

血管新生在非浅表烧伤愈合中的研究进展

李亚峰 赵雨晨 综述, 张宝林 审校

(山西医科大学第一医院整形美容烧伤外科 山西 太原 030001)

[摘要] 烧伤是目前临床工作中常见的一种皮肤缺损性疾病, 如何预防感染、促进伤口愈合、减少瘢痕增生是其重要的研究课题。血管新生存在于烧伤愈合过程中, 特别是对于深度烧伤, 其可以极大地促进创面愈合。本文主要阐述血管新生形成在非浅表烧伤愈合过程中的发生机制及以此为基础的治疗方案。

[关键词] 血管新生; 发生机制; 非浅表性烧伤; 创面愈合

[中图分类号] R641 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1008-6455 (2025) 02-0180-04

Research Progress of Angiogenesis in Non-superficial Burn Healing

LI Yafeng, ZHAO Yuchen, ZHANG Baolin

(Department of Plastic and Aesthetic Burn Surgery, the First Hospital of Shanxi Medical University, Taiyuan 030606, Shanxi, China)

Abstract: Burn is a common skin defect disease in clinical work at present. How to prevent infection, promote wound healing and reduce scar hyperplasia is an important research topic. The new survival of blood vessels is in the process of burn healing, especially for deep burns, which can greatly promote wound healing. In this paper, we will elaborate the mechanism of angiogenesis in the healing process of non-superficial burn and the treatment plan based on it.

Key words: angiogenesis; mechanism of occurrence; non-superficial burns; wound healing

烧伤是由热力、化学物质、电等产生的热量导致机体皮肤甚至肌肉、骨骼等组织损伤的一种疾病。皮肤最上层的烧伤被归类为浅表烧伤^[1], 而涉及皮肤真皮及更深层次的烧伤会引发血管新生。与锐器切割伤等所致创面不同, 烧伤后局部组织立即发生凝固坏死及炎症反应, 且创面的形成是一个动态过程, 在受损组织脱离危险因素后, 由于局部散热、早期凝血改变及炎症反应仍会造成创面继续受损。血管新生是新的毛细血管从原先已存在的血管上通过内皮细胞的迁移增殖, 在周细胞和平滑肌细胞的协调作用下以芽生等方式所产生的一种生物学表达^[2], 在生物体的生长发育、创伤修复等生理和病理过程中具有重要意义^[3]。

1 血管新生在非浅表烧伤愈合过程中的发生机制

非浅表烧伤再生修复过程包括炎症反应、组织细胞增殖和组织重塑^[4], 血管新生发生在整个过程中。促进血管新生形成的因素^[2]包括环境因素(缺氧、内皮细胞产生的一氧化氮增加等)、机械因素(血液动力学和切应力)和化学因素(一系列细胞生长因子、部分炎症介质等), 在这些因素作用下新的毛细血管网形成, 为创面提供氧气和营养物质、传递生物活性物质。

1.1 初期凝血、炎症反应: 非浅表烧伤后的初始宿主反应

有助于启动组织修复和整体伤口愈合^[1]。烧伤后局部组织特别是中央凝固区发生凝固性坏死^[5], 血管连续性被破坏, 启动内、外凝血系统。凝血酶生成后作用于血小板^[6], 通过促进血小板释放血小板活化剂、5-羟色胺等, 激活血小板表面P-选择素、CD40配体等的表达, 介导血小板聚集, 使血小板储存颗粒中内容物被释放, 其中 α 颗粒中多种生长因子, 包括血小板衍生生长因子(Platelet-derived growth factor, PDGF)、转化生长因子(Transforming growth factor- β , TGF- β)、碱性成纤维细胞生长因子(Basic fibroblast growth factor, b-FGF)等参与血管新生, 促进创面愈合。血小板上的整合素($\alpha 5 \beta 1$ 、 $\alpha 6 \beta 1$ 等)被活化后具有不同的功能, 参与血小板与白细胞、内皮细胞和细胞外基质的相互作用^[7]。凝血酶可裂解纤维蛋白原形成纤维蛋白凝块, 纤维蛋白 β 链可与血管内皮细胞表面黏附分子-VE钙黏蛋白结合, 激活下游细胞信号通路, 参与血管新生; 纤维蛋白也是多种生长因子的储存池, 并作为创面覆盖物有保护作用。此外, 凝血酶的丝裂酶原活性可直接促进血管内皮细胞、成纤维细胞的增殖。

炎症反应与凝血改变几乎同时发生, 是由中性粒细胞和单核细胞通过局部充血区血管舒张归巢到损伤部位引发。早期阶段以中性粒细胞为主, 主要吞噬、降解创

表1 非浅表烧伤愈合过程

阶段	主要细胞	相关物质（生长因子、炎症介质、酶类等）	主要功能
凝血期	血小板	凝血酶、纤维蛋白、PDGF、TGF- β 、PDEGF、b-FGF等	血管收缩、血小板活化聚集、纤维蛋白凝块沉积
炎症反应期	中性粒细胞	CX3CL1、CXCL1、CCL2、TGF家族、PDGF、IGF、CSF、VEGF、EGF、IL-1、IL-8、TNF等	去除坏死组织及病原体，为增殖期创造条件
增殖期	巨噬细胞 血管内皮细胞 成纤维细胞 角质形成细胞	TGF家族、FGFs、VEGF、HGF、IGF、IFNs、IL-1、TNF等	ECM生成与沉积、血管新生，再上皮形成
重塑期	—	MMPs、TIMPs、TGF- β 、b-FGF、PDGF等	肉芽组织成熟、基质重塑，创面抗张强度增加

面的细菌和坏死组织，为组织细胞增殖期创造条件。另外，其在创面愈合早期可通过分泌集落刺激因子（Colony stimulating factor, CSF）、PDGF、TGF- β 等刺激微血管新生，参与一部分创面修复过程；晚期阶段主要以单核-巨噬细胞为主^[8]，M1表型巨噬细胞（M1 phenotype macrophages, M1 M ϕ ）发挥吞噬杀菌作用，在局部微环境作用下M1表型转化为M2表型巨噬细胞（M2 phenotype macrophages, M2 M ϕ ），驱动创面自然愈合，特别是腺苷介导的巨噬细胞极化可调节创面内血管生成。M2 M ϕ 通过分泌TGF- α / β 、PDGF、血管内皮生长因子（Vascular endothelial growth factor, VEGF）等促进血管内皮细胞增殖、迁移，使创面再血管化；分泌TGF- β 、表皮细胞生长因子（Epidermal growth factor, EGF）等调节角质形成细胞功能，使再上皮化；分泌TGF超家族作用于成纤维细胞，生成细胞外基质等^[9]。炎症反应过程中的肥大细胞也可分泌一些生长因子作用于血管内皮细胞等，促进创面再生修复。

1.2 中期组织细胞增殖：早期产生的多种细胞生长因子启动了组织细胞的增殖，包括新的细胞外基质（Extracellular matrix, ECM）生成与沉积、血管新生及创面再上皮化，旨在恢复血流灌注，促进伤口愈合。在这些因子及损伤刺激的作用下，创缘和残留皮肤附件中的表皮细胞发生表型改变，角蛋白6a/角蛋白6b调节细胞基质与细胞间黏附^[10]，胞内张力丝回缩等之后角质形成细胞完成迁移。成纤维细胞被细胞生长因子激活后通过分泌胶原酶等多种蛋白酶、改变表面整合素家族黏附分子，促进其迁移入创面；合成大量纤连蛋白和胶原，构成临时的细胞外基质^[11-12]。此外，角质形成细胞和肌成纤维细胞也可分泌某些细胞生长因子作用于创面。

创面局部变化的微环境使弯曲微血管在创面边界富集，曲折的血管在很大程度上促进了微血管发芽，这种旺盛的发芽会显著促进创面内血管新生^[13]。创面周围残留血管通过发芽方式形成新生血管，具体过程如下：在相关因素刺激下，血管内皮细胞分泌胶原酶等酶类溶解血管壁基底膜，尖端细胞在高度表达血管内皮生长因子受体2（Vascular endothelial growth factor receptor 2,

VEGFR2）、Notch家族受体及其穿膜配体D114后分出丝状伪足^[14]，以出芽方式带领具有增殖能力的柄细胞向创面内新生的细胞外基质迁移，新生血管腔以桥接、套叠等方式彼此相连组成血管系统。血流通时的剪切应力使血管稳定；新生血管招募周细胞、平滑肌细胞包绕血管构成稳定结构；部分血管闭塞、退化等，最终完成血管的成熟、重塑，恢复临时肉芽组织中小动静脉的结构，形成具有功能的血管系统。

1.3 晚期组织成熟、重塑：在生长因子、基质金属蛋白酶和金属蛋白酶组织抑制剂的影响下，肉芽组织成熟和ECM重塑，拉伸强度增加。在此成熟阶段，创面内的细胞逐渐凋亡，胶原沉积达动态平衡，过度增生的毛细血管闭塞、消退，正常的血液供应系统呈现。随着时间的推移，肌成纤维细胞收缩和上皮再生之间的微妙平衡决定了修复伤口的质量和柔韧性^[1]，也决定了瘢痕形成的程度。

1.4 非浅表烧伤愈合过程中的四个阶段：见表1。

2 基于血管新生的治疗与研究

目前临床工作中促进烧伤血管新生的治疗方法常见的有缺氧治疗和烧伤皮肤再生医疗技术。①缺氧治疗：烧伤局部抗感染治疗后保鲜膜包裹隔绝外界环境，局部组织相对缺氧，刺激缺氧诱导因子-1 α （Hypoxia-inducible factor-1 α , HIF-1 α ）生成，调控VEGF表达，诱导血管新生^[15-16]；②烧伤皮肤再生医疗技术^[17-18]：提高生长因子在肉芽组织中的生成，影响创面细胞中基质金属蛋白酶（Matrix metalloproteinase, MMP），尤其MMP-2、MMP-9的表达^[19]等机制促进血管新生。局部小剂量使用胰岛素通过增加VEGF合成和减少HIF-1 α 合成来^[20]加快伤口局部的血管化、上皮化；低剂量他汀类药物^[21]可直接作用于内皮细胞，增加内皮型一氧化氮（Endothelial nitric oxide, eNO）、VEGF生成，改善局部血供，但临床中药物治疗较少采用。随着医学的不断发展，衍生出一系列新型的治疗方案。

2.1 干细胞技术：人脐带间充质干细胞（Human umbilical cord mesenchymal stem cells, HUC-MSCs）具有强大的自我更新能力、多种细胞分化潜能^[22]及低免疫原性，在非浅表烧伤中的作用机制具体如下。①分化作用：可

分化为血管内皮细胞及其他细胞以促进血管生成,促进组织再生;②旁分泌作用:分泌角质形成细胞生长因子(Keratinocyte growth factor, KGF)、EGF和其他因子促进组织再生,动物实验证明HUC-MSc移植增加VEGF的释放,刺激血管生成;③免疫调节:诱导巨噬细胞从促炎表型向抗炎表型分化,下调炎症相关基因和降低促炎因子白细胞介素-6(Interleukin-6, IL-6)、肿瘤坏死因子- α (Tumor necrosis factor- α , TNF- α)等诱导抗炎作用,促进组织修复,减少瘢痕增生;④抗纤维化活性:刺激与纤维化有关的细胞凋亡和HGF等分子的分泌,最终完成组织重塑。研究证明^[23],烧伤后静脉输注人脐带间充质干细胞制备液后新生肉芽组织中EGF、VEGF水平显著升高,可有效刺激血管内皮细胞的增殖,促进新生血管形成和局部损伤组织修复。

皮肤干细胞在伤口愈合中有重要作用,在生长因子及部分炎性介质(TNF- α 、IL-1等)作用下通过相应信号通路对皮肤干细胞进行调节,增强创面愈合相关细胞迁移、血管及胶原蛋白等生成的能力。对于小而浅的烧伤创面采用直接喷入式SC替代传代的表皮角质形成细胞加速伤口愈合。另有研究表明,对大鼠模型局部注射hSCs,通过减少炎症、改善上皮形成和血管生成表现出更好的伤口闭合^[24]。

其他干细胞技术,包括胚胎干细胞、脂肪干细胞ASC、诱导多能干细胞等逐渐被人们掌握^[25]。其中,Shroff等评估了人胚胎干细胞治疗对6例未愈合伤口的疗效,结果表明所有患者的伤口在接受其治疗后均已愈合。脂肪干细胞通过其分化内皮细胞和释放VEGF的能力,触发新血管形成并促进伤口愈合。人诱导多能干细胞来源间充质干细胞衍生的外泌体通过促进胶原蛋白的合成和血管生成加速了大鼠皮肤伤口的愈合。但这些技术的安全与可靠性,包括可能存在的致癌性尚需进一步验证。

2.2 外泌体引导的细胞重编程技术:巨噬细胞(Macrophages, M ϕ)被认为是促进炎症-增殖相变的关键参与者,激活的M ϕ 大致分为两种主要亚型^[26-27],具有促炎特性的经典激活M1 M ϕ 和表现出抗炎和伤口愈合功能的选择性激活M2 M ϕ 。

外泌体(Exosome, Exo)^[28]是细胞衍生的纳米囊泡,通过将特定的蛋白质、脂质、RNA等组合物转移到受体细胞来介导细胞间通讯。由交替激活M2 M ϕ 离心得到的外泌体M2-Exo可以诱导M1 M ϕ 直接重编程为M2 M ϕ ,这是因为M2-Exo阈值浓度 $>50 \mu\text{g ml}^{-1}$ 下经典激活的M1 M ϕ 表现出对M2-Exo高的细胞摄取率。M2-Exo携带具有各种伤口愈合因子的关键重编程因子,包括C-C基序趋化因子配体27(C-c motif drive factor ligand 27, CCL27)、CCL11、CCL24、CCL22、IL4、C-X-C基序趋化因子配体12(CXCL12)、bFGF和乳脂肪球-表皮生长因子8蛋白(Milk fat globules - epidermal growth factor 8 protein, MFG-E8)等,为M2-Exo引导的M ϕ 重编程在创面愈合应用中提供了价值。其中,IL-4、CXCL12和bFGF可通过增强血管

生成和再上皮化来促进伤口愈合和修复;CCL11通过激活PI3K/Akt通路促进血管生成;CCL22和CCL24是直接参与M2-Exo引导的直接细胞重编程的关键分子;MFG-E8能够促进M1到M2 M ϕ s的转换,此外,据报道MFG-E8刺激的M ϕ s通过促进bFGF的表达和减弱促炎来加速伤口愈合。

交替激活的M2 M ϕ 主要通过其过载的外泌体细胞因子bFGF以旁分泌作用调节VEGF在血管内皮细胞的表达,且可利用伪足在发生血管发芽或融合附近扭曲内皮并弥合血管间隙,与内皮分支点共定位来促进内皮管形成^[27]。交替激活的M2 M ϕ 也可以通过依赖MMP-2介导的蛋白水解来增强成纤维细胞的迁移能力,参与成纤维细胞的增殖和迁移。重编程的M2 M ϕ 恢复了产生MMP和VEGF蛋白的能力,类似选择性激活的M2 M ϕ 。有动物实验研究^[29],将M2-Exo直接皮下注射于小鼠的切除皮肤周围,创面会有更多的肉芽组织和更厚的真皮层,表皮表面平坦。在此过程中,实时荧光成像显示大量的外泌体积聚在皮肤中,表明皮下注射的M2-Exo可提供足够时间来诱导局部外泌体引导的巨噬细胞重编程。外泌体引导的M ϕ s表型转换是M1和M2 M ϕ 之间的双边策略,它为治疗促炎和抗炎免疫反应失衡相关的各种疾病提供了一种有前景的治疗策略。

2.3 负压技术(VSD):VSD包含海绵敷料、生物膜及负压吸引装置,适宜的负压值才有利于创面愈合。对创面的作用机制包括:①负压下清除坏死组织、细菌等影响愈合的相关毒性物质^[30],且负压作用下组织压力增加致血管受压和血管内流体速度增加,降低血管内静水压及更高的血流速度使细胞外液入血管,减轻创面水肿;②通过营造功能与皮肤类似的生物膜屏障,为创面提供局部微环境,有效隔离细菌侵入,减少交叉感染的发生^[19];③持续负压使新鲜肉芽组织相互贴合,缩小创面腔隙;④负压下对组织压缩导致组织相对缺氧,引起的细胞微变形/微应变导致组织扩张效应及释放生长因子,从而刺激局部新毛细血管网建立,改善创面微循环系统,促进肉芽组织生长^[31-32]。布鲁姆等^[33]研究得出,与AMWT(晚期湿润伤口疗法)相比,NPWT(负压伤口疗法)使更少闭合时间中完成创面完全闭合的患者增加了14.3%。之前也有研究阐明开孔泡沫敷料在创面微机械变形中的作用,指在负压下将组织吸入泡沫孔中时可拉伸细胞并促进细胞分裂,刺激肉芽组织形成。

2.4 富含血小板血浆(PRP):PR是一种人血浆制剂,将外周静脉血经过离心处理后可得到血小板浓缩液^[34]。它是信号分子的天然来源,当其中的血小板被激活时会脱颗粒并释放超生理量的细胞生长因子(VEGF、FGF、PDGF等),改变细胞周围微环境,刺激新血管的生成、细胞募集与生长^[35]。在损伤部位注射浓缩血小板后释放许多生物活性因子(细胞生长因子、溶酶体)和负责启动止血级联反应的黏附蛋白,以旁分泌、自分泌等机制发生一个复杂的凝血过程,包括血小板活化和聚集、致密 α -颗粒内容物释放、纤维蛋白原(由血小板释放或游离在血浆中)聚合成纤维蛋白

网,从而促进新结缔组织合成和血运重建。同时PRP血浆可以在伤口局部黏附,提高局部生长因子浓度,促进伤口愈合。有研究表明^[36],透明质酸(Hyaluronic acid, HA)可诱导细胞间黏附、细胞迁移和细胞基质黏附,有助于许多细胞进入伤口部位及ECM定向,故HA与PRP联合使用可作为PRP支架来改善愈合、加速重塑。Hosseini Mansoub N等^[37]研究证明了在糖尿病大鼠的热创伤口中应用PRP和/或角质形成细胞样细胞(Keratinoid cells, KLC)会导致EGF、VEGF、bFGF等生长因子的表达谱增强,特别是PRP和KLC结合在一起时这种增强作用更加显著,且PRP同种异体使用被证明是有用的。

3 小结

基于血管新生在非浅表烧伤创面愈合过程中的积极作用,我们发掘出生物技术治疗、药物治疗及物理治疗。相信随着科技医疗的不断进步,未来还会有更多新型的治疗手段被应用于临床实践与研究,非浅表烧伤的治疗体系也会更加完善,从而有效推动和解决各类创面修复的研究与发展。

[参考文献]

- [1]Jeschke M G, van Baar M E, Choudhry M A, et al. Burn injury[J]. Nat Rev Dis Primers, 2020,6(1):11.
- [2]Teleanu R I, Chircov C, Grumezescu A M, et al. Tumor angiogenesis and anti-angiogenic strategies for cancer treatment[J]. J Clin Med, 2019,9(1):84.
- [3]Rizzi A, Benagiano V, Ribatti D. Angiogenesis versus arteriogenesis[J]. Rom J Morphol Embryol, 2017,58(1):15-19.
- [4]Bi H, Li H, Zhang C, et al. Stromal vascular fraction promotes migration of fibroblasts and angiogenesis through regulation of extracellular matrix in the skin wound healing process[J]. Stem Cell Res Ther, 2019,10(1):302.
- [5]Hu D, Meng C, Hu J, et al. Iliioinguinal flap combined with tensor fascia lata muscle flap to repair deep electrical burns in the lower abdomen: a report of two cases[J]. Wounds, 2019,31(6):E42-E45.
- [6]Posma J J, Posthuma J J, Spronk H M. Coagulation and non-coagulation effects of thrombin[J]. J Thromb Haemost, 2016,14(10):1908-1916.
- [7]Everts P, Onishi K, Jayaram P, et al. Platelet-rich plasma: new performance understandings and therapeutic considerations in 2020[J]. Int J Mol Sci, 2020,21(20):7794.
- [8]Kanis J A, Cooper C, Rizzoli R, et al. Executive summary of the European guidance for the diagnosis and management of osteoporosis in postmenopausal women[J]. Calcif Tissue Int, 2019,104(3):235-238.
- [9]Hesketh M, Sahin K B, West Z E, et al. Macrophage phenotypes regulate scar formation and chronic wound healing[J]. Int J Mol Sci, 2017,18(7):1545.
- [10]Wang F, Chen S, Liu H B, et al. Keratin 6 regulates collective keratinocyte migration by altering cell-cell and cell-matrix adhesion[J]. J Cell Biol, 2018,217(12):4314-4330.
- [11]Avery D, Govindaraju P, Jacob M, et al. Extracellular matrix directs phenotypic heterogeneity of activated fibroblasts[J]. Matrix Biol, 2018,67:90-106.
- [12]Paolillo M, Schinelli S. Extracellular matrix alterations in metastatic processes[J]. Int J Mol Sci, 2019,20(19):4947.
- [13]Chong D C, Yu Z, Brighton H E, et al. Tortuous microvessels contribute to wound healing via sprouting angiogenesis[J]. Arterioscler Thromb Vasc Biol, 2017,37(10):1903-1912.
- [14]Nauta T D, Duynndam M C, Weijers E M, et al. HIF-2 α expression regulates sprout formation into 3D fibrin matrices in prolonged hypoxia in human microvascular endothelial cells[J]. PLoS One, 2016,11(8):e0160700.
- [15]Zhang Z, Yao L, Yang J, et al. PI3K/Akt and HIF-1 signaling pathway in hypoxia-ischemia (Review)[J]. Mol Med Rep, 2018,18(4):3547-3554.
- [16]Xiang Y, Yao X, Wang X, et al. Houshiheisan promotes angiogenesis via HIF-1 α /VEGF and SDF-1/CXCR4 pathways: in vivo and in vitro[J]. Biosci Rep, 2019,39(10):BSR20191006.
- [17]王乡宁, 张静, 杜佳, 等. MEBT/MEBO在老年烧伤治疗中的应用体会[J]. 中国烧伤创疡杂志, 2018,30(6):405-407.
- [18]Zheng A, Ma H, Liu X, et al. Effects of moist exposed burn therapy and ointment (MEBT/MEBO) on the autophagy mTOR signalling pathway in diabetic ulcer wounds[J]. Pharm Biol, 2020,58(1):124-130.
- [19]马明亮, 王辉, 周楠, 等. MEBT/MEBO在治疗下肢创伤复杂创面的临床效果[J]. 当代医学, 2021,27(12):7-9.
- [20]张冀北, 王峻岭, 李慧, 等. rh-bFGF联合局部外用胰岛素治疗糖尿病深 II 度烧伤创面的临床观察[J]. 中国美容医学, 2019,28(2):32-35.
- [21]杨华, 刘海平, 汪虹, 等. 他汀类药物促进血管新生及在创面修复中的意义[J]. 中华损伤与修复杂志(电子版), 2010,5(6):803-806.
- [22]Xie Q, Liu R, Jiang J, et al. What is the impact of human umbilical cord mesenchymal stem cell transplantation on clinical treatment?[J]. Stem Cell Res Ther, 2020,11(1):519.
- [23]蔡德南, 陈斐, 王木盛. 脐带间充质干细胞移植对烧伤患者新生肉芽组织EGF及VEGF表达的影响[J]. 广东医学, 2018,39(5):740-744.
- [24]Xiao T, Yan Z, Xiao S, et al. Proinflammatory cytokines regulate epidermal stem cells in wound epithelialization[J]. Stem Cell Res Ther, 2020,11(1):232.
- [25]Nourian Dehkordi A, Mirahmadi Babaheydari F, Chehelgerdi M, et al. Skin tissue engineering: wound healing based on stem-cell-based therapeutic strategies[J]. Stem Cell Res Ther, 2019,10(1):111.
- [26]Sreejit G, Fleetwood A J, Murphy A J, et al. Origins and diversity of macrophages in health and disease[J]. Clin Transl Immunology, 2020,9(12):e1222.
- [27]Kobori T, Hamasaki S, Kitaura A, et al. Interleukin-18 amplifies macrophage polarization and morphological alteration, leading to excessive angiogenesis[J]. Front Immunol, 2018,9:334.
- [28]Xia Y, He X T, Xu X Y, et al. Exosomes derived from M0, M1 and M2 macrophages exert distinct influences on the proliferation and

- differentiation of mesenchymal stem cells[J]. Peer J, 2020,8:e8970.
- [29]Kim H, Wang S Y, Kwak G, et al. Exosome-guided phenotypic switch of M1 to M2 macrophages for cutaneous wound healing[J]. Adv Sci, 2019,6(20):1900513.
- [30]Takagi S, Oyama T, Jimi S, et al. A novel autologous micrografts technology in combination with negative pressure wound therapy (NPWT) for Quick granulation tissue formation in chronic/refractory ulcer[J]. Healthcare, 2020,8(4):513.
- [31]牛文芳, 许樟荣. 封闭式负压引流促进糖尿病足溃疡愈合的研究进展[J]. 中国糖尿病杂志, 2012,20(3):229-231.
- [32]Agarwal P, Kukrele R, Sharma D. Vacuum assisted closure (VAC)/negative pressure wound therapy (NPWT) for difficult wounds: A review[J]. J Clin Orthop Trauma, 2019,10(5):845-848.
- [33]Blume P A, Walters J, Payne W, et al. Comparison of negative pressure wound therapy using vacuum-assisted closure with advanced moist wound therapy in the treatment of diabetic foot ulcers: a multicenter randomized controlled trial[J]. Diabetes Care, 2008,31(4):631-636.
- [34]Xu J, Gou L, Zhang P, et al. Platelet-rich plasma and regenerative dentistry[J]. Aust Dent J, 2020,65(2):131-142.
- [35]Alves R, Grimalt R. A review of platelet-rich plasma: history, biology, mechanism of action, and classification[J]. Skin Appendage Disord, 2018,4(1):18-24.
- [36]Gentile P, Calabrese C, De Angelis B, et al. Impact of the different preparation methods to obtain autologous Non-Activated Platelet-Rich Plasma (A-PRP) and Activated Platelet-Rich Plasma (AA-PRP) in plastic surgery: wound healing and hair regrowth evaluation[J]. Int J Mol Sci, 2020,21(2):431.
- [37]Hosseini Mansoub N, Gürdal M, Karadadaş E, et al. The role of PRP and adipose tissue-derived keratinocytes on burn wound healing in diabetic rats[J]. Bioimpacts, 2018,8(1):5-12.

[收稿日期]2023-01-13

本文引用格式: 李亚峰, 赵雨晨, 张宝林. 血管新生在非浅表烧伤愈合中的研究进展[J]. 中国美容医学, 2025, 34(2): 180-184.

可吸收提升线在面部年轻化治疗中的应用进展

胡希悦 赵文峰 综述, 王洁晴 审校

(大连大学附属新华医院整形外科 辽宁 大连 116021)

[摘要]线技术面部提升术是近年来发展比较迅猛的面部年轻化治疗手段之一, 通过在皮肤内埋置线材达到收紧提拉、祛除皱纹、改善皮肤质地及面部轮廓等目的。随着技术的发展, 人们研发出了各式各样的线材来满足不同的治疗需求, 主要成分有PDO、PPDO、PGA/PLGA、PLLA、PCL等。本文就不同成分可吸收线对面部年轻化治疗的作用作一综述。

[关键词]线技术; 线材; 面部年轻化; 二氧环己酮; 聚对二氧环己酮

[中图分类号]R622 **[文献标志码]**A **[文章编号]**1008-6455 (2025) 02-0184-05

Progress in the Application of Absorbable Threads with Different Components in Facial Rejuvenation Treatment

HU Xiyue, ZHAO Wenfeng, WANG Jieqing

(Department of Plastic Surgery, Xinhua Hospital Affiliated to Dalian University, Dalian 116021, Liaoning, China)

Abstract: Thread lifting is one of the methods of facial rejuvenation that has developed rapidly in recent years. It can tighten and lift, remove wrinkles, improve skin texture and facial contour by embedding threads into the skin. With the development of technology, people have developed a variety of threads to meet different treatment needs, the main components are PDO, PPDO, PGA/PLGA, PLLA, PCL, etc. This article reviews the effects of absorbable threads with different components on facial rejuvenation.

Key words: thread lifting; threads; facial rejuvenation; P-dioxanone; Poly p-dioxanone

随着生活水平的提高, 人们对抗衰和面部年轻化容貌的需求也逐渐增多, 然而, 传统的手术干预通常需要全身

麻醉, 并有潜在的风险, 比如技术要求高、恢复时间长、易留下瘢痕等, 并不适合所有就医者。随着抗衰需求就医

基金项目: 横向课题 (名称: PPDO埋置线对猪皮下脂肪作用的研究)

通信作者: 王洁晴, 博士研究生、主任医师; 研究方向为面部年轻化。E-mail: wangsunny@sina.com

第一作者: 胡希悦, 硕士研究生; 研究方向为面部年轻化。E-mail: huxiyueeee@163.com