

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

刘学光¹, 付强², 孙振中¹, 宋升¹, 韦旭明¹, 谷晓川²

(1 无锡市第九人民医院脊柱外科 214064; 2 第二军医大学附属长海医院脊柱外科 200433 上海市)

【摘要】目的:比较超声骨刀和高速磨钻在颈椎后纵韧带骨化症伴椎管狭窄行后路全椎板切除减压手术中的安全性与有效性。**方法:**回顾分析 2013 年 9 月~2016 年 12 月确诊为颈椎后纵韧带骨化伴椎管狭窄症行颈椎后路全椎板切除减压结合侧块/椎弓根螺钉内固定的患者 53 例。其中超声骨刀组(A 组)24 例,共切除椎板 101 个节段。高速磨钻组(B 组)29 例,共切除椎板 124 个节段。观察记录两组患者术中全椎板切除时间、手术过程中单节段椎板切除平均出血量、围手术期并发症(脊髓损伤、神经根损伤、硬膜囊损伤、脑脊液漏等),JOA 评分及改善率。术后评估两组患者神经症状及并发症情况。**结果:**两组患者的年龄、性别比、术前 JOA 评分和减压节段数差异均无统计学意义($P>0.05$)。A 组患者平均单个节段全椎板截骨时间为 $1.7\pm 1.1\text{min}$ ($1.4\sim 3.3\text{min}$),低于 B 组的 $2.9\pm 1.8\text{min}$ ($1.9\sim 5.6\text{min}$)($P<0.05$),手术过程中两组单节段椎板切除平均出血量为 $52.4\pm 36.5\text{ml}$ ($35.1\sim 285.6\text{ml}$)和 $60.3\pm 34.2\text{ml}$ ($41.1\sim 281.4\text{ml}$),两组比较无显著性差异($P>0.05$)。A、B 组 JOA 评分分别由术前 9.3 ± 3.1 分提高到术后 12.7 ± 2.0 分和术前 9.1 ± 3.4 分提高到术后 12.9 ± 2.8 分, $P<0.05$ 。两组患者术后 JOA 评分均明显优于术前($P<0.05$),但两组 JOA 改善率(分别为 45.6%和 51.2%)比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。两组患者均未出现脊髓、神经根及硬膜囊损伤,无截骨操作相关并发症发生。**结论:**超声骨刀和高速磨钻均能安全有效地完成颈椎 OPLL 后路全椎板切除减压手术,在减轻术者工作强度、不增加出血及并发症的同时,超声骨刀能有效缩短全椎板切除时间。

【关键词】后纵韧带骨化;超声骨刀;高速磨钻;椎管狭窄;椎管减压

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2017.06.11

中图分类号:R681.5,R608 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2017)-06-0539-06

Comparison of ultrasonic bone curette and high-speed drill on the posterior laminectomy procedure in patients with cervical ossification of posterior longitudinal ligament/LIU Xueguang, FU Qiang, SUN Zhenzhong, et al/Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2017, 27(6): 539-544

【Abstract】Objectives: To compare the safety and effectiveness of ultrasonic bone curette versus high-speed drill on spinal decompression in patients with cervical ossification of posterior longitudinal ligament (OPLL). **Methods:** From September 2013 to December 2016, fifty-three patients who underwent posterior laminectomy decompression surgery due to cervical OPLL by either ultrasonic bone curette (group A) or high-speed drill (group B) were collected. Posterior laminectomy was performed in 24 cervical OPLL patients with 101 segments in group A, and 29 patients with 124 segments in group B. Operation time of decompressive laminectomy, blood loss, as well as perioperative complications such as durotomy, cerebrospinal fluid leak, injury of nerve root and spinal cord, Japanese Orthopaedic Association(JOA) scores and the rate of improved JOA score were recorded. **Results:** There was no statistical difference in age, sex ratio, preoperative JOA scores and decompressive laminectomy between the two groups ($P>0.05$). The average time for each segment was $1.7\pm 1.1\text{min}$ (range, $1.4\sim 3.3\text{min}$) in group A, it was significantly less than that in group B [$2.9\pm 1.8\text{min}$ ($1.9\sim 5.6\text{min}$)]($P<0.05$). The average blood loss for each segment was $52.4\pm 36.5\text{ml}$ ($35.1\sim 285.6\text{ml}$) in group A and $60.3\pm 34.2\text{ml}$ ($41.1\sim 281.4\text{ml}$) in group B respectively, showing no significant difference between two groups($P>$

第一作者简介:男(1984-),主治医师,硕士,研究方向:脊柱外科、创伤骨科

电话:(0510)85867999 E-mail:117517363@qq.com

通讯作者:付强 E-mail:johson.f@163.com

0.05). The postoperative neurological function of both groups improved compared with the preoperative one ($P < 0.05$), but there were no statistical differences of postoperative JOA scores, JOA scoring improvement rate between two groups ($P > 0.05$). No patient suffered from injury of nerve root and spinal cord or dural matter tearing during operation and no patients had neurological deficits postoperatively. **Conclusions:** Compared with high-speed drill, usage of ultrasonic bone curette is more efficient but similarly safe to perform posterior laminectomy for cervical OPLL patients.

[Key words] Ossification of posterior longitudinal ligament; Ultrasonic bone curette; High-speed drill; Spinal stenosis; Spinal decompression

[Author's address] Department of Orthopaedics, Wuxi NO.9 People's Hospital, Wuxi, 214062, China

后纵韧带骨化症 (ossification of posterior longitudinal ligament, OPLL) 是脊柱外科相对少见却具有高度致残率的疾病, 于 1960 年由 Tsukimoto 最先发现并报道^[1], 亚洲人相对高发。此类患者后纵韧带骨化引起颈椎管占位, 使椎管狭窄, 或直接压迫脊髓引起相应症状, 病情重者可致瘫痪, 手术是主要治疗手段, 后路全椎板切除减压内固定是治疗 OPLL 伴椎管狭窄症的常用术式, 但无论前路、后路手术均有较高的手术并发症发生率, 使用传统高速磨钻时, 术中操作不慎易导致脊髓、神经根及硬膜囊等结构的损伤^[2-3], 对术者的手术技巧和手术工具的要求都比较高。超声刀作为一种新型、高效的手术器械, 具有组织选择性强、截骨精度高、产热低、防卷刮以及对周围血管神经组织损伤轻微、边切割边止血等独特优势, 已在口腔科、神经外科、耳鼻喉科等领域获得广泛应用^[4-6]。目前尚未见超声骨刀与高速磨钻在颈椎后纵韧带骨化伴椎管狭窄症中应用的对比研究。我们对 2013 年 9 月~2016 年 12 月在第二军医大学附属长海医院行后路全椎板切除减压内固定植骨融合手术的中重度颈椎 OPLL 伴椎管狭窄症 (JOA 评分 < 13 分) 患者进行总结分析, 报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

共 53 例颈椎中重度 OPLL 伴椎管狭窄症 (JOA 评分 < 13 分) 患者纳入本研究, 所有患者术前均根据其临床症状和体征以及 X 线片、CT 和 MRI 检查确诊, 并由本组医师进行后路全椎板切除减压手术, 排除有明确外伤、肿瘤及其他颈椎手术史患者。其中使用超声骨刀行全椎板切除患者 24 例 (A 组), 使用高速磨钻和枪式咬骨钳者 (B 组) 29 例。两组患者的一般资料见表 1, 其性别、年龄及平均减压节段数比较均无统计学差异 ($P >$

0.05)。

1.2 手术方法

术前根据患者颈脊髓受压情况、病变范围, 确定全椎板切除减压及固定的节段。所有患者均行插管全麻, 俯卧位, 术中脊髓监测, 取后正中切口, 暴露减压内固定节段棘突及双侧椎板, 侧块/椎弓根开口开路后插入标记杆 (如固定节段位于 C3~C6 则行侧块螺钉固定, C7 采用椎弓根螺钉固定)。术中 C 型臂 X 线机透视确认标记杆位置良好后, A 组患者利用美国 MISONIX 公司 BoneScalpel 超声刀的“冷切割”模式行双侧关节突内缘椎板纵向截骨, 切透全层骨性结构后再用枪钳横向切割减压范围内头尾端椎板及黄韧带, B 组为利用高速磨钻磨除椎板外层皮质骨及松质骨后, 1 号枪钳咬除内层皮质骨, 然后以巾钳把持截骨的一端棘突向上缓慢提拉, 边提拉边用神经剥离子分离韧带与硬脊膜, 逐步将减压节段内的椎管后壁整体如同“揭盖”一样提起, 减压节段头尾端用 1 号枪钳行穹隆式潜行减压, 见硬膜囊膨起, 搏动恢复后, 冲洗创面彻底止血。明胶海绵或皮下脂肪片覆盖硬脊膜。按预开口置入侧块/椎弓根钉固定, 选择合适长度的连接棒并预弯, 置入连接棒、螺帽固定 (图 1), 磨钻打磨固定节段内的双

表 1 两组患者的性别、年龄、减压节段的比较

Table 1 Comparison of general data between two groups

	A组 (n=24) Group A	B组 (n=29) Group B
性别 (例) Sex(n)		
男 Male	19	24
女 Female	5	5
年龄 (岁) Age (year)	51.3±8.9	54.6±10.5 ^①
平均减压节段数 (个) Average laminectomy segments(n)	4.2±0.9	4.3±1.1 ^①

注: ①与 A 组比较 $P > 0.05$

Note: ①Compared with group A, $P > 0.05$

侧小关节突关节并植入剪碎的自体骨植骨融合,伤口内放置负压引流。逐层缝合肌肉、韧带、皮下组织及皮肤。术后 24~48h 拔除引流,颈托保护下起床活动,颈托固定 6~8 周。

1.3 观察指标

术中实时记录全椎板切除时间、切除椎板节段数、术中出血量、术中有无硬脊膜损伤和脑脊液漏、有无脊髓和神经根损伤,术后有无脑脊液漏。采用日本骨科协会 (Japanese Orthopaedic Association, JOA) 脊髓功能评分(满分 17 分)系统对患者神经功能恢复情况进行评估,根据术前及术后 1 周患者 JOA 评分计算 JOA 改善率,JOA 改善率=[(术后评分-术前评分)/(17-术前评分)] $\times 100\%$ ^[7]。术中平均单节段椎板切除时间=颈椎后壁截骨时间/减压节段数,单节段平均出血量=术中出血量/减压节段数。

1.4 数据处理方法

应用 SPSS 17.0 统计软件进行统计分析,两组比较采用两独立样本 *t* 检验,术前术后比较采用配对 *t* 检验;计数资料比较采用 Fisher 确切概率法; $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

两组患者术后 JOA 评分均明显优于术前(P

< 0.05),但两组 JOA 改善率比较,差异无统计学意义($P > 0.05$,表 2)。A 组患者平均单个节段全椎板切除时间低于 B 组($P < 0.05$),手术过程中单节段椎板切除平均出血量 A 组略低于 B 组,但比较无显著性差异($P > 0.05$,表 3)。两组患者术中均未出现脊髓、神经根及硬膜囊损伤,无脂肪液化及血肿形成,无器械操作不当相关并发症发生。

3 讨论

OPLL 是一种较常见的异位骨化,起源于后纵韧带内部膜内或软骨内骨化^[8],好发于颈椎,累及胸椎者少见,Ohtsuka 等^[9]的流行病学数据显示胸椎 OPLL 的患病率仅为颈椎 OPLL 的 1/4。手术是其有效治疗方式,手术方法包括后路、前路、后前路联合、先后路二期前路手术等。目前,OPLL 手术方式的选择尚存争议,由于 OPLL 骨化灶压迫来自于脊髓前方,理想的手术方法是前路切除骨化灶减压,解除脊髓及神经根压迫,但还必须避免神经损伤症状进一步加重。因此制定手术方案必须考虑骨化灶的部位、范围和椎管狭窄程度,既要充分减压,又要防止症状进一步恶化。Sridhar 等^[10]认为,手术入路的选择取决于 OPLL 的范围和手术医师的喜好,个体化的手术进路可获得好的手术结果。由于前路手术受到种种限制,多数

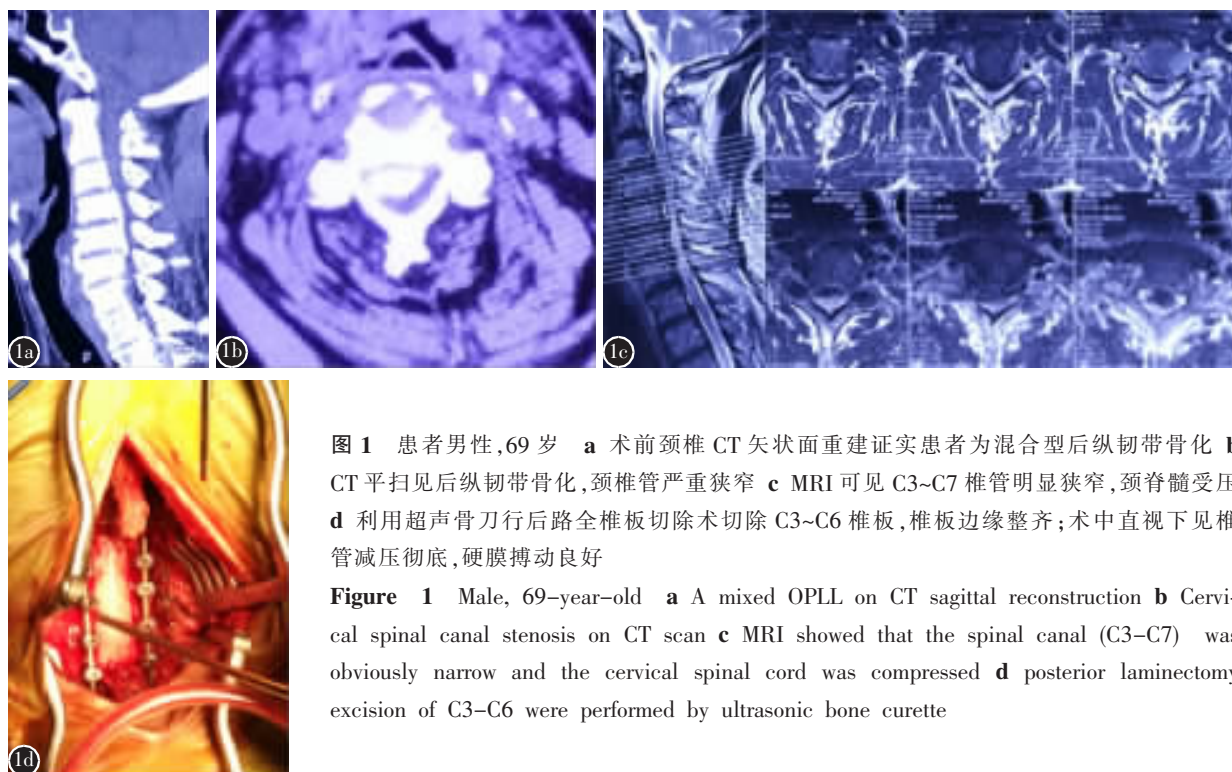


图 1 患者男性,69 岁 a 术前颈椎 CT 矢状面重建证实患者为混合型后纵韧带骨化 b CT 平扫见后纵韧带骨化,颈椎管严重狭窄 c MRI 可见 C3~C7 椎管明显狭窄,颈脊髓受压 d 利用超声骨刀行后路全椎板切除术切除 C3~C6 椎板,椎板边缘整齐;术中直视下见椎管减压彻底,硬膜搏动良好

Figure 1 Male, 69-year-old a A mixed OPLL on CT sagittal reconstruction b Cervical spinal canal stenosis on CT scan c MRI showed that the spinal canal (C3-C7) was obviously narrow and the cervical spinal cord was compressed d posterior laminectomy excision of C3-C6 were performed by ultrasonic bone curette

表 2 两组患者 JOA 评分及改善率之间的比较

Table 2 Comparison of the JOA scores and improvement rate between two groups

	A组 (24) Group A	B组 (29) Group B
术前 JOA 评分 preoperative JOA scores	9.3±3.1	9.1±3.4 ^①
术后 JOA 评分 postoperative JOA scores	12.7±2.0 ^②	12.9±2.8 ^{①②}
JOA 评分改善率 Improvement rate of JOA scores	45.6%	51.2% ^①

注:①与 A 组比较 $P>0.05$; ②与术前 JOA 评分比较 $P<0.05$ Note: ①Compared with group A, $P>0.05$; ② Compared with preoperative JOA scores, $P<0.05$

表 3 两组患者椎板切除时间、出血量比较

Table 3 Comparison of operation time of decompressive laminectomy, blood loss between two groups

	A组 (24) Group A	B组 (29) Group B
单节段椎板切除时间(min) Operation time	1.7±1.1 (1.4~3.3)	2.9±1.8 (1.9~5.6) ^①
单节段椎板切除出血量(ml) Blood loss	52.4±36.5 (35.1~285.6)	60.3±34.2 (41.1~281.4) ^②

注:①与 A 组比较 $P<0.05$; ②与 A 组比较 $P>0.05$ Note: ①Compared with group A, $P<0.05$; ② Compared with group A, $P>0.05$

OPLL 病例仍行后路手术减压。

目前颈后路手术中处理椎板、关节突等骨性结构的主要工具为咬骨钳和高速磨钻,使用咬骨钳截骨术中出血多,术者劳动强度大,截骨不规则,截骨时间长,影响患者术后的愈合。2015 年 1 月中华医学会骨科学分会脊柱外科学组发表的《胸椎管狭窄症诊疗指南》明确“建议在胸椎管狭窄症手术的减压过程中应使用高速磨钻或其他椎管外操作的技术装备”^[11]。重度颈椎 OPLL 同胸椎管狭窄一样,手术难度大,风险高,对术者技术及工具要求均较高。高速磨钻虽可减轻术者劳动强度,但因钻头高速旋转对手柄反作用力大,手柄不易把持,局部产热高且易卷刮周围软组织,如椎间的神经丛、静脉丛、硬膜等,导致相关并发症,手术风险较高^[12]。超声骨刀作为一种新型截骨工具,其工作原理是通过压电转换器将电能转换成机械能,使刀头以一定的超声频率及振幅振动,通过超声的机械碎裂效应及空化效应发挥截骨作用^[13],具有组织选择性强、截骨精度高、产热低、防卷刮以及对周围血管神经组织损伤轻微、边切割边止血等优点。同时由于超声骨刀的止血效应以及“自

喷灌”功能,截骨过程中截骨断端整齐,产生的骨碎片及骨破坏均较小,保证了切割的精准^[14,15]。有文献报道,应用超声骨刀的截骨宽度可精确到 0.5~0.7mm^[16,17],而高速磨钻的切骨宽度则为 3~5mm。因此,在毗邻重要组织结构区域进行精细操作时,超声骨刀的截骨效率明显优于高速磨钻^[18]。目前超声骨刀已成功用于椎板切开、椎板切除、小关节切除、全椎板切除、Simth-Perterson 截骨、经椎弓根截骨等多种脊柱手术的截骨^[19-21]。

基于超声骨刀的设计及工作原理,其在脊柱外科手术中应当具有良好的安全性及有效性,一系列的研究也都证实了这一点。Nakase 等^[22]研究发现超声骨刀在大块骨的切割中效率低于高速磨钻,而在毗邻重要组织结构区域进行精细操作时超声骨刀的切骨效率更高。王岩等^[23]研究发现,就单节段胸椎管后壁切除的平均时间而言,应用超声骨刀的时间为 3min 左右,其认为与电动磨钻相比,超声骨刀可显著缩短手术时间,在多节段胸椎管后壁切除时更能体现出其效率优势。Parker 等分析研究的 40 例患者中,平均每切除 1 节椎板历时 1~2min,3 节椎板约 3~6min,然而同样处理 3 节椎板,采用高速磨钻搭配 Kerrison 咬骨钳的切骨方法则需要 10~15min^[16]。Sanborn 等^[24]在动物模型上分别使用超声骨刀、传统切骨工具进行椎板切除术,通过临床体检、术中术后神经功能检测及组织学分析评估两组操作的安全性,通过记录手术时间、出血量评价二组操作的有效性。结果显示,超声骨刀的安全性与标准椎板切除术相似,高效性主要体现在行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。在出血量方面,应用电动磨钻以及其他传统截骨工具进行截骨时松质骨会持续渗血,而超声骨刀截骨与止血同时进行,切开的骨面的出血量明显减少,Al-Mahfoudh 等^[25]的研究也得出了相同的结论。孙宇等^[26]通过动物实验证实,超声手术刀对颈椎椎板的皮质骨和松质骨均具有良好的切割能力,对术野周围组织的宏观结构和微观结构没有产生明显的不良影响,并且具有机械振动轻微、止血效果良好的独特优势。Hu 等^[20]认为,超声骨刀较传统手术器械最重要的优势之一是其能够减少术中出血量,便于保持术野清晰,但超声骨刀的这种优势

难以采取客观的方式进行量化。本研究中应用超声骨刀组患者平均一个椎板截骨时间明显低于高速磨钻组,与文献报道一致。虽然超声骨刀组平均出血量低于高速磨钻组,在手术过程中也发现运用超声骨刀进行截骨,截骨断端的出血量明显减少,但两组比较并无显著性差异,究其原因可能与所统计的出血量并不单纯来源于截骨端相关。

颈椎 OPLL 后路手术并发症发生率较高,文献报道后路手术术后颈部疼痛的发生率在 6%~60%,原因不明,可能继发于后方软组织剥离或椎小关节破坏^[27]。颈后路手术另一个常见的并发症是 C5 神经根麻痹,据报道,OPLL 术后 C5 神经根麻痹的发生率平均高达 8.3%(3.2%~28.6%)^[28]。另外,在严重 OPLL 患者中,其他诸如硬膜损伤、脑脊液漏、硬膜外血肿、神经根及脊髓损伤等并发症也不少见。陈超等^[3]报道的 75 例 OPLL 后路手术中,有 1 例(1.8%)出现硬膜外血肿,经及时再次手术后患者恢复满意。田纪伟等^[29]报道的 68 例后路手术中,出现 2 例硬膜外血肿及 1 例脑脊液漏,其硬膜外血肿分别由于引流不畅和肌肉内止血不彻底造成,而脑脊液漏则是由于截骨面不齐,术后刺破硬膜囊引起。本组所有病例中均未出现严重的脊髓、神经根及硬膜损伤,这一方面得益于高效、安全的手术器械的使用,另一方面与术者经验及手术技巧密不可分。Hu 等^[20]回顾分析了应用超声骨刀进行脊柱手术的患者资料,所有病例均获得满意的效果,未发生脊髓及神经损伤等并发症,因而作者认为超声骨刀是一种安全的截骨工具,可以应用于所有脊柱手术中。超声骨刀与高速磨钻的对比研究显示,与高速磨钻相比,超声骨刀可降低硬膜损伤的发生率,但差异无统计学意义,应用于颈椎及胸椎管减压时,超声骨刀的安全性及有效性至少不低于高速磨钻^[21,30]。这可能是因为超声骨刀具有两个显著的优点:(1)高度的组织选择性,对硬膜无切割作用;(2)骨切割为振动模式,对周围组织无卷刮。因而,应用超声骨刀切割椎板对脊髓及硬膜是安全的。虽然关于“超声骨刀的安全性及有效性是否优于传统切骨工具”这一话题目前还存在诸多争议。结合上述研究结果不难发现,超声骨刀在安全性及有效性方面起码不低于高速磨钻等传统切骨工具。

颈后路手术效果与减压后脊髓能否充分向后漂移直接相关^[31],本研究中两组患者术后 JOA 评

分均较术前明显改善,而两组间改善情况无显著差异,这也正说明好说明这一点,良好的工具只能在一定程度上起辅助作用。软件与硬件的发展应该是相辅相成的,工具的功能再强大,若使用方法不恰当,同样不能充分发挥其先进优势,甚至造成严重并发症的发生。由于重度颈椎 OPLL 合并椎管狭窄减压手术对术者的技术要求较高,因此在应用超声骨刀进行椎管减压操作时,除需选择正确的刀头和切割模式外,还应注意:(1)应用超声骨刀截骨和传统截骨工具的握持力不同。应用高速磨钻时,只要稍微增加钻头的压力,就可加快骨切割速度;而使用超声骨刀时,对超声刀头施加过多的压力会影响刀头的正常振动,降低切骨效率,反而增加了周围组织热损伤的风险。(2)超声骨刀要双手把持,一手轻轻下压,另一手向上拮抗,防止切割过深,双手配合控制深度、逐层推进。当椎管狭窄严重,应注意控制切割深度,避免超声骨刀对硬膜和神经根的直接损伤。(3)当超声刀头接近硬膜或椎间神经丛、血管丛时,应采用超声骨刀的冷切割模式,在刀头和重要结构之间放置棉片也是一种有效的保护措施。(4)术中进行截骨操作,尤其是长节段、深部位的截骨时,需保持刀头持续移动,薛旭凯等^[32]报道了 1 例因刀头在同一部位滞留时间过长,局部组织过热,进而引起硬膜损伤。这也提示学习曲线的重要性,超声骨刀是一种新型手术器械,术者在对其工作原理、操作要点充分掌握以后,术前还要先进行适当的操作培训与练习。

综上,本研究认为超声骨刀应用于颈椎 OPLL 患者后路全椎板切除减压内固定患者安全有效,与高速磨钻相比,其在减轻术者劳动强度、不增加出血及并发症的同时,能有效节省椎板切除时间。

4 参考文献

1. Tsukimato H. A case report autopsy of syndrome of compression of spinal cord owing to ossification within spinal canal of the cervical spine[J]. Arch Jpn Chir, 1960, 29(4): 1003-1007.
2. 陈超,王岩,张雪松,等. 颈椎后纵韧带骨化症的手术并发症分析[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2010, 20(3): 192-196.
3. 郝定均,贺宝荣,吴起宁,等. 胸椎管狭窄症术后并发症的防治[J]. 中华骨科杂志, 2007, 27(1): 30-34.
4. Icoangeli M, Neri P, Balercia P, et al. Piezosurgery for os-

- teotomies in orbital surgery: our experience and review of the literature[J]. *Int J Surg Case Rep*, 2013, 4(2): 188-191.
5. Cappabianca P, Cavallo LM, Esposito I, et al. Bone removal with a new ultrasonic bone curette during endoscopic endonasal approach to the sellar-suprasellar area: technical note [J]. *Neurosurgery*, 2010, 66(3 Suppl Operative): E118.
 6. Salami A, Mora R, Dellepiane M, et al. Piezosurgery for removal of symptomatic ear osteoma[J]. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2010, 267(10): 1527-1530.
 7. Yonenobu K, Abumi K, Nagata K, et al. Interobserver and intraobserver reliability of the Japanese Orthopaedic Association scoring system for evaluation of cervical compression myelopathy[J]. *Spine*, 2001, 26(17): 1890-1894.
 8. 祝斌, 刘晓光. 后纵韧带骨化症的基因学研究进展[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2013, 23(10): 947-950.
 9. Ohtsuka K, Terayama K, Yanagihara M, et al. A radiological population study on the ossification of the posterior longitudinal ligament in the spine [J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 1987, 106(2): 89-93.
 10. Sridhar K, Rmumurthi R, Vasudevan MC, et al. Surgery for ossification of the posterior longitudinal ligament of the cervical spine[J]. *Neurol India*, 2001, 49(0): 116-123.
 11. 中华医学会骨科学分会脊柱外科学组. 胸椎管狭窄症诊疗指南[J]. *中华骨科杂志*, 2015, 35(1): 1-5.
 12. 田伟, 史文勇, 周兆英, 等. 超声刀在脊柱外科手术中的应用[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2005, 15(12): 753-755.
 13. 李文菁, 赵宇, 孙志坚. 超声骨刀在脊柱外科手术中的应用进展[J]. *中华外科杂志*, 2014, 52(3): 215-218.
 14. Heinemann F, Hasan I, Kunert-Keil C, et al. Experimental and histological investigations of the bone using two different oscillating osteotomy techniques compared with conventional rotary osteotomy[J]. *Ann Anat*, 2012, 194(2): 165-170.
 15. Hollstein S, Hoffmann E, Vogel J, et al. Micromorphometrical analyses of five different ultrasonic osteotomy devices at the rabbit skull[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2012, 23(6): 713-718.
 16. 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.
 17. Matsuoka H, Itoh Y, Numasawa S, et al. Recapping hemilaminoplasty for spinal surgical disorders using ultrasonic bone curette[J]. *Surg Neurol Int*, 2012, 3: 70.
 18. Nakase H, Matsuda R, Shin Y, et al. The use of ultrasonic bone curettes in spinal surgery[J]. *Acta Neurochir*, 2006, 148(2): 207-213.
 19. 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.
 20. 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.
 21. 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]. *J Neurosurg Spine*, 2013, 18(6): 627-633.
 22. Nakase H, Matsuda R, Shin Y, et al. The use of ultrasonic bone curettes in spinal surgery [J]. *Acta Neurochir (Wien)*, 2006, 148(2): 207-213.
 23. 王岩, 陈仲强, 孙垂国, 等. 超声骨刀在胸椎管狭窄症手术中应用的有效性与安全性[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2015, 25(6): 518-523.
 24. 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.
 25. Al-Mahfoudh 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.
 26. 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): 458-460.
 27. Joseph V, Kumar GS, Rajshekhar V. Cerebrospinal fluid leak during cervical corpectomy for ossified posterior longitudinal ligament: incidence, management, and outcome[J]. *Spine*, 2009, 34(5): 491-494.
 28. Sakaura H, Hosono N, Mukai Y, et al. C5 palsy after decompression surgery for cervical myelopathy: review of the literature[J]. *Spine*, 2003, 28(21): 2447-2451.
 29. 田纪伟, 曹云. 颈椎后纵韧带骨化症手术并发症分析[J]. *中华创伤杂志*, 2007, 23(2): 137-139.
 30. 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]. *J Pediatr Orthop*, 2014, 34(8): 780-786.
 31. Smith ZA, Buchanan CC, Raphael D, et al. Ossification of the posterior longitudinal ligament: pathogenesis, management, and current surgical approaches: a review [J]. *Neurosurg Focus*, 2011, 30(3): E10.
 32. 薛旭凯, 李高飞, 江建明, 等. 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[J]. *中国骨科临床与基础研究杂志*, 2016, 8(2): 75-80.

(收稿日期: 2017-03-14 修回日期: 2017-05-15)

(英文编审 蒋欣/贾丹彤)

(本文编辑 彭向峰)