

脊髓型颈椎病患者脊髓 MRI T2WI 高信号的危险因素

雷宇¹, 于森¹, 刘晓光¹, 曾琳²

(1 北京大学第三医院骨科; 2 临床流行病学研究中心 100191 北京市)

【摘要】目的:探讨脊髓型颈椎病(CSM)患者脊髓 MRI T2WI 高信号的危险因素。**方法:**2014 年 1 月~2014 年 4 月因 CSM 于我院骨科行手术治疗的 185 例患者被纳入研究。将脊髓 MRI T2WI 高信号分为 3 级:0 级, 无高信号;1 级, T2WI 有模糊而边界不清的高信号, 且高信号范围局限于一个节段;2 级, T2WI 有明亮而边界清晰的高信号或高信号范围超过一个节段。在 MRI T2WI 横断位上测量脊髓压迫程度, 在过伸、过屈位 X 线片上测量颈椎节段和整体活动度。对可能影响高信号的因素(性别、年龄、病程、术前 mJOA 评分、脊髓压迫程度、颈椎活动度、椎间盘退变程度)行单因素分析, 挑选出有意义指标($P<0.1$)行有序 Logistic 回归分析。**结果:**脊髓 MRI T2WI 高信号的发生率为 72.4%。按照分级标准, 0 级 51 例(27.6%), 1 级 86 例(46.5%), 2 级 48 例(25.9%)。性别和脊髓压迫程度对高信号的影响有统计学意义(女性相对于男性的 $OR=0.366$, 脊髓压迫比值的 $OR=0.904$, $P<0.05$), 而年龄、病程、术前 mJOA 评分、椎间盘退变程度、颈椎活动度与高信号均无明显相关性($P>0.05$)。**结论:**男性、脊髓压迫程度重为 CSM 患者脊髓 MRI T2WI 高信号的独立危险因素。

【关键词】脊髓型颈椎病; MRI; 高信号

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2016.07.02

中图分类号: R681.5, R445.2 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2016)-07-0585-06

Risk factors of spinal cord increased signal intensity on T2-weighted magnetic resonance imaging in patients with cervical spondylotic myelopathy/LEI Yu, YU Miao, LIU Xiaoguang, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2016, 26(7): 585-590

【Abstract】 Objectives: To investigate the risk factors affecting the spinal cord increased signal intensity (ISI) on T2-weighted magnetic resonance imaging (MRI) in patients with cervical spondylotic myelopathy (CSM). **Methods:** From January 2014 to April 2014, 185 patients with CSM in Peking University Third Hospital receiving surgery were included in this study. ISI were classified in three grades: grade 0, no ISI; grade 1, faint and fuzzy border, located in one disc level; grade 2, intense and well-defined border, extending more than one disc level. The degree of spinal compression was measured on the T2-weighted transverse MRI, both segmental and total range of motion (ROM) of cervical spine were measured on the flexion-extension X-Ray. The factors that might affect the progression of ISI were analyzed by single factor analysis first: gender, age, duration of symptoms, preoperative mJOA score, degree of spinal compression, degree of intervertebral disc degeneration, ROM of cervical spine. Then the meaningful factors ($P<0.1$) were picked out for ordinal Logistic regression analysis. **Results:** The incidence of ISI on T2-weighted MRI was 72.4%. According to the grading system: 51 cases in grade 0, accounting for 27.6%; 86 cases in grade 1, accounting for 46.5%; 48 cases in grade 2, accounting for 25.9%. The influence of gender and degree of spinal compression on ISI was statistically significant (female to male's $OR=0.366$ and compression ratio's $OR=0.904$, respectively, $P<0.05$), while there was no significant correlation among age, duration of symptoms, preoperative mJOA score, degree of intervertebral disc degeneration, ROM of cervical spine and ISI ($P>0.05$). **Conclusions:** Male and severe spinal compression were independent risk factors of spinal cord ISI on T2-weighted MRI in patients with CSM.

第一作者简介: 男(1989-), 博士研究生, 研究方向: 脊柱外科

电话: (010)82267368 E-mail: Rayy0917@outlook.com

通讯作者: 刘晓光 E-mail: xglius@vip.sina.com

[Key words] Cervical spondylotic myelopathy; Magnetic resonance imaging; Increased signal intensity; Risk factor

[Author's address] Department of Orthopaedic, Peking University Third Hospital, Beijing, 100191, China

脊髓型颈椎病(cervical spondylotic myelopathy, CSM)是导致脊髓功能损害的常见脊柱退变性疾病。MRI T2WI 脊髓高信号在 CSM 患者中经常出现,多数学者认为明亮而边界清楚的、多节段的脊髓高信号代表了严重的脊髓病理损害,预后较差^[1-6]。但目前对 CSM 的 MRI T2WI 脊髓高信号的危险因素研究较少,尤其是颈椎局部活动度在其发生中的作用机制。有研究报道采用 White 标准人为划分为颈椎不稳组与稳定组^[7],但颈椎正常生理屈伸活动过程中即可能出现动态脊髓损伤,而无需达到生物力学失稳标准^[8]。且既往研究多采用组间方差分析,对性别、年龄等混杂因素控制不理想^[9]。本研究采用 Logistic 回归分析研究年龄、性别、病程以及颈椎活动度等因素对 CSM 患者 MRI T2WI 脊髓高信号的影响,探讨 CSM 患者 MRI T2WI 脊髓高信号的危险因素。

1 资料与方法

1.1 一般资料

纳入标准:诊断为 CSM,影像学资料完整(颈椎正侧屈伸位 X 线片、颈椎 CT、颈椎 MRI),首次行颈椎手术治疗。排除标准:伴后纵韧带骨化或黄韧带骨化,既往有颈椎外伤史、颈椎手术史,脊髓肿瘤、脊髓结核、脊髓空洞、肌萎缩侧索硬化症等引起脊髓信号改变的疾病。选取 2014 年 1 月~2014 年 4 月因 CSM 于我院骨科住院患者 185 例,男 123 例,女 62 例;年龄 22~79 岁(51.7 ± 10.8 岁);病程 0.5~204 个月,中位数为 8 个月。术前改良 JOA(mJOA)评分 4~17 分,中位数为 13 分。

1.2 影像学测量

患者术前均行颈椎 X 线片及 MRI 检查。X 线摄片采用 DR 摄影系统,患者直立位站立,双手自然放松,双目平视前方,左侧身体靠近 X 线胶片,投照中心为 C4 椎体水平,投照距离为 230cm,获得标准侧位 X 线片。要求患者尽量弯曲颈部得到前屈位,尽量后伸颈部得到后伸位 X 线片。MRI 检查采用 1.5T 场强 Siemens 磁共振成像系统,轴位、矢状位扫描 T1WI 及 T2WI 均采用 TSE 系列,扫描参数:(1)T1WI,TR/TE=590/12ms,矩阵 $192 \times$

256,采集时间 1min20s,采集 2 次,层厚 2mm;(2)T2WI,TR/TE=4480/130ms,矩阵 180×256 ,采集时间 1min52s,采集次数 2 次,层厚 2mm。

所用测量软件为 GE 公司 Centricity Enterprise Web 3.0 的标尺工具,所有定量测量均由两名资深脊柱外科医师独立测量 3 次后,取各自测量值中位数的平均值,若两值相差较大,则重复测量以保证测量结果的一致性。

1.2.1 脊髓 MRI T2WI 高信号分级 综合先前的研究^[1-6],将高信号分为 3 级:0 级,无高信号;1 级,T2WI 有模糊边界不清的高信号,且高信号范围局限于一个节段;2 级,T2WI 有明亮而边界清晰的高信号或高信号范围超过一个节段(图 1)。

1.2.2 脊髓压迫情况 在 MRI T2WI 横断位片上测量压迫最重节段(图 2),压迫程度采用压迫比^[10](同一层面上,脊髓的最小矢状径/最大横径 $\times 100\%$)计算。

1.2.3 椎间盘退变程度 采用 Miyazaki 等^[11]的颈椎椎间盘退变分级系统,分为 I~V 级(表 1)。

1.2.4 颈椎活动度测量 使用 Cobb 角颈椎活动度测量法^[12],在过伸过屈位 X 线片上分别测量颈椎整体及节段在前屈位、后伸位弧度(无高信号者测量压迫最重节段相邻的 2 个椎体,有高信号者测量高信号最强节段相邻的 2 个椎体),前凸记为正值,后凸记为负值。后伸位弧度与前屈位弧度之差为颈椎活动度(图 3)。

1.3 统计分析

运用 SPSS 22.0 对数据进行统计分析。首先对计量数据进行正态性检验,对脊髓压迫程度、颈椎活动度的测量数据采用组内相关系数(ICC)行一致性检验。对可能影响高信号的因素(性别、年龄、病程、术前 mJOA 评分、脊髓压迫程度、颈椎活动度、椎间盘退变程度)行单因素分析:符合正态性及方差齐性的行方差分析,否则行 Kruskal-Wallis 秩和检验,挑选出有意义指标($P < 0.1$)行有序 Logistic 回归分析。 $P < 0.05$ 为有统计学意义。

2 结果

2.1 影像学测量结果



图 1 脊髓 MRI T2WI 高信号分级 **a** 0 级:无高信号 **b** 1 级:T2WI 有模糊而边界不清的高信号,且高信号范围局限于一个节段 **c、d** 2 级:T2WI 有明亮而边界清晰的高信号或高信号范围超过一个节段 **图 2** 脊髓压迫程度(A 为脊髓的最小矢状径,B 为脊髓的最大横径,脊髓压迫比=A/B×100%)

Figure 1 Classification of increased signal intensity (ISI) of the spinal cord in T2-weighted MRI **a** Grade 0, no ISI **b** Grade 1, faint and fuzzy border, confined to one disc level **c** Grade 2, intense and well-defined border, more than one disc level **Figure 2** Compression of the spinal cord (A was minimal sagittal diameter of the spinal cord, B was maximum transverse diameter of the spinal cord, the compression ratio=A/B×100%)

表 1 Miyazaki 椎间盘退变分级^[11]

Table 1 Grading system for cervical intervertebral disc degeneration from Miyazaki^[11]

级别 Grade	髓核信号强度 Nucleus signal intensity	髓核结构 Nucleus structure	髓核和纤维环分界 Distinction of nucleus and annulus	椎间盘高度 Disc height
I	高信号 Hyperintense	均一白色 Homogenous, white	清晰 Clear	正常 Normal
II	高信号 Hyperintense	白色带有灰带区 Inhomogenous with horizontal band, white	清晰 Clear	正常 Normal
III	中等信号 Intermediate	颜色不均, 灰黑混杂 Inhomogenous, gray to black	不清晰 Unclear	正常或降低 Normal to decreased
IV	低信号 Hypointense	颜色不均, 灰黑混杂 Inhomogenous, gray to black	消失 Lost	正常或降低 Normal to decreased
V	低信号 Hypointense	颜色不均, 灰黑混杂 Inhomogenous, gray to black	消失 Lost	塌陷 Collapsed



图 3 颈椎 Cobb 角 **a** 角 A 为 C4-5 前屈位 Cobb 角,记为负值 **b** 角 B 为 C4-5 后伸位 Cobb 角,记为正值

Figure 3 Cervical Cobb angle **a** Angle A was Cobb angle of C4-5 during flexion, recorded as negative **b** Angle B was Cobb angle of C4-5 during extension, recorded as positive

2.1.1 压迫最重节段 以 C5-6 节段为主(91 例, 49.2%),其次是 C4-5 节段(57 例, 30.8%)。

2.1.2 脊髓压迫程度 脊髓压迫比值为 13.38%~44.02%,中位数为 23.86%。测量者组内 ICC 值分别为 0.82 和 0.85,组间 ICC 值为 0.77。

2.1.3 脊髓 MRI T2WI 信号情况 无高信号 51 例;有高信号 134 例,其中高信号出现节段以 C5-6 节段为主(62 例, 33.5%),其次为 C4-5 节段(33 例, 17.8%),高信号强度为 1 级 97 例、2 级 37 例。高信号局限于一个节段 119 例,超过一个节段 15 例。

2.1.4 椎间盘退变程度 全为中重度退变 (Ⅲ~V 级), 其中Ⅲ级 10 例 (5.4%), Ⅳ级 76 例 (41.4%), V 级 99 例 (53.5%)。

2.1.5 颈椎活动度 节段前屈角度 $4.39^{\circ} \pm 3.87^{\circ}$, 节段后伸角度 $4.38^{\circ} \pm 4.04^{\circ}$, 节段活动度 $8.77^{\circ} \pm$

3.96°。整体前屈角度 17.03°±12.06°,整体后伸角度 23.96°±11.43°,整体活动度 40.99°±14.53°。测量者组内 ICC 值分别为 0.87 和 0.91,组间 ICC 值为 0.83。

2.2 脊髓 MRI T2WI 高信号危险因素分析

2.2.1 脊髓 MRI T2WI 高信号分级情况 0 级 51 例 (27.6%),1 级 86 例 (46.5%),2 级 48 例 (25.9%)。

2.2.2 单因素分析 采用方差分析或 Kruskal-Wallis 秩和检验,对性别、年龄、病程、术前 mJOA 评分、脊髓压迫程度、颈椎活动度、椎间盘退变程度这 7 个可能影响高信号的因素进行单因素分析,结果见表 2、表 3。有统计学意义的影响因素为性别、术前 mJOA 评分、脊髓压迫程度($P<0.1$),而年龄、病程、椎间盘退变程度及颈椎活动度对高信号的影响无统计学意义($P>0.1$)。

2.2.3 有序 Logistic 回归 将脊髓 MRI T2WI 高信号分级作为应变量,以性别、术前 mJOA 评分、脊髓压迫程度作为自变量,采用有序 Logistic 回归分析。得出具有统计学意义的影响因素,并利用公式 $OR=\exp(\beta)$ 计算 OR 值。模型似然比检验示含有自变量的最终模型,在统计学上有显著意义($P<0.001$)。模型拟合优度检验示模型拟合较好($P=0.557$ 和 0.570)。有序 Logistic 回归分析显示脊髓 MRI T2WI 高信号分级的独立危险因素为性别和脊髓压迫程度($P<0.05$,表 4)。女性相对于男性的 $OR=0.366$,即男性相对于女性出现高等级高信号可能性大($OR=2.732$)。而脊髓压迫比值的 $OR=0.904$,比值越小,压迫程度越重,即随着压迫程度加重,出现高等级高信号可能性增大 ($OR=1.106$)。

3 讨论

CSM 是引起脊髓功能损害常见的脊柱退变疾病。许多学者对其发病机制、病理改变、自然病程等进行了大量研究^[13-16]。椎间盘的退变是 CSM 最早也是最基本的病理改变。随着退变进展,颈椎生物力学发生改变,椎体后缘骨赘形成,后纵韧带、黄韧带等退变增生,椎管容积减小。包括静态压迫、动态刺激等多种机制共同作用,导致脊髓缺血、缺氧而出现功能障碍。不同 CSM 患者的自然病程进展变化极大,绝大部分患者病情缓慢进展,而少数患者病情长期稳定不变^[15,16]。一旦出现脊

表 2 不同脊髓 MRI T2WI 高信号等级患者一般临床资料比较

Table 2 Comparison of general clinical data of different grade of ISI

	高信号等级 Grade of ISI			P
	0级(n=51) Grade 0	1级(n=86) Grade 1	2级(n=48) Grade 2	
性别(男/女) Gender (Male/Female)	27/24	57/29	39/9	0.012
年龄(岁) Age	52.1±11.5	50.5±10.7	53.2±9.9	0.354
病程(月) Duration of symptoms	8.0(22.0)	6.0(21.0)	10.0(20.8)	0.654
术前 mJOA 评分(分) Preoperative mJOA score	14.0(2.0)	13.0(4.3)	13.0(3.8)	0.070

表 3 不同脊髓 MRI T2WI 高信号等级患者影像学资料比较

Table 3 Comparison of imaging data of different grade of ISI

	高信号等级 Grade of ISI			P
	0级(n=51) Grade 0	1级(n=86) Grade 1	2级(n=48) Grade 2	
脊髓压迫比 Compression ratio of spinal cord(%)	29.10±7.84	23.98±5.69	23.53±4.99	<0.001
椎间盘退变等级 Grade of disc degeneration				0.255
Ⅲ级 Grade Ⅲ	3	5	2	
Ⅳ级 Grade Ⅳ	26	31	19	
Ⅴ级 Grade Ⅴ	22	50	27	
颈椎活动度(°) Cervical ROM				
节段前屈角度 Segmental flexion curvature	4.61±3.91	4.52±3.81	3.92±3.98	0.615
节段后伸角度 Segmental extension curvature	4.45±3.93	3.96±3.98	5.06±4.25	0.319
节段活动度 Segmental ROM	9.07±4.26	8.48±3.98	8.98±3.61	0.652
整体前屈角度 Total flexion curvature	17.44±11.72	17.69±11.46	15.42±13.49	0.559
整体后伸角度 Total extension curvature	24.81±10.42	22.13±11.67	26.32±11.72	0.104
整体活动度 Total ROM	42.24±14.57	39.83±13.80	41.74±15.84	0.592

表 4 高信号危险因素的有序 Logistic 回归分析
Table 4 Ordinal logistic regression analysis of risk factors of ISI

变量 Variables	β	P	OR	模型显著性 Model significance
性别 Gender	-1.004	0.001	0.366	<0.001
脊髓压迫比 Compression ratio of spinal cord	-0.101	<0.001	0.904	
术前 mJOA 评分 Preoperative mJOA score	-0.100	0.076		

髓功能损害则难以完全恢复正常,故 CSM 的早期诊断和治疗尤为重要。

MRI 技术的出现和发展为 CSM 的早期诊断和治疗提供了影像学依据。MRI 不仅能清楚地显示脊髓受压程度及椎间盘退变程度,还能反映脊髓内信号改变等情况。自 Takahashi 等^[17]于 1987 年首次报道 CSM 患者出现 MRI 髓内高信号以来,大量研究试图通过这种信号改变推断脊髓的病理变化及预后,从而指导 CSM 的诊治。虽然脊髓 MRI T2WI 高信号代表了脊髓的一系列病理改变,从缺血、水肿到坏死、软化、囊性变,并无特异性,但多数学者倾向于明亮而边界清楚的、多节段的高信号代表了严重的脊髓病理损害,术后预后较差^[1-6]。

本研究结果显示,185 例 CSM 患者脊髓高信号的发生率为 72.4%,与 Vedantam 等^[18]报道的发生率 41.0%~97.2%一致。按分级标准,0 级 51 例 (27.6%),1 级 86 例 (46.5%),2 级 48 例 (25.9%)。采用有序 Logistic 回归分析发现,男性、脊髓压迫程度重为高信号的独立危险因素 (OR 分别为 2.732 和 1.106)。而年龄、病程、术前 mJOA 评分、椎间盘退变程度、颈椎活动度与高信号无关。

脊髓压迫程度与病变严重程度相关^[10,19]。Ogino 等^[10]通过尸检研究发现,脊髓压迫比例>40%的患者,其脊髓病理改变仅有局部轻度白质脱髓鞘,而脊髓压迫比例<40%的患者,随压迫程度加重,其脊髓灰质逐渐出现神经元变性甚至广泛的坏死、空洞形成,白质逐渐出现弥漫脱髓鞘、胶质增生。我们认为脊髓压迫程度越重,病理损害也越严重,在 MRI 上即表现为较高等级的脊髓 MRI T2WI 高信号。与 Yagi 等^[7]的研究结论相符。

男性患者更易出现脊髓 MRI T2WI 高信号,

且高信号等级较高,我们认为可能与男性患者中发育性颈椎管狭窄比例高^[20]有关,因此男性患 CSM 的概率也较女性高^[21]。当存在发育性椎管狭窄时,由于颈椎管储备间隙减少,颈椎出现退变后,静态压迫以及动态不稳定很容易造成脊髓损害^[22]。Yagi 等^[7]的研究发现,性别虽然对高信号改变的影响无统计学意义 ($P=0.101$),但男性出现信号改变的概率是女性的 3.348 倍。

本研究中,无论是节段还是整体的颈椎活动度都与脊髓 MRI T2WI 高信号无明显相关性,这与我们的假设有悖。也与 Yagi 等^[7]的研究结论不同,他们认为颈椎不稳是信号改变的影响因素。Guppy 等^[8]通过动态 MRI 研究发现,过伸位可出现中立位观察不到的脊髓压迫,从而引起“无压迫”的高信号。他们认为颈椎的动态因素可造成脊髓损伤,引起高信号。颈椎前屈过程中,颈脊髓被拉伸,腹侧的退变组织会对脊髓产生直接的压迫和牵张;而与前屈时脊髓变细相比,颈椎后伸过程中,椎管矢状径较小,脊髓的横截面积增大,脊髓的有效缓冲空间更小,同时来自脊髓腹侧的退变组织和背侧增厚皱褶的黄韧带可共同对脊髓形成“钳夹效应”^[23,24]。此外,Henderson 等^[25]认为,伴有颈椎不稳的患者,在颈椎屈伸过程中,脊髓受到的张力和剪切力增加,可造成轴索损伤,出现脊髓 MRI T2WI 高信号。

为何本研究颈椎活动度与脊髓 MRI T2WI 高信号无关? Miyazaki 等^[11]通过动态 MRI 研究发现,椎间盘退变程度从Ⅱ级到Ⅲ级时椎体间水平位移增加,而到Ⅴ级时椎体间水平位移和角度位移均显著减小,他们认为随着椎间盘退变,椎体间活动度先增大,增大的活动度进一步刺激退变发展,而到严重退变时,椎体间强直,活动度显著减小。本研究纳入病例的椎间盘退变程度均为中重度退变(Ⅲ~Ⅴ级),其中一半以上为严重退变,我们认为椎间盘严重退变是混杂因素,干扰了研究中对颈椎活动度与高信号关系的分析。此外,吴丙轩等^[26]研究发现,性别、年龄同样对颈椎活动度有影响。故受多重因素的影响,临床中欲通过测量颈椎活动度来预测高信号进展可能,从而指导诊治是不切实际的。另外,本研究作为回顾性横断面研究,纳入病例均为住院行手术治疗的 CSM 患者,其椎间盘退变程度较重,脊髓压迫程度较重,可能因为患者的颈椎活动已由不稳定期进入强直期,

从而对测量结果形成干扰。由于受多种因素影响,不能说明颈椎活动度对高信号无影响,结果和结论还有待进一步明确。

总之,本研究结果显示,男性、脊髓压迫程度重为 CSM 患者脊髓 MRI T2WI 高信号的独立危险因素。

4 参考文献

1. 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.
2. Yukawa Y, Kato F, Yoshihara H, et al. MR T2 image classification in cervical compression myelopathy: predictor of surgical outcomes[J]. Spine, 2007, 32(15): 1675-1679.
3. Vedantam A, Jonathan A, Rajshekhar V. 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.
4. 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): 455-462.
5. Chatley A, Kumar R, Jain VK, et al. Effect of spinal cord signal intensity changes on clinical outcome after surgery for cervical spondylotic myelopathy[J]. J Neurosurg Spine, 2009, 11(5): 562-567.
6. Ahn J, Lee J, Kim B. Prognostic factors that affect the surgical outcome of the laminoplasty in cervical spondylotic myelopathy[J]. Clin Orthop Surg, 2010, 2(2): 98-104.
7. Yagi M, Ninomiya K, Kihara M, et al. Long-term surgical outcome and risk factors in patients with cervical myelopathy and a change in signal intensity of intramedullary spinal cord on magnetic resonance imaging[J]. J Neurosurg Spine, 2010, 12(1): 59-65.
8. Guppy KH, Hawk M, Chakrabarti I, et al. The use of flexion-extension magnetic resonance imaging for evaluating signal intensity changes of the cervical spinal cord [J]. J Neurosurg Spine, 2009, 10(4): 366-373.
9. Yu L, Zhang Z, Ding Q, et al. Relationship between signal changes on T2-weighted magnetic resonance images and cervical dynamics in cervical spondylotic myelopathy [J]. J Spinal Disord Tech, 2015, 28(6): E365-367.
10. Ogino H, Tada K, Okada K, et al. Canal diameter, antero-posterior compression ratio, and spondylotic myelopathy of the cervical spine[J]. Spine, 1983, 8(1): 1-15.
11. Miyazaki M, Hong SW, Yoon SH, et al. Kinematic analysis of the relationship between the grade of disc degeneration and motion unit of the cervical spine[J]. Spine, 2008, 33(2): 187-193.
12. Liu B, Liu Z, VanHoof T, et al. Kinematic study of the relation between the instantaneous center of rotation and degenerative changes in the cervical intervertebral disc[J]. Eur Spine J, 2014, 23(11): 2307-2313.
13. Shedid D, Benzel EC. Cervical spondylosis anatomy: pathophysiology and biomechanics[J]. Neurosurgery, 2007, 60(1 Suppl 1): S7-S13.
14. Kalsi-Ryan S, Karadimas SK, Fehlings MG. Cervical spondylotic myelopathy: the clinical phenomenon and the current pathobiology of an increasingly prevalent and devastating disorder[J]. Neuroscientist, 2013, 19(4): 409-421.
15. Karadimas SK, Erwin WM, Ely CG, et al. Pathophysiology and natural history of cervical spondylotic myelopathy [J]. Spine, 2013, 38(22 Suppl 1): S21-36.
16. Clair SS, Bell GR. Natural history of cervical spondylotic myelopathy[J]. Semin Spine Surg, 2007, 19(1): 2-5.
17. Takahashi M, Sakamoto Y, Miyawaki M, et al. Increased MR signal intensity secondary to chronic cervical cord compression[J]. Neuroradiology, 1987, 29(6): 550-556.
18. 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.
19. Fujiwara K, Yonenobu K, Hiroshima K, et al. Morphometry of the cervical spinal cord and its relation to pathology in cases with compression myelopathy[J]. Spine, 1988, 13(11): 1212-1216.
20. 党耕町, 王超, 陈仲强, 等. “比值法”与发育性颈椎管狭窄的诊断[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 1992, 2(4): 146-149.
21. Northover JR, Wild JB, Braybrooke J, et al. The epidemiology of cervical spondylotic myelopathy [J]. Skeletal Radiol, 2012, 41(12): 1543-1546.
22. 贾连顺, 袁文, 倪斌, 等. 颈椎椎管发育性狭窄与脊髓型颈椎病[J]. 颈腰痛杂志, 1999, 20(1): 11-13.
23. Muhle C, Metzner J, Weinert D, et al. Classification system based on kinematic MR imaging in cervical spondylitic myelopathy[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 1998, 19(9): 1763-1771.
24. Zhang L, Zeitoun D, Rangel A, et al. Preoperative evaluation of the cervical spondylotic myelopathy with flexion-extension magnetic resonance imaging[J]. Spine, 2011, 36(17): E1134-E1139.
25. Henderson FC, Geddes JF, Vaccaro AR, et al. Stretch-associated injury in cervical spondylotic myelopathy: new concept and review[J]. Neurosurgery, 2005, 56(5): 1101-1113.
26. 吴炳轩, 刘宝戈, 刘振宇, 等. 颈椎曲度和活动度参数的影响因素[J]. 中华骨科杂志, 2014, 34(4): 380-386.

(收稿日期:2016-01-06 末次修回日期:2016-06-22)

(英文编审 蒋欣/贾丹彤)

(本文编辑 李伟霞)