

自体脂肪移植治疗烧伤后瘢痕增生的研究

金少华 杨 涛 王熙庭
石嘴山市第一人民医院 宁夏 石嘴山 753200

摘要：本文旨在系统阐述自体脂肪移植治疗烧伤后瘢痕的基础理论、作用机制、临床应用、标准化操作流程、疗效评价体系、潜在并发症及风险管理，并展望其未来发展方向。通过整合现有研究证据，本文认为自体脂肪移植不仅能通过物理填充改善瘢痕导致的组织缺损和轮廓畸形，更能通过其所含的脂肪来源干细胞（Adipose-Derived Stem Cells, ADSCs）及其分泌的多种生物活性因子，发挥抗炎、抗纤维化、促进血管新生和胶原重塑等多重生物学效应，从而从病理层面改善瘢痕质地、弹性和色泽。随着纳米脂肪、SVF-gel等衍生技术的成熟以及外泌体等无细胞疗法的兴起，自体脂肪移植正朝着更精准、高效、安全的方向发展，有望成为烧伤后瘢痕综合治疗体系中的核心组成部分。

关键词：自体脂肪移植；烧伤后瘢痕；脂肪来源干细胞；再生医学

引言

烧伤作为常见创伤性疾病，全球每年有数百万人受影响。虽救治水平提升使患者生存率提高，但烧伤后遗症，尤其是病理性瘢痕形成，严重影响患者长期生活质量。烧伤后瘢痕会改变局部皮肤颜色、质地与弹性，严重者形成增生性瘢痕或瘢痕疙瘩，伴有疼痛、瘙痒等症状，还会导致关节活动受限、器官功能障碍及心理社会问题。目前，烧伤后瘢痕治疗手段分非手术和手术疗法。非手术疗法如压力衣、硅酮产品等，起效慢、疗程长且效果有限；手术疗法虽能切除瘢痕组织，但新创面愈合可能再次形成瘢痕，且无法解决深层组织容量缺失问题。在此情形下，再生医学为瘢痕治疗带来新思路。自体脂肪移植最初用于美容填充，因无免疫排斥、来源丰富，兼具填充与修复功效，逐渐应用于瘢痕修复。基础研究和临床实践表明，自体脂肪移植是富含多种成分的“生物活性库”，能调控瘢痕微环境，逆转病理性瘢痕形成。因此，深入研究自体脂肪移植在烧伤后瘢痕治疗中的应用，对优化治疗方案、改善患者预后意义重大。

1 自体脂肪移植的作用机制

自体脂肪移植对烧伤后瘢痕的治疗作用远超其单纯的体积填充效应，其核心在于其所蕴含的复杂生物学活性。其作用机制主要体现在以下几个方面：

1.1 免疫调节与抗炎作用

烧伤后持续的慢性炎症反应是驱动瘢痕过度增生的关键因素。自体脂肪移植中的ADSCs具有强大的免疫调节能力。它们能够抑制促炎性M1型巨噬细胞的活化，促进抗炎性M2型巨噬细胞的极化，从而降低局部肿瘤坏

死因子- α （TNF- α ）、白细胞介素-6（IL-6）等促炎因子的水平，同时上调白细胞介素-10（IL-10）等抗炎因子的表达^[1]。这种免疫微环境的重塑有效遏制了炎症对成纤维细胞的过度刺激，为瘢痕的良性转归创造了条件。

1.2 抗纤维化与胶原重塑

病理性瘢痕的本质是细胞外基质，尤其是I型胶原蛋白的过度沉积和异常排列。ADSCs及其分泌的旁分泌因子（如肝细胞生长因子HGF、转化生长因子- β 3 TGF- β 3）能够直接抑制瘢痕成纤维细胞的增殖和向肌成纤维细胞的分化，并下调促纤维化的TGF- β 1/Smad信号通路的活性。同时，它们还能促进基质金属蛋白酶（MMPs）的表达，加速异常胶原的降解，并引导新生成的胶原纤维以更接近正常皮肤的方式有序排列，从而改善瘢痕的硬度、弹性和外观。

1.3 促进血管新生与组织再生

良好的血供是组织修复和维持移植存活的基础。自体脂肪移植中的ADSCs和内皮祖细胞能够分泌血管内皮生长因子（VEGF）、成纤维细胞生长因子（FGF）等多种促血管生成因子，刺激新生毛细血管的形成。这不仅为移植的脂肪细胞提供了必要的营养和氧气，提高了其存活率，也改善了瘢痕组织原本贫乏的血运，使其颜色更接近正常皮肤，并增强了组织的代谢和修复能力。

1.4 抗氧化应激损伤

烧伤后的氧化应激状态会加剧组织损伤和纤维化进程。研究表明，ADSCs具有清除活性氧（ROS）的能力，并能上调抗氧化酶（如超氧化物歧化酶SOD）的活性，减轻氧化应激对细胞和组织的损害，进一步保护修复中的组织免受二次伤害。

综上所述，自体脂肪移植通过多靶点、多通路的协

宁夏医科大学校级科研项目名称：自体脂肪移植治疗烧伤后瘢痕增生的研究(科研项目编号：XM2022150)

同作用，从炎症、纤维化、血管化和氧化应激等多个维度干预瘢痕的病理过程，实现了从“被动填充”到“主动修复”的范式转变。

2 临床应用与技术演进

自体脂肪移植治疗烧伤后瘢痕的临床应用已日趋成熟，其技术本身也在不断演进，以追求更高的疗效和安全性。

2.1 适应症与禁忌症

主要适用于烧伤后稳定的增生性瘢痕、萎缩性瘢痕、瘢痕挛缩导致的功能障碍、以及因皮下组织缺失造成的凹陷性畸形。尤其对于面部、手部等功能和美学要求高的区域，AFG优势显著^[2]。禁忌症包括全身性感染、凝血功能障碍、局部皮肤存在活动性感染或恶性肿瘤、以及患者对自身脂肪存在吸收过快的病史等。

2.2 标准化操作流程

一个成功的自体脂肪移植手术通常遵循“三低三多”原则（低负压抽吸、低速离心、多层次多隧道多点注射），其核心步骤包括：（1）脂肪获取：通常选择腹部、大腿等脂肪丰富且隐蔽的部位，在肿胀麻醉下，使用钝头、小孔径（2-3mm）的吸脂针，以低负压（<20ml注射器手动抽吸）方式获取脂肪，以最大限度减少对脂肪细胞的机械损伤^[3]。（2）脂肪处理：获取的脂肪需经过纯化处理以去除血液、油脂和破碎细胞碎片。常用方法包括静置沉淀法、离心法（如Coleman技术，通常1200-3000rpm离心3分钟）和洗涤法。近年来，更精细的处理技术如纳米脂肪（Nanofat）和SVF-gel的制备，进一步提升了移植物的活性和适用范围。纳米脂肪将纯化后的脂肪通过两个10ml注射器间的连接器反复推注乳化，再经微滤网过滤，得到不含完整脂肪细胞、但富含ADSCs和SVF的乳糜状液体。因其颗粒极细，适用于真皮层注射，改善瘢痕质地和色素沉着。SVF-gel通过多次高速离心和物理乳化，从脂肪组织中提取出高度浓缩的、富含ADSCs、ECM和生长因子的凝胶状物质。其体积稳定性好，存活率高，特别适合精确填充凹陷性瘢痕。（3）脂肪注射：采用多隧道、多层次、多点微量注射技术，将处理好的脂肪均匀地注入瘢痕深部及周围组织。避免单点大量注射，以确保移植植物能充分接触受区血管床，获得良好血供，提高存活率。

2.3 联合治疗策略

单一疗法往往难以满足复杂的瘢痕修复需求。自体脂肪移植常与其他疗法联合应用，以达到协同增效的目的。例如：（1）联合激光治疗：先进行点阵激光或脉冲染料激光治疗，松解瘢痕组织、改善血运，为后续脂肪

移植创造更有利的微环境。临床研究显示，AFG联合序贯激光治疗在改善mVSS评分、瘢痕厚度和患者满意度方面均优于单一疗法。（2）联合富血小板血浆（PRP）：PRP富含多种生长因子，可与AFG混合注射，进一步促进血管生成和组织修复，加速创面愈合，减少瘢痕形成。

3 疗效评价体系

科学、客观地评估自体脂肪移植的疗效是临床研究和实践的关键。目前，国际上广泛采用以下评价工具：

3.1 温哥华瘢痕量表（Vancouver Scar Scale, VSS）

这是评估烧伤瘢痕最经典、应用最广泛的量表。它从色泽（Pigmentation）、血管分布（Vascularity）、厚度（Height/Pliability）和柔软度（Pliability）四个维度进行量化评分，总分0-13分，分数越高表示瘢痕越严重。改良版（mVSS）在临床研究中也被使用。

3.2 患者与观察者瘢痕评定量表（Patient and Observer Scar Assessment Scale, POSAS）

该量表由患者自评和观察者（通常是医生）他评两部分组成，分别从疼痛、瘙痒、颜色、僵硬、不规则度、厚度等方面进行评分。POSAS更全面地反映了瘢痕对患者生活质量的影响，主观与客观评价相结合，信度和效度较高。

3.3 客观测量指标

（1）超声检查：可精确测量瘢痕的厚度变化。（2）激光多普勒血流仪：用于量化瘢痕组织的血流灌注量，反映其血管化程度。（3）弹性测定仪：评估瘢痕组织的硬度和弹性模量。（4）三维摄影与图像分析：客观记录和分析瘢痕的面积、体积和表面纹理变化。

4 并发症与风险管理

尽管自体脂肪移植相对安全，但仍存在一定的并发症风险，需严格管理和预防。

4.1 常见并发症

感染：是最常见的并发症之一，多因术中无菌操作不严或术后护理不当引起。表现为红、肿、热、痛，严重时形成脓肿。出血与血肿：吸脂或注射过程中损伤血管所致。小血肿可自行吸收，大血肿需穿刺或切开引流。脂肪液化与坏死：由于移植脂肪未能及时建立血供而发生液化坏死，可触及硬结或囊性包块，部分可被吸收，部分需手术清除^[4]。外形不规则：如凹凸不平、双侧不对称等，多与注射技术不当、脂肪吸收不均有关。钙化：液化坏死的脂肪组织机化后可形成钙化灶，在影像学上可见。

4.2 严重但罕见的并发症

（1）脂肪栓塞：脂肪颗粒进入血管并阻塞重要器官

(如肺、脑)的血流,后果极其严重,但发生率极低。严格遵守注射规范(避免高压、避免血管内注射)是预防的关键。

4.3 风险管理策略

严格把握适应症与禁忌症。术前完善检查,评估患者全身状况。术中严格执行无菌操作,采用精细化、低创伤的脂肪获取和注射技术。术后常规预防性使用抗生素,指导患者正确护理。充分告知患者手术风险、预期效果及可能需要多次手术的现实。

5 未来展望

自体脂肪移植在烧伤后瘢痕治疗领域已取得显著进展,但其未来发展仍有广阔空间,主要体现在以下几个方向:

5.1 从细胞疗法到无细胞疗法

虽然ADSCs是AFG发挥疗效的核心,但其临床应用仍面临细胞培养、伦理法规等挑战。近年来,研究焦点正逐渐转向ADSCs的分泌组,特别是外泌体(Exosomes)。外泌体是细胞分泌的纳米级囊泡,携带蛋白质、mRNA、miRNA等生物活性物质,能够介导细胞间通讯。研究表明,ADSCs来源的外泌体同样具有抗炎、抗纤维化和促再生的功能,且作为无细胞产品,其安全性更高、更易于标准化生产和储存,有望成为下一代瘢痕治疗的明星产品。

5.2 生物材料与组织工程的结合

将自体脂肪或其衍生物(如SVF)与生物相容性良好的支架材料(如水凝胶、脱细胞基质)相结合,构建复合组织工程移植体。这种策略不仅能提供即时的体积支撑,还能为干细胞提供理想的三维微环境,引导其定向分化和组织再生,实现更持久、更结构化的修复效果。

5.3 个体化与精准化治疗

随着人工智能(AI)和皮肤生物力学检测技术的发展,未来的瘢痕评估将更加客观、动态和精准。基于大

数据分析,可以为每位患者量身定制最优的脂肪移植方案(如注射量、层次、是否联合其他疗法),实现真正的个体化精准医疗。

5.4 深入机制研究

尽管已有诸多关于AFG作用机制的研究,但其在人体内的具体信号通路、不同亚群细胞的贡献以及长期效应仍需更深入的探索。这将为优化技术、开发新型疗法提供坚实的理论基础。

6 结语

自体脂肪移植作为一种集填充、修复与再生于一体的创新疗法,为烧伤后瘢痕的治疗带来了革命性的突破。其通过物理填充与生物学调控的双重作用,不仅能有效改善瘢痕的外观和轮廓,更能从病理本质上软化瘢痕、缓解症状、恢复功能。随着纳米脂肪、SVF-gel等衍生技术的普及,以及外泌体等前沿领域的探索,自体脂肪移植的疗效和安全性将持续提升。未来,通过多学科交叉融合、技术创新和深入的基础研究,自体脂肪移植必将在烧伤后瘢痕的综合治疗体系中扮演越来越重要的角色,为广大的烧伤患者带来更高质量的康复希望。

参考文献

- [1]王卓辉,王一鸣.自体脂肪移植在二氧化碳点阵激光治疗烧伤后增生性瘢痕中的应用[J].中国医疗美容,2024,14(10):11-14.
- [2]程志华,刘上基.自体脂肪移植联合序贯激光治疗烧伤后增生性瘢痕的效果[J].中国医学创新,2023,20(30):24-27.
- [3]陈思思,邹同荣,李兴波,等.富血小板血浆联合自体脂肪移植修复烧伤难愈创面的临床效果研究[J].中国美容医学,2022,31(04):59-62.
- [4]李平洋,陈大志,季亮.影响老年烧伤患者自体脂肪移植修复效果的相关因素[J].中国老年学杂志,2021,41(16):3474-3477.