

综述

马尾神经冗余征的研究进展

The progress in research of redundant nerve roots of cauda equina

任 涛, 瞿东滨

(南方医科大学南方医院脊柱骨科 510515 广州市)

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2018.10.13

中图分类号: R681.5 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2018)-10-0954-04

马尾神经冗余征(redundant nerve roots, RNRs)是指马尾神经在椎管内表现为松弛、迂曲以及匍行等现象^[1]。最早由 Verbiest 在 1954 年对腰椎管狭窄症患者进行 X 线脊髓造影时发现并描述^[2]; 1968 年 Cressmen 和 Pawl^[3]将其命名为 RNRs, 并一直沿用至今。国内亦有文献称之为马尾神经松弛征^[4]。腰椎管狭窄症是引起该征象的最常见原因, 其次为腰椎间盘突出症、脊柱创伤、脊柱肿瘤等。有研究认为 RNRs 与腰椎管狭窄症患者症状严重程度密切相关^[1,5]。RNRs 在腰椎管狭窄症患者行手术减压后偶有残留神经功能障碍^[6,9]。所以应重视该征象, 做到早期发现及有效处置。现就 RNRs 相关研究综述如下。

1 发生率

有关 RNRs 在 2008 年前仅有零星病例报道^[7]。随着 MRI 广泛应用, 为 RNRs 诊断提供了重要手段^[8]。腰椎管狭窄症患者中, RNRs 发生率可达 33.8%~42.3%^[5,9-11], 但在老年男性尸体解剖中其发生率仅为 8.2%^[10]。Ono 等^[10]发现 MRI 检查 RNRs 形态呈环状的发生率为 97.6%, 而其他复杂的形态发生率要低得多。

2 形成机制与病理变化

2.1 机械压力学说

在临床实践中, 腰椎管狭窄症是引起 RNRs 最常见原因^[11]。机械压力学说认为, 导致这种异常的根本原因是机械压迫引起的^[12]。中老年退变性腰椎管狭窄症患者, 黄韧带增厚、骨赘形成, 围绕硬脊膜及侧隐窝内的纤维组织可压迫马尾神经, 同时来自向后突出的椎间盘压迫, 加重硬膜囊狭窄, 均加重硬膜囊受压, 进一步压迫马尾神经。马尾神经受压形成扭曲, 狭窄节段阻断了所有通过脑脊液提供营养和清除代谢产物的途径, 并伴有炎症细胞释放的化学介质, 从而引发各种症状^[12]。Suzuki 等^[13]对严重腰椎管狭窄症患者进行尸体解剖, 表明所有冗余的马尾神经根都在狭窄处形成绞窄。在椎管内, 这些受压的神经根会在随腰

部和躯干的伸展过程中被明显地拉伸, 最终导致它们的延长。

2.2 微循环障碍学说

微循环障碍学说认为 RNRs 可能与马尾神经微血管功能异常有关^[14]。腰椎管狭窄症时马尾神经微循环障碍的意义, 已有相关研究^[15]。解剖学研究表明, 跛行症状可能与马尾神经近端 1/3 (近端和远端神经根之间的吻合区域) 的相对低动脉灌注区域相关^[16]。然而, 神经微血管造影的动力学研究显示, 马尾神经内存在许多内在血管的吻合, 这与吻合区域低动脉灌注理论相矛盾^[15]。另外, 应考虑到腰椎管狭窄时, 马尾神经缺血尚存在静脉因素, 由于此处静脉壁薄, 流量压力低, 相比各自的神经动脉更容易受压力的影响而中断, 马尾神经局部缺血, 促使马尾神经迂曲变形^[14]。

2.3 神经损害病理及电生理变化

Suzuki 等^[10]对腰椎管狭窄症患者尸体解剖及组织学研究发现, RNRs 的组织学变化, 表现为神经纤维的紊乱和减少, 伴有脱髓鞘、神经内膜纤维化和雪旺细胞增殖; 未发现脊髓前角和前外侧柱有明显病理变化, 该区域神经细胞丢失程度较低, 脊髓纤维化程度较低, 但这也同时存在于非冗余的神经根中, 因此认为是与衰老有关的变化。RNRs 的电生理研究显示了神经细胞动作电位的时间离散和敏感神经传导速度的延迟, 但冗余组与非冗余组敏感神经传导速度的差异没有统计学意义^[10]。Tsujii 等^[17]在手术中测量了冗余和非冗余神经的传导速度, 表明冗余神经的传导速度约为正常值的一半, 并且相比非冗余神经, 冗余神经呈现暂时分散的多相动作电位。也有研究认为, 马尾神经纤维的减少和变性, 冗余神经与非冗余神经比较没有明显差异^[11]。Reinstein 等^[17]报道 1 例 RNRs 患者的肌电图改变, 记录了术前腓肠肌左内侧段部分神经损害, 尽管患者在椎板切除术后疼痛明显缓解, 但在术后 3 个月和 6 个月的随访中, 腓肠肌肌电图的异常仍然存在。故腰椎管狭窄症发生 RNRs 时, 可存在神经病理及电生理改变。

3 影像学表现

3.1 脊髓造影表现

脊髓造影时, 腰椎伸展位硬膜囊压力较高, RNRs 检

第一作者简介: 男(1981-), 主治医师, 研究方向: 脊柱脊髓损伤

电话: (020)62787190 E-mail: nfyrt@163.com

通讯作者: 瞿东滨 E-mail: nfyq-qu@163.com

出率高于腰椎屈曲或中立位时的检出率^[5,7]。有研究表明,与腰椎侧位 X 线片比较,腰椎正位 X 线片能更清晰地显示冗余的神经^[8,10]。RNRs 在椎管狭窄患者脊髓造影中表现为硬膜内充盈缺损,这与造影剂充盈被部分或完全阻断有关,特别是在椎管严重狭窄患者中尤为明显^[8,11]。

3.2 MRI 表现

RNRs 的 MRI 影像学特点是 T2 加权像上表现为椎管内松弛、迂曲以及缠绕的高信号影,而在 T1 加权像和脂肪抑制像中则难以观察到^[6]。脊髓造影检测 RNRs 的准确性要高于 MRI^[8]。Ono 等^[11]比较了 MRI 和脊髓造影对腰椎管狭窄症相关的 RNRs 的检测能力,结果表明 146 例腰椎管狭窄症患者中有 76 例脊髓造影证实了 RNRs 的存在,而 MRI 仅能检测 49 例 RNRs。尽管 MRI 检测 RNRs 的阳性率不如脊髓造影,但它是无创的,且能够显示 RNRs 形态的多样性,故具有重要的临床意义。任涛等^[19]通过前期研究观察 43 例 RNRs 形态学表现,将马尾神经冗余征分为“藤索”型、“葡萄串珠”型、“蛇纹石”型三种类型(图 1),“藤索”型迂曲较轻,神经下行尚顺畅,未发生卷曲及环绕;“葡萄串珠”型迂曲加重,开始出现匍行、蜿蜒,神经下行出现扭曲;“蛇纹石”型则迂曲严重,马尾神经表现为团块状环绕、层叠,卷曲加重。另外, MRI 扩散加权成像(DWI)可能对脊髓神经压迫的早期改变有重要诊断价值,将为 RNRs 诊断提供新的方法^[20]。

4 鉴别诊断

RNRs 需与脊髓血管畸形及神经病变等鉴别。RNRs 在脊髓造影中表现为丝网状充盈缺损,这与脊髓动静脉畸形或其他原因引起的静脉扩张扭转在影像学上的表现相似^[7,21]。动静脉畸形常发生于较大的供血血管,胸段脊髓多见,影像学表现为锯齿状充盈缺损,通常与椎管狭窄与体位改变无关^[21,22]。静脉充盈常为静脉引流受阻,造成阻塞下方的充盈缺损。硬脊膜动静脉瘘(SDAVF)是最常见脊髓血管畸形,好发于男性,慢性静脉高压引起的脊髓水肿是其特征性改变,其可造成蛇形和扩张的椎间静脉或髓周静脉丛在 T2 加权图像上产生血管流空现象^[23]。此外, RNRs 的

位置相对固定也有助于鉴别诊断^[21]。

丛状神经纤维瘤、蛛网膜炎、遗传性神经病(如 Charcot-Marie-Tooth 1 型)和 Dejerine-Sottas 综合征也可出现类似 RNRs 的影像学表现^[7]。丛状神经纤维瘤或神经鞘瘤会导致神经根增粗和冗余,在影像学上需与 RNRs 鉴别^[8,14]。

蛛网膜炎是一种由脑膜蛛网膜层慢性炎症引起的神经病变,可导致瘢痕组织粘连、神经根受压和缠绕,最常见于腰椎^[24]。当炎症和瘢痕使神经根附着于鞘囊内膜时,可出现“空囊”表现。MRI 成像通常表现为硬膜囊不规则狭窄和马尾断裂。“空囊”的出现是蛛网膜炎的独特表现^[25]。Charcot-Marie-Tooth 1 型和 Dejerine-Sottas 综合征是引起肥大性多发性神经病的一组疾病,表现为马尾和背根神经节神经根扩大,但没有扭转分化^[26]。

5 临床意义

在腰椎管狭窄研究中,女性患者 RNRs 的发生率为 62.7%~65.2%,但 RNRs 组与无 RNRs 组性别构成比无统计学差异^[5,8]。研究表明 RNRs 的存在与患者年龄和临床症状有关,年龄越大、症状越严重, RNRs 发生率就越高^[8,11]。有观点认为,在腰椎管狭窄症患者中,马尾神经受压是其症状和体征的主要原因,术前症状与马尾神经受压程度有关^[27]。Hakan 等^[7]指出 RNRs 不是引起腰痛、神经根病和神经源性跛行的原因,而是腰椎管狭窄的结果,椎管狭窄是引起上述症状的根本原因。

5.1 RNRs 与椎管狭窄的相关性

Savarese 等^[28]对 171 例腰椎管狭窄症患者进行回顾性研究,通过测量腰椎管横截面积(CSA)以评价腰椎管狭窄程度,提示腰椎管狭窄是 RNRs 的危险因素,腰椎管狭窄程度及腰椎滑脱程度与 RNRs 的发生密切相关;腰椎滑脱与 RNRs 之间存在相关关系,与无腰椎滑脱的患者相比,腰椎滑脱患者患 RNRs 的风险更高;椎管狭窄和腰椎滑脱是 RNRs 存在的独立危险因素,尤其是腰椎硬膜囊 CSA<50mm²时。Hur 等^[9]通过测量比较椎管内的椎间盘突出面积、黄韧带肥厚面积及腰椎动力位节段角度,认为腰



图 1^[19] 马尾神经冗余征形态分类:“藤索”型(a);“葡萄串珠”型(b);“蛇纹石”型(c)

椎动力位活动度增大和黄韧带肥厚是 RNRs 发生的主要原因。任涛等^[19]通过测量比较患者狭窄节段椎管正中矢状径、有效矢状径、椎管有效截面积,亦表明 RNRs 见于严重腰椎管狭窄症患者,其发生与椎管绝对性狭窄有关^[19]。

多数研究只涉及伴 RNRs 单一节段椎管狭窄。Yukawa 等^[29]发现两节段或多节段狭窄患者在术前和术后行走的距离比单一节段狭窄患者要短得多。Hur 等^[5]的研究表明,在腰椎管狭窄的发展过程中,L4-5 水平最易滑移,且多节段狭窄和椎体水平滑移可能是中央型腰椎管狭窄症形成 RNRs 的重要因素之一。此研究的另一个独特发现是,中段腰椎管(L2~L4)狭窄症患者的 RNRs 发生率明显高于下段腰椎管(L4~S1)狭窄症者。而 Kubosch 等^[30]则认为脊柱的退变程度和活动范围是否是 RNRs 的形成原因或影响因素尚不确定,仍需进一步研究。

RNRs 位于狭窄平面上方椎管内发生率超过 80%,远高于狭窄平面下方^[19,31,32]。目前还不清楚为什么大多数观察到的 RNRs 发生在狭窄部位以上,这可能与神经根近端缺血和压迫所引起远端根性动脉血流灌注受损有关^[33]。

5.2 RNRs 与腰椎管狭窄症手术治疗及疗效的关系

腰椎管狭窄症合并 RNRs 需行充分减压治疗。Ouaknine 等^[18]的病例报道中建议打开硬脊膜,以解除所谓的“打结、迂曲和拉长”的马尾神经缠绕,并提出硬脊膜成形术,以减轻假定“增加的压力”。Yang 等^[31]强烈建议在马尾神经出现神经功能缺损前,尽早行椎板切除术充分减压,解除 RNRs、减轻神经受压。椎管严重狭窄的患者,应在神经不可逆损伤前接受手术治疗。

RNRs 与腰椎管狭窄症手术疗效的相关性目前尚有争议。多数研究表明,RNRs 与腰椎管狭窄症术后疗效相关,是术后恢复较差的一个征象,提示功能预后不良^[6,10,11]。Chen 等^[34]对 93 例腰椎管狭窄症患者观察研究,认为伴 RNRs 患者较不伴 RNRs 术后疗效差。Cong 等^[35]采用 Meta 分析表明,RNRs 可作为腰椎管狭窄症术后功能恢复较差的潜在预测指征。也有学者认为 RNRs 与腰椎管狭窄症患者术后的功能结果无关^[8,9]。

Yokoyama 等^[36]的研究发现 67% 的腰椎管狭窄症病例在减压术后 7d 内 RNRs 消失,且 91% 的病例在术后 12 个月内消失,这一发现表明 RNRs 的发展在影像学上可能是一个可逆的过程。伴 RNRs 的腰椎管狭窄症患者在腿部疼痛、感觉不良和间歇性跛行方面与无 RNRs 的患者相比表现得更为严重,且减压手术后患者的步行能力几乎没有改善^[8,11]。RNRs 在椎管内的相对冗余长度与术后最终 JOA 评分和恢复率均有显著的关系,RNRs 的相对长度越长,结果越好^[11]。冗余时马尾神经相对延长,可增加脊柱活动时神经的适应能力。腰椎前凸角大、中立位及整体运动范围增大与 RNRs 及术后恢复不良有关,提示腰椎运动范围可能是腰椎管狭窄发生 RNRs 的另一个重要因素^[34]。

综上所述,在腰椎管狭窄症中,RNRs 是一个常见的征象,与椎管狭窄程度有关,可作为严重椎管狭窄的影像

学指标。正确认识 RNRs 的表现和特点,使患者能够得到及时而有效的治疗,具有重要的临床意义。

6 参考文献

- Ozturk AK, Gokaslan ZL. Clinical significance of redundant nerve roots of the cauda equina[J]. World Neurosurg, 2014, 82(6): e717-718.
- Verbiest H. A radicular syndrome from developmental narrowing of the lumbar vertebral canal [J]. J Bone Joint Surg Br, 1954, 36-B(2): 230-237.
- Cressman MR, Pawl RP. Serpentine myelographic defect caused by a redundant nerve root: case report[J]. J Neurosurg, 1968, 28(4): 391-393.
- 陈金水, 林松庆, 徐皓, 等. 腰椎前凸角和活动度与马尾神经根松弛症的相关性研究[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2016, 31(1): 24-26.
- Hur JW, Hur JK, Kwon TH, et al. Radiological significance of ligamentum flavum hypertrophy in the occurrence of redundant nerve roots of central lumbar spinal stenosis [J]. J Korean Neurosurg Soc, 2012, 52(3): 215-220.
- Poureisa M, Daghighi MH, Eftekhari P, et al. Redundant nerve roots of the cauda equina in lumbar spinal canal stenosis, an MR study on 500 cases[J]. Eur Spine J, 2015, 24(10): 2315-2320.
- Hakan T, Celikoglu E, Aydoseli A, et al. The redundant nerve root syndrome of the Cauda equina[J]. Turk Neurosurg, 2008, 18(2): 204-206.
- Min JH, Jang JS, Lee SH. Clinical significance of redundant nerve roots of the cauda equina in lumbar spinal stenosis [J]. Clin Neurol Neurosurg, 2008, 110(1): 14-18.
- Tsuji H, Tamaki T, Itoh T, et al. Redundant nerve roots in patients with degenerative lumbar spinal stenosis [J]. Spine (Phila Pa 1976), 1985, 10(1): 72-82.
- Suzuki K, Ishida Y, Ohmori K, et al. Redundant nerve roots of the cauda equina: clinical aspects and consideration of pathogenesis[J]. Neurosurgery, 1989, 24(4): 521-528.
- Ono A, Suetsuna F, Irie T, et al. Clinical significance of the redundant nerve roots of the cauda equina documented on magnetic resonance imaging[J]. J Neurosurg Spine, 2007, 7(1): 27-32.
- Kobayashi S, Uchida K, Takeno K, et al. Imaging of cauda equina edema in lumbar canal stenosis by using gadolinium-enhanced MR imaging: experimental constriction injury [J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2006, 27(2): 346-353.
- Suzuki K, Takatsu T, Inoue H, et al. Redundant nerve roots of the cauda equina caused by lumbar spinal canal stenosis [J]. Spine(Phila Pa 1976), 1992, 17(11): 1337-1342.
- Olmarker K, Rydevik B, Holm S. Edema formation in spinal nerve roots induced by experimental, graded compression: an experimental study on the pig cauda equina with special reference to differences in effects between rapid and slow onset

- of compression[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 1989, 14(6): 569–573.
15. Kobayashi S, Baba H, Uchida K, et al. Blood circulation of cauda equina and nerve root[J]. *Clin Calcium*, 2005, 15(3): 63–72.
16. Parke WW, Gammell K, Rothman RH. Arterial vascularization of the cauda equina[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1981, 63(1): 53–62.
17. Reinstein L, Twardzik FG, Russo GL, et al. Electromyographic abnormalities in redundant nerve root syndrome of the cauda equina[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 1984, 65(5): 270–272.
18. Ouaknine GE, Couillard P. Syndrome of redundant nerve roots of the cauda equina: apropos of 2 cases [J]. *Neurochirurgie*, 1985, 31(5): 442–448.
19. 任涛, 郑明晖, 王翔, 等. 腰椎管狭窄症马尾神经冗余征的观察及临床意义[J]. *中国临床解剖学杂志*, 2018, 36(2): 221–225.
20. Reinhold M, Ederer C, Henninger B, et al. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging for the diagnosis of patients with lumbar nerve root entrapment syndromes: results from a pilot study[J]. *Eur Spine J*, 2015, 24(2): 319–326.
21. Hacker DA, Latchaw RE, Yock DJ, et al. Redundant lumbar nerve root syndrome: myelographic features [J]. *Radiology*, 1982, 143(2): 457–461.
22. Rigsby CM, Virapongse C, Duncan C. Positional variability in redundant lumbar nerve-root syndrome [J]. *Surg Neurol*, 1983, 19(6): 513–516.
23. Jeng Y, Chen DY, Hsu HL, et al. Spinal dural arteriovenous fistula: imaging features and its mimics[J]. *Korean J Radiol*, 2015, 16(5): 1119–1131.
24. Cooper C, Sald S, Khalillullah S, et al. Rare etiology of arachnoiditis in patient with ncontrolled diabetes [J]. *J Clin Case Rep*, 2013, 3(7): 1–2.
25. Liu LD, Zhao S, Liu WG, et al. Arachnoiditis ossificans after spinal surgery[J]. *Orthopedics*, 2015, 38(5): e437–442.
26. Castillo M, Mukherji SK. MRI of enlarged dorsal ganglia, lumbar nerve roots, and cranial nerves in polyradiculoneuropathies[J]. *Neuroradiology*, 1996, 38(6): 516–520.
27. Ogikubo O, Forsberg L, Hansson T. The relationship between the cross-sectional area of the cauda equina and the preoperative symptoms in central lumbar spinal stenosis [J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2007, 32(13): 1423–1428; discussion 1429.
28. Savarese LG, Ferreira-Neto GD, Herrero CF, et al. Cauda equina redundant nerve roots are associated to the degree of spinal stenosis and to spondylolisthesis[J]. *Arq Neuropsiquiatr*, 2014, 72(10): 782–787.
29. Yukawa Y, Lenke LG, Tenhula J, et al. A comprehensive study of patients with surgically treated lumbar spinal stenosis with neurogenic claudication [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2002, 84-A(11): 1954–1959.
30. Kubosch D, Vicari M, Siller A, et al. The Lumbar spine as a Dynamic structure depicted in upright MRI [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2015, 94(32): e1299.
31. Yang SM, Park HK, Cho SJ, et al. Redundant nerve roots of cauda equina mimicking intradural disc herniation: a case report[J]. *Korean J Spine*, 2013, 10(1): 41–43.
32. Mendelsohn DB, Hertzanu Y. Migratory redundant lumbar nerve roots: a case report[J]. *S Afr Med J*, 1984, 66(12): 461–462.
33. Mattei TA. A gaze beyond the surface: acknowledging the little we know about radiographic parameters for evaluation of lumbar spinal stenosis [J]. *Neurosurgery*, 2013, 72 (1): E135–140.
34. Chen J, Wang J, Wang B, et al. Post-surgical functional recovery, lumbar lordosis, and range of motion associated with MR-detectable redundant nerve roots in lumbar spinal stenosis[J]. *Clin Neurol Neurosurg*, 2016, 140: 79–84.
35. Cong L, Zhu Y, Yan Q, et al. A Meta-analysis on the clinical significance of redundant nerve roots in symptomatic lumbar spinal stenosis[J]. *World Neurosurg*, 2017, 105: 95–101.
36. Yokoyama K, Kawanishi M, Yamada M, et al. Clinical significance of postoperative changes in redundant nerve roots after decompressive laminectomy for lumbar spinal canal stenosis[J]. *World Neurosurg*, 2014, 82(6): e825–830.
- (收稿日期:2018-06-11 修回日期:2018-08-10)
(本文编辑 李伟霞)