

超声骨刀在颈椎手术中的应用进展

曹时亮, 李彦, 刘忠军

(北京大学第三医院, 北京 100191)

摘要 超声骨刀作为一种新型骨切割工具, 相比于传统骨切割工具具有选择性切割、切割精准平滑、防卷刮、操作便捷等诸多优势。近年来超声骨刀在颈椎手术中的应用逐渐成为研究热点。本文介绍了超声骨刀的技术原理和优势, 并从超声骨刀在颈椎手术中应用的疗效和安全性、超声骨刀在颈椎手术中应用的注意事项 2 个方面对超声骨刀在颈椎手术中的应用进展进行了综述, 以期临床提供借鉴。

关键词 超声骨刀; 颈椎病; 综述

近年来超声骨刀已被广泛应用于各种涉及骨质切除的手术中^[1-2]。相比于脊柱外科手术中常用的高速磨钻、咬骨钳等传统骨切割工具, 超声骨刀具有操作简便、切割精准、保护软组织等优势, 近年来在脊柱外科手术中的应用不断增多。部分研究者认为, 相比于传统骨切割工具, 颈椎手术中应用超声骨刀可减少术中出血、缩短手术时间、降低硬脊膜和神经损伤风险, 而且手术效果与传统骨切割工具相当, 可作为颈椎手术的首选骨切割工具推广使用^[3-4]。但颈椎手术区域解剖结构复杂, 手术并发症后果严重, 超声骨刀作为新型骨切割工具, 其在颈椎手术中应用的疗效和安全性仍需进一步观察^[4]。为此, 本文就超声骨刀在颈椎手术中的应用进展进行了综述, 以期临床提供借鉴。

1 超声骨刀的技术原理和优势

超声骨刀是通过压电效应, 使交流电流在压电陶瓷作用下由电能转换为高频率的机械振动, 通过空化效应、共振效应及机械碎裂作用而发挥骨切割作用^[1,5-7]。

超声骨刀独特的技术原理, 使其相较于传统骨切割工具拥有独特的优点: ①选择性切割。超声骨刀产生的机械振动的工作频率为 20 ~ 30 kHz、刀头振动幅度为 30 ~ 300 μm , 特定的工作频率和振幅, 使其可特异性切割坚硬的骨组织, 而具有不同组织密度和弹力属性的血管、神经、硬脊膜等软组织结构, 在此频率和振幅下可通过轻微位移避免损伤^[1,8-10]。②切割精准平滑。超声骨刀独特的扁平刀头使其易于控制, 切割更加精准。研究表明, 超声骨刀的骨切割精度可达

到 0.5 ~ 0.7 mm^[5], 而且切割面光滑, 基本无骨碎屑产生, 避免了传统骨切割工具遗留的粗糙骨面增加硬脊膜和神经损伤的风险^[11-12]。③自带冲洗冷却系统。高速磨钻在使用过程中需要使用注射器滴水降温, 而超声骨刀搭配有冲洗冷却系统, 使用过程中可通过喷洒水流对截骨部位进行冲洗和降温, 从而避免高温造成局部组织热损伤, 可对神经组织及硬脊膜起到很好的保护作用^[10]。④术野清晰。超声骨刀在使用过程中产生的瞬时高温和空化效应有一定的局部止血作用^[10,13], 而持续不断的水流冲洗使操作中无烟雾产生, 可保持术野清晰, 方便手术操作^[11,14]。⑤防卷刮。相比于高速磨钻、咬骨钳等传统骨切割工具, 超声骨刀独特的切割原理可使其避免在操作过程中卷刮周围其他软组织, 造成血管、神经、硬脊膜损伤^[15-16]。⑥操作便捷。超声骨刀刀头细小、整体结构较轻, 操作过程中手柄振动幅度小、稳定性高, 可单手操作^[17]。⑦有利于骨愈合。超声骨刀切割精准平滑, 可减少不必要的骨丢失^[18-19], 而且对于炎症反应相关的细胞因子级联反应干扰较少^[20]。Aimetti 等^[21]的研究显示, 相比于高速磨钻, 使用超声骨刀进行牙周手术患者的牙周白细胞介素 1 β 表达水平更低。Pereira 等^[22]的研究则显示, 与高速磨钻相比, 超声骨刀截骨后骨断面的成骨细胞有更好的生存能力。因此从理论上讲, 超声骨刀截骨后的切割面有更好的植骨融合能力和愈合能力。

2 超声骨刀在颈椎手术中应用的疗效和安全性

2.1 术后神经功能改善情况 从我们的文献检索结果来看, 大部分研究显示, 采用超声骨刀行颈椎手术的患者, 其术后神经功能评分和术后神经功能改善率与采用传统骨切割工具的患者没有明显差

异^[12,19,23-30]。Kim 等^[23]的前瞻性随机对照研究显示,使用超声骨刀进行颈后路手术,平均术后椎管横截面积大于高速磨钻组,2 组患者在随访期间神经功能均有明显改善,但 2 组术后神经功能评分的差异无统计学意义。仅 Dave 等^[7]的回顾性研究显示,采用超声骨刀进行颈后路手术的患者具有更高的神经功能改善率。因此,我们认为在颈椎术后神经功能改善方面,应用超声骨刀和传统工具并无明显差异。

2.2 出血量 超声骨刀的空化效应、局部高温作用、选择性切割等特点使其在控制出血方面相较于传统工具有巨大优势,而且使用超声骨刀手术时术野清晰,截骨操作较快,可进一步减少术中出血。而骨刀、咬骨钳、高速磨钻等传统骨切割工具在截骨过程中,常有松质骨表面渗血、损伤静脉丛出血等问题,影响手术视野,手术效率较低。多项研究显示,应用超声骨刀的颈后路手术中出血量少于应用高速磨钻的颈后路手术^[23-24,31-32]。刘宁等^[29,33]认为,与传统骨切割工具相比,颈前路椎间盘切除植骨融合术(anterior cervical discectomy and fusion, ACDF)中应用超声骨刀可减少术中出血。部分研究对颈后路手术中应用超声骨刀与传统骨切割工具的术后引流量进行了比较,结果显示超声骨刀组术后引流量少于传统工具组^[24,27,34-40]。

2.3 手术时间 与传统骨切割工具相比,超声骨刀具有操作简便、切割精准、术中出血少、术野清晰等优势,从理论上讲采用超声骨刀行颈椎手术可以缩短手术时间。多项研究显示,与传统骨切割工具相比,颈椎手术中应用超声骨刀截骨效率更高,手术时间更短^[19,25-27,29-32,34,37-39,41-42]。颈椎手术中缩短手术时间可减少出血量、缩短麻醉时间和切口暴露时间,从而有效降低围手术期并发症的发生率。多项研究显示,采用超声骨刀行前路椎体切除减压融合术(anterior cervical corpectomy with fusion, ACCF),术后患者吞咽困难发生率低于传统工具组,而且超声骨刀组手术时间较传统工具组明显缩短;研究者认为,超声骨刀组患者术后吞咽困难发生率低,与手术时间缩短,避免了术中长时间压迫食管及喉上神经有关^[19,25-27,29-32,34,37-39,41-42]。

然而有动物实验表明,在标准条件下,使用超声骨刀切割骨质所需时间比高速磨钻更长,但其切割后的骨表面更加光滑,软组织损伤更小^[11]。Grauvogel 等^[43]也认为,超声骨刀存在手柄粗短、刀头短等问

题,导致术者在 ACDF 中操作困难,手术时间延长;作者认为通过改善手柄和刀头设计,增加多角度刀头可能有助于解决这一问题。陈萧霖等^[28]的研究显示,在颈后路单开门手术中,应用超声骨刀和传统骨切割工具的手术时间无明显差异,但术者感觉超声骨刀的切骨效率更高。

2.4 硬脊膜损伤情况 与传统骨切割工具相比,超声骨刀具有选择性切割、切割精准平滑、防卷刮等优势,理论上可以降低颈椎手术中硬脊膜损伤的风险。Onen 等^[19]的研究显示,超声骨刀组硬脊膜损伤发生率低于高速磨钻组。Sun 等^[44]的研究显示,相比于高速磨钻,使用超声骨刀进行 C₂ 穹顶减压时脑脊液漏发生率更低。但我们检索到的其他文献^[7,23-29,31,33-37,45]均显示,颈椎手术中应用超声骨刀和传统骨切割工具,硬脊膜损伤发生率没有差异。Bydon 等^[46]在软骨发育不全合并胸腰椎椎管狭窄症患者的手术中使用超声骨刀,硬脊膜撕裂发生率高达 30%。这提示,在复杂脊柱疾病手术中,应用超声骨刀发生硬脊膜撕裂的风险较高。Hu 等^[6]在 128 例脊柱疾病患者的手术中使用超声骨刀进行截骨,2 例患者术中发生硬脊膜撕裂,损伤均与应用超声骨刀有关;作者建议使用超声骨刀截骨时应注意硬脊膜损伤的风险,特别是对于翻修手术或存在畸形的手术。Dave 等^[12]认为,超声骨刀可切穿钙化的硬脊膜而损伤神经组织,在使用超声骨刀进行颈后路椎板切除术前,应当认真阅读影像学资料,尽可能避免在有硬脊膜钙化的情况下使用超声骨刀。

2.5 神经损伤情况 神经根损伤、脊髓损伤或神经功能障碍是颈椎手术的严重并发症,最常见的是 C₅、C₆ 神经根麻痹。我们检索到的文献中,仅 1 项研究^[12]显示高速磨钻组术后一过性神经功能障碍发生率高于超声骨刀组,其余各项研究^[19,23-29,31,33-37,44-45]中超声骨刀组与传统骨切割工具组在神经功能并发症方面的差异均无统计学意义。Dave 等^[12]对 12 例脊柱手术后发生一过性神经功能障碍的患者进行了分析,考虑其可能为椎管减压后脊髓急性扩张所导致,并认为超声骨刀在减少此类并发症方面具有优势。Dave 等^[12]的研究中还报道了 1 例使用超声骨刀进行颈后路椎板切除术过程中损伤 C₅ 神经根的病例;该病例存在严重的后纵韧带骨化,导致椎管外侧极度狭窄,术中以超声骨刀切开椎板内层骨皮质时,造成椎板下神经根损伤;作者建议在使用超声骨刀切

除椎板时,应当避免完全破坏内层骨皮质。

2.6 热损伤与骨愈合情况 切割骨质过程中产生的热量和机械压力,是高速磨钻造成神经损伤的主要原因,而且热效应对于术后骨断面愈合有不利影响^[47-48]。尽管超声骨刀凭借其技术特点大大降低了对神经组织的机械性损伤风险,但其工作过程中的热效应仍不可避免。Onen 等^[19]使用超声骨刀和传统骨切割工具行椎板切除术治疗脊髓型颈椎病,结果超声骨刀组无患者因热效应导致神经或硬脊膜损伤。Kim 等^[23]的研究显示,接受颈后路椎板成形术的患者,术后 6 个月随访时磨钻组比超声骨刀组有更高的门轴融合率,但在术后 12 个月随访时 2 组门轴融合率的差异无统计学意义;作者认为这可能与超声骨刀工作过程中的热效应及高速水流冲洗带走局部成骨细胞有关。李彦等^[27]针对超声骨刀对颈椎后路单开门术后门轴融合率影响的研究结果与 Kim 等^[23]的研究结果相似;作者认为应用咬骨钳等传统骨切割工具术后早期门轴融合率更高,也认为这一结果与超声骨刀使用过程中的热效应有关。Hu 等^[6]回顾了 128 例使用超声骨刀进行脊柱手术的患者,1 例患者因超声骨刀刀头在同一位置切割时间较长,局部温度过高发生硬脊膜撕裂。

3 超声骨刀在颈椎手术中应用的注意事项

超声骨刀操作简单,所需学习时间较短^[49-50],但超声骨刀在颈椎手术中的使用技巧需要不断学习、总结^[12]。Sanborn 等^[10]进行了一项使用超声骨刀进行脊柱手术的动物实验,实验中仅第 1 只接受手术的动物发生硬脊膜撕裂。薛旭凯等^[36]在采用超声骨刀行颈后路单开门椎管扩大成形术的报道中,仅 1 例患者发生硬脊膜撕裂,该患者为术者初期应用超声骨刀进行手术的患者,后期接受手术的患者再未发生硬脊膜损伤。

术前仔细阅读影像学资料、制定严密的手术规划,可有效降低颈椎手术中应用超声骨刀损伤硬脊膜或神经的风险^[30]。Dave 等^[12,23]认为,在使用超声骨刀进行颈后路椎板切除术时,应避免对刀头施加过大的压力,通过轻柔“扫动”即可切开椎板骨松质和骨皮质,且应避免刀头在同一位置停留过久。Hu 等^[6]也认为超声骨刀在使用过程中,刀头应不断移动,避免持续切割同一位置,导致软组织热损伤。曹云等^[25]认为,握持超声骨刀时应双手握持,一手轻轻下压,另一手拮抗,以防止切割过深,损伤硬脊膜及神经组织。

多位学者均强调了超声骨刀切割椎板过深的危险性,对存在严重颈椎管狭窄的患者更应谨慎处理。我们认为 Dave 等^[12]的手术技巧值得借鉴,即使用超声骨刀切开椎板时,应避免完全切开椎板内层骨皮质,最后阶段使用咬骨钳通过扭转折断取下椎板。Grauvogel 等^[43,51]认为,在颈椎手术中应用超声骨刀应选择合适角度和尺寸的刀头,并做好术前手术规划。曹云等^[25]认为,在使用超声骨刀的过程中,应当在重要结构表面覆盖湿棉片进行隔离,避免热效应或机械效应的意外损伤。

4 小 结

目前对于超声骨刀在颈椎手术中应用的研究以回顾性研究为主,缺少大样本前瞻性随机对照研究。对于手术并发症的研究,我们检索到的文献纳入病例均较少,硬脊膜损伤、C₅ 神经根麻痹等颈椎手术常见并发症的发生率较低、相关报道较少,因而无法对超声骨刀的安全性进行深入探讨。目前对于超声骨刀在颈椎手术中应用的研究以颈后路椎板成形术或颈后路椎板切除术为主,而对于其在 ACCF 或 ACDF 中应用的研究较少。

总体而言,超声骨刀在颈椎前路和后路手术应用中疗效肯定、安全性高。在改善神经功能方面与传统骨切割工具具有相似的效果,而且可有效减少术中出血、手术时间及术后引流量;在减少硬脊膜损伤、神经损伤等颈椎手术并发症方面,超声骨刀相比传统骨切割工具更具优势。但超声骨刀作为颈椎手术中的新型设备,术者需要通过不断学习、积累,提高手术疗效,减少并发症。

参考文献

- [1] EGGERS G, KLEIN J, BLANK J, et al. Piezosurgery: an ultrasound device for cutting bone and its use and limitations in maxillofacial surgery [J]. Br J Oral Maxillofac Surg, 2004, 42(5): 451-453.
- [2] MIRZA A A, ALANDEJANI T A, AL-SAYED A A. Piezosurgery versus conventional osteotomy in rhinoplasty: a systematic review and meta-analysis [J]. Laryngoscope, 2020, 130(5): 1158-1165.
- [3] LIN Q, LIN T, WANG Z, et al. Safety and effectiveness of modified expansive open-door laminoplasty using an ultrasonic bone scalpel compared with a high-speed drill [J]. Clin Spine Surg, 2022, 35(1): E223-E229.
- [4] TARAZI N, MUNIGANGAIAH S, JADAAN M, et al. Comparison of thermal spread with the use of an ultrasonic oste-

- otomy device; sonopet ultrasonic aspirator versus misonix bonescalpel in spinal surgery [J]. J Craniovertebr Junction Spine, 2018, 9(1): 68 – 72.
- [5] PARKER S L, KRETZER R M, RECINOS P F, et al. Ultrasonic bone scalpel for osteoplastic laminoplasty in the resection of intradural spinal pathology: case series and technical note [J]. Neurosurgery, 2013, 73(1 Suppl Operative): 61 – 66.
- [6] HU X, OHNMEISS D D, LIEBERMAN I H. Use of an ultrasonic osteotome device in spine surgery: experience from the first 128 patients [J]. Eur Spine J, 2013, 22(12): 2845 – 2849.
- [7] DAVE B R, DEGULMADI D, DAHIBHATE S, et al. Ultrasonic bone scalpel; utility in cervical corpectomy. A technical note [J]. Eur Spine J, 2019, 28(2): 380 – 385.
- [8] VERCELLOTTI T. Technological characteristics and clinical indications of piezoelectric bone surgery [J]. Minerva Stomatol, 2004, 53(5): 207 – 214.
- [9] 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.
- [10] SANBORN M R, BALZER J, GERSZTEN P C, et al. Safety and efficacy of a novel ultrasonic osteotome device in an ovine model [J]. J Clin Neurosci, 2011, 18(11): 1528 – 1533.
- [11] OTAKE Y, NAKAMURA M, HENMI A, et al. Experimental comparison of the performance of cutting bone and soft tissue between piezosurgery and conventional rotary instruments [J]. Sci Rep, 2018, 8(1): 17154.
- [12] DAVE B R, KRISHNAN A, RAI R R, et al. The effectiveness and safety of ultrasonic bone scalpel versus conventional method in cervical laminectomy: a retrospective study of 311 patients [J]. Global Spine J, 2020, 10(6): 760 – 766.
- [13] HAZER D B, YAŞAR B, ROSBERG H E, et al. Technical aspects on the use of ultrasonic bone shaver in spine surgery: experience in 307 patients [J/OL]. Biomed Res Int, 2016 [2021 – 10 – 01]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27195299>.
- [14] SCHLEE M, STEIGMANN M, BRATU E, et al. Piezosurgery: basics and possibilities [J]. Implant Dent, 2006, 15(4): 334 – 340.
- [15] 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.
- [16] AL – MAHFOUDH R, QATTAN E, ELLENBOGEN J R, et al. Applications of the ultrasonic bone cutter in spinal surgery—our preliminary experience [J]. Br J Neurosurg, 2014, 28(1): 56 – 60.
- [17] MATSUOKA H, ITOH Y, NUMAZAWA S, et al. Recapping hemilaminoplasty for spinal surgical disorders using ultrasonic bone curette [J]. Surg Neurol Int, 2012, 3: 70.
- [18] RASHAD A, SADR – ESHKEVARI P, WEUSTER M, et al. Material attrition and bone micromorphology after conventional and ultrasonic implant site preparation [J]. Clin Oral Implants Res, 2013, 24(Suppl A100): 110 – 114.
- [19] ONEN M R, YUVRUK E, AKAY S, et al. The reliability of the ultrasonic bone scalpel in cervical spondylotic myelopathy: a comparative study of 46 patients [J]. World Neurosurg, 2015, 84(6): 1962 – 1967.
- [20] 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.
- [21] AIMETTI M, FERRAROTTI F, BERGANDI L, et al. Increase in periodontal interleukin – 1 β gene expression following osseous resective surgery using conventional rotary instruments compared with piezosurgery: a split – mouth randomized clinical trial [J]. Int J Periodontics Restorative Dent, 2016, 36(4): 489 – 496.
- [22] PEREIRA C, BATISTA F, JACOB R, et al. Comparative evaluation of cell viability immediately after osteotomy for implants with drills and piezosurgery: immunohistochemistry analysis [J]. J Craniofac Surg, 2018, 29(6): 1578 – 1582.
- [23] KIM C H, CHUNG C K, CHOI Y, et al. The efficacy of ultrasonic bone scalpel for unilateral cervical open-door laminoplasty: a randomized controlled trial [J]. Neurosurgery, 2020, 86(6): 825 – 834.
- [24] LI K, ZHANG W, LI B, et al. Safety and efficacy of cervical laminoplasty using a piezosurgery device compared with a high-speed drill [J]. Medicine (Baltimore), 2016, 95(37): e4913.
- [25] 曹云, 徐剑峰, 卿培东, 等. 超声骨刀在颈后路全椎板切除减压手术中的临床应用 [J]. 颈腰痛杂志, 2018, 39(6): 768 – 770.
- [26] 常再平, 王林. 超声骨刀与磨钻在长节段颈椎板切除术中的对比研究 [J]. 临床医学研究与实践, 2017, 2(7): 11 – 13.
- [27] 李彦, 姜亮, 刘忠军, 等. 超声骨刀在颈椎后路单开门椎管扩大成形术中的应用的安全性和有效性 [J]. 北京大学学报 (医学版), 2018, 50(6): 1092 – 1097.
- [28] 陈萧霖, 柯珍勇, 栗艾. 超声骨刀与传统工具在颈后路单

- 开门椎管扩大成形术中的临床对比[J]. 世界最新医学信息文摘, 2019, 19(35): 7-9.
- [29] 刘宁, 陈勤, 钟红发, 等. 超声骨刀在颈椎前路椎体次全切除手术中的运用[J]. 实用医学杂志, 2017, 33(18): 3081-3084.
- [30] 刘鑫, 王翔宇, 温冰涛, 等. 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[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2018, 28(4): 303-308.
- [31] 汪凡栋. 超声骨刀与高速磨钻在颈椎后纵韧带骨化伴椎管狭窄症行颈后路全椎板切除减压手术中的作用对比[J]. 颈腰痛杂志, 2018, 39(6): 800-802.
- [32] 王齐超, 王海蛟, 何兵, 等. 超声骨刀在颈椎椎板(C₃₋₇)单开门椎管扩大成形术中的应用[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2016, 31(11): 1121-1123.
- [33] LIU X, WEN B T, CHEN Z Q, et al. Ultrasonic osteotome versus high-speed burr in cervical anterior vertebral subtotal resection: a retrospective study of 81 cases[J]. Neurochirurgie, 2020, 66(5): 369-372.
- [34] 李玉伟, 王海蛟, 崔巍, 等. 超声骨刀在颈椎后路单开门椎管扩大成形术中的应用[J]. 中国修复重建外科杂志, 2017, 31(6): 683-689.
- [35] 刘有静. 超声骨刀在颈椎及腰椎后路手术中应用的有效性及安全性研究[D]. 合肥: 安徽医科大学, 2019.
- [36] 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[J]. 中国骨科临床与基础研究杂志, 2016, 8(2): 75-80.
- [37] 张吉涛, 陈佳, 李政, 等. 超声骨刀在脊髓型颈椎病全椎板切除术中的应用[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2018, 28(3): 234-238.
- [38] 郑羽晨, 张睿, 陈晓生, 等. 超声骨刀在颈椎后路单开门术中的应用[J]. 深圳中西医结合杂志, 2018, 28(20): 80-83.
- [39] 周兴华, 杨敏, 李涛, 等. 超声骨刀与咬骨钳在颈椎后路单开门术中应用效果比较[J]. 临床骨科杂志, 2018, 21(1): 11-13.
- [40] 郭亮兵, 潘玉林, 郭小伟, 等. 超声骨刀截骨和高速磨钻截骨行颈后路单开门椎管扩大成形微型钛板内固定治疗多节段脊髓型颈椎病的对比研究[J]. 中医正骨, 2021, 33(8): 23-27.
- [41] 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[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2017, 27(6): 539-544.
- [42] 朱金文, 郝定均, 郭云山, 等. 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[J]. 中国修复重建外科杂志, 2018, 32(12): 1554-1559.
- [43] GRAUVOGEL J, SCHEIWE C, KAMINSKY J. Use of Piezosurgery for removal of retrovertebral body osteophytes in anterior cervical discectomy[J]. Spine J, 2014, 14(4): 628-636.
- [44] SUN B, XU C, WU S, et al. Efficacy and safety of ultrasonic bone curette-assisted dome-like laminoplasty in the treatment of cervical ossification of longitudinal ligament[J]. Orthop Surg, 2021, 13(1): 161-167.
- [45] 李玉伟, 王海蛟, 崔巍, 等. 超声刮匙在颈椎前路椎间盘切除融合术中应用的安全性和有效性评价[J]. 中华医学杂志, 2020, 100(9): 669-673.
- [46] 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.
- [47] SINGH T S, YUSOFF A H, CHIAN Y K. How safe is high-speed burring in spine surgery? An in vitro study on the effect of rotational speed and heat generation in the bovine spine[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2015, 40(15): E866-E872.
- [48] HOSONO N, MIWA T, MUKAI Y, et al. Potential risk of thermal damage to cervical nerve roots by a high-speed drill[J]. J Bone Joint Surg Br, 2009, 91(11): 1541-1544.
- [49] SALAMI A, MORA R, MORA F, et al. Learning curve for piezosurgery in well-trained otological surgeons[J]. Otolaryngol Head Neck Surg, 2010, 142(1): 120-125.
- [50] MELLER C, HAVAS T E. Piezoelectric technology in otolaryngology, and head and neck surgery: a review[J]. J Laryngol Otol, 2017, 131(S2): S12-S18.
- [51] NOETZEL N, FIENITZ T, KREPPPEL M, et al. Osteotomy speed, heat development, and bone structure influence by various piezoelectric systems - an in vitro study[J]. Clin Oral Invest, 2019, 23(11): 4029-4041.

(收稿日期: 2021-11-05 本文编辑: 李晓乐)

(上接第 35 页)

- [21] 郭小双, 郑剑南, 曹俊青, 等. 六味地黄丸配合阿仑膦酸钠治疗肝肾阴虚型绝经后骨质疏松症的临床研究[J]. 湖北中医药大学学报, 2018, 20(2): 82-84.
- [22] 王雷, 李盛华. 六味地黄丸治疗绝经后骨质疏松症作用机制[J]. 中国骨质疏松杂志, 2021, 27(7): 1042-1049.
- [23] 易生辉, 招文华, 任辉, 等. 中西医治疗绝经后骨质疏松症的研究进展[J]. 中国实验方剂学杂志, 2022, 28(5): 274-282.
- [24] 温明韬, 梁学振, 李嘉程, 等. 基于网络药理学与分子对接技术探讨六味地黄丸抗骨质疏松症的机制研究[J]. 中国骨质疏松杂志, 2021, 27(8): 1129-1134.

(收稿日期: 2022-03-16 本文编辑: 李晓乐)