

· 专家论坛 ·

本文亮点:

- (1) 提出复杂性创面的多维界定标准,为临床精准识别与分层管理提供理论依据。
- (2) 构建复杂性创面功能性修复的阶梯式理念框架,并展望再生医学与智能技术的融合路径。

Highlights:

- (1) This work proposes a multidimensional classification criterion for complex wounds, providing a theoretical basis for precise clinical identification and stratified management.
- (2) It establishes a stepwise conceptual framework for the functional reconstruction of complex wounds and outlines the integration path of regenerative medicine and intelligent technologies.



复杂性创面功能性修复的理念与临床实践

沈余明 植林 王艺雯

首都医科大学附属北京积水潭医院烧伤整形与创面修复科,北京 100035

通信作者:沈余明,Email:shenyuming1963@163.com

【摘要】 复杂性创面的修复已从单纯闭合创面转向功能性重建,但目前对其定义、修复理念和未来方向还缺乏系统阐述。在文献回顾和综合分析的基础上,该文提出复杂性创面的界定应综合考虑“愈合时序异常、解剖结构受累、危险因素并存及管理需求复杂”4个维度。可将该类创面功能性修复的核心理念总结为4个阶梯式的原则:供区与受区的生物学匹配、供区损伤最小化、恢复外观与感觉功能,以及深层结构,包括血管、神经、肌腱、骨骼与关节的功能性重建。该文系统梳理复杂性创面修复从皮肤移植奠定基础,到显微外科功能再造,再到多学科融合探索再生的发展历程,重点阐述中国学者在该领域做出的原创贡献。未来,再生医学、智能导航、超级显微外科及精准分型等技术深度融合,将进一步促进复杂性创面修复从解剖修复向功能再生发展。

【关键词】 伤口愈合; 修复外科手术; 显微外科手术; 功能性修复; 重建阶梯

基金项目:北京市自然科学基金-昌平创新联合基金(L234067)

Concepts and clinical practice of functional reconstruction of complex wounds

Shen Yuming, Zhi Lin, Wang Yiwen

Department of Burn and Plastic Surgery, Beijing Jishuitan

Hospital, Capital Medical University, Beijing 100035, China
Corresponding author: Shen Yuming, Email: shenyuming1963@163.com

【Abstract】 The paradigm of complex wound management has shifted from simple wound closure toward functional reconstruction. Nevertheless, a systematic framework defining complex wounds, outlining the principles of functional reconstruction, and addressing future directions remains unavailable. Based on a comprehensive review and critical synthesis of the current literature, this article proposes a multidimensional framework for defining complex wounds that incorporates four dimensions: abnormal healing trajectory, involvement of anatomical structures, coexistence of multiple risk factors, and complexity of clinical management. Furthermore, a four-tier conceptual framework for functional reconstruction of these wounds is summarized, emphasizing biological matching between donor and recipient sites, minimization of donor-site morbidity, restoration of aesthetic appearance and sensory function, and functional reconstruction of deep structures, including blood vessels, nerves, tendons, bones, and joints. This review systematically summarizes the historical evolution of complex wound reconstruction, from skin grafting as the cornerstone of wound repair, through microsurgical

DOI: 10.3760/cma.j.cn501225-20260507-00185

收稿日期 2026-05-07

引用本文:沈余明,植林,王艺雯.复杂性创面功能性修复的理念与临床实践[J].中华烧伤与创面修复杂志,2026,42(8):1-8. DOI: 10.3760/cma.j.cn501225-20260507-00185.

Shen Yuming, Zhi Lin, Wang Yiwen. Concepts and clinical practice of functional reconstruction of complex wounds[J]. Chin J Burns Wounds, 2026, 42(8): 1-8. DOI: 10.3760/cma. j. cn501225-20260507-00185.



functional reconstruction, to the emergence of multidisciplinary regenerative strategies, with particular emphasis on the original contributions of Chinese investigators in this field. Future advances driven by the deep integration of regenerative medicine, intelligent navigation, supermicrosurgery, and precision phenotyping are expected to facilitate the transition of complex wound reconstruction from anatomical repair to functional regeneration.

【Key words】 Wound healing; Reconstructive surgical procedures; Microsurgery; Functional reconstruction; Reconstructive ladder

Fund program: Beijing Natural Science Foundation-Changping Innovation Joint Fund (L234067)

随着人民生活水平的不断提高和健康中国理念日益深入人心,人们对美好生活的向往愈发强烈。对于复杂性创面的修复,患者已不满足于仅实现创面覆盖,而是追求全方位的功能性修复,这对医患双方都是一个极大的挑战,尤其对医务人员提出了更高的要求。然而,目前对于复杂性创面、功能性修复的界定尚不明确,尚需医务人员不断加深认识和理解,从而更好地对复杂性创面实施功能性修复,最终造福患者。

1 复杂性创面的定义与病因学

1.1 复杂性创面的定义

对于复杂性创面,当前临床还没有统一明确的定义,现有文献常用“慢性难愈性创面”“难治性创面”或“毁损性创面”等术语来描述,这类创面常伴随深部组织暴露、坏死、感染或缺损,而且很难自行愈合^[1-2]。其中,慢性难愈性创面的定义大多围绕病程时长设定,一般指病程超过3个月仍未恢复解剖和功能完整性的创面^[3]。然而,仅以时间作为界定标准存在明显局限性,无法充分体现病因差异、发病部位区别、组织缺损程度,也未考虑早期干预时机对预后的影响。

近年来,慢性难愈性创面的评估体系已从单一的时间维度,转变为整合了病因识别、病理生理机制解析与管理需求的多维度评估体系,复杂性创面这个更有临床指导价值的概念也随之被提出。有研究者指出,只要创面满足以下任意一个条件,就能将其定义为复杂性创面^[1-2]:(1)病程迁延超过3个月;(2)存在血液灌注不良或组织坏死;(3)伴有明确感染;(4)合并影响愈合的局部或全身性疾病。胡大海等^[4]进一步强调,复杂性创面的本质是多种病理因素干扰了正常的愈合过程。它的复杂性不

只体现在病程变长,通常指规范治疗4~12周后仍未愈合,更突出表现为以下任意一种临床特征:(1)局部组织损伤严重,修复难度大;(2)病因复杂,涉及多种基础疾病或致病因素,如糖尿病、周围血管病变、免疫缺陷、营养不良等;(3)病理生理层面存在持续炎症反应、组织缺血及细胞功能障碍;(4)具有高复发倾向,创面即使暂时闭合,也容易在原位或邻近区域再次破溃。

结合以上内容,笔者认为,只要创面符合以下任意一种特征,就可以将其判定为复杂性创面。(1)愈合时间异常:在预期时长,一般指4~12周内,创面没有出现有序的愈合过程,也没有明显的愈合倾向。(2)解剖结构受累,伴随功能障碍:创面伴有骨、关节、肌腱、神经、重要血管或内固定物裸露,或存在深部组织缺损、窦道或瘘管形成,或植入物相关感染的情况,并由此导致相应部位的感觉、运动或负重等功能障碍。(3)同时存在影响愈合的危险因素:合并干扰愈合的局部或全身性高危因素,具体包括深部感染(如微生物生物膜感染、慢性骨髓炎)、血供障碍(如动脉缺血、糖尿病性微血管病变)、放射性组织损伤、重度营养不良或免疫抑制状态。(4)诊疗管理需求复杂:经过规范的常规治疗后,创面仍持续不愈合,需要启动多学科团队协作诊疗模式,涉及整形外科、血管外科、内分泌科、感染科及康复科等科室;或需依赖复杂重建技术,比如皮瓣移植、骨搬运、显微外科修复,以及高级辅助治疗,如VSD、应用生物材料及制剂、血管介入等。

1.2 复杂性创面的主要病因及治疗原则

1.2.1 创伤性复杂性创面 这类创面大多由严重挫伤、挤压伤、撕脱伤等高能量损伤或深度烧伤造成,常伴随大面积皮肤和软组织缺损、开放性骨折,以及异物残留或严重污染,这类损伤很容易破坏局部血运,进一步引发深部组织坏死、骨外露及功能丧失,还可能继发骨髓炎或深部组织感染^[5]。治疗时要优先进行早期彻底清创与骨折固定,还要尽早借助皮瓣移植完成软组织覆盖。及时评估血运情况、有效闭合创面,是防止这类创面发展成慢性创面的关键步骤。

1.2.2 感染性与骨相关复杂性创面 坏死性筋膜炎、慢性窦道及慢性骨髓炎是这类创面的典型表现^[6]。因这类创面会形成微生物生物膜,深层组织还会有微生物定植、繁衍,常规清创和抗微生物治疗往往难以彻底治愈,所以,其治疗应以彻底清除

外科病灶为核心,还要根据病原学检查结果进行长期靶向抗感染治疗。

1.2.3 血管性复杂性创面 血管性复杂性创面包括糖尿病足溃疡、静脉性溃疡。动脉供血不足合并糖尿病引发的微循环障碍和周围神经病变,会大幅降低组织自我修复能力,导致溃疡形成,并显著增加感染和骨髓炎的发生风险;而静脉性溃疡主要与静脉高压、血液回流不畅及局部持续炎症反应有关^[7]。为使这类创面顺利愈合,需要同时对其进行血运重建和系统性代谢调控两方面干预。其中,糖尿病合并代谢紊乱引发的创面病因尤其复杂,后文将专门展开讨论。

1.2.4 肿瘤相关与放射性复杂性创面 肿瘤扩大切除后残留的大面积复合组织缺损,以及放射治疗造成的组织纤维化和微血管损伤,均导致创面难以愈合,且复发风险很高^[8]。管理这类创面时,需结合肿瘤治疗和重建外科的要求,仔细权衡肿瘤安全边界与功能修复的时机和策略。放射性损伤区域本身局部供血不足,修复该类创面时通常需引入血供充足的组织,如各类带蒂皮瓣或游离皮瓣,以确保创面有效覆盖。

1.2.5 代谢性复杂性创面 这类创面主要指代谢紊乱引发的难愈性创面,其中糖尿病足溃疡是最典型的代表,其核心病理改变与持续高血糖、胰岛素抵抗以及晚期糖基化终末产物堆积有关,这3个因素共同诱发微循环障碍、氧化应激反应和ECM重塑异常^[7,9-10],这些变化使创面愈合停滞在炎症阶段,无法正常过渡到增殖期,最终形成慢性难愈性创面。临床上,这类创面常合并周围神经病变和缺血,感染风险高,且易向深部组织扩散。治疗应采用“代谢-血管-创面”三位一体的综合干预方法:以血糖和血脂的系统管理为基础,联合血运重建改善局部供血,完成积极清创后再进行规范的创面床覆盖。系统性代谢调控是阻止这类创面复发和进展的关键环节。

1.2.6 自身免疫性复杂性创面 这类创面大多继发于坏疽性脓皮病、系统性硬化症、血管炎及白塞病等结缔组织病,本质上是免疫介导的血管损伤和组织纤维化的皮肤表现^[11]。其发病机制以免疫复合物沉积引发的血管炎性闭塞为基础,伴Fb异常活化及大量炎症细胞浸润,最终导致继发性组织缺血坏死。其临床特点为创面多发、对称分布,伴剧烈疼痛,常规换药治疗效果差^[11]。其治疗重点在于

控制原发疾病活动性,根据疾病活动度,酌情选用糖皮质激素、免疫抑制剂或靶向关键炎症通路的生物制剂。在全身免疫抑制治疗的基础上,局部创面处理应遵守标准化原则,但需警惕免疫抑制状态下,继发感染的风险会升高,临床决策时,需在控制炎症和预防感染之间进行动态调整^[12]。

1.2.7 压力性损伤 压力性损伤是持续压力或剪切力作用在骨隆突部位(如骶尾部、坐骨结节),导致局部组织缺血坏死所致。其病理过程包含微循环障碍、缺血-再灌注损伤以及组织机械变形,若合并皮肤潮湿、营养不良,创面易向深层发展,甚至累及骨骼。高龄、长期卧床、感觉功能减退是这类损伤的主要危险因素。其治疗遵循“预防优先、分级管理”的原则:对于Ⅰ期和Ⅱ期压力性损伤,主要进行减压、营养支持和皮肤护理;对于已出现骨外露的Ⅲ期和Ⅳ期压力性损伤,需进行外科清创联合皮瓣移植修复。因该类创面常受基础疾病、持续压力影响而迁延不愈,所以早期识别高危人群,建立系统的预防机制,如定时翻身、使用减压床垫,是降低其发生率的关键。

1.2.8 其他类型复杂性创面 其他临床情形,包括需矫正的严重瘢痕挛缩畸形、可引发医源性慢性创面的外科手术、手术部位感染,以及器械或植入物的长期外部压迫等,也可导致复杂性创面^[13]。虽然这些创面的发病原因各不相同,但若同时合并感染、血供不足、瘢痕化或既往接受过放射治疗这类不利因素,也应将其归入复杂性创面范畴并进行综合管理。

2 复杂性创面功能性修复的发展历史

复杂性创面功能性修复的发展过程,本质上是从创面覆盖逐步走向综合功能重建的理念和技术升级过程。

在皮肤移植和皮瓣外科技术的起步阶段,创面修复主要以促进创面愈合和维持患者生存为目标^[14]。20世纪中叶以来,显微外科技术的突破推动创面修复进入功能重建阶段^[15]。1963年,陈中伟团队完成了世界上第1例完全离断前臂的再植手术,术后患手的功能恢复良好,证实了复杂组织功能重建的可行性^[16]。随后,游离组织移植技术的发展,使大范围组织缺损的修复从局部覆盖走向精准重建^[17]。20世纪80年代后,血管束区理论、穿支束区理论的创立和穿支皮瓣技术的推广,在保证受区缺

损修复效果的同时最大限度减少了供区损伤^[18]。其中,由我国学者首先开展解剖学研究并推广应用的股前外侧皮瓣,因供区损伤小、适应证广,逐渐成为国际上应用最广泛的游离皮瓣^[19]。这一时期,复杂创面修复的目标已逐步由组织存活转向功能恢复。

进入 21 世纪后,复杂性创面修复的发展呈现技术精细化、个体化和多学科交叉化的特点。超级显微外科、VSD、人工真皮、荧光血管造影和数字化设计等手段在复杂性创面修复领域的应用,显著提高了修复的精准性和安全性^[20-21]。与此同时,复杂性创面的治疗理念也由传统“阶梯修复”理念逐步转变为以功能恢复为导向的综合重建理念。例如,针对严重肢体创伤,通过骨科团队与显微外科团队协作,联合进行骨组织缺损重建与软组织缺损修复,可显著提高保肢率和肢体功能恢复水平^[22-24]。在功能重建领域,我国学者持续推动理念创新,王增涛团队提出并完善了“手指全形再造”理念,实现了手指外形与功能的同步重建,体现了复杂创面修复从组织修复向功能与形态兼顾的转变^[20]。此外,组织工程、干细胞和三维生物打印等技术的不断发展,也为未来实现更高水平的组织器官再生与功能重建带来了新的可能^[25-26]。例如,李青峰与胥涛团队将组织工程、干细胞技术与传统重建外科相结合,完成了自体组织全脸面预构与移植治疗,为大范围复杂组织缺损的功能性重建提供了新的技术路径^[27]。

3 复杂性创面功能性修复的核心理念及应用

复杂性创面功能性修复的根本目标,是在创面彻底清创、有效控制感染的基础上,优先重建受损部位的功能单位,包括皮肤的耐磨与触觉功能、肌腱-滑车系统的力学传导、关节的活动度与稳定性,以及骨骼的承重轴线,而非仅满足于创面闭合或者外观改善。为实现该目标,要求在术前评估时,先明确功能重建的优先级,再根据优先级选择合适的组织类型和重建方式,如皮片、皮瓣、肌肉、肌腱或者骨的复合移植。本文将复杂性创面功能性修复理念的主要内容总结为 4 个阶梯式的原则:(1)供区与受区的生物学匹配;(2)供区损伤最小化;(3)恢复外观与感觉功能;(4)深层结构的功能性重建。

3.1 供区与受区的生物学匹配

供区与受区的生物学匹配之所以关键,在于它

直接决定受区组织的远期功能与外观效果。供区组织的色泽、厚度、弹性、毛发分布乃至组织结构,越接近受区,并发症越少。手掌与足底的替代组织,耐磨性、感觉恢复潜力及结构稳定性缺一不可,薄型同类组织为首选^[28];面部对供区组织的需求则不同:除色泽与厚度外,毛发生长方向与密度一旦与受区错位,外观效果便会显著受损,因此对匹配精度的要求更高^[29]。笔者认为,前者侧重功能耐用性,后者重在形态自然,匹配的侧重点因部位而异。

3.2 供区损伤最小化

治愈一个创面,不应以制造另一个创面为代价。笔者团队将这一原则概括为“整体创伤最小化”:受区的功能与外观要修复,供区的结构与美观也要保全。穿支皮瓣、超薄皮瓣、超级显微外科血管吻合、皮肤扩张与预构等现代外科技术为该原则的落实提供了有力支撑。具体策略包括:(1)供区隐蔽化。优先选择易被衣物遮盖或对美观影响较小的供区,如股前外侧、腹股沟、胸背或足底内侧区域,减轻患者的远期心理负担,这一策略在面部与手部重建中尤为重要^[28,30-31]。(2)使供区可直接缝合。合理规划皮瓣的宽度与轴向,使供区创面得以一期闭合,避免额外植皮。如在修复手掌皮肤缺损时,通过系统优化“手掌-足底内侧分叶皮瓣”的设计,即可实现受区精确重建与供区一期闭合^[28,32]。(3)应用穿支皮瓣技术。穿支皮瓣技术可保留深层肌肉与筋膜的完整性,仅切取较薄的组织瓣,因而更贴合受区需求,显著降低了供区功能障碍和并发症的发生风险^[33]。这项技术被提出并广泛应用后^[34-35],已经成为减少供区损伤的关键技术。(4)精细化切取组织瓣。在确保血供安全的前提下,可借助显微外科及超级显微外科技术^[36],围绕单一穿支血管或特定神经支配区域实施精准切取,仅保留修复所需的组织,以减少供区组织浪费,并降低后续功能代偿负担^[37]。从实际应用来看,这种“按需切取”的思路,比传统较大范围切取方式更符合现代重建外科追求微创与精准的理念。

3.3 恢复外观与感觉功能

如前所述,在复杂性创面修复中,外观并非次要考量内容。外观直接影响患者的心理状态与社会参与,因此本质上是整体功能的重要组成部分^[38],也是美容性修复的主要内容之一。因此,在重建过程中需重视恢复受区在色素沉着、皮肤厚度、毛发分布及皮肤附属结构(如眉毛、胡须、指甲

等)方面的协调性与一致性,必要时可以联合毛发移植或局部再造技术,进一步提高外观的自然度。同时,感觉功能重建也十分重要。对于承重或高摩擦区域(如手掌、足底、足跟)及需要精细触觉的部位(如指尖、唇部),行神经吻合能明显改善术后感觉恢复的质量,降低再次损伤和溃疡复发的风险。近年来,有关感觉皮瓣在足部与乳房重建中的应用研究日益增多,已有证据表明,在功能关键区域优先选用神经化皮瓣,可给患者带来明显的感觉改善效果^[39]。

3.4 深层结构的功能性重建

复杂性创面功能性修复最核心的难点,通常在于深层组织的恢复,仅靠皮片或皮瓣移植覆盖,无法重建承重、动力或稳定性功能。正因如此,以下深层结构的功能性重建,才是复杂性创面功能性修复的主要内容。

3.4.1 血运重建 在伴有严重软组织损伤、骨组织缺损或骨外露的缺血性创面中,通过血管吻合重建可靠血运,是软组织与骨组织修复成功的基础。游离组织瓣移植已经成为保肢治疗、大范围缺损覆盖的标准手术方法,它和血管重建同步操作,能明显降低手术失败的概率和截肢风险^[40]。

3.4.2 神经功能重建 为恢复感觉和运动功能,一般需要进行神经吻合、移植或转位。当周围神经损伤造成功能丧失时,神经转位联合神经-肌肉重建,再配合肌腱或肌肉转移,可以有效重建主动运动能力或保护性感觉,例如断指再植中的神经修复、乳房再造或指尖再造中的感觉神经吻合都属于这类情况。有研究者指出,不管是早期行神经重建,还是晚期行功能修复,都对复杂创伤后的功能恢复有重要作用^[41]。

3.4.3 肌腱或肌肉功能重建 对于肌腱断裂或肌肉功能丧失,可利用肌腱移位、移植或功能性肌肉移植,恢复关键的运动功能。例如,对于大范围肌肉缺损,行游离功能性肌肉移植或肌腱移位术,可有效重建局部肌力和运动功能^[42-43]。这类重建需要与骨或关节修复同步规划,以恢复合理的生物力学序列^[44]。

3.4.4 骨骼功能重建 当骨缺损或骨连续性中断影响力学稳定和承重功能时,需要用非血管化骨移植、带血管骨瓣转移、骨搬运(Illizarov 技术)或 Masquelet 技术等重建骨骼连续性^[45]。其中,游离腓骨皮瓣与髂骨皮瓣可同时修复骨与软组织缺损,在

颌面及下肢复合性缺损修复中得以广泛应用^[46]。Ilizarov 技术通过持续缓慢地牵张成骨,可有效修复节段性骨缺损并维持肢体长度,但需注意对接端不愈合、轴向偏移及针道感染等并发症^[47]。Masquelet 技术则为大段骨缺损,尤其是合并感染的复杂骨缺损,提供了另一种重建思路^[48]。这项技术分 2 步进行:第 1 步,在彻底清理创面后植入带有抗生素的聚甲基丙烯酸甲酯骨水泥占位器,使周围组织在 6~8 周内形成富含血管和成骨生长因子的“诱导膜”;第 2 步,切开诱导膜并取出占位器,于膜腔内植入自体松质骨。诱导膜形成的密闭腔室,能有效防止移植骨被宿主吸收,促进其与宿主骨的融合与后续重塑^[49]。相关系统综述显示,在四肢节段性骨缺损修复中应用 Masquelet 技术后,骨愈合率约为 82%^[50]。骨骼重建的具体方案需根据缺损范围、软组织条件、感染状态及功能负荷要求综合确定,必要时可将上述技术联合使用以发挥协同优势。

3.4.5 关节功能重建 关节周围复杂创面若伴有关节面损伤或稳定性丧失,可能需要进行关节修复、成形、置换或选择性融合,重建方案需在创面愈合不良的风险和远期功能需求之间权衡取舍。例如,在感染未得到有效控制时,关节融合比关节置换更为安全。关节重建通常与软组织覆盖分期进行,即待软组织创面愈合稳定后再手术;在血运良好、感染风险低的情况下,也可与软组织覆盖在同一次手术中联合完成。

4 复杂性创面修复的未来展望

当前,复杂性创面修复领域正围绕“患者功能与生活质量”这一核心目标,经历一场多维度的深刻变革:在理念上,正从追求结构修复转向促进功能再生;在技术上,正从依赖个人经验转向智能精准;在策略上,正从统一化方案升级为个体化定制;在管理上,正从单一科室独立操作走向多学科整合协同。

由“修复”迈向“再生”,应是复杂性创面治疗领域最值得关注的方向。现阶段,功能性修复仍较多依赖自体组织移植,虽能完成创面闭合,但供区损伤、可用组织不足以及生物学匹配欠佳等问题仍然突出。随着再生医学的持续推进,组织工程支架和细胞治疗有望逐步改变这一局面^[25]。负载生长因子或抗菌成分的生物活性支架,不只是单纯的填充材料,还可参与调控创面微环境,促进细胞迁移、增

殖,并推动血管化和神经化再生;间充质干细胞、脂肪来源血管基质细胞等,在血管生成、免疫调节和抗纤维化方面也显示出较好潜力。进一步而言,三维生物打印可能推动创面修复进入“按需构建”阶段,借助影像学数据重建缺损组织形态,再结合患者自体细胞打印具有血管通道与特定组织结构的复合组织,从而在一定程度上突破供体来源与组织匹配的限制^[26]。

与此同时,智能技术与精准外科的结合,正提升复杂性创面修复的可操作性与安全性。高分辨率 CT 血管造影联合三维重建,已成为术前血管评估的重要基础;增强现实导航、荧光血管造影等技术的引入,则进一步提高了皮瓣设计、血管定位和血液灌注判断的准确度。机器人辅助系统在超级显微外科中的应用,也有助于减轻生理震颤对操作精度的影响,使更细小血管及淋巴管吻合成为可能。这不仅提高了手术的精细化水平,也为薄型皮瓣制备和供区损伤最小化提供了技术支撑。术后监测同样在走向智能化,柔性传感器与人工智能算法的结合,可对皮瓣血氧饱和度、温度及组织张力进行连续监测,并对血管危象进行早期预警,从而推动皮瓣管理由院内观察延伸至远程、长期随访。

精准医疗的深入应用,将进一步改变复杂性创面治疗的决策模式。由于功能性修复本身具有明显个体差异,治疗方案的制订不能单纯依赖经验判断,而应结合创面生物学特征进行动态调整。借助蛋白质组学、代谢组学等技术分析创面渗液与组织,可实现创面的分子分型,进而判断创面所处阶段,并据此选择抗炎、促血管生成或抗纤维化等针对性干预措施。围绕生物标志物建立预后预测体系,有助于评估愈合潜力、感染风险及瘢痕增生趋势,为手术时机、修复方式及后续抗瘢痕管理提供依据。患者报告结局指标的引入,则使疗效评价不再局限于创面闭合,而更关注功能、体验与生活质量,进一步结合三维模型和虚拟现实技术,还可帮助患者更直观地理解不同修复方案及其对供区的影响,进而促进医患共同决策。

未来的创面修复中心,更可能整合创面外科、骨科、血管外科、内分泌科、感染科、康复科及营养科等多学科资源,并依托标准化路径和数据共享系统,形成连续、高效的一站式诊疗流程。

复杂性创面的修复,已从只追求创面闭合的传统方式,发展为以功能重建为主要目标的系统性工作。这意味着临床追求的诊疗效果,不只是挽救肢体或是闭合创面,而是帮助患者恢复独立生活能力,重新回归社会,重获生命尊严。要达成这一目标,既需要外科技术不断进步,也需要多学科团队协作体系不断完善,更需要全程关注患者的整体功能与生活质量。只有做到这些,才能使复杂性创面的临床诊疗真正回归“治愈患者”的医学本质。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Ferreira MC, Tuma P, Carvalho VF, et al. Complex wounds[J]. Clinics (Sao Paulo), 2006, 61(6): 571-578. DOI: 10.1590/s1807-59322006000600014.
- [2] Riaz M, Iqbal MZ, Klar AS, et al. Immunomodulatory mechanisms of chronic wound healing: Translational and clinical relevance[J]. MedComm (2020), 2025, 6(11): e70378. DOI:10.1002/mco2.70378.
- [3] Werdin F, Tenenhaus M, Rennekampff HO. Chronic wound care[J]. Lancet, 2008, 372(9653): 1860-1862. DOI: 10.1016/S0140-6736(08)61793-6.
- [4] 胡大海, 李梦洋, 王鹏. 复杂创面修复前沿进展: 从微环境调控到精准医疗实践[J]. 中华烧伤与创面修复杂志, 2025, 41(5): 417-425. DOI:10.3760/cma.j.cn501225-20250407-00171.
- [5] Goldman AH, Tetsworth K. AAOS clinical practice guideline summary: prevention of surgical site infection after major extremity trauma[J]. J Am Acad Orthop Surg, 2023, 31(1): e1-e8. DOI:10.5435/JAAOS-D-22-00792.
- [6] Lew DP, Waldvogel FA. Osteomyelitis[J]. Lancet, 2004, 364(9431): 369-379. DOI:10.1016/S0140-6736(04)16727-5.
- [7] Armstrong DG, Tan TW, Boulton AJM, et al. Diabetic foot ulcers: a review[J]. JAMA, 2023, 330(1): 62-75. DOI: 10.1001/jama.2023.10578.
- [8] 夏成德, 雷豆豆. 癌性复杂创面的临床诊断与治疗策略[J]. 中华烧伤与创面修复杂志, 2025, 41(5): 426-431. DOI:10.3760/cma.j.cn501225-20250406-00166.
- [9] McDermott K, Fang M, Boulton AJM, et al. Etiology, epidemiology, and disparities in the burden of diabetic foot ulcers[J]. Diabetes Care, 2023, 46(1): 209-221. DOI: 10.2337/dci22-0043.
- [10] Huang K, Mi B, Xiong Y, et al. Angiogenesis during diabetic wound repair: from mechanism to therapy opportunity [J/OL]. Burns Trauma, 2025, 13: tkae052[2026-05-07]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39927093/>. DOI:10.1093/burnst/tkae052.
- [11] Shakshouk H, Hines A, Kody S, et al. Inflammatory and vaso-occlusive ulcers: part I - clinical presentation and diagnosis[J]. J Am Acad Dermatol, 2024, 91(6): 1035-1048. DOI:10.1016/j.jaad.2024.01.083.
- [12] Hines A, Kody S, Shakshouk H, et al. Inflammatory and vaso-occlusive ulcers: part II - management[J]. J Am Acad Dermatol, 2024, 91(6): 1051-1066. DOI:10.1016/j.jaad.2023.12.077.
- [13] 杜伟力, 刘子熙, 熊枫, 等. 腹股沟复杂创面临床评估与修复策略[J]. 中华烧伤与创面修复杂志, 2026, 42(8): . DOI: 10.3760/cma.j.cn501225-20260505-00182.

5 结语

- [14] Kohlhauser M, Luze H, Nischwitz SP, et al. Historical evolution of skin grafting—a journey through time[J]. *Medicina (Kaunas)*, 2021, 57(4):348. DOI:10.3390/medicina57040348.
- [15] Moritz WR, Raman S, Pessin S, et al. The history and innovations of blood vessel anastomosis[J]. *Bioengineering (Basel)*, 2022, 9(2):75. DOI:10.3390/bioengineering9020075.
- [16] 陈中伟, 鲍约瑟, 钱允庆. 前臂创伤性完全截肢的再植(一例成功报告)[J]. *中华外科杂志*, 1963, 11(10):767-771.
- [17] Franchi A, Patanè L, Bolletta A. The taylor first free flap and the groin flap: a historical clarification[J]. *Plast Reconstr Surg Glob Open*, 2024, 12(10):e6256. DOI:10.1097/GOX.0000000000006256.
- [18] Taylor GI, Palmer JH. The vascular territories (angiosomes) of the body: experimental study and clinical applications[J]. *Br J Plast Surg*, 1987, 40(2): 113-141. DOI: 10.1016/0007-1226(87)90185-8.
- [19] 徐达传, 钟世镇, 刘牧之, 等. 股前外侧皮瓣的解剖学—一个新的游离皮瓣供区[J]. *临床应用解剖学杂志*, 1984, 2(3): 158-160. DOI:10.13418/j.issn.1001-165x.1984.03.012.
- [20] 王增涛, 刘焕龙, 郝丽文, 等. 拇与手指再造新进展[J]. *中华烧伤与创面修复杂志*, 2025, 41(2): 109-119. DOI: 10.3760/cma.j.cn501225-20240814-00305.
- [21] Gurtner GC, Jones GE, Neligan PC, et al. Intraoperative laser angiography using the SPY system: review of the literature and recommendations for use[J]. *Ann Surg Innov Res*, 2013, 7(1):1. DOI:10.1186/1750-1164-7-1.
- [22] Li R, Zeng C, Yuan S, et al. Free flap transplantation combined with Ilizarov bone transport for the treatment of severe composite tibial and soft tissue defects[J]. *J Int Med Res*, 2021, 49(5):3000605211017618. DOI:10.1177/03000605211017618.
- [23] 李斌, 杨勇, 栗鹏程, 等. 削薄游离皮瓣修复肢体恶性肿瘤切除后创面的临床应用[J]. *中华烧伤与创面修复杂志*, 2026, 42(8):.. DOI: 10.3760/cma.j.cn501225-20260426-00167.
- [24] 杜伟力, 熊枫, 车可心, 等. 多种特殊形式旋股外侧动脉降支穿支皮瓣修复腕部高压电烧伤创面的临床效果[J]. *中华烧伤与创面修复杂志*, 2025, 41(1): 18-27. DOI: 10.3760/cma.j.cn501225-20240930-00365.
- [25] Jin Y, Huang Y, Wang J, et al. From injury to integrity: tissue engineering solutions in combined bone repair and regeneration and muscle repair[J/OL]. *Burns Trauma*, 2025, 13:tkaf052[2026-05-07]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40979903/>. DOI:10.1093/burnst/tkaf052.
- [26] Liu L, Spessot E, Lim KS, et al. Bioprinting vascularized skin analogs: a stepwise approach[J/OL]. *Burns Trauma*, 2025, 13:tkaf018[2026-05-07]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40718701/>. DOI:10.1093/burnst/tkaf018.
- [27] Li Q, Zan T, Li H, et al. Flap prefabrication and stem cell-assisted tissue expansion: how we acquire a monoblock flap for full face resurfacing[J]. *J Craniofac Surg*, 2014, 25(1): 21-25. DOI:10.1097/01.scs.0000436743.75289.6b.
- [28] Zheng Y, Zhang S, Hong JP, et al. Medial plantar artery perforator kiss flap for salvage of extensive palmar skin defect[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2024, 153(6): 1348-1357. DOI: 10.1097/PRS.00000000000010909.
- [29] Denadai R, Raposo-Amaral CE, Marques FF, et al. Posttraumatic eyebrow reconstruction with hair-bearing temporoparietal fascia flap[J]. *Einstein (Sao Paulo)*, 2015, 13(1):106-109. DOI:10.1590/S1679-45082015RC2834.
- [30] Ibrahim A, Shtarbanov P, Astanehi S, et al. Indications for the DIEP flap in extra-mammary complex wounds: from head to extremity reconstruction[J]. *JPRAS Open*, 2025, 44: 217-221. DOI:10.1016/j.jpra.2025.03.008.
- [31] 计鹏, 曹涛, 张智, 等. 股前外侧嵌合穿支皮瓣修复足踝部复杂创面的效果[J]. *中华烧伤与创面修复杂志*, 2023, 39(10): 926-932. DOI:10.3760/cma.j.cn501225-20230627-00232.
- [32] Zheng Y, Hallock GG, Levin LS, et al. Mini-shaped kiss flap design for palmar and digital soft-tissue resurfacing[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2024, 153(2):411-421. DOI:10.1097/PRS.00000000000010518.
- [33] Yamamoto T, Yamamoto N, Fuse Y, et al. Subdermal dissection for elevation of pure skin perforator flaps and superthin flaps: the dermis as a landmark for the most superficial dissection plane[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2021, 147(3): 470-478. DOI:10.1097/PRS.00000000000007689.
- [34] Sui X, Khan UZ, Qing L, et al. The free chimeric medial sural artery perforator flap for individualised and three-dimensional reconstruction of complex soft-tissue defects in extremities[J]. *Int Wound J*, 2023, 20(7):2679-2687. DOI:10.1111/iwj.14142.
- [35] 李海, 肖顺娥, 邓呈亮, 等. 不同类型游离穿支皮瓣组合在四肢复杂创面修复中的临床应用[J]. *中华烧伤与创面修复杂志*, 2023, 39(8): 758-764. DOI: 10.3760/cma.j.cn501225-20220720-00300.
- [36] Altam A, Alsaaidi A, Aljbri W, et al. Role of microsurgical free flap reconstruction in managing complex wound: a retrospective cross-sectional study[J]. *Pan Afr Med J*, 2022, 43: 211. DOI:10.11604/pamj.2022.43.211.36595.
- [37] Hodea FV, Hariga CS, Bordeanu-Diaconescu EM, et al. Assessing donor site morbidity and impact on quality of life in free flap microsurgery: an overview[J]. *Life (Basel)*, 2024, 15(1):36. DOI:10.3390/life15010036.
- [38] Dietrich LG, Zubler C. Physical and psychological burden of bed rest on patients following free flap reconstruction of the lower limb: a systematic review and possible solutions[J]. *J Clin Med*, 2025, 14(3):705. DOI:10.3390/jcm14030705.
- [39] Silverstein ML, Momeni A. Restoring sensation through abdominal flap neurotization in breast reconstruction[J]. *J Clin Med*, 2024, 13(13):3826. DOI:10.3390/jcm13133826.
- [40] Bhat S, Chia B, Barry IP, et al. Free tissue transfer in diabetic foot ulcers: a systematic review and meta-analysis[J]. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2023, 66(5): 670-677. DOI: 10.1016/j.ejvs.2023.07.031.
- [41] Duraku LS, Chaudhry T, George S, et al. Motor nerve transfers for reconstruction of traumatic upper extremity nerve injuries - a scoping review[J]. *JPRAS Open*, 2025, 43:581-594. DOI:10.1016/j.jpra.2024.01.005.
- [42] Lai YH, Lee YC. Functional chimeric double-barrel fibula and reinnervated peroneus brevis osteomyocutaneous flap for one-stage forearm reconstruction[J]. *Plast Reconstr Surg Glob Open*, 2023, 11(8):e5182. DOI:10.1097/GOX.00000000000005182.
- [43] 汪森, 谢婷珺, 李杉珊, 等. 超长下位斜方肌肌皮瓣修复肩背部巨大创面的手术设计和临床应用[J]. *中华烧伤与创面修复杂志*, 2026, 42(8):.. DOI: 10.3760/cma.j.cn501225-20260414-00152.
- [44] Yazar S, Lin CH, Wei FC. One-stage reconstruction of composite bone and soft-tissue defects in traumatic lower extremities[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2004, 114(6):1457-1466. DOI:10.1097/01.prs.0000138811.88807.65.
- [45] Chang LS, Kim DK, Park JA, et al. Reconstruction of a severe open tibiofibular fracture using an ipsilateral vascularized

- fractured fibula with a thoracodorsal artery perforator free flap[J]. Arch Plast Surg, 2023, 50(5): 523-528. DOI: 10.1055/a-2119-3575.
- [46] Hanba C, Lin TC, Wei FC. The fibula osteoseptocutaneous flap: evolution in concepts, techniques, and technologies during mandibular reconstruction - a review[J]. Int J Surg, 2024, 110(11): 7196-7201. DOI: 10.1097/JS9.0000000000001972.
- [47] Guan S, Du H, Wu Y, et al. The Ilizarov technique: a dynamic solution for orthopaedic challenges[J]. Orthop Surg, 2024, 16(9): 2111-2114. DOI: 10.1111/os.14193.
- [48] 王绍钱, 王徽, 贾其余. 膜诱导技术联合游离超薄股前外侧穿支皮瓣修复足踝部创面的临床疗效分析[J]. 解放军医学杂志, 2025, 50(11): 1407-1413. DOI: 10.11855/j.issn.0577-7402.1121.2025.0716.
- [49] Masquelet AC, Fitoussi F, Begue T, et al. Reconstruction of the long bones by the induced membrane and spongy autograft[J]. Ann Chir Plast Esthet, 2000, 45(3): 346-353.
- [50] Fung B, Hoit G, Schemitsch E, et al. The induced membrane technique for the management of long bone defects[J]. Bone Joint J, 2020, 102-B(12): 1723-1734. DOI: 10.1302/0301-620X.102B12.BJJ-2020-1125.R1.