

马尾神经冗余征和马尾神经沉降征在腰椎管狭窄症临床诊疗应用中的研究进展

李 鹏^{1,2}, 李佳妍², 单 悦², 赵爱平², 张 倩², 历建伟², 高雅雯², 王文静², 张亚楠², 岳茂兴^{2,3*}

¹滨州市滨城区人民医院外科, 山东 滨州

²青岛大学附属医院脊柱外科, 山东 青岛

³平邑县中医医院脊柱外科, 山东 临沂

收稿日期: 2025年4月28日; 录用日期: 2025年5月21日; 发布日期: 2025年5月30日

摘 要

腰椎管狭窄症是腰椎退变性疾病的常见病和多发病, 是导致腰腿痛的常见病因之一。腰椎管狭窄症的治疗分为保守治疗和手术治疗。腰椎管狭窄症的诊断综合性强, 需结合影像学检查、体格检查、临床症状及病史等进行综合评估, 然而影像学发现并不总与临床症状相关。故定义症状性腰椎管狭窄症的放射学或病理学标准上仍未达成共识。马尾神经冗余征和马尾神经沉降征是腰椎管狭窄症的独特影像学现象, 本文从病理机制、症状和体征、诊断及影像学特点等方面介绍两种影像学现象对腰椎管狭窄症诊断和治疗的价值, 希望为腰椎管狭窄症的诊断和治疗提供新思路。

关键词

腰椎管狭窄症, 马尾神经冗余征, 马尾神经沉降征, 影像学诊断

Research Advances in the Clinical Application of Cauda Equina Redundancy Sign and Cauda Equina Sedimentation Sign for the Diagnosis and Treatment of Lumbar Spinal Stenosis

Peng Li^{1,2}, Jiayan Li², Yue Shan², Aiping Zhao², Qian Zhang², Jianwei Li², Yawen Gao², Wenjing Wang², Yanan Zhang², Maoxing Yue^{2,3*}

¹Department of Surgery, Bincheng District People's Hospital of Binzhou, Binzhou Shandong

²Department of Spinal Surgery, The Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao Shandong

*通讯作者。

文章引用: 李鹏, 李佳妍, 单悦, 赵爱平, 张倩, 历建伟, 高雅雯, 王文静, 张亚楠, 岳茂兴. 马尾神经冗余征和马尾神经沉降征在腰椎管狭窄症临床诊疗应用中的研究进展[J]. 临床医学进展, 2025, 15(5): 2511-2520.

DOI: 10.12677/acm.2025.1551645

Abstract

Lumbar spinal stenosis is a common and frequently-occurring disease of lumbar degenerative diseases, and it is one of the common causes of low back and leg pain. The treatment of lumbar spinal stenosis can be divided into conservative treatment and surgical treatment. The diagnosis of lumbar spinal stenosis is comprehensive, which needs to be comprehensively evaluated by combining imaging examination, physical examination, clinical symptoms and medical history. However, imaging findings are not always related to clinical symptoms. Therefore, there is still no consensus on the radiologic or pathological criteria for defining symptomatic lumbar spinal stenosis. Cauda equina redundancy sign and cauda equina subsidence sign are unique imaging phenomena of lumbar spinal stenosis. This paper introduces the value of these two imaging phenomena in the diagnosis and treatment of lumbar spinal stenosis from the aspects of pathological mechanism, symptoms and signs, diagnosis and imaging characteristics, hoping to provide new ideas for the diagnosis and treatment of lumbar spinal stenosis.

Keywords

Lumbar Spinal Stenosis, Redundancy Sign of Cauda Equina, Sedimentation Sign of Cauda Equina, Imaging Diagnosis

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

腰椎管狭窄症(Lumbar spinal stenosis, LSS)指的是由各种原因导致的椎管绝对或相对狭窄而使神经根受到压迫而产生的一类退变性脊柱疾病[1]。据报道, LSS 的年发病率比颈椎管狭窄症的发病率要高出 4 倍[2]。LSS 的特征性症状是神经源性跛行, 这是 1911 年由 Dejerine 提出的一个术语, 后由 Gelderen 和 Verbiest 正式定义[3] [4]。Gelderen 将神经源性跛行描述为“与背痛和下肢相关症状在内的一系列临床症状, 以及与体征相关的椎管局限性骨性椎间盘狭窄” [5]。LSS 已成为腰椎手术最常见的适应症, 部分原因是影像学的质量和可用性不断提高。LSS 手术量的不断增加也侧面反映了老年人口对灵活性和机动性的需求增加。随着这种疾病的日益流行, 针对个体治疗决策的可控循证建议开始不断出现。

LSS 可根据病因分为: 原发性和继发性狭窄, 而根据解剖学分类可分为: 中央型、外侧型或椎间孔狭窄型[6]。原发性狭窄是由先天性椎管狭窄引起的, 而继发性狭窄可由多种疾病引起, 最常见的是腰椎退变进而导致局部椎体稳定性下降。继发性狭窄的其他原因包括类风湿性疾病、骨髓炎、外伤、肿瘤, 以及罕见的库欣病或医源性等等。

2. LSS 的产生机制

经过长期的研究, 人们对 LSS 的发病机制有了深入的认识。LSS 可以是单节段, 也可以是双节段或多节段。解剖学上, 腰椎管狭窄可分为中央、峡部或椎间孔型。根据退变的程度, 中央、峡部和椎间孔狭

窄可以单独发生,也可以合并发生。L4~5 椎间盘最常受 LSS 影响,其次是 L3~4、L5~S1 和 L1~2 [7][8]。

多种因素可导致腰椎管狭窄的发展,这些因素可协同作用加剧病情。椎间盘退变常引起突出,导致椎管腹侧狭窄。椎间盘退变使得椎间隙的高度进一步降低,这导致局部塌陷和椎间孔变窄,进而对后方小关节施加应力[9][10]。这种负荷的增加可导致小关节病、关节囊肥大和关节囊扩张的发生,这两种情况共同导致脊柱不稳定的发生。节段高度的降低也可导致黄韧带形成皱褶,从而从背侧对硬脊膜施加压力。黄韧带的增生肥厚引起中央管出现特有的三叶形变窄。

根据椎管前后径,其生理值为 22~25 mm, LSS 还可以细分为相对狭窄和绝对狭窄,但这一分类尚未得到临床验证。相对 LSS 的椎管直径为 10~12 mm,通常是无症状的,而绝对 LSS 的椎管直径小于 10 mm,这种情况通常是伴有明显临床症状[11][12]。由于参与 LSS 发展的各种退化危险因素都可以独立地引起临床症状,这经常使得诊断和治疗选择变得困难。与 LSS 相关的最常见症状是神经源性跛行,其关键点是在确认 LSS 的诊断时,患者的病史和临床症状比影像学检查结果更具决定性,轻度至中度症状的 LSS 患者大多应采用保守治疗,包括口服药物、硬膜外注射和按摩理疗等等。对于伴有严重症状的 LSS,如果保守治疗在 3~6 个月后无效,则需要进行手术[13]。

神经根受压会引发局部炎症,从而影响神经根的兴奋状态。此外,至少有两种相互依赖的血管机制被认为会导致 LSS 神经源性跛行的发生:① 动脉血流减少导致缺血;② 静脉充血伴有神经受压和继发性灌注不足。相反,神经根受压可导致自主神经失调和腿部循环功能受损。腰椎过度伸展或过度前凸会增加压迫程度,这主要是因为这些姿势会导致椎管进一步变窄[13][14]。相比之下,过度屈曲消除了脊柱前凸,可导致椎管扩大。只有在某种姿势下(例如,站立而不是坐着)出现临床相关的 LSS 时,才能诊断为功能性 LSS。这种狭窄经常因垂直负荷增加而进一步恶化。事实上,站立或行走时硬膜外压力升高,而坐和屈曲时则降低。众多研究人员已经开发了多种实验动物模型,以更详细地研究 LSS 的潜在病理生理机制,并测试药物干预策略,但是这些模型对于病因复杂的人类其有效性仍然相对有限[15]。

3. LSS 的症状和体征

与 LSS 的病理解剖学特征不同, LSS 的临床特征具有较大差异性,神经系统症状并不能完全概括。通常,患者的主要症状包括单侧或双侧背部和腿部疼痛,这种疼痛可缓慢发展并持续几个月甚至几年。背痛一般局限于腰椎,可向臀部、腹股沟和腿部呈辐射状,假神经根型症状较为常见[16][17]。在侧隐窝狭窄或椎间孔狭窄的情况下,也可发生孤立性神经根病。神经源性跛行是 LSS 最具体的症状,尽管它几乎总是伴随着进一步的症状。考虑到所有症状, LSS 病在临床上可分为一至三级。一级的特征是行走距离缩短(由疼痛引起)和短暂的间歇性感觉缺失,这些症状在休息时可能不明显,但在行走时会恶化。然而,并不是所有的 LSS 患者都表现出与神经源性间歇性跛行相一致的症状,这也是存在其他 LSS 分类的原因。二级为间歇性麻痹是指已经持续的感觉缺陷和反射丧失[18]。如果出现持续的、进行性的轻瘫,并伴有疼痛的部分消退,则认为达到了三级。

神经源性跛行在临床上可以与血管性间歇性跛行相鉴别,前者表现为脊柱屈曲后(例如骑自行车时)疼痛消退。与血管性跛行相反, LSS 患者站立时疼痛感觉并无缓解。相比于下肢痛,腰痛更有助于临床定位。据统计,大约 20%的 LSS 患者表现出抑郁症状,25%的患者对手术前的生活不满意,这与其他慢性疾病患者的情况相似[19]。评估患者的情绪和满意度非常重要,因为 LSS 患者和健康人之间的情绪和满意度有显著差异,并且这也会影响诊断和治疗决策。患者报告的症状即使是暂时性的,在诊断工作中应予以认真考虑,尤其是在最初的首诊时。

4. LSS 的诊断

随着社会的进步,寿命延长、对更高生活质量的需求、疾病认识提高以及先进影像学技术,使得退

行性 LSS 的诊断频率逐步上升。然而, LSS 临床上较难诊断, 因为它的症状与其他疾病相鉴别较为复杂。另一方面, 老年人中普遍存在的各种疾病会导致继发性狭窄或出现类 LSS 症状[20]。因此, LSS 与许多其他疾病的鉴别至关重要。LSS 的临床症状常常在休息时消失, 而且很难确定疼痛是否与 LSS 或其他因素有关(例如腰椎局部不稳、小关节病、骨质疏松症、关节炎等)。因此, LSS 病的诊断只能通过临床病史、体格检查和影像学检查综合判断分析[21]。

与 LSS 的情况相反, 周围神经病通常表现为双侧远端袜状感觉, 与姿势、休息或身体压力无关。髌关节紊乱偶尔会出现类 LSS 症状, 站立和行走时腰痛会辐射到臀部和大腿。然而, 与 LSS 不同的是, 髌关节疼痛的特征是关节压痛。马尾综合征也可以由 LSS 引起, 但发生率较低, 其主要症状包括骶骨感觉迟钝、下肢腱反射丧失和失禁[22] [23]。括约肌受累在 LSS 非常罕见, 因为骶神经位于马尾神经的中心位置而相对不受压迫。在出现膀胱直肠排尿和上运动神经元体征(例如巴宾斯基反射和反射亢进)的患者中, 需要排除颈脊髓或胸脊髓病变。在进行 LSS 放射学评估时, 需要考虑腰椎管成像的一些固有问题[24]。首先, 有症状患者的影像受到无症状人群中腰椎退行性改变非常普遍这一事实的干扰: 在 60 岁以上的患者中, 20% 的患者会存在腰椎退行性改变的迹象。其次, 影像学往往会夸大退行性病变。因此, 放射学诊断的 LSS 通常比临床怀疑的节段更多。在大多数情况下, 可以根据病情的临床表现和患者的病史做出 LSS 的推定诊断。因此, 当考虑任何类型的介入或外科治疗时, 倾向于选择性地采用成像。值得注意的是, 影像学往往最常用于患有中度至重度 LSS 症状的患者[25] [26]。

在具有 LSS 症状的术前患者中, 成像的目的是确认 LSS 的存在或不存在, 排除鉴别诊断, 将神经症状与骨和椎间盘结构联系起来, 并确定 LSS 的确切位置以进行准确的术前计划[27]。如前所述, LSS 主要是退行性椎间盘疾病的结果。形态学改变, 如椎间盘高度丧失、椎间盘信号、椎间盘膨出、椎间盘突出、反应性终板等可以通过应用各种成像技术在不同程度上显现出来。小关节应力的增加可导致肥大的小关节退化以及肥大的黄韧带带的出现。这些变化均可导致中央、侧隐窝或椎间孔的狭窄。

4.1. MRI

MRI 是 LSS 主要的影像学检查之一。与其他成像方式相比, MRI 可将神经和脑脊液清晰地展示出来, 并可以进行断层扫描显示, 无辐射[28] [29]。LSS 患者的 MRI 通常包括 T1 加权和 T2 加权图像(矢状和轴向), 并可以添加脂肪抑制 T2 加权序列, 因为这样的图像似乎允许医师更准确地观察到相关的退变变化。利用 T2 加权图像和脑脊液的固有信号强度, 可以非侵入性地获得显示硬膜囊、鞘内和神经根以及脊髓的“脊髓造影样”图像[30]。LSS 节段并不固定。类似于 CT, MRI 可以确定骨和椎间盘结构椎管的侵袭程度以评估 LSS 的严重程度。

尽管对脊柱解剖进行了详细描述, 但关于 MRI 相关信息的临床用途, 国内外研究结果并不同意[31]。由 Modic 等人[26]进行的一项研究结果表明, 在神经根性疾病、腰痛和坐骨神经痛患者中, 通过 MRI 观察到的变化很少或根本没有为临床评估增加与预后和预测手术结果相关的临床相关信息。造影剂在 LSS 成像中并不是常规应用, 除非具有手术史, 此外纤维瘤疤痕组织可能必须通过其造影增强来识别。然而, 一些研究表明, 在患有神经源性跛行的 LSS 患者中, 造影增强磁共振成像可能具有更好的作用, 因为在这些患者的一部分中可以看到受压神经根的增强影像[32]。这种增强影像被认为反映了神经根周围静脉阻塞, 表明静脉淤滞, 血液-神经屏障破坏等, 这些是慢性压迫性神经根炎的标志。通过使用 T2 加权脂肪抑制序列, MRI 脊髓造影可以无创性地进行, 无需对比剂。尽管这种技术能够准确地描绘硬膜囊, 但是, 关于这种序列的有用性, 国内外学者的看法不一[33]。因此, MRI 脊髓造影的使用只是作为相比于常规 MRI 的一种额外的补充方式。计算机断层扫描可以快速进行, 并允许对椎管进行精确的评估, 并区分由椎间盘、韧带和骨结构引起的椎管压迫。在后一方面, 这种方法优于 MRI。

4.2. CT

目前, CT 通常使用螺旋多层技术进行, 使得能够在任何平面和三维重建中进行多平面重组。因此, 即使在明显旋转的脊柱侧凸中, 也可以在一个平面上实现多节段成像, 这在 MRI 中是不可能的[34]。但是, CT 的一个局限性是无法显示神经根和脊髓, 因为这些结构具有与脑脊液相似的密度。不过这个问题可以通过使用脊髓造影来解决。CT 脊髓造影需要注射碘后进行螺旋 CT 成像, 通常在荧光镜的指导下进行。在一些广泛的退行性或术后改变的情况下, 也可以在 CT 引导下进行腰椎穿刺[35]。CT 和 CT 脊髓造影可能适用于 MRI 禁忌、结果不确定或临床症状与 MRI 结果不符的患者。此外, 在需要精确描述骨骼解剖的情况下, CT 技术可用于精准的术前规划。

4.3. X 线

常规获取的 X 线平片在 LSS 患者初始评估中的相对不足。事实上, 获取 X 线平片不再是研究指南的一部分。然而, 许多患者在初始评估中仍进行常规 X 线拍摄, 主要因为这种方法成本低且操作简单[36][37]。传统的 X 光片在评估骨性结构较好。这种技术也可以潜在地用于排除创伤性变化或其他意外发现(例如佩吉特病、椎间盘炎或脊柱侧凸)以帮助医师做出较为明确的诊断。手术后, X 线平片有助于确定融合材料的完整性和正确位置, 并观察螺钉松动的迹象。据报道, X 线平片对中央椎管狭窄的骨改变的敏感性和特异性分别为 CT 的 66%和 98% [38]。X 线的侧位片在屈曲和伸展位置(所谓的功能性 X 光片), 在排除节段性不稳定时不是常规要求, 因为节段性不稳定可以在常规侧位 X 光片上以足够准确的方式检测到。此外, 在最近进行的研究中, 从这些额外的 X 线中没有获得额外的益处。即使对于怀疑节段性不稳的患者, 侧位 X 光片在屈曲和伸展中的诊断价值也不能确定[39]。总之, 最近的研究表明, 常规脊髓造影、CT 脊髓造影和 MRI 的诊断和预测价值没有显著差异。此外, 评估成像方法时需要考虑的一个重要问题, 即手术前后的 LSS 影像学表现不一定与临床症状和体征的程度相关。

4.4. 额外诊断方式

对于部分患者, 选择性诊断注射可评估不同疼痛成分对患者整体健康的贡献。如果怀疑疼痛症状是由血管疾病引起, 非侵入性诊断技术可以帮助医师诊断, 包括确定脚踝收缩压与手臂收缩压的比率(踝臂指数), 当该值小于 0.5 时, 即可认为是病理性的[40]。此外, 常规的双功能多普勒血管造影术、对比增强 MRI 血管造影术和数字减影血管造影术也可用于确定血管因素在引起疼痛中的作用。电生理检查仅作为排除相关疾病的方式之一。

5. LSS 的治疗

退变性 LSS 的进展性使得完全治愈这种疾病的可能性不大, 因此治疗的主要目的是缓解症状。最近的干预策略主要集中在缓解疼痛和改善机体感觉和运动功能[41]。大多数患者的干预指征不是绝对的。然而, 马尾综合征或瘫痪是干预的必要指征。考虑到 LSS 的病理和临床异质性, 选择合适治疗方式是困难的。

5.1. LSS 的保守治疗

LSS 的保守治疗包括物理疗法、行为疗法、腰带、针灸、手工疗法和药物干预等。目前仍缺乏关于保守治疗有效性的相关研究, 尽管部分研究使用保守治疗可高达 70%的成功率[42]。然而并没有相关研究可以提供足够的数据来支持任何一种保守疗法的优越性, 甚至有效性。在缺乏基于证据的临床指南的情况下, 多学科综合治疗方法应优先于单一疗法。针对患者的个性化建议至关重要, 尤其是在症状轻微的情况下, 因为简单地改变个体行为就足以稳定或改善病情的进展[43]。

药物治疗主要目的是缓解疼痛。用于治疗 LSS 的药物包括非甾体抗炎药、其他外周止痛剂、类固醇、肌肉松弛剂、阿片类药物等。如果在生活质量受损的非常严重的情况下,还包括抗精神病药。除了口服药物外,注射治疗可以提供短期到中期的缓解[36]。类固醇通常可与局部麻醉剂一起用于硬膜外、神经根旁和小关节,但这种侵入性操作存在感染的风险。

5.2. LSS 的手术治疗

在通过临床病史采集、体格检查和影像学检查后,确诊的 LSS 患者应进行 3~6 个月的保守治疗,目的改善症状。对于严重症状持续存在且出现功能障碍的患者,手术治疗是必要的[37]~[43]。所有外科手术都是为了在不破坏神经节段稳定性的情况下,对受压迫的神经进行减压。这种减压手术术后通常可以缓解腿部疼痛,并在一定程度上缓解腰痛。然而,即使神经根、硬膜囊和血管上的压力得到充分消除,神经恢复的速度和程度也是不可预测的[44]。减压手术主要包括椎板切除术和半椎板切除术、半椎板切开术、开窗术、椎间孔切开术和植入椎间融合术。融合手术是一种比减压手术更具侵入性的手术,主要针对于脊柱不稳的情况,但其并发症也相对较多。减压和融合手术的典型并发症包括硬膜囊撕裂、硬膜外血肿等,而且部分并发症会导致新的神经压迫。据报道,减压术后的 10 年再手术率在 10%~23%之间[45]。在以下情况下可能需要额外的融合手术:椎体不稳、椎体滑脱或脊柱侧凸。据报道,减压手术的成功率为 40%~90%之间,这取决于多种因素,如减压类型、随访时间、患者年龄和合并症等等。此外切除关节突似乎不会导致节段不稳定,但可能会导致腰痛频率增加[46]。迄今为止,对于是否应该只对有症状的水平和侧面进行减压,或者是否应该对额外的非症状性的邻近狭窄节段进行减压,并没有达到共识。因此寻找确定 LSS 的客观诊断标准,发现客观的影像学指标并用以指导临床治疗方式的选择是必要的。

6. 马尾神经冗余征和马尾神经沉降征

RNRs 的主要表现为马尾神经在椎管内呈现为扭曲、环绕以及匍行的状态。Verbiest 首次在 1954 年在 LSS 患者 X 线脊髓造影中观察到该现象[44]。1968 年,被 Cressmen 和 Pawl 共同将其命名为 RNRs [45]。LSS 是引起该征象的最常见原因,其次有腰椎间盘突出症、脊柱创伤、脊柱肿瘤等。相关研究表明 RNRs 与 LSS 患者神经症状严重程度密切相关。RNRs 阳性的 LSS 患者在行手术减压后普遍存在明显残留的神经症状。

2010 年德国骨科医生 Barz 等人[47]发现了在 LSS 患者 MRI 横断位图像上的另外一种影像学现象,即患者在平卧位拍摄 MRI 时,椎管内的马尾神经无法分布于硬膜囊的背侧,而是依然漂浮在硬膜囊的中央及腹侧,并将该现象称为马尾神经沉降征(nerve root sedimentation sign, SS)。

6.1. RNRs 和 SS 的发病率

2008 年前,关于 RNRs 的相关研究较少。随着 MRI 技术的普及,RNRs 逐步受到脊柱临床医师的关注。相关研究表明,RNRs 在 LSS 患者的发生率为 34%~45%左右[48] [49]。Barz 等人[50]利用 MRI 对 RNRs 的形态进行统计观察时,发现环状的 RNRs 相比于蛇纹状更为常见。

Barz 等人[47] [50]通过观察 LSS 患者的 MRI 发现,SS 在中央型 LSS 的发生率为 94%,而无明显腰椎管狭窄患者均为 SS 阴性,并提出可将 SS 作为诊断 LSS 的标准之一,学者们才逐渐加大了对 SS 与 LSS 相关性的研究。

6.2. RNRs 和 SS 的发生机制

6.2.1. 机械性受压

部分学者认为,RNRs 和 SS 出现的主要原因是由于机械性压迫导致的。LSS 患者的椎管由于退变,

导致黄韧带肥厚，侧隐窝狭窄，骨性增生等问题出现，进而导致椎管内空间减小，压迫硬膜囊，随着狭窄的不断加重，内部的马尾神经逐步受压[51]。由于局部的受压的不断加重，导致马尾神经在硬膜囊内部不断摩擦卡压，截断了脑脊液向狭窄节段下方流动，局部的压力摩擦使得马尾神经水肿迂曲，伴有炎性细胞的出现，引起神经症状。随着人的姿势的不断变化，局部提拉马尾神经，但由于卡压使得马尾神经出现杂草样分布。Yokoyama 等人[52]通过将 LSS 患者的尸体进行解剖发现，冗余的马尾神经在狭窄节段处发生绞索。此外由于人姿势的不断变化，神经根会在硬膜囊中被明显牵拉，使其不断拉伸变得迂曲。

6.2.2. 局部受压导致微循环障碍

RNRs 和 SS 的发生还有可能与马尾神经局部的微循环障碍有关。相关解剖学研究发现，间歇性跛行可能与马尾神经近端三分之一局部动脉循环障碍相关。但是，马尾神经内存在较多的分支血管，这与局部微循环障碍观点相冲突[53]。更值得关注的是，LSS 患者的马尾神经缺血主要由于静脉因素导致，这主要由于局部受压摩擦导致此处静脉壁变薄，压力小，流速小，相比与动脉更容易受压力的影响而中断，进而导致马尾神经局部缺血，使得马尾神经迂曲变形严重。

6.3. RNRs 的 MRI 表现

RNRs 在 MRI 上的主要特点是腰椎矢状位 T2 加权图像上表现为椎管内杂草样、迂曲、缠绕的高信号影，这些影像在 T1 加权像和压脂像中较难被观察。对于 RNRs 的检出，脊髓造影的准确性要高于 MRI。Villaña 等人[54]利用 MRI 和脊髓造影对 LSS 患者存在的 RNRs 进行检测，结果表明脊髓造影可以更加准确有效地检测出 RNRs 的存在，但脊髓造影属于有创检测，MRI 的是无创的，所以目前对于 RNRs 的观察主要通过 MRI 实现。目前对于 RNRs 的形态学表现分类主要分为两类：一类是环状(looped-shaped)；另外一个蛇纹石征(serpentined-shape)，本研究也是以这两种分类方式对影像学形态进行观察。

6.4. SS 的 MRI 表现

SS 可以在 MRI 图像轴状位 T2 加权像上观察到，主要表现为患者在平卧位拍摄 MRI 时，椎管内的马尾神经漂浮在硬膜囊的中央及腹侧，而不是分布于硬膜囊背侧。

7. 小结与展望

LSS 患者由于局部马尾神经受压，进而导致出现相应的症状。RNRs 和 SS 均是腰椎管狭窄的结果，并不是导致神经症状的原因，因此 RNRs 和 SS 与椎管的狭窄程度是相关的。RNRs 和 SS 是马尾神经受压较为严重的表现，轻度的硬膜囊受压，由于内部脑脊液的缘故，虽然有局部压力的升高，但往往不会引起马尾神经的卡压甚至绞窄[55]。此时，姿势的改变与下肢的运动拉伸等仍然可以拉扯马尾神经在硬膜中移动。若卡压加重，马尾神经出现了部分固定或全部固定后，运动及日常生活时牵拉马尾神经，使其存在局部滑动，但当休息时马尾神经由于局部卡压加重及压力增高，马尾神经无法恢复到原来位置，长期的慢性机械性摩擦使得马尾神经充血肿胀进而加重局部卡压，导致临床症状加剧[56]。因此，LSS 患者 MRI 显示的 RNRs 和 SS 阳性很可能提示马尾神经受压严重或受压时间较长。此时，保守治疗并不能改变局部马尾神经的受压状态，反而会加重其局部卡压时间，影响局部血流供应，导致微循环障碍，加重临床症状的发生。

综上所述，RNRs 和 SS 作为 LSS 患者 MRI 上常见的征象，应该引起脊柱临床医师的重视，特别是严重狭窄的 LSS 患者，对于存在上述征象的患者及时的手术治疗会较好地改善患者预后及生活质量。

参考文献

- [1] Arabmotlagh, M., Sellei, R.M., Vinas-Rios, J.M. and Rauschmann, M. (2019) Klassifikation und Diagnostik der lumbalen Spinalkanalstenose. *Der Orthopäde*, **48**, 816-823. <https://doi.org/10.1007/s00132-019-03746-1>
- [2] Khalsa, S.S., Kim, H.S., Singh, R. and Kashlan, O.N. (2019) Radiographic Outcomes of Endoscopic Decompression for Lumbar Spinal Stenosis. *Neurosurgical Focus*, **46**, E10. <https://doi.org/10.3171/2019.2.focus18617>
- [3] Janka, M., Handschu, R., Merkel, A. and Schuh, A. (2020) Die Spinalkanalstenose. *MMW—Fortschritte der Medizin*, **162**, 58-65. <https://doi.org/10.1007/s15006-020-1459-7>
- [4] Lai, M.K.L., Cheung, P.W.H. and Cheung, J.P.Y. (2020) A Systematic Review of Developmental Lumbar Spinal Stenosis. *European Spine Journal*, **29**, 2173-2187. <https://doi.org/10.1007/s00586-020-06524-2>
- [5] Le Huec, J.C., Seresti, S., Bourret, S., Cloche, T., Monteiro, J., Cirullo, A., *et al.* (2020) Revision after Spinal Stenosis Surgery. *European Spine Journal*, **29**, 22-38. <https://doi.org/10.1007/s00586-020-06314-w>
- [6] Minetama, M., Kawakami, M., Teraguchi, M., Kagotani, R., Mera, Y., Sumiya, T., *et al.* (2019) Therapeutic Advantages of Frequent Physical Therapy Sessions for Patients with Lumbar Spinal Stenosis. *Spine*, **45**, E639-E646. <https://doi.org/10.1097/brs.0000000000003363>
- [7] Yang, L., Liu, W., Li, J., Zhu, W., An, L., Yuan, S., *et al.* (2020) Lumbar Decompression and Lumbar Interbody Fusion in the Treatment of Lumbar Spinal Stenosis: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Medicine*, **99**, e20323. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000020323>
- [8] Kitab, S., Habboub, G., Abdulkareem, S.B., Alimidhatti, M.B. and Benzel, E. (2019) Redefining Lumbar Spinal Stenosis as a Developmental Syndrome: Does Age Matter? *Journal of Neurosurgery: Spine*, **31**, 357-365. <https://doi.org/10.3171/2019.2.spine181383>
- [9] Schatlo, B., Horanin, M., Hernandez-Durán, S., Solomiichuk, V. and Rohde, V. (2018) Shape of the Spinal Canal Is Not Associated with Success Rates of Microsurgical Unilateral Laminotomy and Bilateral Decompression for Lumbar Spinal Canal Stenosis. *World Neurosurgery*, **116**, e42-e47. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.03.137>
- [10] Zhang, Y., Zhang, Z., Li, F., Sun, T., Shan, J., Guan, K., *et al.* (2018) Long-Term Outcome of Dynesys Dynamic Stabilization for Lumbar Spinal Stenosis. *Chinese Medical Journal*, **131**, 2537-2543. <https://doi.org/10.4103/0366-6999.244107>
- [11] Heary, R.F., Anderson, P.A. and Arnold, P.M. (2019) Introduction. Lumbar Spinal Stenosis. *Neurosurgical Focus*, **46**, E1. <https://doi.org/10.3171/2019.2.focus19151>
- [12] Abou-Al-Shaar, H., Adogwa, O. and Mehta, A.I. (2018) Lumbar Spinal Stenosis: Objective Measurement Scales and Ambulatory Status. *Asian Spine Journal*, **12**, 765-774. <https://doi.org/10.31616/asj.2018.12.4.765>
- [13] Gandhi, J., Shah, J., Joshi, G., Vatsia, S., DiMatteo, A., Joshi, G., *et al.* (2017) Neuro-Urological Sequelae of Lumbar Spinal Stenosis. *International Journal of Neuroscience*, **128**, 554-562. <https://doi.org/10.1080/00207454.2017.1400973>
- [14] Lafian, A.M. and Torralba, K.D. (2018) Lumbar Spinal Stenosis in Older Adults. *Rheumatic Disease Clinics of North America*, **44**, 501-512. <https://doi.org/10.1016/j.rdc.2018.03.008>
- [15] Mo, Z., Zhang, R., Chang, M. and Tang, S. (2018) Exercise Therapy versus Surgery for Lumbar Spinal Stenosis: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Pakistan Journal of Medical Sciences*, **34**, 879-885. <https://doi.org/10.12669/pjms.344.14349>
- [16] Montano, N., Stifano, V., Papacci, F., Mazzucchi, E. and Fernandez, E. (2018) Minimally Invasive Decompression in Patients with Degenerative Spondylolisthesis Associated with Lumbar Spinal Stenosis. Report of a Surgical Series and Review of the Literature. *Neurologia i Neurochirurgia Polska*, **52**, 448-458. <https://doi.org/10.1016/j.pjnns.2018.06.004>
- [17] Xu, B., Xu, H., Ma, X., Liu, Y., Yang, Q., Jiang, H., *et al.* (2018) Bilateral Decompression and Intervertebral Fusion via Unilateral Fenestration for Complex Lumbar Spinal Stenosis with a Mobile Microendoscopic Technique. *Medicine*, **97**, e9715. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000009715>
- [18] Golubovsky, J.L., Ilyas, H., Chen, J., Tanenbaum, J.E., Mroz, T.E. and Steinmetz, M.P. (2018) Risk Factors and Associated Complications for Postoperative Urinary Retention after Lumbar Surgery for Lumbar Spinal Stenosis. *The Spine Journal*, **18**, 1533-1539. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2018.01.022>
- [19] Akar, E. and Somay, H. (2019) Comparative Morphometric Analysis of Congenital and Acquired Lumbar Spinal Stenosis. *Journal of Clinical Neuroscience*, **68**, 256-261. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2019.07.015>
- [20] Cook, C.J., Cook, C.E., Reiman, M.P., Joshi, A.B., Richardson, W. and Garcia, A.N. (2019) Systematic Review of Diagnostic Accuracy of Patient History, Clinical Findings, and Physical Tests in the Diagnosis of Lumbar Spinal Stenosis. *European Spine Journal*, **29**, 93-112. <https://doi.org/10.1007/s00586-019-06048-4>
- [21] Costa, F., Anania, C.D., Zileli, M., Servadei, F. and Fornari, M. (2020) Lumbar Spinal Stenosis: Introduction to the World Federation of Neurosurgical Societies (WFNS) Spine Committee Recommendations. *World Neurosurgery*: X, **7**,

Article ID: 100075. <https://doi.org/10.1016/j.wnsx.2020.100075>

- [22] Jain, N., Acharya, S., Adsul, N.M., Haritwal, M.K., Kumar, M., Chahal, R.S., *et al.* (2020) Lumbar Canal Stenosis: A Prospective Clinicoradiologic Analysis. *Journal of Neurological Surgery Part A: Central European Neurosurgery*, **81**, 387-391. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1698393>
- [23] Shekarchizadeh, A., Mohammadi-Moghadam, A., Rezvani, M., *et al.* (2020) Outcome of Patients with Lumbar Spinal Canal Stenosis Due to Discogenic under Percutaneous Laser Disc Decompression. *American Journal of Neurodegenerative Disease*, **9**, 1-7.
- [24] Ogink, P.T., Teunis, T., van Wulfften Palthe, O., Sepucha, K., Bono, C.M., Schwab, J.H., *et al.* (2018) Variation in Costs among Surgeons for Lumbar Spinal Stenosis. *The Spine Journal*, **18**, 1584-1591. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2018.02.015>
- [25] Oka, H., Matsudaira, K., Takano, Y., Kasuya, D., Niiya, M., Tonosu, J., *et al.* (2018) A Comparative Study of Three Conservative Treatments in Patients with Lumbar Spinal Stenosis: Lumbar Spinal Stenosis with Acupuncture and Physical Therapy Study (LAP Study). *BMC Complementary and Alternative Medicine*, **18**, Article No. 19. <https://doi.org/10.1186/s12906-018-2087-y>
- [26] Modic, M.T., Obuchowski, N.A., Ross, J.S., Brant-Zawadzki, M.N., Grooff, P.N., Mazanec, D.J., *et al.* (2005) Acute Low Back Pain and Radiculopathy: MR Imaging Findings and Their Prognostic Role and Effect on Outcome. *Radiology*, **237**, 597-604. <https://doi.org/10.1148/radiol.2372041509>
- [27] Lee, C., Choi, M., Ryu, D.S., Choi, I., Kim, C.H., Kim, H.S., *et al.* (2018) Efficacy and Safety of Full-Endoscopic Decompression via Interlaminar Approach for Central or Lateral Recess Spinal Stenosis of the Lumbar Spine: A Meta-Analysis. *Spine*, **43**, 1756-1764. <https://doi.org/10.1097/brs.0000000000002708>
- [28] Piechota, M., Król, R., Elias, D.A., Wawrzynek, W. and Lekstan, A. (2018) The Nerve Root Sedimentation Sign in Diagnosis of Lumbar Spinal Stenosis. *Acta Radiologica*, **60**, 634-642. <https://doi.org/10.1177/0284185118795322>
- [29] Reyes-Sánchez, A., García-Ramos, C., Deras-Barrientos, C., Alpizar-Aguirre, A., Rosales-Olivarez, L. and Pichardo-Bahena, R. (2019) Ligamento amarillo en estenosis lumbar espinal, hernia de disco y espondilolistesis degenerativa. Una descripción histopatológica. *Acta Ortopédica Mexicana*, **33**, 308-313. <https://doi.org/10.35366/or195i>
- [30] Roop, S.C., Battié, M.C., Jhangri, G.S., Hu, R.W. and Jones, C.A. (2020) Functional Recovery after Surgery for Lumbar Spinal Stenosis in Patients with Hypertension. *Healthcare*, **8**, Article 503. <https://doi.org/10.3390/healthcare8040503>
- [31] Heary, R. (2019) Editorial. Use of Fixation/fusion to Treat Lumbar Spinal Stenosis. *Neurosurgical Focus*, **46**, E8. <https://doi.org/10.3171/2019.2.focus19139>
- [32] Hammouri, Q.M., Haims, A.H., Simpson, A.K., Alqaqa, A. and Grauer, J.N. (2007) The Utility of Dynamic Flexion-Extension Radiographs in the Initial Evaluation of the Degenerative Lumbar Spine. *Spine*, **32**, 2361-2364. <https://doi.org/10.1097/brs.0b013e318155796e>
- [33] Huber, F.A., Stutz, S., Vittoria de Martini, I., Mannil, M., Becker, A.S., Winklhofer, S., *et al.* (2019) Qualitative versus Quantitative Lumbar Spinal Stenosis Grading by Machine Learning Supported Texture Analysis—Experience from the LSOS Study Cohort. *European Journal of Radiology*, **114**, 45-50. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2019.02.023>
- [34] Jensen, R.K., Andresen, A., Brøgger, H.A., *et al.* (2019) Lumbar Spinal Stenosis. *Ugeskrift for Læger*, **181**, V04180250.
- [35] Huet, T., Cohen-Solal, M., Laredo, J., Collet, C., Baujat, G., Cormier-Daire, V., *et al.* (2020) Lumbar Spinal Stenosis and Disc Alterations Affect the Upper Lumbar Spine in Adults with Achondroplasia. *Scientific Reports*, **10**, Article No. 4699. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61704-w>
- [36] Lee, B.H., Moon, S., Suk, K., Kim, H., Yang, J. and Lee, H. (2020) Lumbar Spinal Stenosis: Pathophysiology and Treatment Principle: A Narrative Review. *Asian Spine Journal*, **14**, 682-693. <https://doi.org/10.31616/asj.2020.0472>
- [37] Ilyas, H., Udo-Inyang, I. and Savage, J. (2019) Lumbar Spinal Stenosis and Degenerative Spondylolisthesis: A Review of the SPORT Literature. *Clinical Spine Surgery: A Spine Publication*, **32**, 272-278. <https://doi.org/10.1097/bsd.0000000000000841>
- [38] Kuwahara, W., Kurumadani, H., Tanaka, N., Nakanishi, K., Nakamura, H., Ishii, Y., *et al.* (2019) Correlation between Spinal and Pelvic Movements during Gait and Aggravation of Low Back Pain by Gait Loading in Lumbar Spinal Stenosis Patients. *Journal of Orthopaedic Science*, **24**, 207-213. <https://doi.org/10.1016/j.jos.2018.09.002>
- [39] Fujita, N., Michikawa, T., Miyamoto, A., Sakurai, A., Otaka, Y., Suzuki, S., *et al.* (2020) Lumbar Spinal Surgery Improves Locomotive Syndrome in Elderly Patients with Lumbar Spinal Canal Stenosis: A Multicenter Prospective Study. *Journal of Orthopaedic Science*, **25**, 213-218. <https://doi.org/10.1016/j.jos.2019.03.017>
- [40] Xie, P., Feng, F., Chen, Z., He, L., Yang, B., Chen, R., *et al.* (2020) Percutaneous Transforaminal Full Endoscopic Decompression for the Treatment of Lumbar Spinal Stenosis. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **21**, Article No. 546. <https://doi.org/10.1186/s12891-020-03566-x>
- [41] Sharif, S., Shaikh, Y., Bajamal, A.H., Costa, F. and Zileli, M. (2020) Fusion Surgery for Lumbar Spinal Stenosis: WFNS

- Spine Committee Recommendations. *World Neurosurgery*: X, 7, Article ID: 100077. <https://doi.org/10.1016/j.wnsx.2020.100077>
- [42] Qin, Z., Ding, Y., Xu, C., Kwong, J.S.W., Ji, Y., Wu, A., *et al.* (2020) Acupuncture vs Noninsertive Sham Acupuncture in Aging Patients with Degenerative Lumbar Spinal Stenosis: A Randomized Controlled Trial. *The American Journal of Medicine*, **133**, 500-507.e20. <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2019.08.038>
- [43] Rahim, T., Vinas Rios, J.M., Arabmotlagh, M., Sellei, R. and Rauschmann, M. (2019) Die lumbale Spinalkanalstenose: A Historical Perspective. *Der Orthopäde*, **48**, 810-815. <https://doi.org/10.1007/s00132-019-03763-0>
- [44] Verbiest, H. (1954) A Radicular Syndrome from Developmental Narrowing of the Lumbar Vertebral Canal. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume*, **36**, 230-237. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.36b2.230>
- [45] Cressman, M.R. and Pawl, R.P. (1968) Serpentine Myelographic Defect Caused by a Redundant Nerve Root. *Journal of Neurosurgery*, **28**, 391-393. <https://doi.org/10.3171/jns.1968.28.4.0391>
- [46] Yang, S.M., Park, H.K., Cho, S.J. and Chang, J.C. (2013) Redundant Nerve Roots of Cauda Equina Mimicking Intradural Disc Herniation: A Case Report. *Korean Journal of Spine*, **10**, 41-43. <https://doi.org/10.14245/kjs.2013.10.1.41>
- [47] Barz, T., Melloh, M., Staub, L.P., Lord, S.J., Lange, J., Röder, C.P., *et al.* (2010) Nerve Root Sedimentation Sign: Evaluation of a New Radiological Sign in Lumbar Spinal Stenosis. *Spine*, **35**, 892-897. <https://doi.org/10.1097/brs.0b013e3181c7cf4b>
- [48] Ozturk, A.K. and Gokaslan, Z.L. (2014) Clinical Significance of Redundant Nerve Roots of the Cauda Equina. *World Neurosurgery*, **82**, e717-e718. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2013.10.047>
- [49] Villafañe, F.E., Harvey, A. and Kettner, N. (2017) Redundant Nerve Root in a Patient with Chronic Lumbar Degenerative Canal Stenosis. *Journal of Chiropractic Medicine*, **16**, 236-241. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2017.02.001>
- [50] Barz, T., Staub, L.P., Melloh, M., Hamann, G., Lord, S.J., Chatfield, M.D., *et al.* (2014) Clinical Validity of the Nerve Root Sedimentation Sign in Patients with Suspected Lumbar Spinal Stenosis. *The Spine Journal*, **14**, 667-674. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2013.06.105>
- [51] Ko, S. (2017) Correlations between Sedimentation Sign, Dural Sac Cross-Sectional Area, and Clinical Symptoms of Degenerative Lumbar Spinal Stenosis. *European Spine Journal*, **27**, 1623-1628. <https://doi.org/10.1007/s00586-017-5374-2>
- [52] Yokoyama, K., Kawanishi, M., Yamada, M., Tanaka, H., Ito, Y., Hirano, M., *et al.* (2014) Clinical Significance of Postoperative Changes in Redundant Nerve Roots after Decompressive Laminectomy for Lumbar Spinal Canal Stenosis. *World Neurosurgery*, **82**, e825-e830. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2013.09.024>
- [53] Hacker, D.A., Latchaw, R.E., Yock, D.H., Ghosharjura, K. and Gold, L.H. (1982) Redundant Lumbar Nerve Root Syndrome: Myelographic Features. *Radiology*, **143**, 457-461. <https://doi.org/10.1148/radiology.143.2.6280235>
- [54] Mattei, T.A. and Mendel, E. (2014) Redundans Nervi Radix Cauda Equina: Pathophysiology and Clinical Significance of an Intriguing Radiologic Sign. *World Neurosurgery*, **82**, e719-e721. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2013.10.048>
- [55] Zhang, Q., Mesregah, M.K., Patel, K., Buser, Z. and Wang, J.C. (2021) The Correlation between Negative Nerve Root Sedimentation Sign and Gravity: A Study of Upright Lumbar Multi-Positional Magnetic Resonance Images. *Global Spine Journal*, **13**, 1011-1016. <https://doi.org/10.1177/21925682211013310>
- [56] Deng, L., Yang, H., Liu, M., Liang, T., Wang, F., Ning, X., *et al.* (2021) The Role of Positive Nerve Root Sedimentation Sign in the Treatment of Patients Undergoing Lumbar Disc Herniation. *British Journal of Neurosurgery*, **38**, 556-561. <https://doi.org/10.1080/02688697.2021.1923652>