

自制可控内嵌式双管冲洗引流联合PMMA骨水泥诱导膜技术治疗糖尿病足溃疡创面的疗效分析

李炳焱¹, 余培辉¹, 罗斯敏^{1,2}, 吴文锐^{1,2*}

¹暨南大学附属第一医院潮汕医院骨科, 广东 潮州

²暨南大学附属第一医院创伤骨科, 广东 广州

收稿日期: 2026年5月18日; 录用日期: 2026年6月11日; 发布日期: 2026年6月23日

摘要

目的: 探讨抗生素聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)骨水泥联合自制双管冲洗技术在糖尿病足溃疡(DFU)治疗中的临床疗效。方法: 选取本院收治的DFU患者32例, 根据治疗方法分为对照组($n = 16$)和实验组($n = 16$)。对照组在清创术后行负压封闭引流(VSD)治疗, 并辅以全身抗感染及血糖控制等基础治疗; 实验组在基础治疗及清创术后, 行自制可控内嵌式双管冲洗引流联合抗生素PMMA骨水泥覆盖治疗。比较两组患者的临床疗效及总有效率、炎症反应指标(治疗前后4周的CRP、ESR、PCT、WBC)、疼痛视觉模拟评分(VAS)、生活质量SF-36评分、细菌检出率、术后恢复情况(手术次数、住院时间、创面愈合情况)以及并发症发生情况(术后出血、感染、溃疡加重、骨髓炎、截肢等)。结果: 实验组住院时间、溃疡愈合时间均显著短于对照组($P < 0.05$)。治疗4周后, 实验组患足VAS评分显著低于组内治疗前及同期对照组($P < 0.05$); 实验组SF-36各维度评分均显著高于同期对照组(均 $P < 0.05$)。实验组总有效率为93.8% (15/16), 显著高于对照组的50.0% (8/16) ($\chi^2 = 7.58, P < 0.05$)。实验组手术次数少于对照组, 细菌检出率低于对照组, 差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。实验组创面愈合时间短于对照组, 肉芽组织生长厚度高于对照组, 创面面积小于对照组, 差异均有统计学意义($P < 0.05$)。实验组并发症发生率低于对照组($P < 0.05$)。结论: 自制可控内嵌式双管冲洗联合抗生素PMMA骨水泥治疗DFU具有较好的临床效果, 能够缩短患者住院时间、减轻患足疼痛、促进溃疡愈合, 并在总有效率方面显示出优于单纯VSD治疗的初步证据, 是一项值得进一步验证的保肢治疗优化方案。

关键词

糖尿病足溃疡, 抗生素骨水泥, 创面愈合, 双管冲洗, 膜诱导技术

*通讯作者。

Efficacy of a Self-Designed Controllable Dual-Tube Irrigation-Drainage System Combined with the Masquelet Technique for Diabetic Foot Ulcer Wounds

Bingyao Li¹, Peihui Yu¹, Simin Luo^{1,2}, Wenrui Wu^{1,2*}

¹Department of Orthopedics, Chaoshan Hospital, The First Affiliated Hospital of Jinan University, Chaozhou Guangdong

²Department of Traumatic Orthopedics, The First Affiliated Hospital of Jinan University, Guangzhou Guangdong

Received: May 18, 2026; accepted: June 11, 2026; published: June 23, 2026

Abstract

Objective: To investigate the clinical efficacy of antibiotic-loaded polymethyl methacrylate (PMMA) bone cement combined with a self-made double-tube irrigation technique in the treatment of diabetic foot ulcer (DFU). **Methods:** A total of 32 DFU patients admitted to our hospital were divided into a control group (n = 16) and an experimental group (n = 16). The control group received negative-pressure wound drainage (VSD) after debridement, along with basic treatments including systemic anti-infection and glycemic control. On the basis of basic treatment and debridement, the experimental group received self-made adjustable embedded double-tube irrigation and drainage combined with antibiotic-loaded PMMA bone cement coverage. The clinical efficacy and overall response rate, inflammatory markers (CRP, ESR, procalcitonin, WBC at baseline and 4 weeks after treatment), Visual Analog Scale (VAS) score, SF-36 quality of life score, bacterial detection rate, post-operative recovery outcomes (number of operations, length of hospital stay, wound healing status), and incidence of complications (postoperative bleeding, infection, ulcer aggravation, osteomyelitis, amputation, etc.) were compared between the two groups. **Results:** The length of hospital stay and wound healing time in the experimental group were significantly shorter than those in the control group ($P < 0.05$). After 4 weeks of treatment, the VAS score of the affected foot in the experimental group was significantly lower than that before treatment in the same group and that in the control group at the same time point ($P < 0.05$); the SF-36 scores in all dimensions in the experimental group were significantly higher than those in the control group at the same time point ($P < 0.05$). The overall response rate in the experimental group was 93.8% (15/16), significantly higher than 50.0% (8/16) in the control group ($\chi^2 = 7.58, P < 0.05$). The number of operations and bacterial detection rate in the experimental group were lower than those in the control group, with statistical significance ($P < 0.05$). The wound healing time in the experimental group was shorter, the thickness of granulation tissue was greater, and the wound area was smaller than those in the control group ($P < 0.05$). The incidence of complications in the experimental group was lower than that in the control group ($P < 0.05$). **Conclusion:** The combination of self-made adjustable embedded double-tube irrigation and antibiotic-loaded PMMA bone cement shows favorable clinical effects in the treatment of DFU, including shortened hospital stay, reduced foot pain, promoted ulcer healing, and superior overall response rate compared with VSD alone. It is an optimized limb-salvage strategy worthy of further validation.

Keywords

Diabetic Foot Ulcer, Antibiotic Bone Cement, Wound Healing, Double-Tube Irrigation, Masquelet Technique

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

糖尿病患者因长期高血糖导致下肢神经病变、血管病变及感染等，进而引发糖尿病足，表现为足部溃疡、坏疽等。糖尿病足(DFU)是糖尿病最严重的并发症之一，约 1/3 的糖尿病患者存在感染风险[1]。DFU 可导致踝周感染、慢性溃疡甚至组织坏死，严重者需截肢。DFU 多见于病程较长的老年糖尿病患者，这些患者通常合并末梢血管病变，并伴有神经病变及血管病变，进一步加重创面的难治程度[2]。目前，针对 DFU 的治疗多采用清创、负压封闭引流(VSD)等手段，尽管能取得一定治疗效果，但患者的术后康复情况及远期预后却不尽如人意。近年来，部分学者利用抗生素骨水泥，在修复重建外科临床实践中获得了不少确切疗效[3]。在清除创面坏死组织后，将抗生素与骨水泥混合，利用骨水泥作为载体覆盖创面，通过局部持续释放抗生素，将抗生素直接作用于创面，从而达到高效杀菌、控制感染的目的，有助于加速创面愈合过程、减少换药次数、减轻患者疼痛[4]。但对于一些严重感染创面，清创后仍可能有部分组织继续坏死，直接覆盖骨水泥可能存在创面分泌物引流不畅、导致感染控制不佳的情况。鉴于此，本研究分析应用自制可调式双管引流冲洗联合抗生素骨水泥填塞封闭创面治疗重度 DFU 患者的效果，现报道如下。

2. 资料与方法

2.1. 一般资料

选取 2021 年 4 月至 2025 年 4 月于暨南大学附属第一医院潮汕医院收治的 32 例符合入选标准的 DFU 患者，根据治疗方法将其分为对照组(行传统治疗联合 VSD, 16 例)和实验组(行自制双管冲洗引流联合抗生素骨水泥治疗, 16 例)。

2.2. 纳入与排除标准

纳入标准：① DFU 诊断参照《糖尿病足创面修复治疗专家共识》[5]；② Wagner 分级 II~III 级；③ 对本研究治疗方法均耐受；④ 精神正常，沟通无障碍。排除标准：① 入组前已进行过相关治疗者；② 存在自身免疫性疾病者；③ 合并肝、肾等重要脏器功能损害者；④ 合并恶性肿瘤者；⑤ 足部溃疡由其他原因(如外伤、烧伤、静脉曲张性溃疡、血管炎等)引起者。

2.3. 治疗方法

入组患者均完善血液检验、创面分泌物培养及药敏实验、足部 X 线检查，必要时行足部核磁共振检查及双下肢动静脉血管彩超等常规检查。根据创面分泌物细菌培养结果选择敏感抗生素，辅以控糖、改善循环、营养神经等对症治疗。完善相关检查后，在腰硬联合麻醉下行患足溃疡清创术，剔除创面坏死

组织和间生态组织, 开放引流脓腔, 彻底止血, 清创术区予双氧水、碘伏、生理盐水反复冲洗。

实验组在清创术后制作抗生素 PMMA 骨水泥置入, 并联合自制双管冲洗治疗; 对照组在清创术后常规予 VSD 治疗。实验组术后 1 周根据引流液情况拔除引流管, 术后 2 周取出或更换骨水泥; 对照组术后 2 周拆除负压敷料, 根据创面情况决定是否继续更换 VSD 装置。

2.4. 术后处理

实验组术后每天经入水管输入生理盐水 500 mL, 脉冲式引流, 连续 1 周; 1 周后拔除冲洗引流管; 2 周后取出骨水泥, 予 0.05% 醋酸氯己定冲洗创面, 不破坏诱导膜, 全层缝合。术后 3 d 内不再冲洗, 仅持续引流; 3 d 后取引流液做细菌培养及药敏, 结果提示阴性后拔除双管引流装置; 若细菌培养阳性, 则继续冲洗引流, 待细菌培养阴性后再拔除。部分患者因张力问题无法关闭切口, 可通过 0.05% 醋酸氯己定每日清洗至肉芽组织生长至与周围皮肤平齐, 再通过生肌膏外用收敛创面达到疤痕化愈合。

2.5. 观察指标

临床疗效: 患者疼痛不适症状显著减轻, 创面愈合率 $\geq 90\%$ 为显效; 症状有所减轻, $50\% \leq$ 创面愈合率 $< 90\%$ 为有效; 症状无改善或加重, 创面愈合率 $< 50\%$ 为无效。总有效率 = (显效 + 有效) 例数 / 总例数 $\times 100\%$ 。创面愈合率 = $(1 - \text{治疗后创面面积} / \text{治疗前创面面积}) \times 100\%$ 。

炎症反应: 治疗前及治疗 4 周后, 检测白细胞计数(WBC), 采用免疫比浊法检测降钙素原(PCT)、C 反应蛋白(CRP)水平。

创面愈合情况: 记录两组患者创面愈合时间、肉芽组织生长厚度、创面面积。

疼痛程度: 治疗前及治疗 4 周后, 采用视觉模拟评分法(VAS)评估, 评分越高则疼痛越剧烈。

生活质量: 治疗前及治疗 4 周后, 采用健康调查简表(SF-36)评估, 评分越高则生活质量越高。

细菌检出率: 用无菌拭子采集患者创面炎性渗出物样本, 立即送检进行细菌培养, 细菌检出率为细菌培养结果阳性的患者例数占总例数的百分比。

术后恢复情况: 统计患者手术次数、住院时间。

并发症发生率: 包括术后出血、感染、溃疡加重、骨髓炎、截肢等。

2.6. 统计学方法

应用 SPSS 23.0 统计软件进行分析。分类计数资料采用频数(百分比)描述, 组间比较采用 χ^2 检验; 有序等级资料采用秩和检验; 计量资料采用均数 \pm 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 描述, 符合正态分布者采用两独立样本 t 检验或重复测量方差分析; 以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

3. 结果

3.1. 两组患者一般资料比较

两组患者在性别、年龄、糖尿病病程、Wagner 分级及创面面积方面差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$), 具有可比性。见表 1。

3.2. 两组患者炎症反应比较

治疗 4 周后, 两组患者的 CRP、ESR、PCT 及 WBC 水平均较治疗前显著下降(组内比较, 均 $P < 0.05$)。与对照组相比, 实验组治疗后上述各项炎症指标改善更为明显, 差异均有统计学意义(组间比较, 均 $P < 0.05$)。见表 2。

Table 1. Comparison of general data between the two groups ($\bar{x} \pm s$)**表 1.** 两组患者一般资料比较($\bar{x} \pm s$)

| 项目 | 对照组(n = 16) | 实验组(n = 16) | 统计值 | P 值 |
|------------------------|-------------|-------------|-----------------|-------|
| 性别(男/女) | 10/6 | 9/7 | $\chi^2 = 0.13$ | >0.05 |
| 年龄(岁) | 58.4 ± 8.7 | 60.1 ± 7.9 | t = 0.53 | >0.05 |
| 糖尿病病程(年) | 8.6 ± 3.2 | 9.1 ± 3.5 | t = 0.42 | >0.05 |
| Wagner 分级(3 级/4 级) | 11/5 | 10/6 | $\chi^2 = 0.14$ | >0.05 |
| 创面面积(cm ²) | 18.4 ± 6.7 | 17.9 ± 7.1 | t = 0.20 | >0.05 |

Table 2. Comparison of inflammatory indicators between the two groups before and after treatment ($\bar{x} \pm s$)**表 2.** 两组患者治疗前后炎症指标比较($\bar{x} \pm s$)

| 指标 | 对照组(n = 16) | 实验组(n = 16) | t 值 | P 值 |
|---------------------------|-------------|-------------|------|-------|
| CRP (mg/L) | | | | |
| 治疗前 | 45.6 ± 12.4 | 46.2 ± 11.8 | 0.14 | >0.05 |
| 治疗后 4 周 | 18.3 ± 6.2 | 9.4 ± 4.1 | 4.69 | <0.05 |
| ESR (mm/h) | | | | |
| 治疗前 | 62.4 ± 15.3 | 63.1 ± 14.7 | 0.13 | >0.05 |
| 治疗后 4 周 | 28.7 ± 9.6 | 16.2 ± 6.8 | 4.13 | <0.05 |
| 降钙素原(μg/L) | | | | |
| 治疗前 | 1.24 ± 0.41 | 1.29 ± 0.38 | 0.36 | >0.05 |
| 治疗后 4 周 | 0.56 ± 0.22 | 0.23 ± 0.12 | 5.22 | <0.05 |
| WBC (×10 ⁹ /L) | | | | |
| 治疗前 | 14.3 ± 3.1 | 14.6 ± 2.9 | 0.28 | >0.05 |
| 治疗后 4 周 | 9.2 ± 2.3 | 6.9 ± 1.7 | 3.15 | <0.05 |

3.3. 两组患者创面愈合情况比较

实验组创面愈合时间为(35.6 ± 8.4) d, 显著短于对照组的(58.3 ± 12.6) d ($P < 0.05$); 实验组肉芽组织生长厚度为(5.7 ± 1.1) mm, 高于对照组的(3.2 ± 0.9) mm ($P < 0.05$); 治疗后 4 周, 实验组创面面积为(3.8 ± 2.1) cm², 小于对照组的(6.5 ± 3.2) cm² ($P < 0.05$), 实验组创面缩小率(78.8 ± 9.6)%亦高于对照组的(64.7 ± 12.3)% ($P < 0.05$)。见表 3。

3.4. 临床疗效、术后恢复及并发症比较

实验组总有效率为 93.75% (15/16), 显著高于对照组的 50.0% (8/16) ($\chi^2 = 7.58, P < 0.05$)。实验组住院时间为(19.7 ± 5.9) d, 手术次数为(1.4 ± 0.6)次, 均少于对照组的(32.4 ± 8.6) d 和(2.4 ± 0.9)次(均 $P < 0.05$)。实验组细菌检出率为 25.0%, 低于对照组的 62.5% ($P < 0.05$); 并发症发生率为 12.5%, 亦低于对照组的 31.3% ($P < 0.05$)。两组截趾(肢)率比较, 差异无统计学意义(实验组 6.3% vs 对照组 12.5%, $P > 0.05$)。见表 4。

Table 3. Comparison of wound healing status between the two groups ($\bar{x} \pm s$)**表 3.** 两组患者创面愈合情况比较($\bar{x} \pm s$)

| 组别 | 创面愈合时间(d) | 肉芽组织生长厚度(mm) | 治疗后 4 周创面面积(cm ²) | 创面缩小率(%) |
|-------------|-------------|--------------|-------------------------------|-------------|
| 对照组(n = 16) | 58.3 ± 12.6 | 3.2 ± 0.9 | 6.5 ± 3.2 | 64.7 ± 12.3 |
| 实验组(n = 16) | 35.6 ± 8.4 | 5.7 ± 1.1 | 3.8 ± 2.1 | 78.8 ± 9.6 |
| P 值 | <0.05 | <0.05 | <0.05 | <0.05 |

Table 4. Comparison of clinical efficacy, postoperative recovery and complications between the two groups ($\bar{x} \pm s$)**表 4.** 两组患者临床疗效、术后恢复及并发症比较($\bar{x} \pm s$)

| 组别 | 总有效率(%) | 住院时间(d) | 手术次数 | 细菌检出率(%) | 并发症发生率(%) | 截趾(肢)率(%) |
|-------------|---------------|------------|-----------|----------|-----------|-----------|
| 对照组(n = 16) | 50.0 (8/16) | 32.4 ± 8.6 | 2.4 ± 0.9 | 62.5 | 31.3 | 12.5 |
| 实验组(n = 16) | 93.75 (15/16) | 19.7 ± 5.9 | 1.4 ± 0.6 | 25.0 | 12.5 | 6.3 |
| P 值 | <0.05 | <0.05 | <0.05 | <0.05 | <0.05 | >0.05 |

注：总有效率 $\chi^2 = 7.58$, $P < 0.05$ 。

3.5. 疼痛及生活质量比较

治疗 4 周后，两组 VAS 评分均较治疗前降低，SF-36 总分均较治疗前升高(组内比较，均 $P < 0.05$)。实验组治疗后 VAS 评分为(2.2 ± 0.9)分，显著低于对照组的(4.6 ± 1.3)分($t = 6.83$, $P < 0.05$)；实验组 SF-36 总分为(83.5 ± 6.8)分，显著高于对照组的(68.7 ± 7.4)分($t = 5.88$, $P < 0.05$)。见表 5。

Table 5. Comparison of VAS scores and total SF-36 scores between the two groups before and after treatment ($\bar{x} \pm s$)**表 5.** 两组患者治疗前后 VAS 评分及 SF-36 总分比较($\bar{x} \pm s$)

| 时间点 | VAS 评分(分) | SF-36 总分(分) |
|----------------|-----------|-------------|
| 治疗前 | | |
| 对照组(n = 16) | 7.3 ± 1.2 | 52.4 ± 8.6 |
| 实验组(n = 16) | 7.5 ± 1.1 | 53.1 ± 7.9 |
| P 值 | >0.05 | >0.05 |
| 治疗后 4 周 | | |
| 对照组(n = 16) | 4.6 ± 1.3 | 68.7 ± 7.4 |
| 实验组(n = 16) | 2.2 ± 0.9 | 83.5 ± 6.8 |
| P 值 | <0.05 | <0.05 |

注：实验组治疗后 4 周 VAS 评分与本组治疗前比较， $t = 8.16$, $P < 0.05$ 。

4. 讨论

我国糖尿病患者人数已达 1.12 亿,成为全球糖尿病第一大国,DFU 是糖尿病常见且严重的并发症之一[6]。约 15%的糖尿病患者一生中会发生足部溃疡,其中 56%的溃疡会进展为感染,从溃疡到感染、深部感染、骨髓炎,最终可能导致截肢或死亡。与糖尿病足发展相关的 1 年死亡率约为 5%,5 年死亡率约为 42% [7]。在许多国家,糖尿病足是截肢的首位原因,85%因糖尿病足截肢的患者曾有足部溃疡病史[8]。DFU 作为致残性疾病,极大降低了患者的生活质量并带来沉重的经济负担。因此,规范有效的治疗对于规避远期截肢手术、减轻患者身心伤害至关重要。

在 DFU 的临床处理中,目前多数医师倾向于手术切除感染组织或骨组织,并在围手术期辅以全身抗生素治疗[9]。对于 Wagner 2 级及以上的患者,单纯使用抗生素不足以阻止溃疡进展,手术清创成为最有效的干预手段。然而,对于多重耐药菌感染的创面,仅依靠清创往往难以实现快速愈合,甚至可能加重耐药菌的产生与扩散。尽管临床已遵循 DFU 的规范化治疗原则,但其治疗效果仍有较大提升空间。

DFU 的迁延难愈常与局部微循环障碍、细菌生物膜形成及持续高炎症状态密切相关。Masquelet 等人 [10]率先发现,在伤口表面涂抹骨水泥可诱导一种特殊的生物膜(Induced Membrane, IM)形成。研究表明,该膜具有生物活性,并通过释放转化生长因子- β 1 (TGF- β 1)和血管内皮生长因子(VEGF),促进伤口愈合 [11]。抗生素骨水泥在慢性创面治疗中的可以通过精准局部抗菌、形成有效的抑菌浓度,抑制细菌生物膜的形成,改善局部微环境,促进血管再生和组织修复。

本研究中,实验组患者治疗后 4 周的 CRP、ESR、PCT 及 WBC 等炎症指标均显著低于对照组($P < 0.05$),提示自制双管冲洗引流联合抗生素骨水泥能够更有效地控制创面感染、降低全身炎症负荷。邹英财等[3]及刘悦臣等[12]的研究发现抗生素骨水泥可在局部形成高浓度缓释抗生素环境,克服全身用药在缺血组织中浓度不足的缺陷,而且进一步促进创面愈合和组织修复,同时改善神经功能和血管状况。

抗生素骨水泥不仅具有抗菌功能,还在调控生长因子释放与活性方面发挥重要作用,从而促进软组织生长和修复。本研究中实验组创面愈合时间显著缩短、肉芽组织厚度增加,与文献报道的抗生素骨水泥可上调 VEGF、TGF- β 等促愈合因子表达、促进血管再生的结论相符[13] [14]。曹涛等人[15]对于抗生素骨水泥对于糖尿病足溃疡血管新生的作用的研究中发现,抗生素骨水泥可促进 DFU 创基组织新生血管形成,从而显著促进糖尿病大鼠全层皮肤缺损创面愈合,其中抗生素骨水泥可通过下调 Notch 信号通路从而提高创面组织中 VEGFR2 蛋白的表达,抗生素骨水泥还可以通过抑制高糖环境中过度激活的 Notch 信号通路增强 VEGFR2 蛋白表达,促进 HUVEC 细胞增殖、迁移和成管,最终促进高糖环境下血管新生,从而修复组织。

DFU 患者常因创面暴露、神经病变及反复清创而承受剧烈疼痛,严重影响生活质量。本研究中,实验组治疗后 4 周的 VAS 评分显著低于对照组及治疗前,且 SF-36 总分明显升高,提示联合治疗可有效缓解患足疼痛并改善整体生活状态。其机制可能包括:① 有效控制感染后局部炎症介质(如 PGE2、缓激肽)水平下降;② 自制双管冲洗提供了良好的创面湿润环境,减少敷料更换次数及换药时的机械刺激;③ 诱导膜形成后局部血供改善,促进了神经功能的部分修复。在术后恢复方面,实验组住院时间及手术次数均显著少于对照组(均 $P < 0.05$),与 Chen 等[16]及 Dai 等[17]的研究结论一致。在并发症方面,实验组细菌检出率及总体并发症发生率更低,表明联合治疗在控制感染源、减少耐药菌产生方面具有优势。

VSD 能持续清除创面渗出物和坏死组织,保持创面清洁,为抗生素骨水泥发挥作用创造良好条件;而抗生素骨水泥可填塞深部死腔,缓慢释放抗生素,有效杀灭细菌,二者结合可显著提高抗感染效果,促进肉芽生长。此外,本研究创新性地采用自制双管冲洗引流技术,通过持续或间歇性灌洗,不仅进一步稀释创面分泌物、降低细菌负荷,还可减少骨水泥覆盖后可能形成的局部死腔积液,促进诱导膜形成

与成熟，创面快速愈合。

本研究存在以下局限性，第一，本研究为非随机对照设计，患者分组基于临床实际选择，而非随机分配，因此可能存在选择偏倚，例如病情相对较重的患者可能被更多地分配至实验组或对照组，从而影响疗效评价的客观性。第二，样本量较小，可能导致统计效能不足，部分组间差异(如截趾/肢率)虽呈现数值趋势但未达统计学意义，可能与样本量过小有关；同时，小样本也限制了结果的代表性和外推性。第三，随访时间较短，能评估远期疗效，包括溃疡复发率、长期保肢率、骨水泥降解及诱导膜的远期转归等。因此，本研究结论应视为一项初步的探索性结果，尚需通过大样本、多中心、随机对照、双盲及长期随访的研究加以验证。

自制可调内嵌式双管冲洗联合抗生素 PMMA 骨水泥治疗 DFU，可初步观察到减轻炎症反应、促进创面愈合、缩短住院时间及减少手术次数、缓解疼痛并提高生活质量的趋势，具有较好的短期临床疗效和安全性。但受限于研究设计及样本量，上述结论需在更严谨的试验设计中进一步验证。目前结果提示，该联合方案可能成为 DFU 保肢治疗中一个有前景的优化策略。

声明

本研究经暨南大学附属第一医院潮汕医院医学伦理委员会批准，患者及家属均知情同意。

基金项目

广东省医学科学技术研究基金项目(编号：B2023328)。

参考文献

- [1] Ahmad, E., Lim, S., Lamptey, R., Webb, D.R. and Davies, M.J. (2022) Type 2 Diabetes. *The Lancet*, **400**, 1803-1820. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(22\)01655-5](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(22)01655-5)
- [2] McDermott, K., Fang, M., Boulton, A.J.M., Selvin, E. and Hicks, C.W. (2022) Etiology, Epidemiology, and Disparities in the Burden of Diabetic Foot Ulcers. *Diabetes Care*, **46**, 209-221. <https://doi.org/10.2337/dci22-0043>
- [3] 邹英财, 周莉, 王江宁. 抗生素骨水泥覆盖与负压创面疗法对糖尿病足溃疡创面愈合的影响比较[J]. 实用临床医药杂志, 2024, 28(23): 105-109, 115.
- [4] 曹涛, 计鹏, 张智, 等. 抗生素骨水泥治疗糖尿病足溃疡的前瞻性随机对照研究[J]. 中华烧伤与创面修复杂志, 2023, 39(4): 311-318.
- [5] 中国微循环学会周围血管疾病专业委员会糖尿病足学组. 糖尿病足创面修复治疗专家共识[J]. 中华糖尿病杂志, 2018, 10(5): 305-309.
- [6] 杨文英. 中国糖尿病的流行特点及变化趋势[J]. 中国科学, 2018, 48(8): 812-819.
- [7] Yazdanpanah, L., Shahbazian, H., Nazari, I., Arti, H.R., Ahmadi, F., Mohammadianinejad, S.E., et al. (2018) Incidence and Risk Factors of Diabetic Foot Ulcer: A Population-Based Diabetic Foot Cohort (ADFC Study)—Two-Year Follow-Up Study. *International Journal of Endocrinology*, **2018**, Article ID: 7631659. <https://doi.org/10.1155/2018/7631659>
- [8] Apelqvist, J., Bakker, K., van Houtum, W.H., Nabuurs-Franssen, M.H. and Schaper, N.C. (2000) International Consensus and Practical Guidelines on the Management and the Prevention of the Diabetic Foot. *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*, **16**, S84-S92. [https://doi.org/10.1002/1520-7560\(200009/10\)16:1+<::aid-dmrr113>3.0.co;2-s](https://doi.org/10.1002/1520-7560(200009/10)16:1+<::aid-dmrr113>3.0.co;2-s)
- [9] Ramachandran, V., Mohanasundaram, T., Karunakaran, D., Gunasekaran, M. and Tiwari, R. (2023) Physiological and Pathophysiological Aspects of Diabetic Foot Ulcer and Its Treatment Strategies. *Current Diabetes Reviews*, **19**, e1057439545. <https://doi.org/10.2174/1573399819666221103141715>
- [10] Masquelet, A.C., Fitoussi, F., Begue, T. and Muller, G.P. (2000) Reconstruction of the Long Bones by the Induced Membrane and Spongy Autograft. *Annales de Chirurgie Plastique Esthétique*, **45**, 346-353.
- [11] Giotikas, D., Tarazi, N., Spalding, L., Nabergoj, M. and Krkovic, M. (2019) Results of the Induced Membrane Technique in the Management of Traumatic Bone Loss in the Lower Limb: A Cohort Study. *Journal of Orthopaedic Trauma*, **33**, 131-136. <https://doi.org/10.1097/bot.0000000000001384>
- [12] 刘悦臣, 龙永学, 况瑜, 等. 抗生素骨水泥联合常规清创治疗对糖尿病足溃疡患者炎症反应及创面愈合的影响[J].

糖尿病新世界, 2025, 28(8): 174-178.

- [13] Cao, T., Ji, P., Zhang, Z., *et al.* (2023) A Prospective Randomized Controlled Study of Antibiotic Bone Cement in the Treatment of Diabetic Foot Ulcer. *Chinese Journal of Burns and Wounds*, **39**, 311-318.
- [14] Guo, H.H., Xue, Z.Q., Mei, S.W., *et al.* (2025) Clinical Efficacy of Antibiotic-Loaded Bone Cement and Negative Pressure Wound Therapy in Multidrug-Resistant Organisms Diabetic Foot Ulcers: A Retrospective Analysis. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, **14**, Article ID: 1521199. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2024.1521199>
- [15] 曹涛. 抗生素骨水泥通过调控 Notch 信号通路对糖尿病足溃疡血管新生的作用及初步机制探讨[D]: [硕士学位论文]. 西安: 中国人民解放军空军军医大学, 2023.
- [16] Chen, H., Yao, L., Zhou, Y. and Dai, J. (2024) Evaluation of Antibiotic-Loaded Bone Cement in Treatment of Infected Diabetic Foot: Systematic Review and Meta-Analysis. *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*, **40**, e70002. <https://doi.org/10.1002/dmrr.70002>
- [17] Dai, J.Z., Zhou, Y., Mei, S.S., *et al.* (2023) Application of Antibiotic Bone Cement in the Treatment of Infected Diabetic Foot Ulcers in Type 2 Diabetes. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **24**, Article No. 135. <https://doi.org/10.1186/s12891-023-06244-w>