

• 论 著 •

颈后路椎板切除减压术中应用超声骨刀的安全性和疗效评估



朱金文, 郝定均, 郭云山, 张新亮, 高文杰, 王晓东

西安交通大学医学院附属红会医院 西安市红会医院脊柱外科 (西安 710054)

【摘要】 目的 探讨在颈后路椎板切除减压术中应用超声骨刀的安全性及对手术疗效的影响。方法 回顾分析 2013 年 4 月—2017 年 4 月 52 例因颈椎后纵韧带骨化症 (ossification of posterior longitudinal ligament of cervical spine, C-OPLL) 行颈后路椎板扩大切除减压植骨融合术 (posterior cervical laminectomy decompression and fusion, PCLDF) 患者临床资料。按术中是否使用超声骨刀分为超声骨刀组 (A 组, 20 例) 和传统枪式钳减压手术组 (B 组, 32 例)。两组患者性别、年龄、体质量、身高、术前血红蛋白及日本骨科协会 (JOA) 评分等一般资料比较, 差异均无统计学意义 ($P>0.05$), 具有可比性。记录并比较两组患者手术时间、术中出血量、术后引流量、住院时间、并发症发生情况、术后 1 d 血红蛋白、术后 6 个月 JOA 评分, 并计算 JOA 改善率。结果 A 组手术时间及术中出血量显著少于 B 组 ($P<0.05$); 两组术后引流量及住院时间比较差异无统计学意义 ($P>0.05$)。两组术后 1 d 血红蛋白均较术前显著改善 ($P<0.05$); 术后 1 d B 组血红蛋白略高于 A 组, 但差异无统计学意义 ($t=-1.260$, $P=0.214$)。两组患者均获随访, 随访时间 6~10 个月, 平均 7.6 个月。所有患者术中及术后均无 C₅ 神经麻痹、硬膜撕裂、感染、硬膜外血肿形成、深静脉血栓形成、肺栓塞、输血过敏、休克等严重并发症发生。两组术后 6 个月 JOA 评分均较术前改善 ($P<0.05$); 术后 6 个月两组间 JOA 评分及改善率比较, 差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。结论 PCLDF 治疗 C-OPLL 术中使用超声骨刀安全可靠, 减压效果与传统枪式钳一致, 但具有明显缩短手术时间以及减少术中出血的优势。

【关键词】 超声骨刀; 颈后路椎板切除减压术; 颈椎后纵韧带骨化

Safety and effectiveness of ultrasonic osteotome in posterior cervical laminectomy decompression and fusion

ZHU Jinwen, HAO Dingjun, GUO Yunshan, ZHANG Xinliang, GAO Wenjie, WANG Xiaodong

Department of Spinal Surgery, Xi'an Honghui Hospital Affiliated to Xi'an Jiaotong University Medical College, Xi'an Shaanxi, 710054, P.R.China

Corresponding author: WANG Xiaodong, Email: zssl_70@126.com

【Abstract】 Objective To explore the safety of ultrasonic osteotome used in posterior cervical laminectomy decompression surgery and its effect on surgical outcome. **Methods** A clinical data of 52 patients with ossification of posterior longitudinal ligament of cervical spine (C-OPLL) undergoing posterior cervical laminectomy decompression and fusion (PCLDF) between April 2013 and April 2017 was retrospectively analysed. The patients were divided into two groups according to whether using the ultrasonic osteotome during operation: group A (20 cases, ultrasonic osteotome group) and group B (32 cases, traditional gun-clamp decompression group). There was no significant difference in gender, age, body weight, height, preoperative hemoglobin, and Japanese Orthopedic Association (JOA) score between the two groups ($P>0.05$). The operation time, intraoperative blood loss, postoperative drainage volume, hospitalization time, complications, hemoglobin at 1 day after operation, and JOA score at 6 months after operation were recorded and compared between the two groups, and the improvement rate of JOA was calculated. **Results** The operation time and intraoperative blood loss in group A were significantly less than those in group B ($P<0.05$); there was no significant difference in the drainage volume and hospitalization time between the two groups ($P>0.05$). The hemoglobin of

DOI: 10.7507/1002-1892.201804012

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (81502330); 陕西省自然科学基金资助项目 (2016JQ8040)

通信作者: 王晓东, Email: zssl_70@126.com

group B was slightly higher than that of group A at 1 day after operation, but there was no significant difference between the two groups ($t=-1.260$, $P=0.214$). All the patients were followed up 6-10 months (mean, 7.6 months). No serious complications such as C₅ nerve paralysis, dural tear, infection, epidural hematoma, deep venous thrombosis, pulmonary embolism, transfusion allergy, or shock occurred during and after operation. The JOA scores of the two groups were significantly improved at 6 months after operation when compared with preoperative scores ($P<0.05$), and there was no significant difference in JOA score and improvement rate between the two groups at 6 months after operation ($P>0.05$).

Conclusion Compared with the traditional gun-clamp decompression, the effectiveness of PCLDF in treatment of C-OPLL by using ultrasonic osteotome is comparable, but the latter can effectively reduce the operation time and blood loss.

【Key words】 Ultrasonic osteotome; posterior cervical laminectomy decompression; ossification of posterior longitudinal ligament of cervical spine

Foundation items: National Natural Science Foundation of China (81502330); Natural Science Foundation of Shaanxi Province (2016JQ8040)

颈椎后纵韧带骨化症 (ossification of posterior longitudinal ligament of cervical spine, C-OPLL) 是指因颈椎后纵韧带发生骨化, 从而压迫脊髓和神经根, 产生肢体感觉和运动障碍以及内脏植物神经功能紊乱的一种疾病。C-OPLL 是一种严重疾病, 可导致脊髓功能障碍以及患者生活质量的显著下降。C-OPLL 大多涉及 3 个以上节段的椎管狭窄和脊髓压迫, 需要多个节段减压手术。虽然前路椎板成形术可有效保留运动节段, 但颈前路椎板扩大切除减压植骨融合术 (posterior cervical laminectomy decompression and fusion, PCLDF) 仍然是治疗 C-OPLL 的经典手术方案之一^[1]。

既往 PCLDF 治疗由 C-OPLL 引起的多节段脊髓压迫时, 主要采用枪式钳减压, 手术时间长, 患者麻醉时间长, 并伴有大量失血; 手术医师劳动强度大, 易疲劳。高速磨钻减压虽可缩短手术时间, 减轻术者劳动强度, 但存在手柄不易把持、产热损伤、易卷刮、不易控制等缺点, 手术难度大、风险高^[2]。同时, 大量失血可导致一系列合并症, 如贫血、低血压、血肿形成和器官氧合不足, 从而严重影响患者生命体征及预后。围术期大量失血往往需要同种异体输血, 伴随过敏、溶血等风险, 甚至发生免疫排斥反应和病毒传播等严重并发症^[3]。而且椎管内形成几毫米的血肿就可能导致严重神经损伤, 尽管需要紧急手术的术后椎管内血肿病例较少, 但控制围术期出血以降低其发生率仍十分重要^[4-5]。

超声骨刀作为一种新型骨切割工具, 具有切割准确、产热低、防卷刮等优点, 目前已经在耳鼻喉科、颌面外科、脊柱外科等领域得到应用^[6-10]。这是一种低频超声波设备, 采用压电超声、物理共振原理选择性地切割致密的矿化组织 (如骨组织), 理论上对周围不产生共振的软组织几乎没有损害。

据报道, 应用超声骨刀可减少骨科手术术中出血和围术期输血^[6-10]。现回顾分析 2013 年 4 月—2017 年 4 月因 C-OPLL 在我院接受 PCLDF 的患者临床资料, 比较术中使用超声骨刀和传统枪式钳减压的疗效, 评估超声骨刀在 PCLDF 治疗 C-OPLL 中的安全性和有效性。报告如下。

1 临床资料

1.1 患者选择标准

纳入标准: 经同一主任医师术前评估, 需行 C₃~C₆ 节段 PCLDF 的 C-OPLL 患者。排除标准: ① 因外伤、发育性颈椎管狭窄、肿瘤等其他疾病行 PCLDF 的患者; ② 计划性分期行二次前路手术的 C-OPLL 患者。2013 年 4 月—2017 年 4 月共 52 例患者符合选择标准纳入研究。按手术中是否使用超声骨刀分为超声骨刀组 (A 组, 20 例) 和传统枪式钳减压手术组 (B 组, 32 例)。

1.2 一般资料

A 组: 男 19 例, 女 1 例; 年龄 38~78 岁, 平均 60.1 岁。体质量 65~77 kg, 平均 71.1 kg; 身高 162~180 cm, 平均 170.6 cm。B 组: 男 30 例, 女 2 例; 年龄 37~80 岁, 平均 62.3 岁。体质量 66~79 kg, 平均 72.7 kg; 身高 152~182 cm, 平均 169.7 cm。

两组患者均表现为颈部酸痛、僵硬不适及不同程度的脊髓压迫症状, 包括一侧或双侧四肢肌力减弱、感觉障碍; 严重者不能握笔、持筷, 走路不稳, 有踩棉花感; 排尿困难或小便失禁; 下肢肌张力增高, 腱反射亢进, 病理反射多为阳性。X 线片检查可发现不同程度的颈椎曲度改变, 侧位见多节段后纵韧带骨化、椎管狭窄; CT 及 MRI 检查测量椎管狭窄程度和神经受压。

两组患者性别、年龄、体质量、身高、术前血红

蛋白及日本骨科协会 (JOA) 评分等一般资料比较, 差异均无统计学意义 ($P>0.05$), 具有可比性。见表 1、2。

1.3 手术方法

所有患者术前均未输血。全麻下, 患者取俯卧位, 行颈后路正中切口, 常规切开皮肤、皮下组织、深筋膜, 骨膜下剥离暴露棘突、椎板和侧块关节面复合体。在完全去除目标椎骨 ($C_3 \sim C_6$) 的整个椎板和相关黄韧带之前, A 组使用超声骨刀 (XD860A, 北京水木天蓬医疗技术有限公司) 在椎板两侧开槽, B 组采用传统枪式钳咬开椎板。将切下的椎板和棘突清除软组织后咬成粒状, 作为自体植骨材料。使用 Marger 技术^[1]植入 $C_3 \sim C_6$ 侧块螺钉, 选取适当长度的纵向连接棒连接。生理盐水冲洗创面, 明胶覆盖硬膜囊, 高速磨钻处理植骨床。用备好的自体骨粒行 $C_3 \sim C_6$ 后外侧植骨, 切口内置引流管 1 根, 逐层缝合切口。

1.4 术后处理及疗效评价指标

术后心电监护 24 ~ 48 h, 注意观察患者生命体征及四肢活动; 常规给予抗生素预防感染; 采用甘露醇及甲泼尼龙琥珀酸钠, 预防脊髓水肿及缺血性再灌注损伤。术后 48 h 或引流量 <50 mL 时拔出引流管。B 组有 17 例患者因术中出血量超过血容量的 20%, 予以术中输血治疗。

记录并比较两组患者手术时间、术中出血量、术后引流量、住院时间、并发症发生情况及术前和

术后 1 d 血红蛋白; 术前及术后 6 个月采用 JOA 评分评价功能, 并计算改善率, 公式为: (术后评分 - 术前评分) / (17 - 术前评分) $\times 100\%$ 。

1.5 统计学方法

采用 SPSS19.0 统计软件进行分析。数据以均数 $\pm$ 标准差表示, 组间比较采用独立样本 t 检验, 组内手术前后比较采用配对 t 检验; 检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

A 组手术时间及术中出血量显著少于 B 组, 差异有统计学意义 ($P<0.05$); 两组术后引流量及住院时间比较差异无统计学意义 ($P>0.05$)。两组术后 1 d 血红蛋白均较术前显著改善, 差异有统计学意义 ($P<0.05$); 术后 1 d B 组血红蛋白略高于 A 组, 但差异无统计学意义 ($t=-1.260$, $P=0.214$)。两组中各有 2 例患者拔除引流管后出现低热症状 (考虑为吸收热), 未予以处理, 3 d 后体温恢复正常, 均顺利出院。两组患者均获随访, 随访时间 6 ~ 10 个月, 平均 7.6 个月。所有患者术中及术后均无 C_5 神经麻痹、硬膜撕裂、感染、硬膜外血肿形成、深静脉血栓形成、肺栓塞、输血过敏、休克等严重并发症发生。两组术后 6 个月 JOA 评分均较术前改善, 差异有统计学意义 ($P<0.05$); 术后 6 个月两组 JOA 评分及改善率比较, 差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。见表 1、2 及图 1。

表 1 两组患者各指标比较 ($\bar{x} \pm s$)

Tab.1 Comparison of indicators between the two groups ($\bar{x} \pm s$)

组别 Group	例数 <i>n</i>	手术时间 (min) Operation time (minutes)	术中出血量 (mL) Intraoperative blood loss (mL)	术后引流量 (mL) Postoperative drainage volume (mL)	住院时间 (d) Hospitalization time (days)	血红蛋白 (g/L) Hemoglobin (g/L)		
						术前 Preoperative	术后 1 d One day after operation	统计值 Statistic
A	20	167.90 $\pm$ 16.19	293.50 $\pm$ 56.13	258.40 $\pm$ 74.52	10.95 $\pm$ 2.91	122.90 $\pm$ 13.29	109.75 $\pm$ 10.95	$t=12.776$ $P= 0.000$
B	32	323.91 $\pm$ 24.23	535.31 $\pm$ 160.36	285.28 $\pm$ 90.61	9.53 $\pm$ 2.77	125.91 $\pm$ 13.88	113.28 $\pm$ 9.08	$t= 4.295$ $P= 0.000$
统计值 Statistic		$t=-25.421$ $P= 0.000$	$t=-6.480$ $P= 0.000$	$t=-1.111$ $P= 0.272$	$t=1.762$ $P=0.084$	$t=-0.772$ $P= 0.444$	$t=-1.260$ $P= 0.214$	

表 2 两组患者手术前后 JOA 评分比较 ($\bar{x} \pm s$)

Tab.2 Comparison of JOA scores at pre- and post-operation between the two groups ($\bar{x} \pm s$)

组别 Group	例数 <i>n</i>	术前 Preoperative	术后 6 个月 Six months after operation	统计值 Statistic	改善率 (%) Improvement rate (%)
A	20	8.45 $\pm$ 1.40	13.70 $\pm$ 1.95	$t=- 9.596$ $P= 0.000$	60.12 $\pm$ 23.98
B	32	8.63 $\pm$ 1.54	13.53 $\pm$ 1.90	$t=-11.559$ $P= 0.000$	57.61 $\pm$ 23.76
统计值 Statistic		$t=-0.413$ $P= 0.681$	$t=0.308$ $P=0.759$		$t=0.370$ $P=0.713$

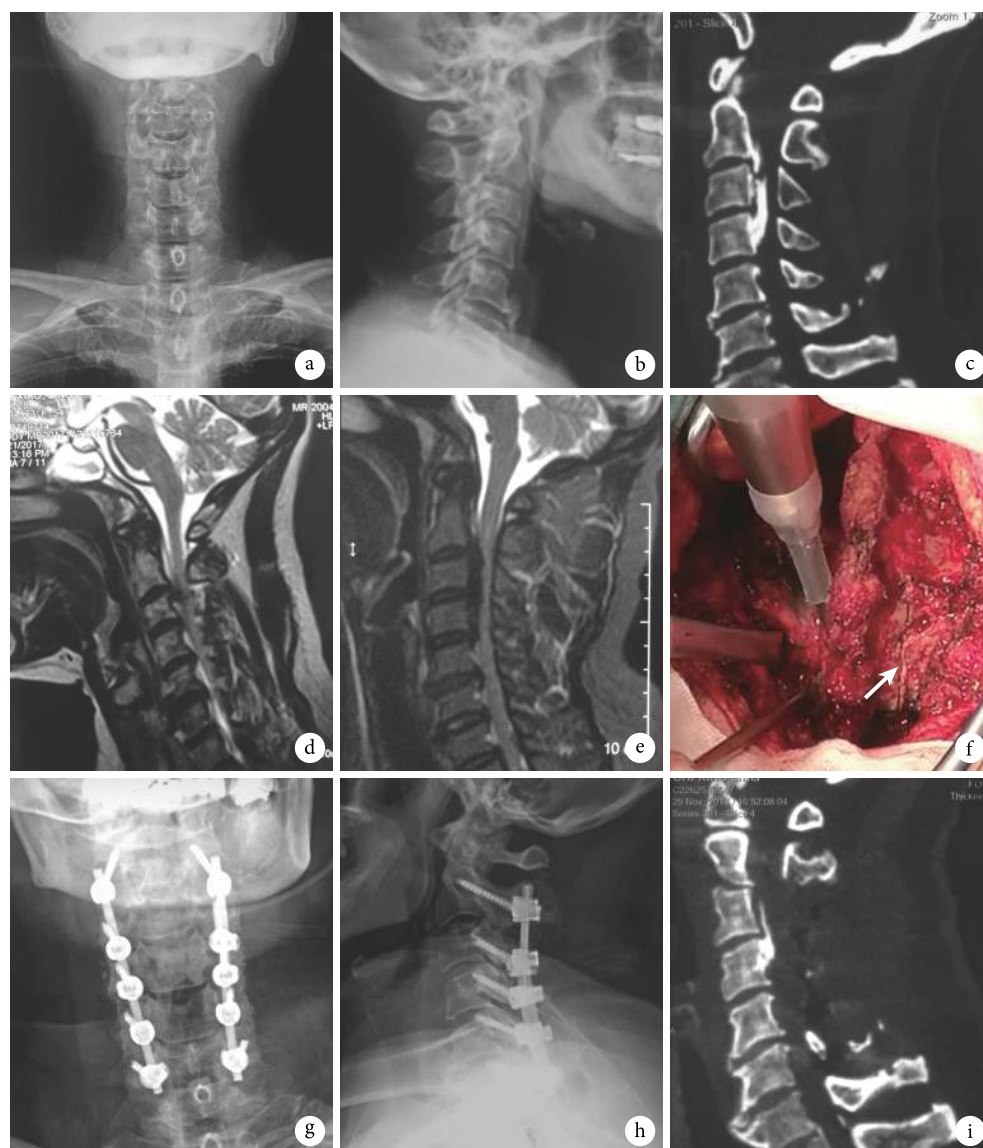


图1 A组患者,女,54岁,C₃~C₆ C-OPLL a~e.术前正侧位X线片、CT和MRI示C-OPLL伴椎间盘突出、颈椎管狭窄;f.术中超声骨刀在椎板开槽,箭头示已制备的骨槽;g、h.术后6个月正侧位X线片示内固定良好;i.术后6个月CT示C₃~C₆椎板切除,减压充分

Fig.1 A 54-year-old female patient with C-OPLL at C₃-C₆. a-e. Preoperative anteroposterior and lateral X-ray films, CT, and MRI showed the C-OPLL with disc herniation and cervical spinal stenosis; f. The cervical laminae was opened by ultrasonic osteotome. Arrow indicated the opened side; g, h. Anteroposterior and lateral X-ray films at 6 months after operation showed the reliable internal fixation; i. CT at 6 months after operation showed the C₃-C₆ laminectomy and decompression

3 讨论

3.1 PCLDF 优缺点

PCLDF 是治疗 C-OPLL 的经典手术之一,能有效减压,恢复神经功能,并规避前路多节段固定导致的钛网下沉、植骨不愈合、固定不牢靠等缺点^[1]。这种方法的主要缺点是由于多节段椎骨的固定和颈后肌肉剥离,导致颈椎活动度减小、轴性疼痛、C₅ 神经根麻痹等。但对于伴颈椎不稳定、颈椎生理前凸消失甚至后凸畸形的患者, PCLDF 与椎管成形术相比,能在充分减压的基础上,更好地恢复颈

椎前凸和维持稳定性,但会造成颈部僵硬及颈部活动受限。

3.2 超声骨刀的临床应用

超声骨刀很早就被应用于外科领域,特别是口腔颌面外科手术^[12-13]。一些研究表明,超声骨刀可以降低周围软组织(如神经和血管)损伤的风险,特别是在截骨手术时。目前,具有挑战性的截骨手术中使用超声骨刀,可以减少手术时间,增加手术安全性^[10]。

近年,超声骨刀已逐渐用到脊柱手术^[8-9, 14-16]。Hazer 等^[17]报道的 307 例脊柱手术中,33 例颈椎手

术患者术中安全使用了超声骨刀。本研究中所应用的超声骨刀有多种设计刀头,能方便地应用到“揭盖式”颈、胸椎管减压、潜行减压及各种脊柱截骨手术中。

3.3 超声骨刀相关并发症

3.3.1 机械性损伤 文献报道使用超声骨刀导致的硬膜损伤发生率为 1.6%~9.8%^[17-18]。Hu 等^[10]报道了一组 128 例使用超声骨刀的脊柱手术,11 例发生硬膜损伤中作者认为其中 2 例与超声骨刀使用有关。Hu 等分析认为,第 1 例患者是因超声骨刀在同一部位停留时间过长导致热损伤引起硬膜损伤;第 2 例为翻修手术,术中超声骨刀截骨完成后,在“揭盖”过程中因黄韧带与硬膜粘连导致硬膜撕裂。第 1 例患者系超声骨刀使用经验不足所致,正如 Ito 等^[16]建议的一样,“超声骨刀不要在同一部位停留超过 10 s”。对于第 2 例患者,我们认为对于颈椎管狭窄、病程长、骨化严重的患者无论是否行翻修手术,均应考虑硬膜粘连的可能性,因此在截骨完成后“揭盖”过程中造成的损伤不宜归因于超声骨刀。本研究中两组患者均未发生神经损伤及硬膜撕裂。传统截骨手术器械使用过程中会产生相当大的振动,并有卷刮、滑脱等风险,导致术中神经和硬膜损伤风险极大^[10]。而使用超声骨刀导致硬膜损伤的发生率与气动磨钻相似甚至更低^[8,14,17]。另有研究者报道使用超声骨刀未发生硬膜撕裂^[15-16,19-22]。本研究中 A 组也未出现硬膜切割、撕裂。但是术者需把握超声骨刀的切割力度,因为即使超声骨刀停止工作,若继续对硬膜、脊髓施以直接的机械性压迫,其后果也是灾难性的。

3.3.2 热损伤 超声骨刀工作中产热并不比高速磨钻大^[18,22],因此正确使用超声骨刀不会对周围重要的神经和血管结构造成热损伤危险^[23-25]。而且本研究使用的超声骨刀带有生理盐水自动冲洗降温系统,大大降低了热损伤风险。Kim 等^[15]报道了 1 例超声骨刀所致脊髓损伤,这是由于超声骨刀在同一部位停留时间过长所致。

颈椎手术风险高,并发症后果严重。超声骨刀作为外科手术的一种新器械,学习使用方法非常必要。术前准确评估椎管狭窄程度、减压范围、预测可能出现的硬膜粘连等,术中将超声骨刀能量降低至 60%,移动操作、勿再同一部位停留超过 10 s,以及大量冲洗散热^[10,16]等操作要点,对减少热损伤和硬膜撕裂至关重要。

本研究中未发现与超声骨刀应用有关的副作用,并且两组术后功能评分无明显统计学差异。因

此,在接受 PCLDF 的患者中使用超声骨刀是安全的。本研究中我们评估了 PCLDF 手术中使用超声骨刀对术中出血及围术期安全性、术后功能的影响。A 组术中出血量显著少于 B 组,进一步提示超声骨刀具有局部止血效果,可以减少骨质出血,减少围术期输血量^[17]。同时,术中出血减少可使术野更加清晰,因此手术操作更加流畅^[10]。我们在手术中发现,超声骨刀切割时局部出血也明显减少。传统枪式钳减压手术时间长,术中骨面渗血多。本研究中虽然术后 B 组的血红蛋白水平高于 A 组,但差异无统计学意义,分析与 B 组 17 例因术中失血量超过血容量 20% 进行输血有关。

综上所述,PCLDF 手术中使用超声骨刀可有效地减少出血量,安全可靠。本研究患者病种单一、手术方式统一,对研究结果的影响因素少,因此研究结果可信度较高。本研究的不足之处包括回顾性研究、样本量及随访时间有限。因此,结论有待前瞻性、随机双盲对照试验进一步证实。

参考文献

- 1 Li K, Zhang W, Li B, *et al.* Safety and efficacy of cervical laminoplasty using a piezosurgery device compared with a high-speed drill. *Medicine (Baltimore)*, 2016, 95(37): e4913.
- 2 郝定均, 贺宝荣, 吴起宁, 等. 胸椎管狭窄术后并发症的防治. *中华骨科杂志*, 2007, 27(1): 30-34.
- 3 Lemaire R. Strategies for blood management in orthopaedic and trauma surgery. *J Bone Joint Surg (Br)*, 2008, 90(9): 1128-1136.
- 4 Luo XB, Zhou X, Wang Q, *et al.* The classification of recurrent spinal epidural hematoma: a review of the literature and a comparison with the cases. *Eur Spine J*, 2016, 25(Suppl 1): 224-229.
- 5 Minato T, Miyagi M, Saito W, *et al.* Spinal epidural hematoma after thoracolumbar posterior fusion surgery without decompression for thoracic vertebral fracture. *Case Rep Orthop*, 2016, 2016: 6295817.
- 6 Salami A, Mora R, Dellepiane M, *et al.* Piezosurgery for removal of symptomatic ear osteoma. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2010, 267(10): 1527-1530.
- 7 Grauvogel J, Scheiwe C, Kaminsky J. Use of Piezosurgery for removal of retrovertebral body osteophytes in anterior cervical discectomy. *Spine J*, 2014, 14(4): 628-636.
- 8 Bydon M, Xu R, Papademetriou K, *et al.* Safety of spinal decompression using an ultrasonic bone curette compared with a high-speed drill: outcomes in 337 patients. *J Neurosurg Spine*, 2013, 18(6): 627-633.
- 9 Bydon M, Macki M, Xu R, *et al.* Spinal decompression in achondroplastic patients using high-speed drill versus ultrasonic bone curette: technical note and outcomes in 30 cases. *J Pediatr Orthop*, 2014, 34(8): 780-786.
- 10 Hu X, Ohnmeiss DD, Lieberman IH. Use of an ultrasonic osteotome device in spine surgery: experience from the first 128 patients. *Eur Spine J*, 2013, 22(12): 2845-2849.

- 11 Silveri CP, Vaccaro AR. Posterior atlantoaxial fixation: the Magerl screw technique. *Orthopedics*, 1998, 21(4): 455-459.
- 12 Horton JE, Tarpley TM Jr, Jacoway JR. Clinical applications of ultrasonic instrumentation in the surgical removal of bone. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1981, 51(3): 236-242.
- 13 Sherman JA, Davies HT. Ultracision: the harmonic scalpel and its possible uses in maxillofacial surgery. *Br J Oral Maxillofac Surg*, 2000, 38(5): 530-532.
- 14 Nakagawa H, Kim SD, Mizuno J, *et al*. Technical advantages of an ultrasonic bone curette in spinal surgery. *J Neurosurg Spine*, 2005, 2(4): 431-435.
- 15 Kim K, Isu T, Matsumoto R, *et al*. Surgical pitfalls of an ultrasonic bone curette (SONOPET) in spinal surgery. *Neurosurgery*, 2006, 59(4 Suppl 2): O390-O393.
- 16 Ito K, Ishizaka S, Sasaki T, *et al*. Safe and minimally invasive laminoplastic laminotomy using an ultrasonic bone curette for spinal surgery: technical note. *Surg Neurol*, 2009, 72(5): 470-475.
- 17 Hazer DB, Yaşar B, Rosberg HE, *et al*. Technical aspects on the use of ultrasonic bone shaver in spine surgery: experience in 307 patients. *Biomed Res Int*, 2016, 2016: 8428530.
- 18 Brooks AT, Nelson CL, Stewart CL, *et al*. Effect of an ultrasonic device on temperatures generated in bone and on bone-cement structure. *J Arthroplasty*, 1993, 8(4): 413-418.
- 19 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. *World Neurosurg*, 2015, 84(6): 1962-1967.
- 20 Nakase H, Matsuda R, Shin Y, *et al*. The use of ultrasonic bone curettes in spinal surgery. *Acta Neurochir (Wien)*, 2006, 148(2): 207-212.
- 21 Matsuoka H, Itoh Y, Numazawa S, *et al*. Recapping hemilaminoplasty for spinal surgical disorders using ultrasonic bone curette. *Surg Neurol Int*, 2012, 3: 70.
- 22 Hosono N, Miwa T, Mukai Y, *et al*. Potential risk of thermal damage to cervical nerve roots by a high-speed drill. *J Bone Joint Surg (Br)*, 2009, 91(11): 1541-1544.
- 23 Schaller BJ, Gruber R, Merten HA, *et al*. Piezoelectric bone surgery: a revolutionary technique for minimally invasive surgery in cranial base and spinal surgery? Technical note *Neurosurgery*, 2005, 57(4 Suppl): E410.
- 24 薛旭凯, 李高飞, 江建明. 超声骨刀与高速磨钻在颈后路单开门椎管扩大成形术中的应用对比. *中国骨科临床与基础研究杂志*, 2016, 8(2): 75-80.
- 25 刘学光, 付强, 孙振中, 等. 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. *中国脊柱脊髓杂志*, 2017, 27(6): 539-544.

收稿日期: 2018-04-04 修回日期: 2018-11-03

本文编辑: 王雁