

超声骨刀在颈椎前路椎体次全切除术中应用的安全性和有效性评价

刘 鑫¹, 王翔宇², 温冰涛¹, 陈仲强¹

(1 北京大学国际医院骨科 102206 北京市; 2 山西省第二人民医院骨科 030000 太原市)

【摘要】目的:探讨超声骨刀在颈椎前路椎体次全切除手术中应用的安全性和有效性。方法:回顾性分析我院 2015 年 4 月~2017 年 3 月确诊为脊髓型颈椎病行颈椎前路椎体次全切除手术的病例 51 例。根据术中切除椎体的工具分为两组。超声骨刀组(A 组)应用超声骨刀切除椎体 26 例,男性 15 例,女性 11 例,年龄 52.7 ± 7.3 岁(37~66 岁);传统工具组(B 组)应用咬骨钳及高速磨钻切除椎体 25 例,其中男性 13 例,女性 12 例,年龄 50.5 ± 7.9 岁(38~67 岁)。记录两组患者椎体切除时间、术中出血量、手术并发症、术前及术后 3d 的 JOA 评分及 JOA 评分改善率、住院时间等。结果:A 组切除每节椎体的平均时间为 8.3 ± 1.5 min,显著低于 B 组的 11.3 ± 1.5 min ($P < 0.05$)。手术出血量 A 组为 122.6 ± 28.0 ml,显著低于 B 组的 163.4 ± 39.0 ml ($P < 0.05$)。两组患者均未出现术中脊髓损伤或硬膜撕裂,A 组出现吞咽困难 1 例;B 组出现喉上神经损伤 1 例、泌尿系感染 1 例。两组患者术前 JOA 评分分别为 7.2 ± 1.6 分与 6.8 ± 1.4 分,无统计学差异 ($P > 0.05$)。A 组患者术后 3d 的 JOA 评分 11.3 ± 1.5 分,B 组患者术后 3d 的 JOA 评分 10.9 ± 1.3 分,均显著高于术前 ($P < 0.05$)。患者 JOA 评分改善率两组分别为 $(41.7 \pm 13.6)\%$ 与 $(40.4 \pm 9.3)\%$,无统计学差异 ($P > 0.05$)。A、B 两组患者住院时间分别为 6.80 ± 0.89 d 与 6.84 ± 1.06 d,无统计学差异 ($P > 0.05$)。结论:在颈椎前路椎体次全切手术中应用超声骨刀安全有效,与传统的咬骨钳与高速磨钻相比,应用超声骨刀可以有效地缩短手术时间,减少手术出血量。

【关键词】颈椎椎体次全切除;脊髓型颈椎病;超声骨刀

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2018.04.03

中图分类号:R687.3 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2018)-04-0303-06

The efficacy and safety of ultrasonic bone cutter used in anterior cervical corpectomy and fusion surgery/LIU Xin, WANG Xiangyu, WEN Bingtao, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2018, 28(4): 303-308

【Abstract】Objectives: To investigate the efficacy and safety of osteotomy using ultrasonic bone cutter(UBC) in anterior cervical corpectomy and fusion surgery. Methods: A total of 51 cases diagnosed as cervical spondylotic myelopathy underwent anterior cervical corpectomy and fusion surgery from April 2015 to March 2017 in our hospital. They were divided into group A(UBC group) and group B(traditional tools group). In group A, there were 15 males and 11 females with an average age of 52.7 ± 7.3 (37-66) years old. There were 13 males and 12 females with an average age of 50.5 ± 7.9 (38-67) years old in group B. Osteotomy time, intraoperative blood loss, surgical complications such as spinal cord injury, dural tear as well as dysphagia, Japanese Orthopedic Association (JOA) score before and at 3 days after surgery, improvement rate of JOA score and hospitalization time were recorded. Results: The average osteotomy time was 8.3 ± 1.5 min in group A, which was significantly less than that in group B(11.3 ± 1.5 min, $P < 0.05$). The average intraoperative blood loss was 122.6 ± 28.0 ml in group A, which was significantly less than that in group B(163.4 ± 39.0 ml, $P < 0.05$). No spinal cord injury or dural tear was present in either group, and no patients had neurological deficits postoperatively. There was 1 case of dysphagia in group A, 1 case of laryngeal nerve injury and 1 case of urinary tract infection found in group B. The preoperative JOA score was 7.2 ± 1.6 in group A and 6.8 ± 1.4 in

第一作者简介:男(1986-),博士,研究方向:脊柱外科

电话:(010)69006232 E-mail:hshliuxin123@163.com

共同第一作者:王翔宇

通讯作者:温冰涛 E-mail:wenbingtao@pku.edu.cn

group B, which showed no significant difference between two groups ($P>0.05$). The postoperative JOA score was 11.3 ± 1.5 and 10.9 ± 1.3 in group A and B, respectively, which improved significantly compared with the pre-operative one ($P<0.05$), but there were no significant differences in the improvement rate of JOA score, and hospitalization time ($P>0.05$). **Conclusions:** It is safe and effective to apply ultrasonic bone cutter in the anterior cervical corpectomy and fusion surgery. Compared with the traditional tools such as rongeur and high-speed grinding drill, the application of ultrasonic treatment can shorten the operation time and intraoperative blood loss effectively.

【Key words】 Anterior cervical corpectomy; Cervical spondylotic myelopathy; Ultrasonic bone cutter

【Author's address】 Department of orthopedics, International Hospital of Peking University, Beijing, 102206, China

颈椎前路椎体次全切除术通过切除椎体,减压更加彻底,对椎间隙重度狭窄、椎体后方有骨赘压迫和后纵韧带骨化的病例效果尤佳^[1],是治疗脊髓型颈椎病的常用手术方法。但颈椎前路椎体次全切除术手术难度大,风险高,对手术技术和手术工具要求很高。传统的次全切除手术主要应用高速磨钻和咬骨钳进行切骨操作,术中出血多、局部产热高,容易导致硬膜撕裂及神经损伤等并发症。超声骨刀作为一种新型切骨工具最早应用于口腔科及颌面外科^[2-5],近年来广泛应用于颈胸腰椎后路手术中椎板切除操作。目前国内外少有在颈椎前路椎体次全切手术中应用超声骨刀的文献报道。本研究旨在研究超声骨刀在颈椎前路次全切除手术中应用的安全性和有效性,报道如下。

1 资料和方法

1.1 一般资料

回顾性分析 2015 年 4 月~2017 年 3 月在北京大学国际医院骨科确诊为脊髓型颈椎病并行前路单节段椎体次全切术的 51 例患者。根据术中切除椎体的工具将所有患者分为两组:超声骨刀组(A 组)26 例,传统工具组(B 组)25 例。A 组男性 15 例,女性 11 例,年龄 52.7 ± 7.3 岁(37~66 岁);B 组男性 13 例,女性 12 例,年龄 50.5 ± 7.9 岁(38~67 岁)。两组患者年龄与性别组成无统计学差异($P>0.05$)。

1.2 纳入及排除标准

纳入标准:(1)颈椎间盘突出伴椎体后缘骨赘局限在 2 个节段以内;(2)孤立型后纵韧带骨化或连续型后纵韧带骨化不超过 2 个节段;(3)患者同意手术。排除标准:(1)单节段颈椎间盘突出;(2)后纵韧带骨化大于或等于 3 个节段;(3)颈椎外伤;(4)颈椎肿瘤;(5)既往颈椎手术史;(6)合并胸

椎退变性疾病;(7)无法耐受手术者。

1.3 手术方法

患者手术时均行气管插管全身麻醉,取仰卧位,肩背部垫高及颈部充分后仰,于颈前右侧行横行皮肤切口。沿颈动脉鞘及内脏鞘间隙进入椎体前,X 线透视下定位拟行手术节段,在拟切除之椎体相邻上下两个椎体分别置入椎体钉安装撑开器并适度撑开。切除病椎邻近椎间盘至显露硬膜囊,A 组采用超声骨刀次全切除椎体,使用超声骨刀的片状刀头(水木天蓬 XD860A 型超声骨刀手术仪)将椎体切割成豆腐块状,切割完改用咬骨钳逐步将每小块碎骨钳除,逐层切除椎体至接近椎体后缘,根据邻近椎间隙显露的硬膜囊深度来决定超刀切割深度,距离椎体后缘 1~2mm 时停止切割,以咬骨钳小心去除椎体后缘骨质直至暴露至后纵韧带,显露硬膜。B 组采用高速磨钻切除次全切除椎体,切除过程使用磨钻沿椎体两侧磨出深槽,逐步采用咬骨钳咬除中央椎体直至暴露至后纵韧带,显露硬膜。开槽彻底减压后,长钛网填充切除椎体的松质骨,修剪合适后置入骨槽内,选择合适颈前路钛板固定于相邻上下椎体,术中 X 线透视正侧位,确认内固定牢固、位置适当后,椎体前方常规放置引流管自切口旁引出,关闭切口。

1.4 观察指标

搜集患者术前影像学资料并于术后第 3 天行影像学检查,记录手术中切除椎体的时间;术中出血量;手术并发症包括脊髓或神经根损伤、硬膜损伤、喉返神经损伤、喉上神经损伤、呼吸困难、吞咽困难、血肿、C5 神经根麻痹、手术切口感染、肺部及泌尿系感染等;患者住院时间;采用日本骨科协会(Japanese Orthopedic Association, JOA)脊髓功能评分系统(17 分)对患者术前及术后第 3 天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。两组患者年龄、住院时间、椎体切除时间、术中出血量比较采用独立样本 t 检验, 同组患者术前及术后 JOA 评分及 JOA 改善率对比采用配对 t 检

验; 两组患者性别组成计数资料采用 χ^2 检验。 $P < 0.05$ 认为差异有统计学意义。

2 结果

两组患者术后无脊髓症状加重患者, 术后经影像学检查证实手术减压充分(图 1)。

在脊髓受压的主要因素方面, A 组患者中 16

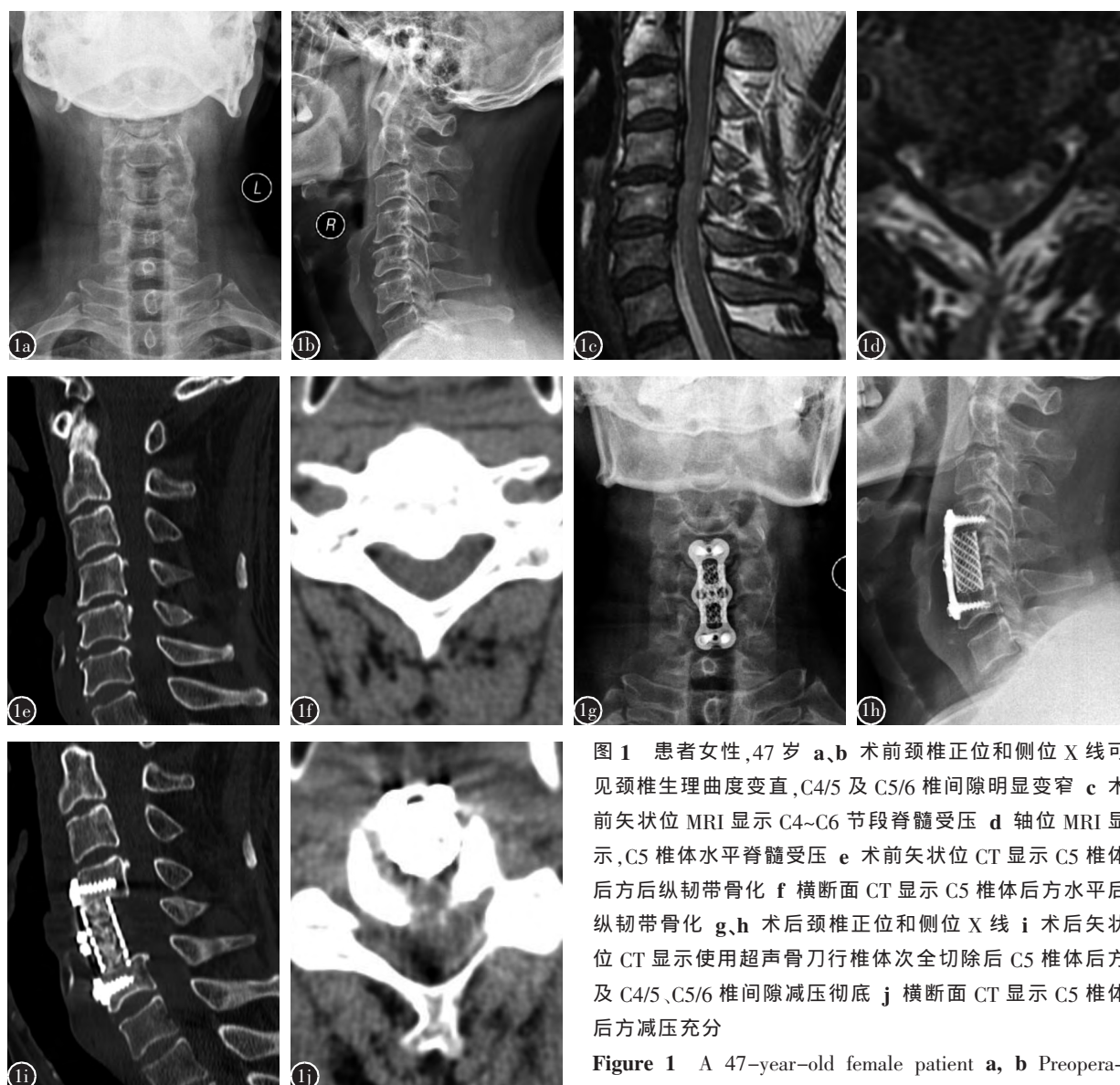


图 1 患者女性, 47 岁 a、b 术前颈椎正位和侧位 X 线可见颈椎生理曲度变直, C4/5 及 C5/6 椎间隙明显变窄 c 术前矢状位 MRI 显示 C4~C6 节段脊髓受压 d 轴位 MRI 显示, C5 椎体水平脊髓受压 e 术前矢状位 CT 显示 C5 椎体后方纵韧带骨化 f 横断面 CT 显示 C5 椎体后方水平后纵韧带骨化 g、h 术后颈椎正位和侧位 X 线 i 术后矢状位 CT 显示使用超声骨刀行椎体次全切除后 C5 椎体后方及 C4/5、C5/6 椎间隙减压彻底 j 横断面 CT 显示 C5 椎体后方减压充分

Figure 1 A 47-year-old female patient a, b Preoperative X-ray posteroanterior and lateral view of cervical

spine showed that the cervical lordosis became slightly straight, and the intervertebral spaces were significantly narrowed at C4/5 and C5/6 levels c Sagittal MRI before surgery demonstrated spinal cord compression at C4-C6 level d Axial MRI demonstrated that spinal cord compression at C5 vertebral body level e Sagittal CT scan before surgery demonstrated ossification of posterior longitudinal ligament at C5 vertebral body level f Axial CT scan showed that ossification of posterior longitudinal ligament at C5 vertebral body level g, h Postoperative X-ray posteroanterior and lateral view of cervical spine i Sagittal CT scan after surgery demonstrated sufficient decompression at C4-C6 level by corpectomy using ultrasonic bone cutter j Axial CT scan showed that decompression at C5 body level

例(61.4%)为椎体后缘骨赘及椎间盘突出,10例(38.6%)为后纵韧带骨化。B组患者中14例(56%)为椎体后缘骨赘及椎间盘突出,11例(44%)为后纵韧带骨化。脊髓受压的主要因素为椎体后缘骨赘及椎间盘突出。

A组26例患者应用超声骨刀行单节段椎体次全切时间A组切骨时间显著短于B组($P<0.05$)。A组出血量显著少于B组($P<0.05$,表1)。

A组患者中1例(3.8%)术后出现食管牵拉所致吞咽困难,保守治疗1周后好转。B组患者中1例(4%)出现喉上神经损伤,饮水呛咳,随访4周后好转;1例(4%)出现泌尿系感染,口服喹诺酮类抗生素3d后好转。两组患者均未发生器械操作不当导致的脊髓损伤或硬膜撕裂;两组患者均未发生声音嘶哑、血肿、呼吸困难、C5神经根麻痹或手术切口感染。

两组患者术后JOA评分均优于术前($P<0.05$);两组患者术前及术后JOA评分、JOA改善率相比较,均无显著统计学差异($P>0.05$)。住院时间两组无统计学差异($P>0.05$,表1)。

3 讨论

3.1 脊髓型颈椎病的手术入路

脊髓型颈椎病的手术入路选择一直存在较大争议。颈椎前路椎体次全切除术,可以直接去除来源于脊髓腹侧的压迫,尤其是压迫主要来源于椎

体后方的骨赘,或后纵韧带且椎管侵占率超过60%的患者^[6];同时可以使用椎间填充材料,如自体骨、钛笼等增强颈椎稳定性,有利于椎体间融合。但颈椎前路手术难度高、创伤大,并发症多,如融合失败,邻近节段退变等。颈椎后路手术通过脊髓向背侧漂移达到间接减压的效果,可能因前方致压物仍然存在压迫脊髓的情况导致治疗效果不佳;同时可能出现C5神经根麻痹、颈椎后凸畸形以及轴性症状等并发症。但相比颈椎前路手术而言,颈椎后路手术具有难度相对较低,创伤小,并发症较少的优势。多数学者认为,当脊髓压迫 <3 个节段,病变主要来源于脊髓前方时,首选前路直接减压;当脊髓压迫 ≥ 3 个节段,尤其合并发育性椎管狭窄时,应选择颈椎后路手术^[7]。近年来超声骨刀在脊柱外科手术中应用的文献报道逐渐增多,主要集中在后路脊柱手术中,如颈椎后路、胸腰椎后路手术中椎板及关节突关节的切除中切骨操作^[8-10],仅Al-Mahfoudh等^[9]报道了2例在颈前路椎体次全切除中应用超声骨刀的经验。尚无在颈椎前路椎体切除中应用超声骨刀安全性的研究,缺乏与传统工具的对比。本研究重点在于研究超声骨刀应用在前路椎体切除中的安全性和有效性,为减少因术式选择带来的偏倚,本研究入组病例均为局限在2个节段及以内椎体后缘骨赘或后纵韧带骨化症患者,均通过单节段颈椎前路椎体次全切除术解除压迫。

3.2 超声骨刀的工作原理

超声骨刀作为一种新型切骨工具,其工作原理是将电能转换为机械能,超声骨刀的工作频率为22.5kHz~40kHz,在超声刀声强作用下,骨组织产生机械振动并超过其弹性极限,从而达到切割效果。超声刀作用于软组织产生的机械振动低于其弹性的极限,软组织可通过弹性振动来吸收碰触超声刀头时产生的振动能量,从而避免损伤^[11]。超声骨刀的振幅一般在0.05~0.36mm范围内,切骨过程骨断端整齐,对骨质破坏小,保证了切骨的精准^[12]。

3.3 超声骨刀的安全性

对于超声骨刀的安全性,已有一些临床研究报道了超声骨刀可以有效减少出血和避免神经损伤^[8,10]。颈椎前路次全切手术最严重的并发症是脊髓损伤。传统工具如高速磨钻,在切骨时存在卷刮周围软组织及损伤硬膜风险,产生的热效应可能

表1 两组患者手术情况对比

Table 1 Comparison of surgical data between two groups

	A组 Group A	B组 Group B
椎体切除时间(min) Vertebrectomy time	8.3±1.5	11.3±1.5 ^①
术中出血量(ml) Blood loss	122.6±28.0	163.4±39.0 ^①
住院时间(d) Hospital stay	6.80±0.89	6.84±1.06 ^②
JOA评分 JOA scores		
术前 Preoperation	7.2±1.6	6.8±1.4 ^②
术后3d 3 days after surgery	11.3±1.5 ^③	10.9±1.3 ^③
JOA评分改善率(%) JOA scoring improvement rate	41.7±13.6	40.4±9.3 ^②

注:①与A组比较 $P<0.05$;②与A组比较 $P>0.05$;③与术前JOA评分比较 $P<0.05$

Note: ①Compared with group A, $P<0.05$; ②Compared with group A, $P>0.05$; ③Compared with preoperation, $P<0.05$

对脊髓及神经产生热灼伤^[13]。超声骨刀的刀头在工作时保持微小振幅的纵向切割,避免了对软组织的卷刮和撕裂。有文献报道,高速磨钻的切骨宽度为 3~5mm,超声骨刀的切骨精度可达 0.5~0.7mm^[14],精准切骨有利于进行精细操作;同时超声骨刀的“冷切割”模式及“自喷灌”系统可以有效降低切骨时产热。在保护模式下,刀头碰触到软组织即会停止工作,降低了神经损伤的风险^[15]。Nakagawa 等^[16]认为在邻近脊髓和神经处使用超声骨刀可以减少机械损伤及热灼伤的发生。Nakase 等^[13]的研究也认为超声骨刀更适用于毗邻重要组织结构的精细操作。Grauvogel 等^[17]在颈椎前路椎间隙减压手术中使用超声骨刀去除椎体后缘骨赘,应用超声骨刀可直接沿椎体长轴自终板斜形切割至椎体后缘来切除椎体后缘骨赘,相比传统方法应用刮匙或枪式椎板咬骨钳潜行减压,降低了损伤硬膜或脊髓的风险。在本研究中也采用同样方法安全地去除了椎体后缘骨赘。

在本研究中,两组患者未出现器械相关的硬膜撕裂或脊髓损伤病例。在使用超声骨刀进行椎体切除的过程中,我们的经验是采用逐层递进式切除的方法,不追求一次性自椎体前缘切透至椎体后缘。越接近椎体后缘,越需仔细感知以免切透椎体后缘造成硬膜损伤。对于合并后纵韧带骨化的病例,我们的经验是,结合术前颈椎 CT 平扫,当接近椎体后缘时,有选择性地在后纵韧带骨化薄弱的地方进行切割,最后辅助刮匙或枪式椎板咬骨钳切除骨化的后纵韧带。缺少术前严密规划,或根据落空感来决定截骨深度均有可能造成硬膜或脊髓损伤。

使用高速磨钻或咬骨钳在椎体切除过程中,松质骨出血多,影响术野清晰,需间断使用骨蜡填封止血,且往往效果不佳。超声骨刀可以在切开骨组织同时凝血止血。其原理为超声空化效应^[11],使组织内的水汽化,蛋白质氢键断裂、变性,细胞崩解,血红蛋白凝固变性,起到止血作用。超声骨刀切骨时摩擦产生 70~80℃ 的瞬时高温,也起到局部止血效果。与此同时,超声骨刀的“自喷灌”系统在超声骨刀工作时持续喷洒生理盐水,在术中维持相对清晰的术野。在本研究中,超声骨刀组的术中出血量明显少于传统工具组,我们通过术中自体血回收量来估计术中出血量,相对误差小。同时,在术中发现,超声骨刀在切割松质骨时,相较于高

速磨钻组,切割骨面出血明显减少,这与许多文献报道相一致^[9,18,19]。

3.4 超声骨刀的有效性

在切骨效率方面,部分文献报道认为使用超声骨刀会延长手术时间^[13,15,16],Nakase 等^[13]指出超声骨刀在大块骨的切除中效率低于高速磨钻。Hu 等^[19]在对 128 例患者的截骨操作中使用超声骨刀发现,手术时间相较传统工具明显短。陈萧霖等^[12]发现,超声骨刀在进行椎板减压、Ponte 截骨等操作时效率明显高于高速磨钻。王岩等^[20]指出在进行胸椎管后壁切除及环形减压操作中使用超声骨刀效率明显高于传统工具。本研究发现,超声骨刀组切骨时间相比传统工具组明显缩短。椎体切除也属于大块骨切除,我们认为,之所以得出与 Nakase 不同的结论,一方面由于近年来超声骨刀设计的改进与学习曲线的影响;另一方面更重要的原因是使用传统工具椎体切除,大量时间花费在松质骨止血以及维持术野清晰进行的操作上,因此,超声骨刀在椎体切除中,相比高速磨钻效率更高。

在本研究中,超声骨刀主要应用于椎体松质骨切除,完整切除椎体后缘骨质及骨化后纵韧带仍需要借助传统工具如枪式椎板咬骨钳。一方面是超声骨刀在颈椎前路椎体次全切除中的应用仍处于探索阶段,另一方面是超声骨刀的刀头设计仍无法完全满足复杂的减压操作,存在技术改进的空间。本研究作为回顾性研究,样本量较小,随访时间短,缺乏对钛笼沉降,椎间融合以及远期疗效的观察,这是我们下一步研究的重点。

我们的研究初步证实,在颈椎前路椎体次全切手术中应用超声骨刀是安全、有效的。与传统的咬骨钳与高速磨钻相比,应用超声骨刀可以有效地缩短手术时间,减少手术出血量,使术野更清晰,降低了发生术中神经损伤的风险。超声骨刀作为安全、高效的切骨工具,在颈椎前路椎体次全切除术中的应用价值,仍需要大样本、前瞻性的对照研究来证实。

4 参考文献

1. Chen ZH, Liu B, Dong JW, et al. Comparison of anterior corpectomy and fusion versus laminoplasty for the treatment of cervical ossification of posterior longitudinal ligament: a meta-analysis[J]. Neurosurg Focus, 2016, 40(6): E8.
2. Vercellotti T. Technological characteristics and clinical indica-

- tions of piezoelectric bone surgery[J]. *Minerva Stomatol*, 2004, 53(5): 207–214.
3. Gleizal A, Bera JC, Lavandier B, et al. Piezoelectric osteotomy: a new technique for bone surgery—advantages in craniofacial surgery[J]. *Childs Nerv Syst*, 2007, 23(5): 509–513.
4. Robiony M, Polini F, Costa F. Piezoelectric bone cutting in multipiece maxillary osteotomies [J]. *J Oral Maxillofac Surg*, 2004, 62(6): 759–761.
5. Pavlikova G, Foltan R, Horka M, et al. Piezosurgery in oral and maxillofacial surgery[J]. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2011, 40(5): 451–457.
6. Iwasaki M, Okuda S, Miyauchi A, et al. Surgical strategy for cervical myelopathy due to ossification of the posterior longitudinal ligament: Part 2: Advantages of anterior decompression and fusion over laminoplasty[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2007, 32(6): 654–660.
7. Liu X, Min X, Zhang H, et al. Anterior corpectomy versus posterior laminoplasty for multilevel cervical myelopathy: a systematic review and meta-analysis[J]. *Eur Spine J*, 2014, 23(2): 362–372.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. 陈萧霖, 曾岩, 陈仲强. 超声骨刀与传统工具在退变性腰椎侧凸减压截骨术中的应用比较[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2017, 27(5): 418–422.
13. 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.
14. 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. doi: 10.4103/2152-7806.97542. Epub 2012 Jun 19.
15. 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.
16. 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.
17. Grauvogel J, Scheiwe C, Kaminsky J, et al. Use of Piezosurgery for removal of retrovertebral body osteophytes in anterior cervical discectomy[J]. *Spine J*, 2014, 14(4): 628–636.
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. 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.
20. 王岩, 陈仲强, 孙垂国. 超声骨刀在胸椎管狭窄症手术中应用的有效性安全性[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2015, 25(6): 518–523.

(收稿日期: 2017-12-16 末次修回日期: 2018-03-29)

(英文编审 刘美彤/贾丹彤)

(本文编辑 姜雅浩)