

负压封闭引流技术在感染性创面治疗中的应用

马战军¹ 喻爱喜²

[关键词] 负压封闭引流技术;感染性创面;机制;适应症;禁忌症

[中图分类号] R681 [文献标志码] A [文章编号] 1005-0205(2017)05-0077-06

复杂感染性创面的治疗是外科临床医师面临的一个难题,也是创面长期难以愈合的主要原因之一。近年来研究表明,由于其治疗复杂、治疗周期较长以及能够引发多样的并发症等特点,因而对患者的生活和工作质量造成了极大的危害,是现代社会影响人们生活和工作的重要并发症,已引起相关专业领域的高度重视并竞相开展研究^[1]。封闭创面治疗(NPWT)技术因其临床应用便利、促进创面愈合,已被广泛应用于各种急性及慢性创面的治疗^[2-5]。负压封闭引流(Vacuum Sealing Drainage, VSD)技术是一种新型的创面负压治疗方法。该技术由德国 ULM 大学创伤外科 Fleischman^[6]于 1992 年首创并成功用于骨折患者,取得满意的治疗效果。1990 年代由裘华德教授将该技术引入中国并首次应用于外科系统。它的基本原理是利用带有多孔引流管的无菌医用泡沫材料来填充或覆盖创面并用透明膜将创面及泡沫辅料封闭,将创面与外界完全隔离形成相对独立的密闭环境,再接上专用负压泵进行持续或间断的负压吸引,使创面渗液充分排除、组织肿胀减轻、增加创面的局部血流供应^[7]、降低创面内的细菌数量、改善创面微环境^[8]、加快肉芽组织的生长速度、产生机械压^[7,9]、从而有效地促进创面愈合^[6,10]。近二十多年来,VSD 逐渐发展并日趋成熟。喻爱喜等^[11]将负压封闭引流应用于感染性骨外露,取得明显的治疗效果,其与传统方法相比较明显降低了治疗时间及治疗费用,减轻了患者治疗负担。本文就负压封闭引流在感染性创面中的应用做一综述。

1 负压封闭引流治疗感染性创面的机制

随着当前社会经济的飞速发展,临床中所遇见的高能量损伤显著增加,创伤导致大面积软组织脱套伤、开放性骨折伴随肌腱、神经、血管挫伤或断裂等情况时

有发生。大面积软组织开放性损伤后,创面极易发生污染,外伤后的治疗不规范、不及时等合并严重感染的情况在临床中常有发生^[12]。创面在发生污染后都可能因为过多的组织间液体渗出、创面及周围组织水肿以及病原微生物入侵导致创面发生感染^[13,14]。在创面发生污染时会导致创面细菌大量被复制、破坏创面内部微环境、炎性因子浸润创面、导致大量毒性物质蓄积于创面,同时无法及时排除的物质与组织肿胀形成组织肿胀-渗出-肿胀的恶性循环,从而导致血管收缩、血流速度降低、创面延迟愈合甚至迁延不愈。同时创面的炎性环境也会影响患者全身机能,阻碍创面愈合。

负压封闭引流设备可以形成创面与敷料之间的巨大负压值,在巨大差距的压力值下实现被引流区的“零积聚”,压力差诱导创面组织的渗出液向负压设备不断流动,为清除创面炎性物质及毒性物质提供有力的保障,同时为促进创面血流灌注提供了持续有效的动力,其促进了局部微循环通畅,促进细胞因子和生长因子的迁移、增殖及分化;同时由于创面液体被吸除导致创面周围水肿减轻;炎症物质及有毒物质被吸除,使其无法进入患者体循环,避免了脓毒血症及败血症的发生^[2,3,15],消除了创面经历“二次打击”^[14]的可能;在机械压以及湿润的创面微环境下,促进新生血管形成和胶原沉积、新鲜肉芽组织生成以及成纤维细胞增殖,从而减小创面面积^[16]。Labler 等^[17]研究显示 VSD 能够全方位、及时引流出浅、深层的渗出物从而降低感染的发生。

创面感染率的发生与创面中的细菌数量有一定的关系,当创面组织中的细菌数量超过了 105 CFU/g 时则创面发生感染的可能性会显著增大^[18]。在使用 VSD 前彻底清除坏死组织和炎性组织是治疗成功的关键,VSD 的透明膜将创面与外界完全隔绝,可以有效阻止外界细菌进入创面。姚文章等^[19]在行 VSD 和传统治疗后发现 VSD 在治疗 5~7 d 后,创面死腔完全消除、创面肉芽组织新鲜、平坦、肉芽无水肿、创面经

¹ 新疆阿克苏地区第一人民医院骨二科(新疆 阿克苏,843000)

² 武汉大学中南医院

细菌培养均为阴性。Weed 等^[20]研究发现创面经 VSD 治疗后,创面内细菌数量明显低于治疗前的细菌数量。Moues 等^[21]研究显示 VSD 能够避免创面的交叉感染。李金清等^[22]研究显示 VSD 可以促使创面淋巴细胞浸润较对照组提前消退,从而减少创面的炎症发生。石冰等^[23]发现负压封闭引流可以抑制创面基质金属蛋白酶的合成,进而减少抑制胶原和明胶的降解,从而促进创面的愈合。Ning 等^[24]实验研究证明了 VSD 结合高锰酸钾持续灌注可以将气性坏疽内部的厌氧环境转变为高氧环境,并且由此改善创面组织的生长环境。最近的研究也证明了 VSD 能够促使创面产生高氧的微环境,并由此诱导各细胞因子和生长因子的改变,从而促进创面的愈合^[25]。在以上的研究发现 VSD 不但可以清除创面内已经存在的细菌,而且其可以对已发生细菌增殖的创面进行有效清除,可见 VSD 对于已发生感染或尚未感染的创面均有治疗效果。同时 VSD 在处理感染性创面的过程中,并非将创面细菌直接清除,而是通过减轻创面组织水肿,促进创面血液循环和淋巴液的回流、刺激肉芽组织生长^[14]和改善创面微环境实现的^[24]。

2 VSD 治疗感染性创面的适应症及禁忌症

通过分析笔者认为 VSD 对感染性创面有积极的治疗效果,但是 VSD 对于感染性创面也有其适应症和禁忌症。其适应症如下:大面积的组织脱套伤导致的感染、迁延难愈性创面^[26]、慢性溃疡、糖尿病足^[27]、褥疮^[28]、关节腔感染切口引流^[29]、关节置换术后的血肿形成及切口感染^[30]、急慢性骨髓炎切开引流^[31]。其禁忌症如下:各种未行彻底的清创的感染性创面^[32]、伴有活动性出血的创面、伴有肿瘤的患者^[33]、血糖尚未稳定的患者、未经彻底清除坏死组织的骨髓炎及未开放的窦道^[14]、慢性溃疡长期不愈合导致的贫血或低蛋白血症患者^[34]。同时如患者在行 VSD 治疗前服用大剂量的糖皮质激素、抗凝药物、免疫抑制剂、非甾体类消炎药等药物均要慎用 VSD 治疗^[14]。

3 VSD 对感染性创面的临床应用

目前,VSD 技术不但可以用于清洁创面,而且其可以适用于感染创面及行组织瓣创面。负压封闭引流可以应用于覆盖身体表皮层的感染及深层感染,尤其适用于渗出物较多的创面,其应用范围已涉及临床各个手术科室。

3.1 骨科

骨科创面极易发生切口血肿及感染,其可应用于四肢软组织脱套伤、组织严重污染、开放性骨折合并感染、急慢性骨髓炎等,Nugent 等^[35]将 VSD 用于严重烧伤并伴有骨外露患者取得了显著的治疗效果,缩短了转位皮瓣时间。仇建国等^[36]对脊柱后路手术术后

发生的感染使用 VSD 予以冲洗及负压吸引,创面感染及时被控制,切口均一期缝合。Karaaslan 等^[37]将 VSD 用于椎管狭窄术后发生的感染创面,均取得了满意的效果。候存强等^[38]将 VSD 技术应用于骨折术后创面感染伴钢板外露,在现行彻底清创后使用 VSD,18 例患者均行游离植皮或局部转位皮瓣,植皮均成活,肢体功能活动良好。谭延斌等^[39]将 VSD 用于急慢性骨感染患者,经过一次治疗可完全将创面闭合。黄焱等^[40]将 VSD 技术用于慢性骨髓炎患者,采用 VSD 持续灌注引流、置入抗生素法使得感染被有效控制住。Kim 等^[41]将 VSD 用于骨髓炎患者,其可明显缩短植皮或皮瓣的等待时间,可显著缩短患者住院时间。Labler 等^[17]将 VSD 技术用于开放性骨折,其可明显减少骨折延迟愈合与不愈合的比率,同时可显著减少骨折术后发生感染的可能。喻爱喜等^[11]将 12 例骨外露伴感染创面经 VSD 治疗 7~10 d 后,感染得到控制,细菌培养呈阴性,其认为封闭负压吸引联合组织瓣移植对严重感染性骨外露具有很好的修复效果。

3.2 整形外科

陈伟民等^[42]将 VSD 用于配合臀大肌皮瓣移植治疗骶尾部褥疮,VSD 可以有效减轻感染症状,清洁创面。随访 23 个月后皮瓣红润,富有弹性,其取得显著的治疗效果。丰波等^[43]将 VSD 和游离皮瓣技术结合治疗四肢大面积组织缺损感染患者,32 例患者中有背阔肌皮瓣 7 例、胸脐皮瓣 3 例、股前外侧皮瓣 22 例,随访时间 3~24 个月,皮瓣质地柔软,外观良好,患肢功能恢复满意,其认为应用负压封闭引流联合游离皮瓣移植修复,可明显缩短治疗周期,提高手术成功率,最大限度恢复患肢的功能。

3.3 普外科

负压封闭引流的优势在于能够及时将组织渗出液排出体外、清除组织间的坏死组织及感染物,其可以用于治疗体表脓肿、消化道漏、乳腺癌根治术、直肠癌根治术及腹腔术后切口渗出较多的并发症。Conde-Green 等^[44]在腹壁重建术后使用 VSD 技术后创面并发症发生率、血肿率、疝复发率、脂肪坏死率明显低于传统纱布对照组。

3.4 妇产科

Lewis 等^[45]分别将负压封闭引流技术和传统治疗方法用于妇科肿瘤患者,其发现负压封闭引流可以降低术后的并发症,并且可以减低患者治疗成本。Schimp 等^[46]使用负压封闭引流治疗妇科肿瘤,发现负压封闭引流可以疏散伤口液体,刺激肉芽组织,减少细菌殖民化的伤口。

3.5 肿瘤外科

尽管许多学者将肿瘤列为负压封闭引流的禁忌

症,但在部分使用 VSD 的报告中并未见明显的术后并发症。Trzeciak 等^[47]报告了 1 例将负压封闭引流用于治疗直肠癌直肠切除术后组织感染、坏死的患者,3 周后患者切口愈合。Fox 等^[48]报告了应用负压封闭引流治疗 6 例血管瘤患者,患者都获得了完整的伤口愈合,患者疼痛、舒适度、敷料的解脱度具有明显改善。

3.6 胸外科

VSD 技术可以用于慢性脓胸、支气管胸膜瘘、食管吻合口瘘等的治疗。Costello 等^[49]将负压封闭引流技术应用于先天性心脏病患者术后胸骨部位切口感染,其研究返现 VSD 能够显著性促进创面内肉芽组织生长,促进创面愈合。

4 感染性创面 VSD 材料的选择

VSD 敷料材料分为聚乙烯醇(Polyvinyl Alcohol, PVA)海绵泡沫和聚乙烯酒精化海藻盐泡沫,其外观形同海绵,其内密布直径为 0.2~1.0 mm 相互贯通的细小微孔,质地柔软、耐腐蚀、无免疫原性及抗张力强,因此具有超强的吸附性和透水性。当前有报告指出聚氨酯(Polyurethane, PU 黑色海绵)材料能够收拢大面积撕脱创面,能快速形成厚层肉芽组织,其主要使用于大面积撕脱伤、深层组织创面的感染和修复^[50],同时研究也指出在处理浅表层创面时,PU 材料和消毒纱布在二期植皮及皮瓣间隔时间、创面愈合比率方面没有显著性差异。并且,消毒纱布比 PU 材料更易形成薄而稳定的肉芽组织,创面愈合后瘢痕明显较 PU 材料处理后减少;纱布由于其可塑性大,其可能更加适合于不规则创面的浅表层感染^[51]。另一方面,PVA 材料可塑性弱于 PU 材料,而促进肉芽生长的效果优于纱布,因而在深层以及浅层创面都可以应用^[14]。

5 感染性创面 VSD 负压值选择

Morykwas 等^[52]研究发现当把负压值设为-16.67 kPa 时创面的血流量可增加 4 倍,但是当把负压值设置为-66.67 kPa 时血流量反而是减少的^[53]。也有研究报告说在将负压值设为-16.67 kPa 时,肉芽组织生长显著较-3.33 kPa 或-66.67 kPa 多^[54]。Jacobs 等^[55]研究显示创面经-16.67 kPa 处理 3 d 后微血管密度显著高于对照组,并且微血管的密度在-10.00 kPa 和-20 kPa 时优于-40 kPa,同时其指出,如果将负压值设置的太高可能会影响创面的血管生成。Zhou 等^[56]研究显示在猪的创面经负压治疗后 VEGF 和 bFGF 的蛋白表达水平在-10 kPa 和-20 kPa 时显著高于其他压力值,并且压力值在-10 kPa 和-20 kPa 时胶原沉积和创面愈合速度显著高于其他压力值,同时其指出压力值过大会导致肉芽组织减少和创面愈合速度减慢。

研究显示在新生儿及 2 岁以下婴幼儿适用 6.67~10.00 kPa 的负压值,12 岁以上的患者才可以考虑使用 10.00~20.00 kPa 的负压值,2~12 岁之间的患者其使用的压力值应介于以上两者之间的负压值进行调整^[57,58]。以上压力值要根据部位的不同进行调整,并综合考虑。

同时还要考虑负压部位进行综合设置,文献指出胸骨深部感染患者负压值 6.67~10.00 kPa;腹部、四肢浅部感染创面需要控制在-16.67 kPa 以内,而深部感染要根据吸引量、患者体质、创面周围组织压痕进行调整^[57,58]。

6 VSD 手术操作技巧

负压封闭引流作为一项新技术,其操作技巧的好坏可对治疗效果产生不同的影响。1)对于感染性创面在行负压封闭引流治疗前均要行彻底的清创;2)在行 VSD 操作时敷料务必将多侧孔引流管完全封闭,多侧孔引流管周围的敷料宽度至少为 2 cm,以保证负压充分作用于敷料;3)敷料至少宽与创面组织 1 cm,防止皮肤牵拉^[25];4)在贴透明膜时先用酒精将皮肤的油脂及血迹完全清除干净,贴膜时保证皮肤舒展,防止皮肤破损,并且透明膜的覆盖范围至少要超过敷料 2 cm;5)彻底止血,防止创面内活动性出血;体腔内的引流管应自最短途径引出;6)VSD 敷料更换时间建议为 3~7 d,PU 材料建议不超过 3 d,PVA 材料不超过 7 d^[59];7)感染创面使用 VSD 时建议使用连续负压,且中断时间不能大于 2 h,以免发生败血症或深静脉血栓发生;8)对于环形创面在使用 VSD 时务注意调节负压,以免发生循环障碍;9)术后严密观察引流瓶内的液体颜色及渗出量,并作记录^[14,60]。

7 VSD 治疗感染性创面的临床管理

1)定时观察负压装置工作状态;2)当 VSD 停止工作 2 h 以上时,需要及时清理创面,并更换新的敷料,避免脓毒症及静脉血栓的形成;3)更换负压瓶里的引流液时,必须用双血管钳夹住引流管的远端和近端,待接好引流瓶、调整好负压值后方可松开止血钳,以防止负压漏气和无效负压吸引;4)定时观察引流瓶内液体的颜色及数量,并做记录;5)负压管避免直接压迫在完好的皮肤上;6)观察患肢末端血运;7)对于渗出液较多且黏稠的患者,负压管极易被堵塞,此时可联合使用抗生素溶液对负压管及创面进行冲洗,同时清创前后的细菌培养和更换负压敷料时的细菌培养可指导行敏感抗生素治疗。

8 VSD 技术治疗感染性创面的注意事项

1)保持负压值的稳定,特别对于感染性创面严禁将负压设备停止超过 2 h。2)在行 VSD 治疗之前,彻底清除坏死组织及失活组织是治疗感染性创面的关键,

尽管 VSD 技术有一定清洁创面作用,但是 VSD 技术不能替代传统的清创,不可单纯等待坏死组织液化后经负压吸出,许多坏死组织无法经泡沫吸出,极易堵塞管腔及辅料,往往需要更换负压敷料,造成患者的额外负担及痛苦。3)对于污染较重,且肌肉组织已发生缺血,但坏死界限难以判断时建议慎用负压封闭引流装置,待经 1~2 次清创后待肌肉组织界限清楚时清除坏死组织再用 VSD 装置。由于肌肉发生缺血时使用负压时的压力可能会对血流有影响,同时肌肉组织本身也可发生坏死,如发生坏死易引起引流管堵塞而造成毒素的堆积,甚至影响患者肾功能及全身状况以及对创面的造成“二次打击”。4)术中彻底止血,有重大血管或重要神经时要尽量避开或避免使用,防止发生其他并发症。在行 VSD 治疗的 1~3 d 应严密观察引流液的颜色及数量。一旦发现血性液体应立即停止使用 VSD,查明原因,彻底止血后方可继续使用。5)大面积撕脱伤造成的感染使用传统 VSD 侧管材料效果不佳,由于需要放置较多的 VSD 敷料,需要吸引的面积大,造成压力分布不均以及难以调控负压值,中心部位压力过高、边缘部位压力过低。建议在使用时将两条侧管贯穿整个敷料,以保证每个侧管孔的压力均等。6)定时冲洗,防止发生“假负压”的发生,在护理时用手指触碰负压材料,按其有无弹性即可判断是否为无效负压。

9 新一代 VSD 技术的临床引用

由于负压引流管容易发生阻塞,导致无法对创面冲洗等原因。现阶段新的 VSD 技术已诞生,VSD-in-still((VSD-i)技术又称为创面负压吸引-滴注系统,其融入了原 VSD 的功能,并加入了抗生素冲洗创面及用冲洗管清除管道阻塞的作用功能。Leung 等^[61]将 VSD-i 技术用于猪的创面,发现在创面中肉芽组织中的胶原显著性高于单纯使用 VSD 的创面,并在治疗 7 d 后 VSDi 的肉芽组织比 VSD 多 43%,其显著性高于 VSD 组。Brinkert 等^[62]将 VSD-i 技术用于 131 个患者,盐水滴注速度为 10 min 20~30 滴,其发现在 13 d 后创面的愈合比率为 98%,其愈合速度显著性高于使用 VSD 时的愈合速度。同时研究证明了通过 VSD-i 系统结合利多卡因间断滴入创面可以显著降低患者疼痛^[63]。Timmers 等^[64]将 VSD-i 用于骨髓炎患者,患者发生感染的比率和住院天数显著低于对照组。Raad 等^[65]应用 VSD-i 结合灌注将 12.5%的 Dakin 溶液滴入创面,研究结果发现创面细菌生长被有效控制,同时二期植皮也获得成功。Ning 等^[24]的实验研究证明了 VSD 结合高锰酸钾持续灌注可以将气性坏疽内部的厌氧环境转变为高氧环境,并且由此改善创面组织的生长环境由此对感染性气性坏疽创面进行有效的

治疗。

VSD 和 VSD-i 各有所长,VSD-i 对于创面分泌物较多,创面感染严重,且需要不间断行细菌培养的患者较适用,如创面的感染症状缓解时还是建议使用 VSD 系统。在使用 VSD 和 VSD-i 系统时我们要权衡利弊,对创面及患者状况进行综合分析及考虑,采用合适的医疗方式对患者病情进行有效治疗。

10 展望

负压封闭引流技术的基础理论研究已发展到对分子机制的研究,VSD 技术的作用已得到许多临床医师的认可,其有助于患者的临床创面修复,但是也有其局限性和技术改进及发展空间,因新的 VSD 医用材料、抗生素湿润材料及更合适的吸引机的研发等,可促使新一代的 VSD 技术更适用于临床及跨越多个学科,使其使用者更广泛。新一代 VSD 技术主要体现在^[66]: 1)不同创面及部位对负压敷料的要求不同,在创面的渗出期和感染期使用引流能力较强的负压敷料,如 PU 材料;修复期使用能加速并保护创面肉芽组织生长的负压敷料,如 PVA 材料。2)优化负压材料设计,使其适应不同群体的需要。3)负压更有助于个体的需要。4)随意性负压空间的设计和成型。5)材料广泛适合于不同的病种。6)能与其他材料联合应用,提高治疗效果。7)规范处理不同疾病负压材料的宣传及适用说明。

参考文献

- [1] 付小兵,盛志勇,王正国.我国创伤修复应用基础研究 10 年的主要成就与展望[J].中华创伤杂志,2002,18(7):4-5.
- [2] Meloni M,Izzo V,Vainieri E,et al. Management of negative pressure wound therapy in the treatment of diabetic foot ulcers[J]. World J Orthop,2015,6(4):387-393.
- [3] Hasan MY,Teo R,Nather A. Negative-pressure wound therapy for management of diabetic foot wounds:a review of the mechanism of action,clinical applications, and recent developments[J]. Diabet Foot Ankle,2015,6:27618.
- [4] Rodriguez-Unda N,Soares KC,Azoury SC,et al. Negative-pressure wound therapy in the management of high-grade ventral hernia repairs[J]. J Gastrointest Surg, 2015,19(11):2054-2061.
- [5] Dale A P,Saeed K. Novel negative pressure wound therapy with instillation and the management of diabetic foot infections[J]. Curr Opin Infect Dis,2015,28(2):151-157.
- [6] 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.
- [7] Morykwas MJ,Argenta LC,Shelton-Brown EI,et al. Vacuum-assisted closure: a new method for wound control and treatment; animal studies and basic foundation[J]. Ann Plast Surg,1997,38(6):553-562.

- [8] Lookingbill DP, Miller SH, Knowles RC. Bacteriology of chronic leg ulcers[J]. Arch Dermatol, 1978, 114(12): 1765-1768.
- [9] Saxena V, Hwang C W, Huang S, et al. Vacuum-assisted closure; microdeformations of wounds and cell proliferation[J]. Plast Reconstr Surg, 2004, 114(5): 1086-1096.
- [10] Lindstedt S, Malmjö M, Sjögren J, et al. Impact of different topical negative pressure levels on myocardial microvascular blood flow[J]. Cardiovasc Revasc Med, 2008, 9(1): 29-35.
- [11] 喻爱喜, 余国荣, 邓凯, 等. 封闭负压吸引联合组织瓣移植治疗严重感染性骨外露[J]. 中华显微外科杂志, 2006, 29(3): 219-220.
- [12] 郑臣校, 吴治森, 刘思景, 等. 骨科感染创面修复研究进展[J]. 现代中西医结合杂志, 2015, 24(16): 1815-1818.
- [13] 何一成, 吴捷, 孙丰华. 负压封闭引流与常规引流技术治疗四肢皮肤软组织感染疗效比较[J]. 武警医学, 2012, 23(10): 881-882.
- [14] 柴益民. 感染创面负压封闭引流技术的应用[J]. 中华显微外科杂志, 2014, 37(3): 212-215.
- [15] Fleck T, Moidl R, Grimm M, et al. Vacuum assisted closure therapy for the treatment of sternal wound infections after heart transplantation; preliminary results[J]. Zentralbl Chir, 2007, 132(2): 138-141.
- [16] Li X, Liu J, Liu Y, et al. Negative pressure wound therapy accelerates rats diabetic wound by promoting aegensis[J]. Int J Clin Exp Med, 2015, 8(3): 3506-3513.
- [17] Labler L, Trentz O. The use of vacuum assisted closure (VAC) in soft tissue injuries after high energy pelvic trauma[J]. Langenbecks Arch Surg, 2007, 392(5): 601-609.
- [18] Ako-Nai AK, Ikem IC, Daniel FV, et al. A comparison of superficial and deep bacterial presence in open fractures of the lower extremities[J]. Int J Low Extrem Wounds, 2009, 8(4): 197-202.
- [19] 姚元章, 黄显凯, 麻晓林, 等. 负压封闭技术治疗创伤后软组织缺损[J]. 创伤外科杂志, 2002, 4(1): 9-12.
- [20] Weed T, Ratliff C, Drake DB. Quantifying bacterial bioburden during negative pressure wound therapy: does the wound VAC enhance bacterial clearance? [J]. Ann Plast Surg, 2004, 52(3): 276-279.
- [21] Moues CM, van den Bemd GJ, Heule F, et al. Comparing conventional gauze therapy to vacuum-assisted closure wound therapy; a prospective randomised trial[J]. J Plast Reconstr Aesthet Surg, 2007, 60(6): 672-681.
- [22] 李金清, 陈绍宗, 李学拥, 等. 封闭负压引流技术对加速慢性创面愈合的机制[J]. 中国临床康复, 2002, 6(4): 520-521.
- [23] 石冰, 陈绍宗, 张萍, 等. 封闭负压引流技术对人肉芽创面中 MMP-1、MMP-2、MMP-13mRNA 表达的影响[J]. 中华整形外科杂志, 2003, 19(4): 38-40.
- [24] Hu N, Wu XH, Liu R, et al. Novel application of vacuum sealing drainage with continuous irrigation of potassium permanganate for managing infective wounds of gas gangrene[J]. J Huazhong Univ Sci Technolog Med Sci, 2015, 35(4): 563-568.
- [25] Erba P, Ogawa R, Ackermann M, et al. Angiogenesis in wounds treated by microdeformational wound therapy[J]. Ann Surg, 2011, 253(2): 402-409.
- [26] Wolvos T. The evolution of negative pressure wound therapy: negative pressure wound therapy with instillation[J]. J Wound Care, 2015, 24(4 Suppl): 15-20.
- [27] Dalla PL. Diabetic foot wounds; the value of negative pressure wound therapy with instillation[J]. Int Wound J, 2013, 10(Suppl. 1): 25-31.
- [28] Dumville JC, Land L, Evans D, et al. Negative pressure wound therapy for treating leg ulcers[J]. Cochrane Database Syst Rev, 2015, 7: D11354.
- [29] Brem MH, Bail HJ, Biber R. Value of incisional negative pressure wound therapy in orthopaedic surgery[J]. Int Wound J, 2014, 11(Suppl. 1): 3-5.
- [30] Horch RE. Incisional negative pressure wound therapy for high-risk wounds[J]. J Wound Care, 2015, 24(4 Suppl): 21-28.
- [32] Du Q, Cong H, Shi Y, et al. Treatment of tibial traumatic osteomyelitis with vacuum sealing drainage combined with open bone graft[J]. Chinese J Reparative and Reconstructive Surgery, 2014, 28(5): 562-565.
- [32] 李丹, 刘堃. 负压封闭引流技术研究进展[J]. 中国医学工程, 2011, 19(5): 171-172.
- [33] Irkoren S, Sivrioglu N, Karaca H. Rare complication after VAC therapy in the treatment of tissue defect due to surgical excision of pilonidal sinus[J]. J Wound Ostomy Continence Nurs, 2013, 40(6): 641-643.
- [34] Ho CH, Powell HL, Collins JF, et al. Poor nutrition is a relative contraindication to negative pressure wound therapy for pressure ulcers: preliminary observations in patients with spinal cord injury[J]. Adv Skin Wound Care, 2010, 23(11): 508-516.
- [35] Nugent N, Lannon D, O'Donnell M. Vacuum-assisted closure - a management option for the burns patient with exposed bone[J]. Burns, 2005, 31(3): 390-393.
- [36] 仇建国, 李书纲, 杨新宇, 等. 脊柱侧凸后路矫形融合术后感染的治疗[J]. 中华骨科杂志, 2001, 21(8): 453-456.
- [37] Karaaslan F, Erdem S, Mermerkaya M U. Wound management with vacuum-assisted closure in postoperative infections after surgery for spinal stenosis[J]. Int Med Case Rep J, 2015, 8: 7-11.
- [38] 侯存强, 胡宏伟, 潘银华, 等. VSD 技术在术后创面感染钢板外露中的应用[J]. 中国矫形外科杂志, 2012, 20(23): 2193-2195.
- [39] 谭延斌, 李杭, 潘志军, 等. 负压治疗技术在急、慢性骨感染中的应用[J]. 中华外科杂志, 2008, 46(11): 806-808.
- [40] 黄焱, 徐勇强, 康亦峰, 等. VSD 灌注引流联合抗生素骨水泥链珠植入治疗慢性骨髓炎[J]. 中国现代手术学杂志, 2014, 18(3): 196-198.

- [41] Kim SW, Youn DG, Hwang KT, et al. Reconstruction of severely infected gluteal osteoradionecrosis using negative-pressure wound therapy and latissimus dorsi musculocutaneous flaps[J]. *Microsurgery*, 2016, 36(1): 29-36.
- [42] 陈伟明, 刘飞, 吴日强, 等. 负压封闭引流技术配合臀大肌皮瓣移植治疗骶尾部褥疮[J]. *中华显微外科杂志*, 2011, 34(4): 324-325.
- [43] 丰波, 武宇赤, 张志, 等. 负压封闭引流联合游离皮瓣修复四肢大面积软组织缺损[J]. *中华显微外科杂志*, 2011, 34(6): 496-498.
- [44] Conde-Green A, Chung TL, Holton LR, et al. Incisional negative-pressure wound therapy versus conventional dressings following abdominal wall reconstruction: a comparative study[J]. *Ann Plast Surg*, 2013, 71(4): 394-397.
- [45] Lewis LS, Convery PA, Bolac CS, et al. Cost of care using prophylactic negative pressure wound vacuum on closed laparotomy incisions[J]. *Gynecol Oncol*, 2014, 132(3): 684-689.
- [46] Schimp VL, Worley C, Brunello S, et al. Vacuum-assisted closure in the treatment of gynecologic oncology wound failures[J]. *Gynecol Oncol*, 2004, 92(2): 586-591.
- [47] Trzeciak PW, Porzezynska J, Ptasińska K, et al. Abdominal cavity eventration treated by means of the "Open Abdomen" technique using the negative pressure therapy system - case report and literature review[J]. *Pol Przegl Chir*, 2015, 87(11): 592-597.
- [48] Fox CM, Johnson B, Storey K, et al. Negative pressure wound therapy in the treatment of ulcerated infantile haemangioma[J]. *Pediatr Surg Int*, 2015, 31(7): 653-658.
- [49] Costello JP, Amling JK, Emerson DA, et al. Negative pressure wound therapy for sternal wound infections following congenital heart surgery[J]. *J Wound Care*, 2014, 23(1): 31-36.
- [50] Dorafshar AH, Franczyk M, Karian L, et al. A prospective randomized trial comparing subatmospheric wound therapy with a sealed gauze dressing and the standard vacuum-assisted closure device; a supplementary subgroup analysis of infected wounds[J]. *Wounds*, 2013, 25(5): 121-130.
- [51] Fraccalvieri M, Zingarelli E, Ruka E, et al. Negative pressure wound therapy using gauze and foam: histological, immunohistochemical and ultrasonography morphological analysis of the granulation tissue and scar tissue. Preliminary report of a clinical study[J]. *Int Wound J*, 2011, 8(4): 355-364.
- [52] Morykwas MJ, Argenta LC, Shelton-Brown EI, et al. Vacuum-assisted closure: a new method for wound control and treatment: animal studies and basic foundation[J]. *Ann Plast Surg*, 1997, 38(6): 553-562.
- [53] Ichioka S, Watanabe H, Sekiya N, et al. A technique to visualize wound bed microcirculation and the acute effect of negative pressure[J]. *Wound Repair Regen*, 2008, 16(3): 460-465.
- [54] Morykwas MJ, Faler BJ, Pearce DJ, et al. Effects of varying levels of subatmospheric pressure on the rate of granulation tissue formation in experimental wounds in swine[J]. *Ann Plast Surg*, 2001, 47(5): 547-551.
- [55] Jacobs S, Simhaee DA, Marsano A, et al. Efficacy and mechanisms of vacuum-assisted closure(VAC) therapy in promoting wound healing: a rodent model[J]. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*, 2009, 62(10): 1331-1338.
- [56] Zhou M, Yu A, Wu G, et al. Role of different negative pressure values in the process of infected wounds treated by vacuum-assisted closure: an experimental study[J]. *Int Wound J*, 2013, 10(5): 508-515.
- [57] Rentea RM, Somers KK, Cassidy L, et al. Negative pressure wound therapy in infants and children: a single-institution experience[J]. *J Surg Res*, 2013, 184(1): 658-664.
- [58] Rispoli DM, Horne BR, Kryzak TJ, et al. Description of a technique for vacuum-assisted deep drains in the management of cavitory defects and deep infections in devastating military and civilian trauma[J]. *J Trauma*, 2010, 68(5): 1247-1252.
- [59] 喻爱喜, 李宗焕. 负压封闭引流技术在清洁创面的应用[J]. *中华显微外科杂志*, 2014, 37(3): 210-212.
- [60] 顾立强. 复杂性创面中负压封闭引流技术的应用[J]. *中华显微外科杂志*, 2014, 37(3): 217-218.
- [61] Leung BK, Labarbera LA, Carroll CA, et al. The effects of normal saline instillation in conjunction with negative pressure wound therapy on wound healing in a porcine model[J]. *Wounds*, 2010, 22(7): 179-187.
- [62] Brinkert D, Ali M, Naud M, et al. Negative pressure wound therapy with saline instillation: 131 patient case series[J]. *Int Wound J*, 2013, 10 Suppl 1: 56-60.
- [63] Wolvos T. Wound instillation-the next step in negative pressure wound therapy. lessons learned from initial experiences[J]. *Ostomy Wound Manage*, 2004, 50(11): 56-66.
- [64] Timmers MS, Graafland N, Bernards AT, et al. Negative pressure wound treatment with polyvinyl alcohol foam and polyhexanide antiseptic solution instillation in post-traumatic osteomyelitis[J]. *Wound Repair Regen*, 2009, 17(2): 278-286.
- [65] Raad W, Lantis JN, Tyrie L, et al. Vacuum-assisted closure instill as a method of sterilizing massive venous stasis wounds prior to split thickness skin graft placement[J]. *Int Wound J*, 2010, 7(2): 81-85.
- [66] 汪华侨, 常湘珍, 朱庆棠, 等. 负压封闭引流技术专题座谈会专家意见[J]. *中华显微外科杂志*, 2014, 37(3): 209.

(收稿日期: 2016-08-05)