

基础研究

颈椎后路单开门椎管扩大椎板成形术后
C5 神经根麻痹的解剖学研究

赵健军, 赵庆豪, 邓尚希, 朱炜嘉, 张儒森, 马润洵, 黎庆初

(南方医科大学第三附属医院脊柱外科 510630 广州市)

【摘要】目的:探讨颈椎后路单开门椎管扩大椎板成形术后 C5 神经根麻痹可能的解剖学机制。**方法:**取 8 具防腐正常成人颈部标本(年龄 54~78 岁,平均 66.4±7.3 岁)。仔细从后方剔除颈椎周围的软组织,暴露双侧椎板,在双侧关节突关节内侧各作一条沟,铰链侧保留内层骨板,开门侧完全穿透内层骨板。掀起开门侧椎板后,剔除脂肪组织,分离和保留椎管后方的所有韧带结构,在肉眼及手术显微镜下观察椎管后方的韧带的形态、走行、起始位置及分布特点,用游标卡尺在手术显微镜下测量韧带的长度、宽度及厚度。从不同节段观察硬膜囊及神经根在开门前后的改变。最后,测量 C4~C8 硬膜内腹侧支上端及下端的长度。**结果:**在 8 个颈椎标本的椎管后方共发现 37 条的膜椎韧带。膜椎韧带的一端附着于黄韧带或椎板内面,另一端与硬膜囊后壁相连,形状以条索型多见。韧带的长度为 7.37~20.09mm(12.24±3.21mm),各节段自上往下呈逐渐增加的趋势;厚度最厚处达 1.12mm。膜椎韧带在脊髓的 C3~C4 节段分布较多。在易发病的节段中,C5 硬膜内腹侧支上端及下端的长度是最短的(13.18±1.12mm,8.07±1.11mm)。在颈椎后路单开门椎管扩大椎板成形术后,观察到椎管后方的膜椎韧带绷紧,硬膜囊变形,脊髓以及神经根发生移位。**结论:**膜椎韧带牵拉可能是 C5 神经根麻痹发生的重要因素。切断膜椎韧带可能有助于降低术后 C5 神经根麻痹的发生率。

【关键词】颈椎后路单开门椎管扩大椎板成形术;C5 神经根麻痹;解剖学机制;膜椎韧带;神经根损伤

doi:10.3969/j.issn.1004-406X.2020.07.08

中图分类号:R322.8 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2020)-07-0638-06

Anatomical study on C5 nerve palsy after posterior cervical single-door laminoplasty/ZHAO Jianjun, ZHAO Qinghao, DENG Shangxi, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2020, 30(7): 638-643

【Abstract】 Objectives: To investigate the possible anatomical mechanism of C5 nerve palsy after cervical expansive single-door laminoplasty. **Methods:** Eight whole cervical embalmed cadavers (54 to 78 years, averaged 66.4±7.3 years) were studied. After dissecting postvertebral muscles, the bilateral laminae were exposed. A gutter was created above the inner cortex at the medial border of the facet joints as hinges, while another gutter on the contralateral side penetrated the inner cortex and the spinal canal as open side. After lifting the open side of the laminae, any tough ligamentous structures between the posterior dura sac and the ligamentum flavum or laminae were observed and identified after removing the adipose tissue. The quantity, morphology, origin, insertion and the spatial orientation of the meningovertbral ligaments at the C3-7 region were observed. The length, width, and thickness of the ligamentous structures were measured with a millimeter caliper (accurate to 0.01mm). Then, changes of the dura sac and roots were observed at different segments. In addition, the most cranial and caudal lengths of the C4-C8 ventral rootlets were measured. **Results:** A total of 37 meningovertbral ligaments were found in 8 cervical spine specimens, connecting the posterior wall of the dura sac to ligamentum flavum or laminae. Ligament length varied from 7.37-20.09mm (12.24±3.21mm); the thickest one is 1.12mm. The meningovertbral ligaments had a tendency to be abundant at C3-C4 of spinal cord. Besides, the most cranial and caudal lengths of C5 ventral rootlets (13.18±1.12mm, 8.07±1.11mm) were

基金项目:广东省省级科技计划项目(编号:2017B020210010)

第一作者简介:男(1994-),在读硕士,研究方向:脊柱外科临床解剖

电话:(020)62784309 E-mail:178889526@qq.com

通讯作者:黎庆初 E-mail:liqingchu12@qq.com

the shortest in the vulnerable segments when lifting up the open side of lamina, the meningovertebral ligaments became tight, and the shape of the dura sac was changed, therefore the displacement of spinal cord and nerve root was observed. **Conclusions:** The meningovertebral ligaments might play an important role in the occurrence of postoperative C5 nerve palsy. Release of the meningovertebral ligaments may be effective in reducing the incidence of postoperative C5 nerve palsy.

【Key words】 Expansive open-door laminoplasty; C5 palsy; Anatomical mechanism; The meningovertebral ligaments; Nerve root lesion

【Author's address】 Department of Spine Surgery, the Third Affiliated Hospital of Southern Medical University, Guangzhou, 510630, China

颈椎后路单开门椎管扩大椎板成形术是治疗多节段的脊髓型颈椎病 (cervical spondylotic myelopathy, CSM) 和后纵韧带骨化症 (ossification of the posterior longitudinal ligament, OPLL) 的有效手段^[1,2]。然而,术后 C5 神经根麻痹是该术常见的严重并发症之一。据报道,术后 C5 神经根麻痹发生率为 4.4%~17.3%^[3-5]。术后 C5 神经根麻痹常被定义为单侧三角肌和/或肱二头肌严重无力,且无任何脊髓病症状的恶化^[6-8]。此外,其他颈神经 (C6、C7 或 C8) 单独或联合麻痹也有报道^[2,6]。术后 C5 神经根麻痹通常是暂时性的运动瘫痪,大多数患者的功能恢复预后良好^[9,10],但症状严重者的恢复时间明显延长^[6,7]。

C5 神经根麻痹显著降低了患者的生活质量及手术满意度^[11]。因此,本研究在解剖学的基础上,对 C5 神经根麻痹发生的解剖机制进行探讨,为降低该并发症的发生率提供思路及依据。

1 材料和方法

1.1 研究对象

取 8 具正常成人完整颈部防腐标本(男 5 具,女 3 具,年龄 54~78 岁,平均 66.4±7.3 岁),所有标本均由南方医科大学微创外科解剖学研究所提供,在肉眼以及手术显微镜下观察排除颈椎及脊髓有明显结构改变、肿瘤或颈椎手术史者。

1.2 标本操作处理

将颈椎从寰枢关节及 C7/T1 椎间隙分离,自 C2~C7 常规剥离颈椎双侧椎旁肌,暴露后方的棘突及双侧椎板。在其中一侧的关节突关节内侧作一条纵行骨槽,保留内侧骨板作为门轴侧。而对侧的关节突关节内侧作另一条骨槽,切断内层骨板及黄韧带作为开门侧,掀开椎板后固定。

1.3 解剖学观察与测量

在外科显微镜下将硬膜囊与黄韧带或椎板之

间的疏松组织分离并保留韧带结构。然后,从不同节段的横断面,观察颈椎单开门手术前后硬膜囊和神经根的改变。另外,测量 C4~C8 硬膜内腹侧支上下端的长度。用相机和文字记录所有膜椎韧带的形状、起止点、空间定位及其与神经根的毗邻关系。用游标卡尺(精确到 0.01mm)在外科显微镜下测量膜椎韧带的长度、宽度及厚度和硬膜内腹侧支的长度。每组测量由 2 个研究者分别进行 3 次重复测量,以重复测量数据的平均值进行统计分析。测量者对研究内容知情。

1.4 统计方法

使用 SPSS 20.0 软件 (SPSS Inc., Chicago, IL) 进行分析,所有参数测量结果以 $\bar{x} \pm s$ 形式表示。

2 结果

2.1 颈椎硬膜椎韧带的解剖学观察

2.1.1 膜椎韧带的走行及附着点 在 8 例标本中共有 37 条膜椎韧带 (meningovertebral ligaments, MLs) 出现,每例标本均有发现膜椎韧带,膜椎韧带的其中一端附着于黄韧带或椎板内面,另一端与硬膜囊后壁相连。膜椎韧带与硬膜囊后壁连接紧密,牵拉可使硬膜囊局部变形。膜椎韧带之间的间隙充满疏松的脂肪及少量的静脉丛。膜椎韧带大多都呈前上向后下走行,从硬膜囊至椎管后壁(图 1)。单一节段的膜椎韧带以位于中线、中线旁居多,部分分布于左右两侧。

2.1.2 膜椎韧带的分型及分布特点 膜椎韧带的形态从紧密的结缔组织到松散的网状组织不等。根据形态特点的不同,膜椎韧带一般可分为四种类型:条索型(51.3%):圆而长,呈绳索状;条带型(27%):扁且宽;网格型(19%):相互交织而成;薄片型(2.7%):较条带形更为薄且短,似膜片状。其中,主要是以条索型的多见。不同个体、不同节段

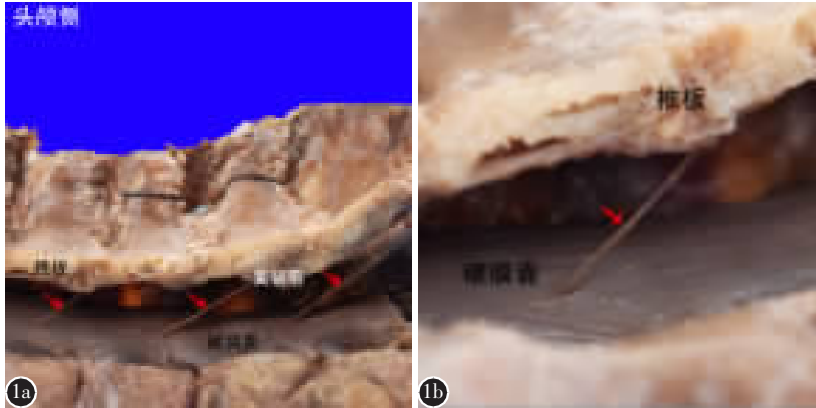


图 1 a、b 红色箭头所示为膜椎韧带。膜椎韧带一端附着于黄韧带或椎板内面,另一端与硬膜囊后壁相连

Figure 1 a, b Red arrow showed the meningovertbral ligaments. The meningovertbral ligaments originate from the ligamentum flavum or laminae, and insert into the posterior wall of the dura sac

的膜椎韧带的形态不同。在本研究中,膜椎韧带在脊髓节段分布从上往下有逐渐减少的趋势,出现率最高的节段是在 C3-C4(100%),其次是 C4-C5(75%),C5-C6(62.5%),C6-C7(50%),而在 C7-C8(37.5%)出现率最低。然而在单一节段的多发性韧带较少见的,一般单一节段出现 1~2 条韧带多见。

2.1.3 膜椎韧带的测量结果 膜椎韧带的长度 7.37~20.09mm (12.24±3.21mm); 厚度最厚处达 1.12mm。详细测量结果见表 1。

2.2 硬膜内神经根的解剖学观察

2.2.1 硬膜内神经根的走行 在硬膜囊内,脊神经从脊髓发出向下延伸到相应节段的椎间孔的水平行走。在椎间孔入口处,腹侧支和背侧支并行行走,两者之间被硬膜囊的一部分间隔开,随后,腹侧支与背侧支向椎间孔继续行走并汇合,并且被硬脊膜紧密覆盖,共同形成脊神经根鞘膜。硬膜囊和硬膜内的根丝之间有着紧密的结合(图 2)。因此,在椎间孔内,我们将脊神经根分为硬膜外和硬膜内两部分。

2.2.2 硬膜内神经根腹侧支的长度 本研究测量了 C4~C8 水平中硬膜囊内腹侧支上端(长度 A)及下端(长度 B)的长度(表 2),在报道过术后出现神经症状的节段^[2,9](C5-C8)中,C5 的腹侧支长度是最短的(13.18±1.12mm,8.07±1.11mm)。

2.3 后路单开门术前硬膜囊及神经根的解剖学变化

在 C3-C7 椎体水平,行颈椎后路单开门椎板扩大成形术操作。在我们的研究观察中,从开门侧掀起椎板,位于椎管内后方的膜椎韧带变得紧绷,硬膜囊后壁边缘明显向后拉伸,硬膜囊的形状发生改变,从椭圆形变为近三角形,硬膜囊局部向椎

表 1 脊髓不同节段的膜椎韧带的测量数据

Table 1 Measurements of the meningovertbral ligaments at the different segments of spinal cord

	数量(n) Num	长度(mm) Length	宽度(mm) Width	厚度(mm) Thickness
C3-4	11	9.73±1.37 (7.37~11.59)	0.82±0.48 (0.28~1.70)	0.30±0.12 (0.11~0.51)
C4-5	9	11.62±2.29 (8.54~15.75)	0.93±0.36 (0.49~1.53)	0.42±0.24 (0.20~0.85)
C5-6	8	11.27±1.61 (9.42~13.31)	0.93±0.59 (0.38~2.23)	0.41±0.32 (0.11~1.12)
C6-7	6	15.68±0.91 (14.63~16.98)	1.17±0.88 (0.54~2.55)	0.64±0.34 (0.29~1.12)

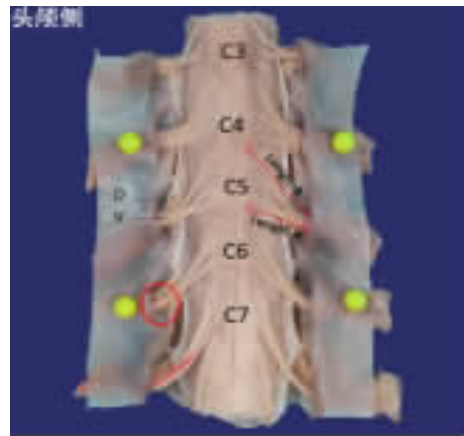


图 2 切开硬膜囊后的脊神经(腹侧观)。D,背侧支;V,腹侧支;红色圆圈,硬膜与神经根的连接;长度 A,最上端腹侧支的长度;长度 B,最下端腹侧支的长度

Figure 2 Ventral view of spinal nerve (dural sac was cut). D, dorsal rootlets; V, ventral rootlets; red circle, the conjunction of dura and rootlets. Length A: the most cranial length of ventral rootlet. Length B: the most caudal length of ventral rootlet

管后方膨出(图 3)。在这种情况下,脊髓向后方漂移,神经根随之向后内侧移位。但是,由于在椎间孔处,神经根与椎间孔壁存在紧密的连接,神经根

的移位会有一些的限制。然而,值得注意的是,神经根在硬膜内和硬膜外的两个部分的变化是不同的。在开门后,硬膜外的神经根会变得紧张,张力增加,相反,硬膜内的腹侧支张力没有明显改变(图 4)。在切断椎管后间隙的所有膜椎韧带后,硬膜囊的变形及脊髓的移位变得相对不明显,硬膜囊的变形减少(图 5)。

3 讨论

目前 C5 神经根麻痹发病机制假说有:(1)手术中对神经根直接的机械性损伤;(2)弓弦效应导致的术后脊髓漂移,进而导致 C5 神经根拴系或因神经孔卡压牵拉引起的神经压迫;(3)减压后脊髓向后漂移所致神经根供血血管受压进而使脊髓血供减少;(4)缺血再灌注损伤对脊髓的影响;(5)

节段性脊髓损伤^[6,12,13]。在提出的 C5 神经根麻痹发展机制中,被讨论最多的是颈椎减压后脊髓移位引起的神经根拴系或卡压引起的神经压迫。该

表 2 C4-8 神经根腹侧支的长度测量

Table 2 Measurements of the ventral rootlets in the C4-8 cervical spinal cord

	长度 A(mm) Length A	长度 B(mm) Length B
C4	12.76±1.15(11.17~15.62)	7.63±1.03(6.19~9.59)
C5	13.18±1.12(11.07~15.10)	8.07±1.11(5.81~10.59)
C6	14.98±1.40(12.93~17.36)	8.70±0.73(7.32~9.83)
C7	16.71±1.02(14.94~18.59)	10.24±0.96(8.45~12.05)
C8	19.84±1.53(15.76~21.88)	12.87±1.86(7.91~16.28)

注:长度 A,腹侧支最靠近头端的根丝的长度;长度 B,腹侧支最靠近尾端的根丝的长度

Note: Length A, the most cranial length of ventral rootlet; Length B, the most cranial length of ventral rootlet



图 3 颈椎水平面观 a 单开门术前 b 单开门术后。*,膜椎韧带;开门后,可以看到脊髓的后移,硬膜囊变形及硬膜囊后凸 图 4 颈椎水平面观 a 单开门术前 b 单开门术后。红色圆圈,硬膜内根丝;*,膜椎韧带,硬膜内腹侧支开门后张力没有明显改变,硬膜后凸形成 图 5 颈椎单开门术后水平面观(切除膜椎韧带)。脊髓和硬膜外根部的移位变得相对不明显,硬膜囊变形减少

Figure 3 Horizontal view of cervical spine a Before laminoplasty b After laminoplasty; *, the meningovertebral ligaments. When the open side of the lamina was lifted, posterior shift of the spinal cord occurred. At the same time, the shape of the dura sac changed from oval to almost subtriangular, and posterior distension of the dura mater was observed Figure 4 Horizontal view of cervical spine a Before laminoplasty b After laminoplasty. *, the meningovertebral ligaments; the tension of ventral rootlets did not change significantly, and dural bulging was formed with the posterior shift of the spinal cord Figure 5 Horizontal view after cervical expansive open-door laminoplasty (the meningovertebral ligaments were completely cut off). The posterior shift of the spinal cord as well as that of the extradural root became less obvious, and deformation of dura sac was reduced

机制可以很好地解释 C5 神经根麻痹的一些特征,包括:C5 神经根支配区域的感觉障碍或运动瘫痪,单侧性神经症状,手术后发病,以及良好的预后。然而,关于神经根拴系或神经卡压的具体机制的研究甚少。

3.1 C5 神经根的解剖特点

前有的研究认为,C5 神经根的独特解剖特征使其容易受到损伤:(1)在 C4-C5 处关节突关节较其他节段更加往前凸;(2)在颈椎单开门手术中,C5 节段通常是位于减压区的顶点,而脊髓后移程度在 C5 节段是最大的^[14];(3)三角肌仅受 C5 节段支配^[6,15];(4)C5 腹侧支的长度比其他节段更短^[6],与我们的测量结果一致。

3.2 颈椎膜椎韧带与 C5 神经根麻痹的联系

2009 年,Shiozaki 等^[14]在减压术后 24h 的 MRI 检查中发现,C5 神经根的后移是最大的,C5 椎体水平的脊髓后移与 C4-C6 硬膜囊扩张有关。然而,与硬膜囊向后扩张相关的解剖学因素很少被研究。2014 年,Shi 等^[17]详细描述了硬膜囊后方和椎管后壁之间的膜椎韧带。他们认为在椎板切除术中对膜椎韧带的疏忽可能造成硬脑膜的损伤。此外,Scapinelli 等^[18]认为在腰椎上膜椎韧带可以起到稳定椎管内结构的作用,也可以限制硬膜囊跟随脊柱运动。在我们的研究中,当掀起开门侧时,颈部的膜椎韧带变得紧张,并向后牵拉硬膜囊,形成硬膜囊凸出。与此同时,脊髓后移由于后方的膜椎韧带的牵拉变得更加明显。在这种情况下,后内侧的牵引力可能通过绷紧的膜椎韧带以及变形的硬膜囊传至硬脊膜外神经根,增加神经根的位移和张力,这可能增加了神经根拴系效应发生的可能。如果切断椎管后间隙的所有韧带,脊髓和硬膜外根部的移位变得相对不明显,硬膜囊变形减少。因此,我们认为颈椎的膜椎韧带牵拉与单开门术后脊髓后移和硬膜外神经根的牵拉有关,这可能与 C5 神经根麻痹的发生有密切联系。

3.3 硬膜囊与神经根在颈椎单开门术后的改变

2017 年,Khuyagbaatar 等^[19]在颈椎椎板切开后形成的 OPLL 模型上进行了生物力学研究,发现由于对神经根的牵拉,术后硬膜外神经根的移位和张力增加是更为明显的。随后,Khuyagbaatar 等^[20]在另一项生物力学研究中报道,颈椎椎板成形术的确可以减压和减轻脊髓压力,而不是神经根的张力。因此,我们怀疑这种硬膜外神经根

的高张力和位移,可能与术后 C5 神经根麻痹的发生有密切关系。从本研究的解剖学观察发现,椎板打开后,硬膜外神经根随脊髓后移向后内侧移位,但是,硬膜囊内的腹侧支及背侧支依然是松弛的,与先前的研究是相符的^[19]。

3.4 探讨术后 C5 神经根麻痹的解剖学机制

颈椎单开门术后,脊髓向后漂移,硬膜外神经根发生移位和张力增高,硬膜外神经根变得更容易与周围结构接触,尤其是椎间孔的内侧缘和后侧缘。其次,C5 神经根长度短,在移位的过程中,相对其他节段更易锚定在关节突关节和/或钩椎关节的边缘,这正是所谓的神经根拴系效应。

在正常生理状况下,神经根的活动可能是有一定受限的。其中,后纵韧带的上层和硬膜囊,均与神经根鞘存在纤维性连接^[16]。此外,在下段颈椎的椎间孔内,连接神经根和孔壁的椎间孔内韧带(intraforaminal ligaments, IFLs)分布相对更丰富。IFLs 可以保护神经根不与周围组织接触^[21]。在正常的生理条件下,这种纤维连接和 IFLs 起着限制神经根活动和移位的作用。然而,在单开门术后,这种限制与在神经根上的牵拉产生的拮抗作用可能增加了硬膜外神经根的张力。

结合本研究观察,单开门术后,脊髓向后漂移,如果此时不把膜椎韧带离断,膜椎韧带就有可能对硬膜外神经根的牵拉,或许会产生神经根拴系效应,增加 C5 神经根麻痹发生的可能。另外,对椎间孔的处理可能对 C5 神经根麻痹的发生有一定的影响。有研究表明,术前 C4-C5 椎间孔就已经存在的椎间孔狭窄是术后 C5 神经根麻痹的可能原因之一^[22]。既往研究^[10,22,23]表明,椎间孔扩大术被认为是降低 C5 神经根麻痹发生率的有效措施。椎间孔内侧的扩大可使神经根在椎间孔内有较宽的活动空间和更大的活动度,减轻了硬膜外神经根的拴系效应。

这项研究为临床医生提供单开门术后与 C5 神经根麻痹相关的详细的解剖学观察。如果能在保证充分减压的同时,仔细分离出膜椎韧带并选择性地切除,通过对膜椎韧带的松解可能会减少脊神经根和硬膜囊的牵拉和位移。然而,术后 C5 神经根麻痹的病因是多因素的,除了将膜椎韧带剥离之外,椎间孔后内侧壁的扩大成形术的疗效也在进一步的研究中。本研究仅从解剖学基础上进行探讨,我们将进一步临床观察。

3.5 存在的问题与不足

由于防腐尸体可能会脱水或收缩,测量的尺寸可能会小于正常生理状态下的尺寸,韧带的数量可能少于实际,本研究所测得的这些数据仅供参考。无法比较标本上韧带的强度与活体组织上的强度是否有明显区别。

4 结论

膜椎韧带牵拉可能是 C5 神经根麻痹发生的重要因素。颈椎后路单开门椎管扩大椎板成形术后,膜椎韧带绷紧,硬膜外神经根发生移位和张力增高,可能会形成神经根拴系效应。切断膜椎韧带可能有助于降低术后 C5 神经根麻痹的发生率,提高患者的生活质量和手术满意度。

5 参考文献

- Chiba K, Toyama Y, Matsumoto M, et al. Segmental motor paralysis after expansive open-door laminoplasty[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2002, 27(19): 2108-2115.
- Imagama S, Matsuyama Y, Yukawa Y, et al. C5 palsy after cervical laminoplasty: a multicentre study [J]. *J Bone Joint Surg Br*, 2010, 92(3): 393-400.
- Gu Y, Cao P, Gao R, et al. Incidence and risk factors of C5 palsy following posterior cervical decompression: a systematic review[J]. *PLoS One*, 2014, 9(8): e101933.
- Liu G, Reyes MR, Riew KD. Why does C5 palsy occur after prophylactic bilateral C4-5 foraminotomy in open-door cervical laminoplasty? a risk factor analysis [J]. *Global Spine J*, 2017, 7(7): 696-702.
- Wang T, Wang H, Liu S, et al. Incidence of C5 nerve root palsy after cervical surgery: a meta-analysis for last decade[J]. *Medicine(Baltimore)*, 2017, 96(45): e8560.
- Sakaura H, Hosono N, Mukai Y, et al. C5 palsy after decompression surgery for cervical myelopathy: review of the literature[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2003, 28(21): 2447-2451.
- Shou F, Li Z, Wang H, et al. Prevalence of C5 nerve root palsy after cervical decompressive surgery: a meta-analysis[J]. *Eur Spine J*, 2015, 24(12): 2724-2734.
- Joaquim AF, Makhni MC, Riew KD. Post-operative nerve injuries after cervical spine surgery[J]. *Int Orthop*, 2019, 43(4): 791-795.
- Tanaka N, Nakanishi K, Fujiwara Y, et al. Postoperative segmental C5 palsy after cervical laminoplasty may occur without intraoperative nerve injury: a prospective study with transcranial electric motor-evoked potentials[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2006, 31(26): 3013-3017.
- Katsumi K, Yamazaki A, Watanabe K, et al. Can prophylactic bilateral C4/C5 foraminotomy prevent postoperative C5

palsy after open-door laminoplasty? a prospective study [J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2012, 37(9): 748-754.

- Miller JA, Lubelski D, Alvin MD, et al. C5 palsy after posterior cervical decompression and fusion: cost and quality-of-life implications[J]. *Spine J*, 2014, 14(12): 2854-2860.
- Hirabayashi S, Kitagawa T, Yamamoto I, et al. Postoperative C5 palsy: conjectured causes and effective countermeasures [J]. *Spine Surg Relat Res*, 2019, 3(1): 12-16.
- Yoshihara H, Margalit A, Yoneoka D. Incidence of C5 palsy: meta-analysis and potential etiology [J]. *World Neurosurg*, 2019, 122: e828-e837.
- Shiozaki T, Otsuka H, Nakata Y, et al. Spinal cord shift on magnetic resonance imaging at 24 hours after cervical laminoplasty[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2009, 34(3): 274-279.
- Yonenobu K, Hosono N, Iwasaki M, et al. Neurologic complications of surgery for cervical compression myelopathy [J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 1991, 16(11): 1277-1282.
- Shinomiya K, Okawa A, Nakao K, et al. Morphology of C5 ventral nerve rootlets as part of dissociated motor loss of deltoid muscle[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 1994, 19(22): 2501-2504.
- Shi B, Zheng X, Min S, et al. The morphology and clinical significance of the dorsal meningo-vertebra ligaments in the cervical epidural space[J]. *Spine J*, 2014, 14(11): 2733-2739.
- Scapinelli R. Anatomical and radiologic studies on the lumbosacral meningo-vertebral ligaments of humans[J]. *J Spinal Disord*, 1990, 3(1): 6-15.
- Khuyagbaatar B, Kim K, Park WM, et al. Biomechanical investigation of post-operative C5 palsy due to ossification of the posterior longitudinal ligament in different types of cervical spinal alignment[J]. *J Biomech*, 2017, 57: 54-61.
- Khuyagbaatar B, Kim K, Purevsuren T, et al. Biomechanical effects on cervical spinal cord and nerve root following laminoplasty for ossification of the posterior longitudinal ligament in the cervical spine: a comparison between open-door and double-door laminoplasty using finite element analysis[J]. *J Biomech Eng*, 2018, 140(7). doi: 10.1115/1.4039826.
- Yang Y, Shi B, Duan Y, et al. Anatomic morphology and clinical significance of intraforaminal ligaments of the cervical spine[J]. *Clin Anat*, 2019, 32(5): 654-660.
- Katsumi K, Yamazaki A, Watanabe K, et al. Analysis of C5 palsy after cervical open-door laminoplasty: relationship between C5 palsy and foraminal stenosis [J]. *J Spinal Disord Tech*, 2013, 26(4): 177-182.
- Komagata M, Nishiyama M, Endo K, et al. Prophylaxis of C5 palsy after cervical expansive laminoplasty by bilateral partial foraminotomy[J]. *Spine J*, 2004, 4(6): 650-655.

(收稿日期:2020-02-26 修回日期:2020-06-18)

(英文编审 庄乾宇/谭 啸)

(本文编辑 姜雅浩)