

DOI: 10.3969/j.issn.1004-4949.2025.07.047

二氧化碳点阵激光治疗烧伤瘢痕的研究进展

吴迎, 李锋, 杨磊, 蒋章佳

(浏阳市人民医院整形外科, 湖南 浏阳 410300)

[摘要] 烧伤瘢痕是机体在烧伤后, 皮肤组织自我修复过程中形成的异常组织。瘢痕一旦过度增生, 不仅会严重损害患者的外观形象, 还会极大限制肢体的正常功能, 进而显著降低患者的生活质量。近年来, 随着光电技术的发展, 二氧化碳点阵激光被广泛应用于瘢痕治疗领域。二氧化碳点阵激光属于微创、高效的治疗手段, 同时也是烧伤瘢痕重要治疗方法。二氧化碳点阵激光通过激发皮肤的再生修复机制, 能够精确地去除病变组织, 促进瘢痕的软化、平整及功能恢复。本文对二氧化碳点阵激光的治疗原理、技术特点以及在烧伤瘢痕治疗中的临床应用作一综述, 分析不同瘢痕类型对应的治疗方案和效果, 以期能够为临床相关学者提供理论支持和实践指导。

[关键词] 二氧化碳点阵激光; 烧伤瘢痕; 增生性瘢痕

[中图分类号] R644; R619+6

[文献标识码] A

[文章编号] 1004-4949 (2025) 07-0191-04

Research Progress of Fractional Carbon Dioxide Laser in the Treatment of Burn Scar

WU Ying, LI Feng, YANG Lei, JIANG Zhangjia

(Department of Plastic Surgery, the People's Hospital of Liuyang, Liuyang 410300, Hunan, China)

[Abstract] Burn scar is an abnormal tissue formed during the self-repair process of skin tissue after burn. Once the scar undergoes excessive hyperplasia, it will not only seriously damage the appearance of patients, but also greatly limit the normal function of the limbs, thus significantly reducing the quality of life of patients. In recent years, with the development of optoelectronic technology, fractional carbon dioxide laser has been widely used in the field of scar treatment. Fractional carbon dioxide laser is a minimally invasive and highly efficient treatment method, and it is also an important treatment method for burn scar. By stimulating the regeneration and repair mechanism of the skin, fractional carbon dioxide laser can accurately remove the diseased tissue, and promote the softening, flattening and functional recovery of the scar. This paper reviews the treatment principle, technical characteristics and clinical application of fractional carbon dioxide laser in the treatment of burn scar, and analyzes the corresponding treatment plans and effects for different scar types, in order to provide theoretical support and practical guidance for relevant clinical scholars.

[Key words] Fractional carbon dioxide laser; Burn scar; Hypertrophic scar

随着烧伤治疗技术的不断进步, 烧伤后的治疗逐渐从初期创面修复向瘢痕干预转变。瘢痕的形成不仅影响患者的外观, 往往还会导致功能障碍, 严重者甚至影响生活质量, 对于深度烧伤患者而言, 瘢痕的形成与愈合过程中皮肤结构和功能性会发生改变, 这也是临床治疗难题^[1]。目前关于烧伤瘢痕的治疗方式比较多, 涉及到手术治

疗、药物治疗以及物理治疗等, 但是上述方法均有一定局限性, 例如手术创伤较大、药物副作用明显、物理治疗恢复缓慢等。激光治疗属于一种微创、精确且安全的治疗方式, 在瘢痕修复方面有着比较突出的治疗优势。目前, 二氧化碳点阵激光因其作用机制, 在皮肤治疗领域尤其在瘢痕修复中得到广泛关注。二氧化碳激光的能量可以

第一作者: 吴迎 (1990.9-), 男, 湖南浏阳人, 硕士, 主治医师, 主要从事瘢痕、皮肤肿瘤方面研究

通讯作者: 蒋章佳 (1970.12-), 男, 湖南浏阳人, 本科, 主任医师, 主要从事整形外科方面研究

通过气化作用精确地去除病变组织, 激发皮肤再生修复机制, 从而在不损伤周围正常组织的情况下促进瘢痕的软化、平整及功能恢复。本文旨在探讨二氧化碳点阵激光在烧伤瘢痕治疗中的应用现状与研究进展, 以期能够为临床医生在使用该技术时提供理论支持和参考依据。

1 烧伤瘢痕的基本病理

烧伤瘢痕形成过程属于一个比较复杂的生物学过程, 涉及皮肤创面的愈合机制。烧伤创面愈合一般分为炎症期、增生期和成熟期3个阶段, 在整个过程中瘢痕组织不仅会因伤口愈合过程而受到影响, 同时还和局部的炎症反应、细胞增生、细胞外基质的重塑等密切相关。

1.1 瘢痕的形成机制 烧伤后皮肤损伤的同时还会导致血管破裂、细胞坏死及组织缺氧, 此时会进入到炎症期, 这一阶段血小板与白细胞会聚集促进血块形成, 从而释放细胞因子和生长因子, 这些因子调节后续修复过程。在进入增生期时成纤维细胞和角化细胞增生, 此时会形成新的基质和上皮层, 成纤维细胞会分泌大量胶原蛋白, 从而导致瘢痕组织增生最终进入成熟期, 这一阶段也是瘢痕的主要重塑阶段, 胶原蛋白开始交联并重新排列, 瘢痕逐渐成熟、收缩^[2]。对于部分烧伤患者而言, 在伤口愈合过程中无法完全恢复到正常的组织结构与功能, 此时便会形成明显的瘢痕。

1.2 瘢痕的类型与特点 根据烧伤的深度与愈合过程可以将瘢痕划分为不同的类型。增生性瘢痕的表现在于过度的胶原沉积, 外部呈现出红色或紫色且带有瘙痒症状, 这一类型的瘢痕会随着时间延长而不断增生, 甚至还有可能引发功能性障碍^[3]。瘢痕疙瘩属于一种较为严重的类型, 瘢痕疙瘩不仅体积更大, 同时还存在扩展性与复发性, 对于患者的日常生活影响最为严重。萎缩性瘢痕属于比较常见的瘢痕类型, 一般发生在浅表性烧伤患者中, 瘢痕组织较为软弱, 且无法完全恢复皮肤的厚度和结构, 往往呈现出平坦与凹陷的外观^[4]。

1.3 瘢痕的临床表现 烧伤瘢痕的疾病表现不仅体现在外观方面, 还体现在皮肤功能缺损方面。瘢痕的厚度、硬度、弹性以及颜色等多方面均有明显的表现, 而患者的功能障碍主要体现在关节功能障碍、皮肤紧绷等方面, 但许多患者因为瘢痕的存在心理压力较大, 此时便会出现焦虑、抑郁等情绪问题, 从而严重影响患者的生活质量^[5]。

2 二氧化碳点阵激光治疗原理与技术

2.1 激光的基本原理 二氧化碳激光是一种可用于皮肤治疗的气体激光, 基本原理是采用激光物理学中的“受激辐射”现象。二氧化碳激光器以二氧化碳气体作为激发介质, 激光的波长为 $10.6\ \mu\text{m}$, 这一波长位于红外光谱范围内, 与可见光相比红外光波长较长, 能够被皮肤的水分吸收, 所以二氧化碳激光在皮肤组织中的光热效应尤为显著^[6]。二氧化碳激光通过激发二氧化碳分子产生受激辐射, 进而产生高能激光束, 这一激光束能够穿透皮肤表面, 被皮肤组织中的水分强烈吸收后转化为热能, 导致局部组织的热解作用, 在局部形成高温后便能够选择性的去除病变组织或诱发热损伤, 从而促进皮肤快速修复并再生^[7]。

2.2 点阵激光技术的特点 点阵激光技术是一种在传统二氧化碳激光基础上进一步改善的治疗技术, 传统二氧化碳激光主要是以连续的激光束对整个治疗区域进行照射, 这种照射治疗方式会导致较大面积且严重的热损伤, 再加上治疗精度不够, 所以会一定程度损伤正常皮肤^[8]。点阵激光采用分束方式, 能够将激光束划分为多个微小的激光点, 从而形成点阵的照射形式。点阵激光的优势在于能够精确地控制激光点的大小、间隙以及照射的深度, 能够促使激光能量集中在非常小的范围内, 每一个激光点在皮肤的表面会留下非常小的治疗孔, 此时可以通过孔形成的局部热效应达到对皮肤修复过程的刺激^[9]。由于点阵激光在治疗期间只有部分皮肤组织会受到直接照射, 此时周围正常组织能够得到保护, 可避免传统激光治疗所导致的热损伤问题。

2.3 治疗机理 二氧化碳点阵激光治疗烧伤瘢痕的机制主要体现在多个方面: ①光热效应促进局部组织热损伤: 点阵激光照射后激光束通过水分吸收转化为热能, 局部组织的高温效应能够引发热损伤; 虽然热损伤非常微小, 但是能够打破原本瘢痕组织的胶原网络, 促使胶原蛋白可以顺利重塑, 从而达到软化瘢痕的目的; ②诱导皮肤再生反应: 微小激光照射孔洞通过对皮肤的微创刺激, 能够达到局部组织再生促进作用; 受损的皮肤组织会通过刺激角质形成细胞、成纤维细胞和基底细胞的增殖来促进创面愈合, 整个过程不仅能够加快新生组织的修复速度, 还能够促使胶原蛋白逐渐合成与交联, 从而达到修复与软化瘢痕的目的; ③增强皮肤弹性和恢复功能: 点阵激光

通过促进皮肤新生和纤维化重塑,能够促使皮肤的厚度、弹性和强度得到改善;对于深度烧伤瘢痕患者而言,激光治疗可以有效改善皮肤的质地,能够促使皮肤质地更加平滑、柔软,从而减少因瘢痕导致的功能障碍;④改善色素问题:二氧化碳激光的热效应能够有效改善烧伤瘢痕中的色素沉着问题,激光能够选择性地破坏局部的色素细胞,帮助恢复瘢痕区的色素平衡,从而避免过度色素沉着以及色素脱失等问题。

3 二氧化碳点阵激光在烧伤瘢痕治疗中的应用

3.1 早期与晚期治疗效果 二氧化碳点阵激光在烧伤瘢痕治疗中的效果很大程度上决定于瘢痕形成过程,按照烧伤瘢痕的生物学特点,在合适时机采用二氧化碳点阵激光治疗对于治疗效果有着决定性影响。烧伤后的瘢痕普遍分为增生期与成熟期,激光治疗的效果在不同阶段存在一定的差异。增生期也就是早期,在烧伤创面愈合增生期,往往会形成红肿、硬化和增生性瘢痕,这一阶段是二氧化碳点阵激光治疗的最佳时机,因为这一阶段瘢痕组织较为松软,同时修复能力加强,激光能够打破过度增生胶原纤维,促进胶原蛋白重塑,改善瘢痕弹性与厚度,从而预防瘢痕持续增生。成熟期也就是晚期,对于已经进入成熟期的瘢痕,皮肤修复过程会逐渐稳定,瘢痕的硬度与功能障碍便会尤为明显,此时激光治疗通过刺激皮肤的新陈代谢,能够改善瘢痕色素沉着与皮肤表面的粗糙度。韦汝静^[10]研究指出,点阵激光可用于萎缩性瘢痕的治疗,虽然晚期治疗的效果往往不足早期,但是通过点阵激光能够软化老化瘢痕,从而平滑表面,避免因瘢痕而诱发的功能障碍。

3.2 不同治疗方案 二氧化碳点阵激光治疗烧伤瘢痕期间需要按照瘢痕的类型、治疗阶段以及皮肤状况调整治疗方案,不同的激光治疗参数、频率会直接影响治疗效果,因此根据患者个体状况制定针对性的治疗方案尤为重要。激光功率是影响治疗深度与热损伤程度的重点,对于较浅的烧伤瘢痕可以选择较低的激光功率,能够在达到理想疗效的同时减轻过度热损伤问题。对于深度烧伤瘢痕,往往需要更高的功率才能够达到理想疗效,常用的功率普遍在10~20 W。二氧化碳点阵激光治疗烧伤瘢痕需要重复多次才可以达到理想疗效,一般建议治疗间隔维持在4~6周,为皮肤

提供充足时间进行再生修复与重塑,治疗的次数普遍在3~6次,具体次数需要按照治疗后瘢痕的反应与修复的进程而决定。点阵激光的密度和深度会影响治疗的效果以及皮肤修复时间,高密度的点阵激光能够形成更多的微小伤口,从而促进胶原蛋白的合成,但是也会间接提升恢复时间。低密度的点阵激光通过浅层治疗,此时恢复时间更短。治疗的深度调整需要按照瘢痕的深度以及治疗区域的皮肤厚度而决定。对于不同的瘢痕类型需要采取对应的治疗方案,下面根据常见的瘢痕类型探讨其对应治疗方案:①增生性瘢痕:有研究认为^[11],较高的激光功率和较深的治疗深度能显著改善瘢痕的外观与质地,激光功率设定在15~20 W时治疗深度可达到1.5~2 mm,此时便可以打破过度增生的胶原纤维;有研究认为^[12],每次间隔4周,在治疗6次时80%的增生性瘢痕的瘢痕厚度平均减少35%以上,同时瘢痕颜色趋于正常;治疗频次可以根据患者的恢复情况进行逐步调整;针对增生性瘢痕早期治疗效果最为显著,在治疗第3个月时患者瘢痕红肿与硬度会明显减轻;②瘢痕疙瘩:瘢痕疙瘩普遍更加顽固,在治疗期间需要更高的功率与更具针对性的治疗方案;有研究认为^[13],使用20~25 W的激光功率和2~2.5 mm的治疗深度对瘢痕疙瘩效果较好,同时治疗间隔可以适当延长至6~8周,以此避免过度刺激导致瘢痕再度增生;有研究入选的瘢痕疙瘩患者在经过6次治疗后约70%的患者报告瘢痕体积减少超过50%,同时瘢痕硬度有所下降^[14];在瘢痕疙瘩治疗期间除了激光治疗以外还需要适当结合局部压力与其他辅助性治疗方法,以此避免瘢痕反弹的问题^[15, 16];③萎缩性瘢痕:萎缩性瘢痕的治疗重点在于促进皮肤的重建和厚度增加,这一类瘢痕的治疗普遍以10~12 W的低功率与1 mm的浅深度为原则^[17, 18];较低功率与浅层治疗能够刺激皮肤新生和增厚,能够改善皮肤表面结构;对于萎缩性瘢痕治疗方案普遍为3次,每次治疗间隔6周,能够有效改善瘢痕区域的厚度,以此改善皮肤的弹性与光滑度。

4 二氧化碳点阵激光治疗烧伤瘢痕的未来发展方向

4.1 技术创新 伴随着临床医疗技术持续发展,二氧化碳点阵激光技术也会不断成熟,目前来看激光的精准度和深度调控能力属于研究重要方向,通过智能感应系统,激光设备能够根据皮肤厚度



和病变情况自动调整治疗参数,从而实现个性化治疗。随着激光治疗设备的自动化程度不断提升,临床人为误差操作风险能够得到有效控制。另外,激光和其他治疗方式的结合也是重要研究方向,例如二氧化碳点阵激光和药物的结合应用能够达到更加显著的治疗效果,通过药物进入与电穿孔能够促使药物达到伸出,从而提升药物渗透性,保障整体疗效。与此同时,激光和生物治疗的结合,例如干细胞、PRP等治疗方案也是烧伤瘢痕的重要研究方向,这一种结合治疗能够更好地促进皮肤修复并加快瘢痕软化与重塑效率^[19]。

4.2 跨学科合作 二氧化碳点阵激光的应用不仅局限在皮肤科,同时在整形外科、激光医疗、物理治疗等不同学科之间具备协同合作关系,跨学科的合作方式能够推动不同领域的融合发展,从而推动临床中的应用。例如,整形外科与激光治疗的结合,能够根据烧伤的实际情况指定治疗方案,达到理想的美容修复效果^[20]。

5 总结

二氧化碳点阵激光属于微创、高效的烧伤瘢痕治疗方式,本文重点探讨了二氧化碳点阵激光的治疗原理与技术特点以及在烧伤瘢痕中的具体应用。二氧化碳点阵激光能够有效改善烧伤瘢痕的外观和功能,在减少瘢痕厚度、软化硬化组织以及恢复皮肤弹性方面有着较为突出的疗效。二氧化碳点阵激光技术仍有很大的发展空间,技术的创新能够有效提升整体疗效。整体而言,二氧化碳点阵激光在烧伤瘢痕治疗中的应用前景广阔,随着技术的不断进步能够为更多烧伤患者提供专业支持,以此改善患者的整体疗效。

[参考文献]

[1]赵筱卓,沈余明.不同部位烧伤瘢痕癌的外科治疗策略[J].中国现代手术学杂志,2024,28(2):120-127.

[2]吴丽微,张军飞.体外冲击波疗法对烧伤瘢痕疼痛患者的镇痛效果[J].中国乡村医药,2024,31(20):13-14.

[3]李然春.皮肤软组织扩张术用于烧伤瘢痕整形的临床观察[J].实用中西医结合临床,2024,24(22):63-65,89.

[4]庄金磊,黄海,刘唱,等.手术治疗烧伤瘢痕癌多次复发1例并文献复习[J].中国医疗美容,2023,13(12):37-40.

[5]李永林,陈璧,徐明达.烧伤后创面成纤维细胞的转归

规律及其与瘢痕形成的关系[J].第四军医大学学报,1999,20(5):434-436.

[6]吴义方,利天增,吴强,等.增生性烧伤瘢痕成纤维细胞的超微结构研究[J].电子显微学报,2004,23(2):112-115.

[7]杨娥,张恒术.烧伤创面愈合后瘢痕组织成纤维细胞DNA甲基化初步研究[J].中国烧伤创疡杂志,2015,27(3):219-223.

[8]金俊杰,郑振龙,金哲虎.瘢痕疙瘩的信号传导通路及相应基因治疗[J].中国皮肤性病杂志,2024,38(6):602-607.

[9]邵攀望.超脉冲CO₂点阵激光联合浓缩生长因子治疗面部萎缩性痤疮瘢痕的临床效果观察[D].湛江:广东医科大学,2024.

[10]韦汝静.微针或CO₂点阵激光联合PRP治疗痤疮后萎缩性瘢痕的疗效比较研究[D].湛江:广东医科大学,2024.

[11]刘兵,冯珺,余贺玲.微孔点阵激光联合表皮生长因子对面面部痤疮凹陷性瘢痕患者美容评分及皮肤屏障功能的影响[J].临床和实验医学杂志,2024,23(9):999-1002.

[12]白谕,冯莹莹,李茉.点阵CO₂激光与Nd:YAG激光治疗痤疮凹陷性瘢痕的对比研究[J].中国美容医学,2024,33(5):99-102.

[13]王丰艳,臧春雁,刘鹏.点阵CO₂激光联合曲安奈德治疗烧伤后增生性瘢痕的疗效及对血清瘢痕增生相关因子水平的影响[J].中国美容医学,2024,33(9):92-96.

[14]李修权,张驰,刘浩,等.不同能量下超脉冲点阵CO₂激光对兔耳增生性瘢痕胶原代谢的影响及作用机制[J].中国美容医学,2024,33(12):11-14.

[15]周丽娜,汤勇,刘文军.聚氨酯泡沫敷料在点阵激光治疗面部颈部增生性瘢痕辅助治疗中的疗效观察[J].中国医疗美容,2022,12(2):38-41.

[16]雷艳,王霞,王耀华,等.中药黑膏联合压力疗法治疗增生性瘢痕的疗效观察[J].世界中西医结合杂志,2024,19(5):963-966,970.

[17]胡雅坤,陈梅,杨海晶,等.微针射频与二氧化碳点阵激光治疗面部萎缩性痤疮瘢痕的前瞻性半脸对照研究[J].临床皮肤科杂志,2024,53(8):466-469.

[18]邹松云,刘阳,陈彬雄,等.532 nm调Q激光联合疤痕止痒软化乳膏治疗烧伤后细小的增生和萎缩性瘢痕疗效及美观性[J].江西医药,2024,59(2):210-212,218.

[19]林玫伶,谢君,林德基,等.以富血小板血浆(PRP)为基础的联合疗法治疗痤疮萎缩性瘢痕的疗效观察[J].中国医疗美容,2019,9(12):78-82.

[20]刘艳洁.PRP应用于慢性难愈性创面的疗效分析及PRP对血清IL-6和IGF-1的影响[D].百色:右江民族医学院,2024.