

超声骨刀在退变性脊柱后凸截骨中的应用

楼宇梁, 全仁夫, 李伟, 韩雷

(浙江中医药大学附属江南医院, 萧山区中医院骨科, 浙江 杭州 311201)

【摘要】 目的: 探讨超声骨刀在退变性脊柱后凸截骨术中的有效性和安全性。方法: 回顾性分析 2014 年 2 月至 2016 年 5 月收治的 32 例退变性脊柱后凸患者临床资料, 其中男 12 例, 女 20 例; 年龄 50~71 (62.1±12.3) 岁; 术前 Cobb 角 25.3°~36.7°, 平均 (28.6±10.2)°。32 例患者均使用多节段 Ponte 截骨联合后路长节段内固定术, 根据术中截骨工具不同分为传统工具组 (A 组, 18 例) 和超声骨刀组 (B 组, 14 例)。记录手术时间、术中平均椎板切除时间、截骨节段数、术中出血量、术后引流量、住院时间及并发症情况。术前及术后 1 个月采用视觉模拟评分 (VAS) 和 Oswestry 功能障碍指数 (ODI) 评价临床疗效。结果: 32 例患者均获随访, 时间 8~24 个月, 平均 16.4 个月。两组患者手术时间、住院时间比较差异无统计学意义 ($P>0.05$)。术中平均单椎板切除时间 A 组多于 B 组 ($P<0.05$); 截骨节段数 A 组少于 B 组 ($P<0.05$); 术中出血量及术后引流量 A 组均多于 B 组 ($P<0.05$)。两组术后 VAS 和 ODI 比较差异无统计学意义 ($P>0.05$)。两组患者均无硬脊膜、神经及脊髓损伤, 无器械操作不当及截骨不愈合等并发症。结论: 应用超声骨刀进行 Ponte 截骨安全有效, 在减少术中出血量及术后引流量的同时, 能有效节省单椎板切除时间, 且安全性、临床疗效不亚于传统工具。

【关键词】 退变性脊柱后凸; 超声骨刀; 截骨术

中图分类号: R687

DOI: 10.12200/j.issn.1003-0034.2020.02.011

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



Application of ultrasonic bone knife in osteotomy of degenerative kyphosis LOU YU-liang, QUAN Ren-fu, LI Wei, and HAN Lei. Department of Orthopaedics, Traditional Chinese Medical Hospital of Xiaoshan, Jiangnan Hospital, Zhejiang University of Traditional Chinese Medicine, Hangzhou 311201, Zhejiang, Chinese

ABSTRACT **Objective:** To explore the safety and effectivity of ultrasonic bone knife in osteotomy of degenerative kyphosis. **Methods:** The clinical data of 32 patients with degenerative kyphosis treated from February 2014 to May 2016 were retrospectively analyzed. There were 12 males and 20 females, aged 50 to 71 years with an average of (62.1±12.3) years. Preoperative Cobb angle was 25.3° to 36.7° with an average of (28.6±10.2)°. All patients underwent multi-segment Ponte osteotomy combined with posterior long segmental internal fixation. According to different osteotomy tools, the patients were divided into traditional tool group (group A, 18 cases) and ultrasonic bone knife group (group B, 14 cases). The operation time, laminectomy time, number of osteotomy segments, intraoperative blood loss, postoperative drainage, hospitalization time and postoperative complications were recorded. Visual analogue scale (VAS) and Oswestry Disability Index (ODI) were used to evaluate clinical outcomes before and 1 month after surgery. **Results:** All the patients were followed up from 8 to 24 months with an average of 16.4 months. There were no significant differences in operative time and hospitalization time between two groups ($P>0.05$). Intraoperative single laminectomy time of group A was more than that of group B ($P<0.05$). The number of osteotomy segments in group A was less than that in group B ($P<0.05$). Intraoperative blood loss and postoperative drainage in group A were more than that in group B ($P<0.05$). There were no significant differences in VAS and ODI between two groups ($P>0.05$). There were no dural, nerve and spinal cord injuries in both groups, and there were no complications such as improper operation of the instrument and nonunion of the osteotomy. **Conclusion:** The use of ultrasonic bone knife for Ponte osteotomy is safe and effective. It can effectively save the time of single laminectomy while reducing the amount of intraoperative blood loss and postoperative drainage. The safety and clinical efficacy of ultrasonic bone knife are no less than traditional tools.

KEYWORDS Degenerative kyphosis; Ultrasonic bone knife; Osteotomy

基金项目: 杭州市卫生科技计划 (编号: 2014B25); 萧山重大科技攻关项目 (编号: 2014208)

Fund program: Plan of Hangzhou Health Science and Technology (No. 2014B25)

通讯作者: 全仁夫 E-mail: quanrenf@163.com

Corresponding author: QUAN Ren-fu E-mail: quanrenf@163.com

随着我国逐渐进入人口老龄化社会, 退变性脊柱后凸发病率随之升高, 国内外研究报道, 退变性脊柱后凸发生率在 1.4%~32%^[1]。手术矫形是治疗退变性脊柱后凸的最终手段, 其目的是解除疼痛、防止后凸进展、重建脊柱平衡、恢复正常功能^[2]。Ponte 截骨是治疗退变性脊柱后凸的常用术式, 单节段 Ponte

截骨可矫正 5°~10°的后凸畸形,为取得满意矫形角度、避免硬脊膜褶皱和防止螺钉松动,常需要多节段 Ponte 截骨^[3]。以往术中截骨时使用的传统工具如骨刀、咬骨钳存在手术时间长、术中出血多等问题,而退变性脊柱后凸多为老年患者,手术时间长、术中出血多易增加手术并发症^[4]。因此缩短手术时间、减少术中出血量和术中神经损伤风险是亟需解决的问题。超声骨刀作为一种新型截骨工具应用于临床,目前有临床研究报道超声骨刀在颈椎后路全椎板切除减压、胸椎管狭窄、腰椎椎间孔减压手术中可以提高手术效率、缩短手术时间,减少术中出血和降低神经并发症^[5-6]。本研究回顾性分析 2014 年 2 月至 2016 年 5 月收治的 32 例行多节段 Ponte 截骨联合后路长节段内固定术患者的临床资料,探讨超声骨刀在退变性脊柱后凸截骨术中的有效性和安全性。

1 资料与方法

1.1 病例选择

纳入标准:(1)年龄>50岁,Cobb角>25°。(2)行多节段 Ponte 截骨术(≥2个节段)。(3)长节段椎体固定融合(≥5个节段)。(4)病例及随访资料完整。排除标准:(1)不符合上述纳入标准。(2)既往脊柱手术史。(3)强直性脊柱炎、脊柱肿瘤及感染。(4)行 PSO 或者 VCR 截骨术。

1.2 一般资料

本组 32 例,男 12 例,女 20 例;年龄 50~71(62.1±12.3)岁,术前 Cobb 角 25.3°~36.7°(28.6±10.2)°。根据术中截骨工具不同分为传统工具组(A组,18例)和超声骨刀组(B组,14例)。两组患者一般资料比较差异无统计学意义(P>0.05)。见表 1。

1.3 治疗方法

(1)患者全身麻醉后取俯卧位,常规消毒、铺巾,C形臂 X 线机定位融合节段。(2)根据术前设计切开皮肤,分离椎旁肌,暴露所需椎体节段及上下关节突,非截骨椎体双侧置入椎弓根螺钉。(3)A 组截骨:咬骨钳咬除截骨椎体棘突、棘上、棘间韧带,并咬除双侧小关节下关节突,椎板咬骨钳缓慢去除黄韧带至上关节突两侧,咬除双侧小关节上关节突,同时

“V”形咬除椎板,保留椎弓根完整。B 组截骨:超声骨刀刀头沿双侧纵向切割,穿透全层椎板后再横向切割头尾端椎板,咬骨钳把持椎板逐渐提拉,神经剥离分离硬脊膜,完整取下椎板。(4)放置塑形后连接棒,加压闭合截骨面,锁紧连接棒。椎板后方植骨。冲洗创面,放置引流管,逐层缝合切口。

1.4 观察项目与方法

1.4.1 一般情况 (1)手术时间:从手术医师切开皮肤至切口缝合完毕。(2)术中平均椎板切除时间:总截骨时间/截骨节段数。(3)截骨节段数:术中使用 Ponte 截骨的椎体节段数目。(4)术中出血量:术中显性出血+隐性出血失血量,其中隐性失血量采用 Gross^[7]方程,根据身高、体重和手术前后红细胞压积(Hct)变化计算。(5)术后引流量:术后至引流管拔除期间总引流量。(6)住院时间:从患者入院第 1 天至出院为止。

1.4.2 临床疗效 采用视觉模拟评分(VAS)^[8]和 Oswestry 功能障碍指数(ODI)^[9]评价症状缓解情况。

1.5 统计学处理

应用 SPSS 19.0 统计软件,手术时间、平均椎板切除时间、截骨节段数、术中出血量、术后引流量、住院时间、VAS、ODI 等定量资料组间比较采用独立样本 t 检验。以 P<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

32 例患者均获随访,时间 8~24 个月,平均 16.4 个月。两组手术时间、住院时间比较差异无统计学意义(P>0.05)。术中单椎板切除时间 A 组多于 B 组(P<0.05);截骨节段数 A 组少于 B 组(P<0.05);术中出血量、术后引流量 A 组多于 B 组(P<0.05)。见表 2。两组患者 VAS 评分术后均明显改善(P<0.05),组间比较差异无统计学意义(P>0.05)。见表 3。两组患者术后 ODI 均明显改善(P<0.05),组间比较差异无统计学意义(P>0.05)。见表 4。两组患者均无硬脊膜、神经及脊髓损伤,无器械操作不当及截骨不愈合等并发症。典型病例见图 1。

3 讨论

目前手术治疗该病常用后路截骨矫形、长节段

表 1 两组退变性脊柱后凸患者术前一般资料比较

Tab.1 Comparison of preoperative general data between two groups with degenerative kyphosis

组别	例数	性别(例)		年龄 ($\bar{x}\pm s$,岁)	后凸 Cobb 角 ($\bar{x}\pm s$,°)	矢状面平衡 ($\bar{x}\pm s$,mm)	冠状面平衡 ($\bar{x}\pm s$,mm)	VAS ($\bar{x}\pm s$,分)	ODI ($\bar{x}\pm s$,%)
		男	女						
A 组	18	5	13	60.1±11.2	27.5±9.5	58.2±29.1	1.30±19.3	6.7±1.5	62.5±9.6
B 组	14	7	7	63.7±13.4	29.7±10.9	57.4±30.2	-0.28±17.6	6.9±1.7	64.1±10.3
检验值		$\chi^2=0.387$		$t=1.320$	$t=1.243$	$t=2.214$	$t=0.997$	$t=1.132$	$t=11.841$
P 值		0.526		0.246	0.636	0.211	0.250	0.819	0.921

表 2 两组退变性脊柱后凸患者围术期情况比较 ($\bar{x}\pm s$)

Tab.2 Comparison of information of perioperative period between two groups with degenerative kyphosis ($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	手术时长 (min)	平均椎板切除时间 (min)	截骨节段数 (个)	术中出血量 (ml)	术后引流量 (ml)	住院时间 (d)
A 组	18	237.6±37.4	6.8±3.1	2.1±1.1	1225.3±557.3	103.1±51.2	16.8±4.3
B 组	14	246.2±56.1	3.6±1.3	3.5±1.7	821.2±282.6	72.5±41.4	17.1±5.1
t 值		11.420	0.352	1.324	20.275	0.374	1.124
P 值		0.769	0.031	0.022	0.001	0.003	0.231

表 3 两组退变性脊柱后凸患者手术前后 VAS 评分比较 ($\bar{x}\pm s$, 分)

Tab.3 Comparison of preoperative and postoperative VAS between two groups with degenerative kyphosis ($\bar{x}\pm s$, score)

组别	例数	术前	术后 1 个月
A 组	18	6.7±1.5	1.2±0.8*
B 组	14	6.9±1.7	1.5±1.0#
t 值		1.132	0.875
P 值		0.819	0.101

注:与术前比较, * $t=4.370, P=0.001$; # $t=5.154, P=0.001$
 Note: Compared preoperative data, * $t=4.370, P=0.001$; # $t=5.154, P=0.001$

表 4 两组退变性脊柱后凸患者手术前后 ODI 评价结果 ($\bar{x}\pm s$)

Tab.4 Comparison of preoperative and postoperative ODI between the two groups ($\bar{x}\pm s$)

项目	A 组 (n=18)		B 组 (n=14)	
	术前	术后 1 个月	术前	术后 1 个月
疼痛程度 (分)	4.7±0.4	1.2±0.3	4.8±0.5	1.5±0.2
日常升高自理能力 (分)	5.0±0.8	2.2±0.4	4.7±0.2	1.9±0.3
提物 (分)	3.8±0.8	1.6±0.2	3.6±0.3	1.8±0.3
行走 (分)	4.5±0.4	2.3±0.8	4.4±0.3	2.1±0.6
坐 (分)	4.4±0.2	0.9±0.4	4.5±0.4	1.1±0.5
站立 (分)	3.8±0.6	1.4±0.3	3.6±0.3	1.0±0.2
睡眠 (分)	4.9±0.5	0.4±0.1	4.8±0.5	0.5±0.2
社会活动 (分)	5.7±0.3	1.7±0.5	5.6±0.1	1.6±0.4
旅行 (分)	5.9±0.7	1.8±0.6	5.8±0.6	2.1±0.8
总评 (%)	62.5±9.6	26.1±5.2*	64.1±10.3	28.3±6.1▲

注:与术前比较, * $t=19.232, P=0.001$; ▲ $t=22.232, P=0.001$ 。两组总评比较, 术前 $t=11.841, P=0.921$; 术后 $t=8.212, P=0.671$
 Note: Compared with preoperative data, * $t=19.232, P=0.001$; ▲ $t=22.232, P=0.001$. Comparison of the total scores between two groups, preoperative: $t=11.841, P=0.921$; postoperative: $t=8.212, P=0.671$

内固定融合术^[10-11]。本研究采用多节段 Ponte 截骨联合后路长节段内固定术治疗退变性脊柱后凸。Ponte 截骨时常使用的传统工具如咬骨钳、骨刀、高速磨钻等会震动、冲击脊髓, 对脊髓干扰较大容易损伤脊

髓。同时存在操作时间长, 术中出血多, 术者劳动强度大等问题^[12]。超声骨刀是一种新型骨处理工具, 具有提升手术效率、减少手术时间, 降低术中出血量和神经、脊髓并发症少的优点^[5-6, 13]。其切骨原理是将电能转化为机械能, 使刀头高频震荡, 通过空化效应、热效应及机械效应切除骨组织。由于组织弹性及密度的不同, 超声骨刀所产生的能量大部分被骨组织吸收, 而软组织通过弹性振动吸收剩余能量的退让机制可避免损伤。在安全模式下, 超声刀头接触到软组织就会立刻停止工作, 减少了神经、脊髓损伤风险^[13]。本研究发现应用超声骨刀能安全、有效的完成退变性脊柱后凸的截骨操作, 取得了良好的临床效果。

3.1 超声骨刀在退变性脊柱后凸手术中应用的有效性

早期有报道使用超声骨刀增加了手术时间^[14], 但近期文献几乎都认为超声骨刀减少了手术时间^[15-16]。Hu 等^[15]回顾 128 例行超声骨刀截骨患者, 认为相较于传统工具其可以明显缩短手术时间。Parker 等^[16]报道超声骨刀平均切除 1 节椎板需 1~2 min, 3 节椎板 3~6 min; 而传统工具切除 3 节椎板需要 10~15 min。根据笔者经验, 多节段 Ponte 截骨可以取得满意矫形角度, 同时能分散应力集中, 避免截骨角度过大导致硬脊膜褶皱和螺钉松动。本研究使用的超声骨刀, 手柄设计合理, 操作方便, 在行多节段 Ponte 截骨时, 效率高于传统工具, 其截骨节段多于传统组 ($P<0.05$), 平均椎板切除时间低于传统工具组 ($P<0.05$)。然而两组手术时间比较差异无统计学意义 ($P>0.05$), 原因考虑: (1) 超声骨刀组截骨节段多于传统工具组。(2) 早期病例使用超声骨刀存在学习曲线问题。(3) 杨鹏等^[17]研究发现超声骨刀可以显著缩短年轻医生的椎板切除手术时间, 但对于具备丰富临床经验的脊柱外科医生而言, 超声骨刀并没有显示出手术时间上的优势。而本研究手术全部由同一经验丰富的主任医师完成。

传统工具在截骨时截骨面渗血较多, 常需使用双极电凝或骨蜡填封, 但止血效果不佳, 并且增加了手术时间。而使用超声骨刀截骨时, 通过其空化效应及热效应可产生局部止血作用, 截骨面出血量明显

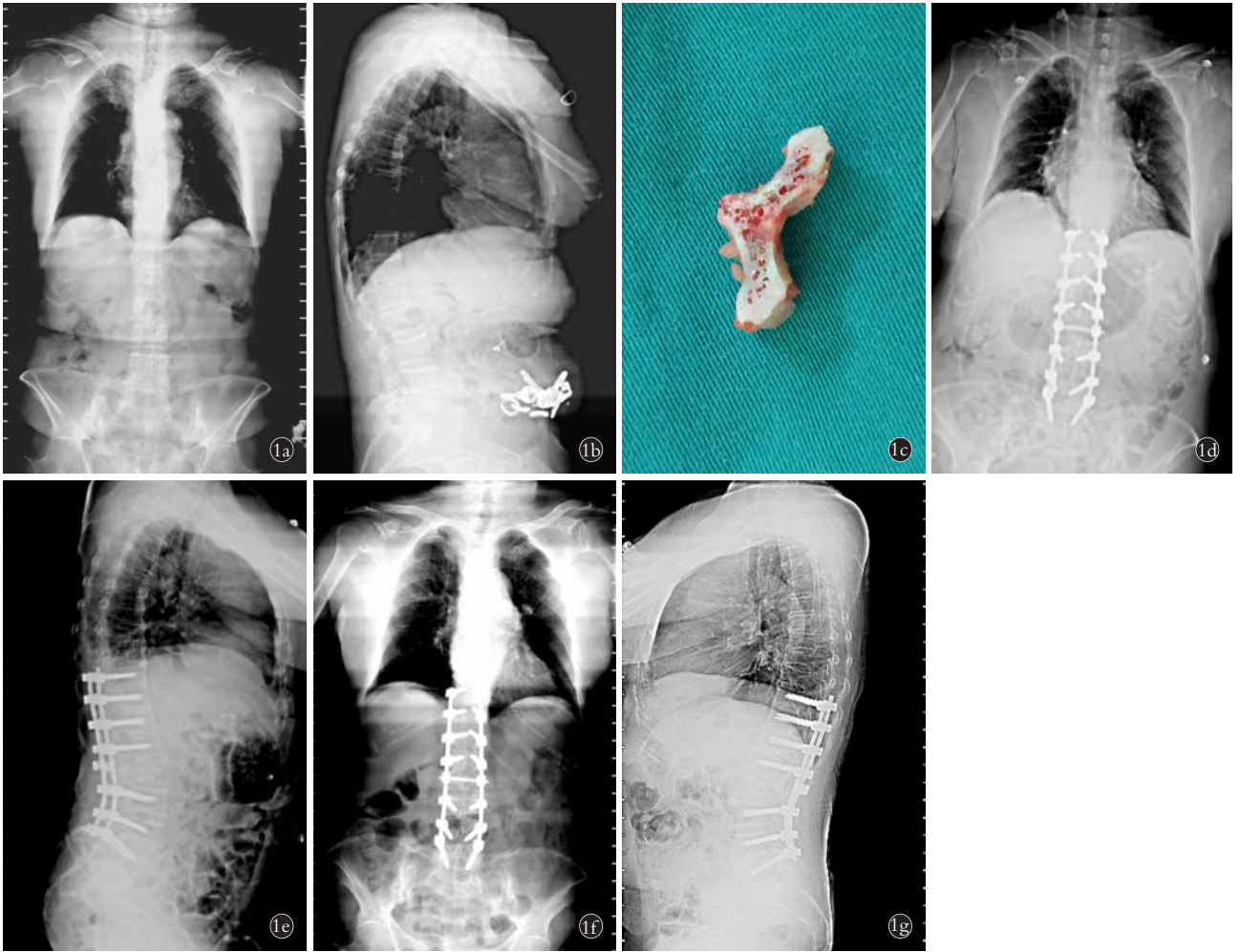


图1 女性患者,71岁,退变性脊柱后凸畸形4年,行 T_{12} 、 L_1 、 L_2 3节段Ponte截骨 1a,1b.术前站立位脊柱全长正侧位X线片示脊柱后凸,Cobb角 29° 1c.术中超声骨刀切下完整椎板 1d,1e.术后20d脊柱全长正侧位X线片示脊柱后凸矫正,Cobb角 8° 1f,1g.术后1年站立位脊柱全长正侧位X线片示矫形无丢失,Cobb角 10°

Fig.1 A 71-year-old female patient with degenerative kyphosis for 4 years underwent Ponte osteotomy with T_{12} 、 L_1 、 L_2 1a,1b. Preoperative standing position of the spinal full length positive and lateral X-ray films showed kyphosis with Cobb angle of 29° 1c. Intraoperative ultrasound bone knife cutting the entire vertebral plate 1d,1e. Postoperative at 20 days, the spinal length positive and lateral X-ray films showed the kyphosis was corrected, and Cobb angle was 8° 1f,1g. One year postoperatively, the full length positive and lateral X-ray films of the standing spine showed no orthopedic loss, and the Cobb angle was 10°

减少^[9]。Sanborn等^[18]报道应用超声骨刀截骨时松质骨出血量较传统工具组明显减少。刘学光等^[6]也得出了相同结论。本研究笔者也观察到超声骨刀截骨面断端整齐、渗血较少,同时,其自喷洒系统可降低切割时温度,维持一个清晰干净的手术视野。

退变性脊柱后凸手术目的是解除疼痛、防止后凸进展、重建脊柱平衡、恢复正常功能。本研究结果显示两组患者术后VAS、ODI较术前显著改善,而两组间的比较差异无统计学意义。这表明超声骨刀与传统工具有相似的临床疗效。

3.2 超声骨刀在退变性脊柱后凸手术中的应用的安全性

Ponte截骨术常见的并发症是硬脊膜破裂。

Matsuoka等^[19]报道传统胸腰椎手术中硬脊膜破裂发生率 $1.6\% \sim 9\%$ 。Duerr等^[20]使用超声骨刀对36只实验动物进行椎板切除,均无硬脊膜损伤,该研究通过动物实验验证了超声骨刀在椎板切除术中的安全性。但动物解剖结构和人体存在较大差异。Hu等^[15]报道应用超声骨刀进行脊柱手术的患者均取得满意临床疗效,没有发生硬脊膜破裂、脊髓及神经损伤并发症。Almahfoudh等^[21]报道超声骨刀硬脊膜破裂发生率低于传统工具组($P < 0.05$)。本研究中,两组患者均无硬脊膜、神经及脊髓损伤,无术后血肿形成及器械操作不当相关并发症。但根据笔者使用体会,超声骨刀可以避免传统工具对脊髓的振动和冲击,同时避免咬骨钳在咬除椎板时的不确定性,提

高了截骨时的操作性及安全性。分析原因考虑是超声骨刀具有以下优点:(1)高组织选择性,对硬脊膜无切割。(2)切骨时刀头高频振动对周围软组织无卷刮。因此,笔者认为超声骨刀在 Ponte 截骨手术中的安全性不亚于传统工具。

3.3 超声骨刀在退变性脊柱后凸手术中应用经验

(1)使用超声骨刀需要双手把持,一手在上“持笔式”握住刀柄往下压,一手托住刀柄适当向上拮抗,控制切割深度,防止用力过大刀头对硬膜、脊髓的直接物理损伤,操作时可在硬脊膜上放置脑棉片,保护硬膜、脊髓。(2)进行 Ponte 截骨时保持刀头持续移动,防止刀头滞留时间过长,局部组织过热产生热损伤。(3)咬骨钳揭开截骨椎板时,需缓慢提拉,必要时神经剥离子分离硬脊膜,防止硬膜与椎板粘连破裂。(4)超声骨刀骨切面整齐,截骨面对合较好,减少了骨不愈合、假关节形成概率。

参考文献

- [1] Hawasli AH, Chang J, Yarbough CK, et al. Interpedicular height as a predictor of radicular pain in adult degenerative scoliosis[J]. *Spine J*, 2016, 16(9): 1070-1078.
- [2] Patel A, Ruparel S, Dusad T, et al. Posterior-approach single-level apical spinal osteotomy in pediatric patients for severe rigid kyphoscoliosis: long-term clinical and radiological outcomes[J]. *J Neurosurg Pediatr*, 2018, 21(6): 606-614.
- [3] 王琨, 杨操, 杨述华, 等. 陈旧性胸腰椎骨折伴后凸畸形的截骨矫形术式选择[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2016, 26(1): 24-29. WANG K, YANG C, YANG SH, et al. Selection of osteotomy in patients with thoracolumbar posttraumatic kyphosis secondary to old fracture[J]. *Zhongguo Ji Zhu Ji Sui Za Zhi*, 2016, 26(1): 24-29. Chinese.
- [4] Street JT, Lenehan BJ, Dipaola CP, et al. Morbidity and mortality of major adult spinal surgery: a prospective cohort analysis of 942 consecutive patients[J]. *Spine J*, 2012, 12(9): 22-34.
- [5] 刘学光, 付强. 超声骨刀与高速磨钻在颈椎后路全椎板切除减压手术应用中的比较研究[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2017, 27(6): 539-544. LIU XG, FU Q. Comparative study of ultrasonic osteotome and high-speed grinding in the treatment of posterior cervical laminectomy and decompression[J]. *Zhongguo Ji Zhu Ji Sui Za Zhi*, 2017, 27(6): 539-544. Chinese.
- [6] Morimoto D, Isu T, Kim K, et al. Microsurgical medial fenestration with an ultrasonic bone curette for lumbar foraminal stenosis[J]. *Nippon Med Sch*, 2012, 79(5): 327-334.
- [7] Gross Jb. Estimating allowable blood loss; corrected for dilution[J]. *Anesthesiology*, 1953, 58(3): 277-280.
- [8] Hornblow AR, Kidson MA. The visual analogue scale for anxiety: a validation study[J]. *Aust N Z J Psychiatry*, 1976, 10(4): 339-341.
- [9] Fairbank JC, Pynsent PB. The Oswestry disability index[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2000, 25(22): 2940-2953.
- [10] 邱勇. 重度脊柱畸形的截骨矫形原则[J]. *中国骨伤*, 2014, 27(5): 355-357. QIU Y. Principle of osteotomy in treating severe kyphoscoliosis[J]. *Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma*, 2014, 27(5): 355-357. Chinese.
- [11] 蒋伟宇, 徐荣明, 马维虎, 等. 后路截骨矫形长节段骨刀治疗老年性胸腰段后凸畸形[J]. *中国骨伤*, 2012, 25(4): 299-302. JIANG WY, XU RM, MA WH, et al. P posterior osteotomy and long-segment internal fixation for the treatment of senile thoracolumbar kyphotic deformity[J]. *Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma*, 2012, 25(4): 299-302. Chinese with abstract in English.
- [12] 田伟, 郎昭. 进一步促进骨磨削技术在脊柱外科的应用[J]. *中华医学杂志*, 2015, 95(13): 961-963. TIAN W, LANG Z. Further promoting the application of bone grinding technology in spinal surgery[J]. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi*, 2015, 95(13): 961-963. Chinese.
- [13] Nickele C, Hanna A, Baskaya M. Osteotomy for Laminoplasty without soft tissue penetration, performed using a harmonic bone scalpel: instrumentation and technique[J]. *J Neuro Surg Part A*, 2013, 74(3): 183-186.
- [14] Nakase H, Matsuda R, Shin Y, et al. The use of ultrasonic bone cutter in spine surgery[J]. *Acta Neurochir*, 2006, 148(2): 207-213.
- [15] Hu X, Ohnmciss 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.
- [16] Parker SL, Kretzer RM, Recinos PF, et al. Ultrasonic BoneScalpel for osteoplastic laminoplasty in the resection of intradural spine pathology: case series and technical note[J]. *Neurosurgery*, 2013, 73(1): 61-66.
- [17] 杨鹏, 温冰涛, 金开基, 等. 应用超声骨刀行腰椎后路椎板切除术与传统手术技术的对比研究[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2017, 27(8): 699-703. YANG P, WEN BT, JIN KJ, et al. Comparative study of lumbar posterior laminectomy with traditional surgical techniques using ultrasonic bone cutter[J]. *Zhongguo Ji Zhu Ji Sui Za Zhi*, 2017, 27(8): 699-703. Chinese.
- [18] 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.
- [19] Matsuoka H, Itoh Y, Numazawa S, et al. Recapping hemilaminoplasty for spine surgical disorders using ultrasonic bone curette[J]. *Surg Neurol Int*, 2012, 3: 70.
- [20] Durre FM, Seim HB, Bascunan AL, et al. Piezoelectric surgery: a novel technique for laminectomy[J]. *J Invest Surg*, 2015, 28(2): 109-108.
- [21] Almahfoudh R, Qattan E, Ellenbogen JR, et al. Applications of the ultrasonic bone cutter in spinal surgery: our preliminary experience[J]. *Br Neurosurg*, 2014, 28(1): 56-60.

(收稿日期: 2019-06-17 本文编辑: 王宏)