

## 综述

## 磁共振成像技术在布氏杆菌性脊柱炎诊断的研究进展\*

李宇璞<sup>1,2</sup> 张永明<sup>1</sup> 赵鹏飞<sup>3</sup>  
乔鹏飞<sup>3,\*</sup>

1.准格尔旗中心医院(内蒙古鄂尔多斯010399)

2.内蒙古医科大学第一临床医学院

(内蒙古呼和浩特010059)

3.内蒙古医科大学附属医院影像诊断科

(内蒙古呼和浩特010050)

【摘要】布氏杆菌性脊柱炎，是布鲁氏菌入侵人体引起的一种感染性的脊柱疾病，其潜在的致残风险，使得早期诊断在临床实践中显得尤为关键。目前，该疾病的诊断主要依赖于实验室检测和影像学检查，但鉴于X线和CT在诊断布氏杆菌性脊柱炎时存在局限性，磁共振成像技术已逐渐成为首选的诊断方法。近年来，功能磁共振技术在该疾病的诊断和治疗评估中展现出很大的优势，其不仅能够提供关于疾病的病理生理信息，而且作为一种无创的非侵入性诊断工具，具有广泛的应用前景。此外，影像组学这一新兴技术的出现，也为该疾病诊断带来了新的前景。因此，本文旨在系统综述磁共振成像技术在布氏杆菌性脊柱炎诊断领域的最新应用进展。

【关键词】布氏杆菌性脊柱炎；  
诊断；功能磁共振成像；影像组学

【中图分类号】R445.2

【文献标识码】A

【基金项目】内蒙古医科大学附属医院院级  
科研项目(2023NYFYPY007)；  
内蒙古自治区自然科学基金青年  
基金项目(2023QN08044)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2026.01.054

## Research Progress on the Use of Magnetic Resonance Imaging for Diagnosing Brucella Spondylitis\*

Li Yu-pu<sup>1,2</sup>, ZHANG Yong-ming<sup>1</sup>, ZHAO Peng-fei<sup>3</sup>, QIAO Peng-fei<sup>3,\*</sup>.

1.Zhungeer Banner Central Hospital, Erdos 010399, Inner Mongolia, China

2.The First Clinical Medical School, Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010059, Inner Mongolia, China

3.Department of Diagnostic Imaging, Inner Mongolia Medical University Hospital, Hohhot 010050, Inner Mongolia, China

## ABSTRACT

Brucella spondylitis is an infectious spinal disease caused by the invasion of brucella bacteria. Its potential for severe disability makes early diagnosis particularly critical in clinical practice. Currently, the diagnosis of this disease primarily relies on laboratory tests and imaging studies. However, due to the limitations of X-rays and CT in diagnosing brucella spondylitis, magnetic resonance imaging (MRI) has gradually become the preferred diagnostic method. In recent years, functional MRI has demonstrated significant advantages in the diagnosis and treatment assessment of this disease. It not only provides valuable pathophysiological information but also holds broad prospects as a non-invasive diagnostic tool. Additionally, the emergence of radiomics, an innovative technology, has opened new prospects for the diagnosis of this disease. Therefore, this paper aims to systematically review the latest advancements in the application of magnetic resonance imaging in the diagnosis of brucella spondylitis.

**Keywords:** Brucellosis spondylitis; Diagnosis; Functional magnetic resonance imaging; Radiomics

布鲁氏菌病是由布鲁氏菌感染引起的一种人畜共患传染病，广泛分布于全球。据世界卫生组织报告，每年新增病例超过50万例<sup>[1-2]</sup>。布鲁氏菌进入血液后，可能累及多个器官，导致临床症状多样且缺乏特异性，如发热、多汗、肌肉骨骼疼痛及肝脾肿大等。骨关节受累是布鲁氏菌病最常见的并发症之一，而布鲁氏菌性脊柱炎(Brucella spondylitis, BS)则是其中最严重的形式，不仅严重影响患者生活质量，还是致残的主要原因<sup>[3]</sup>。

早期诊断BS非常重要，不仅可以有效控制疾病进展、缩短治疗周期，并预防脊柱畸形和神经功能损伤<sup>[4]</sup>。而确诊BS通常需要穿刺活检<sup>[5]</sup>，但这种方法在临床实施中存在困难。初步诊断往往依赖于患者的临床表现和影像学检查。然而，脊柱感染性疾病在常规影像学中的表现相似，导致鉴别诊断困难，误诊率较高。因此，准确诊断对于制定合适的治疗方案至关重要。

由于MRI具有卓越的软组织分辨率，成为脊柱感染性疾病首选的影像学检查方法。此外，许多新型MRI成像技术已广泛应用于全身疾病的诊断。尽管这些技术在脊柱感染性疾病中的应用尚在探索阶段，但它们为区分脊柱感染性疾病提供了新的可能性。本文综述了功能磁共振成像技术及影像组学在BS诊断中的应用现状和进展，旨在为临床早期诊断和及时治疗提供指导。

## 1 常规MRI

MRI凭借其多方位、多序列成像以及优异的软组织分辨率，已成为脊柱感染性疾病的首选检查方法。该技术在早期诊断中具有较高的敏感性，能够清晰显示周围软组织及硬膜外的解剖结构，包括椎间盘、脊髓和神经根等<sup>[6]</sup>。

在MRI影像中，BS的典型特征包括椎体炎症、骨质破坏、椎间盘改变、椎旁软组织病变及脓肿形成。李会侠<sup>[7]</sup>通过对BS患者的MRI图像进行分析后发现，布鲁氏菌可以侵犯脊柱的各个位置，尤其以腰椎受累最为多见，且可累及多个节段。受累椎体的形态多正常，仅有少数椎体出现轻度楔形变。但椎间盘多受累，椎间隙无明显变窄或者轻度变窄，这可能是由于椎间盘破坏的同时伴有纤维组织增生导致的。此外，椎旁脓肿是BS的一个重要特征，通常范围局限，不超过相邻上下椎体水平。景赞杭<sup>[8]</sup>分析了不同分期BS患者的MRI表现，发现急性期患者椎体形态正常或仅有轻微骨质破坏，病变以炎性充血为主，MRI表现为长T1、长T2信号；亚急性期则呈现骨质破坏与增生并存，椎体信号复杂；慢性期患者的椎体呈现菜花样改变，伴有显著的骨质增生和硬化，但无明显骨质破坏，信号呈混杂状态。对于椎间盘受累的情况，李会侠的研究中37例患者有椎间盘受累，但椎间隙狭窄较少见；而景赞杭的研究则表明BS患者椎间盘受累较为罕见。两者研究有所差异，这可能与样本量较小及单中心研究有关。

尽管BS的MRI表现具有一定特征性，但与其他脊柱感染性疾病(如脊柱结核)的影像表现有重叠，可能导致误诊<sup>[9]</sup>。因此，BS的诊断需要结合病史及实验室检查。常规MRI在治疗前后可能无法准确反映病变的变化，目前多种新型技术正在探索BS的诊断和疗效

【第一作者】李宇璞，男，硕士研究生，主要研究方向：布氏杆菌性脊柱炎磁共振成像。E-mail: 597588545@qq.com

【通讯作者】乔鹏飞，男，主任医师，主要研究方向：磁共振成像。E-mail: qpfff@126.com

评估。已有研究者将功能磁共振成像应用于BS诊断, 这些方法能够提供更丰富的病变信息, 有助于深入理解其病理生理过程, 从而提高诊断的准确性和敏感性。

## 2 动态对比增强磁共振成像(dynamic contrast enhanced magnetic resonance imaging, DCE-MRI)

DCE-MRI技术通过定量分析血流灌注情况和药物代动力学模型计算对比剂相关的微循环参数, 从而监测血管动态的生理信息<sup>[10-11]</sup>。主要扫描参数包括:  $V_p$ (单位体积组织内血浆的体积)、 $V_e$ (血管外细胞间隙容积)、 $K_{ep}$ (单位时间内对比剂从组织间隙进入血管的量)、 $K^{trans}$ (血管渗透性)。这些参数为评估组织生理特性提供了重要依据。

李秋实<sup>[12]</sup>对56例BS患者的回顾性分析发现, 早期病变组与健康椎体在 $V_p$ 、 $V_e$ 、 $K_{ep}$ 、 $K^{trans}$ 值之间存在显著差异。牛衡<sup>[13]</sup>研究进一步指出, BS早期病变椎体的 $K^{trans}$ 和 $K_{ep}$ 值显著增高, 而 $V_e$ 值变化不明显。赵鹏飞<sup>[14]</sup>则对DCE-MRI在鉴别BS、脊柱结核及脊柱转移瘤中的应用进行探讨, 发现 $K^{trans}$ 、 $K_{ep}$ 和 $V_p$ 值在这三种疾病中呈现一致规律: 脊柱转移瘤数值最高, 其次是BS, 脊柱结核最低; 相反,  $V_e$ 值则显示脊柱转移瘤最低, 脊柱结核居中, 而BS最高。此外, 赵鹏飞<sup>[15]</sup>对30例急性期BS患者在治疗前后进行了DCE-MRI定量参数测量, 治疗后 $K^{trans}$ 和 $K_{ep}$ 值显著降低。

BS的病理特征主要为肉芽肿形成, 且缺乏上皮样外观。病变椎体内新生血管的增加伴随血管内皮细胞的损伤, 导致血浆体积减少、血管外细胞间隙增大和渗透性增强, 从而表现为 $K_{ep}$ 、 $K^{trans}$ 值升高和 $V_p$ 值降低。在BS早期, 由于骨质修复速度快于骨质破坏,  $V_e$ 值变化不明显<sup>[13-14]</sup>。 $K^{trans}$ 和 $K_{ep}$ 反映了血管通透性及内皮细胞损伤程度, 并呈逆向关系。治疗后, 内皮细胞间隙变窄, 通透性改善, 对比剂的交换能力减弱, 病变处微环境得以改善,  $K^{trans}$ 和 $K_{ep}$ 值显著降低<sup>[15]</sup>。

总的来说, DCE-MRI通过监测病变区域的血流灌注和血管通透性变化, 为脊柱感染性疾病的诊断提供了更精确的信息。它在BS疾病的诊断和治疗效果评估中显示了巨大的潜力, 尤其是在早期检测和改善脊柱感染性疾病预后方面具有广阔的应用前景。

## 3 体素内不相干运动扩散加权成像(intravoxel incoherent motion, IVIM)

Le Bihan等在20世纪80年代提出IVIM<sup>[16]</sup>。IVIM是一种用于描述体素微观运动的成像方法, 能够定量测量体内纯水分子的扩散和微循环灌注信息, 而无需使用对比剂。它主要通过高扩散加权分析非高斯扩散, 增强了组织特征检测的灵敏度。目前, IVIM已成功应用于肿瘤的鉴别诊断、病理分级、微血管浸润评估和治疗反应评价, 弥补了传统DWI的不足<sup>[17]</sup>。

IVIM技术通过测量扩散系数(D值)、假性扩散( $D^*$ 值)及灌注分数(f值), 捕捉活体组织中的扩散和灌注信息。这使得IVIM能够揭示病变中已存在的骨髓水肿或其他细微的病理改变, 特别是在感染早期MRI图像上未见明显的骨髓水肿信号时, 显示出其不可替代的诊断价值<sup>[18]</sup>。吴慧<sup>[19]</sup>纳入了34例BS患者和31例脊柱结核患者, 均进行了IVIM扫描, 并测量了病变区域的单指数模型参数、双指数模型参数及拉伸指数模型参数。研究发现, BS的 $D^*$ 值和f值高于脊柱结核, 其中 $D^*$ 值具有统计学意义, 而f值则无显著差异。这一结果可以解释为, 脊柱结核以干酪样坏死为主, 结核分枝杆菌分泌大量酶类, 严重破坏椎体骨质, 且不伴有新生血管形成, 导致水分子扩散受限程度更严重。相对而言, BS表现为肉芽肿性炎, 骨质破坏与增生并存, 且增生修复明显。这种病理改变导致大量新生血管形成, 且新生血管内皮不完整, 形成高灌注的微环境。因此, BS的 $D^*$ 值和f值高于脊柱结核。

此外, 赵鹏飞<sup>[15]</sup>的研究应用DCE-MRI联合IVIM定量参数评估BS急性期治疗效果。结果显示急性期BS患者经过3个月治疗后, 临床症状显著缓解, IVIM定量参数D值治疗后有所增加。D值作为水分子扩散程度的反映, 增大意味着水分子扩散速度加快, 细胞密度降低。这表明治疗后, BS的病理生理改变开始逆转, 水分子扩散运动逐渐改善, 从而D值升高。

虽然IVIM技术在疾病早期诊断、病理生理状态评价以及脊柱炎症疗效评估中展现了重要潜力, 但仍存在一些局限性。IVIM技术作为多b值成像技术, 其扫描时间较长, 可能导致患者耐受困难。此外, 目前关于IVIM分析的最佳扫描参数、b值的最佳数目和区间尚无共识, 这限制了其临床应用的准确性和可靠性。未来的研究应致力于优化IVIM扫描参数, 缩短扫描时间, 以提高患者的耐受性和检查的可行性。

## 4 T2-Mapping

T2 mapping技术是一种定量成像方法, 通过描述组织中氢质子的横向弛豫时间衰减, 反映水分子含量的变化。该技术通过对图像中每个像素进行后处理, 可以生成直观的伪彩图, 从而揭示组织特性和病理状态。目前, T2 mapping主要用于量化病理变化、监测疾病进展, 并成为诊断早期软骨退变、评估退变程度及监测术后软骨修复的重要非侵入性生物标志物<sup>[20]</sup>。

布鲁氏菌感染椎体通常始于椎体终板前端, 导致椎体水肿, 并可能对邻近组织造成不同程度的损害。有时, 感染还可能累及腰大肌, 形成局限性脓肿。脊柱炎性病变引起椎体水肿和椎旁脓肿, 进而导致水质子的布朗运动增加, 这通过T2值的升高来反映。一项针对骶髂关节炎的研究<sup>[21]</sup>发现, 炎性细胞浸润、肌肉水肿、脂肪浸润和纤维化等因素都会潜在影响T2值。

一项前瞻性研究<sup>[22]</sup>探讨了常规MRI和T2 mapping在定量鉴别BS与脊柱结核中的应用。研究显示, BS和脊柱结核病变椎体的T2值均高于正常对照组, 且BS病变椎体的T2值明显高于脊柱结核组。这主要是由于布鲁氏菌感染引发的炎症反应和水肿, 导致细胞外水含量增加, 损伤部位出现充血水肿和椎旁脓肿, 从而使T2弛豫时间延长。相比之下, 脊柱结核的炎症反应更为迅速, 蛋白酶的作用导致对椎体和椎间盘的破坏更严重, 使T2弛豫时间缩短。

T2 mapping技术在BS的定量诊断中展现了巨大的潜力, 通过检测组织水分子含量的变化来揭示早期生理和形态学变化, 并间接反映组织结构和病理生理状况。然而, 由于BS病程发展的不同阶段可能伴随不同的病理生理改变, 这些变化会影响水分子含量的变化, 未来的研究需要深入探讨BS病程发展与T2值变化之间的关系。

## 5 弥散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)

DTI是一种非侵入性成像方法, 可以提供关于组织微观结构的重要信息。该技术通过测量水分子在生物组织中不同方向的运动能力, 生成水分子运动的三维图像。DTI的扫描参数包括各向异性分数(FA)、平均扩散系数(MD)和轴向扩散系数(AD)等<sup>[23]</sup>。

近年来, DTI在评估关节炎患者病变程度和组织结构变化方面展现了显著优势。通过分析关节组织内水分子的扩散特性, 可以更直观了解关节炎对组织的影响, 并进一步评估治疗效果。吴朋等<sup>[24]</sup>测量了53例不同分期的BS患者治疗前的ADC值和FA值。数据显示, 与健康对照组相比, 病变组椎体的ADC值偏高, 而FA值偏低。经过治疗后, 急性期患者的FA值可以恢复到正常水平, 但慢性期患者的FA值尽管有所上升, 仍难以达到正常水平。杨昱<sup>[25]</sup>发现急性期、亚急性期和慢性期BS患者在治疗前、治疗后6个月及治疗后12个月的ADC值逐渐降低, 而FA值则明显升高。刘远高<sup>[26]</sup>研究了不同程度脊髓神经型BS的DTI特性, 结果表明ADC值与脊髓神经型BS严重程度呈正相关, FA值与其严重程度呈负相关。李彩<sup>[27]</sup>研究证实, ADC和FA值可以较为准确地评估不同分期BS患者椎间盘的病理变化。

布鲁氏菌侵入血液后, 会影响椎体并破坏骨细胞的结构和功能。此过程中, 细胞外基质逐渐增多, 软骨终板细胞发生变性和水肿, 水分子在组织中的自由扩散运动变得更加活跃, 表现为ADC值的升高。同时, 骨小梁及细胞外基质中的胶原纤维排列遭到破坏, 蛋白多糖含量减少。这些因素共同导致水分子在组织中的扩散运动失去方向性, 使各向异性分数增加, 表现为FA值降低。随着病情加重, 神经纤维中的水分子运动也发生了变化。原本呈椭圆轨迹的水分子运动逐渐转变为圆形纤维束, 使水分子在

各方向上的运动趋于一致,即各向同性增加<sup>[26]</sup>。此外,神经根受压会导致水肿和变形,增加细胞膜的通透性,进一步促进水分子扩散。BS骨质破坏与修复过程并存,在疾病恢复期,受损的软骨细胞逐渐恢复正常,水肿消退,细胞外基质的胶原纤维也得到修复。这些修复过程使ADC值降低,而FA值则相应升高。

DTI技术在BS的诊断、分期和疗效评估等方面展现出独特的价值。尽管DTI在关节疾病领域的应用尚处于发展阶段,并且需要进一步研究,但它提供了一种非侵入性的方法,可以获取组织微结构和功能的重要信息,有助于更好地理解BS的病理机制和指导治疗策略的制定。

## 6 影像组学

随着人工智能技术的发展,影像组学作为一个蓬勃发展的研究领域,正逐步成为量化影像图像数据以及辅助疾病诊疗的革新手段。影像组学旨在从标准医学影像图像中提取定量的、理想的、可重复的信息,包括人眼难以识别或量化的复杂模式,并基于此开发新的标志物,可以作为临床决策工具,提高疾病诊断、预后的准确性<sup>[28-29]</sup>。

影像组学的应用已经扩展到临床医学的多个领域,如肿瘤、神经和心血管疾病等。近年来,它在脊柱疾病的诊断和鉴别诊断中也发挥了重要作用。排尔哈提等<sup>[30]</sup>利用影像组学方法,从26例BS患者和26例化脓性脊柱炎患者的MRI图像中提取了1500个特征,并筛选出7个重要影像组学特征。他们建立了临床特征模型、影像组学评分模型以及临床特征-影像组学评分模型,其中临床特征-影像组学评分模型在鉴别这两种疾病中表现最佳。研究发现,一阶特征中的偏度在识别炎性骨髓水肿方面具有重要作用,而脊柱感染性病在压脂图像上的高信号表现为提取多体素特征提供了可能性。因此,将影像特征与临床因素结合,能够进一步提升模型的鉴别效能。同样何雄<sup>[31]</sup>则采用传统组学方法,收集了34例经临床和实验室确诊的BS患者和77例脊柱结核患者,通过基于T1WI图像的特征提取,并经过LASSO降维后获得了8个特征。他们建立了机器学习模型,这些模型在两种疾病的诊断中展现了较高的效能,且其中的逻辑回归模型具有更好的稳定性。王文辉等<sup>[32]</sup>构建了机器学习模型,探讨影像组学在脊柱结核与BS鉴别诊断中的应用。他们从T2加权脂肪抑制图像中提取了影像组学特征,并建立了影像组学模型以及结合临床信息的混合模型。结果显示,联合模型的诊断效能优于单一模型。

这些研究表明,影像组学在BS诊断领域具有巨大的潜力。然而,由于BS是一种地方病,病例来源受地域限制,现有研究的样本量相对较小。为了进一步提高预测模型的可靠性,扩大样本量至关重要,同时需要纳入多中心数据,以增强模型的泛化能力。构建多模态组学模型和深度学习模型是诊断和鉴别BS的新发展方向。

## 7 总结与展望

临床诊断BS,主要通过结合患者症状分析、血化验结果、影像学检查,而常规磁共振功能成像,缺乏特异性,有时形态学上变化并不明显,目前对骨肌系统受损情况的评价也缺乏一定研究。因此,有必要使用功能磁共振成像对BS受累的椎体MRI征象进行更深入和全面的量化。DCE-MRI可以捕捉病理生理改变以及血管生成的形态和功能成像。IVIM可以定量测量生物体内纯水分子扩散和微循环灌注的相关信息。DTI能够较早敏感地检测软骨细胞和椎间盘胶原纤维束的变化。T2 Mapping能在早期检测到组织分子水平的变化。这些技术有助于提高诊断BS的客观性及可靠性。但是也存在一定局限性,比如DCE-MRI需要注射对比剂,IVIM序列的扫描时间长,b值没有明确的统一。而影像组学这一新技术,利用数据,通过构建机器学习模型,也显示出对BS有较好诊断效能,其优点是微创、准确,是未来诊断BS最具潜力的技术。正是这些技术的出现,为BS患者的早期诊断、分期、精确化治疗提供了可能,具有重要的意义。

## 参考文献

[1] Serafino A, Marin Franco JL, Maio M, et al. *Brucella abortus* RNA does not

- polarize macrophages to a particular profile but interferes with M1 polarization[J]. *PLoS Negl Trop Dis*, 2022, 16(11): e010950.
- [2] Zeinali M, Doosti S, Amiri B, et al. Trends in the epidemiology of brucellosis cases in Iran during the last decade[J]. *Iran J Public Health*, 2022, 51(12): 2791-2798.
- [3] Jiang W, Chen J, Li Q, et al. Epidemiological characteristics, clinical manifestations and laboratory findings in 850 patients with brucellosis in Heilongjiang Province, China[J]. *BMC Infect Dis*, 2019, 19(1): 439.
- [4] Abulizi Y, Cai X, Xu T, et al. Diagnosis and surgical treatment of human Brucellar spondylodiscitis[J]. *J Vis Exp*, 2021, (171): 10.3791/61840.
- [5] Unuvar GK, Kilic AU, Doganay M. Current therapeutic strategy in osteoarticular brucellosis[J]. *North Clin Istanb*, 2019, 6(4): 415-420.
- [6] 陈巧菊, 陈园园, 赵南南. 磁共振成像用于诊断小儿脑瘫的临床评价[J]. *罕见疾病杂志*, 2025, 32(7): 36-38.
- [7] Li HX, Wang Q, Zhang JZ, et al. Clinical value of MRI in the diagnosis of Brucellosis spondylitis[J]. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi*, 2019, 99(37): 2935-2938.
- [8] 景赞抗, 刘青, 贾燕龙, 等. MRI在不同临床分期布氏杆菌性脊柱炎患者中的表现及应用价值[J]. *临床医学研究与实践*, 2020, 5(32): 133-135.
- [9] Hammami F, Koubaa M, Feki W, et al. Tuberculous and Brucellar spondylodiscitis: comparative analysis of clinical, laboratory, and radiological features[J]. *Asian Spine J*, 2021, 15(6): 739-746.
- [10] Saha A, Peck KK, Karimi S, et al. Dynamic contrast-enhanced mr perfusion: role in diagnosis and treatment follow-up in patients with vertebral body tumors[J]. *Neuroimaging Clin N Am*, 2023, 33(3): 477-486.
- [11] 熊春梅. 多模态MR成像技术在骨肌系统布鲁氏菌病诊断中的价值[D]. 山东大学, 2022.
- [12] 李秋实, 杨洁. 动态增强磁共振定量分析在布氏杆菌性脊柱炎诊断中的应用价值[J]. *临床医学工程*, 2022, 29(06): 745-746.
- [13] 牛衡, 高阳, 乔鹏飞, 等. 定量动态增强MRI对布氏杆菌性脊柱炎诊断及早期诊断的价值[J]. *中华放射学杂志*, 2017, 51(6): 437-440.
- [14] 赵鹏飞, 高阳, 乔鹏飞, 等. 动态对比增强MRI定量分析在布氏杆菌性脊柱炎、脊柱结核和脊柱转移瘤鉴别诊断中的价值[J]. *中华放射学杂志*, 2017, 51(3): 197-201.
- [15] 赵鹏飞, 贺红兵, 王浩华, 等. DCE-MRI联合IVIM定量参数在布氏杆菌性脊柱炎治疗评价中的应用[J]. *磁共振成像*, 2023, 14(12): 72-77.
- [16] Yin P, Xu J, Sun X, et al. Intravoxel incoherent motion and dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging for neoadjuvant chemotherapy response evaluation in patients with osteosarcoma[J]. *Eur J Radiol*, 2023, 162: 110790.
- [17] Park S, Kwack KS, Chung NS, et al. Intravoxel incoherent motion diffusion-weighted magnetic resonance imaging of focal vertebral bone marrow lesions: initial experience of the differentiation of nodular hyperplastic hematopoietic bone marrow from malignant lesions[J]. *Skeletal Radiol*, 2017, 46(5): 675-683.
- [18] Liu L, Zhou Z, Hua S, et al. Detection of the disease activity with ankylosingspondylitis through intravoxel incoherent motion diffusion-weighted MR imaging of sacroiliac joint[J]. *Br J Radiol*, 2022, 95(1133): 20211074.
- [19] 吴慧, 高阳, 刘换师, 等. 单双指数及拉伸指数模型在鉴别布氏杆菌性脊柱炎与脊柱结核中的价值[J]. *磁共振成像*, 2019, 10(11): 835-839.
- [20] Iwata S, Eguchi Y, Takaoka H, et al. MRI T2-mapping of lumbar facet joints is effective for quantitative evaluation of lumbar instability in patients with degenerative lumbar disorders[J]. *Eur Spine J*, 2022, 31(6): 1479-1486.
- [21] Wang D, Yin H, Liu W, et al. Comparative analysis of the diagnostic values of T2 mapping and diffusion-weighted imaging for sacroiliitis in ankylosingspondylitis[J]. *Skeletal Radiol*, 2020, 49(10): 1597-1606.
- [22] Huang R, Yang H, Chen L, et al. T2 mapping and fat quantification of lumbar paraspinal muscle in ankylosing spondylitis: a case control study[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2022, 23(1): 614.
- [23] Hao X, Liu Z, He S, et al. Application of DTI and fMRI in moyamoya disease[J]. *Front Neurol*, 2022, 13: 948830.
- [24] Wu P, Zhang YJ, Guo HB, et al. Values of apparent diffusion coefficient and fractional anisotropy in the diagnosis of Brucella spondylitis[J]. *Zhongguo Yi Xue Ke Xue Yuan Xue Bao*, 2020, 42(2): 154-163.
- [25] 杨昱, 高纪称, 魏功华, 等. MR弥散张量成像诊断不同分期布氏杆菌性脊柱炎椎间盘改变患者临床价值[J]. *临床军医杂志*, 2019, 47(9): 982-984.
- [26] 刘远高, 李昌松, 付哲祥, 等. 不同程度脊髓神经型布鲁菌性脊柱炎的磁共振DTI图像特点及其临床意义研究[J]. *中国医学装备*, 2020, 17(5): 113-117.
- [27] 李彩. 磁共振联合弥散张量成像诊断布氏杆菌性脊柱炎的效果[J]. *临床研究*, 2023, 31(04): 126-128.
- [28] 占斌, 陈书尚, 柯清仙, 等. 基于多中心回顾性队列构建预测临床显著性前列腺癌的贝叶斯网络模型[J]. *罕见疾病杂志*, 2025, 32(9): 164-167.
- [29] Lafata KJ, Wang Y, Konkol B, et al. Radiomics: a primer on high-throughput image phenotyping[J]. *Abdom Radiol (NY)*, 2022, 47(9): 2986-3002.
- [30] 排尔哈提·亚生, 亚森·依米提, 木拉提·买尔旦, 等. MRI影像组学特征联合临床特征鉴别布氏杆菌性脊柱炎和化脓性脊柱炎[J]. *中华骨科杂志*, 2023, 43(18): 1223-1232.
- [31] 何雄, 陈艳丽, 帕哈提·吐逊江, 等. MR T1WI影像组学对结核性脊柱炎与布鲁菌性脊柱炎的鉴别价值[J]. *分子影像学杂志*, 2023, 46(3): 442-447.
- [32] Wang W, Fan Z, Zhen J. MRI radiomics-based evaluation of tuberculous and Brucella spondylitis[J]. *J Int Med Res*, 2023, 51(8): 3000605231195156.

(收稿日期: 2024-09-12)

(校对编辑: 韩敏求)