

· 临床论著 ·

清创后负压辅助肢体创面闭合与常规治疗的比较[△]

张 阳, 董树行, 刘中浩*

(山东大学第二医院创伤骨科, 山东济南 250000)

摘要: [目的] 评价清创联合负压辅助创面闭合在治疗肢体创面的临床效果。[方法] 回顾性分析 2017 年 10 月—2019 年 11 月本院收治的骨科肢体创面 64 例患者的临床资料。依据术前医患沟通结果, 32 例采用清创联合负压辅助创面闭合治疗 (VAC 组), 32 例采用清创联合常规创面换药治疗 (常规组)。比较两组围手术期、随访与检验结果。[结果] 两组均顺利完成二期手术, 术中无严重并发症。VAC 组初次手术时间长于常规组, 但差异无统计学意义 ($P>0.05$), VAC 组换药次数、渗出评级、肉芽评级、两次手术间隔时间、二次手术时间、创面愈合情况、住院时间等均显著优于常规组 ($P<0.05$)。VAC 组的完全负重活动时间显著早于常规组 ($P<0.05$)。随时间推移, 两组 VAS 评分、局部瘢痕情况、邻近关节功能均显著改善 ($P<0.05$)。术后 3 个月 VAC 组上述指标显著优于常规组 ($P<0.05$)。术后 6、12 个月两组上述指标的差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。实验室检查方面, 随时间推移, 两组 WBC、NEU、CRP 和 ESR 均显著下降 ($P<0.05$)。二次术前 VAC 组上述指标均显著优于常规组 ($P<0.05$)。[结论] 与常规换药相比, 负压辅助创面闭合具有缩短创面康复时间, 降低感染风险和并发症发生率的优点。

关键词: 肢体创面, 外科清创, 负压辅助创面闭合, 常规换药, 临床效果

中图分类号: R687 文献标志码: A 文章编号: 1005-8478 (2023) 01-0026-06

Vacuum-assisted closure versus conventional dressing change for limb wound after debridement // ZHANG Yang, DONG Shu-xing, LIU Zhong-hao. Department of Traumatic Orthopaedics, The Second Hospital, Shandong University, Jinan 250000, China

Abstract: [Objective] To evaluate the clinical efficacy of debridement combined with vacuum-assisted closure (VAC) for limb wound. [Methods] A retrospective study was performed on 64 patients who received surgical treatment of limb wound in our hospital from October 2017 to November 2019. According to the consequence of preoperative doctor-patient communication, 32 patients were treated with debridement combined with VAC (the VAC group), while the remaining 32 patients were treated with debridement combined with conventional dressing change (the conventional group). The documents regarding to perioperative period, follow-up and laboratory tests were compared between the two groups. [Results] All patients in both groups had the two-stage operations performed successfully without serious complications. The VAC group consumed slight longer operation time in the first stage than the conventional group, but without a statistically significant difference between them ($P>0.05$). The VAC group proved significantly superior to the conventional group in terms of number of dressing change, exudation grade, granulation grade, interval between two operations, time of the second operation, wound healing and hospital stay ($P<0.05$). In addition, the VAC group resumed full weight-bearing activity significantly earlier than the conventional group ($P<0.05$). The VAS scores, local scar, and adjacent joint function improved significantly over time in both groups ($P<0.05$), which in the VAC group was significantly superior to the conventional group at 3 months postoperatively ($P<0.05$), whereas became not statistically significant between the two groups at 6 and 12 months postoperatively ($P>0.05$). With respect of laboratory tests, the WBC, NEU, CRP, and ESR decreased significantly over time in both groups ($P<0.05$), which in the VAC group were significantly better than those in conventional group before the second stage operation ($P<0.05$). [Conclusion] The VAC has advantages of shortening recovery time of limb wound, reducing the risk of infection and the incidence of complications over the conventional dressing change.

Key words: limb wound, surgical debridement, vacuum assisted wound closure, conventional dressing change, clinical outcome

不可缝合的急性外伤创面, 如清创彻底可采用皮瓣转移或植皮进行闭合^[1]。但是, 延误处理势必发生

感染, 而感染性创面是不能直接闭合处理, 其临床处理方法多样^[2-4]。负压封闭引流术 (vacuum sealing

DOI:10.3977/j.issn.1005-8478.2023.01.05

△基金项目: 山东省重点研发计划项目 (编号: 2017GSF218068)

作者简介: 张阳, 在读硕士研究生, 研究方向: 创伤骨科, (电话) 15506682432, (电子信箱) zhangyangy@163.com

* 通信作者: 刘中浩, (电话) 17660081681, (电子信箱) liuzh5981@163.com

drainage, VSD) 由 Fleischmann 等^[5]于1993 首创并应用于临床, 裘华德等^[6]于1998 年将 VSD 首先引入国内, 在各种急、慢性创面治疗中取得了良好疗效。与常规处理相比, VSD 将开放性伤口转化为闭合伤口, 通过持续负压清除渗出物和坏死组织, 去除局部死腔, 改善局部微循环和减轻创周水肿, 促进肉芽组织生长, 加速创面愈合^[7]。VSD 作为现阶段临床用于加速创伤愈合、恢复创面形态及功能的重要治疗方法之一, 多用于软组织损伤、开放性骨折等治疗。美国 Kinetic Concepts, Inc (KCI) 公司研发的负压辅助创面闭合 (vacuum-assisted closure, VAC) 于1995 年上市, 是一种改良的负压封闭引流技术, 与传统的 VSD 相比, 效率更高且操作方法更为简洁。此技术仍在不断发展, 有更多公司投入研发与生产^[8]。本研究回顾性分析 2017 年 10 月—2019 年 11 月本院骨科创伤患者 64 例的临床资料, 分别采用 VAC 与常规创面处理, 探讨外科清创联合 VAC 治疗在骨科创面中的临床效果, 现报道如下。

1 资料与方法

1.1 纳入与排除标准

纳入标准: (1) 年龄>18 岁; (2) 均有大面积肢体创面; (3) 创面位置允许置放 VAC; (4) 患者及家属知情研究, 且自愿参与。

排除标准: (1) 合并严重感染、凝血异常、多脏器功能衰竭患者; (2) 合并认知异常、精神障碍性疾病; (3) 临床资料欠缺者; (4) 中途退出及失访者; (5) 研究期间因其他合并症死亡者。

1.2 一般资料

回顾性分析 2017 年 10 月—2019 年 11 月于本院创伤骨科收治肢体创面患者, 共 64 例符合上述标准, 纳入本研究。根据医患沟通结果将患者分为两组, 32 例采用清创联合 VAC 治疗 (VAC 组), 32 例采用清创联合常规创面换药治疗 (常规组)。两组患者术前一般资料见表 1, 两组年龄、性别、体质指数 (body mass index, BMI)、损伤至手术时间、部位、创面面积的差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。本研究通过医院伦理委员会批准备案, 所有患者均知情同意。

1.3 手术方法

VAC 组: 麻醉后观察损伤情况 (图 1a)。行清创术, 清除污染坏死组织与异物, 尽可能保留神经、肌腱、大血管等, 必要时予以修复, 骨折患者以外固定

架固定骨折。将黑色聚氨酯泡沫敷料 (美国 KCI 公司) 按创面形状及大小进行剪裁, 填充或覆盖于创面, 以生物半透膜密封, 边缘覆盖范围超出敷料边缘 3 cm 以保证密封效果, 连接负压引流。常规 7 d 后更换 VAC 敷料及半透膜, 定期检查装置运行及敷料封闭情况。术后合理应用抗生素控制感染。

常规组: 清除污染坏死组织与异物, 尽可能保留神经、肌腱、大血管等, 必要时予以修复, 骨折患者

表 1 两组患者术前一般资料与比较

指标	VAC 组 (n=32)	常规组 (n=32)	P 值
年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	49.3±14.1	47.3±12.2	0.553
性别 (例, 男/女)	24/8	25/7	0.768
BMI (kg/m^2 , $\bar{x} \pm s$)	23.9±1.9	23.8±2.0	0.785
损伤至手术时间 (h, $\bar{x} \pm s$)	20.8±8.0	21.1±7.4	0.872
部位 (例, 上肢/下肢)	14/18	12/20	0.611
创面面积 (cm^2 , $\bar{x} \pm s$)	50.3±6.3	49.2±6.1	0.485

以外固定架固定骨折。用凡士林纱布覆盖创面, 外用无菌敷料包扎, 依据创面渗出情况定期换药, 常规每 2 d 更换 1 次。术后合理应用抗生素控制感染。

两组患者待创面稳定后行二次手术, 根据创面情况直接缝合、植皮或皮瓣移植术封闭创面。

1.4 评价指标

记录围手术期资料, 初期手术时间、两期手术间隔时间、创面闭合时间、换药次数、抗生素使用时间、渗出情况、坏死情况、肉芽生长。渗出评级 0 级为无明显渗出, I 级为少量黄白粘稠分泌物, II 级为较多黄浊稠厚分泌物; III 级为大量稀薄分泌物; IV 级为大量臭秽流液分泌物。肉芽评级 I 级为红活, II 级暗红, III 级晦暗, IV 级光白板亮。采用视觉模拟疼痛评分 (visual analogue scale, VAS) 评估疼痛水平; 记录局部瘢痕情况, I 级为平整瘢痕, II 级为萎缩性瘢痕, III 级为增生性瘢痕, IV 级为瘢痕疙瘩。评估邻近关节功能, I 级为关节活动无障碍, II 级为活动轻度受限, III 级为活动明显受限, IV 级为关节失去功能。

行实验室血液检测, 包括白细胞计数 (white blood cell, WBC)、中性粒细胞比值 (neutrophil percentage, NEU%)、C 反应蛋白 (C-reactive protein, CRP) 和红细胞沉降率 (erythrocyte sedimentation rate, ESR)。

1.5 统计学方法

采用 SPSS 26.0 统计软件进行统计分析。计量数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 资料呈正态分布时, 两组间比较采

用独立样本 t 检验；组内时间点间比较采用单因素重复测量方差分析，两两比较采用 LSD 法；资料呈非正态分布时，采用秩和检验。计数资料采用 χ^2 检验或 Fisher 精确检验。等级资料采用 Mann-Whitney U

检验，组内比较采用多个相关资料的 Friedman 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果



图1 患者，女，66岁，因机动车碾压双下肢5h收治入院，局部开放性外伤出血伴大面积软组织损伤 1a: 初步清创术中 1b: 7d后更换VAC术中 1c: 初次术后15d拆除VAC，见创面肉芽组织生长良好，行游离植皮术 1d, 1e: 术后6个月随访，瘢痕组织轻度增生，创面愈合效果良好

2.1 围手术期资料

两组患者均顺利完成创面闭合的二次手术，术中未出现严重并发症。两组患者围手术期资料见表2，VAC组初次手术时间稍长于常规组，但差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。VAC组换药次数、渗出评级、肉芽评级、两次手术间隔时间、二次手术时间、创面愈合情况、住院时间等均显著优于常规组 ($P < 0.05$)。早期并发症方面，VAC组发生1例继发感

染，1例患肢肿胀。常规组，4例继发感染，6例患肢肿胀。两组患者并发症经相应处理均好转，未引发严重不良后果。VAC组的早期术后并发症发生率 (6.25%) 显著低于常规组 (31.25%) ($P < 0.05$)。

2.2 随访结果

两组患者均获得随访，随访时间12~48个月，平均 (32.4±6.1) 个月。两组患者随访结果见表3。

表2 两组患者围手术期资料与比较

指标	VAC组 (n=32)	常规组 (n=32)	P值
初次手术时间 (min, $\bar{x} \pm s$)	86.3±21.5	75.9±20.3	0.053
换药次数 (次, $\bar{x} \pm s$)	2.1±0.9	10.4±2.0	<0.001
渗出评级 (例, 0/I/II/III/IV)	9/18/4/1/0	6/12/8/4/2	0.028
肉芽评级 (例, I/II/III/IV)	20/8/3/1	11/14/5/2	0.035
两次手术间隔时间 (d, $\bar{x} \pm s$)	9.3±1.6	12.5±1.5	<0.001
二次手术方式 (例, 缝合/植皮/皮瓣)	21/9/2	12/15/5	0.024
二次手术时间 (min, $\bar{x} \pm s$)	65.5±8.6	86.6±9.6	<0.001
创面愈合 (例, 良好/过敏/肿胀/坏死)	29/2/1/0	20/4/6/2	0.045
住院时间 (d, $\bar{x} \pm s$)	24.0±10.7	35.7±11.0	<0.001

VAC组完全负重活动时间显著早于常规组 ($P < 0.05$)。随时间推移，两组患者的VAS评分、局部瘢痕情况、邻近关节功能均显著改善 ($P < 0.05$)。术后3个月VAC组上述指标显著优于常规组 ($P < 0.05$)。术后6个月和12个月两组间VAS评分、局部瘢痕情况、邻近关节功能的差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。

随访过程中，VAC组无感染或骨折延迟愈合，无手术翻修者。常规组1例左股骨干骨折伴软组织损伤的患者于初次术后6个月复查，影像显示骨折断端愈合趋势不良，行骨折断端富血小板血浆 (platelet-rich plasma, PRP) 植入治疗，术后3个月复查，骨折断端愈合趋势未显著改善，行自体髂骨植骨术。二次翻修后合理进行康复性理疗训练，术后1年随访患者

恢复良好。

2.3 实验室检查

两组患者血液检测结果见表 4。随时间推移，两组患者的 WBC、NEU、CRP 和 ESR 均显著下降 ($P < 0.05$)。初次术前两组间各项血液检测指标的差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)，二次术前 VAC 组的上述指

标均显著优于常规组 ($P < 0.05$)。末次随访时两组间各项血液检测指标的差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。

3 讨论

表 3 两组患者随访结果 ($\bar{x} \pm s$) 与比较

指标	时间点	VAC 组 (n=32)	常规组 (n=32)	P 值
完全负重活动时间 (周)		26.8±2.3	31.0±2.1	<0.001
VAS 评分 (分)	术后 3 个月	3.3±0.6	4.0±0.5	<0.001
	术后 6 个月	1.9±0.7	2.2±0.6	0.182
	术后 12 个月	1.2±0.6	1.3±0.6	0.694
	P 值	<0.001	<0.001	
瘢痕 (例, I/II/III/IV)	术后 3 个月	4/10/14/4	2/5/16/9	0.040
	术后 6 个月	12/8/9/3	8/9/10/5	0.279
	术后 12 个月	21/5/4/2	18/5/6/3	0.394
	P 值	<0.001	<0.001	
关节功能障碍 (例, I/II/III/IV)	术后 3 个月	17/7/5/3	10/6/11/5	0.047
	术后 6 个月	22/5/3/2	18/5/6/3	0.261
	术后 12 个月	27/2/2/1	24/4/2/2	0.369
	P 值	<0.001	<0.001	

表 4 两组患者血液检验资料 ($\bar{x} \pm s$) 与比较

指标	时间点	VAC 组 (n=32)	常规组 (n=32)	P 值
WBC ($10^9/L$)	初次术前	16.6±3.3	15.7±3.2	0.314
	二次术前	9.6±1.8	11.4±1.8	<0.001
	末次随访	7.6±1.4	7.7±1.6	0.739
	P 值	<0.001	<0.001	
NEU (%)	初次术前	87.9±5.7	88.3±5.7	0.745
	二次术前	76.2±4.0	81.4±2.6	<0.001
	末次随访	73.4±3.2	73.6±3.0	0.726
	P 值	<0.001	<0.001	
CPR (mg/L)	初次术前	39.5±8.8	40.4±8.8	0.711
	二次术前	11.2±5.3	16.2±3.5	<0.001
	末次随访	7.2±1.7	7.4±1.4	0.587
	P 值	<0.001	<0.001	
ESR (mm/h)	初次术前	45.8±4.9	46.4±5.7	0.673
	二次术前	18.5±3.5	23.5±2.8	<0.001
	末次随访	13.2±3.1	13.0±2.7	0.796
	P 值	<0.001	<0.001	

骨科创伤一直是创伤外科治疗中的重点和难点，第十一届创伤国际共识会议针对多发性损伤患者提出损伤控制骨科 (damage-control orthopedic, DCO)，骨科创伤应在 24 h 内进行早期清创，处理与骨折相关

的软组织和血管损伤，固定骨折，预防骨筋膜室综合征^[9]。其中创伤组织的修复已成为治疗的重点，如未予以及时、恰当的处理可能造成局部组织感染坏死，严重情况下危及患者生命健康，而软组织愈合情况和

修复程度也与骨折预后质量有直接关系,甚至影响后续肢体功能情况,因此在骨科创伤中软组织损伤的治疗难度较高且尤为重要。

骨科创伤中常见开放性骨折、大面积皮肤软组织挫伤等严重复合伤,由于严重污染,创腔深大且伴大量渗出,创伤难以治疗。常规创面处理易出现引流不彻底,且频繁更换敷料增加了疼痛感,创面长时间暴露导致感染风险增加,整体效果不佳^[10],且一旦发生感染,治疗就更加困难,给患者带来相当大的心理负担^[11, 12]。VAC治疗系统采用黑色聚氨酯泡沫敷料和具有单向透气功能的生物半透膜,根据创面的形状和大小将创口完全覆盖,为创面营造一个密闭微环境。负压抽吸可以去除创面细菌、渗出物和坏死组织,有效清除死腔,预防感染并促进创面愈合^[13]。此外,持续引流避免频繁更换敷料,减轻了患者的疼痛度^[14]。Masters等^[15]研究结果显示负压创面治疗能有效缩短住院时间并减少敷料更换频率,加速伤口愈合并缩短二次手术时间和住院时间。Kaushik等^[16]对负压创面治疗处理污染创面的疗效进行评估,发现创伤愈合时间和住院时间均短于传统换药处理。Saku等^[17]的研究报道称,在接受负压创面治疗的60名创伤和创口感染患者中,总有效率为98%,高于传统换药组的75%。这些报道与本研究的结论一致,并表明负压创面闭合能够加速伤口愈合并缩短治疗时间。本研究结果显示,VAC应用于骨科创伤的患者,能够降低换药频率,减少组织渗出并促进肉芽生长,缩短两次手术间隔时间、二次手术时间和住院时间,加速创面愈合过程,减少术后并发症的发生率,缓解疼痛,改善瘢痕形成,促进肢体功能恢复。

创伤往往导致炎症反应,炎症因子释放入血导致血清炎症指标异常升高,Novelli等^[18]研究表明,这种上调与创伤的严重程度密切相关。围术期评估术后感染控制情况常用的血清指标包括WBC、NEU、CRP、ESR、IL-6、hsC-RP、可溶性细胞间黏附分子-1等,各类指标敏感性较高而特异性均不高。武豪杰等^[19]研究结果表明VSD能够显著降低血液检测指标并改善患者的感染状况。据报道,开放性外伤患者的术后感染率高达25%~35%^[20]。在本研究中,VAC组的术后感染率明显低于常规组,血液检测结果显著优于常规组,这得益于VAC敷料形成的密封环境能够暂时将伤口与外部环境隔离,从而避免伤口暴露,有效消除细菌及分泌物,降低感染风险。

针对负压辅助创面闭合的治疗原理,目前被广泛认可的作用机制包括流体去除和细胞机械变形^[21],

流体去除可减轻创周水肿并去除可能影响愈合的可溶性因素,施加负压导致细胞机械形变,这可以诱发离子浓度的变化和分子途径的激活^[22-24]。这种机制导致多级动态过程,可以控制或预防感染,促进伤口快速愈合,缩短治疗时间,同时降低治疗成本^[25]。

本研究仍存在不足之处:(1)样本量有限,未确定疗效与损伤机制之间的相关性;(2)所有患者均接受抗生素治疗,但未对不同抗生素对创伤愈合的影响进行统计学分析;(3)样本量小和研究持续时间短可能影响研究的准确性。因此,未来需要大样本并延长研究周期的前瞻性研究来证实本研究结果的可靠性。

综上所述,清创联合负压辅助创面闭合在骨科创伤治疗中的临床疗效显著,具有简便、安全、高效的应用优势,能有效缩短骨科创伤患者康复时间,降低感染风险和并发症发生率,减少痛苦,改善肢体功能和血清指标,值得临床推广应用。

参考文献

- [1] 范爱民,陈燕,李政,等.游离股前外侧穿支皮瓣修复足踝部软组织缺损[J].中国矫形外科杂志,2022,30(10):937-939.
- [2] 赵玉华,邵文年,陈爱国.胫骨横向搬移术治疗老年人足踝部外伤性创面[J].中国矫形外科杂志,2021,29(24):2300-2302.
- [3] 周逸轩,薛栋,耿宽,等.改良持续皮肤牵张技术治疗大面积皮肤缺损[J].中国矫形外科杂志,2021,29(22):2082-2085.
- [4] 侯训凯,王炳臣,林永杰,等.封闭式负压引流技术联合皮瓣移植修复足部严重软组织缺损[J].中国矫形外科杂志,2015,23(19):1779-1782.
- [5] Fleischmann W, Strecker W, Bombelli M, et al. Vacuum sealing as treatment of soft tissue damage in open fractures [J]. Unfallchirurg, 1993, 96(9): 488-492.
- [6] 裘华德,王彦峰.负压封闭引流技术介绍[J].中国实用外科杂志,1998,18(4):233-237.
- [7] Agarwal P, Kukrele R, Sharma D. Vacuum assisted closure (VAC)/negative pressure wound therapy (NPWT) for difficult wounds: a review [J]. J Clin Orthop Trauma, 2019, 10(5): 845-848.
- [8] Hawthorne B, Simmons JK, Stuart B, et al. Enhancing wound healing dressing development through interdisciplinary collaboration [J]. J Biomed Mater Res B Appl Biomater, 2021, 109(12): 1967-1985.
- [9] Cimbanassi S, O'toole R, Maegele M, et al. Orthopedic injuries in patients with multiple injuries: results of the 11th Trauma Update International Consensus Conference Milan, December 11, 2017 [J]. J Trauma Acute Care Surg, 2020, 88(2): E53-E76.
- [10] Rand BCC, Wenke JC. An effective negative pressure wound therapy-compatible local antibiotic delivery device [J]. J Orthop Trauma, 2017, 31(12): 631-635.
- [11] Timmins BA, Thomas Riché C, Saint-Jean MW, et al. Nursing wound care practices in Haiti: facilitators and barriers to quality

- care [J]. *Int Nurs Rev*, 2018, 65 (4) : 542-549.
- [12] Engelhardt M, Rashad NA, Willy C, et al. Closed-incision negative pressure therapy to reduce groin wound infections in vascular surgery: a randomised controlled trial [J]. *Int Wound J*, 2018, 15 (3) : 327-332.
- [13] Green T, Kavros S, Springer S, et al. Team approach: complex dermal wound-healing utilizing negative-pressure wound therapy (NPWT) in orthopaedic trauma [J]. *JBJS Rev*, 2018, 6 (3) : e1.
- [14] Chang FS, Chou C, Hu CY, et al. Suture technique to prevent air leakage during negative-pressure wound therapy in fourmier gangrene [J]. *Plast Reconstr Surg Glob Open*, 2018, 6 (1) : E1650.
- [15] Masters JPM, Achten J, Cook J, et al. Randomised controlled feasibility trial of standard wound management versus negative-pressure wound therapy in the treatment of adult patients having surgical incisions for hip fractures [J]. *BMJ Open*, 2018, 8 (4) : E020632.
- [16] Kaushik D, Joshi N, Kumar R, et al. Negative pressure wound therapy versus gauze dressings for the treatment of contaminated traumatic wounds [J]. *J Wound Care*, 2017, 26 (10) : 600-606.
- [17] Saku I, Kanda S, Saito T, et al. Wound management with negative pressure wound therapy in postoperative infection after open reconstruction of chronic Achilles tendon rupture [J]. *Int J Surg Case Rep*, 2017, 37 : 106-108.
- [18] Novelli G, Daleffe F, Birra G, et al. Negative pressure wound therapy in complex cranio-maxillofacial and cervical wounds [J]. *Int Wound J*, 2018, 15 (1) : 16-23.
- [19] 武豪杰, 张明辉, 洪成智, 等. 两种方式处理胫腓骨开放骨折创面的初期结果 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2021, 29 (24) : 2275-2278.
- [20] Ludolph I, Fried FW, Kneppel K, et al. Negative pressure wound treatment with computer-controlled irrigation/instillation decreases bacterial load in contaminated wounds and facilitates wound closure [J]. *Int Wound J*, 2018, 15 (6) : 978-984.
- [21] Morykwas MJ, Simpson J, Pungert K, et al. Vacuum-assisted closure: state of basic research and physiologic foundation [J]. *Plast Reconstr Surg*, 2006, 117 (7 Suppl) : 121s-126s.
- [22] Chen SZ, Cao DY, Li JQ, et al. Effect of vacuum-assisted closure on the expression of proto-oncogenes and its significance during wound healing [J]. *Zhonghua Zheng Xing Wai Ke Za Zhi*, 2005, 21 (3) : 197-200.
- [23] Silver FH, Siperko LM. Mechanosensing and mechanochemical transduction: how is mechanical energy sensed and converted into chemical energy in an extracellular matrix [J]. *Crit Rev Biomed Eng*, 2003, 31 (4) : 255-331.
- [24] Zachary I, Glikli G. Signaling transduction mechanisms mediating biological actions of the vascular endothelial growth factor family [J]. *Cardiovasc Res*, 2001, 49 (3) : 568-581.
- [25] Kaplan M, Daly D, Stemkowski S. Early intervention of negative pressure wound therapy using Vacuum-Assisted Closure in trauma patients: impact on hospital length of stay and cost [J]. *Adv Skin Wound Care*, 2009, 22 (3) : 128-132.
- (收稿:2022-01-20 修回:2022-11-03)
(同行评议专家: 西永明 臧金金)
(本文编辑: 郭秀婷)