

# 超声骨刀在开颅手术中的应用进展

马志海<sup>1</sup>, 张祎年<sup>2</sup>

1. 兰州大学第二医院/第二临床医学院, 甘肃 兰州 730030

2. 兰州大学第二医院神经外科/神经外科实验室/兰州大学神经病学研究所, 甘肃 兰州 730030

**摘要:** 超声骨刀 (Piezosurgery, PS) 是以压电效应产生的微振动为基础, 具有可以在不损伤周围软组织结构的情况下精确和选择性的骨切割特性, 且具有较高的安全性和易操作性, 因而被广泛应用到颅颌面外科等许多外科领域。近年来, 在神经外科开颅手术中, PS 在各种幕上及幕下开颅手术中被证明是安全有效的, 术后硬脑膜及静脉窦损伤、脑脊液漏等并发症发生率小, 还能减少骨质丢失、美容效果好、止血并保持术野清晰等特点。

**关键词:** 超声骨刀; 开颅手术; 颅骨切除术; 神经外科

中图分类号: R651.1+1

DOI: 10.16636/j.cnki.jinn.2020.02.020

## Advances in the application of piezosurgery in craniotomy

MA Zhi-Hai<sup>1</sup>, ZHANG Yi-Nian<sup>2</sup>. 1. Department of Neurosurgery, Lanzhou University Second Hospital, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730030, China; 2. Institute of Neurology, Lanzhou University Second Hospital, Lanzhou, Gansu 730030, China

Corresponding authors: ZHANG Yi-nian, Email: zyn1007@126.com

**Abstract:** Based on micro-vibration generated by piezoelectric effect, piezosurgery (PS) can achieve precise and selective bone cutting without damaging the structure of the surrounding soft tissue, with high safety and easy operation, and therefore, it is widely used in many surgical fields including craniomaxillofacial surgery. In recent years, PS has been proved to be safe and effective in various types of supratentorial and infratentorial craniotomy in neurosurgery, with low incidence rates of postoperative complications such as dural injury, venous sinus injury, and cerebrospinal fluid leakage, and meanwhile, it can reduce bone loss, achieve good cosmetic and hemostatic effects, and keep the surgical field clear.

**Key words:** Piezosurgery; Craniotomy; Craniectomy; Neurosurgery

超声骨刀 (Piezosurgery, PS) 最初由 Vercel-Lotti 等人<sup>[1]</sup>于 2000 年用于牙科和口腔外科手术, 它以压电效应产生的微振动为基础, 具有可以在不损伤周围软组织结构的情况下精确和选择性的骨切割特性, 且安全性高和易于操作, 因而被广泛应用到颅颌面外科、耳外科、脊柱外科、整形外科等许多外科领域<sup>[2-6]</sup>。近年来, 在神经外科开颅手术中, PS 被用来切割颅骨及内听道等<sup>[5,7-13]</sup>。本文就 PS 在开颅手术中的应用背景、较传统开颅手术器械的优势、安全性及有效性、局限性等进行综述。

### 1 PS 的结构及基本原理

PS 系统主要由主机、应用软件、手柄、不同类型

的刀头、脚踏开关及冷却系统组成。它主要通过压电效应达到选择性地切割矿化骨而不损伤其下的软组织的目的: 当外加电场作用于构成切割器核心的陶瓷元件, 可以使压电材料快速变形从而产生适当频率和振幅的超声波, 然后引起刀头微振动并产生能量, 作用于不同密度及弹性的组织, 其中绝大部分被坚硬的骨组织所吸收, 并通过机械碎裂效应及空化效应发挥骨切割作用, 切割骨组织时设备振动的频率通常需要设置在 24 kHz ~ 36 kHz 之间, 而切割软组织所需要的频率必须高于 50 kHz<sup>[5,7,11]</sup>。

简言之, 压电技术特点如下: ①选择性切割, 因为这些特定的超声波频率对骨质产生有效的切割

**基金项目:** 兰州大学第二医院院内引进人才科研专项 (ynyjrcyzyx2015-4-02); 兰州大学第二医院萃英科技创新计划 (CY2017-MS04)。

**收稿日期:** 2020-01-16; **修回日期:** 2020-03-17

**作者简介:** 马志海 (1996-), 男, 东乡族, 硕士研究生, 主要从事颅脑肿瘤、脑出血的基础与临床研究。

**通信作者:** 张祎年 (1982-), 男, 副主任医师, 副教授, 博士生导师, 主要从事颅脑肿瘤、多发性硬化、癫痫等基础与临床研究。Email: ery\_zhangyinian@lzu.edu.cn

作用,降低了对软组织的损伤风险;②微切割,由于刀头尖端的微振动,使得截骨非常精细,骨损失最小;③通过特定的超声频率和持续同步的冲洗,降低骨坏死和无血手术部位的风险<sup>[11]</sup>。

## 2 PS 在开颅手术中的应用背景

通过上世纪众多神经外科医师的不懈努力,开创了颅骨钻孔及颅骨切除术,对各种颅内手术入路带来巨大的影响<sup>[14,15]</sup>。在开颅手术过程中,截骨是最依赖科技的步骤之一,因其极有可能损伤骨组织附近重要结构<sup>[10]</sup>,传统开颅器械可能会导致硬脑膜、静脉窦、脑实质和神经血管结构的损伤,而硬脑膜损伤会导致脑脊液漏并引起颅内感染、切口不愈合及低颅压等相关并发症<sup>[16-18]</sup>,骨孔和颅骨切割造成的骨间隙可影响美容<sup>[7]</sup>,且使用时产生的高温,可能会导致边缘性骨坏死并影响骨再生<sup>[10]</sup>。

因此,为了达到更高精度和安全性的需求,人们进行了许多探索,以创造和开发更好的骨切割器械<sup>[19]</sup>。近年来 PS 因其可以精确和选择性的骨切割特性、高安全性和易于操作等特点,应用于神经外科手术领域,旨在避免损伤血管、硬脑膜、静脉窦和脑实质等软组织结构,并尽可能减少颅骨切割引起的骨质丢失,进而降低颅骨切除手术可能的风险及潜在并发症的发生<sup>[2,5,7,11]</sup>。PS 已经被证明适用于幕上及幕下病变的各种开颅手术中颅骨的切割,以及在前庭神经鞘瘤手术中磨除内听道等<sup>[5,7]</sup>。

## 3 PS 较传统开颅手术器械的优势

### 3.1 切割选择性

PS 在 24kHz ~ 36 kHz 振动频率下工作时,因组织密度及弹力不同,仅能切割坚硬的骨组织,而不能切割邻近的血管、神经、硬脑膜及脑实质等软组织,因此可以将损伤神经血管结构的风险降至最低<sup>[5,7]</sup>。基于 PS 的原理,软组织钙化后其密度和弹力皆发生改变,因此 PS 在操作中对钙化的软组织会产生切割作用,Landi 等<sup>[20]</sup>利用此原理使用 PS 切除钙化胸椎间盘,治疗了创伤后钙化胸椎间盘突出症患者。另外,PS 在应用时不会卷刮周围软组织及棉片,因而与高速磨钻的旋转钻头相比,明显降低了由于钻头卷刮周围血管、神经、硬脑膜及脑实质等组织造成机械损伤的风险,与此同时,在用棉片保护切骨周围的软组织结构时,不必担心棉片被刀头卷刮而失去保护作用<sup>[6,21]</sup>。

### 3.2 切割精准性

PS 切割颅骨的特点是切开精确、开颅切口小、

美容效果好、不需要颅骨成形术等,但在成人患者的枕下开颅手术中,仍然会导致意外的小硬膜撕裂或乙状窦损伤<sup>[5]</sup>,由于 PS 切割后骨间隙极小,故可在额骨开颅手术时不影响美观<sup>[7]</sup>。

### 3.3 冷切割

传统的颅钻铣刀系统在使用过程中,但由于其工作时产生热量较大,容易造成局部过热,进而引起邻近的硬膜及静脉窦等组织热损伤,需要人为地进行局部滴水降温。与之相比,PS 系统与传统开颅器械相比,除了产生的热量低等特性,还自带冷却装置,可以大大降低热损伤及边缘性骨坏死的风险<sup>[10]</sup>。另外,PS 在工作时可以使血红蛋白瞬间凝固,有良好的止血作用,且操作时无烟雾及焦痂,术野清晰<sup>[6]</sup>。

### 3.4 其他

有研究表明,PS 较传统手术器械相比,可以明显减少切骨断端的出血量,说明 PS 可以减少术中出血量并且保持术野的清晰<sup>[22,23]</sup>。另外,有研究表明应用 PS 切骨时,骨质出血量较传统的切骨器械明显减少,研究者认为这是 PS 的热效应及空化效应所产生的局部止血作用所致<sup>[24]</sup>。在一项前瞻性研究中,PS 在疼痛、肿胀和骨再生等方面,与传统开颅器械相比没有显著差异,但 PS 组患儿的炎症标志物恢复得更快<sup>[2]</sup>。

## 4 PS 在开颅手术中的安全及有效性

根据 PS 的设计理念以及工作原理,理论上,PS 应用在开颅手术中,应具备高安全性及有效性。近年来,许多学者探讨了 PS 应用于开颅手术的有效性及安全性。

2005 年, Schaller 等<sup>[10]</sup>表明,在颅底和脊柱外科的截骨和整形中,使用 PS 是安全有效的,尤其在小儿神经外科中表现更为出色。然而, Martini 等<sup>[2]</sup>在一项针对患颅缝综合征儿童的前瞻性研究中提出,使用 PS 时应该使用与常规方法相同的预防措施来保护软组织,因为与常规手术相比,使用 PS 额眶区行颅骨切除术时发生了相同频率的硬脑膜和眶周损伤。

2011 年, Heredero Jung 等<sup>[12]</sup>人描述了一例蝶眶脑膜瘤手术,在标准的传统翼点开颅术后,用 PS 切割视神经管和眶上裂时未引起软组织损伤。Iacoangeli 等<sup>[8]</sup>人 2015 年在一系列共 8 例额眶区和眼眶肿瘤手术中,使用 PS 切开眼眶,未观察到与 PS 使用相关的软组织损伤。

2011年,Grauvogel等<sup>[9]</sup>报道了在前庭神经鞘瘤手术中使用PS切割内听道的初步经验,且认为PS是一种非常安全、精确和方便的术中技术,因为其选择性骨切割特性大大降低了外科医生的压力和损伤神经血管组织的危险,与此同时,未观察到对电生理监测、听力或面神经保留率的负面影响。2017年,该团队又用PS对Graves病患者进行眼眶减压手术,临床效果良好且无术后并发症<sup>[25]</sup>。同年,该团队联合应用PS、神经导航、神经内镜和术中神经监测等多种技术,经乙状窦后入路切除岩骨胆脂瘤,确保了更好的术中可视化、更安全的骨切除和神经功能的保留,提高病变完全切除率而不损伤相邻血管、神经及脑实质,证明了乙状窦后入路联合多种术中辅助技术有效而安全,可以彻底清除复发性岩骨胆脂瘤,并提高术中可视化程度和保留颅神经功能的可能性<sup>[13]</sup>。2018年,Grauvogel等<sup>[5]</sup>又使用PS进行枕下外侧开颅术安全有效,但仍可能会意外损伤硬脑膜及静脉窦。

2019年,Vetrano等<sup>[7]</sup>使用PS进行许多开颅手术,总共300名患者,其中幕上肿瘤患者197例和幕下肿瘤患者103例,术后硬脑膜损伤13例(4.3%),但没有观察到主要的并发症(静脉窦、神经损伤及脑脊液漏),且骨瓣的骨化程度判定为最佳。证明PS是一种非常安全和精准的技术,可用于幕上及幕下颅骨切除术。由于PS选择性骨切割特性,可最大限度降低神经血管损伤的风险,故可以在硬脑膜静脉窦或后颅窝开颅手术中使用,在研究者的经验中,PS在适应症范围内使用时出现并发症的风险较小,需要治疗的脑脊液漏或帽状腱膜下积液的发生率为零。同年,Massimi等<sup>[11]</sup>也得出与前者一致的结论,认为PS是传统钻孔系统安全而有效的替代选择,尤其是在可能影响美容区域(如额眶区)的幕上开颅术,因其精细截骨特性可以使骨质损失明显减少。

综上,PS在各种幕上及幕下开颅手术中是安全有效的,术后硬脑膜及静脉窦损伤、脑脊液漏等并发症发生率小,还能减少骨质丢失、美容效果好、止血并保持术野清晰等特点。

## 5 PS在开颅手术中的局限性

PS是传统钻孔系统安全有效的替代选择,虽然其有众多优点,但其主要的局限性是耗时,并且需要一定的学习曲线才能正确使用这种设备<sup>[10]</sup>。Massimi等<sup>[11]</sup>研究显示,相较于传统开颅手术器械,

PS在颅骨切开时所用的时间几乎为前者的两倍,因此作者认为PS在后颅窝的开颅术中没有明显的优势(除非空间狭窄无法使用铣刀和咬骨钳),且在紧急情况下可能因手术时间增加而作用有限。PS的升级版——PSP(Piezosurgery plus)可以显著缩短颅骨切开的时间。手术时间将会随着学习曲线和PSP的使用而减少。

相反,Vetrano等<sup>[7]</sup>则认为PS与使用传统的铣刀相比,虽然略增加了开颅手术中颅骨切开时间,但它更容易进行硬脑膜密封和骨瓣固定,从而加快了整体手术的时间。因面部骨质较薄,因此使用PS切割骨组织时,对手术时间没有太大影响<sup>[2,26]</sup>。

另外,在开颅术中使用PS时,也可能会因操作不当而意外损伤硬脑膜及静脉窦,尤其是在年龄较大的患者中<sup>[5,7,11]</sup>。

## 6 总结与展望

PS作为一种新型、高效的手术器械,与传统开颅手术器械相比,具有可以精细和选择性骨切割、高安全性、易于操作、防卷刮、对周围血管神经组织损伤小以及低产热、良好的止血性能等优势,在切割颅骨时有切开精确、开颅切口小、有利于骨组织再生、美容效果好等特点。在神经外科领域的应用非常有前景,尤其与神经导航、神经内镜和术中神经监测等多种技术联合应用,可以减少神经、血管、脑实质等组织损伤,改善神经功能与预后,可能在将来会取代现有的传统开颅手术器械。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突。

## 参 考 文 献

- [1] Vercellotti T. Piezoelectric surgery in implantology: A case report-a new piezoelectric ridge expansion technique [J]. Int J Periodontics Restorative Dent, 2000,20(4):358-365.
- [2] Martini M, Rohrig A, Reich RH, et al. Comparison between piezosurgery and conventional osteotomy in cranioplasty with fronto-orbital advancement [J]. J Craniomaxillofac Surg, 2017,45(3):395-400.
- [3] Duerr FM, Seim HB, 3rd, Bascunan AL, et al. Piezoelectric surgery-a novel technique for laminectomy [J]. J Invest Surg, 2015,28(2):103-108.
- [4] Acharya AN, Rajan GP. Piezosurgery for the repair of middle cranial fossa meningoencephaloceles [J]. Otol Neurotol, 2015,36(3):444-447.
- [5] Grauvogel J, Masalha W, Heiland DH, et al. Piezosurgery-a safe technique to perform lateral suboccipital craniotomy?

- [ J ]. Oper Neurosurg ( Hagerstown ), 2018 , 15 ( 6 ) : 664-671.
- [ 6 ] 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.
- [ 7 ] Vetrano IG, Prada F, Perin A, et al. Piezosurgery for infra- and supratentorial craniotomies in brain tumor surgery [ J ]. World Neurosurg, 2019 , 122 : e1398-e1404.
- [ 8 ] Iacoangeli M, Di Rienzo A, Nocchi N, et al. Piezosurgery as a further technical adjunct in minimally invasive supraorbital keyhole approach and lateral orbitotomy [ J ]. J Neurol Surg A Cent Eur Neurosurg, 2015 , 76 ( 2 ) : 112-118.
- [ 9 ] Grauvogel J, Scheiwe C, Kaminsky J. Use of piezosurgery for internal auditory canal drilling in acoustic neuroma surgery [ J ]. Acta Neurochir ( Wien ), 2011 , 153 ( 10 ) : 1941-1947.
- [ 10 ] 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 [ J ]. Neurosurgery, 2005 , 57 ( 4 Suppl ) : E410.
- [ 11 ] Massimi L, Rapisarda A, Bianchi F, et al. Piezosurgery in pediatric neurosurgery [ J ]. World Neurosurg, 2019 , e625-e633.
- [ 12 ] Heredero Jung S, Dean Ferrer A, Solivera Vela J, et al. Spheno-orbital meningioma resection and reconstruction : The role of piezosurgery and premolded titanium mesh [ J ]. Craniomaxillofac Trauma Reconstr, 2011 , 4 ( 4 ) : 193-200.
- [ 13 ] Grauvogel J, Scheiwe C, Masalha W, et al. Piezosurgery -, neuroendoscopy -, and neuronavigation -assisted intracranial approach for removal of a recurrent petrous apex cholesteatoma : Technical note [ J ]. J Neurosurg Pediatr, 2018 , 21 ( 3 ) : 322-328.
- [ 14 ] Lopez Pinero JM. Nine centuries of cranial surgery [ J ]. Lancet, 1999 , 354 Suppl : SIV35.
- [ 15 ] Ormond DR, Hadjipanayis CG. The history of neurosurgery and its relation to the development and refinement of the frontotemporal craniotomy [ J ]. Neurosurg Focus, 2014 , 36 ( 4 ) : E12.
- [ 16 ] Lassen B, Helseth E, Egge A, et al. Surgical mortality and selected complications in 273 consecutive craniotomies for intracranial tumors in pediatric patients [ J ]. Neurosurgery, 2012 , 70 ( 4 ) : 936-943.
- [ 17 ] Vogel TW, Dlouhy BJ, Howard MA, 3rd. Don ' t take the plunge : Avoiding adverse events with cranial perforators [ J ]. J Neurosurg, 2011 , 115 ( 3 ) : 570-575.
- [ 18 ] Walcott BP, Neal JB, Sheth SA, et al. The incidence of complications in elective cranial neurosurgery associated with dural closure material [ J ]. J Neurosurg, 2014 , 120 ( 1 ) : 278-284.
- [ 19 ] Sherman JA, Davies HT. Ultracision : The harmonic scalpel and its possible uses in maxillofacial surgery [ J ]. Br J Oral Maxillofac Surg, 2000 , 38 ( 5 ) : 530-532.
- [ 20 ] Landi A, Marotta N, Mancarella C, et al. Management of calcified thoracic disc herniation using ultrasonic bone curette sono-pet ( r ) : Technical description [ J ]. J Neurosurg Sci, 2011 , 55 ( 3 ) : 283-288.
- [ 21 ] Kim K, Isu T, Morimoto D, et al. Anterior vertebral artery decompression with an ultrasonic bone curette to treat bow hunter ' s syndrome [ J ]. Acta Neurochir ( Wien ), 2008 , 150 ( 3 ) : 301-303.
- [ 22 ] 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.
- [ 23 ] 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.
- [ 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 ] Grauvogel J, Scheiwe C, Masalha W, et al. Piezosurgery in modified pterional orbital decompression surgery in graves disease [ J ]. World Neurosurg, 2017 , 106 : 422-429.
- [ 26 ] 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.