

脊髓 MRI 信号改变对脊髓型颈椎病术后神经功能预测价值的研究进展

Research progress on the predictive value of spinal cord MRI signal change in postoperative neurological function of cervical myelopathy

陈 璇¹, 王 勇¹, 单体勇¹, 李 野¹, 吴喜龙²

(1 吉林大学中日联谊医院骨科 130033 长春市; 2 吉林省新华医院骨科 130031 长春市)

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2023.01.12

中图分类号: R681.5, R445.2 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2023)-01-0087-04

脊髓型颈椎病 (cervical spondylotic myelopathy, CSM) 是由颈椎退变引起的一种进行性疾病^[1,2], 是引起成人脊髓神经功能障碍常见的病因之一^[3,4]。CSM 于 1952 年由 Brain 等^[5]首次报道, 其症状体征多样, 主要包括双手麻木、双侧手臂感觉异常、双手精细动作障碍及步态不稳、腱反射亢进、Hoffmann 征、Babinsky 征阳性等^[6,7]。CSM 的诊断主要基于临床症状和体征。MRI 弥补了 X 线和 CT 对软组织分辨率低的不足, 它不仅能反映脊髓受压程度, 还能反映脊髓的病理改变^[8], 是诊断 CSM 的重要影像学检查^[9]。近年来, 随着辅助诊断技术的提高和大量临床经验的积累, 人们发现脊髓 MRI 信号改变对 CSM 术后神经功能恢复情况具有一定的预测价值。目前关于 CSM 患者脊髓 MRI 信号变化及其对术后神经功能预测价值的观点与结论尚缺乏系统的总结和综述报道, 笔者就 MRI T1WI、T2WI、弥散加权成像 (diffusion-weighted imaging, DWI) 等脊髓信号改变对其术后神经功能预测价值的相关内容进行了总结。

1 脊髓 MRI 信号改变的机制

目前, 脊髓 MRI 信号改变的病理机制尚未达成共识。1987 年, Takahashi 等^[10]对 668 例颈脊髓受压的患者 MRI 信号改变随访, 发现压迫程度与高信号改变和神经损伤相关, 结合 MRI 及增强改变和前人尸体解剖结果, 提出脊髓 MRI T2WI 高信号改变代表胶质增生、水肿、脱髓鞘、微空洞形成所致的脊髓软化。Ramanauskas 等^[11]将脊髓软化分为早期、中期和晚期三个阶段, 在早期和中期, T2WI 脊髓高信号, 在晚期, T1WI 低信号, T2WI 高信号。Matsuda 等^[12]认为可逆的信号改变可能是继发于血管病理, 不可逆的病变可能代表慢性脊髓损伤, 伴随胶质增生、脱髓鞘和空洞

形成。Harkey 等^[13]发现脊髓 T1WI 低信号与脊髓空洞在组织病理学上一致。

脊髓受压早期引起缺血, 炎性因子释放引起脊髓水肿; 随着压迫的加重及缺血时间延长, 血管依赖性少突胶质细胞灌注不良, 通过细胞凋亡导致少突胶质细胞死亡, 进而导致神经脱髓鞘、脊髓变性、软化、坏死, 最后形成空洞。MRI 由 T2WI 高信号改变, 逐渐发展到 T1WI 低信号改变, 由可逆的脊髓损伤发展为不可逆损伤, 即使解除脊髓压迫, 神经功能改善也较差。

2 T1WI 低信号改变

T1WI 低信号改变在 CSM 患者脊髓 MRI 中并不常见, 一般伴随 T2WI 高信号出现, 不会单独出现。一旦出现 T1WI 低信号, 则预示着患者脊髓损伤较重, 术后神经功能改善较差^[14,15]。T1WI 低信号改变对预测术后神经功能恢复情况争议较少。Notani 等^[16]回顾性分析了接受颈椎后路椎管扩大成形术的 100 例 CSM 患者, 发现 T1WI 低信号术后神经功能改善较差。Vedantam 等^[17]发现 197 例接受颈椎椎体中部切除术的 CSM 或 OPLL 患者中 16 例 T1WI 低信号, 且均伴有 T2WI 2 级高信号改变, 并得出同时存在 T2WI 2 级高信号及 T1WI 低信号的患者, 术后神经功能障碍加重, 提示脊髓有更严重的病理改变。Uchida 等^[14]研究表明术前 T1WI 低信号是术后神经功能改善不良的一个重要预测指标, 术后 T1WI 低信号可预测不良预后, 并代表受压脊髓的持续病理变化。T1WI 低信号应被视为 CSM 更晚期的标志, 神经功能改善更差^[18], T1WI 低信号可能是 CSM 术后神经功能的最佳预测指标^[17-19]。当 CSM 经保守治疗无效时, 应尽早解除压迫, 以免进展至 T1WI 低信号造成严重的脊髓损伤。

3 T2WI 高信号改变

大部分研究者认为 T2WI 高信号与预后相关^[20-22]。Yin 等^[20]回顾性研究了 109 例接受前路颈椎间盘切除融合术

第一作者简介: 男 (1992-), 硕士研究生在读, 研究方向: 脊柱外科
电话: (0431)84995117 E-mail: Chenxuan19@mails.jlu.edu.cn
通讯作者: 李野 E-mail: lye99@jlu.edu.cn

治疗的 CSM, 得出 T2WI 高信号预后较差, 术前已存在严重的神经功能障碍, 即使手术完全解除脊髓压迫, T2WI 高信号患者神经功能改善率也很低。Zhang 等^[29]前瞻性研究了 110 例接受手术治疗的 CSM 患者, 42 例患者 (38.2%) 术后神经功能改善率 $\leq 50\%$, 与预后良好的患者相比, 其术前信号强度比 (signal intensity ratio, SIR) 更高, 并发现当 $SIR \geq 1.455$, 每增加 0.5, 术后预后差的几率就增加 4.24 倍。而 Wei 等^[24]发现术前 $SIR > 1.56$, 每增加 0.2, 术后神经功能改善欠佳的几率就增加 4.855 倍; 术前高信号最大垂直长度每增加 10mm, 术后神经功能改善不佳的几率就增加 12.123 倍; 另一项研究发现, 当高信号长度 $> 15.50\text{mm}$, 预后相对较差, 同时术后高信号增强可能是术后神经功能障碍加重的预测指标^[25]。Machino 等^[7]前瞻性研究了 505 例 CSM 患者, 169 例术前高信号分级为 1 级的患者中, 42 例 (24.9%) 术后改善至 0 级, 但 57 例 (33.7%) 术后增强至 2 级, 整个队列中的高信号分级在 66 例患者 (13.1%) 中得到改善, 在 57 例患者 (11.3%) 中增强, 在 382 例患者 (75.6%) 中没有变化; 他们发现术前高信号改变的分级也可预测术后神经功能, 术前出现高信号与术前无高信号的患者相比, 手术后神经功能改善程度更低, 分级不同代表脊髓病理损伤程度不同, 神经功能恢复潜力也不相同; 他们还发现术后高信号消退神经功能改善明显, 高信号增强预示着较差的预后^[26]。Hamdan 等^[27]也发现术前 T2WI 高信号可预测 CSM 患者术后神经功能, 术后 T2WI 高信号的消退与更好的神经功能改善相关。

但也一些研究者认为, T2WI 高信号与预后神经恢复无关^[7, 17, 28-31]。Vedantam 等^[17]发现 T2WI 1 级高信号术后与无高信号患者术后神经功能改善率无明显差异, 1 级高信号不能预测术后神经功能恢复情况; 在他的另外一项研究中得出术后高信号分级和大小的改变与神经功能改善无关^[28]。He 等^[29]回顾性分析了 104 例分别接受颈椎后路椎板切除术或颈椎后路椎板融合术治疗的 T2WI 高信号的多节段 CSM 患者, 发现只要充分减压及保留颈椎活动度单纯 T2WI 高信号不能预测术后神经功能恢复情况。Lu 等^[30]回顾性分析了 122 例接受前路手术治疗的伴下颈椎不稳的单节段 CSM 的 MRI 信号改变及对预后的影响, 发现不稳定组 MRI T2WI 脊髓高信号发生率较高, T2WI 高信号不影响术后神经功能改善。

T2WI 高信号与预后相关性仍存在争议可能与以下因素有关: ①高信号的分级标准不一致 (定性及定量)^[24]。对于 T2WI 高信号已有多种分级方法, 目前最佳的分级方法依然未达成共识。定性分级根据高信号的强弱及纵向范围主要分为 2 种, 由 Chen 等^[31]于 2001 年提出, 根据 T2WI 脊髓高信号强度变化分为 3 级: 0 级, 无信号变化; 1 级, 微弱或模糊信号; 2 级, 强烈或尖锐信号; 并发现与 0 级和 1 级的患者相比, 以 2 级高信号为主的患者预后较差。另一种由 Wada 等^[32]根据纵向范围将高信号分为 3 级: 0 级, 无; 1 级, 局部或单节段高信号; 2 级, 多节段高信号。最近

Ren 等^[33]提出了强度和纵向范围的联合分型, 并认为高信号的联合分型与手术结果的关系更为密切, 可作为预测手术预后的指标, 但仍需进一步证实。为减少定性分型带来的误差及研究偏移, Wang 等^[34]首次使用 SIR 作为 CSM 信号强度的量化指标, 进行定量测量高信号。定量分级最常用的方法是 SIR 和高信号最大垂直长度, SIR 常用高信号区域灰度值与 C7-T1 椎间盘水平脊髓灰度值的比值。高信号与预后无关的研究中以定性分型较为常见, 并多为 2010 之前的研究, 近期在高信号定量测量中仅一项研究发现高信号与预后无关^[7]。最近 Nam 等^[35]将 T2WI 轴位脊髓高信号分为 5 型, 发现 1 型和 2 型术后信号减弱, 神经功能改善最明显; 3 型及多节段型信号多不改变, 手术预后较差。根据以上研究可以得出定量分型更为科学和准确。

②影像学资料、层面不同及伪影。因为 MRI 序列参数不同, 即使使用相同的 MRI 成像系统, T2WI 高信号在扫描中也不完全一致。同时, T2WI 高信号是范围广泛的变异, 在选择不同层面、矢状位及轴位时, 给出的影像也不相同。因此, 定性分型产生的误差和研究偏倚较大, 而定量测量几乎可以解决这种误差。但也存在一定的缺点, 比如选取对比的标准不同。常用的对比标准是 C7/T1 椎间盘水平的脊髓信号强度, 也有采取枕骨大孔水平脑脊液信号强度、对应节段 T1WI 脊髓信号强度及高信号上下节段脊髓信号强度平均值等。

③JOA 评分及改善率评估时间不同。12 个月是 CSM 术后神经功能改善最典型时期, 12 月后神经功能改善趋于稳定^[23]。如果仅用 3、6 个月的 JOA 评分及改善率去评估高信号对预后的影响, 并不能完全代表神经功能改善情况, 所以至少随访 12 个月并进行术后疗效评估。

4 DWI 和弥散张量成像改变

DWI 由于能够研究神经组织的微观结构, 已成为评估 CSM 严重程度、预测术后结果的一种重要工具。与 T2WI 相比, DWI 在预测临床严重程度和术后神经功能改善方面具有更高的准确性^[36]。弥散张量成像 (diffusion tensor imaging, DTI) 较高的水扩散系数与脊髓神经损伤的严重程度及术后神经功能改善相关^[37]。有研究^[38]发现, 神经功能障碍严重程度与更高的神经突方向离散度与密度成像 (neurite orientation dispersion and density imaging, NODDI) 中的参数 (定向弥散指数) 相关, 而更好的术后神经功能改善率与更高的各向异性分数 (fractional anisotropy, FA) 和更低的 NODDI 各向同性体积分数相关。DTI 的 FA 可能代表着白质的损伤, 高信号代表灰质的损伤, FA 可能是评估高信号 CSM 患者神经功能状态的有用指标^[39]。Jiang 等^[40]回顾性评估了 57 例 CSM 患者的 T2WI 高信号强度、DTI 和 NODDI 在预测术后脊髓神经功能改善中的作用, NODDI 参数有助于揭示术后脊髓的微观结构, 可能有助于解释术后神经功能恢复不良, 是具有预测

CSM术后神经功能前景的影像学技术。

DWI及 DTI 等新型 MRI 序列在 CSM 中的应用,显示更微观脊髓结构,其 FA 及 NODDI 等参数的改变预示着脊髓的损伤,可用于辅助 CSM 诊断;与 T2WI 高信号相比,DWI 在预测神经功能改善方面可能更准确,但仍需进一步研究,具有较大的临床应用前景。

5 总结与展望

随着 MRI 辅助诊断技术的提高,临床上也越来越关注 MRI 上脊髓信号的改变对 CSM 术后神经功能的预测价值。现有研究已表明 T1WI 低信号患者术后神经功能改善较差,越来越多的研究证明术前 T2WI 脊髓高信号术后神经功能改善欠佳,而对于术后脊髓 T2WI 高信号的改变是否具有预测研究的研究较少。故当 CSM 患者经保守治疗无效时,应尽早采取手术治疗解除脊髓压迫。T2WI 脊髓高信号则预示术后神经功能恢复较差。当 T2WI 出现高信号时,应尽早采取手术治疗,避免脊髓病变范围扩大及进展到 T1WI 低信号,错过最佳的手术及脊髓损伤修复时机,造成脊髓不可逆损伤及永久性神经功能障碍。DWI、DTI 等技术更微观地发现脊髓损伤信号的改变,提供更准确的诊断及预后信息。目前 MRI 有很多新序列出现,并能对脊髓神经系统进行功能进行检测,相信未来能更早的发现脊髓微观的病理改变,更准确地预测神经功能改善情况。

6 参考文献

- Kato S, Nouri A, Reihani-Kermani H, et al. Postoperative resolution of magnetic resonance imaging signal intensity changes and the associated impact on outcomes in degenerative cervical myelopathy: analysis of a global cohort of patients [J]. *Spine*, 2019, 43(12): 824-831.
- Machino M, Ando K, Kobayashi K, et al. Alterations in intramedullary T2-weighted increased signal intensity following laminoplasty in cervical spondylotic myelopathy patients: comparison between pre- and postoperative magnetic resonance images[J]. *Spine*, 2018, 43(22): 1595-1601.
- Bakhsheshian J, Mehta VA, Liu JC. Current diagnosis and management of cervical spondylotic myelopathy [J]. *Global Spine J*, 2017, 7(6): 572-586.
- Iyer A, Azad TD, Tharin S. Cervical spondylotic myelopathy [J]. *Clin Spine Surg*, 2016, 29(10): 408-414.
- Brain WR, Northfield D, Wilkinson W. The neurological manifestations of cervical spondylosis[J]. *Brain*, 1952, 75(2): 187-225.
- Nouri A, Tetreault T, Dalzell K, et al. The relationship between preoperative clinical presentation and quantitative magnetic resonance imaging features in patients with degenerative cervical myelopathy[J]. *Neurosurgery*, 2017, 80(1): 121-128.
- Machino M, Imagama S, Ando K, et al. Image diagnostic classification of magnetic resonance T2 increased signal intensity in cervical spondylotic myelopathy: clinical evaluation using quantitative and objective assessment [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2018, 43(6): 420-426.
- McCormick JR, Sama AJ, Schiller NC, et al. Cervical spondylotic myelopathy: a guide to diagnosis and management [J]. *J Am Board Fam Med*, 2020, 33(2): 303-313.
- Tetreault LA, Dettori JR, Wilson JR, et al. Systematic review of magnetic resonance imaging characteristics that affect treatment decision making and predict clinical outcome in patients with cervical spondylotic myelopathy[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2013, 38(22): S89-110.
- Takahashi M, Yamashita Y, Sakamoto Y, et al. Chronic cervical cord compression: clinical significance of increase signal intensity on MR images [J]. *Radiology*, 1989, 173(1): 219-224.
- Ramaneau WL, Wilner HI, Metes JJ, et al. MR images of compression myelomalacia [J]. *J Comput Assist Tomogr*, 1989, 13(3): 399-404.
- Matsuda Y, Miyazaki K, Tada K, et al. Increased MR signal intensity due to cervical myelopathy: analysis of 29 surgical cases[J]. *J Neurosurg*, 1991, 74(6): 887-892.
- Harkey HL, Al-Mefty O, Marawi I, et al. Experimental chronic compressive cervical myelopathy: effect of decompression[J]. *J Neurosurg*, 1995, 83(2): 336-341.
- Uchida K, Nakajima H, Takeura N, et al. Prognostic value of changes in spinal cord signal intensity on magnetic resonance imaging in patients with cervical compressive myelopathy[J]. *Spine J*, 2014, 14(8): 1601-1610.
- Salem HM, Salem KM, Burget F, et al. Cervical spondylotic myelopathy: the prediction of outcome following surgical intervention in 93 patients using T1- and T2-weighted MRI scans[J]. *Eur Spine J*, 2015, 24(12): 2930-2935.
- Notani N, Miyazaki M, Kanezaki S, et al. Surgical outcomes of laminoplasty for cervical spondylotic myelopathy in very elderly patients (older than 80 years): time from symptom onset to surgery and changes in spinal cord signal intensity on MRI [J]. *Clin Neurol Neurosurg*, 2017, 160: 78-82.
- Vedantam A, Jonathan A, Rajshekhar V, et al. Association of magnetic resonance imaging signal changes and outcome prediction after surgery for cervical spondylotic myelopathy[J]. *J Neurosurg Spine*, 2011, 15(6): 660-666.
- Zileli M, Borkar SA, Sinha S, et al. Cervical spondylotic myelopathy: natural course and the value of diagnostic techniques -WFNS spine committee recommendations [J]. *Neurospine*, 2019, 16(3): 386-402.
- Vedantam A, Rajshekhar V. Does the type of T2-weighted hyperintensity influence surgical outcome in patients with cervical spondylotic myelopathy: a review [J]. *Eur Spine J*, 2013, 22(1): 96-106.
- Yin LQ, Zhang J, Wu YG, et al. Increased signal intensity of spinal cord on T2W magnetic resonance imaging for

- cervical spondylotic myelopathy patients: risk factors and prognosis (a STROBE-compliant article) [J]. *Medicine* (Baltimore), 2020, 99(49): e23098.
21. Miyazaki M, Notani N, Ishihara T, et al. Surgical outcomes after laminoplasty for cervical spondylotic myelopathy: a focus on the dynamic factors and signal intensity changes in the intramedullary spinal cord on MRI[J]. *Clin Neurol Neurosurg*, 2017, 162: 108-114.
22. Chen G, Liu X, Chen N, et al. Ten-year surgical outcomes and prognostic factors for french-door laminoplasty in the treatment of multilevel cervical spondylotic myelopathy [J]. *Biomed Res Int*, 2020: 3627071.
23. Zhang JT, Wang LF, Wang S, et al. Risk factors for poor outcome of surgery for cervical spondylotic myelopathy [J]. *Spinal Cord*, 2016, 54(12): 1127-1131.
24. Wei L, Cao P, Xu C, et al. Clinical and radiologic results of anterior cervical discectomy and fusion for cervical spondylotic myelopathy in elderly patients with T2-weighted increased signal intensity[J]. *World Neurosurg*, 2018, 112: e520-e526.
25. Wei L, Cao P, Xu C, et al. Comparison of the prognostic value of different quantitative measurements of increased signal intensity on T2-Weighted MRI in cervical spondylotic myelopathy[J]. *World Neurosurg*, 2018, 118: e505-e512.
26. Machino M, Ando K, Kobayashi K, et al. Postoperative resolution of MR T2 increased signal intensity in cervical spondylotic myelopathy: the impact of signal change resolution on the outcomes[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2019, 44(21): E1241-E1247.
27. Hamdan ARK. The relation between cord signal and clinical outcome after anterior cervical discectomy in patients with degenerative cervical disc herniation [J]. *Asian J Neurosurg*, 2019, 14(1): 106-110.
28. Vedantam A, Rajshekhar V. Change in morphology of intramedullary T2-weighted increased signal intensity after anterior decompressive surgery for cervical spondylotic myelopathy[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2014, 39(18): 1458-1462.
29. He X, Zhang JN, Liu TJ, et al. Is laminectomy and fusion the better choice than laminoplasty for multilevel cervical myelopathy with signal changes on magnetic resonance imaging: a comparison of two posterior surgeries [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2020, 21(1): 423.
30. Lu K, Gao X, Tong T, et al. Clinical predictors of surgical outcomes and imaging features in single segmental cervical spondylotic myelopathy with lower cervical instability[J]. *Med Sci Monit*, 2017, 23: 3697-3705.
31. Chen CJ, Lyu RK, Lee ST, et al. Intramedullary high signal intensity on T2-weighted MR images in cervical spondylotic myelopathy: prediction of prognosis with type of intensity[J]. *Radiology*, 2001, 221(3): 789-794.
32. Wada E, Yonenobu K, Suzuki S, et al. Can intramedullary signal change on magnetic resonance imaging predict surgical outcome in cervical spondylotic myelopathy [J]. *Spine*, 1999, 24(5): 455-461.
33. Ren H, Feng T, Wang L, et al. Using a combined classification of increased signal intensity on magnetic resonance imaging (MRI) to predict surgical outcome in cervical spondylotic myelopathy [J]. *Med Sci Monit*, 2021, 27: e929417.
34. Wang LF, Zhang YZ, Shen Y, et al. Using the T2-weighted magnetic resonance imaging signal intensity ratio and clinical manifestations to assess the prognosis of patients with cervical ossification of the posterior longitudinal ligament [J]. *J Neurosurg Spine*, 2010, 13(3): 319-323.
35. Nam TH, Lee JW, Yeom JS, et al. Increased signal intensity on postoperative T2-weighted axial images in cervical spondylotic myelopathy: patterns of changes and associated impact on outcomes[J]. *J Clin Neurosci*, 2021, 90: 244-250.
36. Guan L, Chen X, Hai Y, et al. High-resolution diffusion tensor imaging in cervical spondylotic myelopathy: a preliminary follow-up study[J]. *NMR Biomed*, 2017, 30(10): 1-11.
37. Zhang H, Guan L, Hai Y, et al. Multi-shot echo-planar diffusion tensor imaging in cervical spondylotic myelopathy[J]. *Bone Joint J*, 2020, 102(9): 1210-1218.
38. Bonacchi R, Rocca MA, Filippi M. Editorial for "utility of advanced DWI in the detection of spinal cord microstructural alterations and assessment of neurologic function in cervical spondylotic myelopathy patients"[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2021, 55(3): 941-942.
39. Liu Y, Kong C, Cui L, et al. Correlation between diffusion tensor imaging parameters and clinical assessments in patients with cervical spondylotic myelopathy with and without high signal intensity[J]. *Spinal Cord*, 2017, 55(12): 1079-1083.
40. Jiang W, Han X, Guo H, et al. Usefulness of conventional magnetic resonance imaging diffusion tensor imaging and neurite orientation dispersion and density imaging in evaluating postoperative function in patients with cervical spondylotic myelopathy[J]. *J Orthop Translat*, 2018, 15: 59-69.

(收稿日期:2022-02-21 修回日期:2022-06-04)

(本文编辑 姜雅浩)