

DOI:10.16781/j.0258-879x.2017.04.0501

• 综述 •

## 水动力清创系统在烧伤创面清创中的应用概况

阚朝辉<sup>1,2</sup>, 刘功成<sup>1,3</sup>, 朱世辉<sup>1\*</sup>

1. 第二军医大学长海医院烧伤外科, 全军烧伤研究所, 上海 200433
2. 安徽省皖北卫生职业学院附属医院烧伤科, 宿州 234000
3. 海军 91860 部队, 上海 200433

**[摘要]** 清创是烧伤创面修复不可缺少的步骤。水动力清创系统(以下简称水刀)是一种先进的清创设备,与常规清创器械相比,其手柄灵活、操控性好,便于对外形不规则、表面不平整的部位进行清创;清创过程集坏死组织切除和创面灌注为一体,具有良好的组织选择性,有利于优化创面床,为皮肤移植和创面愈合创造良好条件。水刀用于烧伤创面清创已有 10 余年历史,国外应用广泛,并于近年引进国内。由于烧伤创面表现的复杂性,临床上对于水刀用于不同烧伤创面的清创效率、效果及经济性、术中出血量等尚存在一定分歧。本文旨在系统地总结水刀在烧伤创面清创中的应用效果,为临床医师提供参考。

**[关键词]** 烧伤;清创术;水动力清创系统;水刀

**[中图分类号]** R 644 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 0258-879X(2017)04-0501-05

### Application of hydrosurgery system in debridement of burn wound: an overview

KAN Zhao-hui<sup>1,2</sup>, LIU Gong-cheng<sup>1,3</sup>, ZHU Shi-hui<sup>1\*</sup>

1. Department of Burn Surgery, Changhai Hospital, PLA Institute of Burns, Second Military Medical University, Shanghai 200433, China
2. Department of Burn Surgery, Affiliated Hospital of Wanbei Health Professional College, Suzhou 234000, Anhui, China
3. Navy 91860 Troop of PLA, Shanghai 200433, China

**[Abstract]** Debridement is an indispensable step in repairing of burn wounds. Hydrosurgery system is an advanced instrument for debridement. Compared with the conventional debridement instruments, the hand-piece of hydrosurgery system is more facile and easy to be controlled, which is helpful for the debridement of wounds with irregular shape and uneven surface; besides, hydrosurgery system combines necrotic tissue resection and wound perfusion simultaneously, and its debridement process is highly tissue-selective, which is helpful to improve the wound-bed and to create favorable conditions for skin grafting and wound healing. Hydrosurgery system has been used in burn wounds debridement for more than 10 years. It is widely used abroad and has been introduced to China in recent years. Due to the complexity of burn wounds, there are also many different opinions about the clinical use of hydrosurgery system for different wounds, including debridement efficiency, effect, cost and the amount of bleeding. In this paper, we systematically summarized the effect of hydrosurgery system on the debridement of burn wounds, so as to provide reference for clinicians.

**[Key words]** burns; debridement; hydrosurgery system; water knife

[Acad J Sec Mil Med Univ, 2017, 38(4): 501-505]

外科清创是深度烧伤创面修复最基本的治疗措施,通过清创清除失活组织、炎症因子、病原微生物及其释放的毒素,可以防止创面加深,重建促进创面愈合的微环境,为皮肤移植创造有利条件。传统外科清创方法常使用手术刀、削痂刀、磨削工具等锐性

手术器械进行清创,这些清创器械切割效能较强,但准确性、彻底性差,容易误伤健康组织,不利于创面愈合。水动力清创系统(以下简称水刀)是一种利用高压高速水射流的切割作用和文丘里效应(Venturi effect)清除坏死感染组织的清创设备,灵活易操控,

**[收稿日期]** 2016-11-16 **[接受日期]** 2017-03-23

**[作者简介]** 阚朝辉,副教授、副主任医师。E-mail: kanzhaohui@163.com

\* 通信作者 (Corresponding author). Tel: 021-31161822, E-mail: doctorzhushihui@163.com

清创过程集坏死组织切除和创面冲洗为一体,具有高度组织选择性,有利于优化创面床,已成为烧伤创面最常用的清创工具之一<sup>[1-4]</sup>。然而,由于烧伤创面表现的复杂性,水刀对于不同部位、深度及不同发展阶段的烧伤创面清创效果亦不同,相关研究也存在一定分歧。本文将从应用历史、结构原理、适用创面、清创效果及存在不足等方面对水刀在烧伤创面清创中的临床应用情况加以综述。

## 1 临床应用历史

水射流(water jet)最早用于工业切割,后来应用于临床,主要用于各种实质性器官切除的腹腔镜手术<sup>[5-6]</sup>。1997年美国安德沃(Andover)公司开发出清创水刀,随后由英国施乐辉公司(Smith & Nephew)将其推广应用于急性创伤、各种慢性创面及烧伤创面清创。2013年10月第二军医大学长海医院烧伤外科在中国内地率先采用水刀用于大面积深Ⅱ度烧伤创面清创,取得了满意的效果,促进了水刀清创技术在国内的应用推广<sup>[7]</sup>。

## 2 结构原理

水刀主要由控制台、脚踏板和带有软管的一次性手柄等部件组成。无菌生理盐水经控制台的主机增压泵加压后产生高压高速的水射流,水射流经特殊材质制成的软管至一次性手柄,在手柄顶端经180°折返后从一个细小的喷嘴平行喷出,在喷嘴和集液管之间的孔隙中产生类似手术刀样的切割作用,并在局部形成真空效应,可将清除的失活组织碎片、含有细菌的创面分泌物、生物膜等连同水流一起抽吸带走,回收至废液桶内<sup>[1,8]</sup>。控制台设有10个工作档位,可通过脚踏板进行调节,档位越高清创能力越强。

## 3 水刀清创适用的烧伤创面

水刀清创受创面部位、类型等因素影响较大。水刀手柄灵活、易操控,尤其适于对面部、耳郭、手足、会阴、腋窝等外形不规则、表面不平整、常规清创器械难以清创的部位和复杂性创面进行清创,但对位于躯干、四肢等开阔平坦部位的烧伤创面,水刀清创并无优势<sup>[4,9-11]</sup>。水刀可用于亚急性、慢性烧伤创面及烧伤残余创面清创<sup>[12-15]</sup>。研究报道儿童深Ⅱ度

烧伤创面利用水刀早期清创,并以生物敷料覆盖或行自体刃厚皮移植,有较好的治疗效果<sup>[14,16]</sup>。此外,水刀具有创面冲洗作用,对于化学烧伤亦具有较好的清创效果<sup>[17-18]</sup>。

## 4 水刀用于烧伤创面的清创效果

4.1 水刀清创的精确性 彻底清除坏死组织并尽量减少对活性组织的损伤,即精准清创,是烧伤创面清创追求的目标。精准清创有利于减少不必要的损伤,加快创面愈合,改善创面愈合质量,对于颜面、手足等对外观或功能要求较高的部位清创尤为重要<sup>[10-11]</sup>。水刀单次切向增量50~100 μm,远低于使用常规清创器械750~1700 μm,清创层次暴露清晰,过程精确可控,清创平面容易把握<sup>[3-4,19]</sup>。水射流对不同活性、韧性的组织清除能力不同,使清创具有较好的组织选择性。Hyland等<sup>[16]</sup>通过对61例儿童Ⅱ度烧伤创面清创前后组织标本定量分析发现,水刀清创组清创深度中位数为35 μm,大大低于传统清创组325 μm。Matsumura等<sup>[19]</sup>在一项多中心前瞻性临床研究中,对47例不同类型创面患者应用水刀清创的效果进行评估发现,94%的患者经一次水刀清创即可获得满意的清创效果,创面坏死组织百分面积中位数从50%降到0,而创面面积和深度中位数仅分别增加了0.3 cm<sup>2</sup>(6.8%)和0.5 mm(25%)。水刀清创操控性好、精确性高目前已成为广泛共识<sup>[2,9-12,14,20-21]</sup>。但需要强调的是,清创的精确性不仅与清创器械有关,术者对于烧伤深度的判断、对清创层次的把握以及对于水刀档位的选择、操作手法和耐心细致程度也至关重要。

4.2 水刀清创的创面细菌负荷和清创次数 创面细菌负荷和清创次数是清创彻底性的重要评估指标。水刀清创将外科清创和创面冲洗有机结合。研究表明,创面冲洗可有效减少创面细菌负荷<sup>[8,22-24]</sup>。Skarlina等<sup>[25]</sup>在一项体外实验中,对接种了金黄色葡萄球菌的动物组织标本分别以水刀、锐性清创器械和生理盐水冲洗进行清创,清创后检测发现标本细菌负荷均有不同程度的降低:水刀清创组降低最为显著,达99.7%,其次为锐性清创加创面冲洗组87.4%,而单纯锐性清创及单纯创面冲洗分别为82.2%和46.0%。此外,亦有不少临床研究对水刀清创前后创面进行细菌生物学检测发现,水刀清创

后创面细菌数量及种类有不同程度地减少<sup>[11-13,19,26-27]</sup>。分析认为,水刀清创不仅可以清除坏死组织,还可有效破坏细菌生物膜,并可将其连同创面分泌物及时吸除,有效防止感染播散,降低术后创面细菌负荷<sup>[12]</sup>。但也有临床研究表明,水刀清创后创面感染率和细菌负荷变化与传统清创方法相比无明显差异<sup>[16,28]</sup>。实验研究中发现水刀清创后手术室环境空气细菌负荷显著升高,但此种现象是否会导致水刀清创后创面二次污染概率增加尚待进一步研究论证<sup>[28-29]</sup>。

尽管如此,多个独立临床研究结果显示,70%以上的患者经一次水刀清创及自体皮移植治疗即可达到满意的手术效果<sup>[11,19,26]</sup>。Granick等<sup>[30]</sup>在一项回顾性研究中对水刀和传统清创方法的清创次数进行了对比,发现使用水刀清创可使平均清创次数由1.9次减至1.2次( $P=0.0002$ )。

**4.3 水刀清创的效率** 提高清创效率有利于减轻手术打击,降低手术风险,对于严重烧伤患者尤为重要。水刀对于下肢溃疡、创伤等非烧伤创面的清创效率显著高于传统清创方法<sup>[13,28,31]</sup>。而烧伤创面表现复杂多样,不同程度地制约水刀的清创效率。Gravante等<sup>[9]</sup>在一项前瞻性随机对照临床研究中分别对两组烧伤患者采用水刀(42例)和传统方法(45例)进行清创,对比发现两组患者的平均清创时间基本相同,每1%总体表面积(TBSA)的烧伤面积的清创时间为2.7 min(40 min清创15% TBSA),但在手部、面部、生殖器等特殊部位,水刀清创时间显著少于传统清创方法,在躯干、四肢等大面积开阔部位则相反。水刀对于烧伤残余创面的清创效率高于传统清创方法<sup>[15]</sup>。由此可见,水刀的清创效率与清创部位、创面类型关系密切,总体而言,水刀对于慢性、后期烧伤创面的清创效率优于早期、急性创面。必要时联合应用水刀清创与传统清创方法可以提高清创效率。

**4.4 水刀清创的植皮存活率、创面愈合时间及愈合后瘢痕增生挛缩情况** Hyland等<sup>[16]</sup>对两组深Ⅱ度烧伤儿童分别采用水刀和传统清创方法清创后行自体皮移植,术后10 d的植皮存活率分别为94%和92%,差异无统计学意义( $P=0.9$ );两组患者的创面平均愈合时间均为13 d;这与Gravante等<sup>[9]</sup>在87例成人深Ⅱ~Ⅲ度烧伤创面的研究结果基本一致。

此外,研究报道慢性创面采用水刀和传统清创方法清创后的创面愈合时间差异亦无统计学意义<sup>[17,28]</sup>。相关原因和机制尚有待进一步研究。

多数研究表明,烧伤患者采用水刀清创愈合后瘢痕增生挛缩减轻<sup>[14,21,32-33]</sup>。但也有前瞻性随机对照临床研究发现,患者采用水刀和传统清创方法清创愈合后3个月、6个月的创面瘢痕增生挛缩程度无明显差异<sup>[9,16]</sup>。针对上述分歧尚需更长期的跟踪随访研究,也应进一步改进和完善瘢痕监测评估方法。

**4.5 水刀清创的疼痛情况和清创的安全性** 水刀清创精细易控,较传统清创方式在一定程度上具有微创效果。研究表明,在下肢溃疡等慢性创面,采用水刀清创可以减轻术中、术后疼痛,甚至可以进行床边清创<sup>[26]</sup>。但对于烧伤创面,研究发现与传统清创方式相比,水刀清创并不能减轻术后疼痛<sup>[9,16]</sup>。

水刀清创视野清晰,精确可控,手术安全性高,并发症少,较常规锐性手术清创器械可大大减少术者因误伤而导致感染肝炎、梅毒、艾滋病等血源性传播性疾病的风险,但仍有可能对潜行于皮肤软组织中的大血管、神经、肌腱等重要组织器官造成损伤<sup>[9,13,17,30]</sup>。因此,在重要血管、神经、肌腱及眼部等重要组织器官周围应降低档位,谨慎操作。

## 5 水刀清创的不足之处

**5.1 水刀清创无法对深度烧伤早期创面进行清创** 水刀水射流切割效能相对常规锐性清创器械较弱,适宜对质地松软的创面进行清创。深度烧伤早期创面坏死组织质地坚韧,甚至为焦痂,使用水刀难以清除。因此,水刀不适用于对深度烧伤早期创面进行清创。

**5.2 水刀清创术中创面渗血较多** 水刀清创术中常伴有广泛创面渗血,一直备受关注<sup>[9]</sup>。尽管有不少研究显示水刀清创术中出血量少于传统清创方法,但均缺乏令人信服的科学的检测方法和对比研究<sup>[28,34]</sup>。为减少创面渗血,有研究者选择向水刀无菌生理盐水中加入肾上腺素溶液,但效果并不理想<sup>[14]</sup>。我们采取术中肾上腺素溶液纱布按压湿敷结合电凝止血,虽然取得一定效果,但仍需进一步探索更为简单有效的止血方法。

**5.3 手术成本较高** 水刀主机及手柄价格昂贵,严重制约了水刀清创技术的应用推广。尤其是水刀手



柄的材质特殊、工艺复杂、无法重复消毒利用,导致单次清创手术成本及费效比过高,是国内外同行面临的共同问题<sup>[20,35-37]</sup>。对手柄进行改进,使其便于拆卸以重复消毒利用将是解决这一问题的有效途径。

## 6 小结和展望

水刀清创具有较好的组织选择性,有利于实现精准清创,优化创面床;对于颜面、手足等特殊部位清创具有明显优势,有利于改善其外观和功能,因而在烧伤创面清创中具有独特的应用价值。水刀用于烧伤创面清创,清创效率、效果随创面部位、类型不同而有较大差异,总体而言,慢性、后期烧伤创面优于急性、早期创面。必要时,联合运用水刀和传统清创方法,可进一步提高清创效率,改善清创效果。当前,由于价格成本等因素,水刀在国内烧伤领域应用仍不够广泛。将来,随着水刀手柄的改进,手术成本降低,并找到有效措施减少术中出血量,必将有力推动水刀清创技术的应用和推广,从而造福更多患者。

## [参考文献]

- [1] KLEIN M B, HUNTER S, HEIMBACH D M, ENGRAV L H, HONARI S, GALLERY E, et al. The Versajet water dissector: a new tool for tangential excision[J]. *J Burn Care Rehabil*, 2005, 26: 483-487.
- [2] RENNEKAMPFF H O, SCHALLER H E, WISSER D, TENENHAUS M. Debridement of burn wounds with a water jet surgical tool[J]. *Burns*, 2006, 32: 64-69.
- [3] TENENHAUS M, BHAVSAR D, RENNEKAMPFF H O. Treatment of deep partial thickness and intermediate depth facial burn wounds with water-jet debridement and a biosynthetic dressing [J]. *Injury*, 2007, 38(Suppl 5): S39-S45.
- [4] JEFFERY S L. Device related tangential excision in burns[J]. *Injury*, 2007, 38(Suppl 5): S35-S38.
- [5] PAPACHRISTOU D N, BARTERS R. Resection of the liver with a water jet[J]. *Br J Surg*, 1982, 69: 93-94.
- [6] SHEKARRIZ B, SHEKARRIZ H, UPADHYAY J, WOOD D P Jr, BRUCH H P. Hydro-jet dissection for laparoscopic nephrectomy: a new technique [J]. *Urology*, 1999, 54: 964-967.
- [7] 杨翎. 国内首例“水刀”削痂手术完成[EB/OL]. (2014-05-27). <http://www.doctorpda.cn/news/3732>.
- [8] HAMER M L, ROBSON M C, KRIZIEK T J, SOUTHWICK W O. Quantitative bacterial analysis of comparative wound irrigations[J]. *Ann Surg*, 1975, 181: 819-822.
- [9] GRAVANTE G, DELOGU D, ESPOSITO G, MONTONE A. Versajet hydrosurgery versus classic escharectomy for burn débridement: a prospective randomized trial[J]. *J Burn Care Res*, 2007, 28: 720-724.
- [10] DUTEILLE F, PERROT P. Management of 2<sup>nd</sup>-degree facial burns using the Versajet<sup>®</sup> hydrosurgery system and xenograft: a prospective evaluation of 20 cases[J]. *Burns*, 2012, 38: 724-729.
- [11] KAWECKI M, MIKUŚ-ZAGÓRSKA K, GLIK J, NOWAK M. The efficiency of burn wounds debridement with use of hydrosurgery—our experiences [J]. *Pol Przegl Chir*, 2015, 87: 1-5.
- [12] VANWIJCK R, KABA L, BOLAND S, GONZALES Y, AZERO M, DELANGE A, TOURBACH S. Immediate skin grafting of subacute and chronic wounds debrided by hydrosurgery[J]. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*, 2010, 63: 544-549.
- [13] GURUNLUOGLU R. Experiences with waterjet hydrosurgery system in wound debridement[J]. *World J Emerg Surg*, 2007, 2: 10.
- [14] CUBISON T C, PAPE S A, JEFFERY S L. Dermal preservation using the Versajet hydrosurgery system for debridement of paediatric burns[J]. *Burns*, 2006, 32: 714-720.
- [15] 刘功成, 阚朝辉, 盛嘉隽, 李海航, 李磊, 孙瑜, 等. 水动力清创系统在严重烧伤患者大面积残余创面清创中的应用效果[J]. *中华烧伤杂志*, 2016, 32: 549-554.
- [16] HYLAND E J, D'CRUZ R, MENON S, CHAN Q, HARWEY J G, LAWRENCE T, et al. Prospective, randomised controlled trial comparing Versajet<sup>TM</sup> hydrosurgery and conventional debridement of partial thickness paediatric burns[J]. *Burns*, 2015, 41: 700-707.
- [17] CAPUTO W J, BEGGS D J, DEFEBE J L, SIMM L, DHARMA H. A prospective randomised controlled clinical trial comparing hydrosurgery debridement with conventional surgical debridement in lower extremity ulcers[J]. *Int Wound J*, 2008, 5: 88-94.
- [18] GÜMÜŞ N, ERKILIC A, ANALAY H. Water jet for early treatment of chemical burn[J]. *Burns*, 2010, 36: 36-37.

- [19] MATSUMURA H, NOZAKI M, WATANABE K, SAKURAI H, KAWAKAMI S, NAKAZAWA H, et al. The estimation of tissue loss during tangential hydrosurgical debridement[J]. *Ann Plast Surg*, 2012, 69: 521-525.
- [20] SAINSBURY D C. Evaluation of the quality and cost-effectiveness of Versajet hydrosurgery[J]. *Int Wound J*, 2009, 6: 24-29.
- [21] KIMBLE R M, MOTT J, JOETHY J. Versajet hydrosurgery system for the debridement of paediatric burns[J]. *Burns*, 2008, 34: 297-298.
- [22] GRANICK M S, TENENHAUS M, KNOX K R, ULM J P. Comparison of wound irrigation and tangential hydrodissection in bacterial clearance of contaminated wounds: results of a randomized, controlled clinical study[J]. *Ostomy Wound Manage*, 2007, 53: 64-66, 68-70, 72.
- [23] MANCUSI-UNGARO H R Jr, RAPPAPORT N H. Preventing wound infections[J]. *Am Fam Physician*, 1986, 33: 147-153.
- [24] BROWN L L, SHELTON H T, BORNSIDE G H, COHN I Jr. Evaluation of wound irrigation by pulsatile jet and conventional methods[J]. *Ann Surg*, 1978, 187: 170-173.
- [25] SKARLINA E M, WILMINK J M, FALL N, GOVEY D A. Effectiveness of conventional and hydrosurgical debridement methods in reducing *Staphylococcus aureus* inoculation of equine muscle *in vitro*[J]. *Equine Vet J*, 2015, 47: 218-222.
- [26] MOSTI G, IABICHELLA M L, PICERNI P, MAGLIARO A, MATTALIANO V. The debridement of hard-to-heal leg ulcers by means of a new device based on Fluidjet technology[J]. *Int Wound J*, 2005, 2: 307-314.
- [27] FRACCALVIERI M, SERA R, RUKA E, ZINGARELLI E, ANTONIOTTI U, ROBBIANO F, et al. Surgical debridement with VERSAJET: an analysis of bacteria load of the wound bed pre- and post-treatment and skin graft taken. A preliminary pilot study[J]. *Int Wound J*, 2011, 8: 155-161.
- [28] LIU J, KO J H, SECRETOV E, HUANG E, CHUKWU C, WEST J, et al. Comparing the hydrosurgery system to conventional debridement techniques for the treatment of delayed healing wounds: a prospective, randomised clinical trial to investigate clinical efficacy and cost-effectiveness[J]. *Int Wound J*, 2015, 12: 456-461.
- [29] BOWLING F L, STICKINGS D S, EDWARDS-JONES V, ARMSTRONG D G, BOULTON A J. Hydrodebridement of wounds: effectiveness in reducing wound bacterial contamination and potential for air bacterial contamination[J]. *J Foot Ankle Res*, 2009, 2: 13.
- [30] GRANICK M S, POSNETT J, JACOBY M, NORUTHUN S, GANCHI P A, DATIASHVILI R O. Efficacy and cost-effectiveness of a high-powered parallel waterjet for wound debridement[J]. *Wound Repair Regen*, 2006, 14: 394-397.
- [31] HALIM A S, KHOO T L, MAT SAAD A Z. Wound bed preparation from a clinical perspective[J]. *Indian J Plast Surg*, 2012, 45: 193-202.
- [32] GRAVANTE G, ESPOSITO G, DI FEDE M C, DELOGU D, MONTONE A. Versajet hydrosurgery in burns wound debridement: a preliminary experience [J]. *Burns*, 2007, 33: 401-402.
- [33] DUNKIN C S, PLEAT J M, GILLESPIE P H, TYLER M P, ROBERTS A H, MCGROUTHER D A. Scarring occurs at a critical depth of skin injury: precise measurement in a graduated dermal scratch in human volunteers [J]. *Plast Reconstr Surg*, 2007, 119: 1722-1732.
- [34] YANG J Y, HWUANG J Y, CHUANG S S. Clinical experience in using the water jet in burn wound debridement[J]. *Ann Burns Fire Disasters*, 2007, 20: 72-77.
- [35] MARK GRANICK M D, JOSEPH BOYKIN M D, RICHARD GAMELLI R, SCHULTZ G, MAYER TENENHAUS M D. Toward a common language: surgical wound bed preparation and debridement[J]. *Wound Repair Regen*, 2006, 14(S1): S1-S10.
- [36] GRANICK M S, JACOBY M, NORUTHRUN S, GANCHI P A. Clinical and economic impact of hydrosurgical debridement on chronic wounds [J]. *Wounds*, 2006, 18: 35-39.
- [37] RAPPL T, REGAUER S, WIEDNER M, WITQRUBER G, SCHINTLER M, SCHAMAQL E. [Clinical experiences using the Versajet system in burns: indications and applications] [J]. *Handchir Mikrochir Plast Chir*, 2007, 39: 308-313.