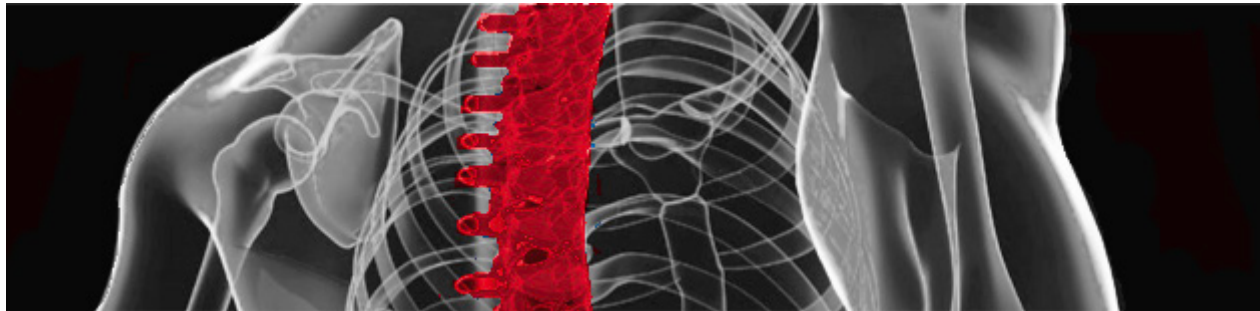


# **bone**scalpel<sup>®</sup> 超声波骨

## 解剖器：在脊柱外科中的应用 和手术技术指南



***Peyman Pakzaban, MD, FAANS***

休斯顿显微神经外科 - 德克萨斯州 休斯顿

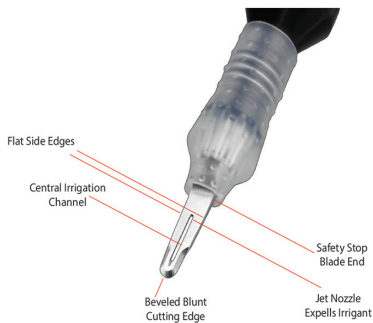
### 摘要

Misonix BoneScalpel 是一种新型超声波手术设备，可切割骨骼并保留软组织。这种对骨消融的相对选择性使得 BoneScalpel 非常适合必须在硬脑膜和神经结构附近切割骨骼的脊柱应用。该设备的广泛临床经验证实了其在脊柱手术中的安全性和有效性。本报告的目的是描述 BoneScalpel 的作用机制及其组织选择性的基础，回顾使用 BoneScalpel 不断扩大的临床经验（包括作者的个人经验），并提供一些使用这种革命性的整块骨去除的建议和方案。

## 介绍

超声波骨剥离术的出现对于今天的脊柱外科手术具有重要意义，就像几十年前采用风钻一样。电钻将脊柱外科医生从手动咬骨钳所特有的缓慢、重复、疲劳、偶尔危险的操作中解放出来。现在，使用 BoneScalpel 进行超声波解剖使外科医生能够以超过电钻的准确性和安全性切割骨骼。

BoneScalpel 更高的精度是 BoneScalpel 薄刀片的来回微运动的结果，而不是钻头毛刺的旋转宏观运动。这使得钻头可提供精细和精确的骨切割。此外，BoneScalpel 有两个属性可以提供更高的安全性。首先，消除旋转运动避免了与钻头相关的许多风险，例如从切割表面滑落和夹住重要的软组织。其次，BoneScalpel 比软组织更能切割骨骼。这种组织选择性乍一看似乎违反直觉，但在脊柱手术中非常有用，因为外科医生经常面临切割硬脑膜附近骨骼的任务。



## 作用机制

超声波是在特定频率范围内通过空气、水或组织等介质传播的机械能波。频率通常高于每秒 20,000 次振荡 (20 kHz) 并超过可听频率范围，因此得名超声波。在外科应用中，这种超声波能量从刀片传递到组织分子，组织分子开始响应振动。组织分子是否可以承受这种能量转移或被它破坏取决于组织的密度和振荡频率。密集的组织，例如骨骼，会被低超声范围内的频率消融。

BoneScalpel 组件由一个超声波发生器/冲洗控制台组成，该控制台连接到一个带有一次性切割尖端的手柄（图1）。切割尖端以每秒 22,500 次的速度来回摆动非常小的距离（低频超声波范围内的频率）。刀片有两个主要品种（正在开发其他品种）：刀片和剃刀尖（图2）。刀片的作用类似于超声波微型骨刀，可在骨骼中进行明确的切割，并用于整体去除大块骨骼。剃刀头的作用类似于非旋转毛刺，可选择性地消融小区域内的骨骼。集成的冲洗功能有助于清除骨屑并冷却切割尖端。

BoneScalpel 刀片的作用机制最好通过类比骨刀来理解（图3）。当骨刀被木槌敲击时，沿骨刀轴向下传递的能量会集中在其狭窄的尖端。然后，这种聚焦的能量从尖端转移到一条非常窄的骨带上，骨带随之分解，从而在骨中形成解理面的前缘。

就像骨刀一样，BoneScalpel 的刀片向前（和向后）移动（图4）。然而，这种运动的幅度远小于骨刀的幅度（35-300 微米），因此每次撞击时仅向骨骼传递少量能量。刀片来回移动以冲击骨骼的非常高的频率（22.5kHz）补偿了每次单独冲击的小能量，从而导致在接触点处将大量能量传递到骨骼。再一次，这种能量分解了一块狭窄的骨头并形成了一个劈裂平面

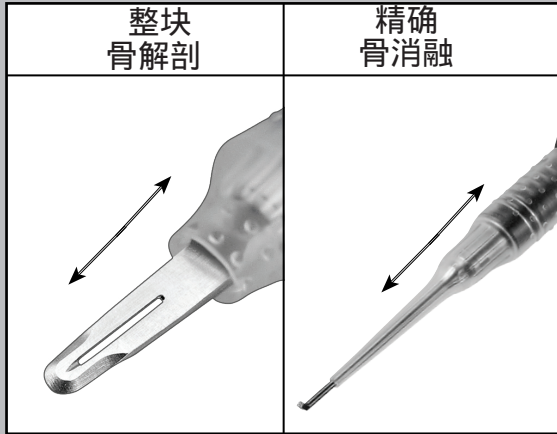


图2. 双骨切割技巧和技术：  
刀片（左）用于去除骨块  
而剃刀尖（右）用于精确骨消融。

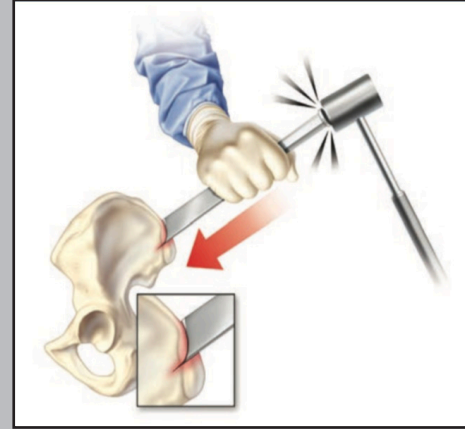


图3. 骨刀机制。

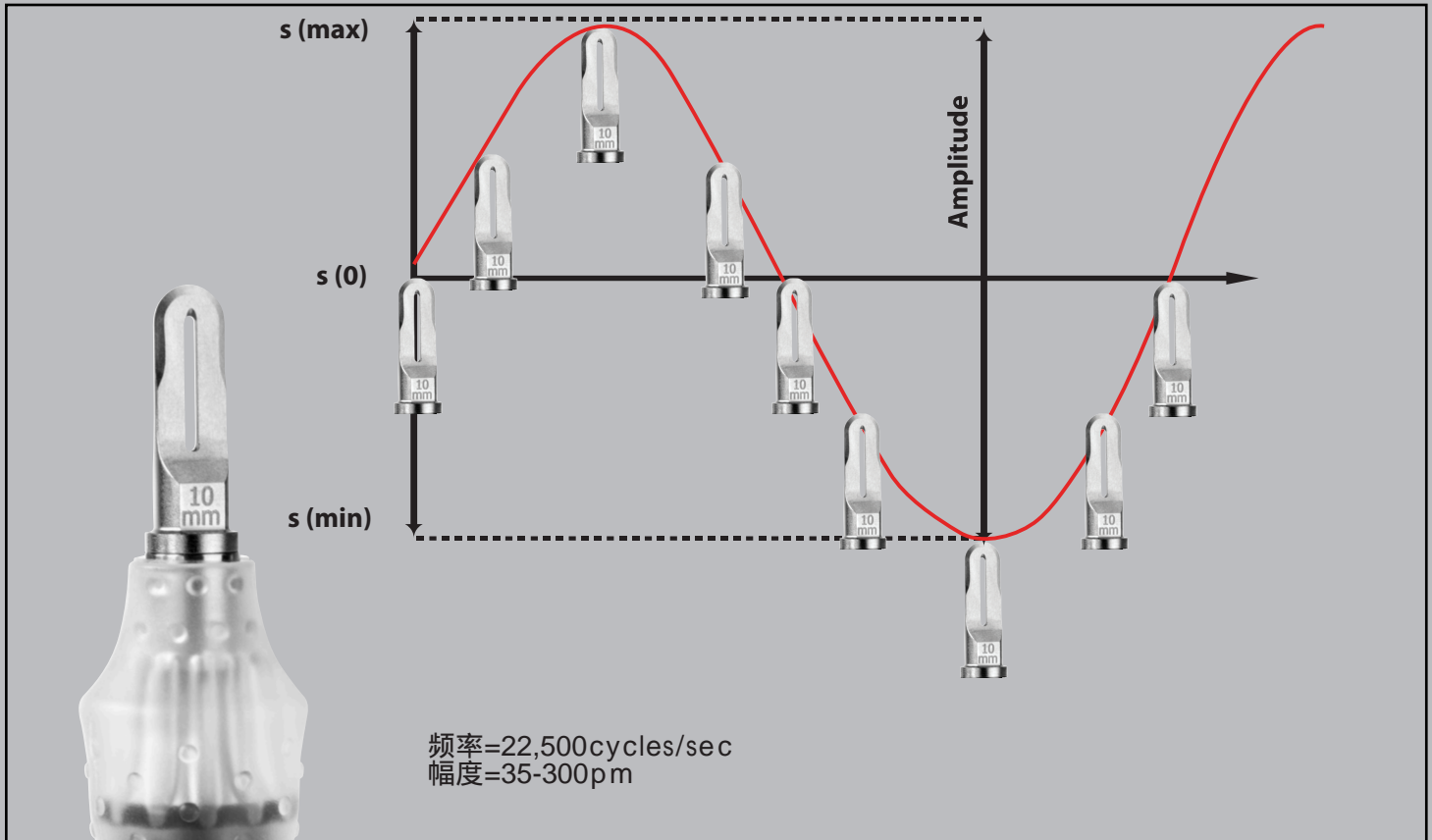


图 4. 骨手术刀刀片的来回微动以每秒 22,500 次循环发生。

## 组织选择性

BoneScalpel 用于骨切割的相对选择性与骨相对于软组织的相对刚性有关（图 5）。当 BoneScalpel 的刀片与刚性骨骼接触时，骨骼不会弯曲、变形或远离尖端。结果，大量能量在接触点转移到少量骨骼，导致该骨骼的破坏。相反，软组织结构（如中韧带、后纵韧带和硬脑膜）在与刀片接触时会弯曲、变形、移开和振动，从而抑制能量传递并保护组织免受破坏。

重要的是要注意这种选择性不是绝对的。有足够的时间和压力，软组织将被切割。在脊柱手术中安全有效地使用 BoneScalpel 取决于开发用于穿透骨内皮层的触觉“感觉”。在这种穿透发生后，刀片应在有限的压力下与下面的组织接触一段有限的时间。

## 骨切割技术

类似于刀片来回移动的微型骨刀，将有助于外科医生了解 BoneScalpel 通过向下（轴向）压力而不是左右（横向）运动更有效地切割。根据作者的经验，一个有用的切割双皮质骨的策略包括以下 3 个步骤：

1. 横向运动，轴向压力很小，对要切割的骨外皮层进行评分（图 6A）。
2. 轴向压力和自由横向扫掠以切开骨骼的松质中间部分（图 6B）。
3. 受控的周期性前/后运动，短横扫以穿透内骨皮质（图 6C）。该步骤主要涉及使用受控的轴向（向下）压力。一旦外科医生触诊到预期的内皮层裂口，他就会稍微撤回刀片，稍微向一侧移动并重复该序列。需要注意的是，人们通常无法通过创建的薄槽来观察下面的软组织，并且必须依赖触觉反馈。如果不确定是否穿透了皮质，外科医生可以暂时停止超声波作用，用骨刀刀片触诊内皮质，然后继续切割。

在执行第三步时，BoneScalpel 对骨切割的相对选择性提供了良好的安全边际，允许外科医生接触下面的硬脑膜。然而，对于外科医生来说，重要的是要避免以下陷阱。首先，一个人不能陷入硬脑膜。与任何其他手术工具一样，这种插入可能会切割硬脑膜并导致神经损伤。其次，不应在硬脑膜上逗留，以免过度发热和热损伤。一旦内部皮质被穿透，刀片就会被撤回并移动到相邻的位置。第三，当硬脑膜很可能附着在内骨皮质上时（例如存在硬膜外瘢痕或后纵韧带骨化），应避免使用该装置。在这些环境中，硬脑膜处于危险之中，因为在 BoneScalpel 整体穿透内皮层后，硬脑膜无法从 BoneScalpel 刀片上移开。此外，即使骨头被顺利切割，将其从下面的粘附硬脑膜上抬高也可能导致硬脑膜撕裂。或者，可以在硬膜外疤痕区域附近切下一片骨头，从相邻骨头的下表面解剖粘附的硬脑膜，在解剖区域切下另一片骨头并重复这些步骤，直到去除所需数量的骨头。

与钻头不同，安全有效地使用 BoneScalpel 的学习曲线非常短。在向其他外科医生教授这项技术时，作者提出以下建议：

- 通过在骨骼样本上练习，为 BoneScalpel 培养触觉“感觉”。重要的是不仅要了解何时穿透内皮层，还要熟悉有效切割骨骼所需的轴向压力量。
- 用 BoneScalpel 进行触诊。如果不确定内部骨皮质是否已被穿透，请暂时停止骨手术刀并用 BoneScalpel 刀片“触诊”残留的骨头。
- 计划要进行的削减。与手动咬骨钳或电钻不同，BoneScalpel 可整块去除骨骼。因此，必须提前计划并定义要切割的骨骼的边界。在本文的最后，提供了一些针对各种脊椎项目的切割“食谱”。
- 将项目分成更小的部分。尽管这可能看起来有悖常理，但将大型骨切割项目（例如，去除整个木材椎板）分成两个或三个较小的部分通常更有效。这样做将改善待切割骨的较厚或较深部分的可视化，并有助于从下面的韧带上抬高切割的骨块。

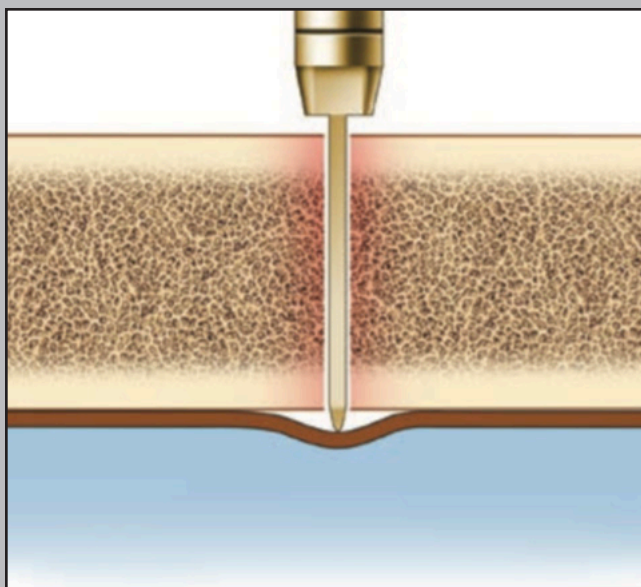


图 5. 从刀片到刚性骨骼与底层柔性软组织的不同能量传递是 BoneScalpel 组织选择性的基础。

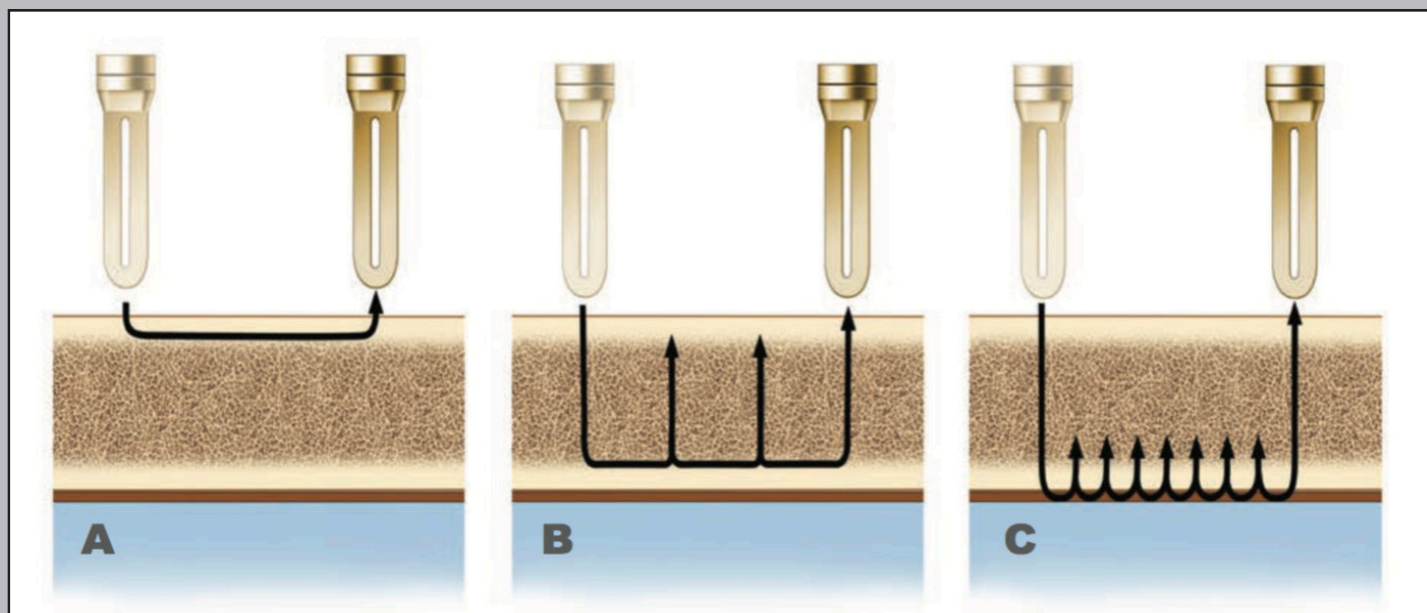


图 6. 切割双皮质骨的技术包括：A. 对外部皮质进行评分，B. 快速切割软松质骨，以及 C. 以受控的轴向压力反复穿透内部皮质。

## 与其他骨去除技术的比较

BoneScalpel 的属性在表 1 中与其他骨切割工具进行了比较详细的比较。重要的是要认识到这些技术不是竞争而是互补的。正如电钻和 Kerrison 咬骨钳在同一手术中并排使用以去除骨骼和韧带一样，BoneScalpel 正迅速成为脊柱外科医生工具箱中另一个不可或缺的工具，以解决其他设备无法完成的手术任务。具体来说，与高速钻相比，BoneScalpel 提供了几个显著特征。没有旋转运动是一个非常显著的优势，可以最大限度地减少滑动、破碎和组织截留（除草现象）。骨与软组织的相对组织选择性允许与硬脑膜短暂接触。在骨中进行精细切割的能力允许有效去除相对较大的骨块。骨碎片被最小化，并且收获的骨块可用作融合手术中的骨移植。

外科医生还注意到使用 BoneScalpel (1) 进行的手术中出血明显减少。超声波具有凝血作用，骨刀可以烧灼松质骨中的小静脉通道。这些热量通过 BoneScalpel 的高效灌溉机制迅速消散。更重要的是，在控制出血的同时，整块（相对于分段）去除骨可最大限度地减少硬膜外静脉出血的持续时间（以及总体积）。根据作者的实验，这显著减少了为经椎间孔融合进行的小面切除术中的硬膜外出血（图 9）。

## 临床报告

越来越多的文献描述了 BoneScalpel 在临床应用中的成功应用，从椎板成形术到获取用于肿瘤重建手术的骨皮肤aps。在审查这些临床报告之前，最好先在动物模型中进行实验研究。桑伯恩等人。宾夕法尼亚大学将使用手动器械和切割毛刺进行的椎板切除术与在绵羊模型中使用 BoneScalpel 进行的切除术进行了比较 (2)。两组之间未发现显著的临床或行为差异。术中神经生理监测显示两组之间没有差异。切割骨的组织学检查显示类似数量的炎症性和修复性变化。在每组中都注意到一个单一的硬脑膜切开术。实验组手术时间明显短于对照组。作者得出结论，BoneScalpel 可以在短距离内进行精确切割并缩短手术时间。Welch 是该研究的首席研究员，他在 BoneScalpel 方面积累了丰富的临床经验，他分享了他的临床印象，证实了该设备的许多上述属性，包括软组织保存、更薄的切口、通过整块去骨，减少出血 (1)。

关于在脊柱手术中使用 BoneScalpel 的最重要的临床报告来自约翰霍普金斯大学和德克萨斯背部研究所。雷西诺斯等人。约翰霍普金斯大学在 2009 年率先报告了使用 BoneScalpel 对 2 名患有硬膜内肿瘤的儿科患者进行骨板成形术 (3)。他们注意到产生的细骨切割

通过这种装置，可以在更换椎板后更紧密地重新接近骨边缘，从而提高骨愈合的机会。这在儿科人群中意义重大，因为椎板成形术后的快速骨整合可以防止进行性后凸畸形。同一小组在 2011 年的 AANS/CNS 脊柱部分会议上报告了其在成人和儿童椎板成形术中使用

BoneScalpel 的扩展经验 (4)，并且最近在神经外科 (5) 中发表了综合病例系列。在后一份报告中，Parker 等人。回顾性分析了 40 名患者（年龄范围：4 - 80 岁），

## BoneScalpel 技术比较

	电源			人手	
	BoneScalpel	高速钻	微锯	骨刀	凯里森冲床
切割频率	22,500 次/秒 (1,300,000 次/分钟)	~ 1,300 转/秒 (80,000 转)	~ 300 cps (20,000 cpm)	单冲程	单冲
手持件配置	直的/有角度的	直的/有角度的	直的/有角度的	直的	有角度的
切割方式	纵	旋转	纵向 横向	纵	颌状旋转
尖端类型	多个骨刀 + 剃刀 + 钻头 (即将推出)	多个毛刺 + 钻孔	单矢量摆动锯	单骨刀	多个单冲
尖端冷却	直接到活动边缘	间接/辅助	间接/辅助	不适用	不适用
精确度	非常高	高	高	高	高
最小切口尺寸	0.5 mm	2 mm	0.3 mm	2-3 mm	2-3 mm
轴向尖端位移	非常低	中等	中等	非常高	不适用
侧尖行走/偏离	非常低	非常高 (walking/skyving)	非常高 (双边偏离)	不适用	不适用
尖端惯性	非常低	非常高	高	非常高	不适用
提示停止/启动/停止	近瞬时	延迟	延迟	罢工后无法停止	不适用
冲击力	非常低	低	中等	非常高	高
尖端滑落的风险	非常低	非常高的组织损伤的风险	低	非常高	没有
整块骨解剖用于收获	非常好	较差的	缓和	非常好	不适用
额骨解剖	非常好	非常好	较差的	非常好	不适用
外侧骨解剖	刀片有限, 剃刀非常好	非常好	良好	不适用	缓和
细骨消融	非常好	非常好	不适用	不适用	不适用
骨屑	最小的不可见 & 冲出	非常高	最小的	不适用	非常高 咬块 - 每次启动都需要帮助
组织选择性	非常高	不适用	不适用	不适用	不适用
软组织相互作用	温和/无创伤 (减少需剃表面)	非常激进	非常激进	激进	激进
组织抓取/撕裂	没有	非常严重的组织损伤风险	对牙齿不友好	低	低到没有
使用类棉的能力	yes	no	no	不适用	不适用
减少骨出血	提前截骨术一般可观察到的显著性	不适用	不适用	不适用	不适用
散热考虑	控制灌溉 & 暴露时间	控制辅助灌溉	控制辅助灌溉	no	no
反复手疲劳	低	低	低	低	非常高

表 1. BoneScalpel 与其他骨切割工具的比较。

## BoneScalpel Technology Comparison

	Power			Manual	
	BoneScalpel	High Speed Drill	Micro Saw	Osteotome	Kerrison Punch
Cutting frequency	22,500 strokes/sec (1,300,000 strokes/ min)	~ 1,300 rotations/sec (80,000 rpm)	~ 300 cps (20,000 cpm)	single stroke	single punch
Handpiece configuration	straight / angled	straight / angled	straight / angled	straight	angled
Cutting mode	longitudinal	rotational	Longitudinal transvers	longitudinal	jawlike rotation
Tip types	multiple osteotome + shaver + drill (coming)	multiple burr + drill	Single sagittal oscillating saws	single osteotomes	single punches
Tip cooling	direct to active edge	indirect / ancilliary	indirect / ancilliary	n/a	n/a
Precision	very high	high	high	high	high
Minimal kerf size	0.5 mm	2 mm	0.3 mm	2-3 mm	2-3 mm
Axial tip displacement	very low	medium	medium	very high	n/a
Lateral tip walking / straying	very low	very high (walking/skyving)	very high (bilateral straying)	n/a	n/a
Tip inertia	very low	very high	high	very high	n/a
Tip stop/start/stop	near instantenous	delayed	delayed	cannot be stopped after strike	n/a
Impact force	very low	low	medium	very high	high
Risk of tip slippage	very low	very high risk of tissue injury	low	very high	none
En bloc bone dissection for harvest	very good	poor	moderate	very good	n/a
Frontal bone dissection	very good	very good	poor	very good	n/a
Lateral bone dissection	Limited with blade, very good with shaver	very good	good	n/a	moderate
Fine bone ablation	very good	very good	n/a	n/a	n/a
Bone debris	minimal not visible & flushed out	very high	minimal	n/a	very high bite chunks - require assistance with every actuation
Tissue selectivity	very high	n/a	n/a	n/a	n/a
Soft tissue interaction	gentle / atraumatic (reduced on shaving surfaces)	very aggressive	very aggressive	aggressive	aggressive
Tissue grabbing/ tearing	none	very aggressive risk of tissue injury	aggressive on teeth	low	low to none
Ability to use cottonoids	yes	no	no	n/a	n/a
Reduced bone bleeding	generally observable significant in advanced osetotomies	n/a	n/a	n/a	n/a
Thermal consideration	control irrigation & exposure time	control ancilliary irrigation	control ancilliary irrigation	no	no
Repetitive hand fatigue	low	low	low	low	very high

**Table 1.** Comparison of BoneScalpel to other bone cutting tools.



他们在约翰霍普金斯大学的 3 年期间接受了 BoneScalpel 骨板成形术治疗硬膜内脊柱病变。40 例均成功进行椎板成形术。注意到 1 例术中硬脑膜切开术，主要修复后没有神经或临床后遗症。他们评论说，这“发生在用户第一次使用该设备时，被认为是与热相关的线性缺陷，可能是由于内部层状皮层被切割后向下压力过大。”随访期。作者计划在预定时间点进行长期成像研究，以确定 BoneScalpel 产生的较薄的层状切口是否能改善椎板成形术后的骨整合。尼克尔等人。威斯康星大学最近发表了一份关于椎板成形术治疗硬膜内脊柱病变的类似报告，尽管规模较小，并得出了类似的结论 (6)。

德州背部研究所的 Lieberman 和 Hu 报告了他们在 2012 年首例 58 例 BoneScalpel 脊柱病例的经验 (7)，随后发布了他们对 128 例病例的扩展数据，年龄范围：12 - 85 岁 (8)。他们的病例系列包括表 2 中列出的各种诊断。所有手术均由一名外科医生执行。该设备用于脊柱的各个级别，每位患者的平均手术级别为 5 级。作者在这些广泛的多层次手术中检测到“骨头的切割端明显没有出血”。发生了两次偶然的硬脑膜切开术，一次是由于长时间接触硬脑膜后的热损伤，另一次是由于在翻修病例中硬脑膜与骨骼的粘附。在这两种情况下，硬脑膜都以不漏水的方式成功缝合。未发生神经损伤。作者总结道：“BoneScalpel 是一种安全有效的设备，可用于各种脊柱手术。该设备消除了脊柱手术过程中与高速毛刺和摆动锯相关的软组织损伤风险。”

初步诊断	案例
椎管狭窄	24
退行性脊柱侧凸	15
假关节	15
相邻段退化	11
特发性脊柱侧弯	11
退行性脊椎滑脱	10
椎间盘突出	9
平背综合症	7
转移性脊柱肿瘤	5
椎体压缩性骨折	3
先天性脊柱侧弯	2
脊柱后凸	2
硬体松动	2
骶骨骨折	2
休门脊柱后凸	2
脊椎病	2
脊柱肿瘤	2
多发性黑瘤	1
椎体肉瘤	1
硬膜外血肿	1
Psuedoarticulation	1
总病例	128

表 2. 德克萨斯背部研究所的 Lieberman 和 Hu 系列诊断

随着外科医生获得使用 BoneScalpel 的经验，正在探索新的领域。来自捷克共和国的一份有趣的报告描述了一种微创手术，其中使用骨刀纵向分割棘突，通过使用定制设计的牵开器将两个半椎板分离开来执行“弹性椎板成形术” (9)。

最近，约翰霍普金斯大学报告了使用 BoneScalpel 结合内窥镜进行微创颅缝早闭手术 (10)。口腔颌面外科医生和耳鼻喉科医生报告了使用 BoneScalpel 进行下颌截骨术和获取骨皮瓣以重建肿瘤缺损的广泛而良好的经验 (11-13)。他们也注意到了薄而精确的骨切割、减少出血以及减少软组织和神经损伤的好处。

作者 (Pakzaban) 使用 BoneScalpel 的经验见表 3。从 2010 年到 2013 年，作者使用 BoneScalpel 进行了 218 次手术，包括颈椎、胸椎和腰骶椎的后路和前路手术。有 97 名男性和 121 名女性。平均年龄为 51 岁（范围 19 - 79）。大多数是退行性疾病的后路方法。由于 Bonescalpel 在进行快速且无血的小面切除术中非常有用，因此 TLIF 手术在这里的表现不成比例。BoneScalpel 还用于快速和无血的髂嵴骨移植收获，通常与该系列中的另一个 BoneScalpel 应用程序结合使用。

初步诊断	病例
用于退行性疾病或其他硬膜外病变的椎板切除术/椎板切开术	114
硬膜内病变的椎板切除术	19
用于 TLIF 的带或不带相邻椎板切除术的小面切除术	42
颈椎前路切除术	11
胸腰椎前路椎体切除术	4
颅骨	12
丁香嵴骨移植收获 (*加上 29 与另一个 BoneScalpel 手术相结合)	16*
总病例	218

表3. Pakzaban 骨刀盒系列

在作者的经历了发生了四次硬膜切开术（发生率 1.8 %）。所有都是长度小于 5 毫米的有限线性切口。在所有情况下，在沿着骨的切割边缘进行硬脑膜切开术后，再次使用骨手术刀去除相邻的骨片以进行硬脑膜修复。所有硬脑膜切开术都可以很容易地用缝合线以初级方式修复。这 4 例患者均未出现术后脑脊液漏或假性脑脊膜膨出。没有人因使用 BoneScalpel 而出现神经损伤或其他不良临床后遗症。前两个发生在作者体验的早期，由于剧烈的轴向压力导致刀片过热以及随后在骨穿透后与硬脑膜长时间接触。另外两个发生在硬膜外纤维化的情况下，导致硬脑膜粘附到内骨皮质上。作者能够使用 BoneScalpel 切割椎板，而不会穿透下面的粘附硬脑膜，但由于担心

硬脑膜撕裂而无法抬高骨块，不得不求助于对松散的椎板进行钻孔。从那时起，当硬脑膜粘附在骨头上时，作者就避免使用 BoneScalpel。随着经验的增加，作者为每个操作制定了正式的切割计划，以最大限度地提高每种情况下的效率和安全性 (1, 14)。这些将在下一节中描述。作者执行的代表性操作的视频可以在 <http://bonescalpel.misonix.com> 上观看。

作者的绝大多数操作和其他已发表的报告都是使用刀尖进行的。然而，当需要在关键结构附近去除少量骨头时，剃刀头也非常有用。作者目前正在积累一系列颈前孔切开术的病例，其中使用剃刀头对椎动脉附近进行完整的钩突切除。作者还在 12 次颅骨手术中使用骨刀切割了颅骨嵴，如枕骨大孔边缘、枕内嵴、蝶骨翼、颧弓、眶缘、额窦前、后台等。已经提出了一种较小的 BoneScalpel 手机，它将显著增强 BoneScalpel 及其剃刀头在颅内手术中的实用性，例如在动脉瘤手术中去除前床突。

作者对 BoneScalpel 的印象与上面详述的其他已发表报告一致。通过整块骨切除、减少骨碎片、使用收获的骨块进行移植的机会、促进椎板成形术后骨整合的薄切口以及（最重要的）软组织保存所实现的更高效率，前面都提到过。即使在发生硬脑膜切开术的罕见且可能可避免的情况下，它也没有任何后果。相比之下，旋转毛刺穿透硬脑膜会造成更大的硬脑膜撕裂和灾难性神经损伤的风险。

## 操作方法

以下切割计划只是建议。它们仅作为示例说明如何处理不同的骨切割项目。每个外科医生都应该根据具体的手术解剖结构和病例的病理情况，根据具体情况制定自己的计划。

作为附加资源，<http://bonescalpel.misonix.com> 上提供了演示其中许多方法的手术视频，并在适当时在下面引用。必须强调的是，不应将本文中的建议和随附的视频视为执行所示操作的充分和充分培训。与所有手术一样，推荐从简单到复杂的逐步进展、尸体工作和专家监督手术。

## 腰椎椎板切开术

至少需要 3 次切口：1) 沿棘突底部的矢状切口，2) 沿小关节内侧缘的矢状切口，以及 3) 在椎板中连接前两次切口的横向切口（图 7A）。

当通过一个小皮肤切口获得曝光时，人们会发现将这个手术分成两部分更容易。在进行两次矢状切口后，考虑在椎板下方进行横向切口，以移除椎板切开块的下半部分（图 7B）。这可以更好地暴露位于伤口更深处的椎板切除块的上半部分。后者在第二次横向切割后被移动并移除，在椎板更高处。

当存在肥大的小关节时，可能会以不同的方式排列切口（图 1）。

7C)。考虑在椎板较薄的部分上进行第二次矢状切开，以去除椎板切开块。然后沿着小关节的内侧做一个额外的矢状切口，去除后者的一片。第一步后黄韧带和硬脑膜的可视化有助于进行第二步所需的更深的骨切割。

## 腰椎椎板切除术

如果打算只切除椎板的下 2/3，这可以通过 3 次切口来实现：沿棘突两侧进行两个矢状切口，然后在棘突顶部进行轴向切口（图 8）。当然，在进行层状切割之前用咬骨钳去除棘突可能更容易。

如果计划移除整个椎板，则应考虑首先移除下 2/3。然后将上 1/3 作为一个单独的块移除。

## 腰椎小关节切除术

在某些手术中，可能需要进行完整的腰椎小关节切除术，有或没有相邻椎板切除术，例如经椎间孔腰椎椎间融合术。

这可以通过 3 次切割以快速和系统的方式实现。首先，沿关节间进行横向切割。接下来沿椎板的侧面进行矢状切口（图 9A）。这两个切口允许一个人分离并去除下关节突。

一旦下关节突被移除，上关节突的尖端可以通过单次切口截断（图 9B），从而提供神经孔和椎间盘的椎弓根到椎弓根暴露。

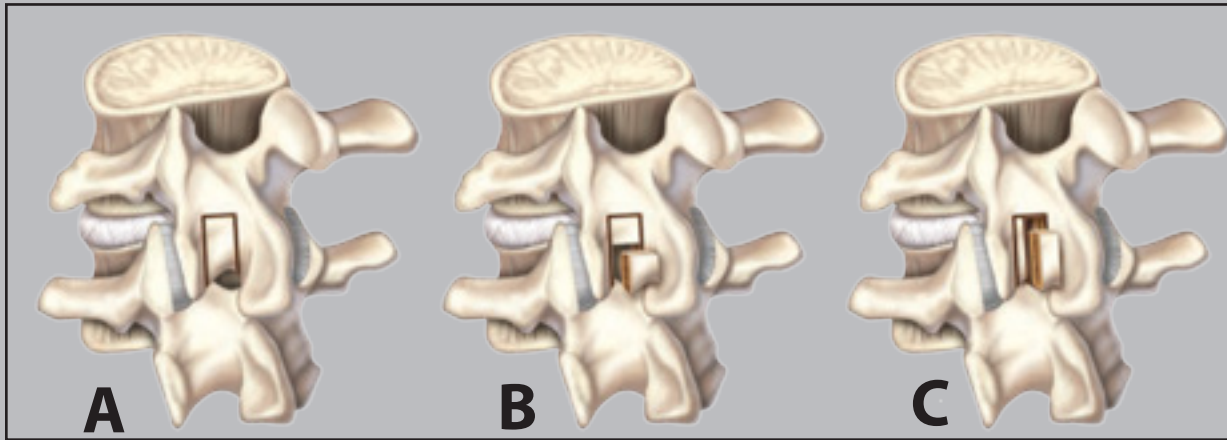


图 7. 腰椎椎板切开术

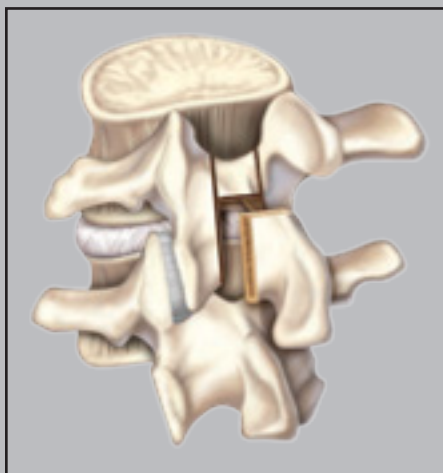


图 8. 腰椎椎板切除术

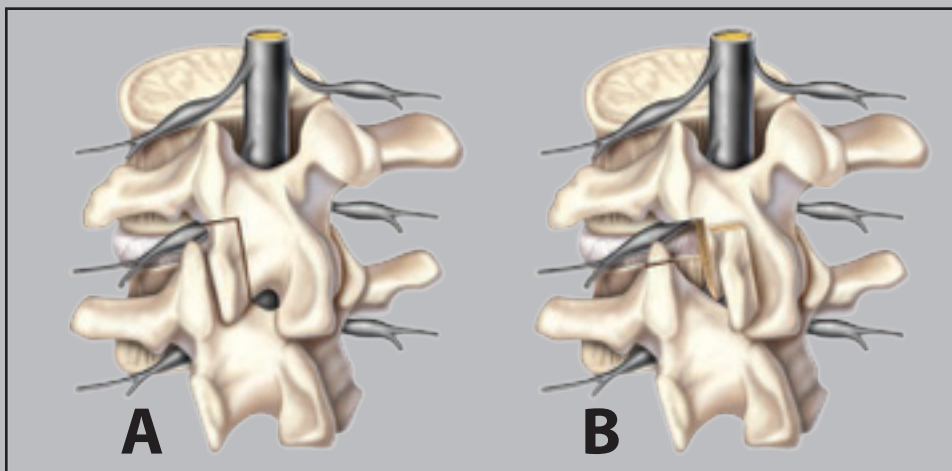


图 9. 腰椎小关节切除术

## 颈椎椎板切除术和椎板成形术

通过在多个椎板的任一侧进行 2 个平行切口，可以使用 BoneScalpel 快速执行多节段颈椎椎板切除术（图 10）。对于开门式椎板成形术，不应穿透“铰链”侧的内骨皮质。铰链侧可以用钻头准备。或者，可以在铰链侧使用 BoneScalpel 制作两个在其深度处相交的非常接近的外皮质切口（具有 V 形轮廓），然后移除外皮质骨的楔形以允许铰链打开（图 11）。

## 颈椎前路切除术

在感兴趣的水平上方和下方进行椎间盘切除后，建议首先切除椎体的前部。为了实现这一点，在椎体的任一侧进行平行切割（图 12A），在后壁和后骨赘附近停止（图 12B）。由两个切面和两个椎间盘空间界定的椎体前侧或侧面可以用大咬骨钳去除（图 12C）。由于 BoneScalpel 用于通过后壁进行平行切割，因此去除这块骨头提供了更好的暴露和更好的控制。然后小心地抬高并移除后壁（图 12D）。

必须小心避免使用 BoneScalpel 插入，尤其是在脊髓受压的狭窄管中。在后壁抬高过程中，必须避免在抬高另一端时将骨的一端摇动到椎管中。最后，这种技术不适合硬脑膜可能粘附在后壁上的情况，例如后纵韧带的骨化。

## 前外侧腰椎或胸椎切除术

这是一种先进的 BoneScalpel 技术，只有在外科医生对在其他手术中使用 BoneScalpel 建立了能力和信心后，才应该尝试这种技术。通过前外侧入路去除胸椎或腰椎椎体的技术取决于进行手术的病理。通常肿瘤和感染会使骨骼软化，以至于去除椎体的中间部分不会带来挑战。如有必要，可以将 BoneScalpel 与咬骨钳和钻头结合使用以促进此步骤。在此步骤中彻底去除骨骼（尽可能靠近后椎体壁）将有助于后续步骤。

主要挑战是去除椎体后壁以暴露和减压椎管。在部分暴露神经孔和椎弓根并去除身体的中部后，用 BoneScalpel 在同侧椎弓根和椎体的交界处朝椎管切开（图 13）。通过椎体中的腔向椎管的对侧进行第二次切割。然后小心地将后壁抬高离根管并移除。

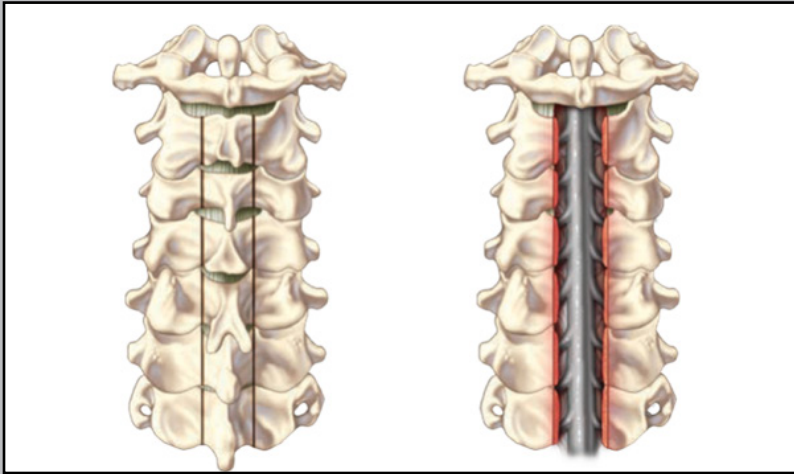


图 10. 颈椎板切除术

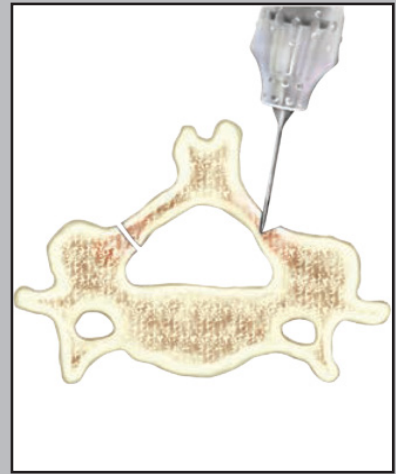


图 11. 颈椎板成形术

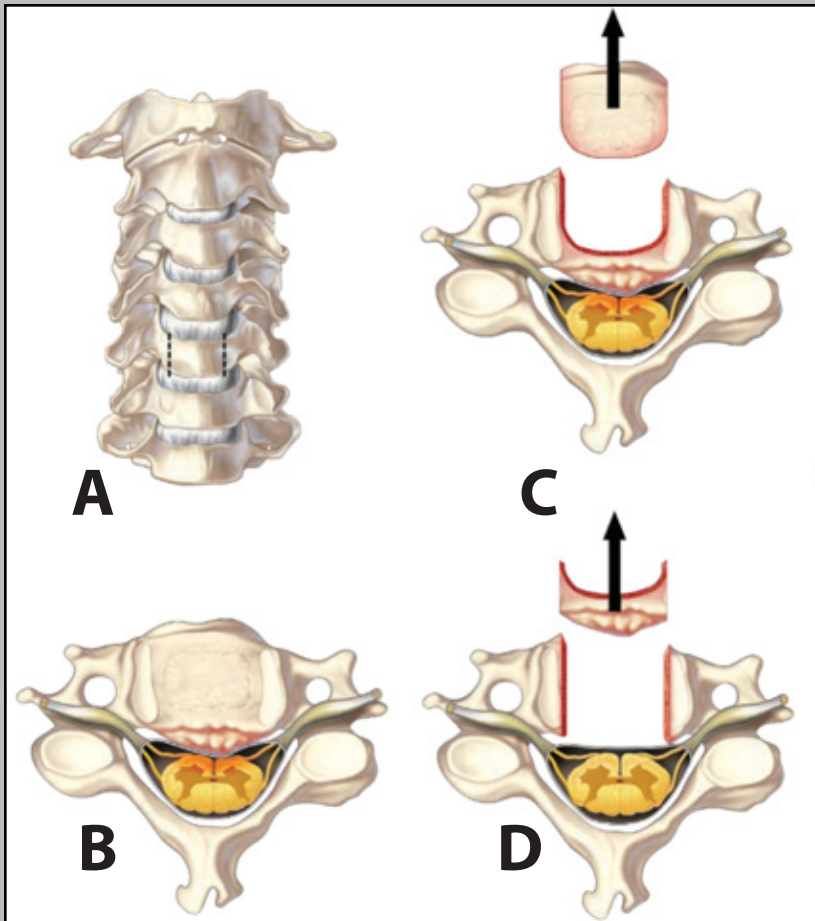


图 12. 颈椎前路切除术



图 13. 腰椎或胸椎椎体切除术

## 经济影响

在注重成本的医疗保健环境中，预计医院和手术设施将仔细审查新技术的经济影响和价值。BoneScalpel 的常规使用为作者的实践带来了显著的成本节约。在椎板切除术和小面切除术期间整块收获自体骨并利用该骨进行融合的能力显著减少了作者对昂贵的依赖融合补充剂，例如重组骨形态发生蛋白 (BMP) 和植入骨刺激器。多级椎板切除术中出血的减少减少了细胞保护器的使用和输血率。

最重要的是，降低脑脊液漏和神经损伤的风险有望带来显著的经济效益，例如减少组织密封剂的使用、缩短住院时间以及降低脑脊液并发症的再入院率和再手术率。越来越多的按绩效付费保险模式对“可避免的”并发症（如导尿管和血管内感染）征收罚款。由于脑脊液漏等医源性手术并发症导致再入院或延长住院时间可能很快就会被拒绝付款。随着基于价值的购买成为健康保险行业的常态，提高安全性和减少并发症的技术将在经济上更具吸引力。

## 未来发展

超声骨解剖技术不断发展。随着越来越多的外科医生采用这项技术，将会出现更多的改进，以满足不断增长的市场的各种需求。正在开发一系列切割尖端，以便外科医生在不同的骨解剖项目中拥有更多的选择和灵活性。人们热切期待更小的手机，在人体工程学上类似于现代钻头。低调的手机将显著增加 BoneScalpel 的应用范围，并将促进其在显微外科、微型开放、微创和颅内病例中的使用。

## 结论

BoneScalpel 是一种安全有效的超声波骨解剖器，它将很快成为每个训练有素的脊柱外科医生设备中不可或缺的一部分。与电钻和手动器械相比，它具有明显的优势，使其非常适合脊柱手术中的许多骨切割项目。虽然在某些操作中它可能会完全取代钻头，但在许多情况下，它将与电钻和手动咬骨钳一起使用。

该装置的安全和有效使用需要在骨的内皮层被穿透时产生触感。这种用于切割骨头而不是软组织的超声波设备的相对选择性允许在有限的时间内与下面的硬脑膜安全接触，并在穿透内部皮质时提供安全边际。重要的是要了解硬膜外粘连等病理变化会限制这种组织选择性。整体去除骨块的能力提供了许多优势，但需要提前计划骨切割。

学习曲线很短。一旦掌握了触觉和整块骨抬高技术，骨切除术就可以在在一定程度上优雅、高效和安全地进行，优于其他骨切除方法。

## 披露

Peyman Pakzaban 医学博士是德克萨斯州休斯顿休斯顿显微神经外科的一名董事会认证的私人执业神经外科医生，也是 Bayshore 医疗中心的外科主席。他在 Misonix Inc.、Aesculap, Inc. 和其他脊柱技术公司担任教育与研究顾问。

## References

1. Pakzaban P. BoneScalpel™ Ultrasonic Bone Cutting System: Neurosurgical and Orthopaedic Applications, Aesculap Power Systems, [www.aesculapusa.com](http://www.aesculapusa.com), 2012
2. Sanborn MR, Balzer J, Gerszten PC, Karausky P, Cheng BC, Welch WC. Safety and efficacy of a novel ultrasonic osteotome device in an ovine model. *J Clin Neurosci*. 2011 Nov;18(11):1528-33. Epub 2011 Sep
3. Recinos VR, Ahn E, Carson B, Jallo G. Technical Note: A Novel Bone-Cutting Instrument, the BoneScalpel™, May be Useful in Performing Osteoplastic Laminoplasty. AANS/CNS Section on Pediatric Neurological Surgery Annual Meeting, Boston, MA, December 2009.
4. Parker SL, Kretzer RM, Recinos PF, Jallo GI, Recinos VR. Use of a Novel Ultrasonic Bone Scalpel for Osteoplastic Laminoplasty in the Resection of Intradural Spinal Cord Pathology. 27th Annual Meeting of the AANS/CNS Section on Disorders and Peripheral Nerves, Phoenix, AZ, March 2011
5. Parker SL, Kretzer RM, Recinos PF, Molina CA, Wolinsky JP, Jallo GI, Recinos VR. Ultrasonic Bone Scalpel for Osteoplastic Laminoplasty in the Resection of Intradural Spinal Pathology: Case Series and Technical Note. *Neurosurgery*. 2012 Dec 20.
6. Nickele C, Hanna A, Baskaya MK. Osteotomy for Laminoplasty without Soft Tissue Penetration, Performed Using a Harmonic Bone Scalpel: Instrumentation and Technique. *J Neurol Surg A Cent Eur Neurosurg*. 2013 Mar 15.
7. Lieberman IH, Hu X. Use of Ultrasonic BoneScalpel in Spine Surgeries: Experience from the First 58 Patients. 19th International Meeting on Advanced Spine Techniques (IMAST), Istanbul, Turkey, July, 2012
8. Hu X, Ohnmeiss DD, Lieberman IH. Use of an ultrasonic osteotome device in spine surgery: experience from the first 128 patients. *Eur Spine J*. 2013 Apr 16.
9. Suchomel P, Hradil J. [Minimally invasive cervical elastic laminoplasty - principles and surgical technique]. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech*. 2011;78(5):437-41. Czech.
10. Chalchana KL, Jallo GI, Dorafshar AH, Ahn ES. Novel use of an ultrasonic bone-cutting device for endoscopic-assisted craniostylosis surgery. *Childs Nerv Syst*. 2013 Feb 6: DOI 10.1007/s00381-013-2043-6. [Epub ahead of print].
11. Gilles R, Couvreur T, Dammous S. Ultrasonic orthognathic surgery: enhancements to established osteotomies. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2013 Jan 8.
12. Wick CC, Rezaee RP, Zender CA. Piezoelectric BoneScalpel osteotomies in osteocutaneous free flaps. *Laryngoscope*. 2013 Mar;123(3):618-21. Epub 2012 Sep 24.
13. Dammous S, Gilles R. Use of Ultrasonic Straight Blade in Orthognathic Surgery: Review of 75 Patients. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2011 40 (10): 1082.
14. Pakzaban P. BoneScalpel™ in Spine Surgery. Surgical Technique and Operative Approaches, Aesculap Power Systems, [www.aesculapusa.com](http://www.aesculapusa.com), 2011





1938 NEW HWY, FARMINGDALE, N.Y. 11735 | +1.631.694.9555 +1.631.694.3285 FAX  
MISONIX, INC. | NASDAQ SYMBOL. MSON | MISONIX.COM