

压力性损伤手术治疗方法的研究进展

陈大亮, 曾 明*

昆明医科大学第二附属医院/烧伤科, 云南 昆明

收稿日期: 2025年4月28日; 录用日期: 2025年5月21日; 发布日期: 2025年5月30日

摘 要

压力性损伤是皮肤及皮下软组织因持续外力作用引发的组织损害, 常见于骨性突起或与医疗装置接触部位, 这类损伤多发于因慢性疾病、术后康复或神经功能缺损导致体位受限的群体, 包括脊髓损伤患者、重症监护室长期卧床者以及失能老年人。如何有效修复压力性损伤创面, 一直是临床医务工作者面临的难题。近年来, 各种治疗术式被开发应用, 压力性损伤创面的治疗取得了很大进展。本文综述了压力性损伤手术治疗的最新研究进展, 包括各种皮瓣和肌瓣技术的应用、负压封闭引流的临床效果、多学科综合治疗模式的优势, 以及新技术、新材料的探索。旨在为临床治疗压力性损伤提供参考, 提升压力性损伤创面修复的成功率, 改善患者生活质量。

关键词

压力性损伤, 手术治疗, 皮瓣移植, 生物材料

Research Advances in Surgical Treatment of Pressure Injuries

Daliang Chen, Ming Zeng*

Department of Burns, The Second Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Kunming Yunnan

Received: Apr. 28th, 2025; accepted: May 21st, 2025; published: May 30th, 2025

Abstract

Pressure injuries, defined as tissue damage caused by sustained mechanical forces to the skin and underlying soft tissues, frequently occur at bony prominences or medical device contact sites. These injuries predominantly affect populations with restricted mobility due to chronic diseases, postoperative recovery, or neurological impairments, including spinal cord injury patients, long-term bedridden individuals in intensive care units, and functionally dependent elderly. Effectively repairing

*通讯作者。

文章引用: 陈大亮, 曾明. 压力性损伤手术治疗方法的研究进展[J]. 临床医学进展, 2025, 15(5): 2579-2587.
DOI: 10.12677/acm.2025.1551654

pressure injury wounds has always been a challenge for clinical medical workers. In recent years, various therapeutic techniques have been developed and applied, and significant progress has been made in the treatment of pressure injury wounds. This review summarizes the latest progress in surgical treatments for pressure injuries, encompassing the application of various skin flap and muscle flap techniques, clinical outcomes of negative pressure wound therapy, advantages of multidisciplinary comprehensive treatment models, as well as emerging technologies and novel biomaterials. The objective is to provide evidence-based references for clinical practice, enhance the success rate of pressure injury wound repair, and ultimately improve patients' quality of life.

Keywords

Pressure Injury, Surgical Treatment, Flap Transfer, Biomaterials

Copyright © 2025 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

根据多项国际权威流行病学研究数据表明, 压力性损伤(pressure injury, PI)已成为医疗机构中普遍存在的临床问题[1]。在人口老龄化趋势加剧及慢性病患者数量持续上升的背景下, 这类病症的患病率, 正呈现出显著的攀升态势。世界卫生组织近年发布的报告特别指出, 老年群体为 PI 的高发人群, 其患病风险与年龄增长呈正相关[2]。国际多中心研究数据显示, PI 的流行病学数据呈现显著的区域差异。欧洲医疗机构内该病症的发生率介于 8.3%~23% 区间。而美国基础医疗机构的 PI 患病率维持在 4.5% 基准线, 长期照护场所的患病风险呈现几何级数增长, 其中重症监护病房患者的 PI 发病率波动在 12%~32.7% 区间, 伴有脊髓损伤的患者群体, 由于感觉功能障碍及活动受限等病理因素, PI 罹患率更是攀升至 25%~85% 的惊人比例[3] [4]。全球住院患者数据显示超过半数损伤为浅表性 I 期(43.5%)和 II 期(28.0%), 骶尾部、踝关节及髌部为最易受累部位[5]。我国 12 所综合医院的研究表明成人患者中有 13.47%~14.58% 处于 II 至 IV 期。在美国, PI 的年度治疗费用可达 10~85 亿美元, 英国相关医疗支出占医保总额 0.4%~0.8%, 治疗费用高达数亿英镑。据估算, 全球每年因 PI 导致的死亡病例达 6000 万例[6]。这一健康问题已成为全球公共卫生领域的重大挑战。当前临床防治体系仍面临巨大压力, 如何优化预防策略、降低医疗开支成为外科领域亟待突破的难题。PI 创面愈合周期漫长, 且存在继发感染等风险, 治疗起来相对困难, 同时又有较高的复发风险, 给社会及患者都带来了沉重负担。全面了解 PI 的发病机制及影响因素, 对实施有效的预防和治疗措施至关重要。

2. PI 的定义及分期

PI 在临床上也称为压疮或褥疮, 是指机体局部组织因长时间受到外部压力、摩擦力或剪切力影响, 导致血液循环障碍及缺血性损伤, 从而引发皮肤及其下方组织的损害。这类损伤通常发生在长期卧床、体位不变的患者身上, 尤其是那些昏迷、截瘫或肢体运动受限的个体。PI 相关的报道最早可追溯到 19 世纪, 19 世纪法国医学家 Jean-Martin Charcot 对压力性损伤进行了研究。他注意到一些患者在臀部和骶骨部位出现的坏死组织, 这些患者最终都相继死亡。他将这种病变称为“decubitus ominous”, 意指患者在出现这种病变后死亡是不可避免的[7]。这也反映了压力性损伤对患者的健康有着巨大危害, 应引起医务人员足够的重视。1955 年 Guttman 提出了首个 PI 的分期系统[8]。当前国际通行的 NPUAP 分级体系历经了多次重要修订。1989 年首次定义骨突部位受压导致的缺血性损伤并建立了临床分级, 2007 年强调了压

力、剪切力、摩擦力的复合作用, 2009 年与 EPUAP 联合发布指南, 强调深部组织在压力 - 剪切力协同作用下的损伤特性; 2016 年正式启用“压力性损伤”术语, 涵盖了医疗器械相关的损伤, 并将 PI 分期系统优化为 1~4 期, 以及深部组织损伤期和不明分期六类, 其中 III 期和 IV 期损伤为较为严重的类型[9]。

引发 PI 发生的因素很多, 局部持续的压力可导致微血管的压迫, 使供血不足, 进而影响细胞的生存环境。剪切力和摩擦力也会加剧皮肤的损伤, 特别是在患者体位改变时, 皮肤与床垫间的摩擦会促使表层皮肤受到损害。除了外部因素, 个体的生理状况如营养不良、糖尿病、年龄等也会影响皮肤的预防能力与愈合能力, 增加压疮的风险[10]。

明确 PI 的精准定义, 做到正确的临床分级, 对 PI 的早期识别及防治有重要意义。有助于临床医务人员制定合理的防治方案, 还能帮助患者及其家属进一步理解 PI 的成因及危害, 有助于临床治疗措施的顺利开展。

PI 根据其进展程度, 可以分为六个临床分期。1 期 PI 皮肤仍完整, 局部有按压不变色的红斑。2 期 PI 损伤程度可达真皮层, 脂肪和深部组织未受损害, 创基一般呈粉红色, 也可能伴完整或破损的水疱。3 期 PI 损伤程度较深, 损及皮肤全层, 可能伴窦道形成。这一阶段压疮的伤口通常是深的创面, 愈合较为复杂。第 4 期 PI 则是最为严重, 通常涉及到肌肉、骨骼甚至关节, 感染风险高, 愈合过程需要积极的外科干预和综合性的治疗方法。不可分期 PI 一般皮肤全层都有受损, 当腐肉和(或)焦痂覆盖创面, 难以确定具体分期, 需等去除焦痂后明确。深部组织损伤期 PI, 一般皮肤完整或缺损, 可伴栗色或紫色斑块, 指压不变白, 创基可呈黑色, 可伴充血水疱。明确 PI 的分类和分期有助于临床人员评估损伤的严重程度, 指导后续的治疗方案。

3. PI 的病理生理机制

PI 的病理生理机制可概括为压迫、剪切和摩擦等多种因素所共同作用的结果。长期卧床、缺乏运动或认知障碍患者因体位固定, 局部组织受到长期压迫, 导致血流供应不足, 引发细胞损伤和组织缺氧。

PI 的形成过程涉及生物力学、分子生物学及病理生理学等多学科领域, 目前学术界主要存在四大理论学说。缺血性损伤学说基于“由表及里”的病理发展模型, 认为外部持续压力通过引起微血管闭塞导致组织灌注不足。当局部压强超过毛细血管闭合压时, 微循环系统则会发生机械性阻塞, 引发组织缺血缺氧。这种缺血损伤还具有时空异质性特征, 初期表现为可逆性内皮细胞功能障碍, 随着压迫时间延长(超过 2~4 小时)将进展为不可逆性组织坏死。但该学说主要适用于解释表皮及浅层组织的损伤机制[11]。代谢障碍学说揭示了受压部位存在多重代谢紊乱, 常有物质交换障碍, 微循环受阻导致氧分压下降、二氧化碳蓄积, 引发细胞线粒体 ATP 合成障碍, 以及信号传导异常和能量代谢失衡[12]。这种代谢级联反应可解释压力性损伤早期的分子病理特征。细胞机械变形学说认为, 当细胞形变率超过 15% 时, 整合素 - 细胞骨架连接系统会发生断裂, 引发膜通透性改变和钙离子内流[13]。这种机械应力通过激活 Piezo1 离子通道, 触发 Caspase-3 介导的凋亡通路, 同时促进炎症小体 NLRP3 活化, 释放 IL-1 β 、TNF- α 等促炎因子, 形成“机械应力 - 细胞损伤 - 炎症放大”的正反馈循环。该机制可合理解释深部组织损伤的隐匿性发展过程[14][15]。缺血再灌注损伤学说认为, 机体组织长期受压, 解除压迫后, 组织可因氧自由基的爆发、线粒体膜电位出现异常、炎症反应被放大, 导致组织的进一步损伤[16]。这种再灌注后出现的二次损伤机制可能是 4 期压力性损伤难以愈合的重要病理基础。

目前有多项国外研究显示[17], 在未直接受到外力压迫的组织也会出现压力性损伤, 且多数创面形态学特征呈现显著的几何相似性。这种特殊临床表现可能与人体的解剖结构“血管小体”密切相关——该三维组织块是由特定动静脉供血的皮肤、皮下组织、筋膜和肌肉构成, 全身分布可达 40 余处。在机械压力作用下, 如受压区域血管小体的供血动脉发生阻塞, 则会导致其支配的远端未受压区域形成“缺血走

廊”。当压力解除时, 受损血管会发生再灌注现象, 此时组织内氧自由基生成量较基础水平激增 5~8 倍。触发级联损伤反应, 线粒体功能受损, 钙超载激活 caspase 凋亡通路, 促炎因子释放形成“炎症风暴”。这种“由内向外”的损伤模式突破了传统压力分布理论, 解释了为何在非受压区域也能出现类似于压力性损伤的创面[18]。Sundin 团队[19], 通过逆向验证实验证实了氧自由基在组织损伤进程中的核心作用。

4. PI 治疗面临的挑战

手术治疗是压力性损伤终末期创面修复的核心方法, 在临床应用中常面临着多重技术挑战与疗效瓶颈。对压力性损伤行创面修复时要精准把握手术适应症, PI 患者多合并有严重基础疾病(如脊髓损伤、糖尿病神经病变等), 部分 3、4 期 PI 患者会因全身状态不稳定而丧失最佳手术时机。其次, PI 创面复杂的解剖结构也对创面的顺利修复构成影响, 如骶尾部及坐骨结节等常见损伤部位, 常毗邻重要神经血管束, 术中既要彻底清除坏死组织, 又要避免坐骨神经及臀上动脉等关键神经血管的损伤, 操作的容错率较低。创面修复后的并发症防控也是核心难点。国外研究表明, 高达 35% 的 PI 创面修复术后会出现并发症[20]。此外, 多重耐药菌生物膜的形成也会显著影响手术疗效, 常规的抗生素冲洗治疗很难穿透生物膜屏障, 往往导致术后亚临床感染的反复发作[21]。这使得 PI 创面修复的难度进一步增加。术后局部压力的再分布管理也直接影响手术的成败, 如创面局部压力峰值达到 32 mmHg (超毛细血管闭合压阈值), 仍有可能导致新生组织微循环障碍, 影响 PI 修复的效果。这就需要手术团队务必建立多学科协作体系, 实现生物力学负荷的精准调控。尽可能降低术后创面压力, 促进创面顺利愈合[22]。

5. PI 的治疗措施

5.1. 创面清创

PI 创面的清创和护理是修复创面的关键环节。创面处理的核心包括表层污染物的清除与深层失活组织的去除。在临床诊疗中, 实现创面清创可有多种方式, 根据创面特点及患者个体差异, 可选择不同作用机理的处理方法。其中手术清创是临床最常用的清创技术, 该操作需借助专业外科器械对失活组织进行彻底清除, 直至显露出健康组织层面。主要优势是清创效率高、坏死组织去除彻底, 但也存在创面损伤较大的局限性。对于深及肌层或骨质的深度压疮, 手术清创易造成组织缺损过多[23]。对于存在基础代谢功能衰退的老年群体、伴有复合型慢性疾病的危重症个体, 常难以承受此类操作。此外, 还可能诱发麻醉相关过敏反应、意外性组织损伤、术中出血量增加及术后疼痛加剧等风险。物理性清创是临床常规操作技术, 主要使用外科器械切削、流体力学冲洗及新型敷料等。通过器械选择性分离失活组织, 同时借助水流清除创腔代谢产物, 达到创腔清洁的目的[24]。

酶清创, 即运用多种蛋白水解酶使伤口中的坏死组织液化, 并随着敷料将其去除。生物催化清创是一种精准医疗技术, 主要采用微生物发酵产物(如枯草杆菌蛋白酶)、植物活性成分(如番木瓜酶、凤梨蛋白酶)及海洋生物提取物(如南极磷虾酶)等复合酶制剂。这些酶的主要机制是基于对坏死组织中异常交联蛋白的靶向水解作用, 通过酶-底物特异性结合来实现选择性的组织分解。在烧伤焦痂、PI 创面处理中, 该技术可精确剥离失活组织, 不损伤正常组织结构, 可显著降低继发感染风险[25]。

自溶清创技术, 由湿性愈合理念发展而来, 是一种新型创面处理技术。通过亲水性敷料的封闭保湿特性, 使组织软化、水解清除坏死组织[26]。自 21 世纪初期临床引入水凝胶敷料以来, 该技术因具备有生物相容性良好、创伤小等特性, 在 2~3 期 PI 的治疗中展现出显著优势。此方法操作简便, 经专业培训的护理人员即可在床旁实施, 适用于医疗机构、社区及居家照护等多种场景。其使用范围也较广, 对于黑色痂壳覆盖创面、黄色腐肉型伤口、伴有硬质焦痂或纤维蛋白沉积的慢性创面均具有良好效果。该技术通过酶促反应动力学实现蛋白质的构象改变, 无机械应力作用下即可完成组织液化过程, 能够有效减

少传统清创方式引发的疼痛激活, 因此广泛应用于老年衰弱患者群体及合并多种基础疾病的高危患者群体[27]。生物清创法即应用无菌的蛆虫幼虫吃掉创面的坏死组织, 使伤口变得干净, 同时不损害活组织[28]。蛆虫还能通过分泌抗菌肽类复合物(如丝氨酸蛋白酶)等, 减轻创面感染、加速创面愈合[29]。临床应用, 应结合创面特点及患者机体状态, 选用最合适的清创方法。

5.2. 植皮手术

植皮术是创面修复的常规手段, 其技术门槛较低且能有效修复浅层组织的缺损。对于机体状态较差, 创面复杂, 无法承受较大创伤手术的 PI 患者群体, 可考虑应用植皮术修复创面[30]。临床应用中应确保植皮区具备充分的血液灌注, 保证移植皮片与创面基底的稳定贴合。中厚皮片移植是临床应用中最常选择的方案, 因为中后皮片兼具表皮层与部分真皮层结构。但其耐磨性与抗压能力不足也导致了应用的局限性, 特别是对于长期卧床的脊髓损伤患者, 患者因体位改变困难, 局部组织压力过高, 易导致植皮失败。对于此类患者, 可考虑应用全厚皮片移植修复, 全厚皮片具备完整的真皮结构, 耐压、耐磨能力更好, 可提升创面的修复质量。但全厚皮片对创面基底条件要求相对严苛, 需同时满足创面基底无感染征象及微循环良好的双重标准[31]。术后配合负压封闭引流技术(VSD), 通过定向压力梯度促进创面渗液排出, 增强局部微循环, 还可形成物理屏障, 能有效降低感染风险, 提高移植皮片的存活率。该技术通过持续负压吸引, 既能减少皮下血肿的形成, 又可增强皮片与创基贴附的稳定性, 同时还可减少频繁换药所致的机械损伤[32]。相较于皮瓣移植的组织复合修复特性, 各类皮片移植均存在抗剪切力弱、环境适应力差等缺陷, 因此在患者全身状态允许时, 应优先选择血供更稳定且功能重建效果更优的皮瓣移植修复创面。

5.3. 拉拢缝合

对于创面基底相对干净, 深部组织坏死面积不大的 PI 创面, 在彻底清创后, 如创周组织相对松弛, 可尝试行创口直接拉拢缝合。手术操作前, 应全面评估 PI 创面的基本情况, 包括创面的具体大小, 组织损伤程度, 创周组织的松弛程度等。如创面皮肤缺损范围较小, 且周围组织移动度良好, 应用此术式也可实现较好的初期愈合。对于较深的创面, 清创后直接拉拢缝合, 创面的张力一般较大, 可直接导致缝线切割组织、局部血供障碍, 最终引发切口裂开或延迟愈合。多数 PI 创面损伤深度远超肉眼所见范围, 如果清创不彻底, 会误以为创面损伤范围较小而使用直接拉拢缝合, 很难取得理想疗效。因此, 临床中不应贸然应用此术式。

5.4. 皮瓣移植

对于 3, 4 期 PI 的创面修复, 临床中多用皮瓣移植的方法。当前临床常用于 PI 创面修复的皮瓣主要有五类: 普通皮瓣(依赖周围血管供血)、筋膜皮瓣(携带深层筋膜血管)、肌皮瓣(含肌肉组织供血)、穿支皮瓣(精准定位微型血管)及带神经血管皮瓣(保留神经伴行血管)[33]。手术方式的选择需基于创面特征与患者的需求进行综合评估。任意皮瓣是复合组织移植体, 由表皮层与真皮及皮下脂肪复合结构构成, 移植后色泽与受区接近, 质地较好, 且手术操作简便、安全可靠, 但由于缺乏知名血管供血, 皮瓣切取时的长宽比例及能覆盖的面积往往有限, 多用于中小型创面的修复[34]。筋膜皮瓣在组织结构完整性方面较传统任意皮瓣具有明显优势, 它包含了深筋膜层次, 有更好的血供来源, 从而支持更大的延展度。皮瓣的安全长宽比可突破传统 2:1 的限制, 甚至可达 3:1 [35]。尤其适用于 3, 4 期 PI 创面的修复。应用筋膜皮瓣可以保留深部肌肉组织, 减少供区损伤, 可为 PI 复发的修复储备足够的组织。筋膜皮瓣的耐磨、抗压性能相对较好, 可降低术后复发风险[36]。对于深层组织缺损的创面, 筋膜皮瓣的填充效果相对有限, 修复合并深部感染或无效腔形成的复杂创面时效果也欠佳。对于存在骨外露、深部感染或大面积组织缺

损的 PI 创面,可优先考虑应用肌皮瓣修复,肌皮瓣组织量充足,肌肉组织丰富的血供可有效改善局部微环境,且具有“生物性清除”的特性,可以通过填充深部腔隙消除无效腔。在临床修复深部组织损伤的 PI 时可作为首选[37]。但该皮瓣也存在着明显的局限性,功能性肌肉(如臀大肌)的切取可能会影响髋关节的稳定性,术后肌肉可能出现萎缩,可导致局部缓冲功能缺失。供区组织完整性破坏较大,PI 复发时,可能面临残余组织量难以修复的困境。随着穿支皮瓣显微外科技术的兴起,PI 的修复取得新的进展,该皮瓣通过精准定位穿支血管穿出点,可最大程度保留供区组织,在临床 PI 创面的修复中得到了广泛应用[38]。该皮瓣多以臀上/下动脉穿支为主要血供来源,皮瓣切取时保留了臀部肌肉的完整性,供区功能得以保全,髋关节正常生理功能受损较小,减少了供区并发症的发生。穿支皮瓣的血管蒂可达 5~7 cm,临床应用时可做 180°旋转,自由度高,灵活性强,可满足复杂形态创面的修复。穿支皮瓣组织相对较薄,修复术后,受区外形更接近生理状态[39]。穿支皮瓣也存在一定局限性,穿支血管存在一定概率的解剖变异,术前常需要常规应用多普勒超声或血管造影定位,缺乏相应医疗设备的偏远地区医疗机构可能难以开展。皮神经营养血管皮瓣在 PI 创面的修复中也有广泛应用,该皮瓣保留了臀上皮神经,可以实现受区的感觉重建,同时保留了臀大肌,髋关节的活动不受影响。

5.5. 各类皮瓣的应用

PI 创面的修复已形成以精准血供重建为核心的多技术联合治疗体系,核心在于根据 PI 损伤分期、解剖位置及组织缺损特点选择个体化修复方案[40]。修复 PI 创面时,临床术式的确定需综合考量解剖区域特性与组织缺损的程度。骶尾部 PI 创面修复可选用臀上动脉穿支皮瓣,其血管蒂的长度优势(4~6 cm)便于局部转移覆盖,该皮瓣血供由多级穿支血管构成,能够有效保障移植皮瓣的血液灌注,术后存活率较为理想。同时,由于保留了主要血管的主干结构,供区功能得以最大限度维持,长期随访显示创面修复效果稳定可靠,适用于骶尾部浅层创面修复,尤其是创面面积较小且需要良好血供保障的情况,对于大面积深层组织缺损或穿支血管条件不佳的患者,不建议单独使用。对于深层组织缺损则建议采用血供稳定的臀大肌肌皮瓣[41]。该皮瓣能够提供足够的组织量用于深层修复,适用于深层组织缺损较大的创面。其缺点是供区损伤相对较大,术后可能出现功能障碍或外观改变。对于供区功能或外观要求较高的患者,需谨慎使用。足跟部 PI 修复中,逆行腓肠神经营养血管皮瓣效果良好,足底内侧动脉穿支皮瓣也同样适用,这两类皮瓣血管解剖恒定,皮瓣设计灵活,能够较好地覆盖足跟部创面。适用于足跟部创面,尤其是对皮瓣质地和血供要求较高的情况。缺点是皮瓣的血供相对单一,一旦血管出现问题,可能导致皮瓣坏死。对于血管条件不佳或存在血管病变的患者,需谨慎使用[42]。针对坐骨结节区域的特殊解剖环境,股二头肌 V-Y 推进皮瓣通过肌筋膜滑动机制可有效填补缺损腔隙。此皮瓣的主要优点是操作相对简单,能够有效利用局部组织进行修复,适用于坐骨结节区域较小的创面修复。缺点是适用范围有限,对于较大的创面或深层组织缺损可能难以完全覆盖。大面积或深层组织缺损的创面,不建议单独使用[43]。各术式选择均可在确保创面闭合质量的同时,最大程度减少供区损伤。邓如非等的临床研究表明穿支皮瓣联合肌瓣移植修复骶尾部及坐骨结节 PI 创面时,可显著提升修复效果。臀区动脉穿支皮瓣因其特有的血管分布模式,在临床应用中展现出显著优势。该皮瓣血供由多级穿支血管构成,能够有效保障移植皮瓣的血液灌注,术后存活率较为理想。同时,由于保留了主要血管的主干结构,供区功能得以最大限度维持,长期随访显示创面修复效果稳定可靠[44]。在骶尾部压力性损伤的修复中,臀上动脉穿支皮瓣的临床应用优势显著,根据不同的临床需求可设计成多种形式的皮瓣。如螺旋桨穿支皮瓣,该皮瓣可 180°旋转,临床应用较为灵活,不足之处是可切取的面积往往受限,难以应对损伤面积较大的 PI 创面。设计成 V-Y 推进皮瓣时,可在保持血管蒂完整性的前提下,实现创面覆盖面积的提升,可用于损伤深达骨膜层的全层缺损修复[45]。单纯地使用皮瓣修复 PI 创面往往效果有限,国内研究人员将皮瓣移植与多种技术联合应

用, 取得了显著效果。刘江涛等人应用皮瓣联合悬浮床的应用治疗骶尾部压疮, 通过压力再分布使术后皮瓣成活率显著提升[46]。黄晓栋等使用持续双负压引流模式, 使皮瓣与基底更好地贴合, 创面下渗液引流更充分, 皮瓣并发症明显减少[47]。秦国强等应用清创、负压吸引、湿润烧伤膏等联合应用于伴复杂窦道的 PI 创面, 取得了良好效果[48]。陈华等应用带蒂肌皮瓣移植、骨水泥填充创面联合负压封闭引流技术, 在坐骨结节 4 期 PI 治疗中取得可靠疗效。龙照忠研究团队在临床实践中创新性地将臀区穿支皮瓣移植技术与富血小板血浆(PRP)治疗相结合, 并整合负压引流装置(VSD)进行分阶段治疗, 综合各措施优势, 在骶尾部 PI 创面的治疗中取得满意疗效[49]。综上, 临床实践中已开发出多种新型手术治疗方法, 不同术式各有优缺点, PI 创面修复的核心仍是要保证皮瓣的血供, 增强创面基底的血管再生, 加强术后管理, 减少术后并发症发生概率, 提升 PI 临床治愈率。

6. 总结

近年来, 压力性损伤的手术治疗方法不断发展, 多种技术、材料的联合应用取得了良好的治疗效果。例如股薄肌肌瓣移植、臀大肌肌皮瓣转移以及臀区穿支皮瓣等术式, 联合应用负压封闭引流技术(VSD)与富血小板血浆(PRP)等辅助治疗手段, 在临床应用中取得良好治疗效果。此外, 个性化的手术方案也是治疗成功的关键, 例如可根据患者营养状态、局部血供及创面深度选择适宜的皮瓣类型, 通过改良供区组织保护策略, 在确保皮瓣存活效果的基础上, 同步提升患者术后生活品质。未来的研究应加强对新型生物材料的探索, 如智能化仿生材料和自我修复材料的应用。基因编辑疗法与干细胞再生技术等新型治疗策略, 也为组织修复与功能重建提供了创新性的解决方案。基因编辑技术如 CRISPR-Cas9 可用于编辑患者自身细胞(如皮肤成纤维细胞或诱导多能干细胞), 增强细胞的再生能力和抗炎能力, 促进血管生成因子(如 VEGF)的表达, 加速创面愈合。干细胞再生技术则可通过移植患者自身的脂肪干细胞(ASCs)或骨髓间充质干细胞(BM-MNCs), 利用其自我更新和多向分化能力, 促进受损组织的再生。综上, 压力性损伤的手术治疗方法正朝着精准化、个性化、多技术联合的方向发展, 未来通过技术创新与多学科协作, 有望进一步突破临床治疗瓶颈, 在提升疗效的同时, 显著降低并发症风险, 为患者带来更适宜的治疗选择。

参考文献

- [1] Berlowitz, D., Konchinski, B., Chen, L. and DeCastro, S.S. (2024) The 2023 Update on Pressure Injuries: A Review of the Literature. *Advances in Skin & Wound Care*, **37**, 571-578. <https://doi.org/10.1097/asw.0000000000000218>
- [2] Sugathapala, R.D.U.P., Latimer, S., Balasuriya, A., Chaboyer, W., Thalib, L. and Gillespie, B.M. (2023) Prevalence and Incidence of Pressure Injuries among Older People Living in Nursing Homes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Nursing Studies*, **148**, Article 104605. <https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2023.104605>
- [3] Vélez-Díaz-Pallarés, M., Lozano-Montoya, I., Abrahá, I., Cherubini, A., Soiza, R.L., O'Mahony, D., *et al.* (2015) Non-pharmacologic Interventions to Heal Pressure Ulcers in Older Patients: An Overview of Systematic Reviews (The SEN-ATOR-ONTOP Series). *Journal of the American Medical Directors Association*, **16**, 448-469. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2015.01.083>
- [4] Cox, J., Edsberg, L.E., Koloms, K. and VanGilder, C.A. (2022) Pressure Injuries in Critical Care Patients in US Hospitals. *Journal of Wound, Ostomy & Continence Nursing*, **49**, 21-28. <https://doi.org/10.1097/won.0000000000000834>
- [5] Li, Z., Lin, F., Thalib, L. and Chaboyer, W. (2020) Global Prevalence and Incidence of Pressure Injuries in Hospitalised Adult Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Nursing Studies*, **105**, Article 103546. <https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2020.103546>
- [6] Padula, W.V. and Delarmente, B.A. (2019) The National Cost of Hospital-Acquired Pressure Injuries in the United States. *International Wound Journal*, **16**, 634-640. <https://doi.org/10.1111/iwj.13071>
- [7] Levine, J.M. (2005) Historical Perspective on Pressure Ulcers: The Decubitus Ominosus of Jean-Martin Charcot. *Journal of the American Geriatrics Society*, **53**, 1248-1251. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2005.53358.x>
- [8] Levine, J.M. (2019) Historical Perspective on Pressure Injury Classification: The Legacy of J. Darrell Shea. *Advances in Skin & Wound Care*, **32**, 103-106. <https://doi.org/10.1097/01.asw.0000553113.63128.a5>
- [9] Edsberg, L.E., Black, J.M., Goldberg, M., McNichol, L., Moore, L. and Sieggreen, M. (2016) Revised National Pressure

- Ulcer Advisory Panel Pressure Injury Staging System. Revised Pressure Injury Staging System. *Journal of Wound, Ostomy & Continence Nursing*, **43**, 585-597. <https://doi.org/10.1097/won.0000000000000281>
- [10] Liu, S., Rawson, H. and Team, V. (2023) The Impact of Pressure Injury on Quality of Life in Adults: Protocol for a Systematic Review. *Journal of Wound Management*, **24**, 4-9.
 - [11] Yap, T.L., Alderden, J., Lewis, M., Taylor, K. and Fife, C.E. (2021) Angiosomal Vascular Occlusions, Deep-Tissue Pressure Injuries, and Competing Theories: A Case Report. *Advances in Skin & Wound Care*, **34**, 157-164. <https://doi.org/10.1097/01.asw.0000732804.13066.30>
 - [12] Martínez-Torija, M., Esteban, P.F., Santos-De-La-Mata, A., Castillo-Hermoso, M., Molina-Holgado, E. and Moreno-Luna, R. (2025) Multifaceted Pathophysiology and Secondary Complications of Chronic Spinal Cord Injury: Focus on Pressure Injury. *Journal of Clinical Medicine*, **14**, Article 1556. <https://doi.org/10.3390/jcm14051556>
 - [13] Peng, F., Sun, M., Jing, X., Chen, F., Cao, T., Li, Z., et al. (2025) Piezo1 Promotes Intervertebral Disc Degeneration through the Ca^{2+} /F-Actin/Yap Signaling Axis. *Molecular Medicine*, **31**, Article No. 90. <https://doi.org/10.1186/s10020-025-01147-z>
 - [14] Xiao, B. (2024) Mechanisms of Mechanotransduction and Physiological Roles of PIEZO Channels. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, **25**, 886-903. <https://doi.org/10.1038/s41580-024-00773-5>
 - [15] Ran, L., Ye, T., Erbs, E., Ehl, S., Spassky, N., Sumara, I., Zhang, Z. and Ricci, R. (2023) KCNN4 Links PIEZO-Dependent Mechanotransduction to NLRP3 Inflammasome Activation. *Science Immunology*, **8**, eadf4699. <https://doi.org/10.1126/sciimmunol.adf4699>
 - [16] Zhang, M., Liu, Q., Meng, H., Duan, H., Liu, X., Wu, J., et al. (2024) Ischemia-Reperfusion Injury: Molecular Mechanisms and Therapeutic Targets. *Signal Transduction and Targeted Therapy*, **9**, Article No. 12. <https://doi.org/10.1038/s41392-023-01688-x>
 - [17] Fife, C.E. and Gkotsoulas, E. (2019) On the Origin of Intraoperative Pressure Injury: An Angiosomal Theory of Pressure Injury Formation. *Advances in Wound Care*, **8**, 580-584. <https://doi.org/10.1089/wound.2018.0905>
 - [18] Zhang, Q.Z., Fu, T.T., Dai, J.N., Zhou, Z.N. and Shen, C.Z. (2021) Sodium Danshensu Promotes the Healing of Stage 2 Pressure Injury Wounds in Ischemia/Reperfusion Injury Rat Models: Possible Regulation of Apoptosis and Inflammatory Response. *Journal of Traditional Chinese Medicine*, **41**, 571-580.
 - [19] Sundin, B.M., Hussein, M.A., Glasofer, S., El-Falaky, M.H., Abdel-Aleem, S.M., Sachse, R.E., et al. (2000) The Role of Allopurinol and Deferoxamine in Preventing Pressure Ulcers in Pigs. *Plastic and Reconstructive Surgery*, **105**, 1408-1421. <https://doi.org/10.1097/00006534-200004000-00021>
 - [20] Kwok, A.C., Simpson, A.M., Willcockson, J., Donato, D.P., Goodwin, I.A. and Agarwal, J.P. (2018) Complications and Their Associations Following the Surgical Repair of Pressure Ulcers. *The American Journal of Surgery*, **216**, 1177-1181. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2018.01.012>
 - [21] Kabir, F., Yung, D.B.Y., da Cruz Nizer, W.S., Allison, K.N., Zigic, S., Russell, E., et al. (2025) Pressure Injuries and Biofilms: Microbiome, Model Systems and Therapies. *Wound Repair and Regeneration*, **33**, e70005. <https://doi.org/10.1111/wrr.70005>
 - [22] Visconti, A.J., Sola, O.I. and Raghavan, P.V. (2023) Pressure Injuries: Prevention, Evaluation, and Management. *American Family Physician*, **108**, 166-174.
 - [23] Madhok, B.M., Vowden, K. and Vowden, P. (2013) New Techniques for Wound Debridement. *International Wound Journal*, **10**, 247-251. <https://doi.org/10.1111/iwj.12045>
 - [24] Bhattacharya, S. and Mishra, R.K. (2015) Pressure Ulcers: Current Understanding and Newer Modalities of Treatment. *Indian Journal of Plastic Surgery*, **48**, 4-16. <https://doi.org/10.4103/0970-0358.155260>
 - [25] Xu, Y., Hu, K., Liu, C., Du, P., Zhou, F., Lu, Y., et al. (2023) Eschar Dissolution and the Immunoregulator Effect of Keratinase on Burn Wounds. *Scientific Reports*, **13**, Article No. 13238. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-39765-4>
 - [26] Nasra, S., Patel, M., Shukla, H., Bhatt, M. and Kumar, A. (2023) Functional Hydrogel-Based Wound Dressings: A Review on Biocompatibility and Therapeutic Efficacy. *Life Sciences*, **334**, Article 122232. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2023.122232>
 - [27] Gokaltun, A.A., Fan, L., Mazzaferro, L., Byrne, D., Yarmush, M.L., Dai, T., et al. (2023) Supramolecular Hybrid Hydrogels as Rapidly On-Demand Dissoluble, Self-Healing, and Biocompatible Burn Dressings. *Bioactive Materials*, **25**, 415-429. <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2022.09.003>
 - [28] Song, M., Zong, J., Zou, L., Fu, Z., Liu, J. and Wang, S. (2022) Biological Debridement Combined with Stem Cell Therapy Will Be a Convenient and Efficient Method for Treating Chronic Wounds in the Future. *Medical Hypotheses*, **166**, Article 110905. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2022.110905>
 - [29] Yoon, K.A., Kim, W., Cho, H., Yoon, H., Ahn, N., Lee, B.-H., et al. (2022) Characterization of Anti-Microbial Peptides and Proteins from Maggots of Calliphoridae and Sarcophagidae Fly Species (Diptera). *Comparative Biochemistry and*

- Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, **259**, Article 109390. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2022.109390>
- [30] Jiang, Z., Yu, X., Liao, X., Liu, M., Fu, Z., Min, D., *et al.* (2021) Negative-Pressure Wound Therapy in Skin Grafts: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Burns*, **47**, 747-755. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2021.02.012>
 - [31] Alsaif, A., Karam, M., Hayre, A., Abul, A., Aldubaikhi, A. and Kahlar, N. (2023) Full Thickness Skin Graft versus Split Thickness Skin Graft in Paediatric Patients with Hand Burns: Systematic Review and Meta-Analysis. *Burns*, **49**, 1017-1027. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2022.09.010>
 - [32] Lee, S.C., Bayan, L., Sato, A., Vankayalapati, D.K., Antoniou, V., Shami, M.Z., *et al.* (2025) Benefits of Negative Pressure Wound Therapy in Skin Grafts: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomised Controlled Trials. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*, **102**, 204-217. <https://doi.org/10.1016/j.jbps.2025.01.036>
 - [33] Awad, S.S., Stern, J.D., Milne, C.T., Dowling, S.G., Sotomayor, R., Ayello, E.A., *et al.* (2023) Surgical Reconstruction of Stage 3 and 4 Pressure Injuries: A Literature Review and Proposed Algorithm from an Interprofessional Working Group. *Advances in Skin & Wound Care*, **36**, 249-258. <https://doi.org/10.1097/01.asw.0000922708.95424.88>
 - [34] Chen, Y., Cheng, R., Lu, W., Fan, Y., Yu, Y., Huang, L., *et al.* (2024) Metformin Promotes the Survival of Random Skin Flaps via the Activation of Nrf2/HO-1 Signaling. *Chemico-Biological Interactions*, **401**, Article 111188. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2024.111188>
 - [35] Fede, C., Clair, C., Pirri, C., Petrelli, L., Zhao, X., Sun, Y., *et al.* (2025) The Human Superficial Fascia: A Narrative Review. *International Journal of Molecular Sciences*, **26**, Article 1289. <https://doi.org/10.3390/ijms26031289>
 - [36] Kumar, U. and Jain, P. (2018) Infragluteal Fasciocutaneous Flap for Management of Recurrent Ischial Pressure Sore. *Indian Journal of Plastic Surgery*, **51**, 70-76. https://doi.org/10.4103/ijps.ijps_15_18
 - [37] Geng, Y., Liu, J., Yin, X., Zhao, R. and Zhu, L. (2024) Reconstruction for Extensive Sacrococcygeal Defects in Complex Tumor Patients with Personalized Customized Gluteus Maximus Myocutaneous Flaps. *Journal of Tissue Viability*, **33**, 883-888. <https://doi.org/10.1016/j.jtv.2024.08.008>
 - [38] Kim, J., Han, M.W., Park, J.K., Lee, K.M. and Kim, B. (2025) Perforator-Based Propeller Flap Application in Pressure Ulcer Reconstruction: A Comparative Analysis with Advancement Flaps. *Microsurgery*, **45**, e70018. <https://doi.org/10.1002/micr.70018>
 - [39] Lauer, H., Goertz, O., Kolbenschlag, J. and Hernekamp, J. (2019) Gluteal Propeller Flaps—A Reliable Reconstructive Alternative for Elderly Patients with Pressure Ulcers of the Sacrum. *Journal of Tissue Viability*, **28**, 227-230. <https://doi.org/10.1016/j.jtv.2019.09.003>
 - [40] Gould, L.J., Alderden, J., Aslam, R., Barbul, A., Bogie, K.M., El Masry, M., *et al.* (2023) WHS Guidelines for the Treatment of Pressure Ulcers—2023 Update. *Wound Repair and Regeneration*, **32**, 6-33. <https://doi.org/10.1111/wrr.13130>
 - [41] Chen, W., Jiang, B., Zhao, J. and Wang, P. (2016) The Superior Gluteal Artery Perforator Flap for Reconstruction of Sacral Sores. *Saudi Medical Journal*, **37**, 1140-1143. <https://doi.org/10.15537/smj.2016.10.15682>
 - [42] Turan, K., Tahta, M., Bulut, T., Akgün, U. and Sener, M. (2018) Reconstrução do tecido mole de defeitos do pé e do tornozelo com retalhos fasciocutâneos surais de fluxo reverso. *Revista Brasileira de Ortopedia*, **53**, 319-322. <https://doi.org/10.1016/j.rbo.2017.03.022>
 - [43] Tchukenkam, L.W., Titchew, F., Mbonda, A., Kamto, T., Nwaha, A.M., Kamla, I.J., *et al.* (2020) The Gluteus Maximus V-Y Advancement Flap for Reconstruction of Extensive Soft Tissue Loss Following an Advanced Sacral Pressure Ulcer. A Case Report and Mini Review. *International Journal of Surgery Case Reports*, **73**, 15-21. <https://doi.org/10.1016/j.ijscr.2020.06.060>
 - [44] 邓如非, 宋松华, 陈嘉欣, 张永宏, 纪如晨, 姜臻宇, 邹立津, 张友来. 股薄肌肌瓣联合臀下动脉穿支皮瓣修复坐骨结节IV期压疮[J]. 中国美容医学, 2025, 34(2): 37-40.
 - [45] Iida, T., Isozaki, Y., Numahata, T. and Okazaki, M. (2021) Sacral Defect Reconstruction Using a Sensate Superior Gluteal Artery Perforator Flap Based on the Superior Cluneal Nerves: A Report of Two Cases. *Microsurgery*, **41**, 468-472. <https://doi.org/10.1002/micr.30714>
 - [46] 刘江涛, 王一勇, 陈蓝, 黄书润. 皮瓣联合流体悬浮床治疗骶尾部压疮的研究[J]. 医学研究与战创伤救治, 2023, 36(6): 590-593.
 - [47] 黄晓栋, 万里, 叶东成, 黄兆伦, 黄静. 持续双负压引流对压疮患者皮瓣修复术后炎症因子及创面痊愈的影响[J]. 中国美容整形外科杂志, 2024, 35(3): 136-139.
 - [48] 秦国强, 刘蓉. 多技术联合治疗IV期压疮伴复杂窦道临床体会[J]. 中国烧伤创疡杂志, 2021, 33(1): 23-26.
 - [49] 龙照忠, 张莉莉, 王彤华, 首家保, 崔泽龙, 宋蕊, 吕天成. VSD 序贯结合 PRP 及臀上动脉穿支皮瓣修复骶尾部压疮[J]. 中国美容医学, 2022, 31(11): 9-11+125.