

基于MRI鉴别诊断结核性与化脓性脊柱炎的研究进展与模型分析

杨路兵¹, 罗嘉全²

¹赣南医科大学第一临床医学院, 江西 赣州

²赣南医科大学第一附属医院骨科, 江西 赣州

收稿日期: 2025年11月4日; 录用日期: 2025年11月29日; 发布日期: 2025年12月8日

摘要

结核性脊柱炎和化脓性脊柱炎的临床表现比较类似, 但是它们的治疗策略以及预后差别很大, 所以, 临床医生要尽早而且精确地鉴别诊断这两种病, 这是一项关键性的难点任务。磁共振成像有着很强的软组织分辨能力, 所以它成了考量脊柱炎性病变时最为理想的一种医学成像技术, 这篇综述希望全面整理依靠MRI影像学特点来形成结核性脊柱炎和化脓性脊柱炎区别诊断模型的相关研究动态。近些年来, 伴随着人工智能技术不断向前迈进, 依托MRI的影像组学以及深度学习模型渐渐成为研究热点, 这些模型可以高效率地获取并剖析人眼不易察觉到的深层次影像特征, 进而塑造起客观又具量化性质的判断工具, 相关研究显示, 这种先进的模型在辨别这两种病症的时候, 其准确率、灵敏度和特异度均表现出大幅的优势, 甚至超过了放射科医生日常的判别水准, 由此得出的结论表明, 把传统影响特征同人工智能技术结合在一起的区分诊断模型属于做到精准区分的重要发展走向, 日后的研究应当着眼于大规模、多中心的外部验证工作, 促使该模型深入到临床指标当中去, 从而加快其朝着临床应用方向前进的步伐。

关键词

MRI, 结核性脊柱炎(TS), 化脓性脊柱炎(PS)

Research Progress and Model Analysis of Differential Diagnosis between Tuberculous and Pyogenic Spondylitis Based on MRI

Lubing Yang¹, Jiaquan Luo²

¹The First Clinical Medical School of Gannan Medical University, Ganzhou Jiangxi

²Department of Orthopedics, The First Affiliated Hospital of Gannan Medical University, Ganzhou Jiangxi

Received: November 4, 2025; accepted: November 29, 2025; published: December 8, 2025

Abstract

The clinical manifestations of tuberculous spondylitis and pyogenic spondylitis are quite similar; however, their treatment strategies and prognoses differ significantly. Therefore, it is a crucial and challenging task for clinicians to achieve early and accurate differential diagnosis of these two conditions. Magnetic resonance imaging (MRI), with its strong soft tissue resolution, has become the ideal medical imaging technique for evaluating spinal inflammatory lesions. This review aims to comprehensively summarize the current research landscape regarding differential diagnosis models for tuberculous spondylitis and pyogenic spondylitis based on MRI characteristics. In recent years, with the continuous advancement of artificial intelligence (AI) technology, MRI-based radiomics and deep learning models have gradually become research hotspots. These models can efficiently extract and analyze subtle, deep-level imaging features that are difficult to discern with the naked eye, thereby establishing objective and quantitative diagnostic tools. Relevant studies have shown that such advanced models demonstrate significant advantages in distinguishing between these two diseases in terms of accuracy, sensitivity, and specificity, even surpassing the diagnostic performance of radiologists in routine practice. Consequently, the findings indicate that integrating traditional imaging features with AI technology to create differential diagnosis models represents a major development direction for achieving precise differentiation. Future research should focus on large-scale, multi-center external validation to integrate these models into clinical practice guidelines, thereby accelerating their translation into clinical applications.

Keywords

Magnetic Resonance Imaging, Tuberculous Spondylitis, Pyogenic Spondylitis

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

1.1. 脊柱感染概述

脊柱感染属于感染性疾病，这种疾病可能影响椎体，椎间盘，椎旁软组织，脊髓等部位[1]。它的病原学非常复杂，可以由细菌(比如化脓菌)，结核分枝杆菌，真菌等多种微生物引发，按照感染的特性来划分，脊柱感染包含化脓性脊柱炎(pyogenic spondylitis, PS)，结核性脊柱炎(tuberculous spondylitis, TS)以及其他特异性感染[1]。化脓性脊柱炎大多是由细菌感染造成的，结核性脊柱炎则是结核分枝杆菌感染的结果[2]，近些年来，因为免疫抑制患者增多，结核病泛滥以及全球社会经济不稳定等因素，脊柱感染的发病率呈增长态势[1][3]。脊柱感染若想得到良好疗效，尽早判断并实施治疗十分关键，一旦诊治迟缓就有可能产生严重并发症，诸如瘫痪，脊髓受压乃至威胁性命的情况[3][4]。脊柱感染存在多种类型，这体现在病原学方面，发病部位以及临床症状上，所以给判断与治疗带来诸多难点，也是重要的公共卫生难题[4]。后面将会重点论述怎样凭借 MRI 技术，参考临床及实验室资料创建有效的区别判断模型，以此提升结核性脊柱炎和化脓性脊柱炎的判断精准度，进而优化患者的预后状况。

1.2. 结核性脊柱炎与化脓性脊柱炎的临床困境

脊柱感染包含脊椎炎，椎间盘炎以及脊椎间盘炎等多种病症，其病因较为繁杂，其中涉及化脓性，

肉芽肿性感染。随着免疫抑制现象的发生，结核病的肆虐以及 HIV 的蔓延，再加上全球社会经济状况的起伏波动，脊柱感染的发病率逐步提升[1]。结核性脊柱炎(TS)和化脓性脊柱炎(PS)属于两种较为常见的脊柱感染类型，它们在临床上的表现存在一定的相似性且缺乏特异性，这便给早期判断和区分判断造成了很大的难题：(a) 临床表现存在相似性与非特异性特征，早期症状具有隐匿性，全身症状缺乏特异性，实验室指标存在局限性，(b) 诊断存在延误情况，鉴别诊断较为艰难，这种情况源于影像学表现出现重叠现象，微生物学诊断遭遇困难，临床决策陷入困境，(c) 诊断存在延误风险，如果诊断和治疗有所延误，就有可能加重神经功能障碍的情况，甚至造成长期性的神经功能缺失[5]。当脊髓遭受压迫，脊柱变得不稳定或者出现严重畸形时，这就成为施行手术治疗的明确依据[6]。结核性脊柱炎与化脓性脊柱炎在临床表现上存在相似性与非特异性特征，因而引发诊断延误及鉴别诊断困难，怎样借助 MRI 影像学技术来优化诊断准确性并尽快制定个体化治疗方案，已成为当前临床迫切需要解决的问题。

1.3. MRI 在脊柱感染诊断中的关键作用

脊柱感染包含椎体炎，椎间盘炎，椎体间盘炎等等，从病原学角度来讲，可以分为化脓性和非化脓性感染，其鉴别诊断较为繁杂，而影像学评定对于脊柱感染的诊断，评价，制定治疗方案，介入性治疗以及后续监测而言非常关键，纵使医学成像技术一直在发展，但是要区分脊柱感染与其他诸如退行性疾病，非感染性炎症病变以及脊柱肿瘤等情况，依旧存在很大的困难[1]。磁共振成像(MRI)具有较高的敏感度和特异度，所以它已经成为脊柱感染诊断时最常选用的一种影像学手段[5]。MRI 在脊柱感染诊断中的核心地位主要体现在以下几个方面：病变范围的精确显示；软组织受累的全面评估；并发症的早期发现；动态观察与疗效评估[7]。

2. 脊柱感染的 MRI 影像学基础

磁共振成像(MRI)具有优异的软组织分辨率以及多参数成像能力，所以成为脊柱感染诊断时的首选医学影像方法，它可以清楚显示椎体，椎间盘，脊髓以及邻近软组织发生的病理变化，给临床医生给予重要的参考依照。

2.1. MRI 技术在脊柱感染评估中的优势

磁共振成像(MRI)现已成为评价脊柱感染时的首选医学成像方法，这源于它诸多突出的优势[3] [6]。下面列举了 MRI 在评定脊柱感染过程中所具备的技术优势：可以实现多平面成像，不存在电离辐射，有着良好的软组织分辨率，对炎症反应较为敏感，还能引导开展介入性操作[7]。

2.2. 常见 MRI 序列及成像特征

磁共振成像(MRI)是脊柱感染评定方面的关键技术，它有诸多优点，可以给出高分辨率的软组织及骨骼结构图像，而且不需要电离辐射，还能够执行多平面成像，这对于病灶的早期识别以及准确判定十分关键[6]。在脊柱感染的 MRI 诊断当中，不同的序列有着各自独特的成像特性，这些特性能够体现病灶的病理特征，下面将要阐述 T1 加权像，T2 加权像，STIR 序列以及对比剂加强 MRI 在表现脊柱感染病灶时所起的作用[8]。(a) T1 加权像：T1 加权像对于表现脊柱的解剖结构有着不错的分辨率，可以清楚地显示出椎体，椎间盘以及周边软组织的形状，在脊柱感染情况下，T1 加权像重点在于考量椎体骨髓水肿和骨质损坏状况，由于感染造成的椎体骨髓水肿在 T1 加权像上会显示为低信号[5]。这表明存在炎症细胞浸润和组织液积聚现象，不过，T1 加权像对炎症的敏感度比较低，有些早期感染病灶也许难以被观察到，而且，T1 加权像还可用来评判椎体附近软组织是否受损，比如脓肿的发生及其蔓延情况。(b) T2 加权像：T2 加权像对液体比较敏感，可以清楚地显示脊髓，脑脊液以及炎症渗出物，在脊柱感染的时候，T2 加权

像主要用来评价椎间盘和椎体内部的炎症水肿情况，由感染引发的椎间盘炎症在 T2 加权像上表现为高信号[5]。这显示出椎间盘内水分增多和炎症反应加剧，T2 加权像还能较好地显示椎体内部的骨髓水肿，其表现为椎体信号值增大，但是，T2 加权像对病变的特异性较差，部分非感染性病变，诸如退变情况，也有可能出现 T2 高信号，所以应当结合其他序列和临床资料加以综合分析判断。(c) STIR 序列：STIR 序列属于脂肪抑制技术，该技术可有效地压制脂肪信号，提升水的敏感度。在脊柱感染当中，STIR 序列对于显示骨髓水肿以及软组织炎症有着很高的敏感性[5]，由感染引发的椎体骨髓水肿以及椎旁软组织炎症，在 STIR 序列上会显现为高信号，从而可以清楚地显示病灶的范围及其严重程度。相比于 T2 加权像而言，STIR 序列针对脂肪信号实施抑制，这样就能让病灶显示得更为清晰，进而提升判断的准确性，不过，STIR 序列的特异性还是存在局限性的，所以要结合其他序列展开综合分析，(d) 对比剂加强 MRI：经由静脉注射钆类对比剂，观察病灶的加强状况以考量其血供及炎症活动度，在脊柱感染方面，对比剂加强 MRI 主要用于区分感染性病变与非感染性病变，并评定病灶的活跃程度与范围，感染性病灶往往会有较为显著的加强现象，这表明炎症活动和血管新生的情况，而且，对比剂加强 MRI 还可用来区分结核性和化脓性脊柱炎，不同病原菌感染也许会表现出不同的加强形式[9]，就拿化脓性脊柱炎病灶来说，其加强常常比较均匀且明显，至于结核性脊柱炎的加强则可能不太均匀，甚至存在坏死无加强区域。对比剂加强 MRI (DCE-MRI)能给出病灶随时间推移而产生的加强信息，可用于区分化脓性和结核性脊柱炎[1]。DCE-MRI 结果表明，化脓性脊柱炎的最大对比度指数，扩散模式以及椎间盘加强的可能性均大于结核性脊柱炎[10]。不同的 MRI 序列在脊柱感染的诊断中有各自的作用，经由综合分析各序列的成像特点，可以改善诊断的准确性和特异性[8]。

2.3. 脊柱感染的 MRI 一般表现

脊柱感染不管是结核性还是化脓性，其在 MRI 上均存在一些共有的病理特征，这些特征可作为判断感染性脊柱病的关键依据，脊柱感染需凭借临床症状并结合影像学检查来判定，特别要依靠 MRI 检查，因为 MRI 具有较高的敏感度与特异度，所以被当作评价脊柱感染的首选影像学手段[5]。椎体，椎间盘以及临近软组织的信号改变：脊柱感染最典型的 MRI 表现就是患病椎体和椎间盘的信号强度出现改变，在 T1 加权像(T1WI)当中，受感染的椎体往往呈现为低信号，这是因为骨髓水肿和炎性细胞浸润造成的[5]。而在 T2 加权像(T2WI)以及短时反转恢复序列(STIR)上则会显示成高信号，这体现出组织的水肿和炎症[5]，椎间盘也常常在 T2WI 上显现出高信号，这表示椎间盘炎的发生[5]，而且，感染有可能蔓延到椎旁软组织，引发椎旁肌肉水肿和筋膜增厚，这些改变同样能够在 T2WI 和 STIR 序列上被观测到。骨髓水肿是脊柱感染又一常见 MRI 表现，T1WI 显示时，因骨髓液体含量增多，信号强度变小；而在 T2WI 和 STIR 序列显示时，则表现为信号增大。静脉给予钆造影剂之后的加强扫描对于考量感染范围及其活性十分关键，感染区域常常表现出突出的加强现象，此现象由炎症组织血管通透性增大所致，椎体终板被破坏也是脊柱感染的常见特点，特别是在椎间盘受损的时候，MRI 能够清楚显示出终板变得模糊，不规则或者遭受侵蚀，这些改变显示出感染已向椎体骨组织扩展，不过，终板被破坏的程度和形式也许会因为感染种类以及病情发展进程而存在差异[9]。

3. 结核性脊柱炎与化脓性脊柱炎的核心影像鉴别点

结核性脊柱炎的 MRI 影像学特征具有一定的特异性，常表现为多节段受累、椎体骨质破坏、椎间盘间隙狭窄及典型寒性脓肿的形成。对这些特征的准确识别是诊断结核性脊柱炎的关键。化脓性脊柱炎属于细菌感染引发的脊柱炎症，它的 MRI 表现常具备急性炎症的特性，即椎体终板被破坏，椎间盘信号发生改变，周围软组织出现水肿并且形成脓肿，同结核性脊柱炎比起来，其特有的表现利于临床加以区分。尽管结核性与化脓性脊柱炎在 MRI 表现上存在重叠，但仍有多种关键影像学指标可用于鉴别诊断。这

些指标涵盖了病变范围、骨质破坏、软组织侵犯以及增强模式等多个方面，对提升诊断准确率至关重要。

3.1. 椎体与椎间盘受累模式

结核性脊柱炎(ST)又名 Pott 病，常常影响许多个椎体，造成全面的骨质破坏以及椎间盘间距变窄，这属于其重要特点之一[2]。此部分将会针对结核性脊柱炎椎体和椎间盘被影响的影像学特点展开详细论述，从而为后面创建 MRI 鉴别诊断模型形成基础。骨质破坏与椎间盘改变情况：结核性脊柱炎存在特定的骨质破坏及椎间盘改变形式，其一，MRI 往往能够察觉到椎体骨髓水肿现象，这是初期病症较为常见的情形[11]，伴随疾病发展，椎体会渐渐产生骨质破坏状况，从 CT 图像上看，可能表现为彻底的骨吸收变化，也可能是碎裂/溶解兼有的病灶类型[12]，而且，结核性脊柱炎常使椎间盘受损，使得椎间隙变得狭小，严重时还会完全闭合[13]，经由 MRI 检查就能够找出椎间盘信号的异常情况，比如在 T2WI 显示信号强度下降，这表明椎间盘处于脱水或者纤维化状态，须要注意的是，结核性脊柱炎有可能同时影响到多个椎体，并且引发跳跃性分布的病理改变[2]。椎体骨破坏属于结核性脊柱炎的关键病理改变，在 CT 图像上可被划分成若干类型，具备一定的诊断指示意义，按照 CT 图像特点，骨破坏包含碎片型/溶骨型，完全溶骨型，硬化型以及无骨破坏这四种类型[12]。椎间盘受损时的 MRI 表现：结核性脊柱炎又一个特点就是椎间盘受损，MRI 能清楚显示出椎间盘的病理变化，这对诊断十分关键，脊柱结核往往会影响到许多个椎体部分，而且会引发广泛的椎旁脓肿[2]，其典型的 MRI 特征表现为：(1) 椎间隙变小；(2) 椎间盘信号发生改变：(a) T2WI/STIR 序列下，椎间盘信号变高，这表明存在水肿及炎症；(b) T1WI 序列下，椎间盘信号变低，这表明软骨出现破坏和纤维化；(3) 椎间盘加强：做增强扫描的时候，椎间盘会出现加强现象，这显示出炎症比较活跃；(4) 相邻椎体终板也会遭到破坏，感染有可能蔓延到临近的椎体，造成终板变得模糊又不规则。化脓性脊柱炎和结核性脊柱炎存在差别，结核性脊柱炎的椎间盘破坏往往比较隐蔽，发展速度较慢，椎间隙变窄现象也更为轻微。结核性脊柱炎常常影响到大量椎间盘，而且椎体后部结构(即椎弓根)也会被波及，在结核性脊柱炎当中，即便病变大多开始于椎体前部，但是椎体后部结构，特别是椎弓根，也有可能受到损害[14]，探究椎弓根等后部结构受损时的影像学特点，这对于全面评定病情以及指导诊疗有着重要的意义。椎弓根受累时，其影像学表现主要集中在 MRI 上，MRI 图像显示，椎弓根受累可能有如下情况：T1WI 显示为低信号，T2WI 显示为高信号；在加强扫描时出现强化现象；存在骨质破坏特征，椎弓根受累在临幊上并非少见，而且与疾病严重程度存在一定联系，一方面同前柱病变的严重程度有关，另一方面会影响治疗策略制定，还需注意的是后方附件结核的情况，不过要特别说明的是，椎弓根受累一般和椎体前部病变相关联，但在极为罕见的情况下，结核感染也许只会累及椎弓根这样的后方结构[15]。所以，在临床操作过程中，遇到椎弓根病变原因不明的时候，也要考虑结核感染的可能性，这种孤立性的后方附件结核在诊断方面更具难度[16]。化脓性脊柱炎大多经由血行播散感染椎体与椎间盘，引发一系列特有的 MRI 表现，这些表现涵盖椎体终板被破坏，骨髓出现水肿以及椎间盘信号发生改变和增强模式等情况，它们都是判断该病的重要依据。关于椎体终板被破坏和骨髓水肿[3]。在化脓性脊柱炎当中，椎体终板的破坏属于早期且非常重要的影像学特点，炎症首先会侵扰椎间盘周边的椎体终板和骨髓，之后造成终板变得模糊又不规则，而且伴有很突出的骨髓水肿现象[5]，从 MRI 图像来看，T1WI 序列里受影响的椎体会显现出低信号，而在 T2WI 和 STIR 序列上则会呈现为高信号，这表明存在骨髓水肿状况[17]。终板破坏的严重程度同疾病发展状况相关联，病情较重者可能会产生椎体塌陷与畸形现象，有关椎间盘信号改变及加强形式方面，化脓性脊柱炎往往影响到椎间盘，造成其信号强度与形态有所改变，在做 MRI 检查的时候，被感染的椎间盘在 T2WI 序列里常常表现为高信号，这是因为椎间盘内部液体聚集以及炎症反应所引发的[5]，而且椎间盘的形状也许会变得不规则，甚至还会造成椎间

隙变窄。在加强扫描当中,受感染的椎间盘常常会表现出突出的加强现象,这表明存在血管增生以及炎症活动情况,加强形式有益于区分开感染与非感染性病变[1]。鉴别诊断的关键点在于:椎体终板被破坏,骨髓出现水肿,椎间盘信号发生改变这些都是化脓性脊柱炎比较典型的症状,不过这些特点并不是完全独有的,退变性疾病,肿瘤之类的其他病症也有可能造成相似的影像学图像,所以,在实施判断的时候,要联系临床病史,实验室检测结果以及其他影像学特点来开展全面分析,化脓性脊柱炎一般发病比较快,而且伴随较为剧烈的炎症反应,而退变性疾病往往是慢慢发展起来的[18]。要想更为精准地做出判断,还得从别的角度展开考虑,下面就要展开探讨了。结核性脊柱炎(TS)与化脓性脊柱炎(PS)在椎体骨质破坏模式,椎间盘信号改变以及受累程度方面存在差别,这些差别是通过MRI实施鉴别诊断的重点所在,从椎体骨质破坏模式来讲,TS和PS确实存在一些差异。经由CT影像学研究可知,椎体骨质破坏可被归为碎片型/溶解型,绝对溶解型,骨硬化型以及无骨质破坏这四类[12]。在脊柱结核当中,碎片型/溶解型的病变形式具备较高的预测意义[12],即便未直接比较TS和PS的椎体破坏形式,不过大概能够推测,PS也许会更多地体现为绝对溶解型,椎间盘是否受损也是另外一项关键的区别之处,TS往往会影响椎间盘,造成椎间隙变得狭窄,极端情况下还会致使椎间盘彻底不见踪影[12]。PS同样常常影响椎间盘,而且炎症反应更为剧烈,Liu等人所创建的诊断模型包含“胸椎受累”这种影像学特点[19]。这表明TS更多发生在胸椎,PS也许更多出现在其他部位,这又体现出这两种病在椎体受累情形方面的差别,总的来说,TS和PS在椎体骨质破坏形式,椎间盘信号变化,受累椎体位置等方面存在不同。

3.2. 脓肿形态与软组织改变

结核性脊柱炎又称为Pott病,其典型特点为寒性脓肿的生成[2]。这种脓肿的炎症反应较弱,局部疼痛不突出,因而得名为“寒性”[20]。下面将会细致阐述结核性脊柱炎相关的寒性脓肿产生的位置,大小,形状及其MRI信号特点,椎旁脓肿和腰大肌脓肿:椎旁脓肿属于结核性脊柱炎最频繁出现的并发症之一,往往是因为椎体和椎间盘遭到破坏,干酪样坏死物质液化之后形成的[2],脓肿可能处于椎体的前部,侧部或者背部,而且常常影响到很多个椎体节段,腰大肌脓肿是结核性脊柱炎向下扩散的一种常见情况,特别是在腰椎区域[21][22]。脓肿随着腰大肌的走向往下伸展,甚至能到达髂窝乃至大腿部[23],部分情况下,脓肿体积十分庞大,但是患者却仅仅感到些许不适,非常容易被人忽略[24]。双侧腰大肌脓肿在Pott病中也能见到[23],硬膜外与脊髓内脓肿:结核性脊柱炎引发硬膜外脓肿较为罕见[24][25],当硬膜外脓肿压迫脊髓或者神经根时,会引发神经功能障碍,病情严重的可能会造成截瘫[25],脊髓内结核性脓肿这种情况更是少见,不过仍然有可能发生,MRI是其诊断的关键方法[26]。特殊部位脓肿(咽后,胸壁),除了前面提到的常见部位之外,结核性寒性脓肿还可能出现一些特别的部位,比如颈椎结核可致使咽后壁脓肿产生,从而表现出吞咽困难或者呼吸困难的症状,胸椎结核有可能向胸壁蔓延并形成胸壁脓肿[21],从MRI图像来看,寒性脓肿一般具有如下特点:(1)T1WI显示为低信号;(2)T2WI显示为高信号;(3)加强扫描时,脓肿壁呈环形强化,脓肿中心没有强化现象,要知道,脓肿的信号强度可能因内部成分(诸如液体,坏死组织等)的不同而存在差异,而且,DWI(弥散加权成像)对于辨别脓肿性质颇具帮助,结核性脊柱炎引发的寒性脓肿在部位,大小和形态方面比较多多种多样,要综合临床表现和影像学特征来实施判断,后面的章节将会深入探究怎样凭借MRI特征创建鉴别诊断模型,从而把结核性脊柱炎和化脓性脊柱炎区分开来。化脓性脊柱炎影响椎体和椎间盘,还会引发椎旁软组织与硬膜外间隙发生炎症反应,造成脓肿生成以及软组织出现水肿等情况,这些改变在MRI上存在特征性表现,这对诊断和鉴别诊断颇具意义,本部分着重论述化脓性脊柱炎所伴随的硬膜外脓肿,椎旁软组织炎症和水肿的MRI表现[27]。硬膜外脓肿属于化脓性脊柱炎较为常见的并发症,MRI是判断硬膜外脓肿的首选医学成像手段[1],从MRI

图像来看，硬膜外脓肿往往表现在脊髓前方或者后方的异常信号区域，其在 T1WI 上显示为低信号，在 T2WI 上则为高信号，做增强扫描的时候可以观察到环状的强化现象[3]。脓肿有可能占据硬膜外间隙，并对脊髓和神经根产生压迫作用，从而致使相应的神经功能出现障碍，应当注意，硬膜外脓肿的范围和大小各不相同，小的脓肿也许仅仅体现为局部硬膜外间隙信号的改变，大的脓肿则可能牵涉到许多个椎节。椎旁软组织炎症和水肿：化脓性脊柱炎常常会伴随比较突出的椎旁软组织炎症和水肿现象，在 MRI 图像当中，椎旁软组织炎症会显示出 T2WI/STIR 序列中的高信号，这表明组织内部液体含量增多[3]，而且在做增强扫描的时候，炎症区域能够看到弥漫性的强化情况，炎症有可能会影响到椎旁肌肉，筋膜之类的结构，使得局部发生肿胀并且感到疼痛。严重的软组织炎症可形成椎旁脓肿，表现为边界清晰的液体信号影，脓肿周围往往有明显的炎症反应。急性炎症反应的影像学特点如下：(1) 病灶信号特征：在 T2WI/STIR 序列上呈高信号，这表明组织水肿和炎症渗出，(2) 增强形式：增强扫描时，病灶周围及内部会出现强化现象，这是由于血管通透性增大所致，(3) 累及范围：该病变可累及椎体，椎间盘，硬膜外间隙以及椎旁软组织，甚至可形成多节段脓肿，(4) 脓肿特征：脓肿壁常常会有明显强化，其周围软组织炎症也很突出。脓肿属于脊柱感染的关键影像学体现，结核性脊柱炎和化脓性脊柱炎所产生的脓肿，在形态，信号特征以及弥散形式方面均存在差别，此类差别有益于实施区分性判定，下面将对比这两种脓肿在 MRI 上的特点，并探讨其区分性判定的价值，前脑膜椎旁韧带的完整性：前脑膜椎旁韧带(*anterior meningovertebral ligament, AMVL*)的完整性属于区分结核性和化脓性脊柱炎的重要参考因素之一，Strauss 等人经研究证实，结核性脊柱炎引发的硬膜外脓肿当中，AMVL 保留完整的比例较高，化脓性脊柱炎却频繁破坏此韧带。该项回顾性研究显示，结核性硬膜外脓肿中有 83.3% 的病例 AMVL 完整，在化脓性硬膜外脓肿中，AMVL 完整者为 0% [28]。AMVL 完整对于结核性脊柱炎的诊断具有较高的敏感性(83.3%)和特异性(100%) [28]，这大概是因为结核感染较为缓慢，脓肿多为寒性，对周围组织的侵袭性较低的缘故，椎旁及硬膜外脓肿的特征性表现：结核性脊柱炎常常表现为椎旁脓肿，甚至会形成腰大肌脓肿[19] [23]，结核性脓肿一般体积较大，形态不规则，有时呈多房性，脓肿壁较薄，与周围组织界限不清，信号较为均匀，化脓性脊柱炎则更容易产生局限性脓肿，脓肿壁较厚，周围可观察到明显的水肿，信号不均匀，内部可能存在分隔。脓肿的扩散模式具备鉴别意义，结核性脓肿偏爱沿解剖间隙扩散，可造成跳跃性病灶，比如从胸椎蔓延到腰椎。化脓性脓肿扩散快速，往往累及相邻组织，炎症反应更为剧烈，特殊病原体感染所致脓肿的特性：需注意，部分特殊病原体引发的脊柱感染也许会形成脓肿，布鲁菌感染便是其中之一，布鲁菌性脊柱炎可致使脊髓硬膜外脓肿产生[29] [30]。布鲁菌性脊柱炎较为罕见，但在某些流行区域，应将其纳入鉴别诊断考量之中，相关研究显示，尽早诊断并恰当诊治布鲁菌性脊柱硬膜外脓肿，其预后往往较好[29]，脓肿的形态及其扩散模式虽可给予一些鉴别线索，但仍然要融合其他影像学特征以及临床实验室检测结果加以综合评判，从而提升诊断的准确性。

3.3. 其他影像学表现及随访

除了典型的椎体、椎间盘受累模式和寒性脓肿形成外，结核性脊柱炎在 MRI 上还可能表现出一些非特异性的征象，且治疗后的影像学变化也需要进行随访评估，以监测治疗效果和预后。动态加强 MRI (DCE-MRI) 属于功能性 MRI 技术，它会观察造影剂在病灶内部的动态改变情况，这样就能给出比传统 MRI 序列更多有用的信息，对于区分结核性脊柱炎和化脓性脊柱炎可能很有帮助，DCE-MRI 可以从很多层面表现病灶的微血管分布状况以及血流动力学特点，比如加强程度，扩散模式还有最大对比指数等，在区别结核性脊柱炎和化脓性脊柱炎的时候，DCE-MRI 主要被用在前面提到的这些地方，所以，在临幊上使用这种技术的时候，要把它和其他 MRI 序列得到的结果以及临床实验室检测出来的指标联系起来考虑，这样才能提升诊断的精准度。

4. 基于 MRI 影像学构建鉴别诊断模型

研究者想要超越单纯依靠单个影像学特征来实施鉴别诊断时所存在的局限，于是开始把 MRI 影像学观察结果同临床情况以及实验室指标关联起来，形成用于区别结核性脊柱炎和化脓性脊柱炎的诊断模型，这些模型期望能够给予更为客观，更具量化的诊断手段，从而帮助临床工作者作出决定。

4.1. 影像学与临床/实验室数据结合

要想提升结核性脊柱炎(TS)和化脓性脊柱炎(PS)鉴别诊断的准确性，把 MRI 影像学特征同临床症状以及实验室指标融合起来，这已成为一个重要的研究方向。仅仅依靠 MRI 影像学特征来做诊断也许会存在一些局限之处，把其他临床信息纳入考量范围之后，就可以更为全面地评判病情，进而改善诊断的准确性和可靠性，相关研究显示，年龄，ESR(红细胞沉降率)，CRP(C 反应蛋白)这些临床和实验室指标如果和 MRI 结果联系起来，就能明显加强鉴别诊断的效能，比如 PS 患者的年龄往往比 TS 患者大，而且 ESR 和 CRP 在 PS 患者身上常常会有大幅上升[19]。所以，把这些信息同 MRI 的特征性表现融合，比如椎体破坏形式，脓肿特征等，有益于更精准地区分这两种病症，确切来说，可以对 MRI 影像学特征执行量化或者半定量评价，椎体破坏程度，椎间盘受影响状况，脓肿大小和位置等都可以被纳入考量之中，接着，把这样的影像学数据和患者的年龄，ESR，CRP 等临床及实验室数据一同送进诊断模型里面，再利用统计学方法(诸如 logistic 回归)创建起综合性的诊断模型[19]，该模型会遵照各指标的权重来计算患者患 TS 或 PS 的概率，以此来帮助临床医生执行诊断决策，即便把临床和影像学数据结合能够优化诊断的准确性，但也应当留意这些指标并非百分之百可靠，在实际操作的时候，要依照患者的具体情形展开综合分析，并且结合病理学检查等其他的判断方法，才有可能作出精确的判断。

4.2. 诊断模型的构建与验证

本节着重探讨怎样凭借 MRI 影像学特征，并结合临床及实验室数据，形成并验证结核性脊柱炎(TS)和化脓性脊柱炎(PS)的鉴别诊断模型，创建有效的诊断模型对于达成早期精准诊断，引导临床治疗十分关键，诊断模型的形成一般按如下步骤来执行：第一，挑选恰当的预测变量；第二，选用合适的统计学方法来形成模型；第三，经由内部和外部验证考量模型的性能。多变量统计分析当中，二元 Logistic 回归较为常见，其常被用来创建此类鉴别诊断模型，因为这种回归方法可有效地解决二分类问题，变量选择与模型形成：创建鉴别诊断模型时，首先要做的就是挑选合适的预测变量，这些变量往往包含从 MRI 影像学得到的特征(比如椎体受损情况，脓肿特点)，临床数据(比如年龄)以及实验室检测结果(比如 WBC, ESR, CRP 等)，变量的选取需依照对 TS 和 PS 病理生理机制的认识，并结合以往研究的成果来进行[19]。二元 Logistic 回归属于一种常见的统计学方法，适合创建二分类的诊断模型，此方法会把诸多预测变量加以加权合成，计算出个体属于某个类别所具有的概率。一项研究就利用二元 Logistic 回归塑造了 TS 和 PS 的鉴别诊断模型，其中涉及的变量有胸椎受累情况，椎旁脓肿状况，脊髓压迫情况，血清白蛋白含量，颈椎受累情况，红细胞沉降率(ESR)以及纤维蛋白原含量[19]，这个模型能够计算出个体患 TS 的概率，当概率高于 0.5 时表明为 TS，低于 0.5 时则表明为 PS。模型验证包含内部验证与外部验证，其中，内部验证往往经由交叉验证法达成，K 折交叉验证便是常见的一种形式。此方法会把数据集随机划分成 K 部分，每轮选取其中一部分充当验证集，剩下的 K-1 部分则作为训练集，如此反复 K 次之后，再算出这 K 次验证结果的平均数，以此来考量模型在原始数据集中的表现状况，而外部验证则是利用与训练数据集无关的外部数据集去评定模型的性能，它能更为客观地评判模型的泛化能力和临床适宜性。模型性能评价指标包含：(1) 敏感性(Sensitivity)，即模型正确识别 TS 患者的占比；(2) 特异性(Specificity)，指模型正确识别 PS 患者的占比；(3) 准确率(Accuracy)，指模型正确分类的病历数量占总病历数的百分比；(4) 受试

者工作特征曲线下面积(AUC)，AUC 是衡量模型区分能力的重要指标，AUC 值越大，模型的区分能力越强，AUC 等于 1 时，模型可做到完美区分，AUC 等于 0.5 时，模型毫无区分能力。关于模型的优劣之处在于，创建依靠 MRI 图像学的 TS 与 PS 鉴别诊疗模型，可以帮助临床医师尽早作出判断，缩减误判和漏判情况发生，进而提升患者的预后效果，但也存在一些不足，譬如，该模型也许要依赖特定种类的 MRI 设备以及扫描方案，而且其性能会因不同种族群体和地域差异而有所变化，所以，在实际临床应用的时候，务必要小心考量这种模型是否合适，当下的研究已表明利用 MRI 图像学特点形成鉴别诊疗模型是有价值的，不过还是有很多事情值得深入探究[19]。

4.3. 模型在临床实践中的潜在价值

经由 MRI 影像学创建起来的结核性脊柱炎与化脓性脊柱炎的鉴别诊断模型，在临幊上有着诸多潜在的应用价值，可能会改善疾病早期的判断情况，改良治疗方案的选择，而且有益于预后评价，这个模型能够起到辅助早期判断的作用，所形成的诊断模型还能引导实施治疗干预，总的来说，依靠 MRI 影像学特点的鉴别诊断模型对于结核性脊柱炎和化脓性脊柱炎的临幊运作来说具备重要的潜在意义，可以促使临幊医师更快，更准确地作出判断，制订出更为恰当的治疗计划。

5. 结论与未来展望

综合来看，MRI 在鉴别诊断结核性脊柱炎和化脓性脊柱炎中发挥着不可替代的作用，特定的影像学特征和构建的诊断模型已展现出巨大潜力。然而，仍需通过多中心、大样本研究进一步验证和优化这些模型，并探索结合新型影像技术和人工智能，以期实现更精准、高效的早期诊断。

5.1. 现有研究成果总结

当下的研究在依靠 MRI 影像学来区分结核性脊柱炎(TS)和化脓性脊柱炎(PS)时取得了一些进程，重点表现在对特异性影像学特征的识别以及初步判断模型的形成上，这些进程给临幊早期判断和诊治给予了宝贵的参照。特异性 MRI 影像学特征的找到：研究大多聚集在如下几处：椎体及椎间盘受损形式；脓肿的特性；动态加强 MRI (DCE-MRI)，凭借 MRI 影像学的判断模型初步探究：有些研究试图创建依托 MRI 影像学特征的鉴别判断模型，就像 Liu 等人做的研究，他们经由回顾性分析 TS 和 PS 患者的临幊，实验室和影像学资料，创建起一个判断模型，这个模型包含了胸椎受累，椎旁脓肿，脊髓压迫，血清白蛋白，颈椎受累，红细胞沉降率以及纤维蛋白原等因素[19]，并且用外部验证组证实了该模型的有效性。CT 影像学特征同样被纳入考虑范围，格外是椎体骨破坏的形式，一项研究表明，粉碎性/溶解性骨病变形式非常表明脊柱结核的存在[12]，特别是如果再加上 MRI 的表现(薄壁脓肿，过半椎体破坏以及韧带下方扩展)的时候，其诊断价值就更大。

5.2. 挑战与研究空白

MRI 在结核性脊柱炎和化脓性脊柱炎的鉴别诊断中起着关键作用，也出现了不少依靠 MRI 影像学的鉴别诊断模型，但是当下的研究还是碰上一些难题和研究空缺，大致表现在如下几处：(1) 样本数量受限，多中心验证不够；(2) 影像判读存在主观性，标准化存在问题；(3) 没有针对治疗反应的影像学评价标准；(4) 对比病原菌类型和影像学特征相关性的研究尚未展开。

5.3. 未来研究方向

之前的研究所依靠 MRI 影像学来区分结核性脊柱炎和化脓性脊柱炎已有不少进步，不过还是存在一些局限之处，日后的研究要重点放在如下几个方面：(1) 大样本量的前瞻性研究；(2) 开发人工智能辅助

诊断系统；(3) 探寻新型 MRI 序列；(4) 依照病理生理机制展开的影像学研究；(5) 对微创介入治疗实施影像学评定，从而进一步优化鉴别诊断的准确率和效率。通过上述研究方向的努力，可以进一步提高基于 MRI 影像学诊断结核性脊柱炎和化脓性脊柱炎的准确性和效率，为患者提供更及时、更有效的治疗。

参考文献

- [1] Tali, E.T., Oner, A.Y. and Koc, A.M. (2015) Pyogenic Spinal Infections. *Neuroimaging Clinics of North America*, **25**, 193-208. <https://doi.org/10.1016/j.nic.2015.01.003>
- [2] Rodriguez-Takeuchi, S.Y., Renjifo, M.E. and Medina, F.J. (2019) Extrapulmonary Tuberculosis: Pathophysiology and Imaging Findings. *RadioGraphics*, **39**, 2023-2037. <https://doi.org/10.1148/rg.2019190109>
- [3] Diehn, F.E. (2012) Imaging of Spine Infection. *Radiologic Clinics of North America*, **50**, 777-798. <https://doi.org/10.1016/j.rcl.2012.04.001>
- [4] Adhikari, S. and Basnyat, B. (2018) Extrapulmonary Tuberculosis: A Debilitating and Often Neglected Public Health Problem. *BMJ Case Reports*, **11**, e226098. <https://doi.org/10.1136/bcr-2018-226098>
- [5] Yilmaz, U. (2011) Spondylodiscitis. *Der Radiologe*, **51**, 772-778. <https://doi.org/10.1007/s00117-011-2145-7>
- [6] Guerado, E. and Cerván, A.M. (2012) Surgical Treatment of Spondylodiscitis. An Update. *International Orthopaedics*, **36**, 413-420. <https://doi.org/10.1007/s00264-011-1441-1>
- [7] Mikic, D., Roganovic, Z., Culafic, S., Rajic-Dimitrijevic, R., Begovic, V. and Milanovic, M. (2012) Subdural Tuberculous Abscess of the Lumbar Spine in a Patient with Chronic Low Back Pain. *Vojnosanitetski pregled*, **69**, 1109-1113. <https://doi.org/10.2298/vsp1212109m>
- [8] Nagar, N., Chauhan, P., Gunasekaran, P.K., Sivagnanaganesan, S., Chaluvashetty, S.B. and Verma, S. (2025) Tubercular Spondylitis with Prevertebral and Epidural Abscess Masquerading as a Mediastinal Mass. *Tropical Doctor*, **55**, 185-186. <https://doi.org/10.1177/00494755251323333>
- [9] Sode, H.C., Ibrahim, A., Beranger, H.S.S., Soong-Meenga, N.H.A., Aminath, K. and Samuila, S. (2019) Abcès pottique intra médullaire: À propos d'un cas. *Pan African Medical Journal*, **34**, Article 186. <https://doi.org/10.11604/pamj.2019.34.186.20838>
- [10] Miyamoto, H. and Akagi, M. (2019) Usefulness of Dynamic Contrast-Enhanced Magnetic Resonance Images for Distinguishing between Pyogenic Spondylitis and Tuberculous Spondylitis. *European Spine Journal*, **28**, 3011-3017. <https://doi.org/10.1007/s00586-019-06057-3>
- [11] Le Page, L., Feydy, A., Rillardon, L., Dufour, V., Le Hénaff, A., Tubach, F., et al. (2006) Spinal Tuberculosis: A Longitudinal Study with Clinical, Laboratory, and Imaging Outcomes. *Seminars in Arthritis and Rheumatism*, **36**, 124-129. <https://doi.org/10.1016/j.semarthrit.2006.04.007>
- [12] Dong, Z., Wang, S., Jia, C., Wang, H. and Ding, W. (2024) Predictive Value of Vertebral Bone Destruction Classification Based on Computed Tomography in Diagnosing on Adult Spinal Tuberculosis. *World Neurosurgery*, **183**, e801-e812. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2024.01.033>
- [13] Rakotoson, J.L., Rakotomizao, J.R. and Andrianarisoa, A.C.F. (2010) Volumineux abcès froid périphérique dorsolombaire. *Revue de Pneumologie Clinique*, **66**, 359-362. <https://doi.org/10.1016/j.pneumo.2009.10.007>
- [14] Yusof, M.I., Hassan, E., Rahmat, N. and Yunus, R. (2009) Spinal Tuberculosis: The Association between Pedicle Involvement and Anterior Column Damage and Kyphotic Deformity. *Spine*, **34**, 713-717. <https://doi.org/10.1097/brs.0b013e31819b2159>
- [15] Shamim, M.S., Tahir, M.Z. and Jooma, R. (2009) Isolated Tuberculosis of C2 Spinous Process. *The Spine Journal*, **9**, e30-e32. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2008.07.006>
- [16] Cao, J., Sun, D., Mu, J.H., et al. (2023) Application of combined Anterior and Posterior Approaches for the Treatment of Cervical Tuberculosis with Anterior Cervical Abscess Formation and Kyphosis Using a Jackson Operating Table: A Case Report and Literature Review. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, **27**, 3448-3456.
- [17] Zhang, Z., Hao, Y., Wang, X., Zheng, Z., Zhao, X., Wang, C., et al. (2020) Minimally Invasive Surgery for Paravertebral or Psoas Abscess with Spinal Tuberculosis—A Long-Term Retrospective Study of 106 Cases. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **21**, Article No. 353. <https://doi.org/10.1186/s12891-020-03344-9>
- [18] Cantwell, L.M., Perkins, J.C. and Keyes, D.C.V. (2018) Pott's Disease in a Patient with Subtle Red Flags. *The Journal of Emergency Medicine*, **54**, e37-e40. <https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2017.12.007>
- [19] Liu, Y.X., Lei, F., Zheng, L.P., Yuan, H., Zhou, Q.Z. and Feng, D.X. (2023) A Diagnostic Model for Differentiating Tuberculous Spondylitis from Pyogenic Spondylitis: A Retrospective Case-Control Study. *Scientific Reports*, **13**, Article No. 10337. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-36965-w>

-
- [20] Yago, Y., Yukihiro, M., Kuroki, H., Katsuragawa, Y. and Kubota, K. (2005) Cold Tuberculous Abscess Identified by FDG Pet. *Annals of Nuclear Medicine*, **19**, 515-518. <https://doi.org/10.1007/bf02985581>
 - [21] Abdulla, M.C. (2020) Metastatic Tuberculous Chest Wall and Massive Psoas Abscesses in an Immunocompetent Patient. *The International Journal of Mycobacteriology*, **9**, 98-99. https://doi.org/10.4103/ijmy.ijmy_183_19
 - [22] Pieri, S., Agresti, P., Altieri, A.M., Ialongo, P., Cortese, A., Alma, M.G., et al. (2009) Percutaneous Management of Complications of Tuberculous Spondylodiscitis: Short- to Medium-Term Results. *La radiologia medica*, **114**, 984-995. <https://doi.org/10.1007/s11547-009-0425-3>
 - [23] Maron, R., Levine, D., Dobbs, T.E. and Geisler, W.M. (2006) Two Cases of Pott Disease Associated with Bilateral Psoas Abscesses: Case Report. *Spine*, **31**, E561-E564. <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000225998.99872.7f>
 - [24] Das, R., Chandrasekar, S., Purohit, G., Satapathy, A.K., John, J., Mohapatra, S., et al. (2020) “There Is More than What Meets the Eye”—Extensive Spinal Tuberculosis Presenting as Ocular Tuberculosis. *Indian Journal of Tuberculosis*, **67**, 404-406. <https://doi.org/10.1016/j.ijtb.2019.11.017>
 - [25] Acharya, A., Otta, S. and Puppala, S. (2023) A Case of Spinal Tuberculosis Presenting with Cauda Equina Syndrome. *The International Journal of Mycobacteriology*, **12**, 107-109. https://doi.org/10.4103/ijmy.ijmy_238_22
 - [26] Zheng, X. and Wu, X. (2019) Diagnosis and Management of Intradiscal Tuberculoma with Giant Paraspinal Abscesses. *World Neurosurgery*, **127**, 481-484. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2019.04.157>
 - [27] Borgohain, B. (2011) Prompt Restoration of Airway Along with Rapid Neurological Recovery Following Ultrasonography-Guided Needle Aspiration of a Tubercular Retropharyngeal Abscess Causing Airway Obstruction. *Singapore Medical Journal*, **52**, e229-e231.
 - [28] Strauss, S.B., Gordon, S.R., Burns, J., Bello, J.A. and Slasky, S.E. (2019) Differentiation between Tuberculous and Pyogenic Spondylodiscitis: The Role of the Anterior Meningovertebral Ligament in Patients with Anterior Epidural Abscess. *American Journal of Neuroradiology*, **41**, 364-368. <https://doi.org/10.3174/ajnr.a6370>
 - [29] Ugarriza, L.F., Porras, L.F., Lorenzana, L.M., Rodríguez-Sánchez, J.A., García-Yagüe, L.M. and Cabezudo, J.M. (2005) Brucellar Spinal Epidural Abscesses. Analysis of Eleven Cases. *British Journal of Neurosurgery*, **19**, 235-240. <https://doi.org/10.1080/02688690500204949>
 - [30] Boyaci, A., Boyaci, N., Tutoglu, A. and Sen Dokumacı, D. (2013) Spinal Epidural Abscess in Brucellosis. *BMJ Case Reports*, **2013**, bcr2013200946. <https://doi.org/10.1136/bcr-2013-200946>