



doi:10.3978/j.issn.1005-6947.2016.06.016
http://dx.doi.org/10.3978/j.issn.1005-6947.2016.06.016
Chinese Journal of General Surgery, 2016, 25(6):869-874.

· 基础研究 ·

高频焊接仪闭合动脉血管的安全性与可靠性研究

潘东岳¹, 厉周¹, 杨少华¹, 王卫卫¹, 周华彬¹, 蔡寨¹, 韩帅¹, 陈军², 黄德群²

(1. 南方医科大学珠江医院 普通外科, 广东 广州 510282; 2. 广东省医疗器械研究所 国家医疗保健器具工程技术研究中心, 广东 广州 510500)

摘要

目的: 探讨高频焊接仪(HFWD)闭合动脉血管的安全性与可靠性。

方法: 将6头西藏小型猪均随机分为HFWD组与超声刀组(HS组), 全麻后分离裸化颈、股动脉, 分别采用HFWD与HS闭合离断血管。比较两组血管闭合后的爆破压、闭合时间、闭合过程中的最高温度及闭合处病理热损伤。

结果: 不区分血管管径大小时, HFWD组平均爆破压高于HS组(489.64 mmHg vs. 439.88 mmHg, $P < 0.05$), 当血管直径 ≤ 3 mm时, HFWD组与HS组爆破压无明显差异(593.40 mmHg vs. 572.48 mmHg, $P > 0.05$), 对于直径 $>3\sim 5$ mm、 $>5\sim 7$ mm的血管, HFWD组爆破压均大于HS组(457.02 mmHg vs. 404.32 mmHg; 418.51 mmHg vs. 342.84 mmHg, 均 $P < 0.05$); 无论血管直径大小, HFWD组闭合血管所需时间均少于超声刀(均 $P < 0.05$)。HFWD组闭合处的平均最高温度低于HS组(65.91 °C vs. 105.25 °C, $P < 0.05$); HFWD组闭合处血管壁胶原变性度及血管平滑肌损伤程度轻于HS组。

结论: HFWD闭合动脉血管是安全可靠的。

关键词

动脉; 焊接; 超声外科手术

中图分类号: R654.3

Safety and reliability of using high-frequency electric welding device for arterial closure

PAN Dongyue¹, LI Zhou¹, YANG Shaohua¹, WANG Weiwei¹, ZHOU Huabin¹, CAI Zhai¹, HAN Shuai¹, CHEN Jun², HUANG Dequn²

(1. Department of General Surgery, Zhujiang Hospital, Southern Medical University, Guangzhou 510282, China; 2. Guangdong Institute of Medical Instruments, National Engineering Research Center for Healthcare Devices, Guangzhou 510500)

Abstract

Objective: To investigate the safety and reliability of using high-frequency electric welding device (HFWD) for arterial closure.

Methods: Six Tibetan minipigs were equally randomized into HFWD group and harmonic scalpel group (HS group). Under general anesthesia, carotid and femoral arteries of the pigs were isolated and skeletonized, and were then closed and divided using HFWD or HS, respectively. The bursting pressure of the vessels after sealing, sealing time, maximum temperature during sealing and the pathological injuries in the sealing area were compared

基金项目: 广东省战略性新兴核心技术攻关基金资助项目(2011A081402004); 广州市科技计划基金资助项目(201508030035)。

收稿日期: 2015-10-17; **修订日期:** 2016-01-23。

作者简介: 潘东岳, 南方医科大学珠江医院硕士研究生, 主要从事人体软组织高频焊接设备国产化及应用方面的研究。

通信作者: 厉周, Email: Leezhou888@126.com

between the two groups.

Results: In all vessels without distinction of diameter, the average burst pressure after sealing in HFWD group was significantly higher than that in HS group (489.64 mmHg vs. 439.88 mmHg, $P<0.05$); in vessels with diameter ≤ 3 mm, the burst pressure showed no significant difference between HFWD group and HS group (593.40 mmHg vs. 572.48 mmHg, $P>0.05$); in vessels with diameter either $>3\sim 5$ mm or $>5\sim 7$ mm, the burst pressure in HFWD group was significantly higher than that in HS group (457.02 mmHg vs. 404.32 mmHg; 418.51 mmHg vs. 342.84 mmHg, both $P<0.05$). No matter what the vessel diameter was, the sealing time in HFWD group was significantly shorter than that in HS group (all $P<0.05$). The average maximum temperature during sealing in HFWD group was significantly lower than that in HS group (65.91 °C vs. 105.25 °C, $P<0.05$). The collagen denaturation and smooth muscle injury in vascular wall of the sealing site were milder in HFWD group than those in HS group.

Conclusion: Using HFWD for arterial closure is safe and reliable.

Key words Arteries; Welding; Ultrasonic Surgical Procedures

CLC number: R654.3

采用高频焊接技术吻合软组织率先由B.E.巴顿院士和B.K.列别捷夫院士共同提出,通过控制高频电流作用于软组织的时间及温度,确保焊接过程软组织温度控制在蛋白可逆变性范围内,使组织中的蛋白空间结构破坏引起协同凝集反应,实现组织的焊接吻合、血管的闭合、离断等^[1]。目前,巴顿焊接研究所联合乌克兰科学院与美国CSMG公司合作,已开发出集切割、闭合、焊接为一体的多功能高频焊接吻合设备,在乌克兰广泛应用于临床手术^[2-3],证实高频焊接设备具有无需缝合材料、无针创、不留残余缝隙、弱炎症反应、操作简单等特点,使其在临床中显示出巨大的发展潜力。

目前我国商用血管闭合设备大多由国外进口,因价格与设备维护费用高昂,对于欠发达地区以及基层医院,无疑增加了医疗成本,阻碍了部分微创技术的开展。国产的血管闭合设备研究尚处于起步阶段,人体软组织焊接设备引进及国产化可降低医疗成本,促进微创技术的推广,本研究团队前期研究证实高频焊接可安全有效闭合离体肠管^[4-5]。本研究旨在通过比较高频焊接仪(high-frequency welding device, HFWD)与超声刀(harmonic scalpel, HS)闭合猪动脉血管后血管爆破压、热损伤、闭合时间及其激发后温度变化,探讨HFWD能否安全有效闭合血管,为开发出适用于中国临床要求的样机及闭合器具,实现

血管闭合设备的国产化奠定基础。

1 材料与方法

1.1 实验动物

西藏小型猪6只,体质量30~40 kg,由南方医科大学实验动物中心提供。

1.2 实验设备

高频焊接仪(EKVZ-300 PATONMED,乌克兰国家科学研究院科技联合“E.O.巴顿电气焊接研究院”),超声刀(GEN300,美国强生公司,直径5 mm),数显气压仪(AZ82100压力表,台湾衡欣科技股份有限公司),阿吉注射泵(Injectmat Agilia,费森尤斯卡比,德国),红外热像仪(NEC AVIO TVS-500EX,上海汇分电子科技有限公司)

1.3 动物分组与处理

将实验猪随机分配到HFWD组和HS组,每组3头。按丁梅等^[6]采用的麻醉方法将实验猪麻醉、固定,腹部备皮、碘酒酒精消毒术区3次,分离裸化颈动脉、股动脉,按直径分为小血管(直径 $>1.5\sim 3$ mm)、中血管(直径 $>3\sim 5$ mm)、大血管(直径 $>5\sim 7$ mm)。HFWD组采用HFWD功能选项中的自动焊接模式闭合离断不同直径的血管,其工作原理是主机在输出440 kHz的脉冲电流后,根据钳夹组织的类型、阻抗等因素自动设置最优闭

合功率及闭合时间。HS组将HS主机功率选为慢凝档位闭合离断不同直径的血管。闭合完成后立即距闭合端1.5 cm剪断血管,测量爆破压或进行标本固定。共计144个血管样本,其中120个样本用于测量爆破压、闭合时间,24个样本用于分析热损伤。

1.4 安全性有效性评估

1.4.1 血管闭合后爆破压的测量 血管闭合离断完成后立即进行爆破压测试,将一次性静脉输液针一端结扎固定于血管,另一端连接三通管,三通管的其余两端分别连接输液器与数显气压仪,测压系统如图1所示,采用恒速注射泵以200 mL/h的速率注射美兰生理盐水。

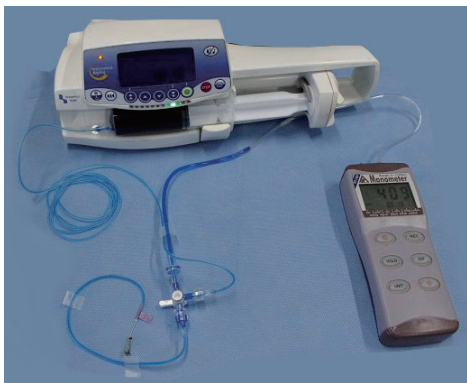


图1 爆破压测量系统

Figure 1 Bursting pressure measuring system

1.4.2 闭合过程热损伤的测定 闭合完成后,立即距闭合端1.5 cm剪断血管,立即于10%福尔马林缓冲液固定,石蜡包埋,包埋后垂直血管长轴切

片,苏木精-伊红染色,显微镜观察闭合处血管壁胶原蛋白变性情况、血管平滑肌细胞损伤情况及闭合处血管壁对合情况。

1.4.3 各处理组血管闭合时间的测量 HFWD、HS激发至闭合血管所需总时间,定义为闭合血管所用的时间。

1.4.4 闭合过程中血管闭合温度的测量 使用红外热像仪测量闭合过程的温度变化,期间测得的最高温度定义为闭合处最高温度。

1.5 统计学处理

所有实验数据处理统一使用SPSS 21.0统计软件包进行统计学分析。计量资料用均数 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,采用One-way ANOVA分析数据, $P < 0.05$ 差异有统计学意义。

2 结果

2.1 血管爆破压

不区分管径大小时, HFWD组闭合后爆破压明显高于HS组[(489.64 \pm 112.92) mmHg vs. (439.88 \pm 119.48) mmHg, $P < 0.05$] (1 mmHg=0.133 kPa), 当血管直径 ≤ 3 mm时HFWD组与HS组无统计学差异[(593.40 \pm 97.72) mmHg vs. (572.48 \pm 56.03) mmHg, $P > 0.05$], 对于直径 $>3\sim 5$ mm、 $>5\sim 7$ mm的血管, HFWD组闭合后血管爆破压均明显大于HS组[(457.02 \pm 66.04) mmHg vs. (404.32 \pm 60.65) mmHg; (418.51 \pm 88.92) mmHg vs. (342.84 \pm 88.07) mmHg, 均 $P < 0.05$] (表1)。

表1 HFWD组与HS组血管爆破压比较($\bar{x} \pm s$)

Table 1 Comparison of bursting pressure between HFWD group and HS group ($\bar{x} \pm s$)

组别	管径 (mm)			
	>1.5~3	>3~5	>5~7	不区分
HFWD组	593.40 \pm 97.72	457.02 \pm 66.04	418.51 \pm 88.92	489.64 \pm 112.92
HS组	572.48 \pm 56.03	404.32 \pm 60.65	342.84 \pm 88.07	439.88 \pm 119.48
P	>0.05	<0.05	<0.05	<0.05

2.2 血管闭合时的温度变化走势

HFWD组闭合过程中最高温度波动范围为47.90~91.64 $^{\circ}\text{C}$, 平均最高温度为65.91 $^{\circ}\text{C}$, 激发后10 s内刀头温度可降至60 $^{\circ}\text{C}$ 以下; HS组闭合最

高温波动范围为89.76~123.05 $^{\circ}\text{C}$, 平均最高温度为105.25 $^{\circ}\text{C}$, 激发过程中刀头温度降至60 $^{\circ}\text{C}$ 以下需时30 s左右(图2)。

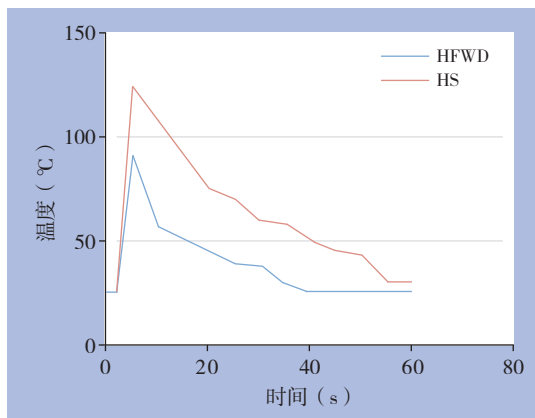


图 2 HFWD 组与 HS 组闭合过程中温度走势

Figure 2 Temperature tendencies during the process of arterial sealing of HFWD group and HS group

2.3 血管闭合时间

不区分管径大小时, HFWD组闭合血管时间明显少于HS组[(5.95 ± 0.63) s vs. (6.94 ± 0.66) s]; 按血管管径分组比较后, HFWD组各管径血管闭合时间均少于HS组相同管径血管的闭合时间(均 $P < 0.05$) (表 2)。

表 2 HFWD 组与 HS 组闭合时间比较 ($\bar{x} \pm s$)

Table 2 Comparison of sealing time between HFWD group and HS group ($\bar{x} \pm s$)

组别	管径 (mm)			
	>1.5~3	>3~5	>5~7	不区分
HFWD 组	5.84 ± 0.77	5.97 ± 0.46	6.02 ± 0.63	5.95 ± 0.63
HS 组	6.87 ± 0.61	6.93 ± 0.65	7.02 ± 0.73	6.94 ± 0.66
P	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

2.4 热损伤

HFWD闭合血管的主要病理改变为急性热损伤及压力损伤, 表现为组织细胞玻璃样变, 组织结构被破坏, 细胞界限不清, 细胞核固缩、溶解或消失, 血管壁外膜和中膜外层出现完全凝固性坏死, 在中膜中部分布区所有平滑肌细胞均出现坏死性变化, 但平滑肌细胞保持其独特的外形和变性细胞核, 血管内膜完整, 无脱落断裂 (图 3A)。HS处理后血管壁外膜玻璃样变, 血管内膜不完整, 可见断裂或脱落至管腔, 血管平滑肌细胞损伤较重 (图 3B)。

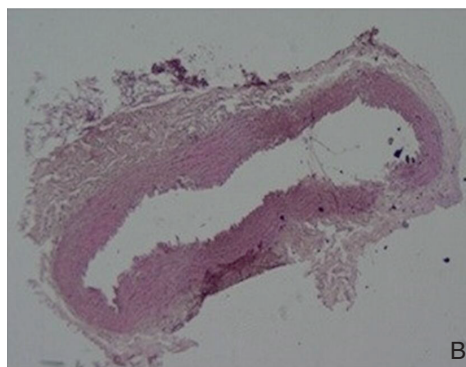
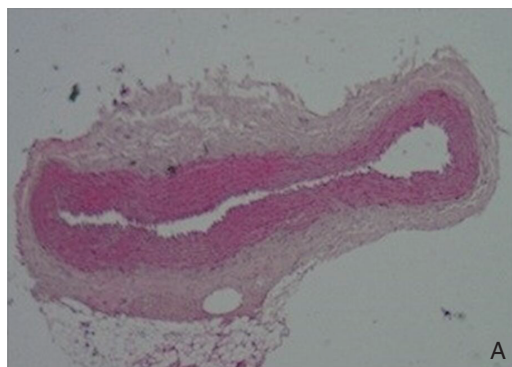


图 3 热损伤病理学比较 (HE $\times 40$) A: HFWD 组; B: HS 组

Figure 3 Pathological changes of thermal injury (HE $\times 40$) A: HFWD group; B: HS group

3 讨论

3.1 止血设备概览

手术中彻底止血是外科医生首要关注的问题。随着止血设备的不断更新优化, 目前在腹腔镜手术中应用的血管闭合能量系统主要有以HS为主的凝固切割装置和以Ligasure为代表的双极电凝血管闭合系统^[7]。临床上多利HS闭合<3 mm的血管, 但其切割和凝合组织的速度较电刀慢, 使用过程中易产生大量水雾干扰手术视野^[8-9]。

Ligasure可以安全闭合7 mm以内的血管, 对相邻组织的影响较电刀小, 但其热损伤较超声刀大, 抓持血管能力较超声刀差, 平均闭合血管时间较HS所需时间长^[10-11]。

3.2 软组织高频焊接仪工作原理

软组织HFWD电流频率为440/66 kHz, 输出功率为30~300 W, 当高频电流经电极进入电极间夹紧的血管时, 细胞膜破裂, 细胞内蛋白质随即进入细胞间隙, 与存在细胞间隙中的蛋白质同时受热变性, 并发生蛋白结构解链进而产生协同凝集

反应,使血管壁得以黏合,完成血管闭合。

3.3 血管闭合设备安全性参数

衡量血管闭合设备的是否可靠主要有血管爆破压、闭合过程中温度走势、闭合时间等因素^[12-13]。目前临床应用的血管闭合设备闭合后血管爆破压可达正常血压,HS闭合血管后爆破压可与血管闭合夹效果相当^[14]。闭合设备的温度走势和闭合时间决定闭合过程中组织热损伤程度,组织热损伤与受热总量及受热时间有关^[15],如果受热时间短,即使温度高至足以气化组织,组织热效应也主要局限在受热部位,但如果同样的热量施加了更长的时间,则可将过多的热量传导至临近部位,扩大热损伤范围^[16]。当温度高于60℃时,蛋白质开始变性,组织出现凝固、萎缩、颜色发白;当温度升至60~80℃时,蛋白质便趋于坏死;过高的温度一方面会产生过多的烟雾甚至炭化组织,另一方面不易快速降低至60℃以下,余热将增大热损伤范围^[17]。因此在血管闭合过程中精确控制闭合时间与温度,将会在获得较高爆破压的同时获得最小的热损伤。HFWD吻合系统具有自动的闭环控制系统,通过监控焊接电极之间的软组织阻抗来精确调节闭合的电压、频率、时间等参数,使之精确控制闭合过程中的温度不高于90℃,减少热损伤,在闭合7 mm以下的血管时可达到有效止血,减轻组织创伤、减少烟雾产生的目的,在本研究中HFWD组10 s内可降至60℃以下,激发过程中最高温度仅为65.91℃,有效避免热损伤范围向邻近部位扩散。

HS通过超声换能器使刀头以55 kHz/s的频率进行机械振荡,使组织凝固,完成切割、凝固和血管闭合^[18]。美国食品药品监督管理局认证其可安全闭合5 mm以下的各种血管,随着技术的发展,超声刀在闭合5~7 mm的血管方面凸显出巨大的优势^[19]。良好的安全性能使其在甲状腺手术中可减少甲状旁腺损伤^[20],缩短手术时间、减少出血量^[21],降低术后引流量、降低术后低钙血症的发生^[22]。HS高速振荡的刀头可使组织在失去水分过程中产生气雾,干扰手术视野,危害手术人员健康^[23]。同时释放冲击波,产生空化效应^[24]。在血管闭合过程中,HS的温度走势也值得外科医生注意,HS在单次激发过程中温度降至60℃耗时超过30 s, Govekar等^[25]证实HS激发过程中最高温

度可达(172±63)℃,手术过程中尽量避免激发中的工作头与临近神经、大血管等重要组织接触,可有效防止误伤^[26]。

3.4 本研究局限性

本研究属于急性实验,无法证实血管闭合处的慢性反应;未量化比较闭合血管过程中产生的烟雾;但本实验为进一步研究HFWD闭合血管的慢性反应打下基础,为降低能量平台的热损伤研究提供一个新的方向。

本研究通过比较HFWD与HS在动脉血管闭合过程中热损伤、闭合血管所需时间、闭合后血管爆破压三方面,证实HFWD在动脉血管闭合过程中表现安全可靠,为HFWD优化升级积累相关数据,为软组织高频焊接技术的临床应用及国产化研究奠定基础。

参考文献

- [1] Vladimirova IA, Lankin YN, Philyppov IB, et al. Frequency dependence of excitation-contraction of multicellular smooth muscle preparations: the relevance to bipolar electrosurgery[J]. *J Surg Res*, 2014, 186(1):119-125.
- [2] Nychytailo M, Lytvynenko OM, Hul'Ko OM, et al. Experience of high frequency electric welding in endocrine surgery[J]. *Klin Khir*, 2013, (8):5-8.
- [3] Sukhin IA, Ostapenko OM, Kachan SH, et al. Mobilization of the stomach and colon using high-frequency electric welding of tissues apparatus[J]. *Klin Khir*, 2012, (8):46-48.
- [4] Han S, Cai Z, Ning X, et al. Comparison of a new high-frequency electric welding system for intestinal closure with hand-sewn in vivo pig model[J]. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A*, 25(8):662-667.
- [5] 周华彬, 韩帅, 陈军, 等. 应用软组织高频焊接仪闭合小肠的可行性研究[J]. *生物医学工程学杂志*, 2014, 31(6):1332-1335. Zhou HB, Han S, Chen J, et al. A feasibility study of closing the small bowel with high-frequency welding device[J]. *Journal of Biomedical Engineering*, 2014, 31(6):1332-1335.
- [6] 丁梅, 杜洪印, 沈中阳, 等. 建立猪脑死亡后心脏死亡模型实验研究中的麻醉管理[J]. *中华实验外科杂志*, 2014, 31(8):1671-1673. Ding M, Du HY, Shen ZY, et al. Anesthetic management of establishment of brain death plus cardiac death in pigs[J]. *Chinese Journal of Experimental Surgery*, 2014, 31(8):1671-1673.
- [7] Lyons SD, Law KS. Laparoscopic vessel sealing technologies[J]. *J Minim Invasive Gynecol*, 2013, 20(3):301-307.
- [8] Eto K, Omura N, Haruki K, et al. A comparison of laparoscopic

- energy devices on charges in thermal power after application to porcine mesentery[J]. *Surg Laparosc Endosc Percutan Tech*, 2015, 25(1):e37-41.
- [9] Shabbir A, Dargan D. Advancement and benefit of energy sealing in minimally invasive surgery[J]. *Asian J Endosc Surg*, 2014, 7(2):95-101.
- [10] Vilos GA, Rajakumar C. Electrosurgical generators and monopolar and bipolar electrosurgery[J]. *J Minim Invasive Gynecol*, 2013, 20(3):279-287.
- [11] Zaidi N, Glover A R, Sidhu SB. The Covidien LigaSure Maryland Jaw Device[J]. *Expert Rev Med Devices*, 2015, 12(2):151-155.
- [12] Law KS, Lyons SD. Comparative studies of energy sources in gynecologic laparoscopy[J]. *J Minim Invasive Gynecol*, 2013, 20(3):308-318.
- [13] Law KS, Abbott JA, Lyons SD. Energy sources for gynecologic laparoscopic surgery: a review of the literature[J]. *Obstet Gynecol Surv*, 2014, 69(12):763-776.
- [14] Liberman M, Khereba M, Nasir B, et al. Pulmonary Artery sealing using the HARMONIC ACE+ shears for video-assisted thoracoscopic surgery lobectomy[J]. *Ann Thorac Surg*, 2015, 100(3):898-903.
- [15] Sutton PA, Awad S, Perkins AC, et al. Comparison of lateral thermal spread using monopolar and bipolar diathermy, the Harmonic Scalpel and the Ligasure[J]. *Br J Surg*, 2010, 97(3):428-433.
- [16] Tirelli G, Camilot D, Bonini P, et al. Harmonic scalpel and electrothermal bipolar vessel sealing system in head and neck surgery: a prospective study on tissue heating and histological damage on nerves[J]. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 2015, 124(11):852-858.
- [17] Seehofer D, Mogl M, Boas-Knoop S, et al. Safety and efficacy of new integrated bipolar and ultrasonic scissors compared to conventional laparoscopic 5-mm sealing and cutting instruments[J]. *Surg Endosc*, 2012, 26(9):2541-2549.
- [18] 周共庆, 陈志军, 陈建, 等. 开放甲状腺手术中超声刀与传统手术的临床应用比较[J]. *中国普通外科杂志*, 2014, 23(11):1604-1606. Zhou GQ, Chen ZJ, Chen J, et al. Clinical comparison on use of harmonic scalpel and traditional operation in open thyroid surgery[J]. *Chinese Journal of General Surgery*, 2014, 23(11):1604-1606.
- [19] Timm RW, Asher RM, Tellio KR, et al. Sealing vessels up to 7 mm in diameter solely with ultrasonic technology[J]. *Med Devices (Auckl)*, 2014, 7:263-271.
- [20] 包晓都, 张筱骅, 李忠朋, 等. Focus超声刀在甲状腺手术中对甲状腺功能的保护作用评价[J]. *中国普通外科杂志*, 2015, 24(9):1295-1298. Bao XD, Zhang XH, Li ZM, et al. Value of using Focus ultrasonic scalpel in parathyroid protection during thyroid surgery[J]. *Chinese Journal of General Surgery*, 2015, 24(9):1295-1298.
- [21] 邱海江, 方孙阳, 吴志明, 等. 超声刀在开放性甲状腺手术中应用的前瞻性研究[J]. *中国普通外科杂志*, 2014, 23(5):639-642. Qiu HJ, Fang SY, Wu ZM, et al. Use of harmonic scalpel in open thyroid surgery: a prospective study[J]. *Chinese Journal of General Surgery*, 2014, 23(5):639-642.
- [22] 巴合提·卡力甫, 艾则孜·阿不都热依木, 赛力克·马高维亚, 等. 超声刀在甲状腺切除术中应用效果的Meta分析[J]. *中国普通外科杂志*, 2013, 22(5):601-607. Baheti KL, Aizezi AB, Sailike MG, et al. Efficacy of ultrasonic scalpel application in thyroid surgery: a Meta-analysis[J]. *Chinese Journal of General Surgery*, 2013, 22(5):601-607.
- [23] In SM, Park DY, Sohn IK, et al. Experimental study of the potential hazards of surgical smoke from powered instruments[J]. *Br J Surg*, 2015, 102(12):1581-1586.
- [24] Aoki T, Murakami M, Koizumi T, et al. Skeletonization and Isolation of the Glissonian and Venous Branches in Liver Surgery With an Ultrasonic Scalpel Technology[J]. *Int Surg*, 2015, 100(6):1048-1053.
- [25] Govekar HR, Robinson TN, Stiegmann GV, et al. Residual heat of laparoscopic energy devices: how long must the surgeon wait to touch additional tissue?[J]. *Surg Endosc*, 2011, 25(11):3499-3502.
- [26] 李小军, 王小强, 张瑞鹏, 等. 甲状腺术中喉返神经热损伤的前瞻性对照研究[J]. *中国普通外科杂志*, 2013, 22(11):1435-1440. Li XJ, Wang XQ, Zhang RP, et al. Thermal injury of recurrent laryngeal nerve in thyroidectomy: a prospective randomized study[J]. *Chinese Journal of General Surgery*, 2013, 22(11):1435-1440.

(本文编辑 宋涛)

本文引用格式: 潘东岳, 厉周, 杨少华, 等. 高频焊接仪闭合动脉血管的安全性及可靠性研究[J]. *中国普通外科杂志*, 2016, 25(6):869-874. doi:10.3978/j.issn.1005-6947.2016.06.016

Cite this article as: Pan DY, Li Z, Yang SH, et al. Safety and reliability of using high-frequency electric welding device for arterial closure[J]. *Chin J Gen Surg*, 2016, 25(6):869-874. doi:10.3978/j.issn.1005-6947.2016.06.016