

## 新型低温等离子手术系统 (NTS-100) 的猪血管凝固实验评价

李 阳, 王冠群, 原晓燕, 朱军永, 朱芸生, 王 派, 赵 进, 郝 娜, 王全胜, 李席如  
解放军总医院 普通外科, 北京 100853

**摘要:**目的 评价新型低温等离子手术系统 (NTS-100) 的血管凝固止血效果。方法 12 只巴马小型猪按体质量大小进行编号, 应用软件随机分为 3 组, 比较新型低温等离子手术系统 (NTS-100)、高频电刀 (Valley)、低温等离子手术刀 (PEAK) 对肠系膜血管及胃、脾、腹壁静脉的凝固止血效果。结果 新型低温等离子手术系统对平均直径 1.5 mm 的肠系膜血管凝血成功率 100%, 延迟出血率 0, 与高频电刀及低温等离子手术刀差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ ); 新型低温等离子手术系统对平均直径 3.56 mm 的胃、脾及腹壁静脉凝血成功率 100%, 延迟出血率 0, 最大可凝固 4.53 mm 腹壁静脉, 与高频电刀及低温等离子手术刀差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。结论 新型低温等离子手术系统在肠系膜血管及胃、脾、腹壁静脉凝固止血手术中与高频电刀和低温等离子手术刀的止血效果相当。

**关键词:** 低温等离子手术系统 (NTS-100); 电外科设备; 血管凝固

中图分类号: R 612 文献标志码: A 文章编号: 2095-5227(2017)09-0865-06 DOI: 10.3969/j.issn.2095-5227.2017.09.016

网络出版时间: 2017-05-26 10:27 网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3275.R.20170526.1027.012.html>

### Experimental evaluation of a novel low temperature plasma surgical system on porcine blood vessels sealing

LI Yang, WANG Guanqun, YUAN Xiaoyan, ZHU Junyong, ZHU Yunsheng, WANG Pai, ZHAO Jin, HAO Na, WANG Quansheng, LI Xiru

Department of General Surgery, Chinese PLA General Hospital, Beijing 100853, China

Corresponding author: LI Xiru. Email: 2468li@sina.com

**Abstract: Objective** To evaluate the sealing potential of a new surgical system which applies low temperature plasma (NTS-100) in mesenteric vascular, gastric vein, splenic vein and abdominal wall vein. **Methods** Twelve piglets were randomly divided into three groups, and each group underwent operation using NTS-100, Valley or PEAK surgical systems, respectively. The effectiveness of sealing in the mesenteric vascular, the gastric vein, the splenic vein and the abdominal wall vein was evaluated and compared. **Results** Successful sealing rate of NTS-100 on the mesenteric vascular with average diameter of 1.5 mm was 100%, and the delayed bleeding rate was 0. No statistically significant difference was found when compared with Valley and PEAK ( $P > 0.05$ ); Successful sealing rate of NTS-100 on the gastric vein, splenic vein and abdominal wall vein with average diameter of 3.56 mm was 100%, and the delayed bleeding rate was 0. Vessels with the greatest diameter of 4.53 mm could be sealed successfully. While, there was no statistically significant difference when compared with Valley and PEAK ( $P > 0.05$ ). **Conclusion** A new surgical system which applies low temperature plasma (NTS-100) has favorable effectiveness on sealing vascular when compared with Valley and PEAK in the operations on the mesenteric vascular, the gastric vein, the splenic vein and the abdominal wall vein.

**Keywords:** low temperature plasma surgical system (NTS-100); electrosurgical devices; vascular coagulation

目前临床常用的电外科设备, 如“高频电刀”对组织的切割是依靠电流通过电极本身阻抗时产生的高热来实现的, 高温对周边组织热损伤大, 导致组织愈合差, 瘢痕形成重。低温等离子手术刀是近年来最具发展潜力的能量器械<sup>[1]</sup>。其工作原理为采用脉冲射频技术, 在刀头尖端产生薄层等离子体, 引起组织细胞的化学键断裂, 达到切割和消融效果, 而且是在相对较低温度下实现的,

具有更小的侧向热损伤 (lateral thermal damage, LTD)<sup>[2-5]</sup>。目前, 此项技术在国外已应用于临床<sup>[6-7]</sup>, 但因其价格昂贵, 在国内的应用受到限制<sup>[8]</sup>。我院普通外科乳腺专病中心联合北京诺特斯科技公司经多年努力, 于 2013 年底成功研制出了具有自主知识产权的“新型低温等离子手术系统 (NTS-100)” (专利号: 201410384714.7)。本实验采用活体猪的肠系膜血管及胃、脾、腹壁静脉实验模型, 通过与高频电刀 (Valley) 及低温等离子手术刀 (PEAK) 进行比较, 评价“新型低温等离子手术系统 (NTS-100)”对血管的凝固止血效果。

### 材料和方法

1 实验动物分组 健康巴马小型猪 12 只, 体质

收稿日期: 2017-03-23

基金项目: 部委级资助项目; 解放军总医院转化医学重点项目 (2016 TM-006)

国家发明专利: 201410384714.7

作者简介: 李阳, 女, 在读硕士, 主治医师。研究方向: 乳腺疾病诊治。Email: awfh0220@163.com

通信作者: 李席如, 男, 主任医师。Email: 2468li@sina.com

量 23 ~ 27.5 kg, 10 ~ 13 个月龄, 雄性, 普通级, 由北京实创世纪小型猪养殖基地提供, 许可证号 SCXK(京)2013-0008。实验前在实验室栏养 1 周, 术前抽血化验血常规、凝血功能、肝肾功能、电解质等指标均在正常范围内。随机分为 3 组(高频电刀组、低温等离子手术刀组、新型低温等离子手术系统组), 每组 4 只(按体质量大小进行编号, 应用随机软件进行分组), 每组应用同一种电外科设备进行血管凝固实验。所有手术操作由同一术者完成。手术完成后对实验动物行安乐死。本实验经本院动物实验伦理委员会批准(编号: 20160010703)。

**2 实验设备** 新型低温等离子手术系统(主机: NTS-100; 刀头: NTS-001); 低温等离子手术刀(PEAK); 高频电刀(Valleylab)。

**3 血管选择** 因临床手术中单极能量外科设备常用于 3 mm 以下静脉的止血, 对于 5 mm 以上的血管均需要结扎, 不使用此类单极设备凝血, 故本课题未涉及 5 mm 以上血管的凝血实验。本实验选取内脏血管和外周血管, 内脏血管包括肠系膜血管、胃网膜静脉、脾静脉等; 外周血管为腹壁静脉。按照不同血管直径, 实验分为肠系膜血管实验(血管直径 1 ~ 2 mm)和胃、脾、腹壁静脉实验(血管直径 2 ~ 5 mm)。每只猪选取 18 根肠系膜血管, 即每组标本量为 72 根血管; 每只猪选取胃网膜静脉、脾静脉和外周静脉各 1 根, 即每组包含较大血管 12 根。

**4 实验步骤** 动物全身麻醉后取腹部正中切口, 长 15 cm, 逐层开腹, 进入腹腔后显露腹腔内组织, 探查各脏器无明显病变。距屈氏韧带 100 cm 处选取肠系膜血管 18 根, 标记后用电子游标卡尺测量各肠系膜血管的直径并记录; 选取胃大弯侧胃网膜静脉及脾静脉根部进行标记并测量血管直径; 切开腹壁皮肤及皮下组织, 游离出腹壁静脉, 选取直径较大的部位进行标记、测量、实验。对标

记血管分别应用高频电刀、低温等离子手术刀及新型低温等离子手术系统在电凝模式下(临床常用功能档位)进行凝血切割, 操作后观察血管封闭端有无活动性出血并记录, 无活动性出血视为凝血成功, 1 h 后观察延迟出血情况。

凝血成功率 = 电凝成功血管 / 电凝血管总数 × 100%

延迟出血率 = 1 h 后再次出血的血管数 / 电凝血管总数 × 100%

**5 统计学方法** 实验数据采用 SPSS22.0 软件进行统计学分析, 计量资料符合正态分布, 以  $\bar{x} \pm s$  表示, 多组间比较采用单因素方差分析; 计数资料组间比较采用  $\chi^2$  检验。P < 0.05 为差异有统计学意义。

## 结 果

**1 小肠系膜血管凝血成功率** 高频电刀(Valley)组、低温等离子手术刀(PEAK)组和新型低温等离子手术系统(NTS-100)组肠系膜血管平均直径均为 1.5 mm, 凝固的最大血管直径分别为 1.86 mm、1.87 mm、1.88 mm。三种能量外科设备对 72 根肠系膜血管均能 100% 完成止血, 且 1 h 后无延迟性出血, 见表 1, 图 1。

**2 胃、脾、腹壁静脉凝血成功率** 高频电刀(Valley)组血管平均直径为 3.62 mm, 最大直径 4.56 mm; 低温等离子刀(PEAK)组血管平均直径为 3.45 mm, 最大直径 4.21 mm; 新型低温等离子手术系统(NTS-100)组血管平均直径为 3.56 mm, 最大直径 4.53 mm。三种能量外科设备对 12 根较大血管均能 100% 完成止血, 且 1 h 后无延迟性出血。见表 1, 图 2 ~ 图 4。

## 讨 论

现代外科对手术器械止血效果的要求不断提高, 尤其是在进行肝、脾、肠等血供丰富的脏器

表 1 新型低温等离子手术系统与其他两种电外科设备的血管凝血实验比较  
Tab. 1 Comparison of results of blood vessels sealing test between three groups

	NTS-100	Valley	PEAK	P
Sealing in mesenteric vascular (n=72)				
Diameter of sealed blood vessel (mm)	1.501 ± 0.255(1.01-1.88)	1.496 ± 0.207(1.06-1.86)	1.534 ± 0.189(0.91-1.87)	0.528
Success rate of sealing (%)	100	100	100	-
Delayed bleeding rate (%)	0	0	0	-
Sealing in gastric vein, splenic vein and abdominal wall vein (n=12)				
Diameter of sealed blood vessel (mm)	3.56 ± 0.68(2.51-4.53)	3.62 ± 0.67(2.68-4.56)	3.45 ± 0.67(2.18-4.21)	0.822
Success rate of sealing (%)	100	100	100	-
Delayed bleeding rate (%)	0	0	0	-

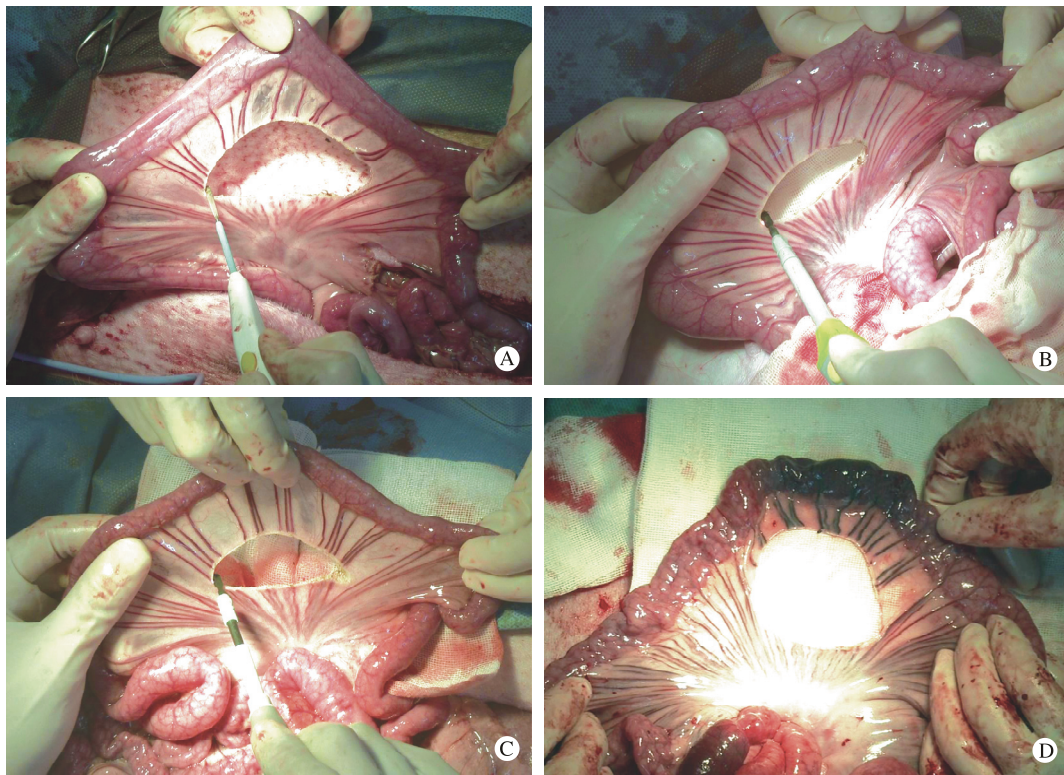


图 1 小肠系膜血管凝固实验 A:高频电刀凝固切割肠系膜血管; B:低温等离子手术刀凝固切割肠系膜血管; C:新型低温等离子手术系统凝固切割肠系膜血管; D:新型低温等离子手术系统凝固切割 1 h 后的肠系膜血管  
 Fig.1 Sealing test in mesenteric vascular A: Valley was used in the mesenteric vascular sealing; B: PEAK was used in the mesenteric vascular sealing; C: NTS-100 was used in the mesenteric vascular sealing; D: 1 hour after mesenteric vascular was sealed by NTS-100

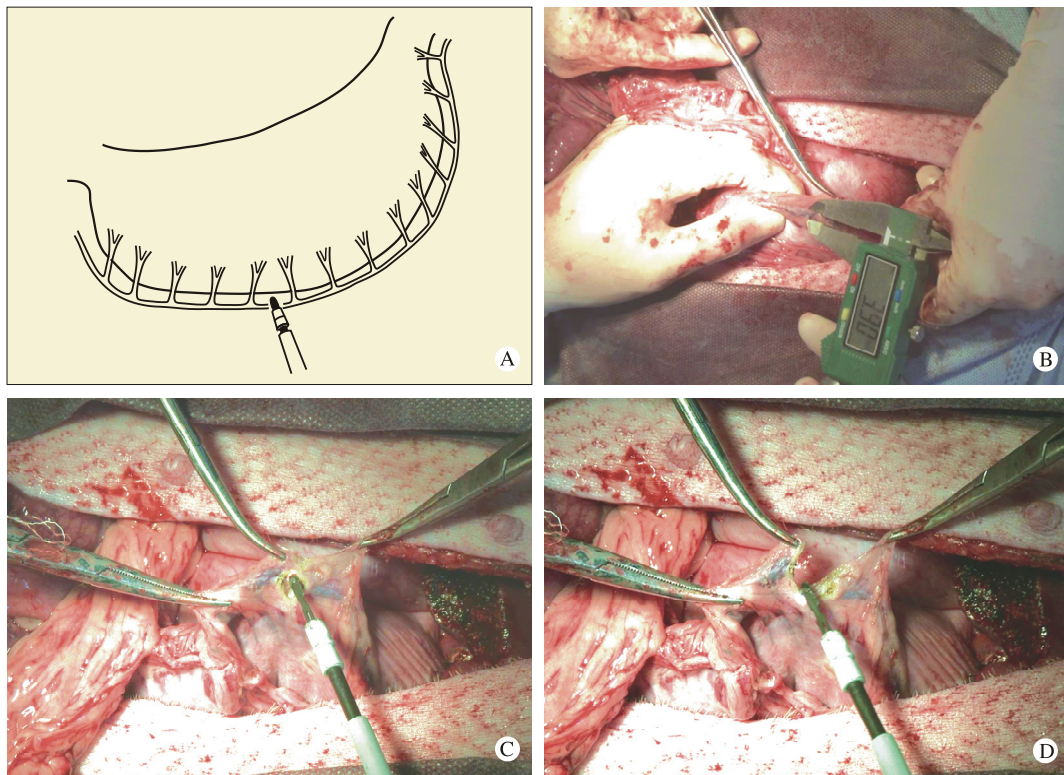


图 2 胃网膜静脉凝血实验 A:示意图; B:测量胃网膜静脉; C:新型低温等离子手术系统凝固并切割胃网膜静脉; D:新型低温等离子手术系统对胃网膜静脉凝血成功  
 Fig.2 Sealing test in gastric vein A: Schematic diagram; B: Gastric vein was measured; C: Sealing and cutting of gastric vein by NTS-100; D: Successful sealing of gastric vein by NTS-100

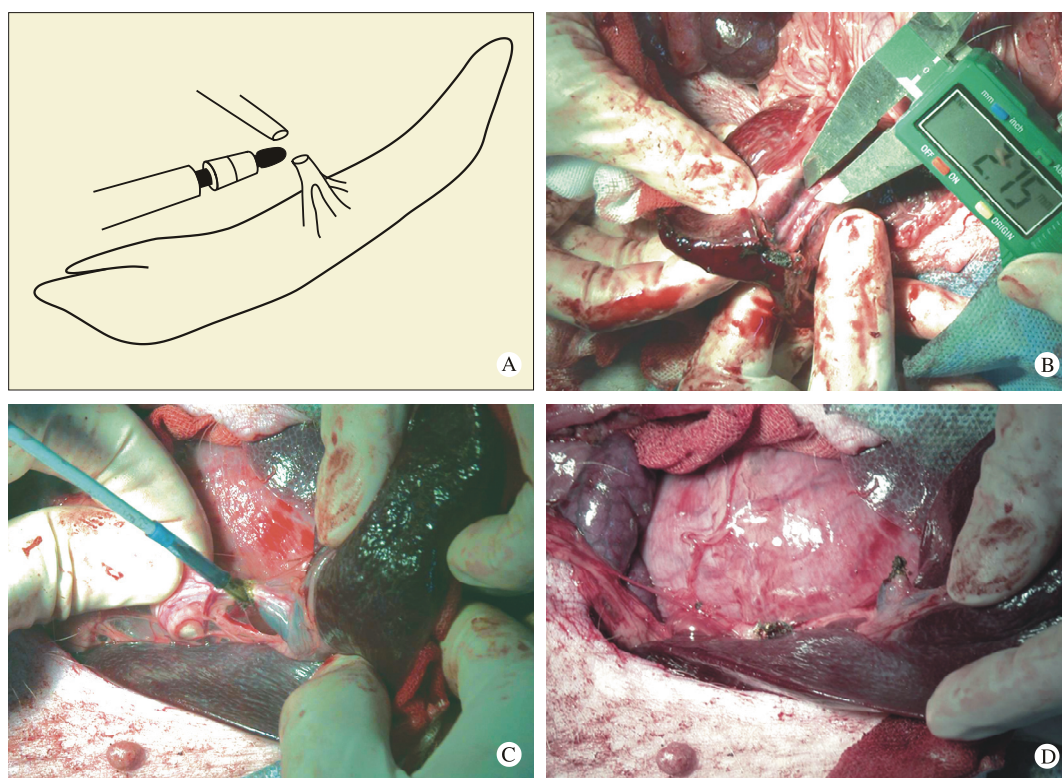


图 3 脾静脉凝血实验 A: 示意图; B: 测量脾静脉; C: 新型低温等离子手术系统凝固并切断脾静脉; D: 新型低温等离子手术系统对脾静脉凝血成功

Fig.3 Sealing test in splenic vein A: Schematic diagram; B: Splenic vein was measured; C: Sealing and cutting of the splenic vein by NTS-100; D: Successful sealing of splenic vein by NTS-100

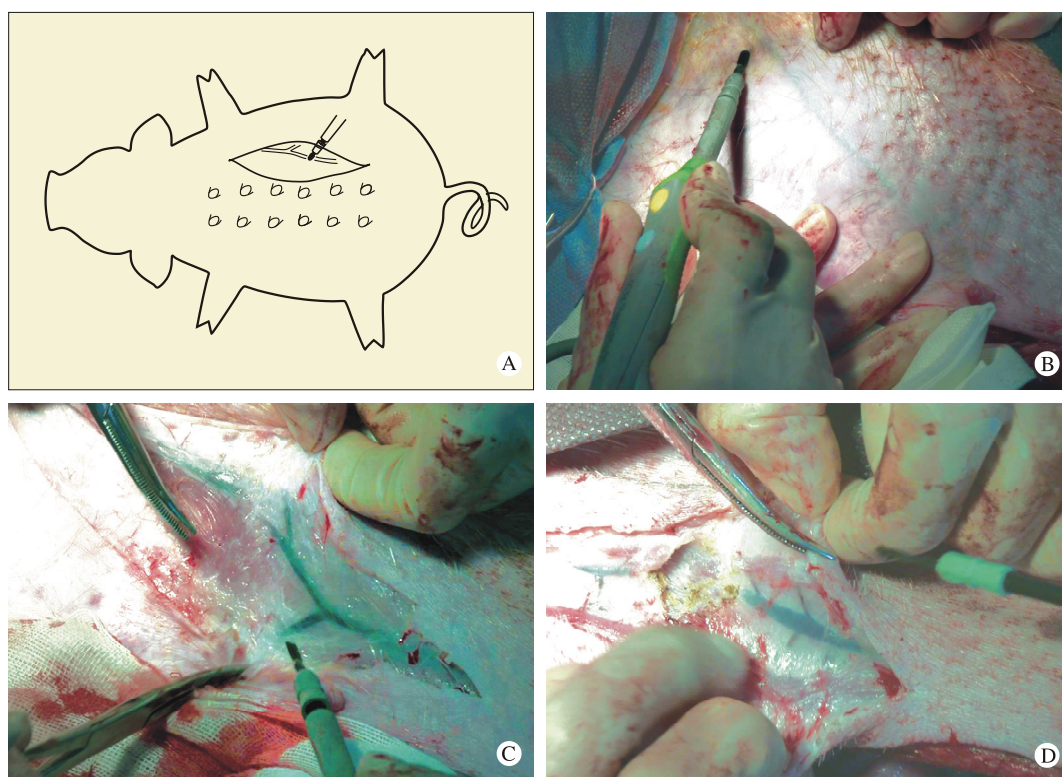


图 4 腹壁静脉凝血实验 A: 示意图; B: 选取腹壁静脉; C: 游离腹壁静脉; D: 新型低温等离子手术系统对腹壁静脉凝血成功

Fig.4 Sealing test in abdominal wall vein A: Schematic diagram; B: Abdominal wall vein was identified; C: Abdominal wall vein was exposed; D: Successful sealing of abdominal wall vein by NTS-100

手术时,出血量的多少直接关系到外科医生是否能精准、彻底地切除病变,与患者的预后直接相关<sup>[9-11]</sup>。本实验评估了新型低温等离子手术系统(NTS-100)对肠系膜血管及胃、脾、腹壁静脉的凝固止血效果。通过与高频电刀、低温等离子手术刀的比较,证明了新型低温等离子手术系统(NTS-100)在局部工作温度相对较低的情况下(低温等离子技术实现了低温软组织切割凝血,切割温度60℃左右,凝血温度120℃左右;目前临床上常用的“高频电刀”的切割温度200℃左右,凝血温度300℃左右)<sup>[12-13]</sup>,对3.5 mm以内的中小血管凝血有效、可靠,最大可凝固4.53 mm静脉,且1 h后无延迟出血发生,其凝血效果与高频电刀相当,可以满足临床手术的需要,且止血效果安全可靠。

低温切割、凝血是现代外科学的关键技术,对减少瘢痕形成、促进组织愈合等有着重要价值<sup>[14]</sup>。传统的高频电刀实现了高效切割和止血,极大地缩短了手术时间,减轻了止血的难度,推动了外科学的发展<sup>[15]</sup>。高频电刀的工作原理是利用脉冲时间极短的高频交流电在组织液中震荡产生热效应进行切割和止血。经过近一个世纪的发展与改进,高频电刀的可靠性和安全性有很大的提高,目前仍然是临床上最为常用的电外科设备<sup>[1,13,16]</sup>。由于高频电刀对组织的切割和止血是依靠电热能所实现,其带来的不可避免的热损伤,热损伤带来了组织脂肪液化、切口愈合不良等一系列不良反应<sup>[17]</sup>。而有些能实现低温切割的新型手术设备,如肝外科所用的超声吸引刀,则完全没有止血作用,必须联合术中结扎止血方能完成手术<sup>[18-19]</sup>。

随着对二次热损伤的重视及设备专用化的要求越来越高,科学家们一直在努力改进手术设备,并寻找新的能量转换形式,积极探索新型的电外科设备。新的工作媒介在保证切割、止血的基本功能的前提下,尽量减轻对组织的副损伤。

单极低温等离子手术系统是近年来电外科史上一项革命性技术。其基本原理为采用等离子脉冲射频及高压变频技术,以较低的射频能量在电极尖端产生等离子体,依靠离子动能完成切割止血。该技术已被证明能够明显减轻切割和凝固组织时的热损伤,同时达到与传统能量外科设备相当的止血效果。但其高昂的费用影响了其在国内的应用<sup>[8,20]</sup>。本实验中的研发设备—新型低温等离子手术系统(NTS-100),同样采用了脉冲射频技术,改进了高频发生器,提升了主机频率,将手术电

极狭缝的宽度缩小,使狭缝放电电场产生的等离子体的能量约束在更小的范围内。实验证明,手术流畅性能佳,刀锋更加锐利。在局部工作温度大幅下降的情况下,其止血效果与高频电刀相当,基本满足了外科手术中所期望的具备良好的切割、止血功能且热损伤较小的要求。目前此设备在动物实验中已得到较好的效果,将逐渐应用于临床,成为外科医生的良好助手。

#### 参考文献

- 1 Massarweh NN, Cosgriff N, Slakey DP. Electrosurgery: history, principles, and current and future uses [J]. *J Am Coll Surg*, 2006, 202 (3): 520-530.
- 2 Palanker DV, Vankov A, Huie P. Electrosurgery with cellular precision [J]. *IEEE Trans Biomed Eng*, 2008, 55 (2 Pt 2): 838-841.
- 3 Palanker D, Vankov A, Jayaraman P. On mechanisms of interaction in electrosurgery [J]. *N J Phys*, 2008, 10 (10): 123022.
- 4 Charoenkwan K, Chotirosniramit N, Rerkasem K. Scalpel versus electrosurgery for abdominal incisions [J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2012 (6): CD005987.
- 5 Usas A, Usaite D, Gao X, et al. Use of an ultrasonic blade facilitates muscle repair after incision injury [J]. *J Surg Res*, 2011, 167 (2): e177-e184.
- 6 Loh SA, Carlson GA, Chang EI, et al. Comparative healing of surgical incisions created by the PEAK PlasmaBlade, conventional electrosurgery, and a scalpel [J]. *Plast Reconstr Surg*, 2009, 124 (6): 1849-1859.
- 7 Chang EI, Carlson GA, Vose JG, et al. Comparative healing of rat fascia following incision with three surgical instruments [J]. *J Surg Res*, 2011, 167 (1): e47-e54.
- 8 Kypta A, Blessberger H, Saleh K, et al. An electrical plasma surgery tool for device replacement—retrospective evaluation of complications and economic evaluation of costs and resource use [J]. *Pacing Clin Electrophysiol*, 2015, 38 (1): 28-34.
- 9 葛新兰, 胡建军, 潘可, 等. 第一肝门阻断对大鼠硬化肝组织超微结构的影响 [J]. *解放军医学院学报*, 2014, 35 (6): 608-610.
- 10 汪建勇, 周志洪, 张海燕. 外伤性脾破裂临床治疗决策的相关因素影响研究 [J]. *中国当代医药*, 2016, 23 (23): 28-30.
- 11 Honda G, Sakamoto K, Homma Y, et al. Safe and clear dissection around the mesenteric vessels utilizing laparoscopic magnified view during pancreaticoduodenectomy [J]. *Pancreatol*, 2016, 16 (4): S22.
- 12 Palanker DV, Miller JM, Marmor MF, et al. Pulsed electron avalanche knife (PEAK) for intraocular surgery [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2001, 42 (11): 2673-2678.
- 13 Brown DB. Concepts, considerations, and concerns on the cutting edge of radiofrequency ablation [J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2005, 16 (5): 597-613.
- 14 Block L, Gosain A, King TW. Emerging Therapies for Scar Prevention [J]. *Adv Wound Care (New Rochelle)*, 2015, 4 (10): 607-614.
- 15 Palanker D, Vankov A, Freyvert Y, et al. Pulsed electrical stimulation for control of vasculature: temporary vasoconstriction and permanent thrombosis [J]. *Bioelectromagnetics*, 2008, 29 (2): 100-107.
- 16 Lawrenson K, Stephens FO. The use of electrocutting and electrocoagulation in surgery [J]. *Aust N Z J Surg*, 1970, 39 (4): 417-421.
- 17 Wu MP, Ou CS, Chen SL, et al. Complications and recommended

- practices for electrosurgery in laparoscopy [J]. *Am J Surg*, 2000, 179 (1): 67-73.
- 18 王宇, 赵英, 张峰, 等. 超声吸引手术刀在肝肿瘤切除手术中的应用 [J]. *解放军医学院学报*, 2016, 37 (12): 1255-1258.
- 19 陈亚进, 陈捷. 能量外科器械在肝脏手术中的应用 [J]. *中华肝脏外科手术学电子杂志*, 2015 (1): 9-12.
- 20 Lane JC, Dworkin-Valenti J, Chiodo L, et al. Postoperative tonsillectomy bleeding complications in children: A comparison of three surgical techniques [J]. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 2016, 88: 184-188.