

• 综 述 •

病理性瘢痕的西医治疗进展*

胡云瑶, 华松茂, 毕德昭, 郭 顺[△]

(南京中医药大学附属医院 皮肤科, 江苏 南京 210029)

[摘 要] 皮肤受损后组织对损伤的过度反应会诱发病理性瘢痕, 随着血管形成与细胞结构的增加而变厚, 并出现色素沉着, 常伴随疼痛、瘙痒和挛缩等不适症状, 严重者会降低患者的生活质量。目前病理性瘢痕形成的确切机制尚不明确, 临床选择局限, 研究经济有效且安全的治疗方案仍具挑战。现就病理性瘢痕的西医治疗进展做一综述。

[关键词] 病理性瘢痕; 增生性瘢痕; 瘢痕疙瘩; 治疗; 综述

DOI:10.3969/j.issn.1009-5519.2025.11.026

中图法分类号:R622

文章编号:1009-5519(2025)11-2639-05

文献标识码:A

Progress in Western medical treatment of pathological scars*

HU Yunyao, HUA Songmao, BI Dezhaoh, GUO Shun[△]

(Department of Dermatology, Affiliated hospital of nanjing medical university,
Nanjing, Jiangsu 210029, China)

[Abstract] Excessive tissue response to skin injury will induce pathological scars, which will thicken and appear pigmentation with the increase of blood vessel formation and cell structure, often accompanied by discomfort symptoms such as pain, itching and contracture, significantly reducing the quality of life of patients in severe cases. The exact mechanism of pathological scar formation remains unclear, and clinical options are limited. Research on cost-effective and safe treatment regimens remains challenging. This review summarizes the progress in Western medical treatment of pathological scars.

[Key words] Pathological scar; Hypertrophic scar; Keloid; Treatment; Review

病理性瘢痕包括增生性瘢痕和瘢痕疙瘩, 两者均由皮肤损伤及刺激等引起, 包括创伤、烧伤、手术、炎症等皮肤损伤史。病理性瘢痕常伴挛缩、瘙痒及疼痛等症状, 影响局部及整体美观, 甚至严重影响患者的生活质量、身体状况及心理健康。伤口愈合包括炎症期、增殖期和重塑期 3 个阶段, 若愈合过程中出现异常, 则会导致病理性瘢痕的形成^[1]。目前国内外治疗病理性瘢痕的方法有手术、注射、激光、放射、外用药、口服药、加压治疗等。现针对病理性瘢痕形成机制及其治疗方法和最新进展做如下综述。

1 病理性瘢痕的形成机制

关于病理性瘢痕的形成机制尚未明确, 传统观点认为是因皮肤受损后胶原蛋白过度分泌, 堆积于局部形成大量结缔组织, 使正常组织受到挤压破坏而形成。近年来, 部分观点认为病理性瘢痕的发生与巨噬细胞功能失调导致皮肤真皮网状层出现慢性炎症相关, 成纤维细胞持续活跃导致沉积过量的细胞外基质(ECM)。

2 病理性瘢痕治疗方法

以下将对病理性瘢痕的治疗方法进行总结, 并阐

述各种治疗方法对病理性瘢痕的影响, 以及相关作用机制。

2.1 手术治疗 临床上, 对于躯干、四肢等部位面积较大的病理性瘢痕患者, 单独手术切除是最直接、最迅速的治疗方法。针对外伤、炎症等所致的小面积瘢痕, 手术过程中可直接使用切除缝合、Z 字缝合等缝合方式; 若为烧伤等所致的大面积瘢痕, 则需采用皮片移植、皮瓣移植、瘢痕皮回植及皮肤软组织扩张等, 但这些方法均存在术后复发率较高、患者耐受性较差等问题^[2]。

2.1.1 术中减小皮肤张力 在手术过程中, 切口外翻可实现切缘无张力甚至负张力, 有效降低患者术后产生瘢痕的复发率。临床上常使用经皮埋设垂直褥式缝合、改良埋设垂直褥式缝合、蝶形缝合、章氏超减张缝合、set-back 式缝合及遵义缝合法等减张缝合技术, 使切口外翻以达到瘢痕最小化的目的^[3]。韩建素等^[3]使用经皮埋设垂直褥式缝合法缝合股前外侧皮瓣供区切口, 术后即刻使创缘呈不同程度外翻, 治疗 6 个月后随访提示, 对于股前外侧皮瓣供区切口, 减张

* 基金项目: 国家自然科学基金项目(81603626); 第四批江苏省中医临床优秀人才研修项目(苏中医科教[2022]1 号); 第四批省名老中医专家传承工作室建设项目(苏中医科教[2021]7 号)。

[△] 通信作者, E-mail: retinoid@yeah.net。

缝合致创缘外翻 0.5 cm 较不外翻或外翻 1.0 cm 者术后瘢痕形成小,且患者满意度更高。

2.1.2 术后减少瘢痕复发 对于改善术后切口愈合及瘢痕形成,创缘外翻是必要的,但外翻程度需适度,过度外翻会导致切口局部缺血、瘢痕增生,不利于切口愈合。LAZAR 等^[4]使用 Steri-Strip S 闭合术(由聚氨酯垫和聚合物条组成,并涂有非乳胶压敏、低过敏性皮肤黏合剂)闭合胸骨正中切开术后伤口。与使用传统皮下可吸收线缝合相比, Steri-Strip S 闭合术可有效减小炎症反应、降低红斑程度,但在降低患者疼痛、水肿程度及改善术后瘢痕外观方面与传统缝合无异^[4]。王阳阳^[5]根据患者瘢痕大小的不同,分别使用直接切除缝合、局部皮瓣转移、游离皮片移植术等手术方式处理瘢痕,术后均以无菌敷料加压包扎,并及时放疗。研究结果显示,术后及时结合近距离⁹⁰钴敷贴放疗和电子线放疗可有效降低术后瘢痕复发率。

2.2 非手术治疗 手术不耐受的患者也可采用注射、激光及外用药物等非手术的方式治疗病理性瘢痕。非手术治疗包括注射治疗、激光治疗、放射性治疗、外用药物、其他西医治疗等。

2.2.1 注射治疗 目前临床常用的注射方案为以曲安奈德、倍他米松为代表的糖皮质激素与 5-氟尿嘧啶联合使用,短期疗效好,但复发率高。近年来,研究发现多种细胞因子及药物亦可对病理性瘢痕起到明显治疗效果。

2.2.1.1 神经毒素 A 型肉毒毒素(BTA)是一种由厌氧肉毒梭菌产生的强效神经毒素,通过抑制转化生长因子- β (TGF- β)的合成和分泌,减少成纤维细胞分泌的胶原纤维,并可抑制乙酰胆碱的释放,引起肌肉麻痹,降低肌肉张力与皮肤紧张,从而阻碍瘢痕的形成及过度生长^[6]。JIANG 等^[7]将 BTA 双平面微滴注射于增生性瘢痕患者的局部病损处及皮下肌肉中,术后 3 个月的随访观察结果提示:BTA 的双平面微滴注射能够抑制瘢痕增殖,且在 2 年随访中表现出稳定疗效及低瘢痕复发率,并能显著改善患者的生活质量。

2.2.1.2 细胞因子 人干扰素(IFNs)、肿瘤坏死因子相关凋亡诱导配体(TRAIL)、TGF- β 、白细胞介素等细胞因子对病理性瘢痕有治疗效果^[8]。其中,重组人干扰素 α -2b 是一种具有抗病毒、抗肿瘤、抗增殖及免疫调节等多种生物学活性的细胞因子^[9]。在治疗瘢痕方面,IFNs 不仅可以通过直接诱导成纤维细胞凋亡从而抑制纤维增生,还可通过抑制多种细胞因子从而减少瘢痕内胶原蛋白的合成^[9]。王瑞等^[9]在体外培养瘢痕成纤维细胞,采用不同浓度重组人干扰素 α -2b 处理后,通过 EdU 染色观察细胞增殖能力,采用划痕实验及 Transwell 实验检测细胞迁移能力的改变,免疫印迹法检测增殖及迁移相关蛋白增殖细胞核抗原、基质金属蛋白酶-2(MMP-2)的表达水平。实验观察结果表明,重组人干扰素 α -2b 能抑制瘢痕成纤

维细胞的增殖和迁移^[9]。

2.2.1.3 再生医学 脂肪移植、富血小板血浆、脂肪来源的基质血管成分、脂肪来源的干细胞、间充质干细胞、透明质酸被证实可治疗增生性瘢痕和瘢痕疙瘩^[10]。研究表明,在瘢痕形成的过程中,脂肪来源于干细胞(ADSCs)可以通过旁分泌细胞因子抑制炎症,分化或转分化为表皮细胞,减少纤维化以减轻瘢痕,但临床应用程序复杂且涉及相关伦理问题^[10]。ADSCs 大量存在于脂肪的基质血管组分(SVF),约占 SVF 细胞的 64%,因此,SVF 凝胶被认为是“超浓缩”脂肪凝胶^[10]。RONG 等^[10]在乳房缩小术后立即局部注射基质血管成分凝胶(SVF-gel),在 6 个月的术后随访中,Antera 3D 相机测量结果显示,立即皮内注射 SVF-gel 在术后减少瘢痕形成方面具有良好的疗效。

2.2.1.4 其他药物 如类固醇激素(曲安奈德、地塞米松等),化疗药物(博来霉素、5-氟尿嘧啶、丝裂霉素 C 等),酶(胶原酶、透明质酸酶),免疫调节剂(他克莫司)均被证实具有抗瘢痕作用^[8]。

2.2.2 激光治疗 激光治疗病理性瘢痕疗效确切,对周围组织损伤少,但价格普遍偏高。目前,临床常使用的激光类型包括:CO₂ 激光、脉冲染料激光(PDL)、Er:YAG 激光和点阵激光等。

2.2.2.1 点阵激光 点阵激光通过发射排列均匀的微小光斑以产生细小的柱状热损伤阵列,即微热治疗区(MTZ),从而深入皮肤形成微小的柱状通道,使组织快速汽化以减轻瘢痕张力^[11]。同时,周围正常组织作为再生储备,加速皮肤愈合,包括胶原重塑和皮肤重建,具有治疗皮肤深层损伤而不造成广泛表面损伤的优势,可缩短恢复期时间^[11]。近期研究显示,点阵皮秒激光(FxPico)作为一种较新的技术,其通过发射高能脉冲来发挥作用,这些脉冲被表皮特定区域的黑色素吸收,产生激光诱导的光击穿效应(LIOB),刺激组织修复,进而导致胶原蛋白重塑^[12]。RUTNIN 等^[12]对接受跨性别男性(TM)乳房切除术后出现的增生性瘢痕运用 1 064 nm FxPico 治疗,点阵激光治疗结束后 1、3 个月的 mVSS 评分均降低。另有研究表明,点阵激光治疗联合其他药物治疗病理性瘢痕,可降低单一疗法引起的皮肤萎缩或局部疼痛等不良反应发生率^[13]。

2.2.2.2 CO₂ 激光 CO₂ 激光本质为通过烧蚀去除皮肤表层,使皮肤重塑。CO₂ 激光对较深的瘢痕治疗效果良好,但存在治疗后恢复时间长,且易出现潜在瘢痕等问题。GRIGORYAN 等^[14]使用 CO₂ 激光治疗 1 例面部增生性瘢痕患者,治疗后瘢痕质地及颜色均得到明显改善,且无不良反应发生。

2.2.2.3 PDL 激光 PDL 可将激光光束聚焦在瘢痕的血管上,减轻发红和炎症,但需多次治疗。DENG 等^[15]采用 585 nm PDL 治疗 22 例未成熟增生性瘢痕患者,治疗 3 个月后,皮肤镜、血流灌注及多普勒超声测量结果显示瘢痕红斑及血流灌注均改善,且瘢痕厚

度无明显增加。

2.2.3 放射性治疗 放射性治疗作为瘢痕疙瘩术后的辅助治疗之一,目前临床常使用的放射性治疗有近距离放射治疗、电子束与 X 射线 3 种,它们通过干预血管生成及新生成纤维细胞增生,以减缓伤口愈合反应,降低术后瘢痕疙瘩的复发率^[16]。其中使用近距离放射性治疗后复发率更低,并可对瘢痕疙瘩组织进行更高的靶向性治疗,对邻近组织的毒性较小^[16]。有研究推荐应用放射性治疗最佳的时间为手术切除后 72 h 内,此时内皮血管床对放射线敏感性高,用放疗进行干预,疗效甚佳^[17]。研究表明,放射性治疗联合其他疗法治疗病理性瘢痕可提高疗效,减少复发率^[18]。

2.2.3.1 手术联合放射治疗 赵亚楠等^[19]采用耳部瘢痕核切除术切除耳部瘢痕疙瘩患者 48 例,术后立即加压包扎,24 h 内采用浅层 6 meV 电子束照射,放疗后创面予无菌换药。随访过程中,患者不良反应以色素沉着为主,无皮瓣坏死、感染等严重并发症发生^[19]。手术联合浅层电子束放疗治疗耳部瘢痕疙瘩在修复耳垂、耳廓外形方面效果理想,且术后并发症少,复发率低^[19]。

2.2.3.2 激光联合放射治疗 陈向军等^[18]采用超脉冲 CO₂ 点阵激光联合 6 meV 电子束照射治疗胸腹部瘢痕疙瘩,采用免疫组织化学染色法及实时定量 PCR 检测治疗后 12 个月瘢痕组织中 MMP-2、MMP-9 及低氧诱导因子-1 α (HIF-1 α)、TGF- β 1 表达水平检测结果显示,上述指标表达水平均较治疗前降低。相关研究表明,MMP-2、MMP-9 及 HIF-1 α 、TGF- β 1 均为瘢痕疙瘩发生发展过程中的重要因子,MMPs 的过表达可促进细胞外基质异常降解,加快瘢痕疙瘩的侵袭性生长^[18]。上述研究提示,此联合疗法可能通过下调相关因子的表达,抑制成纤维细胞的增生侵袭及细胞外基质的代谢过程,减少瘢痕疙瘩的复发。

2.2.4 外用药物 作为一种易于接受的治疗方案,外用药物在治疗病理性瘢痕上得到广泛应用。随着医疗技术的发展,生物材料的相关研究越来越受到关注。

2.2.4.1 硅基产品 临床上,硅基产品(如片状和凝胶)被推荐为预防和治疗瘢痕的首选方案,其易于使用、应用范围广,且不良反应少^[20]。研究认为,使用硅基产品治疗病理性瘢痕的机制为物理闭塞瘢痕局部,调节细胞因子介导的角质层水合作用及成纤维细胞与角质形成细胞之间的信号传导,进而改善瘢痕的外观及患者的疼痛、瘙痒等症状^[21]。

2.2.4.2 生物材料 传统的伤口敷料在一定程度上可提供伤口保护,但在促进伤口愈合、减少瘢痕形成和预防细菌感染方面受到限制^[22]。鱼皮敷料作为一种新型生物敷料,其结构与人体皮肤高度相似,含有丰富的生物活性物质(如 Omega-3 PUFA 和胶原蛋白),它们在加速伤口愈合、减少炎症反应和促进组织

再生方面发挥着重要作用^[22]。人羊膜(hAM)亦为一种生物敷料,具有减轻疼痛、改善电解质失衡等作用^[23]。MOGHIMI 等^[23]使用 hAM 干预二度烧伤创面愈合,治疗 1 个月后,评估瘢痕形成程度,hAM 组瘢痕程度较磺胺嘧啶银(SSDZ)软膏组轻,且无严重瘢痕形成。但鱼皮敷料和 hAM 因目前使用成本较高,临床应用范围较局限。

2.2.4.3 类固醇皮质激素软膏 相较使用硅基产品及生物材料,市面上的类固醇皮质乳膏价格普遍偏低,且兼具方便性的优点,亦有预防和治疗病理性瘢痕的效果。类固醇皮质激素的治疗机制可能与其抗炎、免疫调节、抗成纤维细胞增殖、抗血管生成和细胞外基质重塑等作用相关^[2]。2017 年的一项临床研究使用局部硅凝胶和局部甲泼尼龙乳膏外涂预防 Pfannenstiel 切口后病理性瘢痕的形成,治疗 6 个月后进行评估,甲泼尼龙组的瘢痕厚度、色沉、血管分布、柔韧性和 mVSS 评分降低较硅凝胶处理组显著,且患者满意度更高^[24]。

2.2.5 其他西医治疗 临床上常用的其他西医治疗包括冷冻疗法、中频电疗法、射频技术、体外冲击波、加压疗法、按摩疗法等。

2.2.5.1 冷冻疗法 冷冻疗法可通过损伤细胞及微循环导致局部缺血性坏死并抑制成纤维细胞增生,改善瘢痕外观^[25]。KHATTAB 等^[26]用病灶内冷冻疗法治疗 20 例瘢痕患者,16 周后患者瘙痒及疼痛症状减轻,柔软度下降且血管分布减少,12 周后随访结果显示瘢痕厚度亦得到改善。

2.2.5.2 中频电疗法 1 000~20 000 HZ 音频段的等幅正弦电治疗被称为音频电治疗,电流刺激能扩大细胞与组织的间隙,使粘连的结缔组织纤维、肌纤维和神经纤维等分离,以达到防治瘢痕增生和软化瘢痕的目的^[27]。杨茹茜等^[27]使用 5 000 HZ 中频电治疗增生性瘢痕,治疗 3 个月后瘢痕硬度及瘙痒程度均得到改善。

2.2.5.3 射频技术 微等离子体射频技术通过单极射频将空气中的氮激发成微等离子体流,在皮肤表面产生极小的等离子体火花,使表皮轻微消融,热量传导至皮下组织,促进胶原纤维的增殖和重组^[28]。一项回顾性研究表明,微血浆射频技术联合复方倍他米松透皮给药较单纯使用微血浆射频技术治疗增生性瘢痕效果更好,且不良反应发生率更低^[29]。

2.2.5.4 体外冲击波疗法(ESWT) ESWT 是一种非侵入性疗法,它通过机械传导刺激生物级联反应,使组织再生,在改善瘢痕外观的同时缓解患者瘙痒、疼痛等不适症状^[28]。ZHAO 等^[30]的前期研究表明,ESWT 能抑制 α -平滑肌动蛋白(α -SMA) mRNA 的表达,并减少增殖细胞核抗原(PCNA)和 α -SMA 阳性细胞的数量。PCNA 在增殖细胞中表达可以促进细胞复制和细胞周期进程。伤口愈合过程中, α -SMA 的表达可促进成纤维细胞分化为肌成纤维细胞,增加胶

原蛋白的合成,降低胶原酶的合成^[30]。动物实验表明,低能量和高能量 ESWT 均能抑制兔模型增生性瘢痕组织中的瘢痕增生指数和成纤维细胞密度,下调 α -SMA mRNA 水平^[30]。其中低能量 ESWT 下调增生性瘢痕组织中 α -SMA mRNA 的效果更显著^[30]。此外,在应用 ESWT 改善瘢痕处活动障碍方面,亦有相关报道。LEE 等^[31]研究发现,在手部烧伤后常出现关节挛缩和神经损伤,而 ESWT 对改善手部烧伤伴神经损伤的增生性瘢痕患者关节活动度、手部功能和肌肉力量有积极作用。

2.2.5.5 加压疗法 定制压力衣加压疗法通过对人体体表施加适当的压力,以预防或抑制皮肤瘢痕增生,然而,使用传统面部加压衣存在压力分布不均的问题^[32]。研究显示,15~25 mmHg (1 mmHg = 0.133 kpa) 的压力为治疗病理性瘢痕最有效的压力范围,使用配备压力传感器的 3D 压缩面罩进行治疗,使压力控制在 15~25 mmHg 范围中^[32]。12 周后评估结果显示,与传统加压衣相比,使用定制 3D 加压面罩的患者瘢痕厚度及皮肤水合作用改善更佳,且患者依从性更高^[32]。

2.2.5.6 按摩疗法 局部按摩疗法在改善病理性瘢痕的硬度、弹性等方面疗效显著。一项研究表明,真空按摩(减压按摩)作为一种非侵入性机械按摩技术,可释放与瘢痕回缩相关的机械张力,从而诱导肌成纤维细胞凋亡^[33]。HUMBERT 等^[34]研究了真空按摩的组织学效应,发现其可提高成纤维细胞的迁移能力,增加弹性蛋白和透明质酸含量。

2.2.5.7 植物提取物 近年来,植物性药物因其成本低且易获得等优势被广泛研究。目前被证实具有抗瘢痕作用的植物活性化合物和提取物包括:洋葱中的槲皮素,蔬菜坚果中的维生素 E,积雪草中的羟基积雪草苷、积雪草苷及积雪草酸,绿茶中的表没食子儿茶素没食子酸酯及表儿茶素没食子酸酯,葡萄、花生及大豆中的白藜芦醇,姜黄中的姜黄素^[35]。这些天然产物对瘢痕形成的主要机制包括抑制瘢痕成纤维细胞增殖和胶原蛋白生成或通过调节多种途径(如 TGF- β /Smad、MAPK 和 PI3K/Akt 信号通路)诱导细胞凋亡^[35]。部分新型天然产品在体外和体内模型中亦被证明具有抗瘢痕形成的特性,如贯叶连翘中的高贯叶素、光甘草定中的光果甘草,但尚需进一步完善研究,以证明其有效性及安全性^[35]。

2.2.5.8 纳米技术 随着纳米技术的迅速发展,利用纳米微针、光敏剂介导的光动力学、生物电刺激和 3D 打印敷料等新型纳米技术治疗病理性瘢痕引起广泛关注^[36]。纳米脂肪和工程化外泌体等纳米级填充剂的干预可以增强药物吸收,稳定和保障药物的有效成分,延缓或控制药物释放,进而提高生物利用度,应用前景广^[36]。近期研究表明, β -谷甾醇可抑制病灶内成纤维细胞自噬并诱导其发生凋亡,进而抑制胶原蛋白沉积,促进增生期瘢痕消退并重塑,但因其水溶性

差、理化性质不稳定等缺陷,临床应用受到限制^[37]。张斐等^[37]制备具有药物缓释功能的载 β -谷甾醇纳米颗粒进行动物实验,结果表明,改良后的载 β -谷甾醇纳米颗粒具有较高水溶性和水分散性,可提高 β -谷甾醇的生物利用度。

3 小结和展望

在伤口愈合和瘢痕形成早期,以预防瘢痕增生和缓解患者不适症状为主要治疗方向,目前临床上多使用外用药物、PDL 激光和放射性疗法等干预。在瘢痕成熟期,以去除或减少瘢痕厚度、面积为主要目的,临床常以手术切除、注射、CO₂ 激光等方式治疗。其中手术方案能直接切除瘢痕,高效但复发率高。注射方案短期效果明显,但治疗周期长。激光和放射治疗疗效明显,但患者易出现耐受性差的情况。

传统的西医治疗存在疗效有限、不良反应大或复发率高的缺陷。新型生物材料和纳米技术为病理性瘢痕的治疗提供了新的应用前景。或许在不久的将来,临床上使用纳米或生物敷料预防瘢痕增生,载药纳米颗粒可提高药物的生物利用度以促进瘢痕消退,将更高效便捷。

参考文献

[1] 胡智瀚,王钰链,崔振芸,等. 病理性瘢痕的注射治疗进展[J]. 中国美容医学,2024,33(1):191-194.

[2] FRECH F S,HERNANDEZ L,URBONAS R,et al. Hypertrophic scars and keloids: advances in treatment and review of established therapies[J]. Am J Clin Dermatol, 2023,24(2):225-245.

[3] 韩建素,李芳,邓呈亮. 不同程度皮肤外翻缝合对股前外侧皮瓣供区切口瘢痕影响的前瞻性随机对照研究[J]. 中国修复重建外科杂志,2024,38(11):1386-1390.

[4] LAZAR H L,MCCANN J,FITZGERALD C A,et al. Adhesive strips versus subcuticular suture for median-sternotomy wound closure[J]. J Card Surg,2011,26(4):344-347.

[5] 王阳阳. 手术联合放疗治疗瘢痕疙瘩的临床效果分析[D]. 郑州:郑州大学,2020.

[6] 王勇,赵娅琳,林艳,等. A 型肉毒毒素防治病理性瘢痕的研究进展[J]. 临床外科杂志,2024,32(12):1333-1336.

[7] JIANG B H,ZHANG J T,YANG W J,et al. Comparison of dual-plane micro-drop injection of botulinum toxin type A with two traditional methods for treating hypertrophic scars in the tension zone:a long-term clinical application study[J]. J Cosmet Dermatol,2024,23(10):3182-3188.

[8] MURAKAMI T,SHIGEKI S. Pharmacotherapy for keloids and hypertrophic scars[J]. Int J Mol Sci,2024,25(9):4674.

[9] 王瑞,于飞,刘太宾,等. 重组人干扰素 α -2b 抑制瘢痕成纤维细胞的增殖及迁移作用[J]. 中国组织工程研究,2022,26(29):4611-4615.

[10] RONG X K,TANG J Z,YANG J Z,et al. Immediate SVF-Gel injection reduced incision scar formation:a prospective, double-blind, randomized, self-control trial[J].

Aesthetic Plast Surg, 2024, 48(16):3147-3153.

[11] FOPPIANI J A, KHAITY A, AL-DARDERY N M, et al. Laser therapy in hypertrophic and keloid scars: a systematic review and network meta-analysis[J]. Aesthetic Plast Surg, 2024, 48(19):3988-4006.

[12] RUTNIN S, YONGPISARN T, SAKPUWADOL N, et al. Efficacy and safety of 1064-nm fractional picosecond laser for the treatment of postmastectomy scars in transgender men: a randomized controlled trial[J]. Lasers Surg Med, 2024, 56(4):337-345.

[13] GHANI H, PODWOJNIAK A, GHOFRANI S, et al. A review of energy-based device interventions to treat keloid scars[J]. J Drugs Dermatol, 2024, 23(11):998-1002.

[14] GRIGORYAN K V, FUSCO I, RONCONI L, et al. Laser therapy for effective treatment of facial traumatic hypertrophic scar: a case report[J]. Am J Case Rep, 2024, 25: e942706.

[15] DENG H, TAN T, LUO G, et al. Vascularity and thickness changes in immature hypertrophic scars treated with a pulsed dye laser[J]. Lasers Surg Med, 2021, 53(7):914-921.

[16] MANKOWSKI P, KANEVSKY J, TOMLINSON J, et al. Optimizing radiotherapy for keloids: a meta-analysis systematic review comparing recurrence rates between different radiation modalities[J]. Ann Plast Surg, 2017, 78(4):403-411.

[17] LEE S Y, PARK J. Postoperative electron beam radiotherapy for keloids: treatment outcome and factors associated with occurrence and recurrence[J]. Ann Dermatol, 2015, 27(1):53-58.

[18] 陈向军, 于丽, 姚尧, 等. 不同方法联合放疗治疗薄型瘢痕疙瘩的疗效及对 MMPs、HIF-1 α 、TGF- β 1 的影响[J]. 临床和实验医学杂志, 2024, 23(9):995-999.

[19] 赵亚楠, 曾明凤, 雷子贤, 等. 耳部瘢痕疙瘩核切除联合术后放疗的临床研究[J]. 中国美容医学, 2023, 32(10):13-15.

[20] 夏照帆, 吕开阳. 中国临床瘢痕防治专家共识[J/CD]. 中华损伤与修复杂志(电子版), 2017, 12(6):401-408.

[21] DE OLIVEIRA G V, NUNES T A, MAGNA L A, et al. Silicone versus nonsilicone gel dressings: a controlled trial[J]. Dermatol Surg, 2001, 27(8):721-726.

[22] ZOU Y, MAO Z T, ZHAO C Y, et al. Fish skin dressing for wound regeneration: a bioactive component review of omega-3 PUFAs, collagen and ECM[J]. Int J Biol Macromol, 2024, 283(Part 3):137831.

[23] MOGHIMI M H, SALEHIAN M, ABDI M, et al. The impact of an open-label design on human amniotic membranes vs. Silver sulfadiazine dressings for second-degree burns: a randomized controlled clinical trial[J]. BMC Surg, 2024, 24(1):309.

[24] MESECI E, KAYATAS S, API M, et al. Comparison of the effectiveness of topical silicone gel and corticosteroid cream on the pfannenstiell scar prevention: a randomized controlled trial[J]. Ginekol Pol, 2017, 88(11):591-598.

[25] KIM H J, KIM Y H. Comprehensive insights into keloid pathogenesis and advanced therapeutic strategies[J]. Int J Mol Sci, 2024, 25(16):8776.

[26] KHATTAB F M, BESSAR H, KHATER E M. Keloid therapy: a neoteric comparative study[J]. J Cosmet Dermatol, 2022, 21(9):3962-3969.

[27] 杨茹茜, 王雪, 杨琴, 等. 中频电治疗烧伤后增生性瘢痕的临床疗效观察[J]. 解放军医学院学报, 2022, 43(3):308-311.

[28] GILI N, MICALLEF S K, LAYBATS F, et al. The role of extracorporeal shock wave therapy in keloids and hypertrophic scars: a systematic review[J]. Cureus, 2024, 16(10):e71869.

[29] LIU L, LI H Z, ZHANG W, et al. Betamethasone transdermal administration combined with fractional Er:YAG lasers or microplasma radiofrequency technology improved hypertrophic scars: a retrospective study[J]. J Cosmet Dermatol, 2024, 23(8):2563-2573.

[30] ZHAO J C, ZHANG B R, HONG L, et al. Extracorporeal shock wave therapy with low-energy flux density inhibits hypertrophic scar formation in an animal model[J]. Int J Mol Med, 2018, 41(4):1931-1938.

[31] LEE S Y, CHO Y S, SEO C H, et al. Clinical utility of extracorporeal shock wave therapy in restoring hand function of patients with nerve injury and hypertrophic scars due to burns: a prospective, randomized, double-blinded study[J]. Int J Surg, 2024, 110(12):7487-7494.

[32] HWANG S J, SEO J S, CHA J Y, et al. Utility of customized 3D compression mask with pressure sensors on facial burn scars: a single-blinded, randomized controlled trial[J]. Burns, 2024, 50(7):1885-1897.

[33] MOORTGAT P, MEIRTE J, VAN DAELE U, et al. Vacuum massage in the treatment of scars//textbook on scar management: state of the art management and emerging technologies[M]. In: Springer, 2020.

[34] HUMBERT P, FANIAN F, LIHOREAU T, et al. Mécano-stimulationTM of the skin improves sagging score and induces beneficial functional modification of the fibroblasts: clinical, biological, and histological evaluations[J]. Clin Interv Aging, 2015, 10:387-403.

[35] MEETAM T, ANGSPATT A, ARAMWIT P. Evidence of potential natural products for the management of hypertrophic scars[J]. J Evid Based Integr Med, 2024, 29: 2515690X241271948.

[36] CHEN Z, GAO J, LI L. New challenges in scar therapy: the novel scar therapy strategies based on nanotechnology[J]. Nanomedicine(Lond), 2024, 19(28):2413-2432.

[37] 张斐, 左俊. 载 β -谷甾醇介孔硅纳米颗粒抑制大鼠增生性瘢痕[J]. 中国组织工程研究, 2025, 29(34):7301-7309.