

综 述

股骨头坏死关节软骨损伤MR研究进展*

史 珊^{1,2} 杨学东¹ 方继良¹
罗 萍¹ 孙 黎¹ 王振常^{2,*}1.中国中医科学院广安门医院放射科北京
市西城区北线阁5号(北京 100053)2.首都医科大学附属北京友谊医院放射科
北京市西城区永安路95号(北京 100050)

【摘要】股骨头坏死为骨科难治病之一，好发于中青年人群。股骨头坏死除骨质病变外，还会继发关节软骨损伤，进而加剧关节功能障碍。股骨头坏死保髋治疗为骨科常用且重要的治疗方法，研究发现关节软骨损伤的程度和面积会影响保髋治疗的效果。MR技术可无创或微创对关节软骨损伤进行定量或半定量评估，本文就软骨损伤机制及软骨损伤MR研究方法和进展进行综述。

【关键词】股骨头坏死；软骨损伤；MR

【中图分类号】R445.2

【文献标识码】A

【基金项目】北京联影智能影像技术研究院基金
(CRIBJQY202109)
中国中医科学院科技创新工程项目
(CI2021A03302)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2023.06.058

Progress of MR study of Articular Cartilage Injury of Femoral Head Necrosis*

SHI Shan^{1,2}, YANG Xue-dong¹, FANG Ji-liang¹, LUO Ping¹, SUN Li¹, WANG Zhen-chang^{2,*}.1.Department of Radiology, Guang'anmen Hospital, China Academy of Chinese Medical Sciences,
No. 5 Bei Xian Ge Road, Xicheng District, Beijing 100053, China2.Department of Radiology, Beijing Friendship Hospital, Capital Medical University, No.95 Yong
An Road, Xicheng District, Beijing 100050, China

ABSTRACT

Femoral head necrosis is one of refractory diseases in orthopedics, it often occurs in young people. In addition to bone lesions, femoral head necrosis will also cause articular cartilage injury, which will further aggravate joint dysfunction. Hip preserving treatment for femoral head necrosis is a common and important treatment method in orthopedics. It is found that the degree and area of articular cartilage injury will affect the effect of hip preserving treatment. MR technology can quantitatively or semiquantitatively evaluate articular cartilage injury in a noninvasive or minimally invasive way. This article reviews the mechanism of cartilage injury and the research methods and progress of MR in cartilage injury.

Keywords: Femoral Head Necrosis; Cartilage Injury; MR

股骨头坏死是由于股骨头血供障碍或中断，引起骨细胞、骨髓成分坏死，进行性发展导致股骨头塌陷、继发骨关节炎，从而引起关节功能障碍的疾病^[23-24]。其发病年龄较轻，好发于中青年人群，病因可为非创伤性、创伤性和特发性，激素使用史及酗酒为非创伤性最常见的原因，股骨颈骨折为创伤性最常见的原因^[25]。股骨头坏死除了骨质病变以外，也会引起关节软骨损伤，进而更加影响关节的功能，晚期会继发骨关节炎，此时，人工关节置换是唯一的选择，但花费较高，且可能会发生二次翻修或重新置换的情况，远期效益不够理想。因此，股骨头坏死的保髋治疗引起骨科医师的广泛关注，在考虑保髋治疗时关节软骨损伤的程度和面积是非常重要的，因为软骨损伤可以继发骨关节炎，进而影响保髋治疗的效果。近年来，随着MR技术的进步，越来越多的研究关注于关节软骨的损伤，本文就软骨损伤机制及研究方法和进展进行一一总结。

1 软骨的结构、功能及损伤机制

关节软骨是由软骨细胞和富含胶原、蛋白多糖的细胞外基质构成，能润滑关节，并吸收和缓冲应力。由于无血管供应，其营养成分靠弥散运动来获取。软骨下骨对关节软骨提供力学支持及营养。

软骨下骨的坏死，不仅改变了关节软骨的力学分布与机械传导途径，同时也影响了软骨营养供给及代谢产物的排出，使其易于损伤^[1]。股骨头塌陷后，关节应力发生改变，机械应力会加剧股骨头关节软骨的退行性变，一般是先侵害到软骨下钙化层和软骨深部，随后破坏软骨完整性，同时也会引起髌臼软骨的退变。

2 研究方法简介及研究现状

MR研究髋关节软骨的方法不使用造影剂的有ADC、T₁ρ、T₂ mapping、T₂* mapping、Fingerprinting，3D-T₁/Pd软骨定量研究及使用造影剂的软骨延迟增强磁共振成像及直接关节造影，各方法分述如下。

2.1 表观弥散系数(apparent diffusion coefficient, ADC) ADC是指DWI中不同方向的分子进行扩散运动时的速度和范围。ADC通过DWI的扩散敏感系数计算而来，b值越大，对水分子的扩散运动就越敏感，更有利于病灶的检出，但图像的信噪比会下降，因此应选择适当的b值，目前研究中较常用的b值为0/600、0/500、0/1000。

关节软骨内水分子的弥散反映了组织的生化结构和构成。正常软骨由于水分子弥散受软骨成分的限制，其弥散时间长，ADC值较低。股骨头坏死塌陷前期髋关节软骨内水分子的弥散速度较正常成人髋关节软骨内水分子的弥散速度明显加快，因此，ADC值也相应地升高，可能是由于软骨内部成分发生变化，软骨内蛋白多糖不同程度丢失所致^[2,3]。

2.2 T₁ρ成像 T₁ρ主要用自旋或梯度回波序列进行扫描反映自旋晶格弛豫时间，测量所得为组织的T₁值。T₁ρ对关节软骨细胞外基质中的蛋白多糖间的相互作用较为敏感，可以量化蛋白多糖的丢失程度。韩晓蕊、冷晓明等^[1,4]用T₁ρ定量技术对股骨头坏死软骨损伤状况进行对照研究，发现国际骨循环研究协会(Association Research Circulation Osseous, ARCO) III期较对照组、I期及II期的T₁ρ值显著性升高，并且随着ARCO分期的升高，软骨损伤逐渐进展。

Kazuhiko Sonoda等^[5]发现股骨头坏死病人中，关节面塌陷者T₁ρ平均值较未塌陷者升高；在塌陷者中，塌陷区域的T₁ρ平均值较未塌陷病变区域增高。在关节面未塌陷者中，各区软骨T₁ρ平均值无差异。在塌陷组中，坏死区的T₁ρ平均值与MR检查前疼痛的持续时间呈正相关。结果提示股骨头坏死关节软骨损伤始于关节面塌陷之后的坏死区域。

2.3 T₂ mapping成像 T₂ mapping一般采用多回波SE序列，在一个TR时间采集多个不同时间点的TE，获得系列图像，然后用公式进行计算，得到T₂弛豫时间图像，进而进行量化分析。

【第一作者】史 珊，女，主治医师，主要研究方向：骨肌影像学。E-mail: shishan_1987@126.com

【通讯作者】王振常，男，主任医师，主要研究方向：头颈部影像学。E-mail: cjr.wzhch@vip.163.com

T₂ mapping主要受软骨水含量与周围胶原排列的影响,在正常关节软骨中,水质子能够与胶原纤维组织大部分结合,因此可以快速去相位,所以T₂值较低。但是,软骨胶原纤维会随年龄的增长进行重塑,使水质子与胶原纤维结合受限,因此软骨的T₂值升高。另外,软骨细胞内水含量增加或软骨细胞外的基质胶原被破坏也可使T₂值升高,因而T₂mapping可以探测关节软骨形态未变化之前软骨内微观结构的变化^[6]。

在正常人群,股骨头及髌臼各区域的T₂值是不一致的,其中股骨头后上区比后下和前下区域T₂值高,在髌臼区,前下区比前上、中部和后下区域T₂值高^[7]。Atsuya Watanabe等对正常人群髌臼与股骨头软骨进行T₂值测量,将股骨头软骨分为放射状的12等份,髌臼软骨分为放射状的6等份,结果显示股骨头软骨在-20°~20°范围内T₂值最短,在魔角(54.7°)附近T₂值上升,股骨头软骨的T₂值介于28-40之间;髌臼软骨T₂值在边缘区域较低,尤其是在20°-30°范围内,髌臼软骨T₂值介于32-38之间;髌关节软骨T₂值不同性别及左右侧别无显著性差异^[8]。姜胜攀等研究发现正常股骨头关节软骨的T₂值大约界定为(50±8)之间,若测得的坏死股骨头软骨T₂值大5~10个单位以上,应怀疑存在软骨损伤^[9]。国内韩晓蕊、冷晓明等用T₂mapping定量技术对股骨头坏死软骨损伤进行研究,发现坏死股骨头ARCO III期软骨较正常股骨头、ARCO I期、ARCO II期软骨的T₂值显著升高,随ARCO分期的升高,软骨损伤呈现渐进加重的状况^[10]。同时发现对于股骨头坏死患者软骨损伤的定量分析,T₁ρ的诊断价值稍高于T₂mapping,与国外研究相符^[1]。

Xu等通过对股骨头坏死标本的病例切片观察及T₂值测量,发现早期股骨头坏死患者有软骨基质变性的倾向,软骨表面密度分布不均,T₂值不均匀增加;组织学染色显示软骨细胞明显减少,排列不规则^[11]。Shinji Yamamoto等发现非塌陷期股骨头坏死,关节软骨T₂值已存在异常,较正常对照组上升^[12]。

2.4 T₂* mapping成像 T₂* mapping成像技术是在T₂ mapping成像的基础上开发出来的,T₂* mapping是用是多回波梯度序列、聚相位脉冲,将TE、翻转角设置到为小翻转角、长TE可以得到T₂*权重的图像,能够反映自旋-自旋弛豫,并且成像速度较快、软骨显示更清晰、锐利。T₂* mapping与T₂ mapping类似,主要受软骨水含量、胶原网格结构的影响,从而可用于定量评估软骨的生理成分改变。关节软骨的T₂*值主要与胶原排列方向、胶原和水、糖胺聚糖含量有关^[13]。

在无症状志愿者中,随着形态的破坏T₂*值明显下降,软骨损伤I级相对于外观表现正常软骨的T₂*值下降最多、最明显,T₂*是研究软骨软骨损伤的可靠工具^[14]。目前,文献检索,尚无股骨头坏死软骨的T₂* mapping研究。

2.5 软骨延迟增强磁共振成像 关节软骨主要由软骨细胞、水、蛋白多糖和胶原构成。软骨延迟增强磁共振成像用带负电荷的钆喷酸葡胺Gd³⁺(DTPA)²⁻与蛋白多糖中带负电荷的糖胺聚糖相互排斥的原理来间接反映软骨基质中蛋白多糖的含量。

刘朝晖等研究发现:ARCO II期股骨头关节软骨的T₁Gd值较正常对照有显著性下降,ARCO III期T₁Gd值下降更为明显,证实股骨头坏死塌陷前期关节软骨的代谢已发生显著性变化,并随坏死分期的升高而进展^[15]。

2.6 关节造影 关节造影可分为直接造影和间接造影,直接造影为造影剂直接进行关节内注射,间接造影为进行静脉注射,间接延迟成像。研究表明,关节内直接注射,成像效果更佳,更有利于关节软骨轮廓的显示^[16]。关节造影不仅可观察股骨头软骨,还可用于观察髌臼软骨及孟唇的病变,对于有髌臼软骨病变的患者,在关节置换手术时,全髌关节置换效果要好于半髌关节置换术^[17]。

2.7 Fingerprinting Fingerprinting是一种新兴技术,可一次性测量T₁、T₂及Pd值,成像时间短,仅需6分钟,而得出数据多,已用于髌关节软骨研究,研究发现:评估个体变异很小,可用于多中心及长期研究^[18],但尚未应用于股骨头坏死。

2.8 T1/Pd三维软骨定量技术 软骨三维定量采集方法有很多种,文献常用的采集方法有:扰相梯度回波序列(spoiled gradient recalled echo, SPGR)、双回波稳态序列(3D dual-echo steady state, 3D-DESS)和3D-SPACE (sampling perfection with application-optimized contrasts by using different flip angle evolutions, SPACE)三维快速自旋回波成像技术,多采用压脂技术,这些采集方式时间均相对较长,但均能很好的显示关节软骨。可用软件进行半自动或自动勾画,从而进行体积测量。

髌关节软骨的体积与性别、体重指数、股骨头大小有关;关节软骨厚度与股骨头大小有关^[19]。正常组股骨头及髌臼软骨的平均厚度为1mm左右,髌臼软骨稍厚。髌臼软骨下部及后部较厚,而股骨头软骨前部较厚。髌臼软骨的平均体积在4000mm³左右,而股骨头软骨的平均体积在3800mm³左右^[20]。休息后比承重后软骨的厚度增加^[21]。

在股骨头坏死研究当中,Im G I等关注髌臼软骨损伤,发现髌臼软骨的损伤与股骨头塌陷程度相关,认为ARCO III期病人不能从保髌手术中获益,同时软骨损伤也可能是双极头半髌置换手术效果劣于全髌关节置换术的原因^[22]。而髌臼软骨损伤,与股骨头塌陷后的挤压、撞击有关^[17]。

3 总结

股骨头坏死关节软骨的研究为临床治疗方案的选择及疗效预测提供了更多定量及补充信息,相关方面研究方兴未艾,总体来讲,在股骨头坏死塌陷前,关节软骨形态尚未发生显著变化,而内部结构及成分已发生变化,可通过测量ADC、T₁、T₂及T₁Gd值等来进行定量分析。关节面塌陷后,软骨损伤逐渐进展,体积及形态发生变化,对定量测量提出了很大的挑战,如能将三维体积的定量测量与ADC、T₁、T₂及T₁Gd值的测量相结合,会为临床诊治提供更加精准的信息。

参考文献

- [1] Han X, Hong G, Chen L, et al. T1 ρ and T2 mapping for the determination of articular cartilage denaturalization with osteonecrosis of the femoral head: A prospective controlled trial[J]. J Magn Reson Imaging, 2019, 49(3): 760-767.
- [2] 孙泓泓, 李艳梅, 李兴华, 等. 股骨头坏死塌陷前期髌关节软骨的MRI研究[J]. 实用放射学杂志, 2013, 29(11): 1818-1822.
- [3] 冷晓明, 姜胜攀, 黄勇, 等. MRI测量股骨头坏死塌陷前期髌关节软骨的厚度及表观弥散系数分析[J]. 中国CT和MRI杂志, 2015, (7), 101-103.
- [4] 冷晓明, 韩晓蕊, 徐玲, 等. 磁共振T1 ρ成像定量评估股骨头坏死患者软骨损伤[J]. 中国医学影像学杂志, 2017, 33(1): 93-96.
- [5] Sonoda K, Motomura G, Kawanami S, et al. Degeneration of articular cartilage in osteonecrosis of the femoral head begins at the necrotic region after collapse: a preliminary study using T1 rho MRI[J]. Skeletal Radiology, 2017, 46(4): 463-467.
- [6] 吴昆华, 王天朝, 梁虹, 等. 3.0T MR T2 mapping对膝关节软骨损伤的研究[J]. 磁共振成像, 2013, 4(3): 210-214.
- [7] Ho C P, Surowiec R K, Ferro F P, et al. Subregional anatomical distribution of T2 values of articular cartilage in asymptomatic hips[J]. Cartilage, 2014, 5(3): 154-164.
- [8] Watanabe A, Boesch C, Siebenrock K, et al. T2 mapping of hip articular cartilage in healthy volunteers at 3T: A study of topographic variation[J]. Journal of magnetic resonance imaging: JMIR, 2007, 26(1): 165-171.
- [9] 姜胜攀, 冷晓明, 谭一清. 磁共振T2 map成像评估国际骨循环研究会II期坏死股骨头软骨及骨髓结构损伤状况的应用价值[J]. 实用医学影像学杂志, 2019, 20(02): 6-8.
- [10] 冷晓明, 姜胜攀, 梁玲, 等. 磁共振T2 map成像对不同ARCO分期股骨头软骨变性的评估价值[J]. 中国CT和MRI杂志, 2016, 14(8): 109-111.
- [11] Xu R, Wei B, Li J, et al. Investigations of cartilage matrix degeneration in patients with early-stage femoral head necrosis[J]. Medical science monitor: international medical journal of experimental and clinical research, 2017, 23: 5783-5792.
- [12] Yamamoto S, Watanabe A, Nakamura J, et al. Quantitative T2 mapping of femoral head cartilage in systemic lupus erythematosus patients with noncollapsed osteonecrosis of the femoral head associated with corticosteroid therapy[J]. Journal of Magnetic Resonance Imaging Jmri, 2011, 34(5): 1151-1158.
- [13] 梁学恒, 杨全, 余洁, 等. T2* mapping定量评估早期骨关节炎半月板与软骨的相关性[J]. 海南医学, 2017(16).
- [14] Bittersohl B, Miese F R, Hosalkar H S, et al. T2* Mapping of acetabular and femoral hip joint cartilage at 3 T: A prospective controlled study[J]. Investigative Radiology, 2012, 47.
- [15] 刘朝晖, 郭万首, 杨东, 等. 软骨延迟增强核磁共振成像法检测II期、III期股骨头坏死软骨改变[J]. 中华医学杂志, 2011, 21: 1467-1470.
- [16] Boesen M, Jensen K E, Qvistgaard E, et al. Delayed gadolinium-enhanced magnetic resonance imaging (dGEMRIC) of hip joint cartilage: better cartilage delineation after intra-articular than intravenous gadolinium injection[J]. Acta Radiologica, 2006, 47(4): 391-396.
- [17] Kloen P, Leunig M, Ganz R. Early lesions of the labrum and acetabular cartilage in osteonecrosis of the femoral head[J]. The Journal of Bone and Joint Surgery, 2002, 84(1): 66-69.
- [18] Martijn A, Cloos, et al. Rapid radial T1 and T2 mapping of the hip articular cartilage with magnetic resonance fingerprinting[J]. Journal of magnetic resonance imaging: JMIR, 2018.
- [19] Zhai G, Cicuttini F, Srikanth V, et al. Factors associated with hip cartilage volume measured by magnetic resonance imaging: The Tasmanian Older Adult Cohort Study[J]. Arthritis & Rheumatism, 2005, 52(4): 1069-1076.
- [20] Li W, François Abram, Beaudoin G, et al. Human hip joint cartilage: MRI quantitative thickness and volume measurements discriminating acetabulum and femoral head[J]. IEEE transactions on bio-medical engineering, 2008, 55(12): 2731-2740.
- [21] Naish J H, Xanthopoulos E, Hutchinson C E, et al. MR measurement of articular cartilage thickness distribution in the hip[J]. Osteoarthritis Cartilage, 2006, 14(10): 967-973.
- [22] Im G I, Kim D Y, Shin J H, et al. Degeneration of the acetabular cartilage in osteonecrosis of the femoral head: Histopathologic examination of 15 hips[J]. Acta Orthopaedica Scandinavica, 2000, 71(1): 28-30.
- [23] 吴婷, 赵永强, 周涛, 等. 早期股骨头坏死CT、MRI表现及其预后危险因素分析[J]. 中国CT和MRI杂志, 2020, 18(7): 155-157.
- [24] 折胜利, 何国, 范成杰, 等. MRI对成人股骨头坏死早期诊断及影像学表现分析[J]. 中国CT和MRI杂志, 2021, 19(3): 156-158.
- [25] 赵素贞. 对比分析CT和核磁共振诊断股骨头坏死的临床作用[J]. 罕少疾病杂志, 2019, 26(3): 9-11.

(收稿日期: 2021-08-10) (校对编辑: 孙晓晴)