

超声骨刀不同切骨方式在颈椎后路单开门椎管扩大成形术中的应用

刘鑫, 格日勒, 杨鹏, 温冰涛, 陈仲强

(北京大学国际医院骨科 102206 北京市)

【摘要】目的:探讨超声骨刀不同的切骨入点和切骨角度在颈椎后路单开门椎管扩大成形术(cervical expansive open-door laminoplasty, CEOL)中应用的对比。**方法:**收集在我院骨科自 2016 年 1 月~2020 年 6 月行 CEOL 术 256 例。根据术中开门侧的切骨方式将所有患者分为超声骨刀片状刀头竖直切骨组(A 组)64 例,改良片状刀头垂直椎板切骨组(B 组)69 例,改良钩状刀头切骨组(C 组)46 例及传统工具组(D 组)77 例。记录 4 组患者的开门时间、术中出血量、术中异体输血和截骨相关并发症;记录术前及术后 3 天 JOA 评分,JOA 评分改善率等。**结果:**所有患者均行 C3-C7 节段 CEOL。A、B、C 三组开门时间均显著少于 D 组 ($10.3\pm 2.7\text{min}$ 、 $10.9\pm 2.8\text{min}$ 、 $10.1\pm 2.7\text{min}$ vs $13.3\pm 2.8\text{min}$) ($P<0.05$)。术中出血量 B、C 两组显著少于 D 组 ($205.9\pm 127.1\text{ml}$ 、 $226.5\pm 104.9\text{ml}$ vs $273.5\pm 164.3\text{ml}$) ($P<0.05$)。A 组与其余三组均无显著差异 ($P>0.05$)。A 组异体输血率显著高于 B、C、D 三组 (12.5% vs 2.9% 、 2.2% 、 2.6%) ($P<0.05$)。A 组 C5 神经麻痹发生率显著高于 B、C、D 组 ($P<0.05$)。其余组间无显著差异 ($P>0.05$)。四组患者术后 JOA 评分均显著优于术前 ($P<0.05$);四组患者术前 JOA 评分、术后 3 天 JOA 评分及 JOA 改善率相比较,均无显著统计学差异 ($P>0.05$)。**结论:**在 CEOL 中使用超声骨刀可显著减少开门时间及手术出血量,术后神经功能改善显著。在开门侧传统切骨入点竖直切骨会增加异体输血率,切骨入点内移 1~2mm 后垂直椎板切骨或选择钩状刀头可降低异体输血率。

【关键词】 超声骨刀;椎板成形术;切骨方式

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2021.01.04

中图分类号:R681.5 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2021)-01-0025-06

Application of different ultrasonic osteotomy methods in cervical expansive open-door laminoplasty/LIU Xin, GERILE, YANG Peng, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2021, 31(1): 25-30

【Abstract】Objectives: To investigate the different entry point and angle of bone cutting with ultrasonic bone cutter in patients underwent cervical expansive open-door laminoplasty (CEOL). **Methods:** 256 patients who were administrated in the Orthopedic Department of Peking University International Hospital from January 2016 to June 2020 were reviewed retrospectively. All the patients underwent CEOL and were divided into four groups according to different osteotomy access as followed. Group A, ultrasonic flake cutter with upright access in 64 cases; group B, improved ultrasonic flake cutter with vertical to lamina access in 69 cases; group C, improved ultrasonic hooked cutter with vertical to lamina access in 46 cases; group D, traditional osteotome in 77 cases. Open-door time, intraoperative blood loss, allogeneic blood transfusion, surgical complications related to osteotomy such as spinal cord injury, dura tear, and C5 paralysis. Japanese Orthopedic Association (JOA) scores before and 3 days after surgery, and the rates of improved JOA score were recorded. **Results:** All patients underwent C3-C7 CEOL. The open-door time of group A, B and C were significantly lower than that of group D ($10.3\pm 2.7\text{min}$, $10.9\pm 2.8\text{min}$, $10.1\pm 2.7\text{min}$ vs $13.3\pm 2.8\text{min}$) ($P<0.05$). Intraoperative blood loss in group B and C was significantly lower than that in group D ($205.9\pm 127.1\text{ml}$, $226.5\pm 104.9\text{ml}$ vs $273.5\pm 164.3\text{ml}$) ($P<0.05$), and there was no significant difference between group A and the other three groups ($P>0.05$). The rate of allogeneic blood transfusion in group A was significantly higher than that in group B, C

基金项目:首都卫生发展科研专项项目(编号:首发 2020-1-4092)

第一作者简介:男(1986-),医学博士,研究方向:脊柱外科

电话:(010)69006283 E-mail:hshliuxin123@163.com

通讯作者:温冰涛 E-mail:wenbingtao@pkuh.edu.cn

and D(12.5% vs 2.9%, 2.2%, 2.6%)($P<0.05$). The incidence of C5 paralysis in group A was significantly higher than that in group B, C and D ($P<0.05$), while there was no significant difference between the other 3 groups($P>0.05$). The postoperative JOA score of all groups improved compared with preoperative JOA score($P<0.05$), and there was no significant difference of the rates of improved JOA score, as well as of JOA score between preoperative and 3 days after surgery ($P>0.05$). **Conclusions:** The use of ultrasonic bone cutter in CEOL can significantly reduce the open-door time and intraoperative blood loss, and significantly improve the postoperative nerve function. Upright access at the traditional bone cutting point on the open side can increase the rate of allogeneic blood transfusion. Vertical to lamina access at the bone cutting point moved inwards by 1–2mm can reduce the rate of allogeneic blood transfusion, so can the hooked cutter.

[Key words] Ultrasonic bone cutter; Laminoplasty; Osteotomy method

[Author's address] Department of Orthopedics, Peking University International Hospital, 102206, Beijing, China

颈椎后路单开门椎管扩大成形术(cervical expansive open-door laminoplasty, CEOL) 最早由 Hirabayashi 在 1983 年提出^[1],是目前公认的治疗多节段脊髓型颈椎病的常有效术式之一,临床应用广泛且疗效确切^[2,3]。传统方法开门侧切骨是应用咬骨钳或高速磨钻进行,劳动强度较大,对术者技术要求较高,存在损伤神经等风险。超声骨刀作为新型截骨工具,其切割精度高、对软组织干扰小,近年来广泛应用于脊柱外科手术中。多篇文献报道在 CEOL 中应用超声骨刀安全有效^[4-6],但目前尚无报道研究根据超声骨刀的截骨特点选择不同的截骨角度及刀头对手术围手术期参数的影响。本研究的目的是研究不同超声骨刀切骨方式在颈椎后路单开门椎管扩大成形术中的应用。

1 资料和方法

1.1 一般资料

选取自 2016 年 1 月~2020 年 6 月在北京大学国际医院骨科行 CEOL 的病例共 256 例。根据术中开门侧的切骨方式将所有患者分为 4 组。其中超声骨刀 3 组分别为片状刀头竖直切骨组(A 组)64 例,片状刀头垂直椎板切骨组(B 组)69 例,钩状刀头垂直椎板切骨组(C 组)46 例,传统工具组(D 组)77 例患者。收集所有患者一般资料包括:年龄、性别、手术节段等。

1.2 纳入及排除标准

纳入组标准:(1)诊断为脊髓型颈椎病;(2)合并发育性椎管狭窄或 3~4 节段颈脊髓受压;(3)同一组术者行术前评估,需行 C3~C7 节段 CEOL;(4)患者同意手术且无手术禁忌证。排除标准:(1)颈椎外伤;(2)颈椎手术史;(3)联合颈椎前路固定

融合术;(4)合并胸椎管狭窄症。

1.3 手术步骤

患者于全麻后取俯卧位,Mayfield 头架固定头部,颈部略屈曲。采用颈后正中切口,逐层显露出减压节段双侧椎板及侧块关节。使用尖嘴咬骨钳于门轴侧侧块关节内缘与椎板外缘交界处咬除皮质骨及部分松质骨制作骨槽,根据开门侧切骨方式不同分为以下四组,超声骨刀仅使用水木天蓬牌 XD860A 型:

A 组开门侧于以侧块关节内缘与椎板外缘交界处为入点使用片状刀头竖直方向竖直全层切透椎板(图 1a)。

B 组开门侧于侧块关节内缘与椎板外缘交界处内移 1~2mm 处使用片状刀头垂直于椎板方向倾斜将全层椎板切透(图 1b)。

C 组开门侧将钩状刀头钩端置于椎板的尾端,在侧块关节内缘与椎板外缘交界处内移 1~2mm 处自尾端向头端将减压节段椎板逐个切断(图 1c)。

D 组开门侧于侧块关节内缘与椎板外缘交界处使用尖嘴咬骨钳咬断椎板。

四组完成开门后将椎板以门轴侧作为铰链掀开,均以双弯迷你钛板固定侧块关节及椎板断端,完成椎管扩大成形。术区放置引流管 1 根。术后拔除引流管标准为 24h 内引流量小于 50ml。

1.4 观察及疗效评价指标

记录所有患者的手术中开门操作时间(自截骨操作开始至所有节段均完成开门);术中出血量;术中异体输血;开门侧截骨相关并发症;神经功能受损包括脊髓或神经根损伤、硬膜撕裂、C5 神经根麻痹等。拔除引流管后完善颈椎 CT 检查

确认减压效果及开门侧截骨情况(图 2)。在术前及术后第 3 天采用日本骨科协会(Japanese Orthopedic Association, JOA)脊髓功能评分系统(17 分)对患者神经功能情况进行评估,并计算 JOA 改善率,JOA 改善率=[(术后 JOA 评分-术前 JOA 评分)/(17-术前 JOA 评分)×100%]。

1.5 统计学方法

应用 SPSS 17.0 统计软件对数据进行分析。符合正态分布的计量资料采用均值±标准差表示,不符合正态分布的计量资料采用中位数(25%位数,75%位数)表示,计数资料采用例数(百分比)表示。正态分布的计量资料组间比较采用独立样本 *t* 检验,非正态分布的计量资料组间比较采用 Mann-Whitney U 检验,计数资料组间比较采用卡方检验、连续校正卡方检验及 Fisher 精确检验。所有检验以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般情况

本研究所有患者均行 C3~C7 节段 CEOL,一般资料见表 1,四组患者的年龄与性别组成无显著差异($P>0.05$)

2.2 手术资料

四组患者的开门操作时间;术中出血量;术中异体输血;开门侧截骨相关并发症如表 2 所示。其中 A、B、C 三组开门时间均显著少于 D 组 ($P<0.05$)。术中出血量 B、C 两组显著少于 D 组 ($P<0.05$),A 组与其余三组均无显著差异 ($P>0.05$)。四组患者异体输血率分别为 12.5%、2.9%、2.2%及 2.6%,A 组异体输血率显著高于 B、C、D 三组 ($P<$

0.05),其余组间无显著差异($P>0.05$)。截骨相关并发症:C5 神经麻痹在四组发生分别为 10.9%、1.4%、0%及 2.6%,A 组显著高于 B、C、D 组 ($P<0.05$),其余组间无显著差异($P>0.05$)。四组患者均未发生神经功能受损及硬膜撕裂。

2.3 术后颈椎 CT 评价

如图 2 所示,所有患者术后颈椎 CT 检查均显示减压效果充分。

2.4 神经功能改善

四组患者术后均无症状加重者,术后 JOA 评分均显著优于术前($P<0.05$);四组患者组间比较术前 JOA 评分、术后 JOA 评分及 JOA 改善率,均无显著统计学差异($P>0.05$,表 3)。

3 讨论

3.1 超声骨刀在 CEOL 中的应用

超声骨刀作为一种新型切骨工具,其原理是利用超声高频振动实现高效切骨。同时其组织选择性使其对软组织没有切割、卷刮的作用^[9]。对组织深方的脊髓、神经根干扰小。

表 1 四组患者一般资料

Table 1 General data of four groups

	患者数(例) Number(cases)	年龄(岁) Age(years)	性别(男:女) Sex(male:female)
A组 Group A	64	58.0±11.1	34:30
B组 Group B	69	57.6±11.5	36:33
C组 Group C	46	57.0±9.2	24:22
D组 Group D	77	57.2±11.9	36:31

表 2 四组患者手术情况对比

Table 2 Comparison of surgical data between four groups

	A组 Group A	B组 Group B	C组 Group C	D组 Group D
开门时间(min) Open-door time	10.3±2.7	10.9±2.8	10.1±2.7	13.3±2.8
出血量(ml) Blood loss	248.6±179.5	205.9±127.1	226.5±104.9	273.5±164.3
异体输血(例) Allogenic blood transfusion(cases)	8(12.5%)	2(2.9%)	1(2.2%)	2(2.6%)
并发症(例) Complication(cases)				
神经功能受损 Neurological deficit	0(0%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)
硬膜撕裂 Dural tear	0(0%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)
C5 神经根麻痹 C5 paralysis	7(10.9%)	1(1.4%)	0(0%)	2(2.6%)

相比传统咬骨钳与高速磨钻, 超声骨刀的切骨精度更高。超声骨刀的振幅一般在 0.05~0.36mm 范围内, 以本研究为例为 0.12mm, 有文献报道, 传统工具的切骨宽度为 3~5mm, 超声骨刀

的切骨宽度可精确到 0.5~0.7mm^[10]。因此在开门侧切骨入点选择的细小偏差可能给手术效果带来影响。颈椎解剖形态上与胸腰椎存在差异, 颈椎椎板与椎管冠状面的夹角更大, 在 CEOL 术开门侧切

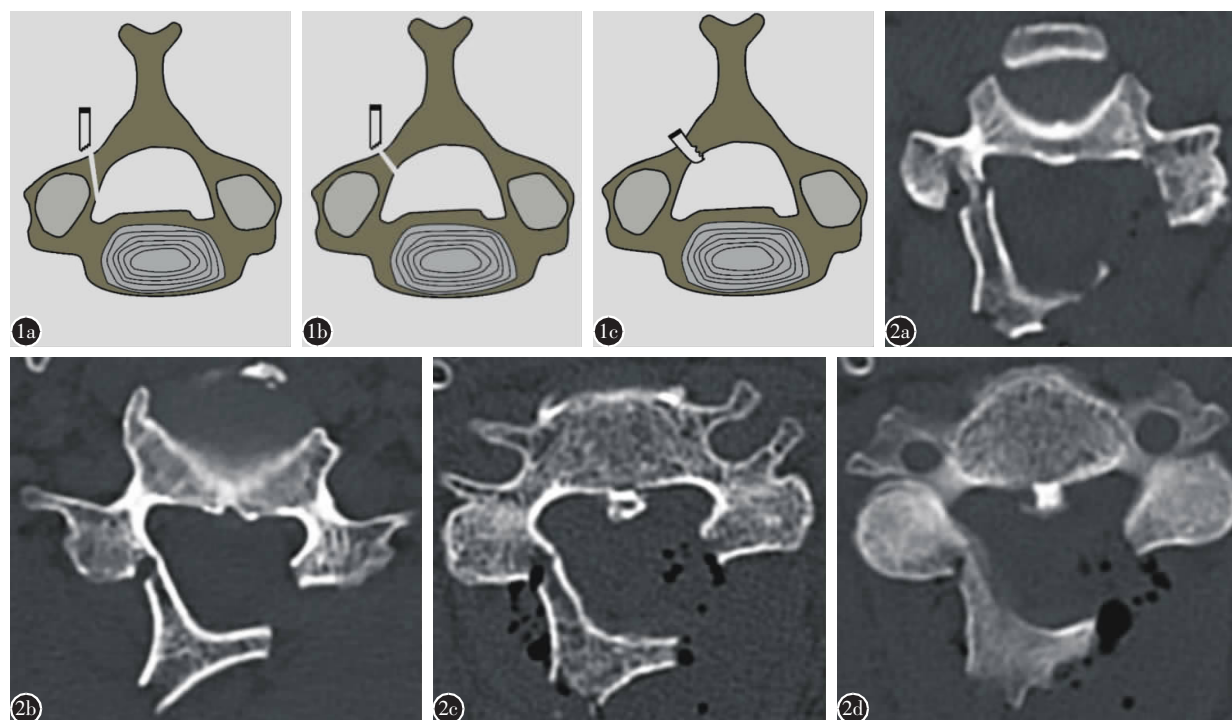


图 1 超声骨刀截骨示意图 **a** 片状刀头沿竖直方向切骨 **b** 片状刀头入垂直于椎板切骨 **c** 钩状刀头垂直椎板切骨
图 2 术后颈椎 CT 横断面 (选取四个组的 4 例患者) 均显示减压效果充分 **a** A 组超声骨刀切骨断端靠近椎弓根及椎间孔 **b** B 组切骨断端相对远离椎弓根及椎间孔 **c** C 组切骨断端相对远离椎弓根及椎间孔 **d** D 组咬骨钳切骨断端相对远离椎弓根及椎间孔

Figure 1 Schematic diagram of ultrasonic osteotomy **a** Upright osteotomy with flake cutter **b** Vertical lamina osteotomy with flake cutter **c** Vertical lamina osteotomy with hooked cutter **Figure 2** Postoperative axial CT scan—from 4 patients selected from each group—showed sufficient decompression **a** In group A, the cutting edge using ultrasonic bone cutter was close to the vertebral pedicle and intervertebral foramen **b** The cutting edge of group B was relatively far away from the vertebral pedicle and intervertebral foramen **c** The cutting edge of group C was relatively far away from the vertebral pedicle and intervertebral foramen **d** The cutting edge using rongeur of group D was relatively far away from the vertebral pedicle and intervertebral foramen

表 3 四组患者术前—术后 JOA 评分及 JOA 评分改善率对比

Table 3 Comparison of pre-and postoperative JOA scores & JOA scoring improvement rate between four groups

	A组 Group A	B组 Group B	C组 Group C	D组 Group D
JOA评分 JOA score				
术前 Pre-operation	7.3±1.2	7.0(6.0, 8.0)	6.75(6.0, 8.0)	7.0(6.0, 8.0)
术后 3d 3 days after surgery	11.2±1.5 ^①	11.0(10.0, 12.0) ^①	11.0(10.5, 12.0) ^①	11.0(10.0, 12.0) ^①
JOA评分改善率(%) JOA scoring improvement rate	40.0±12.8%	40.9(33.3, 45.8)	41.9(35.2, 50.0)	43.0(37.2, 50.0)

注: ①与同组术前比较 $P<0.05$ 。计量资料采用中位数(25%位数, 75%位数)表示

Note: ①Compared with the same group preoperative, $P<0.05$. ALL items are described as medium (25 percentage, 75 percentage)

骨角度的不同也可能影响手术效果。目前国内外尚无对 CEOL 中使用超声骨刀的细节的研究。本研究旨在比较超声骨刀不同切骨角度、不同的刀头选择的效果差异,以期改良超声骨刀在 CEOL 中的应用。

3.2 超声骨刀在 CEOL 中不同切骨方式的安全性评价

超声骨刀作用于骨组织时高频振动实现骨切割,而作用于软组织时可避免损伤^[9,11]。在保护模式下,刀头碰触到软组织即会停止工作,降低了损伤神经的风险^[7]。多篇文献^[4-8]证实了超声骨刀在脊柱外科手术特别是颈后路手术中应用的安全性。在本研究中,三个超声骨刀组 and 传统组患者均未出现脊髓或硬膜损伤,术后均未出现严重神经功能损伤,证实了 CEOL 术中应用超声骨刀具有良好安全性,同时开门侧切骨入点的内移及垂直椎板切骨不会增加脊髓或硬膜损伤事件发生。

应用超声骨刀并非绝对安全,超声骨刀会在切骨表面形成 70℃ 以上的高温^[12,13]。有文献报道了因超声刀头在同一部位停留时间过长,局部组织过热,进而引起硬膜损伤^[14]。我们在实际使用中发现,部分经过超声骨刀切割的骨组织界面呈现一种高温灼伤后的焦黄色,这是由于超声骨刀产生空化效应,使骨组织内液体的微小气泡产生局部高温所致^[9]。因此应用超声骨刀不宜在同一部位停留时间过长,避免硬膜或脊髓损伤。

超声骨刀可有效减少术中出血,已有多篇文献报道在 CEOL 手术中应用超声骨刀可减少手术出血^[4,6,14,15],动物实验^[16]显示全椎板切除手术过程中,超声骨刀截骨过程中骨质出血量较传统切骨器械明显减少,并认为这种优势可能归因于超声骨刀的热效应及空化效应所产生的局部止血作用。本研究显示超声骨刀可以显著降低术中出血。传统切骨工具的切骨面粗糙,松质骨外露渗血是手术出血的主要来源。超声骨刀在切骨时产生的局部高温可促进局部止血,同时超声骨刀的空化效应可使骨组织的蛋白质氢键断裂、变性,细胞崩解,血红蛋白凝固变性,达到止血效果^[9]。此外,超声骨刀自带的喷灌系统也可减少出血。我们在实际操作中观察到超声骨刀的切骨面松质骨渗血明显减少,极少需要骨蜡止血。

在本研究中,三个超声骨刀组的术中出血量无显著差异,但竖直切骨组的异体输血率明显高

于其他三组。在实际操作中的观察到竖直切骨组在开门过程中更易发生硬膜外静脉丛损伤、短时间大量出血。周兴华等^[17]在研究中也报道了 CEOL 中应用超声骨刀会发生短时间大量出血。作者认为由于超声骨刀切骨精度高,选择侧块关节内缘与椎板外缘交界处为入点且沿竖直方向切骨时,切透椎板时刀头距离静脉丛较近,易造成静脉丛损伤。将切骨入点内移以及切骨时保持垂直于椎板,可以使刀头在切透椎板时相对远离了静脉丛,从而降低了短时大量出血的发生,减少了异体输血。但内移的距离应恰当不宜过大,否则增加硬膜损伤及脊髓损伤的风险。在本研究中,咬骨钳组应用咬骨钳尖端的厚度为 3~4mm,与文献报道的传统工具切骨精度相当^[10],因此我们选择咬骨钳厚度的 1/2 作为内移距离。

在刀头选择上,多数脊柱外科医生选择在开门侧使用片状刀头,横行切割的同时施加向下的力,因此在切透椎板时需避免向下压力过大损伤脊髓或神经,存在风险且技术要求高。使用钩状刀头在抵住椎板尾端边缘后仅需使用横向切割力,减少了切透椎板的落空感,理论上可以降低神经损伤风险。在本研究中,钩状刀头组未发生脊髓或硬膜损伤,术后未发生 C5 神经根麻痹,是一种安全的切骨方法。

3.3 超声骨刀不同切骨方式的有效性评价

在本研究中,在术后神经功能改善方面超声骨刀组与传统工具组均实现神经功能显著改善,且组间比较无差异。证实 CEOL 中应用超声骨刀术后神经功能改善疗效满意,与文献报道相符^[14-6]。

超声骨刀是一种高效的切骨工具。相比传统工具可显著缩短手术时间^[14,18-20]。在本研究中,三个超声骨刀组的开门时间均显著少于传统工具组。同时,三个超声骨刀组互相间没有差异,因此改变切骨角度及使用不同的刀头不会降低切骨效率。

C5 神经根麻痹是 CEOL 术后常见并发症,发生机制包括术中对神经根的直接损伤、神经根缺血、手术导致脊髓旋转以及脊髓后移对 C5 神经根的牵拉等^[21],其危险因素众多包括了椎间孔狭窄,合并 OPLL 等^[22]。有文献^[23,24]报道了在 CEOL 中使用超声骨刀切透椎板时不会损伤下方神经根。有研究^[4]显示应用超声骨刀术后 C5 神经根麻痹发生率与传统工具无显著差异,而在本研究中

传统入点竖直切骨组 C5 神经根麻痹发生率明显升高。本研究无法剔除其他危险因素影响,因此无法得出不同切骨方式会增加 C5 神经根麻痹的结论,这是本研究的局限性。关于超声骨刀是否会增加 C5 麻痹,需大样本量的前瞻性研究证实,这也是我们下一步研究的重点。

综上所述,在 CEOL 中应用超声骨刀可有效减少开门时间及术中出血,术后神经功能改善显著。在开门侧传统切骨入点竖直切骨会增加异体输血率,切骨入点内移 1~2mm 后垂直椎板切骨或选择钩状刀头可减少异体输血率。

4 参考文献

- Hirabayashi K, Watanabe K, Wakano K, et al. Expansive open-door laminoplasty for cervical spinal stenotic myelopathy [J]. Spine(Phila Pa 1976), 1983, 8(7): 693-699.
- Bhatia NN, Lopez G, Geck M, et al. Posterior cervical laminoplasty in the North American Population: a minimum of two year follow-up[J]. Clin Neurol Neurosurg, 2015, 138(11): 165-168.
- Hardman J, Graf O, Kouloumberis PE, et al. Clinical and functional outcomes of laminoplasty and laminectomy[J]. Neurol Res, 2010, 32(4): 416-420.
- Li K, Zhang W, Li B, et al. Safety and efficacy of cervical laminoplasty using a piezosurgery device compared with a high-speed drill[J]. Medicine, 2016, 95(37): e4913.
- Ito K, Ishizaka S, Sasaki T, et al. Safe and minimally invasive laminoplastic laminotomy using an ultrasonic bone curette for spinal surgery: technical note[J]. Surg Neurol, 2009, 72(5): 470-475.
- 李彦, 姜亮, 刘忠军, 等. 超声骨刀在颈椎后路单开门椎管扩大成形术中的应用的安全性和有效性 [J]. 北京大学学报·医学版, 2018, 50(6): 150-155.
- 孙宇, 陈欣, 史文勇, 等. 应用超声手术刀行颈椎双开门手术的安全性及可靠性[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2007, 17(6): 458-461.
- Nakagawa H, Kim SD, Mizuno J, et al. Technical advantages of an ultrasonic bone curette in spinal surgery[J]. J Neurosurg Spine, 2005, 2(4): 431-435.
- 陈颖, 罗晓宁, 史文勇, 等. 超声手术刀的研制现状与应用[J]. 生物医学工程学杂志, 2005, 22(2): 377-380.
- Matsuoka H, Numazawa S, Watanabe K, et al. Recapping hemilaminoplasty for spinal surgical disorders using ultrasonic bone curette[J]. Surgical Neurology International, 2012, 3(1): 70.
- Nickele C, Hanna A, Baskaya M. Osteotomy for laminoplasty without soft tissue penetration, performed using a harmonic bone scalpel: instrumentation and technique[J]. J Neurol Surg A Cent Eur Neurosurg, 2013, 74(3): 183-186.
- Suzuki K, Wanibuchi M, Minamida Y, et al. Heat generation by ultrasonic bone curette comparing with high-speed drill [J]. Acta Neurochir(Wien), 2018, 160(4): 721-725.
- Matthes M, Pillich DT, El Refaee E, et al. Heat generation during bony decompression of lumbar spinal stenosis using a high-speed diamond drill with or without automated irrigation and an ultrasonic bone-cutting knife: a single-blinded prospective randomized controlled study [J]. World Neurosurgery, 2018, 111: 72-81.
- 张吉涛, 陈佳, 李政, 等. 超声骨刀在脊髓型颈椎病全椎板切除手术中的应用[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2018, 28(3): 234-238.
- Almahfoudh R, Qattan E, Ellenbogen JR, et al. Applications of the ultrasonic bone cutter in spinal surgery: our preliminary experience[J]. Br J Neurosurg, 2014, 28(1): 56-60.
- Sanborn MR, Balzer J, Gerszten PC, et al. Safety and efficacy of a novel ultrasonic osteotome device in an ovine model [J]. J Clin Neurosci, 2011, 18(11): 1528-1533.
- 周兴华, 杨敏, 李涛, 等. 超声骨刀与咬骨钳在颈椎后路单开门术中应用效果比较[J]. 临床骨科杂志, 2018, 21(1): 11-13, 16.
- Onen MR, Yuvruk E, Akay S, et al. The reliability of the ultrasonic bone scalpel in cervical spondylotic myelopathy: a comparative study of 46 patients [J]. World Neurosurgery, 2015, 84(6): 1962-1967.
- Parker SL, Kretzer RM, Recinos PF, et al. Ultrasonic BoneScalpel for osteoplastic laminoplasty in the resection of intradural spinal pathology: case series and technical note[J]. Neurosurgery, 2013, 73(1 Suppl Operative): ons61-66.
- Hu X, Ohnmeiss DD, Lieberman IH. Use of an ultrasonic osteotome device in spine surgery: experience from the first 128 patients[J]. Eur spine J, 2013, 22(12): 2845-2849.
- Wang T, Wang H, Liu S, et al. Incidence of C5 nerve root palsy after cervical surgery [J]. Medicine, 2017, 96(45): e8560.
- Wu FL, Sun Y, Pan SF, et al. Risk factors associated with upper extremity palsy after expansive open-door laminoplasty for cervical myelopathy[J]. Spine J, 2014, 14(6): 909-915.
- Nakagawa H, Kim SD, Mizuno J, et al. Technical advantages of an ultrasonic bone curette in spinal surgery[J]. J Neurosurg Spine, 2005, 2(4): 431-435.
- Hazer DB, Yasar B, Rosberg HE, et al. Technical aspects on the use of ultrasonic bone shaver in spine surgery: experience in 307 patients[J]. Biomed Res Int, 2016, 2016: 8428530.

(收稿日期:2020-09-07 修回日期:2020-11-13)

(英文编审 谭 啸)

(本文编辑 彭向峰)