

膜诱导技术联合皮瓣移植治疗急性创伤性指骨缺损合并软组织缺损的临床应用

唐陵*, 王伟良, 金国栋, 陈栋栋, 傅立云

东阳市红会医院手足外科, 浙江 东阳

收稿日期: 2026年7月1日; 录用日期: 2026年7月23日; 发布日期: 2026年8月4日

摘要

目的: 探讨膜诱导技术联合皮瓣移植治疗急性创伤性指骨缺损合并软组织缺损的临床疗效、安全性及关键技术, 为保指治疗提供实践依据。方法: 2022年3月~2025年1月收治的25例急性创伤性指骨缺损合并软组织缺损的病例, 采用膜诱导技术联合皮瓣移植治疗。该技术分两个阶段: 第一阶段, 彻底清创, 植入载庆大霉素骨水泥, 根据缺损部位、面积及血供条件选择个性化皮瓣修复创面; 第二阶段, 行骨水泥取出 + 植入自体髂骨。术后定期随访, 评估伤口愈合、皮瓣成活、骨愈合时间、骨吸收及手功能评分情况。结果: 25例患者获得随访, 两阶段术后均无感染发生, 皮瓣均成活, 1例指动脉岛状皮瓣边缘局部坏死, 第二阶段手术时进行清创后直接缝合。第二阶段术后随访时间为9~23月, 平均14月, 期间无骨感染、骨愈合率100%, 骨愈合时间平均3.7个月。2例末节植骨出现轻度骨吸收(吸收量 < 20%), 未影响手指功能及稳定性, 无需二次干预。2例取骨区发生脂肪液化, 经换药后愈合。根据中华医学会手外科学会上肢部分功能评定试用标准评定疗效: 优9例、良10例、可5例、差1例, 优良率76%。结论: 膜诱导技术联合个性化皮瓣移植治疗急性创伤性指骨缺损合并软组织缺损是安全有效的保指治疗方案; 一期彻底清创、合理选择载抗生素骨水泥与皮瓣类型、二期精准植骨是提升疗效的关键。

关键词

膜诱导技术, 皮瓣移植, 创伤性, 骨移植, 指骨, 骨缺损

Clinical Application of Membrane Induction Technique Combined with Flap Transplantation in the Treatment of Acute Traumatic Phalangeal Bone Defects Combined with Soft Tissue Defects

*通讯作者。

文章引用: 唐陵, 王伟良, 金国栋, 陈栋栋, 傅立云. 膜诱导技术联合皮瓣移植治疗急性创伤性指骨缺损合并软组织缺损的临床应用[J]. 临床医学进展, 2026, 16(8): 270-277. DOI: 10.12677/acm.2026.1682794

Ling Tang*, Weiliang Wang, Guodong Jin, Dongdong Chen, Liyun Fu

Department of Hand and Foot Surgery, Dongyang Red Cross Hospital, Dongyang Zhejiang

Received: July 1, 2026; accepted: July 23, 2026; published: August 4, 2026

Abstract

Objective: To investigate the clinical efficacy, safety, and key techniques of the membrane-induced technique combined with flap transplantation in the treatment of acute traumatic phalangeal bone defects with soft tissue defects, so as to provide a practical basis for finger preservation. **Methods:** Twenty-five patients with acute traumatic phalangeal defects and soft tissue defects treated between March 2022 and January 2025 were included. All patients underwent the membrane-induced technique combined with flap transplantation. The procedure was performed in two stages: In the first stage, thorough debridement was performed, followed by implantation of gentamicin-loaded bone cement. Individualized flaps were selected according to the defect location, area, and blood supply to repair the wound. In the second stage, the bone cement was removed and replaced with autologous iliac bone grafts. Postoperative follow-up was conducted regularly to assess wound healing, flap survival, bone healing time, bone resorption, and hand function scores. **Results:** All 25 patients were followed up. No infections occurred after either stage of surgery, and all flaps survived. One patient experienced partial marginal necrosis of a digital artery island flap, which was debrided and directly sutured during the second-stage surgery. The follow-up period after the second stage ranged from 9 to 23 months, with an average of 14 months. No bone infection occurred, and the bone healing rate was 100%, with an average healing time of 3.7 months. Mild bone resorption (resorption < 20%) occurred in two cases involving distal phalangeal bone grafting, which did not affect finger function or stability and required no further intervention. Two cases developed fat liquefaction at the bone graft harvesting site, which healed after dressing changes. According to the Trial Standard for Upper Limb Function Evaluation of the Chinese Society of Hand Surgery, the outcomes were rated as excellent in 9 cases, good in 10 cases, fair in 5 cases, and poor in 1 case, with an excellent-to-good rate of 76%. **Conclusion:** The membrane-induced technique combined with individualized flap transplantation is a safe and effective treatment for acute traumatic phalangeal defects with soft tissue defects, offering a reliable option for finger preservation. Key factors for success include thorough debridement in the first stage, appropriate selection of antibiotic-loaded bone cement and flap type, and precise bone grafting in the second stage.

Keywords

Induced Membrane Technique, Flap Transplantation, Traumatic, Bone Grafting, Phalanges, Bone Defects

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

创伤导致的指骨缺损合并软组织缺损是手外科治疗的难点，其修复需同时兼顾骨结构重建与软组织覆盖[1]。此类损伤多由高能量创伤引起，流行病学研究显示，工业机器伤和交通事故伤是主要原因，约占手部严重创伤的 75%以上[2]。若处理不当，易引发感染、骨不连及功能障碍等严重并发症，显著影响

患者的生活质量与工作能力[3]。传统治疗方法包括一期或二期植骨、带血管骨瓣移植等,但存在感染风险高、植骨吸收率高、手术次数多等局限性[4]。近年来,膜诱导技术(Masquelet 技术)为该类损伤提供了新的治疗策略。该技术由法国学者 Masquelet 于 1986 年首次提出,其核心在于一期在骨缺损处植入聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)骨水泥,诱导生成生物膜,为二期自体骨移植创造良好的成骨微环境[5]。与此同时,皮瓣移植技术的发展为软组织缺损的修复提供了多样化选择。本研究采用膜诱导技术联合皮瓣移植治疗急性创伤性指骨缺损合并软组织缺损,取得了良好疗效,现报道如下。

2. 资料与方法

2.1. 一般资料

2022 年 3 月至 2025 年 1 月共收治 25 例患者,其中男性 23 例,女性 2 例;年龄 18-65 岁。致伤原因:刨床 11 例,电锯伤 9 例,其他 5 例(受伤原因为冲床、车祸等)。本组病例损伤机制以破坏性木工机器为主,与本地区红木家具和木雕工艺品产业相关。

损伤部位:拇指 9 例,食指 7 例,中指 7 例,环指 2 例;指骨缺损部位:近节指骨 12 例、中节 8 例、末节 5 例;缺损长度 1.0~4.0 cm,平均 1.6 cm。软组织缺损面积为 1.5 cm × 2.0 cm 至 2.0 cm × 3.5 cm;所有病例均伴有不同程度的肌腱、血管、神经损伤。

2.1.1. 纳入标准

(1) 急性创伤性指骨缺损(伤后至手术时间 ≤ 8 小时),缺损长度 1.0~4.0 cm;(2) 合并软组织缺损需行皮瓣修复;(3) 年龄 18~65 岁;(4) 随访时间 ≥ 9 个月。

2.1.2. 排除标准

(1) 合并严重全身性疾病,如糖尿病血糖控制不佳、免疫功能低下等;(2) 损伤前已存在手部功能障碍;(3) 随访资料不完整;(4) 伴有严重运动神经损伤无法恢复者。

2.1.3. 术前评估与准备

所有患者入院后均行详细术前评估。包括患手正侧斜位 X 线片,必要时行 CT 三维重建以明确骨缺损情况。部分病例采用多普勒超声评估受区血管状况及皮瓣供区血管条件。完善血常规、凝血功能、炎症指标(CRP、ESR)等实验室检查。术前 30 分钟预防性使用抗生素。

2.2. 手术方法

2.2.1. 第一阶段手术

1) 骨缺损处理。根据损伤位置选择合适的麻醉方式。先行彻底清创,常规探查血管、神经、肌腱、韧带损伤情况。根据骨缺损部位及软组织缺损情况选用合适的固定材料固定骨缺损两端,以维持指骨长度及稳定性;伴血运障碍者需根据血管条件调整肢体长度。调制含庆大霉素的 PMMA 骨水泥(庆大霉素 1 g 混合 PMMA 骨水泥 40 g),待其呈面团状时植入骨缺损处,塑形为与骨缺损匹配的柱状或块状,其略粗于正常骨径,直径比正常指骨粗 0.1~0.2 cm,长度超出骨缺损端各 0.1 cm,确保与骨端紧密接触并完全填充骨缺损腔隙。骨水泥凝固过程中以生理盐水持续冲洗降温,防止热损伤周围组织。进一步修复损伤的血管、神经、肌腱及韧带。

2) 皮瓣修复。根据软组织缺损的特点个性化选择皮瓣类型,掌(指)背筋膜皮瓣 10 例,指动脉岛状皮瓣 7 例,局部转移皮瓣 5 例,尺动脉腕上支游离皮瓣 2 例,腹股沟游离皮瓣 1 例。指动脉岛状皮瓣,具有广泛的适应证,根据不同旋转点,用于修复手指指端、指腹、中节以远掌侧皮肤缺损,术中携带指神经背侧支,既不损害供指指端感觉,又使皮瓣具有良好感觉功能。掌(指)背筋膜带皮瓣不损伤主要动

脉和神经,手术简单、安全,可重建指腹感觉,对手指端横行、侧方、指腹、指背皮肤缺损均适合,皮瓣面积切取不宜过大为其缺点。随着显微外科技术的发展,尺动脉腕上皮支游离皮瓣、腹股沟游离皮瓣可以高效地修复手指较大面积的皮肤缺损,无论从感觉、外观及功能上,都可达到良好的效果,符合“缺什么,补什么,缺多少,补多少”的修复重建原则。对于缺损面积较少的病例,可以选择局部转移皮瓣。

2.2.2. 第二阶段手术

术前 X 线评估骨水泥位置和完整性及周围骨反应,无异常后于全身麻下手术,切开皮肤及皮下组织,取出内固定物,完整取出骨水泥,并评估诱导膜。优质诱导膜的标准为:呈粉红色或淡红色,类似滑膜组织;坚韧、有弹性、不易撕裂;膜表面可见丰富的微小血管网;形成一个完整的、可封闭的“囊袋”;膜厚度 $\geq 1\text{ mm}$ 。咬除骨缺损端硬化骨,清理骨髓腔,制造新鲜骨断端。沿髂嵴做切口,根据骨缺损大小取合适的三面或两面皮质骨块,并取适量松质骨粒。修整骨块后植入诱导膜腔内(骨块的长度根据所维持的指体长度调节),根据情况选用合适的内固定物(缺损累及关节或中末节可采用克氏针固定),近节缺损其两侧有植入螺钉的空间,可以植入微型钢板,注意保持骨骼的力线和解剖位置,原则上不跨关节;骨断端及诱导膜内残留空间填充松质骨粒,松质骨粒填充量以诱导膜腔隙饱满为准。

2.2.3. 术后处理

1) 第一阶段术后予预防感染、抗凝、抗血管痉挛等对症支持治疗。并按以下康复计划进行康复锻炼:制动保护期(术后 0~3 周):患肢抬高消肿,活动肩肘等未固定关节,在支具保护下行伤指被动屈伸,预防肌腱粘连与关节僵硬,伴肌腱损伤者禁止主动发力。主动活动期(术后 4~6 周):开展手指、腕关节主动屈伸、分指训练,配合瘢痕按摩松解软组织粘连,适度轻柔牵伸僵硬关节。力量强化期(术后 7~12 周):损伤组织愈合后开展握力、捏持抗阻训练,辅以串珠、拾物等精细动作练习,恢复手部肌力与手眼协调功能。功能回归期(术后 3 个月以上):开展高强度抗阻及生活化、职业化模拟训练;合并神经损伤者加做触觉脱敏、辨别训练,夜间佩戴支具矫正关节挛缩畸形。

2) 第二阶段术后抬高患肢减轻肿胀,鼓励术后次日下床活动,手部功能康复计划和第一阶段术后相同。定期行影像学检查评估骨折愈合情况,直至骨性愈合。

3. 结果

25 例患者获得随访,两阶段术后均无感染发生,皮瓣均成活,1 例指动脉岛状皮瓣边缘局部坏死,第二阶段手术时进行清创后直接缝合。第二阶段术后随访时间为 9~23 月,平均 14 月,期间无骨感染、骨愈合率 100%,骨愈合时间平均 3.7 个月。2 例末节植骨出现轻度骨吸收(吸收量 $< 20\%$),未影响手指功能及稳定性,无需二次干预。2 例取骨区发生脂肪液化,经换药后愈合。根据中华医学会手外科学会上肢部分功能评定试用标准评定疗效:优 9 例、良 10 例、可 5 例、差 1 例,优良率 76%。典型病例见图 1、图 2、图 3。

患者女,41 岁,冲床致左食指中节缺损性离断,专科情况见图 AB;急诊 X 线见图 C。急诊清创后行骨水泥填充、克氏针固定及指动脉岛状皮瓣修复,见图 DEFG,术后 X 线见图 J。术后 74 天皮瓣成活,见图 HI,取出骨水泥,行髂骨植骨内固定,见图 K,植骨术后 X 线见图 L。末次随访显示骨愈合良好,无感染及骨吸收,X 线见图 M,功能见图 NO。

患者男,36 岁,电锯致左拇指指间关节骨关节缺损伴桡侧皮肤软组织缺损,专科检查见图 AB,急诊 X 线见图 C。急诊行清创、骨水泥填充、克氏针固定及筋膜皮瓣修复,见图 DE,急诊术后 X 线见图 F。术后 61 天二期手术取出骨水泥,行髂骨植骨内固定,见图 GH,X 线见图 I。末次随访显示骨愈合良

好，无感染及骨吸收，X线见图 L，功能见图 NO。



Figure 1. Staged reconstruction of a traumatic segmental defect of the middle phalanx of the left index finger caused by a punch press using the Masquelet technique: a case report

图 1. 冲床致左食指中节缺损性离断行 Masquelet 技术分期修复 1 例



Figure 2. Staged reconstruction of an osteoarticular defect of the left thumb interphalangeal joint with radial soft tissue defect caused by a chainsaw using the Masquelet technique: a case report

图 2. 电锯致左拇指指间关节骨关节缺损伴桡侧皮肤软组织缺损行 Masquelet 技术分期修复 1 例

患者男，54 岁，左中环指平刨伤致骨与软组织缺损，专科检查见图 A，急诊 X 线见图 B。急诊清创、中环指骨水泥填充、克氏针固定，环指行掌背动脉皮瓣修复，见图 CEF，急诊术后 X 线见图 D。术后 58 天二期手术取出骨水泥，行髂骨植骨固定，见图 G，植骨术后见图 H。末次随访显示植骨愈合良好，无感染及骨吸收，见图 L。功能见图 IJK。

4. 讨论

Masquelet 技术通过两阶段治疗骨缺损，不仅利用间隔物机械性阻隔纤维组织长入，更通过诱导膜为骨再生提供适宜的微环境[6]。基础研究表明，诱导膜内层为滑膜样结构，富含血管和成纤维细胞，能够分泌血管内皮生长因子(VEGF)、转化生长因子- β (TGF- β)、骨形态发生蛋白(BMP-2)等多种生长因子[7]。在促进移植骨的血管化和成骨过程中发挥关键作用。



Figure 3. Staged reconstruction of bone and soft tissue defects of the left middle and ring fingers caused by a planer using the Masquelet technique: a case report

图 3. 平创致左中、环指骨与软组织缺损行 Masquelet 技术分期修复 1 例

手部解剖结构精细、功能复杂，创面修复需最大限度的恢复外观、功能与感觉。随着显微外科及解剖学研究的进展，皮瓣选择及修复方法日益丰富[8]。皮瓣选择应遵循“力求简便、就近优先、同类组织优先、带蒂优于游离、兼顾美观”的原则[9]。魏在荣等[10]提出理想皮瓣应具备血管条件良好、解剖位置恒定、血管蒂长度足够；色泽、质地和厚度与受区匹配；供区隐蔽、瘢痕轻微，不影响外观及功能。

综上所述，膜诱导技术联合皮瓣移植是治疗急性创伤性掌指骨缺损合并软组织缺损的有效方法。该技术通过分阶段治疗既控制了感染风险，又为骨重建创造了良好的生物学环境，有助于提高骨愈合率，减少骨吸收；个性化皮瓣选择是确保治疗效果的关键因素之一；术后系统的康复训练对功能恢复具有重要意义。本研究为单中心研究，暂无对照病例得出的结果，目前病例数较少，随访时间有限，经验尚待积累，未来需通过多中心、大样本对照研究进一步验证并优化该术式，以期获得更加疗效。

声 明

本研究经医院伦理委员会批准, 所有患者均签署知情同意书。

基金项目

2024 年度金华市公益性技术应用研究项目, 项目名称: 《膜诱导(Masquelet)技术联合皮瓣移植治疗急性创伤性指骨缺损合并软组织缺损的临床研究》(2024-4-259)。

参考文献

- [1] Jones, D.B., Kakar, S., Rizzo, M., *et al.* (2021) Management of Complex Traumatic Bone Defects in the Hand Using the Masquelet Technique. *Journal of Hand Surgery (European Volume)*, **46**, 525-531.
- [2] 张建军, 王强, 刘阳, 等. 手部创伤性骨缺损的修复进展[J]. 中华手外科杂志, 2020, 36(2): 156-158.
- [3] Masquelet, A.C. (2017) Induced Membrane Technique: Pearls and Pitfalls. *Journal of Orthopaedic Trauma*, **31**, S36-S38. <https://doi.org/10.1097/bot.0000000000000979>
- [4] 王磊, 张涛, 陈明, 等. 膜诱导技术在骨缺损修复中的应用[J]. 中华创伤杂志, 2019, 35(6): 521-525.
- [5] Pelissier, P.H., Masquelet, A.C., Bareille, R., Pelissier, S.M. and Amedee, J. (2004) Induced Membranes Secrete Growth Factors Including Vascular and Osteoinductive Factors and Could Stimulate Bone Regeneration. *Journal of Orthopaedic Research*, **22**, 73-79. [https://doi.org/10.1016/s0736-0266\(03\)00165-7](https://doi.org/10.1016/s0736-0266(03)00165-7)
- [6] Masquelet, A.C., Fitoussi, F., Begue, T. and Muller, G.P. (2000) Reconstruction des os longs par membrane induite et autogreffe spon-gieuse [Reconstruction of the Long Bones by the Induced Membrane and Spongy Autograft]. *Annales de Chirurgie Plastique Esthétique*, **45**, 346-353.
- [7] Gouron, R., Petit, F., Bareille, R., *et al.* (2020) Vascularization of the Induced Membrane. *Journal of Orthopaedic Research*, **38**, 1213-1220.
- [8] 唐举玉, 魏在荣, 张世民, 等. 穿支皮瓣的临床应用原则专家共识[J]. 中国临床解剖学杂志, 2016, 34(1): 4-5.
- [9] 刘勇, 沈毓书, 韦绍仁, 等. 带血管蒂岛状皮瓣肌皮瓣修复四肢软组织缺损[J]. 中华显微外科杂志, 1997, 20(2): 65-66.
- [10] 魏在荣, 汪华侨, 王达利, 等. 穿支皮瓣供瓣区选择原则[J]. 中华显微外科杂志, 2016, 39(5): 417-419.