

· 论 著 ·

本文亮点:

- (1) 通过对比水动力清创系统(以下简称水刀)与传统器械在离体猪皮烧伤早期焦痂模型削痂与后期溶痂创面模型清创中的应用效果,证实水刀削痂更精准,清创更高效,但清创时可能清除过多正常组织。
- (2) 基于标准化技能比赛中同等资历医师的操作数据,采用配对样本检验进行分析,为水刀临床应用提供了可量化、可复制的实践依据。
- (3) 提出水刀参数应根据创面类型进行调整,并可与传统器械结合使用,实现优势互补,为优化烧伤创面手术策略提供了新思路。

Highlights:

- (1) By comparing the hydrosurgical debridement system (hereinafter referred to as the water jet) with conventional instruments in *ex vivo* porcine burn models of early eschar excision and late-stage debridement of liquefied eschar, we confirmed that the water jet achieves greater precision in eschar excision and greater efficiency in debridement, but may remove excessive normal tissue during debridement.
- (2) Based on operational data from physicians of equivalent seniority in a standardized skills competition, analyzed using paired-sample tests, this study provides quantifiable and reproducible practical evidence for the clinical application of the water jet.
- (3) We propose that water jet parameters should be adjusted according to wound type and that it can be combined with conventional instruments to achieve complementary advantages, offering a new approach for optimizing burn surgery strategies.



水动力清创系统在离体猪皮烧伤创面模型削痂与清创中的应用效果

潘选良^{1,2} 陈炯³ 韩春茂¹ 王新刚¹

¹浙江大学医学院附属第二医院烧伤与创面修复科,杭州 310009;²龙泉产业创新研究院,龙泉 323700;³温州医科大学附属第三医院烧伤与皮肤修复外科,瑞安 325200

通信作者:陈炯,Email:2008chenjiong@163.com

【摘要】 目的 探讨水动力清创系统(以下简称水刀)在离体猪皮烧伤创面模型削痂与清创中的应用效果。**方法** 该研究为成组设计的基础研究。2024年11月21日,浙江省23名青年医师(男20名、女3名,年龄30~43岁)于宁波市参加2024年浙江省烧伤外科临床技能比赛,每名医师分别使用水刀与传统器械,对离体猪皮烧伤早期焦痂创面模型和后期溶痂创面模型(面积均为12 cm×8 cm)分别实施削痂手术(应用水刀和辊轴取皮刀)与清创手术(应用水刀和常规手术刀)。记录两种手术中应用两种操作器械的耗时(评估速度)及清除组织量(评估精准度)。**结果** 在削痂手术中,水刀操作

DOI: 10.3760/cma.j.cn501225-20250327-00146

收稿日期 2025-03-27

引用本文:潘选良,陈炯,韩春茂,等.水动力清创系统在离体猪皮烧伤创面模型削痂与清创中的应用效果[J].中华烧伤与创面修复杂志,2026,42(8):1-6. DOI: 10.3760/cma.j.cn501225-20250327-00146.

Pan Xuanliang, Chen Jiong, Han Chunmao, et al. Application effects of the hydrosurgical debridement system in *ex vivo* porcine burn skin models of eschar excision and debridement[J]. Chin J Burns Wounds, 2026, 42(8): 1-6. DOI: 10.3760/cma.j.cn501225-20250327-00146.



耗时[122(96, 145)s]与传统器械[125(56, 233)s]相比,差异无统计学意义($P>0.05$);水刀清除组织量为(2.88±0.27)g,显著少于传统器械的(13.81±1.93)g, ($t=-5.44, P<0.05$)。在清创手术中,水刀操作耗时为(121±9)s,显著短于传统器械的(368±33)s, ($t=-7.00, P<0.05$);水刀清除组织量为(30.85±1.98)g,显著多于传统器械的(21.48±1.45)g, $P<0.05$ 。 **结论** 与传统器械相比,水刀在离体猪皮烧伤创面早期削痂手术中可更精准地清除坏死组织,减轻对正常组织的损伤;但在后期清创手术中虽显著提高清创速度,却可能清除过多正常组织。

【关键词】 烧伤; 外科手术; 模型,动物; 清创术; 削痂; 水动力清创系统

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(82402900)

Application effects of the hydrosurgical debridement system in *ex vivo* porcine burn skin models of eschar excision and debridement

Pan Xuanliang^{1,2}, Chen Jiong³, Han Chunmao¹, Wang Xingang¹

¹Department of Burn and Wound Repair, the Second Affiliated Hospital of Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou 310009, China; ²Longquan Industrial Innovation Research Institute, Longquan 323700, China; ³Department of Burn and Skin Repair Surgery, the Third Affiliated Hospital of Wenzhou Medical University, Ruian 325200, China

Corresponding author: Chen Jiong, Email: 2008chenjiong@163.com

【Abstract】 **Objective** To investigate the application effects of the hydrosurgical debridement system (hereinafter referred to as the water jet) in *ex vivo* porcine burn skin models of eschar excision and debridement. **Methods** This was a grouped basic research study. Twenty-three young physicians (20 males, 3 females, aged 30–43 years) participated in the 2024 Zhejiang Provincial Burn Surgery Skills Competition. Each physician performed eschar excision and debridement procedures using both the water jet and conventional instruments (a dermatome and a scalpel) in *ex vivo* porcine burn skin models of early-stage eschar excision and late-stage debridement of liquefied eschar (each measuring 12 cm×8 cm). The operation time (assessing speed) and weight of removed tissue (assessing precision) were recorded for both techniques in both procedures. **Results** In escharectomy procedures, the operative time of the water jet (122 (96, 145) s) showed no significant difference compared with conventional instruments (125 (56, 233) s), $P>0.05$; however, the tissue removal weight of the water jet (2.88±0.27) g was significantly less than (13.81±1.93) g of conventional instruments ($P<0.05$). In debridement procedures, the operative time of the water jet (121±9) s was significantly shorter than (368±33) s of conventional instruments ($P<0.05$); however, the tissue removal weight of the water jet (30.85±1.98) g was significantly greater than (21.48±1.45) g of conventional instruments ($P<0.05$). **Conclusions** Compared with conventional instruments, the water jet can remove necrotic tissue in *ex vivo* porcine burn skin more precisely and reduce damage to healthy tissue in early-stage eschar excision; however, in late-stage debridement of liquefied eschar, although it significantly improves debridement speed, it may remove excessive normal tissue.

【Key words】 Burns; Surgical procedures, operative; Models, animal; Debridement; Tangential excision; Hydrosurgery system; Wound repair

Fund program: Young Scientists Fund of National Natural Science Foundation of China (82402900)

烧伤患者,尤其是重症患者,其手术操作耗时与术后病情稳定情况密切相关^[1-2]。近年来,水动力清创系统(以下简称水刀)逐渐被应用于烧伤外科领域,其原理是通过特定孔径的喷嘴喷射水流,利用产生的局部真空效应,同步实现组织的切割、冲洗与吸引^[3-7]。水刀在获得临床专家肯定的同时,其速度与精准度能否突破传统器械操作的瓶颈,亦备受关注^[8-14]。目前,国内外关于水刀在烧伤早期创面削痂及后期溶痂创面清创中应用的研究尚不充分,且鲜见其与传统器械操作的直接临床对照报道。

为客观评价水刀的临床应用效果,本研究通过临床技能竞赛获取水刀及传统器械的相关操作数据,并进行比较分析,以期优化烧伤早期削痂及后期溶痂创面清创的手术策略提供参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料

2024年11月21日,在浙江省医学会烧伤外科及创面修复分会学术年会期间,举办了烧伤外科临床技能比赛。比赛场地设于宁波市第二医院临床

技能培训中心,共启用14间独立教室作为比赛场地,其中8间用于传统器械削痂及清创手术,6间用于水刀削痂及清创手术。每间比赛场地配备2名具有正高级技术职称的医师担任评委,并安排1名志愿者协助准备比赛所需物料,所有物料由组织者统一提供。参赛者均为浙江省内从事烧伤与创面修复工作的青年医师,共23名(来自13家单位),其中男20名、女3名,年龄30~43(36±4)岁,工作年限6~15年,职称均为主治医师及以上。

烧伤早期焦痂创面模型选用带表皮的猪皮组织,经火枪烧灼至皮肤表面呈焦黄色后,切分为表面积一致的模型,每块尺寸为12 cm×8 cm。烧伤后期溶痂创面模型则选用去除表皮的猪皮组织,于脂肪层表面均匀涂刷亚甲蓝(以染色组织模拟坏死组织),同样切分为表面积一致的模型,每块尺寸为12 cm×8 cm。见图1。

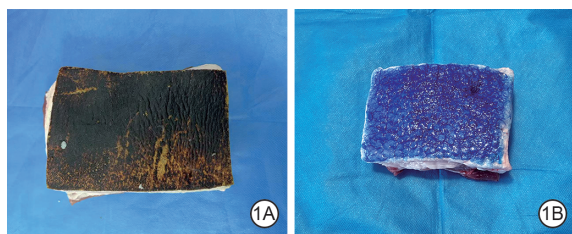


图1 两种离体猪皮烧伤模型。1A.早期焦痂创面模型;1B.后期溶痂创面模型

Figure 1 Two ex vivo porcine burn skin models

1.2 方法

参赛者于赛前任意抽取削痂手术和清创手术的两种参赛证,两种参赛证上均已标注比赛场地号及比赛场地场次。比赛时,参赛者独立完成全部操作。削痂手术采用水刀(操作者根据个人经验设定水刀参数)或辊轴取皮刀完成,清创手术使用水刀或常规手术刀完成,见图2、3。削痂手术合格的评判标准:完全清除焦黄组织至正常色泽的真皮层面。清创手术合格的评判标准:完全清除染色组织至正常色泽的脂肪层面。进行每项操作前,参赛者检查物品齐全后,示意评委准备就绪,评委下达“开始”指令,并同步启动秒表计时。待参赛者完成操作并报告“结束”后,评委再次按下秒表,记录操作时间。若评委判定操作合格,则该时间计为有效成绩;若判定不合格,参赛者需继续操作,直至评委评定合格,最后将所记录的总时间计入有效成绩。操作前,使用电子秤称量模型初始质量。操作完成后,清除模型表面的组织碎块及水迹,再次称量,两

次称量之差记为操作中清除的组织量。

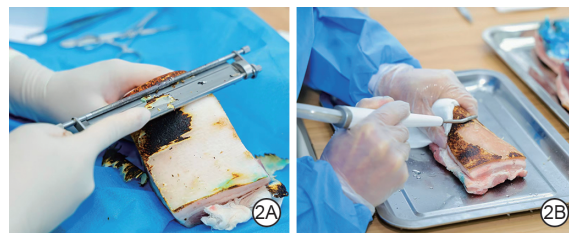


图2 两种操作器械处理离体猪皮烧伤早期焦痂创面模型。2A.用辊轴取皮刀削痂;2B.用水动力清创系统削痂

Figure 2 Treatment of the early burn eschar excision model using two operative techniques

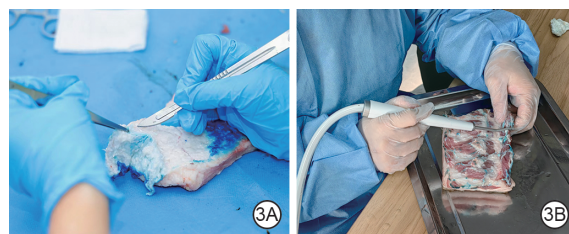


图3 两种操作器械处理离体猪皮烧伤后期溶痂创面模型。3A.用常规手术刀清创;3B.用水动力清创系统清创

Figure 3 Treatment of the late-stage debridement model of burn liquefied eschar using two operative techniques

1.3 观察指标

分别记录水刀与传统器械完成削痂手术及清创手术的操作耗时,以评估手术速度;同时记录两种器械在两种手术方式下的清除组织量,以评估手术精准度。

1.4 统计学处理

采用SPSS 26.0统计软件进行数据分析,符合正态分布的计量资料数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示,同一指标两个数据间的比较采用配对样本 t 检验;非正态分布的计量资料数据以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示,同一指标两个数据比较采用Wilcoxon符号秩检验。所有检验为双侧检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

在削痂手术中,水刀操作耗时与传统器械相比,差异无统计学意义($P > 0.05$);但水刀清除组织量显著少于传统器械($P < 0.05$)。在清创手术中,水刀操作耗时显著短于传统器械($P < 0.05$),但水刀清除组织量显著多于传统器械($P < 0.05$)。见表1。

3 讨论

创面处理是烧伤患者救治的关键环节,手术速度与精准度直接影响创面修复效果^[15-18]。本研究通

表 1 两种操作器械在削痂手术及清创手术中耗时与清除组织量比较

Table 1 Comparison of time and tissue removal volume of two operative techniques between two surgical methods during eschar excision and debridement

操作器械	样本数	削痂手术		清创手术	
		耗时[s, $M(Q_1, Q_3)$]	清除组织量($\bar{x} \pm s$)	耗时(s, $\bar{x} \pm s$)	清除组织量($\bar{x} \pm s$)
水动力清创系统	23	122(96, 145)	2.88±0.27	121±9	30.85±1.98
传统器械	23	125(56, 233)	13.81±1.93	368±33	21.48±1.45
统计量值		$Z=1.00$	$t=-5.44$	$t=-7.00$	$t=4.00$
P 值		0.319	<0.001	<0.001	0.001

注: 削痂用的传统器械为辊轴取皮刀, 清创用的传统器械为常规手术刀

过比较水刀与传统器械在烧伤早期削痂手术与后期清创手术中的速度和精准度, 探讨水刀在不同手术操作中的优势与局限性。

本研究显示, 在削痂手术中水刀与传统器械的操作耗时相近, 但水刀清除的组织量显著少于传统器械。分析可能原因如下: 水刀在处理焦痂时, 因焦痂组织硬度较高, 其流体动力学的切割速度降低, 加之水刀刀头较小, 无法同时大范围清创, 从而影响手术速度, 导致本研究中两种操作器械的耗时相近。文献报道, 水刀在处理较坚硬的坏死组织时, 速度优势不明显^[19]。近期一项 Cochrane 系统评价亦显示, 在烧伤创面削痂中, 水刀与传统器械的操作耗时差异极小^[20], 与本研究中水刀削痂操作耗时与传统器械相近的结果相符。水刀清除组织量显著少于传统器械, 可能原因如下: 烧伤创面可能存在深浅不一的情况, 水刀刀头较小, 能够更精确地控制切割层次及边界, 避免误伤正常组织。而传统辊轴取皮刀的刀面较宽, 操作时难以精准控制切割层次及边界, 导致清除组织量较多。此外, 水刀工作时需用水, 理论上可能导致模型因组织吸水而增重, 从而使计算出的清除组织量偏小。但在实际操作中, 水刀刀头局部产生真空效应, 水和组织碎片被及时吸走, 外溢水量有限; 且本研究操作耗时较短, 即便模型表面接触水, 短时间内吸收量亦十分有限。同时, 为减小误差, 操作完成后和再次称重前, 均先清除模型表面的组织碎片及水迹。因此, 前述因素对结果的影响有限, 且本研究结果与既往文献报道^[21-22]一致, 表明本研究结果可靠。

多项研究亦显示, 水刀能更精准地清除烧伤创

面坏死组织, 保留正常真皮^[22-24]。基于此, 笔者团队认为水刀在削痂手术中具有一定的精准度优势, 适用于需要精细控制的创面处理, 但其速度优势在削痂中未得到体现, 可能与坏死组织的硬度有关, 后期可通过改进水刀水流动力系统、增加功率以提高速度。对于质韧、完整且较深的深Ⅱ度烧伤创面, 二者结合使用(即先用辊轴取皮刀行保守削痂, 再用水刀行精准清创), 可达到优势互补的效果^[25]。当然, 无论是对水刀压力参数的调节, 还是对辊轴取皮刀刻度的设定及手术过程的整体把握, 均与操作者的经验密切相关。

从清创手术数据来看, 水刀的操作耗时显著短于传统器械, 但清除的组织量显著多于传统器械。分析可能原因如下: 水刀的高速水流更易切割柔软组织, 而本研究的烧伤后期溶痂创面模型以亚甲蓝染色的皮下脂肪组织模拟坏死组织, 质地较软, 因此能被水刀快速清除。然而, 高速水流可能导致切割范围扩大而误伤正常组织。有研究表明, 在烧伤后期溶痂创面清创中, 水刀较传统器械可提高清创速度, 缩短操作耗时^[26-29]。针对慢性创面患者的随机对照试验^[30]和系统综述^[31-32]亦观察到同样结果。然而, 本研究结果显示, 水刀在清创中虽能显著缩短操作耗时, 但也可能增加正常组织损伤的风险。Yuan 等^[33]通过动物实验观察到, 水刀的工作压力参数对组织选择性有显著影响, 低压模式下可减少正常组织的损伤, 这为临床调整参数提供了理论依据。笔者团队认为, 水刀在清创手术中的高效性显著, 适用于需要快速处理的创面, 但其可能伴随正常组织被过度清除的风险。临床上, 烧伤后期溶痂创面多为肉芽组织或溶解液化的变性坏死组织, 适度修剪创面后, 正确使用水刀可有效控制清创平面, 避免误伤正常组织。

尽管本研究为水刀在烧伤早期削痂与后期溶痂创面清创中的应用提供了有价值的参考, 但仍存在以下局限性: (1) 本研究采用离体猪皮烧伤模型模拟人体创面, 虽能较好地控制变量, 但无法完全反映临床实际创面在血管分布、组织弹性及活性等方面的差异, 也缺乏严谨的客观指标来评估清创质量与精准度。未来在解决伦理问题后, 本研究结论仍需在活体组织上进一步验证。(2) 本研究仅纳入 23 名参赛者, 样本量较小; 且使用水刀时参数由参赛者根据个人经验选择, 虽在一定程度上贴近临床实际, 但可能影响结果的稳健性与普适性。(3) 所有

参赛者均来自同一省份,以青年医师为主,操作熟练度参差不齐,可能限制结论的广泛适用性,并对结果的一致性评价产生一定影响。(4)术中出血量是评价清创手术效果的重要指标之一。文献报道,水刀在清创中能减少创面出血量^[30,34];亦有研究指出使用水刀时创面渗血较多^[35]。然而,本研究未对出血量进行评估,未能就此提供直接证据。未来研究应进一步优化模型设计,扩大样本量,逐步推进多中心、大样本的临床应用研究,并系统探索水刀的最佳应用策略。

综上,本研究团队认为,与传统器械相比,水刀在烧伤削痂手术中凸显精准度优势,能减少对健康组织的损伤,但速度提升不显著,尚有待通过升级设备与优化参数加以改善;在清创手术中,水刀虽可显著缩短操作耗时,却伴随正常组织清除量的增加,精准度尚需可靠的解决方案。临床应用中,应根据创面类型合理调节水刀参数,并与传统器械联合使用,以实现最优治疗效果。未来,人工智能辅助决策系统或许能为这一难题提供智能化、个体化的最优解决方案。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

志谢 感谢浙江省医学会烧伤外科及创面修复分会全体委员及参赛者

作者贡献声明 潘选良:设计研究、实施研究、收集与分析数据、撰写文章;陈炯:设计试验、实施研究、修改文章、对文章的知识性内容作批评性审阅;韩春茂、王新刚:实施并指导研究、对文章的知识性内容作批评性审阅

参考文献

- [1] 陈宾, 汤文彬, 李孝建, 等. 危重烧伤并发术后心房颤动患者的临床特征及其危险因素分析[J]. 中华烧伤与创面修复杂志, 2022,38(5):408-414. DOI: 10.3760/cma.j.cn501225-20220214-00026.
- [2] 段德庆, 陈永, 邓鸿放, 等. 大面积烧伤患者输血情况的多中心回顾及影响因素分析[J]. 中华烧伤与创面修复杂志, 2023, 39(11): 1047-1056. DOI: 10.3760/cma.j.cn501225-20230417-00128.
- [3] Kokoska RE, Szeto MD, Sivesind TE, et al. From the cochrane library: hydrosurgical debridement versus conventional surgical debridement for acute partial-thickness burns[J]. JMR Dermatol, 2022,5(2):e37030. DOI: 10.2196/37030.
- [4] Marinescu EA, Negrilă AA, Marinescu RA, et al. Burn debridement-approach and review[J]. Curr Health Sci J, 2025, 51(1):5-13. DOI: 10.12865/CHSJ.51.01.01.
- [5] 尹希, 徐欢, 郑小鹏, 等. 水刀精准清创结合负压渐退法治疗坏死性筋膜炎的疗效观察[J]. 组织工程与重建外科杂志, 2021,17(5):386-389. DOI: 10.3969/j.issn.1673-0364.2021.05.004.
- [6] Beraja GE, Gruzmark F, Pastar I, et al. What's new in wound healing: treatment advances and microbial insights[J]. Am J Clin Dermatol, 2025,26(5):677-694. DOI: 10.1007/s40257-025-00953-9.
- [7] 刘淑岩, 赵宇辉, 刘铁成, 等. 水刀与削痂清创治疗中等面积深 II 度烧伤创面的效果对比[J]. 中华实验外科杂志, 2023, 40(5):916. DOI: 10.3760/cma.j.cn421213-20221129-00862.
- [8] Gravante G, Delogu D, Esposito G, et al. Versajet hydrosurgery versus classic escharectomy for burn débridement: a prospective randomized trial[J]. J Burn Care Res, 2007,28(5):720-724. DOI: 10.1097/BCR.0B013E318148C9BD.
- [9] Scalise A, Pau A, Licini C, et al. Use of hydrosurgical debridement system for silicone gel removal after breast implant rupture[J]. Plast Reconstr Surg Glob Open, 2024, 12(6):e5862. DOI: 10.1097/GOX.0000000000005862.
- [10] Xu X, Wang R, Wu H, et al. Hydrosurgical debridement system combined with negative pressure wound therapy for the treatment of large chronic wounds caused by polyacrylamide hydrogel injection for breast augmentation[J]. Wounds, 2026,38(2):20-24. DOI: 10.25270/wnds/25003.
- [11] 王磊, 蔡玉辉, 胡克苏, 等. 水动力清创系统用于深 II 度烧伤创面治疗临床疗效的回顾性研究[J/OL]. 中华损伤与修复杂志(电子版), 2021,16(3):245-250. https://rs.yiigle.com/cmaid/1555194. DOI:10.3877/cma.j.issn.1673-9450.2021.03.014.
- [12] Tang XD, Qiu L, Wang F, et al. Safety and efficacy of waterjet debridement vs. conventional debridement in the treatment of extremely severe burns: a retrospective analysis[J]. Burns, 2023, 49(8): 1926-1934. DOI: 10.1016/j.burns.2023.06.004.
- [13] 陈宏泽, 刘晟, 陈旭林. 水动力清创系统在大面积深 II 度烧伤创面清创中的应用效果[J/OL]. 中华损伤与修复杂志(电子版), 2024, 19(4): 314-318. https://rs.yiigle.com/cmaid/1555473. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1673-9450.2024.04.007.
- [14] Jiang Y, Zhou P, Liu AY, et al. Efficacy of hydrosurgical eschar excision following MEEK microskin grafting in patients with massive burns: a retrospective study of a single center[J]. Burns, 2024,50(5):1223-1231. DOI: 10.1016/j.burns.2024.02.027.
- [15] 何泽亮, 李锦, 随振阳, 等. 超声清创法在烧伤残余创面中的应用及其临床疗效[J]. 中华烧伤与创面修复杂志, 2022, 38(11):1034-1039. DOI: 10.3760/cma.j.cn501120-20211123-00396.
- [16] 中华医学会烧伤外科学分会, 海峡两岸医药卫生交流协会暨烧伤创面修复专委会. II 度烧伤创面治疗专家共识(2024 版) II: 手术治疗和感染防治[J]. 中华烧伤与创面修复杂志, 2024,40(2):101-118. DOI: 10.3760/cma.j.cn501225-20240112-00015.
- [17] 官浩, 张栋梁. 烧伤与创面修复外科诊疗中的多学科融合: 现状与挑战及未来[J]. 中华烧伤与创面修复杂志, 2025,41(11): 1050-1056. DOI: 10.3760/cma.j.cn501225-20250901-00379.
- [18] 吴首臣, 王大鹏, 随永敏. 削痂植皮术联合负压封闭引流、纳米银医用抗菌敷料治疗深度烧伤的临床效果[J]. 组织工程与重建外科杂志, 2025,21(5):479-485. DOI: 10.3969/j.issn.1673-0364.2025.05.011.
- [19] 李梦芸, 毛远桂, 郭光华, 等. 水动力清创系统在各类烧伤创面清创手术中的应用[J]. 中华烧伤杂志, 2016,32(9):574-576. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1009-2587.2016.09.014.
- [20] Wormald JC, Wade RG, Dunne JA, et al. Hydrosurgical debridement versus conventional surgical debridement for acute partial-thickness burns[J]. Cochrane Database Syst Rev, 2020,9:CD012826. DOI: 10.1002/14651858.CD012826.pub2.
- [21] de Cesaro Schpachacki N, Lamas FM, Fabris FR, et al. Efficacy

- and safety of hydrosurgical debridement compared with conventional excision in thermal burns: a systematic review and meta-analysis[J]. *Wound Repair Regen*, 2026, 34(3): e70178. DOI: 10.1111/wrr.70178.
- [22] Ziegler B, Fischer S, Pieper D, et al. Evidence and trends in burn wound debridement: an evidence map[J]. *Plast Surg (Oakv)*, 2020, 28(4): 232-242. DOI: 10.1177/2292550320928553.
- [23] Zhang C, Li Z, Zhang Q, et al. Application of minimally invasive debridement for deep second-degree facial burns in the early postburn phase[J]. *BMC Surg*, 2025, 25(1): 17. DOI: 10.1186/s12893-024-02678-8.
- [24] Legemate CM, Kwa K, Goei H, et al. Hydrosurgical and conventional debridement of burns: randomized clinical trial[J]. *Br J Surg*, 2022, 109(4): 332-339. DOI: 10.1093/bjs/zgab470.
- [25] 梁艳, 石文, 邵阳, 等. 早期清创保守去痂后外覆脱细胞真皮基质治疗小儿深度烧伤的效果[J]. *中华烧伤与创面修复杂志*, 2024, 40(4): 348-357. DOI: 10.3760/cma.j.cn501225-20230720-00010.
- [26] 刘功成, 阚朝辉, 盛嘉隽, 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(9): 549-554. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1009-2587.2016.09.008.
- [27] 项俊, 吴红. 水动力清创系统对大面积烧伤残余创面愈合及炎症因子的影响[J]. *中国美容医学*, 2021, 30(10): 25-28.
- [28] 张彩云. 水动力清创系统在大面积烧伤残余创面治疗中的临床疗效观察[D]. 石家庄: 河北医科大学, 2024.
- [29] 赵建磊, 赵婧琦, 刘唱, 等. 水动力清创治疗烧伤的效果: 随机对照试验的系统评价[J]. *上海交通大学学报(医学版)*, 2025, 45(5): 614-623. DOI: 10.3969/j.issn.1674-8115.2025.05.010.
- [30] Liu J, Ko JH, Secretov E, 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(4): 456-461. DOI: 10.1111/iwj.12137.
- [31] Bekara F, Vitse J, Fluieraru S, et al. New techniques for wound management: a systematic review of their role in the management of chronic wounds[J]. *Arch Plast Surg*, 2018, 45(2): 102-110. DOI: 10.5999/aps.2016.02019.
- [32] Shimada K, Ojima Y, Ida Y, et al. Efficacy of Versajet hydrosurgery system in chronic wounds: a systematic review[J]. *Int Wound J*, 2021, 18(3): 269-278. DOI: 10.1111/iwj.13528.
- [33] Yuan M, Yin M, Zhang L, et al. Selective debridement of burn wounds using hydrosurgery system[J]. *Int Wound J*, 2020, 17(2): 300-309. DOI: 10.1111/iwj.13270.
- [34] Cao YL, Liu ZC, Chen XL. Efficacy of hydrosurgical excision combined with skin grafting in the treatment of deep partial-thickness and full-thickness burns: a two-year retrospective study[J]. *Burns*, 2023, 49(5): 1087-1095. DOI: 10.1016/j.burns.2022.07.012.
- [35] 章磊, 季易, 沈卫民. 水刀清创系统加反植皮术负压封闭治疗儿童重度污染性皮肤撕脱伤[J]. *中华小儿外科杂志*, 2023, 44(3): 248-251. DOI: 10.3760/cma.j.cn421158-20211029-00518.