

· 脊柱微创治疗 ·

采用超声骨刀辅助椎板间入路脊柱内镜治疗
重度钙化型腰椎间盘突出症的疗效观察

韩佳骆 马学晓 周传利 林安涛 赵文灏 张豪 许德荣



作者简介:韩佳骆,骨科学博士在读。以第一作者身份发表脊柱外科领域SCI论文4篇,中文核心期刊论文2篇,申请相关发明专利2项。

【摘要】目的 探究脊柱内镜下超声骨刀辅助经皮椎板间入路椎间盘切除术(PEID)治疗重度钙化型腰椎间盘突出症(CLDH)的手术技巧,评估其临床疗效、实用性及安全性。**方法** 收集2021年1月至2023年1月于青岛大学附属医院脊柱外科应用超声骨刀辅助PEID治疗的31例重度CLDH患者的临床及影像学资料,其中男17例,女14例;年龄21~69(44.5±9.0)岁;身体质量指数(BMI)为(24.9±2.1) kg/m²;椎间盘突出MSU分级均为3级;钙化物最大截面积为(79.6±10.6)mm²;术前硬膜囊截面积为(64.0±14.3)mm²;随访6~14(10.1±2.7)个月。记录全部患者术前与术后次日、1、3个月及末次随访时的腰、腿痛视觉模拟评分(VAS)和Oswestry功能障碍指数(ODI);测量手术前后的硬脊膜囊截面积、钙化物面积,并计算改善率;记录手术时间,术后下地时间和出院时间。末次随访时采用改良MacNab评分标准评定疗效。通过配对样本 t 检验对比分析手术减压前后临床评分结果。**结果** 所有患者均顺利完成手术,手术时间(127.8±19.0)min。术后各时间节点腰、腿痛VAS评分及ODI均较术前获得显著改善($P<0.05$)。钙化物清除率为94.8%±6.4%;术后硬脊膜囊截面积改善率为83.1%±29.4%。根据改良MacNab疗效评定标准,优良率为96.8%。2例患者反应术后神经根支配区麻木,症状均在术后1个月内消退。无硬膜撕裂或神经根损伤等严重并发症发生,随访期内无复发病例。**结论** 超声骨刀辅助PEID技术对重度CLDH患者能够实现充分的减压,早期随访临床效果确切,安全性高。超声骨刀可于镜下精准、安全、高效的处理骨性结构。

【关键词】 脊柱;内窥镜;腰椎;椎间盘钙化;超声骨刀

基金项目: 国家自然科学基金(82202751);青岛市博士后基金(QDBSH20230201026);山东省高等学校青创科技支持计划(2023KJL008)

Endoscopic-matched ultrasonic osteotome assisted percutaneous endoscopic interlaminar discectomy for huge calcified lumbar disc herniation: technical note and preliminary clinical outcomes Han Jialuo,

Ma Xuexiao, Zhou Chuanli, Lin Antao, Zhao Wenhao, Zhang Hao, Xu Derong. Department of Spine Surgery, Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao 266003, China

Corresponding author: Xu Derong, E-mail: xdrqdfy@163.com

【Abstract】 Objective To explore the surgical technique of percutaneous endoscopic interlaminar discectomy (PEID) assisted by endoscopic-matched ultrasonic osteotome for the treatment of huge calcified lumbar disc herniation (CLDH) and evaluate its clinical efficacy, utility and safety. **Methods** Clinical and imaging data of patients with huge CLDH who were treated with endoscopic-matched ultrasonic osteotome-

DOI: 10.19548/j.2096-269x.2024.01.002

作者单位:266003 青岛大学附属医院脊柱外科

通信作者:许德荣, E-mail: xdrqdfy@163.com

assisted PEID applied in Department of Spine Surgery, Affiliated Hospital of Qingdao University from January 2021 to January 2023 were retrospectively analyzed. A total of 31 patients with herniated disc MSU grade 3 were included in the study. There were 17 males and 14 females, aged 21–69 (44.5 ± 9.0) years, with a body mass index (BMI) of (24.9 ± 2.1) kg/m^2 , a maximum cross-sectional area of (79.6 ± 10.6) mm^2 of the calvarium, a pre-operative cross-sectional area of (64.0 ± 14.3) mm^2 of the dural sac, 6–14 (10.1 ± 2.7) months follow-up. The visual analogue scales (VAS) for pain in waist and leg and the Oswestry disability index (ODI) of all patients were collected preoperatively and on the second day, 1 month, 3 months and the final follow-ups. Modified MacNab criterion evaluated at the final follow-up was used to identify the clinical efficacy. Moreover, the preoperative and postoperative area of dural sac and calcaneus, operation time, ambulation time, and hospitalization period were recorded. Paired *t*-test was applied to compare the differences between preoperative and postoperative values. **Results** All patients successfully completed the surgery with a mean operation time of (127.8 ± 19.0) min. Significant improvement in back and leg pain VAS scores and ODI was obtained at all postoperative time nodes compared with the preoperative period ($P < 0.05$). The mean calcaneal clearance rate was $94.8\% \pm 6.4\%$, and the postoperative improvement rate of dural sac cutoff was $83.1\% \pm 29.4\%$. According to the modified MacNab efficacy rating criteria, the excellent rate was 96.8%. Two patients responded to postoperative numbness in the innervation area of the nerve root, and the symptoms subsided within 1 month after surgery. There were no serious complications, such as dural tear, nerve root injury, and no recurrence during the follow-up period. **Conclusion** The endoscopic-matched ultrasonic osteotome-assisted PEID technique can realize sufficient decompression in patients with severe CLDH, and the early follow-up clinical outcomes are definitive and the procedure is safe. The endoscopic-matched ultrasonic osteotome can handle bony structures precisely, safely and efficiently under the endoscope.

【Key words】 Spinal; Endoscopes; Lumbar vertebrae; Intervertebral disc calcification; Ultrasonic osteotome

Fund program: National Natural Science Foundation of China (82202751); Qingdao Postdoctoral Science Foundation (QDBSH20230201026); Science and Technology Innovation Support Program for Young Scholars of Higher Education of Shandong (2023KJL008)

钙化型椎间盘突出症 (calcified lumbar disc herniation, CLDH) 多见于年龄大、病程长的患者, 近年来有发病率增高并年轻化的趋势^[1-2]。突出的钙化灶质地较硬且常与硬膜广泛粘连, 非手术治疗效果不佳^[3-4]。常规手术方法包括椎板开窗减压术、腰椎椎间融合术以及经皮脊柱内镜减压术等^[5-6]。随着脊柱内镜理念的进步以及手术器械的革新, 越来越多的脊柱外科医生开始倾向于利用脊柱内镜来治疗 CLDH, 但内镜下钙化物清除困难、减压不彻底、术后感觉障碍等问题普遍存在^[6-7]; 其核心痛点在于无法在狭小的椎管空间内实现对骨性质压物精准、安全、高效的切除。重度的 CLDH 在此基础上又对内镜治疗的操作提出了更大的挑战。更重的神经压迫, 更小的操作空间, 亟需更先进的手术策略及器械护航。超声骨刀利用微幅纵向振动实现对骨组织的高效切割^[8], 兼具切硬不切软的组织选择性, 操作简单, 截骨稳定精确, 全程操作可视, 为椎间盘钙化等复杂脊柱疾患的内镜治疗提供了设备保障。本研究旨在探讨超声骨刀辅助 PEID 治疗重度 CLDH 的技术要点, 评估其临床疗效及安全性。

资料与方法

一、资料

1. 纳入与排除标准: (1) 纳入标准: ①腰痛伴下肢放射痛, 伴或不伴有麻木; ②术前 CT 示椎间盘钙化; ③椎间盘突出 MSU 分级 3 级^[9] (图 1); ④经正规保守治疗 3 个月以上无效, 或症状持续时间超过 1 年, 影响正常工作和生活; ⑤提供 6 个月以上随访资料。 (2) 排除标准: ①症状与影像检查结果不符; ②椎管内非骨性占位、腰椎感染、腰椎不稳; ③突出物无钙化或钙化范围 $< 3 \text{ mm}$; ④硬膜囊钙化。

2. 病例来源: 收集 2021 年 1 月至 2023 年 1 月青岛大学附属医院脊柱外科符合上述纳入与排除标准的患者资料, 共 31 例; 其中男 17 例, 女 14 例; 年龄 21~69 (44.5 ± 9.0) 岁。身体质量指数 (body mass index, BMI) 为 (24.9 ± 2.1) kg/m^2 。椎间盘突出 MSU 分级均为 3 级; 钙化物最大截面积为 (79.6 ± 10.6) mm^2 ; 术前硬膜囊截面积为 (64.0 ± 14.3) mm^2 。所有手术均由同一组经验丰富的外科医生完成。手术节段为 L4/5 节段 11 例 (35.5%), L5/S1 节段 20 例

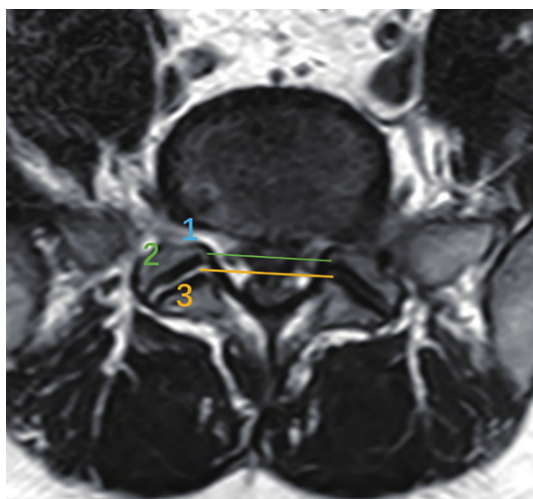


图1 过两侧上下关节突内缘交点连线。突出物未及椎体与此线距离50%为MSU 1级;突出物超过50%但未触及此线为MSU 2级;突出物顶点超过此连线为MSU 3级

(64.5%)。术后随访6~14(10.1±2.7)个月。

二、方法

1. 手术: (1)麻醉与体位:所有患者均采用气管插管全身麻醉。麻醉成功后患者取俯卧位,腹部悬空,双上肢外展固定,双侧髋、膝关节半屈曲位。调整手术床使责任节段椎间隙垂直于水平面。(2)设备选择:手术使用全脊柱内镜系统(EndoSurg Plus, UninTech, 青岛, 中国)及超声骨动力设备(XD880A, 水木天蓬, 北京, 中国)。(3)定位与通道建立:以责任节段为中心行正位透视,确定双侧椎弓根对称无旋转。于体表标记椎板下缘与下关节突内缘移行交界点(图2A)。局部注射0.01%肾上腺素以减少软组织出血。取1 cm横行切口,深层腰背筋膜切口略长于表皮切口,防止深层积水。使用一级导棒穿过软组织后触探骨性结构,定位下关节突、椎板及椎板间窗的基本轮廓,然后使用扩张套管逐级扩张并不断钝性剥离骨面软组织。置入U型工作套管,尽量使套管垂直于床面。透视确认节段正确、位置满意后接入内镜。(4)骨性结构成型:用U-T套管旋转配合分离软组织,灵活借助套管舌片、射频和髓核钳等工具,清理并识别椎板下缘、下关节突内侧缘、V点和椎板间窗等结构。应用环锯成型椎板,第一锯成型位于V点与下关节突内缘中下1/3处。此处下方有上关节突和黄韧带保护,可以最大程度避免硬膜损伤。然后由外向内依次成型上下椎板,头尾至黄韧带止点,内外显露双侧黄韧带中间缝隙及同侧黄韧带外缘。(5)椎管减压:沿黄韧带头尾及外侧止点将其边缘离断后整片切

除,及时对软组织和椎管内静脉丛进行止血,显露硬膜及同侧神经根。仔细探查神经组织与钙化物之间的关系,小心分离存在的粘连。先从神经根肩部以片状刀头切割钙化物,将钙化物分割成小块后使用髓核钳及椎板咬骨钳拖出(图2B~D)。调整工作套管位置至神经根腋部,再次以超声骨刀切割钙化物后清理突出的髓核组织(图2E)。(6)骨化物切除范围及减压目标:在超声骨刀的辅助下可以实现钙化物的完全切除,但应注意保护正常椎体组织。在切除掉钙化物顶端并清理突出的髓核组织后,将探针深入椎间隙,由内向外探查椎体与钙化组织边界,使用侧磨刀头打磨钙化物边缘(图2F)。由于钙化的纤维环在被完全去除,所以术中应尽可能的清理可及的髓核组织,以降低术后复发的发生率。最终探查硬脊膜搏动恢复,表面血管充盈;硬脊膜神经根在椎管及侧隐窝内全程可见且张力不高(图2G)。视野内充分止血后,于对侧再次建立通道,重复上述操作处理对侧骨性致压物(图2H)。术后不放置引流。(7)术后处理:术后予心电监护4~6 h,卧床12 h。术后24 h内应用激素缓解神经根水肿,密切观察双下肢感觉、肌力变化。术后第1天早期适度下床活动,复查腰椎CT及MR。无特殊不适于术后第2天出院(图3, 4)。

2. 临床及影像评估:记录手术时间,术中、术后并发症。术前采用视觉模拟量表(visual analogue scale, VAS)评价患者腰部及下肢疼痛情况,采用Oswestry功能障碍指数(Oswestry disability index, ODI)评价患者肢体功能障碍情况。术后第1天及第1个月再次进行评估;此后每3个月随访1次。于末次随访采用改良MacNab分级标准评价最终临床疗效。所有患者术前行腰椎X线片、CT平扫和MRI平扫检查。术后第1天复查腰椎CT平扫和MRI平扫;部分患者根据下肢神经症状变化情况在随访时行CT或MRI平扫检查。使用Image J软件于MRI测量硬膜囊横截面积,并计算术后硬膜囊面积改善率。术后硬脊膜囊截面积改善率=(术后硬脊膜囊截面积-术前硬脊膜囊截面积)/术前硬脊膜囊截面积×100%。于CT轴位测量钙化物最大突出面积,计算钙化物清除率。钙化物清除率=(术前钙化物面积-术后钙化物面积)/术前钙化物面积×100%。

3. 统计学处理:使用SPSS统计学软件对收集的数据进行统计学分析。满足正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示。选用 t 检验对手术前、后差异进行差

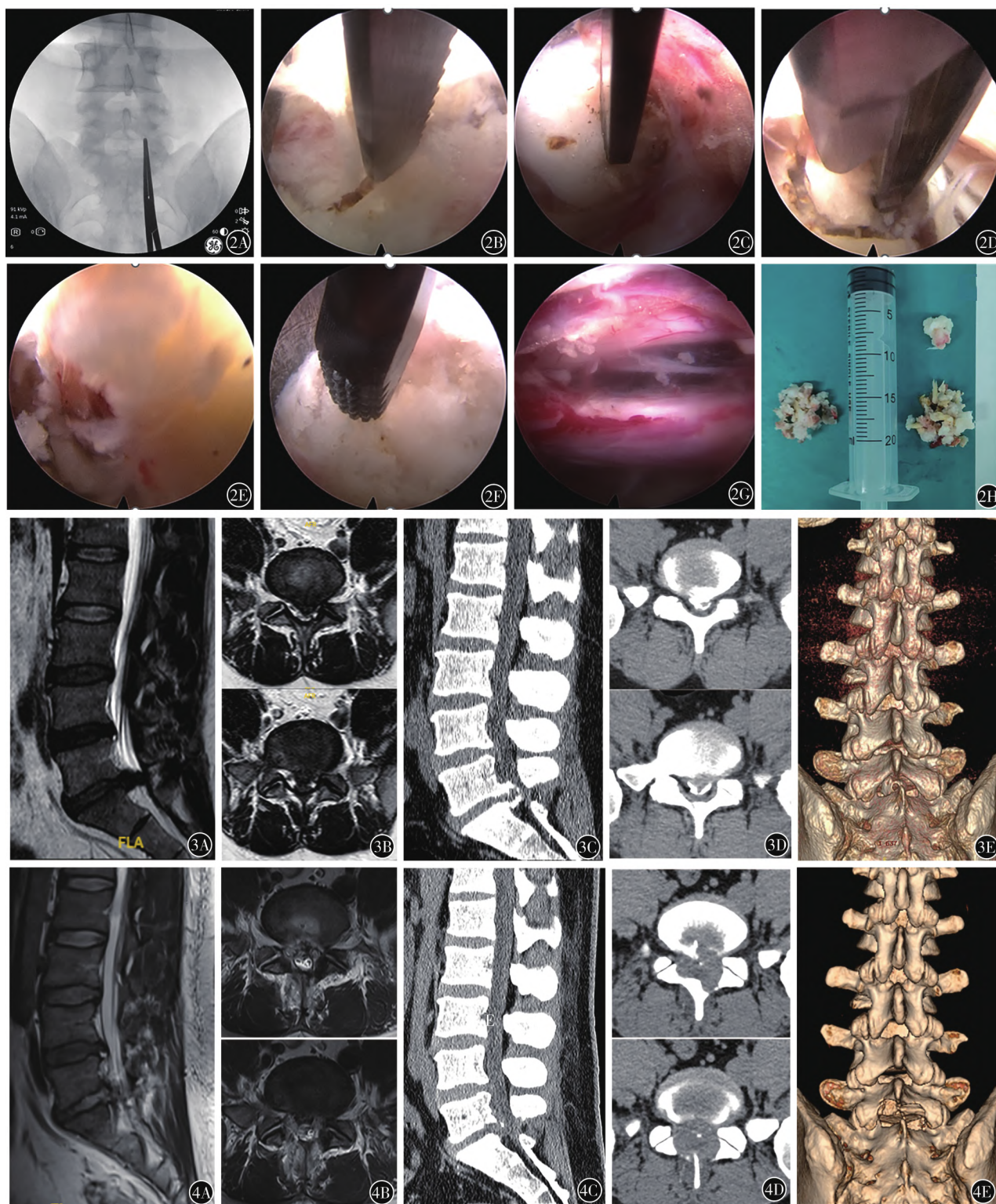


图2 患者男33岁,诉腰痛伴双大腿后侧麻痛2个月,大小便困难 A定位责任节段下椎板及下椎弓根内侧交界处 B自神经根肩部使用片状镜下超刀切割钙化物 C自神经根根部切割钙化物 D,E以椎板咬骨钳清除切割成小块的钙化物及突出的髓核组织 F使用侧磨刀头打磨钙化物边缘 G探查见神经根减压满意 H左右侧取出的骨块及髓核组织 **图3** 诊断为L5/S1重度钙化型腰椎间盘突出并腰椎椎管狭窄症 A,B术前MRI示L5/S1中央型椎间盘突出并椎管狭窄 C,D术前CT示中央巨大的钙化突出物 E术前CT三维重建 **图4** 行双切口椎板间入路脊柱内镜下腰椎间盘突出切除术。术后影像示钙化的突出物被完全清除 A,B术后MR示双侧硬膜膨隆,减压满意 C,D术后症状缓解满意。CT示双侧骨化物去除彻底 E椎板成型后的CT三维重建

异性检验。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

所有患者均顺利完成手术;手术时间为 103~165(127.8±19.0)min。术中无硬膜撕裂、神经根损伤等严重并发症发生。术后下地时间为(1.16±0.37)d;术后住院(2.23±0.48)d。患者术前及术后各时间点的腰、腿 VAS 评分、ODI 见表 1。术后次日、1、3 个月及末次随访时的腰、腿 VAS 评分及 ODI 均明显低于术前($P<0.05$)。末次随访时。根据 MacNab 疗效评定标准,等级 23 例为优,7 例为良,1 例为可;总优良率为 96.8%。

表 1 患者术前与术后随访 VAS 评分和 ODI 比较
($\bar{x}\pm s$, 分)

时间	腰 VAS	腿 VAS	ODI
术前	6.5±1.4	6.8±1.2	69.4±9.1
术后次日	3.4±1.3	3.3±1.3	35.4±5.0
术后 1 个月	2.0±1.2	1.9±0.9	27.6±5.8
术后 3 个月	2.0±1.3	1.4±0.5	19.0±4.0
末次随访	1.5±0.8	1.3±0.8	18.2±4.2

注:VAS 为视觉模拟评分;ODI 为 Oswestry 功能障碍指数。术后次日、1、3 个月及末次随访时腰、腿 VAS 评分和 ODI 与术前比较均降低($P<0.05$)

通过 CT 测量钙化物最大截面积,由术前的(79.6±10.6)mm²降低至术后的(2.0±1.9)mm²,清除率为 94.8%±6.4%。通过 MRI 测量硬膜囊截面积,由术前的(64.0±14.3)mm²增加至术后的(111.0±18.8)mm²;硬膜囊截面积改善率为 83.1%±29.4%。

有 2 例患者反应术后神经根支配区麻木,症状均在术后 1 个月内逐渐消退,随访期间内无复发病例。

讨 论

同轴脊柱内镜手术设备(Yeung endoscopic spine system, YESS)推动了腰椎间盘突出症治疗理念的重大变化,开创了内镜治疗脊柱退行性疾患的时代^[10]。脊柱内镜手术具有创伤小、恢复快的固有优越性,随着设备的迭代与理念的革新,其适应证不断拓展,处理部分复杂脊柱疾患的能力也逐步接近开放手术^[7-9]。

1. 手术难点:CLDH 是腰椎间盘突出症的特殊类型之一;其病理机制尚不明晰。目前认为可能是

退变椎间盘组织中释放的炎性细胞因子等直接促进骨桥蛋白表达,诱导骨祖细胞分化,最终导致异位钙化^[2-3, 11-12]。CLDH 的内镜治疗颇具挑战性,存在难点如下:(1)钙化的椎间盘组织质硬无弹性,在手术操作中留给神经组织回退缓冲的空间较小。(2)钙化的突出物常与周边组织广泛粘连,分离困难,医源性损伤风险高^[13]。(3)对于体积较大、与椎体连接紧密的钙化灶,常常由于器械与操作空间的限制,无法彻底清除而影响手术效果。

目前对于内镜治疗 CLDH 的报道多展示出了良好效果,但神经相关并发症的发生率仍较高。Kim 等^[6]分别通过经椎间孔入路与椎板间入路应用钙化漂浮技术治疗 31 例 CLDH 患者,短期随访取得了满意的疗效,但 6.5% 的患者出现了术后感觉障碍,3.2% 的患者出现了一过性肌力减退。Dabo 等^[5]对 30 例 CLDH 患者行经皮椎板间入路内镜下髓核摘除术治疗并与非椎间盘钙化患者进行对照。钙化组主要症状缓解满意,但术后感觉障碍的发生率显著高于非钙化组。Yu 等^[14]报道了 25 例 CLDH 患者在接受 PETD 治疗后症状得到缓解,但 7 例患者出现术后感觉障碍,1 例患者出现复发。

重度椎间盘突出,尤其是巨大的中央型椎间盘突出,是脊柱内镜治疗所面对的另一大难题。由于术中突出物完全切除难度大,且难以评估椎管减压是否充分,以至与其他类型的腰椎间盘突出相比,内镜治疗的疗效较差^[15-17]。随着成型技术的进步和器械的发展,上述难题在不断被攻克,但目前对于巨大钙化型椎间盘突出的内镜治疗仍鲜有报道。

2. 手术方式选择与技巧:本研究选取了 31 例 MSU 分级 3 级的重度 CLDH 患者^[9],其突出物顶点超出两侧上下关节突内缘交点连线。入组患者虽然大多未合并明显的关节突增生及韧带肥厚,但由于腹侧钙化椎间盘推挤,导致硬膜囊的形态分级达 Schizas C 级以上^[18]。对于此类间盘钙化范围广、神经受压重的患者,难以使用单侧路双侧减压的方式越过硬膜顶端实现对侧减压。推荐采用双切口的方式,从左右两侧各建立一个通道完成对腹侧钙化物的完全切除,以最大限度的获取操作空间,避免神经挤压,减少医源性损伤的可能。在保证患者安全性的基础上,实现硬膜及神经根的充分减压。切除钙化物前对硬膜囊及神经根的充分显露是手术成功的关键。椎板成型并整块剪除黄韧带以获

取最佳的视野及神经缓冲空间。在使用神经剥离子探明神经与钙化组织间的关系,小心分离存在的粘连后,使用超声骨刀将钙化组织分割成小块并取出。钙化的突出物表面通常有较多的微血管生成,切割前充分的软组织止血及预止血可帮助维持较清晰的镜下视野。

识别钙化组织与正常椎体的边界是另一要点。钙化物通常与椎体连接紧密,且难以在镜下视野中区分。术中可将探针深入椎间隙内,由内向外探明钙化物与终板及髓环之间的界限,选用合适的超声骨刀刀头在不伤及椎体的情况下磨除钙化组织。目前的研究表明,髓核摘除不完全以及纤维环完整性受损均为内镜下椎间盘切除术后复发的危险因素^[19-21]。对于 CLDH 的患者而言,钙化物的切除必然意味着整个纤维环的去除。建议术中应尽可能多的摘除游离的髓核并清理椎间隙内可及的髓核组织,以降低术后复发率。在本研究的随访中,未出现复发病例,也没有患者出现术后椎间隙塌陷、腰椎不稳等并发症。

3. 手术疗效及安全性:随着脊柱内镜理念及器械的进步,CLDH 不再是内镜手术的禁区。已有许多医生进行了探索并取得了积极的结果^[5-6, 14, 22],但对于巨大的钙化型椎间盘突出的内镜治疗仍鲜见报道。此类患者的治疗仍多采用传统的开放手术完全切除钙化的椎间盘,虽疗效确切但必然伴随着广泛的肌肉剥离及骨性结构切除。本研究通过超声骨刀辅助下 PEID 治疗重度 CLDH,能够实现钙化间盘的充分切除以及良好的硬膜囊、神经根减压。患者术后的神经症状和生活质量得到明显改善,并且具有明显的微创优势。术后能够实现早期下地,住院时间得以缩短。除 2 例患者术后一过性神经支配区麻木外,无手术相关并发症发生,表明 PEID 是一种安全、有效的治疗重度 CLDH 的手术方式。

4. 镜下超声骨刀的优势及注意事项:良好的临床疗效以及安全性离不开镜下超声骨刀的加持。传统手动器械,如咬骨钳、环锯、骨刀等依赖于术者主动发力。镜下操作时器械摆动幅度大,精细度较差,且骨性结构处理效率较低,难以满足切除钙化间盘的需求。高速磨钻等动力工具在处理效率上有了较大的提升,但高速旋转的磨头易在骨质表面滑移,存在卷入周边软组织的风险,对术者的操作要求较高。另外磨除骨质所产生的骨屑易遮挡镜下视野,阻碍操作进程^[23-25]。超声骨刀的应用大大

降低了镜下处理骨性结构的难度。相对于传统镜下器械具有以下优势:(1)组织选择性:其通过微幅纵向振动对声阻抗高的骨组织及钙化、矿化硬组织产生高效的力学破坏作用,而不会伤及低声阻抗的软组织,使术中血管神经及周边软组织损伤的几率显著下降。(2)高效稳定:超声骨刀在高效截骨的同时尖端较稳定,不易在骨质表面滑移,且不存在卷入周边组织的风险,操作难度相对较低。(3)镜下视野清晰:超声骨刀与骨界面产生的温度可以促进局部微血管的收缩,并提高凝血酶活性;其空化效应可促进血红蛋白的凝固和变性来加强局部的凝血功能,有利于维持镜下视野的清晰。

超声骨刀可以轻松的将钙化物分割成小块,使其更易在狭小的工作通道中去除,并可通过不同形状的刀头对残余的钙化组织进行修整,直到直视下确认神经减压效果满意。但仍以下问题需关注:(1)对硬膜钙化的患者应慎用。如前所述超声骨刀具有组织选择性且工作效能高,面对钙化的硬膜极易损伤。(2)避免过度侧向用力,镜下器械均较为纤细脆弱,且超声骨刀仅前方开锋处对骨骼具有切割作用。过度侧向用力不能增加切割效率,反而可能会导致刀头断裂。(3)避免同一位置停留过久。Hu 等^[26]曾报道 1 例患者因超声骨刀的热效应导致硬膜损伤。虽然超声骨刀工作产热相较高速磨钻更低,但仍不可忽视。

本研究为重度 CLDH 的内镜治疗做出了新的尝试,但受限于单中心、小样本量回顾性研究,临床结论仍有待进一步前瞻性大样本量的研究证实。超声骨刀辅助经皮椎板间入路脊柱内镜下椎间盘切除术治疗重度钙化型椎间盘突出症,可实现对钙化间盘的彻底切除以及充分的神经减压。其早期随访临床疗效确切,是一种安全、有效的术方式。超声骨刀可于镜下精准、安全、高效的处理骨性结构,拓宽了内镜手术的应用边界,具有广阔的应用前景。

参 考 文 献

- [1] Cheng XG, Brys P, Nijs J, et al. Radiological prevalence of lumbar intervertebral disc calcification in the elderly: an autopsy study[J]. Skeletal Radiol, 1996, 25(3): 231-235. DOI: 10.1007/s002560050070.
- [2] Karamouzian SH, Eskandary M, Faramarzee M, et al. Frequency of lumbar intervertebral disc calcification and angiogenesis, and their correlation with clinical, surgical, and magnetic resonance imaging findings[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2010, 35(8): 881-

886. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181b9c986.
- [3] Zehra U, Tryfonidou M, Iatridis JC, et al. Mechanisms and clinical implications of intervertebral disc calcification [J]. *Nat Rev Rheumatol*, 2022, 18(6): 352-362. DOI: 10.1038/s41584-022-00783-7.
- [4] Shen SC, Chen HC, Tsou HK, et al. Percutaneous endoscopic lumbar discectomy for L5-S1 disc herniation based on image analysis and clinical findings: a retrospective review of 345 cases [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2023, 102(5): e32832. DOI: 10.1097/MD.00000000000032832.
- [5] Dabo X, Ziqiang C, Yinchuan Z, et al. The clinical results of percutaneous endoscopic interlaminar discectomy (PEID) in the treatment of calcified lumbar disc herniation: a case-control study [J]. *Pain Physician*, 2016, 19(2): 69-76. DOI: 10.36076/ppj/2016.19.69.
- [6] Kim H.S., N. Adsul, Y.S. Ju, et al. Full endoscopic lumbar discectomy using the calcification floating technique for symptomatic partially calcified lumbar herniated nucleus pulposus [J]. *World Neurosurg*, 2018, 119: 500-505. DOI: 10.1016/j.wneu.2018.06.133.
- [7] 潘明铭, 鲍卫国, 孟斌, 等. 经椎间孔入路经皮内镜下椎间盘切除术的应用进展及并发症分析 [J]. *脊柱外科杂志*, 2018, 16(3): 183-188. DOI: 10.3969/j.issn.1672-2957.
- [8] Zhang S, Chen Z, Wu H, et al. Bone cutting processes and removal behaviors in orthopedic surgery with an ultrasonic orthopedic scalpel [J]. *Ultrasonics*, 2023, 131: 106966. DOI: 10.1016/j.ultras.2023.106966.
- [9] Mysliwiec LW, Cholewicki J, Winkelpleck MD, et al. MSU classification for herniated lumbar discs on MRI: toward developing objective criteria for surgical selection [J]. *Eur Spine J*, 2010, 19(7): 1087-1093. DOI: 10.1007/s00586-009-1274-4.
- [10] Yeung A. T. Minimally invasive disc surgery with the yeung endoscopic spine system (YESS) [J]. *Surg Technol Int*, 1999, 8: 267-277. DOI: 10.3109/9781420013962-11.
- [11] Loreto C, Musumeci G, Castorina A, et al. Degenerative disc disease of herniated intervertebral discs is associated with extracellular matrix remodeling, vimentin-positive cells and cell death [J]. *Ann Anat*, 2011, 193(2): 156-162. DOI: 10.1016/j.aanat.2010.12.001.
- [12] Shao J, Yu M, Jiang L, et al. Differences in calcification and osteogenic potential of herniated discs according to the severity of degeneration based on Pfirrmann grade: a cross-sectional study [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2016, 17: 191. DOI: 10.1186/s12891-016-1015-x.
- [13] Chen Y, Wang JX, Sun B, et al. Percutaneous endoscopic lumbar discectomy in treating calcified lumbar intervertebral disc herniation [J]. *World Neurosurg*, 2019, 122: e1449-e1456. DOI: 10.1016/j.wneu.2018.11.083.
- [14] Yu L, Wen JK, Wang S, et al. Removal of calcified lumbar disc herniation with endoscopic-matched ultrasonic osteotome-our preliminary experience [J]. *Br J Neurosurg*, 2020, 34(1): 80-85. DOI: 10.1080/02688697.2019.1687850.
- [15] Wu J, Yu B, He B, et al. Outcome predictors of the transforaminal endoscopic spine system technique for single-level lumbar disk herniation [J]. *J Neurol Surg A Cent Eur Neurosurg*, 2018, 79(4): 285-290. DOI: 10.1055/s-0038-1639503.
- [16] Wang Y, Yan Y, Yang J, et al. Outcomes of percutaneous endoscopic trans-articular discectomy for huge central or paracentral lumbar disc herniation [J]. *Int Orthop*, 2019, 43(4): 939-945. DOI: 10.1007/s00264-018-4210-6.
- [17] Choi KC, Lee JH, Kim JS, et al. Unsuccessful percutaneous endoscopic lumbar discectomy: a single-center experience of 10, 228 cases [J]. *Neurosurgery*, 2015, 76(4): 372-380; discussion 380-1; quiz 381. DOI: 10.1227/NEU.0000000000000628.
- [18] Schizas C, Theumann N, Burn A, et al. Qualitative grading of severity of lumbar spinal stenosis based on the morphology of the dural sac on magnetic resonance images [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2010, 35(21): 1919-1924. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181d359bd.
- [19] Kim JM, Lee SH, Ahn Y, et al. Recurrence after successful percutaneous endoscopic lumbar discectomy [J]. *Minim Invasive Neurosurg*, 2007, 50(2): 82-85. DOI: 10.1055/s-2007-982504.
- [20] Cheng J, Wang H, Zheng W, et al. Reoperation after lumbar disc surgery in two hundred and seven patients [J]. *Int Orthop*, 2013, 37(8): 1511-1517. DOI: 10.1007/s00264-013-1925-2.
- [21] Sencer A, Yorukoglu AG, Akcakaya MO, et al. Fully endoscopic interlaminar and transforaminal lumbar discectomy: short-term clinical results of 163 surgically treated patients [J]. *World Neurosurg*, 2014, 82(5): 884-890. DOI: 10.1016/j.wneu.2014.05.032.
- [22] Cheng Y, Zhang Q, Li Y, et al. Percutaneous endoscopic interlaminar discectomy for L5-S1 calcified lumbar disc herniation: a retrospective study [J]. *Front Surg*, 2022, 9: 998231. DOI: 10.3389/fsurg.2022.998231.
- [23] 周跃, 李长青, 王建, 等. 经皮椎间孔成形术治疗 L5/S1 神经根管狭窄症 [J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2009, 19(5): 345-349. DOI: 10.3969/j.issn.1004-406X.
- [24] 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. DOI: 10.3109/02688697.2013.812182.
- [25] 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. DOI: 10.3171/2013.2.SPINE12879.
- [26] 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. DOI: 10.1007/s00586-013-2780-y.

(收稿日期:2023-08-25)

(本文编辑:秦学军)

韩佳骆, 马学晓, 周传利, 等. 采用超声骨刀辅助椎板间入路脊柱内镜治疗重度钙化型腰椎间盘突出症的疗效观察 [J]. *骨科临床与研究杂志*, 2024, 9(1): 4-10.