doi:10.11659/jjssx.11E021115

·基础研究·

颈椎后路单开门椎管扩大椎板成形联合选择性融合术的生物力学研究

王亚楠,王建法,李亚威,刘军伟,张 一,李志磊,孙国绍,邵世坤 (郑州大学附属郑州中心医院神经脊柱外科,河南 郑州 450000)

[摘 要] **目的** 评估颈椎后路单开门椎管扩大椎板成形联合选择性融合术与颈椎后路单开门椎管扩大成形微型钛板内固定术在本地羊颈椎椎体不稳标本中的力学特点。**方法** 取4具新鲜羊颈椎标本,每具标本分别制作为颈椎$C_{3/4}$节段失稳标本(失稳标本)、颈椎后路单开门椎管扩大成形微型钛板内固定术标本(传统术式标本)、颈椎后路单开门椎管扩大椎板成形联合选择性融合术标本(改良术式标本),分别对每具标本进行生物力学测试。记录在X射线透视下羊颈椎在不同状态下的颈椎活动度(ROM)、颈椎屈曲度(CFA)和颈椎后伸度(CEA)。**结果** 失稳标本与改良术式标本CFA、ROM比较,差异无统计学意义($P>0.05$),失稳标本与改良术式标本的CEA比较,差异具有统计学意义($P<0.05$);传统术式标本与改良术式标本的ROM比较,差异具有统计学意义($P<0.05$),但传统术式标本与改良术式标本CFA及CEA比较,差异均无统计学意义($P>0.05$);失稳标本与传统术式标本CFA、CEA及ROM比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)。**结论** 与颈椎后路单开门椎管扩大成形微型钛板内固定术相比,颈椎后路单开门椎管扩大椎板成形联合选择性融合术能够在有效保留ROM的同时重建椎体稳定性。

[关键词] 颈椎;椎管扩大成形;羊;内固定
[中图分类号] R318.01 [文献标识码] A [收稿日期] 2021-11-21

Biomechanical study of cervical posterior open-door laminoplasty combined with selective fusion

WANG Ya-nan, WANG Jian-fa, LI Ya-wei, LIU Jun-wei, ZHANG Yi, LI Zhi-lei, SUN Guo-shao, SHAO Shi-kun
(Department of Neurospinal Surgery, Zhengzhou Central Hospital Affiliated to Zhengzhou University, Zhengzhou Henan 450000, China)

Abstract: Objective To evaluate the mechanical characteristics of cervical posterior open-door laminoplasty combined with selective fusion and cervical posterior open-door laminoplasty with micro titanium plate internal fixationin in local sheep specimens of cervical instability. **Methods** Four fresh sheep cervical specimens were taken, and each specimen was made into the specimen of $C_{3/4}$ segments instability

[基金项目] 河南省医学科技攻关计划联合共建项目(2018020761)
[通信作者] 李志磊,E-mail:549029321@qq.com

[20] Wang Y, Jiang F, Xiong Y, et al. LncRNA TTN-AS1 sponges miR-376a-3p to promote colorectal cancer progression via upregulating KLF15[J]. Life Sci, 2020, 244(14): 116936 - 116945. doi: 10.1016/j.lfs.2019.116936.

[21] Dong MM, Peng SJ, Yuan YN, et al. LncRNA TTN-AS1 contributes to gastric cancer progression by acting as a competing endogenous RNA of miR-376b-3p[J]. Neoplasma, 2019, 66(4): 564 - 575. doi: 10.4149/neo_2018_180927N721.

[22] Zuo Z, Ji S, He L, et al. LncRNA TTN-AS1/miR-134-5p/PAK3 axis regulates the radiosensitivity of human large intestine cancer cells through the P21 pathway and AKT/GSK-3β/β-catenin pathway[J]. Cell Biol Int, 2020, 44(11): 2284 - 2292. doi: 10.1002/cbin.11436.

[23] Zhang G, Pian C, Chen Z, et al. Identification of cancer-related miRNA-lncRNA biomarkers using a basic miRNA-lncRNA network [J]. PLoS One, 2018, 13(5): e0196681. doi: 10.1371/journal.pone.0196681.

[24] Xue J, Zhang Z, Li X, et al. Long non-coding RNA TTN-AS1 promotes breast cancer cell migration and invasion via sponging miR-140-5p [J]. Oncol Lett, 2020, 20(9): 1255 - 1260. doi: 10.3892/ol.2020.12018.

[25] Zhu Y, Yang Z, Luo XH, et al. Long noncoding RNA TTN-AS1 promotes the proliferation and migration of prostate cancer by inhibiting miR-1271 level[J]. Eur Rev Med Pharmacol Sci, 2019, 23(24): 10678 - 10684. doi: 10.26355/eurrev_202102_24813.

[26] Gagliardi PA, Puliafito A, Primo L. PDK1: at the crossroad of cancer signaling pathways[J]. Semin Cancer Biol, 2018, 2(48): 27 - 35. doi: 10.1016/j.semcancer.2017.04.014.

[27] Wei Y, Liao Y, Deng Y, et al. MicroRNA-503 inhibits non-small cell lung cancer progression by targeting PDK1/PI3K/AKT pathway[J]. Onco Targets Ther, 2019, 31(12): 9005 - 9016. doi: 10.2147/OTT.S213059.

[28] Bamodu OA, Chang HL, Ong JR, et al. Elevated PDK1 expression drives PI3K/AKT/MTOR signaling promotes radiation-resistant and dedifferentiated phenotype of hepatocellular carcinoma[J]. Cells, 2020, 9(3): 746 - 764. doi: 10.3390/cells9030746.

[29] Ming-Yan Y, Jing Z, Shu-Qin G, et al. Liraglutide inhibits the apoptosis of human nucleus pulposus cells induced by high glucose through PI3K/Akt/caspase-3 signaling pathway[J]. Biosci Rep, 2019, 39(8): 109 - 119. doi: 10.1042/BSR20190109.

(编辑:贺绍梅)

(instability specimen), the specimen of cervical posterior open-door laminoplasty with micro titanium plate internal fixation (traditional surgical specimen), and the specimen of cervical posterior open-door laminoplasty combined with selective fusion (modified surgical specimen). The biomechanical tests were performed on each specimen respectively. The range of motion (ROM), cervical flexion angles (CFA) and cervical extension angles (CEA) of the cervical spine under different conditions were recorded with X-ray fluoroscopy. **Results** There was no significant difference in the CFA or ROM between the instability specimen and the modified surgical specimen ($P>0.05$). The difference of CEA between the instability specimen and the modified surgical specimen was statistically significant ($P<0.05$). There was statistically significant difference in the ROM between the traditional surgical specimen and modified surgical specimen ($P<0.05$). However, there was no significant difference in the CFA or CEA between the traditional surgical specimen and the modified surgical specimen ($P>0.05$). There was no significant difference in the CFA, CEA or ROM between the instability specimen and the traditional surgical specimen ($P>0.05$). **Conclusion** Compared with cervical posterior open-door laminoplasty with micro titanium plate internal fixation, cervical posterior open-door laminoplasty combined with selective fusion can effectively preserve the ROM while reconstructing the vertebral stability.

Keywords: cervical vertebrae; laminoplasty; sheep; internal fixation

颈椎后路椎管扩大成形术是临床常用的治疗多节段颈椎管狭窄症的手术方式,手术疗效确切、术式简单。颈椎后路椎管扩大成形术主要包括颈椎后路融合及非融合手术,两种术式均能够有效治疗绝大多数颈椎管狭窄症,但是在治疗多节段颈椎管狭窄症伴单节段不稳时,非融合手术无法重建颈椎节段的稳定性,远期可能造成不稳节段的脊髓损伤,影响预后效果;另外,若因单节段不稳而进行多节段融合,必然会导致术后颈椎正常活动度大量丧失,影响患者颈椎功能。为重建不稳节段的稳定性,同时保留其余手术节段的活动度,避免多节段融合,我们既往尝试将颈椎后路单开门椎管扩大椎板成形联合选择性融合术作为改良术式治疗多节段颈椎管狭窄症伴单节段不稳,取得了一定的疗效,但是对于同一个不稳定模型分别行颈椎后路椎管扩大成形术和颈椎后路单开门椎管扩大椎板形成联合选择性融合术中的生物力学差异并不清楚。

由于羊颈椎与人颈椎在解剖形态、影像学、骨密度、生物力学方面具有相似性,可以作为颈椎研究的良好动物模型[1-3],因此我们选取了 4 只本地羊的新鲜颈椎标本,对颈椎整体进行观察、研究。颈椎不稳常常发生于 $C_{3/4}$或 $C_{4/5}$节段[4],因此每个标本分别在 $C_{3/4}$节段制作颈椎失稳标本,然后在失稳标本的基础上行颈椎后路单开门椎管扩大成形微型钛板内固定术,制作传统术式标本,完成相关测量后,在传统术式标本上加用选择性融合术制作改良术式标本。用这 3 种标本模拟颈椎最大活动范围,以 X 射线透视的骨性标志为定位点,测量本地羊颈椎在不同内固定下的生物力学性能参数,两两对比,探讨颈椎后路单开门椎管扩大椎板成形联合选择性融合术与颈椎后路单开门椎管扩大成形微型钛板内固定术能否在保持颈椎活动度的同时重建颈椎稳定性。

1 材料与方法

1.1 标本收集

选取成年(1 岁)本地公羊 4 只,取其新鲜颈椎标本,通过 X 射线透视排除颈椎肿瘤、畸形及外伤,去除皮肤、筋膜及大部分肌肉,保证各关节囊及韧带完整,制作成颈椎功能单位,活动颈椎排除制作标本过程中导致的椎体不稳。为保证标本新鲜,选择当天宰杀本地羊制作标本,使用双层塑料袋密封标本,置于 -18 ℃冰箱内冷藏备用。

1.2 标本制作

失稳标本:选取符合要求的羊颈椎标本,剔除多余的肌肉组织,保留各节段椎间盘、椎体、关节囊及韧带的完整,标本置于操作台,切除 $C_{3/4}$节段关节囊、骨质,人为制作不稳椎体(图 1a)。

传统术式标本:所有失稳标本行 $C_2 \sim C_5$节段颈椎后路单开门椎管扩大成形微型钛板内固定术,使用微型钛板固定 $C_2 \sim C_5$节段椎板(图 1b)。

改良术式标本:保留所有传统术式标本上的微型钛板,分别于 $C_{3/4}$节段椎体两侧增加侧块螺钉、连接钛棒,行侧块螺钉内固定,重建不稳节段的稳定性,其余节段不处理(图 1c)。

使用的内固定装置为上海三友医疗器械股份有限公司提供的瑞塔颈椎后路椎板成形内固定系统和赛维娜颈椎后路系统。

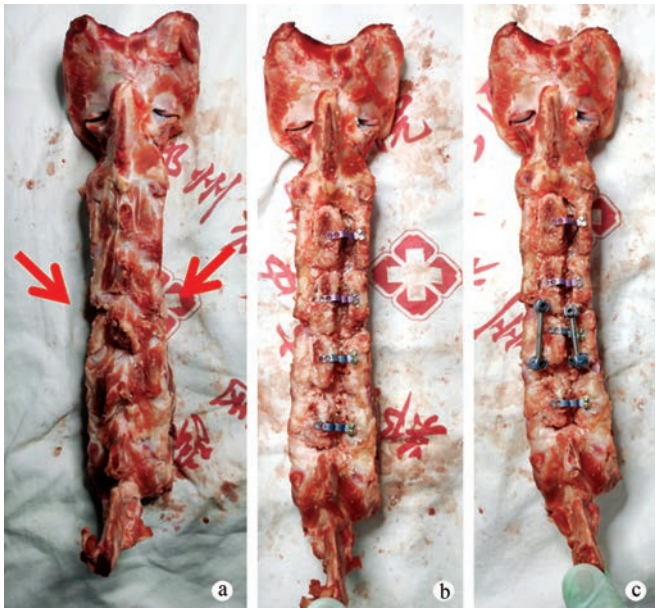
1.3 检测方法

颈椎前凸角测量:在颈椎侧位 X 射线片中测量 C_1椎体上缘延长线与 C_5椎体下缘延长线的夹角,即前凸角,见图 2。

标本的 $C_1 \sim C_5$节段在极度屈曲位的前凸角为颈椎屈曲度(cervical flexion angles, CFA),在极度后伸位的前凸角为颈椎后伸度(cervical extension angles, CEA),

颈椎活动度(range of motions,ROM) = CEA – CFA。

测试前 4 h 解冻标本,将失稳标本置于 X 射线透视机下进行极度屈曲位和极度后伸位透视,将图像同步传入计算机,用图像处理和分析系统计算颈椎 ROM、CFA 及 CEA。每次测试进行 1 次加载/卸载循环,测量 3 次,取其平均值并记录。重复上述操作,分别记录失稳标本、传统术式标本和改良术式标本相关数据。所有标本均在同一天完成实验测试。



a:失稳标本,箭头表示被破坏的双侧关节;b:传统术式标本;c:改良术式标本

图 1 制作完成的标本



红色线条:C_1椎体上缘;黄色线条:C_5椎体下缘

图 2 颈椎前凸角测量

1.4 统计学分析

所有数据均使用 SPSS 22.0 软件进行统计学分析,图像数据使用 Surgimap 2.3.2.1 软件进行测量。数据以均数 ± 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,采用配对样本 t 检验分别比较 3 种状态下的数据差异。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

失稳标本与改良术式标本 CFA、ROM 比较,差异无统计学意义($P>0.05$),但失稳标本与改良术式标本的 CEA 比较,差异具有统计学意义($P<0.05$);传统术式标本与改良术式标本的 ROM 比较,差异具有统计学意义($P<0.05$),但传统术式标本与改良术式标本 CFA 及 CEA 比较,差异均无统计学意义($P>0.05$),失稳标本与传统术式标本 CFA、CEA 及 ROM 比较,差异均无统计学意义($P>0.05$),见表 1。

表 1 不同状态下羊颈椎的活动度(°)

标本类型	CFA	CEA	ROM
失稳标本	19.0 ±7.3	69.4 ±11.4	49.9 ±8.2
传统术式标本	11.2 ±9.0	66.7 ±19.4	60.5 ±8.4
改良术式标本	14.8 ±2.7	60.2 ±11.1 *	45.4 ±8.9 #

*:与失稳标本比较,$t=16.3$,$P=0.000$;#:与传统术式标本比较,$t=4.8$,$P=0.017$

3 讨论

多节段颈椎管狭窄症是一种由各种原因导致的椎管容积及矢状径缩小的常见疾病,患者表现为颈部疼痛、肢体麻木无力及行走不稳等,手术是其有效的治疗方式[5]。颈椎后路椎管扩大成形术是较为理想的治疗颈椎狭窄症的一种术式,已被广泛应用于临床,其中单开门椎管扩大椎板成形术是其代表术式,具有良好的临床预后效果[6]。一项纳入 520 例患者的研究证实,颈椎后路椎管扩大成形术后患者颈椎矢状位前凸角只有 1.8°的改变,并且术后仍保留了 87.9% 的颈椎活动度[7],因此颈椎后路椎管扩大成形术既能达到椎管间减压的目的,又能有效保留颈椎活动功能。

颈椎后路椎管扩大成形术维持颈椎椎板“开门”状态的固定方式较多,包括细线悬吊、螺钉固定、金属板固定等,多根据临床具体情况选择。但是颈椎后路非融合手术无法重建颈椎节段的稳定性,而颈椎不稳节段可能造成脊髓损伤、交感型颈椎病等,易影响患者预后[8-9]。因此,在制订存在局部不稳因素的多节段颈椎管狭窄症患者的手术策略时应考虑到同时重建节段稳定性。国外相关学者对伴颈椎不稳的患者尝试采用椎管扩大椎板成形术联合多节段侧块或椎弓根螺钉内固定,术后患者神经功能得到有效改善,并且局部稳定性得到重建[10-11],但是多节段融合必然会导致较多的颈椎正常活动度丧失。

为了解决上述问题,尽可能保留部分手术节段的

活动度,避免多节段融合,同时固定不稳节段,我们前期通过对多节段颈椎管狭窄症伴单节段不稳的患者实施颈椎后路单开门椎管扩大椎板成形联合选择性融合术,在颈椎后路单开门椎管扩大成形微型钛板内固定术的基础上,不在颈椎不稳椎体安装钛板,而是两侧分别置入侧块螺钉,安装连接棒,使用丝线将不稳节段的椎板固定于连接棒,维持"开门"状态。该术式可有效改善患者的神经功能,并且能够在保留部分颈椎生理曲度和活动度的同时重建不稳椎体的稳定性[12]。但这仅能明确选择性融合术能够达到良好的临床效果,未能与传统颈椎后路椎管扩大成形术进行临床对比。鉴于此,本研究选择对同一个离体动物标本进行测试,比较颈椎后路单开门椎管扩大椎板成形联合选择性融合术与颈椎后路单开门椎管扩大成形微型钛板内固定术在 ROM、CEA 及 CFA 等方面的差异,尽可能排除个体差异的干扰。

传统维持"开门"状态常使用丝线悬吊固定椎板,但是术后"再关门"的发生率较高,可达 34%[13],一旦发生"再关门"可能会导致脊髓压迫症状加重,甚至需要二次手术。近年来出现了许多新的内固定方式,常见的内固定材料有锚钉、钛揽及微型钛板等,我们选择了微型钛板固定椎板保持"开门"状态,因为微型钛板与其他材料相比更有利于门轴侧骨性愈合,可防止"再关门",也可明显减少术后颈椎活动度的丢失,降低轴性症状的发生率[14-15],且微型钛板可提供坚强的内固定,椎板能够即刻获得稳定性,有利于患者术后早期活动,远期预后优于丝线悬吊[16]。但临床手术中为了减少患者手术费用,有时会放弃使用价格昂贵的微型钛板,转而选择丝线悬吊的方法,这会在一定程度上增加术后"再关门"发生的风险。相对于临床手术中需要考虑患者的经济负担,本研究中实验耗材充足,于是我们保留了不稳定节段的微型钛板,以保证提供良好的椎板"开门"效果。但是实验中我们也发现,在不稳节段同时植入钉棒和微型钛板存在困难,二者相互影响,有时甚至需要重新调整侧块螺钉位置后才能植入微型钛板,这可能与羊颈椎管较窄、椎板较厚,导致微型钛板的固定面积以及与椎板的贴合程度有限等因素有关。因此,临床手术中如果选择微型钛板固定不稳节段,需要提前规划合适的位置植入侧块螺钉及微型钛板,避免出现内置物相互影响导致反复调钉。

人体新鲜颈椎标本获取较为困难,因此动物模型被广泛用于体内外脊柱研究。Sheng 等[17]研究认为,狒狒的脊柱与人的脊柱最为相近,但是狒狒的颈椎标本获取同样较为困难,且价格昂贵,而成年羊的颈椎在解剖特性、尺寸大小等方面与人的颈椎相似,且来源广泛、标本制作方法简单,因此,国内外学者在进行人颈椎相关的力学研究时更倾向于使用羊颈椎来制作动物模型[18-20]。黄师等[3]认为,羊颈椎在前屈、后伸、左右侧屈和轴向旋转等运动模式下与人颈椎各个节段的活动度相比无明显差异。一项动物解剖的系统回顾发现,人的椎管直径和平均椎体宽度比大部分同体型的动物都要大,但是平均椎体高度相对更小[17]。实际操作过程中我们同样发现本地羊的颈椎与成人颈椎存在较大的解剖差异,其中本地羊的 C_1 椎体较长,形态特异,故不纳入研究;C_2 ~ C_7 椎体形态及大小与成人 C_3 ~ C_7 椎体相似,因此本研究以 C_2 椎体为起始节段。虽然本地羊与成人颈椎存在一定差异,但是本研究是对同一标本在不同术式下的力学特性进行对比,对标本在形态上与人的相似性要求不高。鉴于此,针对本次试验的颈椎生物力学测试需求,我们选择本地羊相应节段颈椎作为替代模型进行试验。另外,由于本地羊的所有椎板都比成人的椎板更厚、更窄,因此,术中我们在不影响实验结果的基础上对椎板进行了简单打磨,并进行了开槽,使微型钛板能够"卡住"椎板,从而更好地维持椎板的"开门"状态,术中未再使用螺钉固定椎板。

我们之前的研究是测量改良术式患者手术节段手术前后的 CEA、CFA 及 ROM 结果,分析选择性融合术在活体中的影像学结果,但仅能对比手术前后的差异,无法对比颈椎后路单开门椎管扩大成形微型钛板内固定术与颈椎后路单开门椎管扩大椎板成形联合选择性融合术之间的生物力学差异。另外,图像捕捉系统通过体表装置获取标本数据进行分析,而本研究在标本上人为制造极度屈曲或过伸,通过 X 射线透视,以骨性标志为参照,提高了测量准确性;并且本研究是以颈椎整体作为研究对象,而非对单个节段进行研究,更接近于真实生活状态;同时,3 种实验状态均作用于同一标本,排除了个体差异导致的结果失准。

根据本研究实验结果,对比两种术式与失稳标本的不同活动度发现,传统术式标本的 CFA、CEA、ROM 差异均无统计学意义,表明颈椎后路单开门椎管扩大成形微型钛板内固定术能够很好地保留 ROM、CFA 及 CEA。改良术式标本与失稳标本的 CEA 比较差异具有统计学意义,考虑原因为选择性融合术使用侧块螺钉固定 $C_{3/4}$ 椎体,这必然会牺牲一部分颈椎的活动度。传统术式标本和改良术式标本与失稳标本的 ROM 比较差异无统计学意义,这提示虽然选择性融合术牺牲了部分 CEA,但是其仍能够有效保留颈椎大部分的活

动度。同时,传统术式标本与改良术式标本 ROM 比较差异具有统计学意义,同样与侧块螺钉固定 $C_{3/4}$ 椎体导致该节段的活动度丧失有关,而这恰恰说明了单节段固定的可靠性。因此,与颈椎后路椎管扩大成形术相比,选择性融合术能够在有效保留 ROM 的同时重建不稳椎体的稳定性。

综上,本研究结果证实,改良术式标本与失稳标本的 ROM 基本一致,这表示改良术式能够很好地保留颈椎的大部分活动度,但是改良术式标本的 CEA 和 ROM 分别较失稳标本及传统术式标本减少,提示单节段固定会造成部分颈椎前凸角及活动度丧失。这些都证实改良术式能够在有效保持 ROM 的同时,重建椎体稳定性,避免颈椎不稳加重导致脊髓损伤。

鉴于本研究标本量较少,且未对各节段椎体及其他方向的力学分布进行研究,下一步我们将增加标本量,同时对标本进行 CT 扫描,建立羊颈椎的三维立体模型,进一步对改良术式的颈椎屈伸、侧屈及旋转时不同节段的力学分布进行分析研究。

[参考文献]

[1] Kandziora F, Pflugmacher R, Scholz M, et al. Comparison between sheep and human cervical spines: an anatomic, radiographic, bone mineral density, and biomechanical study[J]. Spine, 2001, 26(9): 1028 - 1037. doi: 10.1097/00007632 - 200105010 - 00008.

[2] Wilke HJ, Kettler A, Claes LE. Are sheep spines a valid biomechanical model for human spines? [J]. Spine, 1997, 22(20): 2365 - 2374. doi: 10.1097/00007632 - 199710150 - 00009.

[3] 黄 师,侯铁胜,赵 鑫,等. 山羊颈椎能成为人类颈椎的良好模型吗?[J]. 中国临床解剖学杂志,2008,26(3):329 - 331. doi:10.13418/j.issn.1001 - 165x.2008.03.020.

[4] Jiang SD, Jiang LS, Dai LY. Degenerative cervical spondylolisthesis: a systematic review[J]. Int Orthop, 2011, 35(6): 869 - 875. doi: 10.1007/s00264 - 010 - 1203 - 5.

[5] Zhang L, Chen HB, Wang Y, et al. Cervical spinal canal narrowing and cervical neurological injuries[J]. Chin J Traumatol, 2012, 15(1): 36 - 41. doi: 10.3760/cma.j.issn.1008 - 1275.2012.01.008.

[6] Jiang YQ, Li XL, Zhou XG, et al. A prospective randomized trial comparing anterior cervical discectomy and fusion versus plate-only open-door laminoplasty for the treatment of spinal stenosis in degenerative diseases[J]. Eur Spine J, 2017, 26: 1162 - 1172. doi: 10.1007/s00586 - 016 - 4878 - 5.

[7] Machino M, Yukawa Y, Hida T, et al. Cervical alignment and range of motion after laminoplasty: radiographical data from more than 500 cases with cervical spondylotic myelopathy and a review of the literature[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2012, 37(20): E1243 - E1250. doi: 10.1097/BRS.0b013e3182659d3e.

[8] 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. doi: 10.12659/msm.906046.

[9] 李淳德,刘宪义,马忠泰,等. 颈椎节段不稳在交感型颈椎病中的作用[J]. 中华外科杂志,2002,40(10):730 - 732. doi:10.3760/j:issn:0529 - 5815.2002.10.004.

[10] Son S, Lee SG, Park CW, et al. Combined open door laminoplasty with unilateral screw fixation for unstable multi-level cervical stenosis: a preliminary report[J]. J Korean Neurosurg Soc, 2013, 53(2): 83 - 88. doi: 10.3340/jkns.2013.53.2.83.

[11] Uehara M, Takahashi J, Ogihara N, et al. Cervical pedicle screw fixation combined with laminoplasty for cervical spondylotic myelopathy with instability[J]. Asian Spine J, 2012, 6(4): 241 - 248. doi: 10.4184/asj.2012.6.4.241.

[12] 王亚楠. 改良颈椎后路椎管扩大成形术治疗多节段颈椎管狭窄症伴单节段不稳的研究[D]. 大连:大连医科大学,2018.

[13] Matsumoto M, Watanabe K, Tsuji T, et al. Risk factors for closure of lamina after open-door laminoplasty[J]. J Neurosurg Spine, 2008, 9(6): 530 - 537. doi: 10.3171/SPI.2008.4.08176.

[14] 郝喜荣,赵轶波,陆向东,等. 颈椎后路单开门椎管扩大成形术中开门侧不同固定方式的疗效比较[J]. 中华骨科杂志,2017,37(8):449 - 456. doi:10.3760/cma.j.issn.0253 - 2352.2017.08.001.

[15] Chen H, Deng Y, Li T. Clinical and radiography results of mini-plate fixation compared to suture suspensory fixation in cervical laminoplasty: a five-year follow-up study[J]. Clin Neurol Neurosurg, 2015, 138: 188 - 195. doi: 10.1016/j.clineuro.2015.09.004.

[16] 许晓诺,刘海鹰. 颈椎后路钛板内固定与丝线悬吊内固定治疗脊髓型颈椎病的临床疗效[J]. 中华外科杂志,2017,55(3):214 - 219. doi:10.3760/cma.j.issn.0529 - 5815.2017.03.010.

[17] Sheng SR, Wang XY, Xu HZ, et al. Anatomy of large animal spines and its comparison to the human spine: a systematic review[J]. Eur Spine J, 2010, 19(1): 46 - 56. doi: 10.1007/s00586 - 009 - 1192 - 5.

[18] 陈 科,刘建航,陈远明,等. 山羊颈椎与人颈椎拉伸性能的对比研究[J]. 颈腰痛杂志,2012,33(4):257 - 261. doi:10.3969/j.issn.1005 - 7234.2012.04.004.

[19] Hasler C, Sprecher CM, Milz S. Comparison of the immature sheep spine and the growing human spine: a spondylometric database for growth modulating research[J]. Spine, 2010, 35(23): E1262 - E1272. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181e24196.

[20] Lou J, Wang B, Wu T, et al. In-vivo study of osseointegration in prestige LP cervical disc prosthesis[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2018, 19(1): 42. doi: 10.1186/s12891 - 018 - 1957 - 2.

(编辑:魏 源)