis - reference image atlas for the knee region[J]. Semin Arthritis Rheum, 2024, 65: 152384.
- [8] YI Y, CHI Z, WANG Y, et al. In vivo MRI of knee using a metasurface-inspired wireless coil[J]. Magn Reson Med, 2024, 91 (2): 530-540.
- [9] MARCEL A J, ALAIA E F, ALAIA M J, et al. Perspectives and institutional policies on patient safety and image quality regarding the use of knee-spanning external fixators in MRI: a survey study of the Society of Skeletal Radiology[J]. Skeletal Radiol, 2024, 53 (3): 525-536.
- [10] SANTOMARTINO S M, KUNG J, YI P H. Systematic review of artificial intelligence development and evaluation for MRI diagnosis of knee ligament or meniscus tears[J]. Skeletal Radiol, 2024, 53 (3): 445-454.
- [11] AHMADI O, MOTIFIFARD M, HEYDARI F, et al. The Predictive value of point-of-care ultrasonography versus MRI in assessing medial meniscal tears in patients with acute knee injury[J]. Clin Exp Emerg Med, 2024, 11 (2): 188-194.
- [12] DONNERS R, VOSSHENRICH J, GUTZEIT A, et al. New-Generation 0.55 T MRI of the knee-initial clinical experience and comparison with 3 T MRI[J]. Invest Radiol, 2024, 59 (4): 298-305.
- [13] MAHENDRAKAR P, KUMAR D, PATIL U. A comprehensive review on MRI-based knee joint segmentation and analysis techniques[J]. Curr Med Imaging, 2024, 20: e199361534.
- [14] KUHRIJ L S, MARANG-VAN D M P, VAN LIER L, et al. Reduction in use of arthroscopy among patients with degenerative knee disease in independent treatment centers versus general hospitals: a time series analysis[J]. Int J Qual Health Care, 2024, 36 (1): mzae004.
- [15] HOLM P M, BLANKHOLM A D, NIELSEN J L, et al. Effects of neuromuscular control and strengthening exercises on MRI-measured thigh tissue composition and muscle properties in people with knee osteoarthritis - an exploratory secondary analysis from a randomized controlled trial[J]. Semin Arthritis Rheum, 2024, 65: 152390.
- [16] ROTTINGER T, LISITANO L, ABELMANN-BROCKMANN J, et al. The Trochlear paradox in native knees and its potential impact on total knee arthroplasty: an MRI-based correlation study investigating the effect of varying posterior femoral condyle angles on the patellofemoral joint[J]. J Clin Med, 2024, 13 (3): 790.
- [17] TSCHOPP M, PFIRRMANN C, BRUNNER F, et al. Morphological and quantitative parametric mri follow-up of cartilage changes before and after intra-articular injection therapy in patients with mild to moderate knee osteoarthritis: a randomized, placebo-controlled trial[J]. Invest Radiol, 2024, 59 (9): 646-655.
- [18] ZBYN S, LUDWIG K D, WATKINS L E, et al. Changes in tissue sodium concentration and sodium relaxation times during the maturation of human knee cartilage: Ex vivo (23) Na MRI study at 10.5 T[J]. Magn Reson Med, 2024, 91 (3): 1099-1114.
- [19] WEN D, ZHOU X, HOU B, et al. 3D-DESS MRI with CAIPIRINHA two- and fourfold acceleration for quantitatively assessing knee cartilage morphology[J]. Skeletal Radiol, 2024, 53 (8): 1481-1494.
- [20] ECKSTEIN F, WLUKA A E, WIRTH W, et al. 30 Years of MRI-based cartilage & bone morphometry in knee osteoarthritis: From correlation to clinical trials[J]. Osteoarthritis Cartilage, 2024, 32 (4): 439-451.
- [21] O'CONNELL D, GOLIGHTLY Y, LISEE C, et al. Interlimb differences in T1rho MRI relaxation times linked with symptomatic knee osteoarthritis following anterior cruciate ligament reconstruction[J]. Knee, 2023, 41: 353-359.
- [22] WANG Z Y, GAO W F, SHAO Y M, et al. [Clinical evaluation of platelet-rich plasma in the treatment of early and middle stage knee osteoarthritis under 3.0T MRI T2 mapping sequence][J]. Zhonghua Wai Ke Za Zhi, 2023, 61 (2): 138-144.

(收稿日期: 2024-04-26) (校对编辑: 姚丽娜)

(上接第161页)

参考文献

- [1] 陈游, 李斌, 戴携, 等. 血清瘦素及骨转化指标与下肢长骨骨折伴急性脊髓损伤患者骨折愈合的关系[J]. 东南大学学报(医学版), 2022, 41(1): 49-55.
 - [2] Kronthaler S, Boehm C, Feuerriegel G, et al. Assessment of vertebral fractures and edema of the thoracolumbar spine based on water-fat and susceptibility-weighted images derived from a single ultra-short echo time scan[J]. Magn Reson Med, 2022, 87(4): 1771-1783.
 - [3] 何绪成, 叶菊, 周闪闪, 等. 双能CT虚拟去钙技术在踝关节处骨髓水肿中的诊断价值[J]. 中国CT和MRI杂志, 2022, 20(4): 169-172.
 - [4] 行海涛. 膝关节关节炎周围骨髓水肿与股四头肌面积、半月板分级的相关性分析[J]. 罕少疾病杂志, 2021, 28(4): 90-91.
 - [5] Pastor M, Lukas C, Ramos-Pascual S, et al. Sacroiliac joint MRI for diagnosis of ax-SpA: algorithm to improve the specificity of the current ASAS MRI criteria[J]. Eur Radiol, 2023, 33(12): 8645-8655.
 - [6] 谢卫东, 张璇, 李扬, 等. 能谱CT水-羟基磷灰石分离技术在创伤性骨髓水肿中的应用价值[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2022, 28(2): 173-176.
 - [7] 杨丽勤, 朱默, 金鹏飞, 等. 双能CT物质分离技术对强直性脊柱炎骶髂关节炎骨髓水肿物质变化的定量分析[J]. 临床放射学杂志, 2022, 41(11): 2101-2105.
 - [8] 杨洋, 陶然, 仪晓立, 等. 基于MRI的幼年特发性关节炎膝关节骨髓水肿特点及转归的初步研究[J]. 中华放射学杂志, 2022, 56(6): 650-655.
 - [9] 吕登, 望云, 刘士远. 光谱CT在检测骨骼肌肉系统疾病中的临床应用[J]. 医学影像学杂志, 2023, 33(3): 509-512.
 - [10] 赵新佳, 骆海虎, 骆华峰, 等. MRI与CT检查在股骨头坏死诊断中的临床价值[J]. 医学影像学杂志, 2023, 33(5): 926-929.
 - [11] 马欢, 万业达. 能谱CT物质分离技术在腰椎骨赘皮质羟基磷灰石和钙含量中的定量研究[J]. 中国医学影像学杂志, 2022, 30(9): 964-967, 978.
 - [12] 王诗耕, 刘义军, 李贝贝, 等. 下肢能谱CT静脉成像最佳重建能级和自适应统计迭代重建权重[J]. 中国介入影像与治疗学, 2023, 20(10): 625-629.
 - [13] 邱云霞, 孔慧华, 牛晓伟. 基于主成分分析的多能谱CT图像分析方法研究[J]. CT理论与应用研究, 2022, 31(6): 749-760.
 - [14] 张红, 李泉霖, 樊子健, 等. 能谱CT在评估膝关节急性外伤性骨髓水肿中的应用价值[J]. 医学影像学杂志, 2023, 33(5): 852-856.
 - [15] 赵明月, 刘义军, 魏巍, 等. 能谱CT基物质成像技术测定骨密度及评估骨质状态的可行性[J]. 中国医学影像技术, 2022, 38(11): 1720-1725.
- (收稿日期: 2024-04-07)
(校对编辑: 赵望淇)

(收稿日期：2024-04-07)

(校对编辑：赵望淇)