

论 著

ARCO 2/3期股骨头坏死骨质吸收区MR影像评估*

史 珊¹ 罗 萍^{1,*} 杨学东^{1,*}
范洋洋¹ 刘 欢¹ 马云瑶¹
张 阔¹ 于 潼²

1.中国中医科学院广安门医院放射科
(北京 100053)

2.中国中医科学院广安门医院骨科
(北京 100053)

【摘要】目的 分析MR对ARCO2/3期股骨头坏死骨质吸收区的检出率及骨质吸收区MR特征,并探讨骨质吸收区不同MR信号可能的病理基础。**方法** 回顾性分析2015年1月至2022年10月就诊于骨科并行MR检查的312例ARCO 2/3期股骨头坏死病例,最终纳入41例,男/女=29/12,其中5例为双侧股骨头坏死,共46例股骨头坏死。根据骨质吸收区T₂WI信号特点将病例分为两组,组1-T₂WI I型信号(等、稍高信号),组2-T₂WI II型信号(高信号)。评估并比较两组间骨质吸收区及相关CT/MR征象。**结果** MR检出骨质吸收区的敏感性为70.6%,特异性为100%。组2骨质吸收区的数量、ADC值、骨髓水肿分级以及骨质吸收区是否与软骨下骨折相连的几率大于组1,组2骨质吸收区的密度低于组1。**结论** MR检出骨质吸收区有良好的敏感性和极高的特异性。骨质吸收区T₂WI I型信号可能混淆于骨髓水肿中,应仔细甄别;骨质吸收区T₂WI II型信号更常伴软骨下骨折和大范围骨髓水肿,可能提示破坏性修复,应密切随访、及时干预。

【关键词】 股骨头坏死; MR; 骨质吸收;
ARCO 2/3期

【中图分类号】 R617

【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和CI2021A03320); 中国中医科学院广安门医院护航工程——骨干人才培养项目(9323015)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2023.11.043

Assessment of Bone Resorption in ONFH of ARCO Stage 2/3 with MR Imaging*

SHI Shan¹, LUO Ping^{1,*}, YANG Xue-dong^{1,*}, FAN Yang-yang¹, LIU Huan¹, MA Yun-yao¹, ZHANG Kuo¹, YU Tong².

1.Department of Radiology, Guang'anmen Hospital, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100053, China

2.Department of Orthopaedics, Guang'anmen Hospital, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100053, China

ABSTRACT

Objective To analyze the detection rate and image characteristics of bone resorption lesion on MR in osteonecrosis of the femoral head (ONFH), and to explore the possible pathological basis of different MR signals in bone resorption lesion. **Methods** 312 cases in the department of orthopaedics with ONFH staged as ARCO stage 2/3 from January 2015 to October 2022 were retrospectively analyzed, and 41 cases were included finally, M/F =29/12, of which 5 cases were bilateral femoral head necrosis, so a total of 46 cases. According to the signal characteristics of bone resorption lesion on T₂WI, the cases were divided into two groups, group 1- T₂WI Type I signal (equal or slightly high signal) and group 2- T₂WI Type II signal (high signal). CT/MR signs of bone resorption and related were evaluated and compared between the two groups. **Results** The sensitivity of MR in detecting bone resorption was 70.6%, and the specificity was 100%. The number, ADC value of bone resorption, bone marrow edema, and the incidence of bone resorption connected to the subchondral fracture were significantly greater in group 2 than 1. The intensity of bone resorption was significantly lower in group 2 than 1. **Conclusion** MR Detection of bone resorption lesion in ONFH showed good sensitivity and high specificity. T₂ Type I signal bone resorption lesions may be confused with bone marrow edema, which should be carefully detected. T₂ Type II signal bone resorption lesions were more often associated with subchondral fractures and large scale of bone marrow edema, may indicate destructive repair type, should be followed up closely and intervened in time.

Keywords: ONFH; MR; Bone Resorption; ARCO Stage 2/3

股骨头坏死是由于股骨头血流中断或血供障碍引起骨细胞及骨髓成分死亡的病理过程,好发于中青年人群,是骨科难治性疾病之一^[1]。股骨头塌陷是股骨头坏死病情进展的重要标志^[2]。既往研究发现,骨质吸收在股骨头坏死塌陷进程中起着重要作用^[3-4]。骨质吸收区在CT及X线上表现为无骨小梁的低密度区域,是由坏死骨小梁被破骨细胞吸收所致,主要由血管化的肉芽组织和纤维组织构成^[3]。骨质吸收是股骨头坏死修复过程中的一种表现,它首次出现在国际骨循环学会(association research circulation osseous, ARCO)分期2期病例中。由于其低密度的特点,而CT为断层图像,可以排除重叠伪像,因此在CT上显示最佳,既往关于骨质吸收区的研究均以CT成像为主^[5]。目前尚无骨质吸收区MR表现的相关研究。由于MR可以多参数、多序列成像^[6],更细节地显示骨质吸收区内部结构及组成,因此,本研究对股骨头坏死ARCO 2、3期同时行髋关节MR和CT检查的病例进行回顾性分析,以CT图像为参考,分析MR对骨质吸收区的检出率和骨质吸收区MR影像特征,并进一步探讨骨质吸收区不同MR信号可能的病理基础。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性分析2015年1月至2022年10月就诊于我院骨科ARCO 2/3期股骨头坏死患者。诊断标准为成人股骨头坏死临床诊疗指南(2016)^[7],分期标准为2019国际骨循环研究协会股骨头坏死分期^[8]。ARCO 2期的分期标准是X线和MRI均异常,可见骨硬化、局灶性骨质疏松或股骨头囊性改变等细微表现,无软骨下骨折、坏死区骨折或股骨头塌陷; ARCO 3期的分期标准是X线或CT示软骨下骨折、坏死区骨折和(或)股骨头塌陷, ARCO 3期根据股骨头塌陷程度进一步分为: IIIA(早期)—股骨头塌陷≤2mm, IIIB(晚期)—股骨头塌陷>2mm^[9]。由于ARCO 1期在临床上较为少见,且无骨质吸收区; ARCO 4期可见骨关节炎表现,如关节间隙变窄,髌臼改变和关节破坏等,可能包含软骨下骨囊变,易与骨质吸收混淆,因此ARCO 1期和4期病例未包括在本研究范围之内。ARCO分期由两名放射科医师根据髋关节CT图像协商确定。

纳入标准: 股骨头坏死ARCO 2/3期,行髋关节MR检查。由于我院进行髋关节MR检查的患者相对少于CT,故病例筛选以髋关节MR检查为基础。排除标准:无髋关节CT检查,髋关节CT和MR检查间隔超过1个月,CT上股骨头内未见骨质吸收区,有髋关节有创检查史、手术史或外伤史,风湿结缔组织系统疾病。共纳入312例行髋关节MR检查的ARCO 2/3期股骨头坏死患者,排除患者271例,其中包括无髋关节CT检查、髋关节CT和MR检查间隔超过1个月174例,髋关节CT图像股骨头内未见骨质吸收区89例,有髋关节有创检查史、手术史或外伤史6例,风湿结缔组织系统疾病2例,最终纳入41例,男/女=29/12。其中5例为双侧股骨头坏死,共计46例股骨头坏死。其中ARCO 2期16例,

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

【通讯作者】 罗 萍,女,主治医师,主要研究方向:骨肌及神经系统影像诊断。E-mail: luoping76@163.com

ARCO 3A期14例, ARCO 3B期16例。本研究经医学伦理委员会批准(2022-089-KY), 所有纳入患者均知情同意。

1.2 MRI检查 在磁共振3 T(Skyra, Siemens AG, Germany)扫描仪上使用相控阵线圈进行双髋关节MRI检查。扫描序列包括: 轴位T₁WI快速自旋回波(turbo spin echo, TSE)序列、轴位T₂WI

脂肪饱和(fat saturated, FS)TSE序列和冠状质子密度加权成像(proton density weighted imaging, PDWI)-FS-Dixon脂相/水相。在入组患者中, 共有8例进行了双髋关节轴位DWI序列检查, b值: 0, 500和1000s/mm²。(各序列参数见表1)。

表1 MR扫描参数

	轴位T ₁ WI	轴位FS-T ₂ WI	冠状位PDWI水/脂相	DWI
TR(ms)	731	3600	2500	6300
TE(ms)	10	77	35	99
FOV(mm)	380×380	380×237	380×261	350×281
层厚(mm)	4	4	4	5
层间隔(mm)	1.2	0.8	0.8	1.0
带宽(kHz)	250	246	257	766
矩阵	512×384	384×180	512×299	154×192
像素	0.7×0.7×4.0mm	1.0×1.0×4.0mm	0.7×0.7×4.0mm	1.8×1.8×5.0mm
扫描时间	1min 4sec	2min 4sec	3min 9sec	3min 28sec

1.3 CT检查 髋关节CT采用德国西门子SOMATOM Definition Flash扫描仪进行检查。扫描参数管电压为140kVp, 自动调节管电流(90-130mA); DFOV: 35.6×35.6cm; 层厚: 0.75mm。双髋关节同时扫描, 扫描范围自髋臼顶部至股骨小转子水平。冠状位重建采用骨算法B60s重建, 层厚为3毫米。此外, 在PACS系统(天健RIS 6.0及海纳医信医疗影像信息管理系统)中进行冠状位图像补充重建, 层厚为1mm。所有受试者均为仰卧位, 双足处于中立位。

1.4 CT图像评估 骨质吸收区的大小和密度分别由三名放射科医师在随机顺序下采用盲法、独立评估, 并计算平均值作为最终结果。骨质吸收区的数量和形状, 以及骨质吸收区是否与软骨下骨折相连, 由两位放射科医生协商决定。所有CT征象均在冠状位重建图像(层厚3mm)上进行测量和评估, 同时参考轴位原始薄层图像和冠状位补充重建图像。

骨质吸收区的数量: 骨质吸收区无论大小, 凡CT可见的明确的无骨小梁、低密度的骨质吸收区均计入。

骨质吸收的形状: 在骨质吸收区CT冠状位最大层面上进行评估, 如果形状近似圆形或椭圆形, 视为形态规则, 计为1; 其他形状被认为是为不规则的, 计为0。

按照既往研究中的方法测量骨质吸收区的冠状位最大面积和密度^[10]。骨质吸收区冠状位最大面积的测量方法如下: 首先, 选择冠状位上最大的骨质吸收区, 然后, 选择骨质吸收区在冠状位的最大层面, 采用手工勾画ROI测面积(mm²为单位), 沿骨质吸收区的边缘进行勾画测量, 不包括周围骨质区域; 骨质吸收区密度的测量: 在冠状位图像上, 取最大骨质吸收区最大层面, 画一个尽可能大的圆形或椭圆形感兴趣区进行测量(Hu为单位), 注意仅限在低密度的骨质吸收区, 不包括邻近的骨质区域。

骨质吸收区是否与软骨下骨折相连: 如果低密度的骨质吸收区与软骨下骨折直接相连, 计为1, 否则计为0。

1.5 MR图像评估 在正式评估之前, 先随机选择10名入组患者, 由三名放射科医生参照CT图像观察和研究骨质吸收的相应MR表现, 而后再进行正式评估。

骨质吸收区的数量和大小: 在冠状位PDWI-FS-Dixon水相图像上, 由两位放射科医生对骨质吸收区的数目进行独立评估, 不一致的病例两名医师协商最终达成一致。骨质吸收区冠状位最大面积的测量方法与CT相同。

骨质吸收区的T₁WI和T₂WI信号特征:

参照CT图像评估入组病例的最大骨质吸收区的T₁和T₂信号特征。

在轴位T₁WI TSE序列上, 评估骨质吸收区的信号(I型: 等信号, 相当于肌肉信号; II型: 略高信号, 高于肌肉信号但低于正常骨髓信号; III型: 混杂等和稍高信号)。

在轴位T₂WI FS TSE序列上, 将骨质吸收区的信号分为两型, I型, 等或略高信号(等信号: 类似正常骨髓的信号强度, 略高信号: 相当于骨髓水肿的信号强度); II型, 高信号(略低于或等于关节积液的信号强度)。

此外, 评估T₂信号是否均匀, 信号混杂计为1, 信号均匀计为0。骨髓水肿: 在轴位T₁WI TSE和轴位T₂WI FS TSE序列上进行评估, 骨髓水肿的程度根据其范围评为1-3, 1代表骨髓水肿仅累及股骨头, 2代表累及股骨头、颈部, 如果股骨头、颈部和转子间区域均累及, 则评为3; 无骨髓水肿则记为0^[11]。

ADC值: ADC值参照T₂WI FS TSE轴位图像进行测量, 如骨质吸收区在T₂WI图像上显示不清的, 则参考轴位CT图像进行测量。在西门子工作站(SYNGO VFA-SOF)上, 选择轴位ADC图像上骨质吸收区的最大层面, 绘制尽可能大的圆形或椭圆形感兴趣区进行测量, 注意避开邻近的骨质。

在图像评估中, 骨质吸收区的数量、形状和MR信号特征, 骨质吸收区是否与软骨下骨折相连, 以及骨髓水肿的程度由两位放射科医师共同协商确定。骨质吸收的CT/MR冠状位最大面积、密度和ADC值由三名放射科医师独立测量并取其平均值。

1.6 分组标准 根据骨质吸收区的T₂信号特点将病例分为两组。组1- T₂WI I型信号, 组2- T₂WI II型信号。

1.7 统计分析 连续变量用中位数(四分位数范围)表示。分类变量用计数和百分比表示。采用Mann-Whitney检验比较两组间的年龄、骨髓水肿、骨质吸收区的冠状位最大面积、密度和ADC值(SPSS 22.0)。用卡方检验对比两组间的性别、骨质吸收区的形状、T₁WI信号分型、T₂信号均匀与否, 以及骨质吸收区是否与软骨下骨折相连的差异。用Pearson相关分析评估骨质吸收区在MR和CT上冠状位最大面积间的相关性。通过组内相关系数分析3名放射科医生测量数据的一致性。P<0.05具有统计学意义。

2 结果

2.1 MR对骨质吸收区的检出率 CT检出骨质吸收区85个, MR检出骨质吸收区60个, MR检出骨质吸收区的敏感性为70.6%, 特异性为100%, 见表2。

2.2 骨质吸收区在CT和MRI上冠状位最大面积的相关性 r=0.931, P<0.001。

2.3 两组患者的年龄、性别、ARCO分期、T₁WI信号分型差异无统计学差异(P>0.05)。 组2的骨质吸收区数量、ADC值、骨髓水肿范围及骨质吸收区与软骨下骨折相连几率显著高于组1。组2骨质吸收区的密度显著低于组1, 见表3。

2.4 骨质吸收区冠状位最大面积、密度以及ADC值的评估者间的一致性良好, 见表4。

表3 骨质吸收区两组间一般资料及CT、MR征象比较

	T ₂ WI I型信号(n=15)	T ₂ WI II型信号(n=31)	检验统计数	P值
一般信息/年龄	37.0(31.0-50.0)	46.0(34.0-55.0)	-1.502	0.133
性别(女/男)	4/11	10/21	0.149	0.699
ARCO分期及对应数量	ARCO2期-6(40%) ARCO3A期-5(33.3%) ARCO3B期-4(26.7%)	ARCO2期-10(32.3%) ARCO3A期-9(29.0%) ARCO3B期-12(38.7%)	0.657	0.720
MR征象				
骨质吸收区数量	10	50	-3.472	0.001**
骨质吸收区冠状位最大面积	46(0-133)	72(27-143)	-1.372	0.170
T1信号分型	I型-6(40%) II型-2(13.3%) III型-7(46.7%)	I型-8(30.4%) II型-5(37.0%) III型-18(32.6%)	1.913	0.056
T2信号不均匀	0-7(46.7%) 1-8(53.3%)	0-21(67.7%) 1-10(32.3%)	1.855	0.170
ADC值(10 ⁻³ mm ² /s)	1.961(1.941-N)	2.469(2.163-2.745)	-2.000	0.046*
骨髓水肿	0-2(13.3%) 1-6(40.0%) 2-5(33.3%) 3-2(13.3%)	0-2(6.5%) 1-5(16.1%) 2-12(38.7%) 3-12(38.7%)	-2.177	0.029*
CT征象				
骨质吸收区的数量	18	67	-2.373	0.018*
骨质吸收区冠状位最大面积	57(34-125)	86(49-147)	-0.926	0.355
骨质吸收区密度	119(64-172)	62(44-75)	-2.789	0.005**
骨质吸收区形状	1-4(26.7%) 0-11(73.3%)	1-13(41.9%) 0-18(58.1%)	1.012	0.315
骨质吸收区与软骨下骨折相连	0-11(73.3%) 1-4(26.7%)	0-11(35.5%) 1-20(64.3%)	5.804	0.016*

注：*统计学差异(P<0.05)，**显著统计学差异(P<0.01)。

表2 骨质吸收区CT、MR检出比较

MR	CT		合计
	阳性	阴性	
阳性	60	0	60
阴性	25	0	25
合计	85	0	85

表4 骨质吸收区征象测量评估者间的一致性结果

	组内相关系数	95%置信区间	P值
骨质吸收区ADC值	0.893	0.692-0.975	<0.001**
骨质吸收区MR冠状位最大面积	0.983	0.972-0.990	<0.001**
骨质吸收区CT冠状位最大面积	0.897	0.840-0.938	<0.001**
骨质吸收区密度	0.844	0.761-0.904	<0.001**

注：**显著统计学差异(P<0.01)。

3 讨论

本研究为首次针对股骨头坏死骨质吸收区的MR检出率及骨质吸收区MR特征的研究。研究发现MR对骨质吸收区的检出具有良好的敏感性和极高的特异性。

MR检测骨质吸收区的敏感性较好，但尚有近30%的骨质吸收区未被发现。主要原因有两个：一是由于骨质吸收区的信号特征，T₂WI I型信号因为呈等或略高信号，不易被发现，特别是部分骨质吸收区边界不清(图1和图2)，在本研究中，有8例边界不清的I型信号骨质吸收区混淆在骨髓水肿中，未被发现。二是由于部分骨质吸收区的体积较小，在本研究中，未被发现的17例T₂WI II型信号，是由于它们的直径小于或等于4毫米。因为MR冠状位PDWI序列的层厚为4mm，层间距为0.8cm，对于小的骨质吸收区来说相对较厚，容易被漏诊。根据既往研究，较小的骨质吸收区(≤4mm)临床意义不大^[10]。综上，应重视T₂WI I型信号骨质吸收区，尽量减少遗漏，必要时应进行CT检查综合评估。

MR检测骨质吸收区特异性高的原因:骨质吸收区的主要和典型表现为边界清晰的均匀或不均匀T₂高信号，多位于骨质坏死区，不易与其他征象混淆。

骨质吸收区不同T₂WI信号类型可能提示不同的病理基础及病程进展:

骨质吸收区的T₂信号部分不均匀，这表明其内部成分复杂，既往研究发现，骨质吸收区主要由富含血管的肉芽组织和纤维组织组成，甚至可见骨化^[12-14]。本研究发现骨质吸收区有两种不同

类型的T₂信号。T₂WI II型信号是T₂WI高信号强度(图3)，且其ADC值高，推测其内富含氢质子；同时由于骨质吸收区密度比较低，因此，它最有可能是血管化的新鲜肉芽组织，可能处于骨质吸收的早期阶段。由于T₂WI II型信号与软骨下骨折相连、且伴有大量范围的骨髓水肿的几率更大，因此提示为破坏性修复、伴有严重的炎症^[15]，Gao等研究认为骨质吸收区伴微骨折、塌陷和新月征，往往提示局部结构不稳定^[4]，因此股骨头塌陷倾向于快速进展。

T₂WI I型信号为等或稍高信号强度(图1和图2)，ADC值相对较低，密度相对较高，因此其成分最有可能为纤维化的肉芽组织，甚至有少量钙质沉积，推测可能处于骨质吸收区的晚期阶段。因为该型与软骨下骨折相连的几率相对较低、伴随骨髓水肿范围相对较小，提示为有限性修复^[15]，预后相对较好。

本研究的局限性：第一，本研究所有病例均无病理对照，很难对骨质吸收区的信号特征做出准确的解释；第二，本研究中行DWI检查的病例仅为少数，因此提供的相关信息仍有待扩大样本量进一步研究。

综上所述，MR检出股骨头坏死骨质吸收区有良好的敏感性和极高的特异性。应仔细甄别T₂WI I型信号骨质吸收区，避免漏诊。T₂WI II型信号骨质吸收区更常伴有软骨下骨折和大量骨髓水肿，提示破坏性修复，临床应高度重视、密切观察，及时干预。

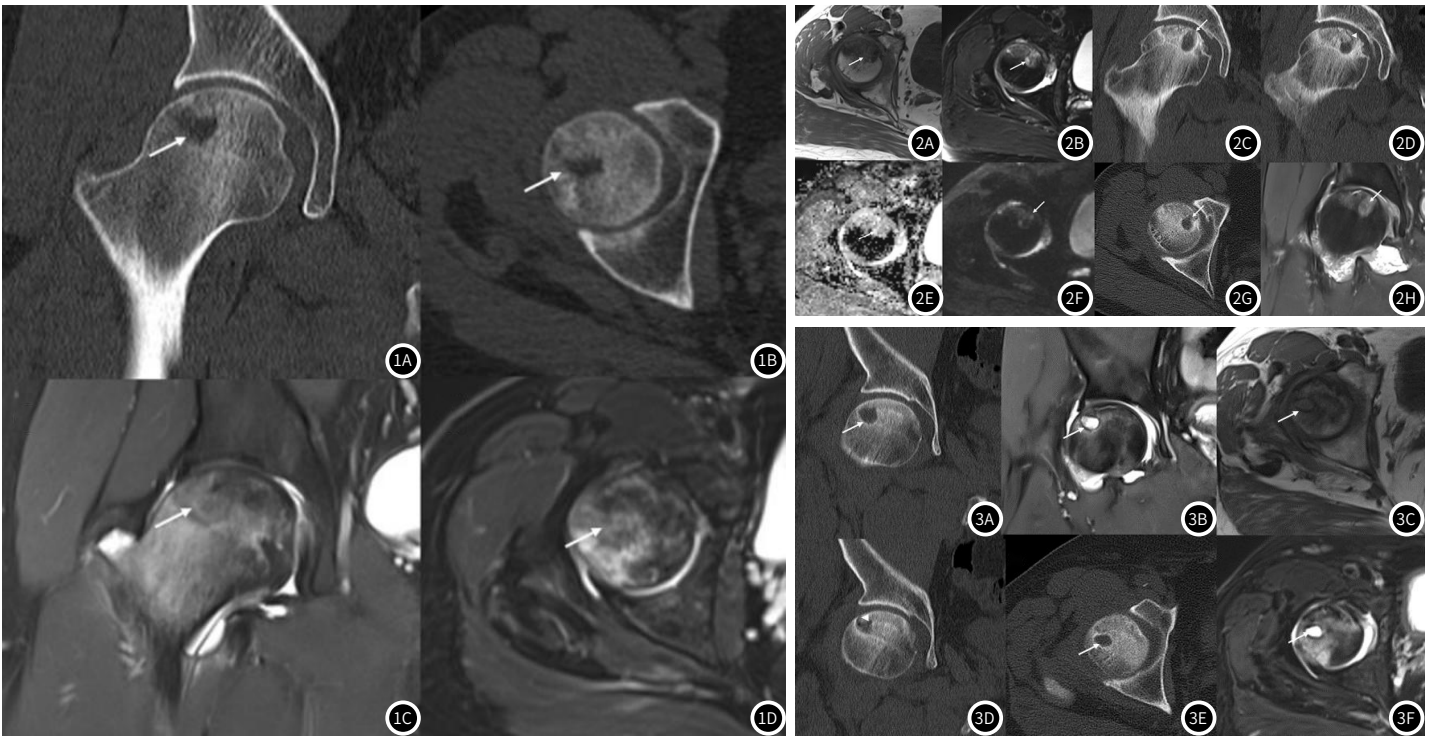


图1A-图1D MRI未发现的骨质吸收T₂WI I型信号病例；男性，31岁，右侧股骨头坏死，ARCO 2期。轴位和冠状位CT上可见明确的骨质吸收区（2019-3-26，图1A，图1B，箭头），在相应位置MR轴位FS T₂WI（2019-3-26，图1D，箭头）和冠状位PDWI（图1C，箭头）上显示为等和略高信号，与邻近骨髓水肿混淆，难以检出。

图2A-图2H 骨质吸收T₂WI I型信号病例；男性，51岁，右髋关节股骨头坏死，ARCO 3A期。右髋关节CT冠状位及轴位图像（2019-7-30，图2C，图2D，图2G），骨质吸收区呈椭圆形（图2C，箭头），形态规则，计分为0；骨质吸收与软骨下骨折相连（图2D，箭头），计分为1；骨质吸收的CT值为115HU，骨质吸收冠状位最大面积为96mm²。右髋关节MR图像（2019-8-1），骨质吸收区在T₂WI上主要为等信号（图2A，箭头，参考轴位CT图像评估（图2G，箭头）），在FS T₂WI上显示为等和略高的混杂信号（图2b，箭头），为I型信号，在DWI上为等与略高的混杂信号（图2F，箭头，b=1000），在ADC上为略高信号（图2E，箭头，与肌肉信号相比）。ADC值为 $1.941 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$ ，MR上骨质吸收区冠状位最大面积为102mm²。

图3A-图3F 骨质吸收T₂WI I型信号病例；男性，53岁，右侧股骨头坏死，ARCO3A期。右髋关节冠状位及轴位CT图像（2020-11-5，图3A，图3D，图3E），冠状位图像上骨质吸收区形态规则，计为0（图3A，箭头）；骨质吸收区与软骨下骨折相连（图3D，箭头），计分为1；骨质吸收区冠状位最大面积为50mm²，CT值为40HU。右髋关节MR图像（2020-11-14，图3B，图3C，图3F），骨质吸收区在轴位T₂WI上表现为等信号（图3C，箭头），在轴位FS T₂WI（图3F，箭头）和冠状位PDWI（图3B，箭头）表现为不均匀高信号，为T₂WI II型信号；MR上骨质吸收区冠状位最大面积为46mm²。

参考文献

- [1] 王毅. 成人股骨头缺血性坏死患者临床症状、CT与MRI影像学表现特点分析[J]. 中国CT和MRI杂志, 2021, 19(9): 176-179.
- [2] Konarski W, Poboy T, Iliwczynski A, et al. Avascular necrosis of femoral head-overview and current state of the art[J]. Int J Environ Res Public Health, 2022, 19(12): 7348.
- [3] Baba S, Motomura G, Ikemura S, et al. Quantitative evaluation of boneresorptive lesion volume in osteonecrosis of the femoral head using micro-computed tomography[J]. Joint Bone Spine, 2020, 87: 75-80.
- [4] Gao F, Han J, He Z, et al. Radiological analysis of cystic lesion in osteonecrosis of the femoral head[J]. Int Orthop, 2018; 42(7): 1615-1621.
- [5] 史册, 杨学东, 罗萍, 等. 股骨头坏死ARCO2期CT征象对新发骨质吸收区预测值分析[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21(5): 148-150, 156.
- [6] 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.
- [7] 中国医师协会骨科医师分会显微修复工作委员会, 中国修复重建外科专业委员会骨缺损及骨坏死学组, 医学会骨科分会显微修复学组. 成人股骨头坏死临床诊疗指南(2016)[J]. 中华骨科杂志, 2016, 36(15): 945-954.
- [8] Yoon BH, Mont MA, Koo KH, et al. The 2019 revised version of association research circulation osseous staging system of osteonecrosis of the femoral head[J]. J Arthroplasty, 2020, 35: 933-940.
- [9] 孙伟, 李子荣. 2019国际骨循环研究协会股骨头坏死分期[J]. 中华骨科杂志, 2020, 40(13): 889-892.
- [10] Shi S, Luo P, Sun L, et al. Prediction of the progression of femoral head collapse in ARCO stage 2-3A osteonecrosis based on the initial bone resorption lesion[J]. Br J Radiol, 2021, 94(1117): 20200981.
- [11] Meier R, Kraus TM, Schaeffeler C, et al. Bone marrow oedema on MR imaging indicates ARCO stage 3 disease in patients with AVN of the femoral head[J]. Eur Radiol, 2014, 24(9): 2271-2278.
- [12] 黄振国, 张雪哲, 王武, 等. 股骨头缺血性坏死的MRI表现与病理对照分析[J]. 临床放射学杂志, 2008, 27(6): 817-820.
- [13] Vande Berg B, Maighem J, Labaisse MA, et al. Avascular necrosis of the hip: comparison of contrast-enhanced and nonenhanced MR imaging with histologic correlation. Work in progress[J]. Radiology, 1992, 182(2): 445-450.
- [14] Murphey MD, Foreman KL, Klassen-Fischer MK, et al. From the radiologic pathology archives imaging of osteonecrosis: radiologic-pathologic correlation[J]. Radiographics, 2014, 34(4): 1003-1028.
- [15] Plenck H, Gstettner M, Grossschmidt K, et al. Magnetic resonance imaging and histology of repair in femoral head osteonecrosis[J]. Clin Orthop Relat Res, 2001(386): 42-53.

(收稿日期: 2023-02-21)
(校对编辑: 孙晓晴)