

DOI: 10.3969/j.issn.1004-4949.2025.01.047

重组纤连蛋白的抗衰修复机理及在美容医学领域的研究进展

杨艳¹, 吴东旭², 史权¹

(1. 上海东利大健康研究院有限公司, 上海 200062;

2. 上海瞳光闪亮健康科技有限公司, 上海 200062)

[摘要] 重组纤连蛋白作为基因工程的重要产物, 在生物医学领域具有广泛应用潜力。其通过促进胶原蛋白合成、增强细胞黏附、调控炎症反应及血管生成, 在皮肤抗衰、瘢痕修复及创面治疗中展现出良好的效果。重组纤连蛋白能激活PI3K/Akt和Ras/MAPK等信号通路, 促进细胞增殖与分化, 抑制细胞凋亡, 为组织修复提供支持。在医学美容领域, 重组纤连蛋白不仅有助于皮肤屏障修复与抗衰老, 还能改善瘢痕及促进创面愈合。本文旨在分析重组纤连蛋白的抗衰修复机理及在美容医学领域的研究进展, 以期优化rFN表达系统, 探索其联合应用及拓宽应用领域, 为临床治疗提供支持。

[关键词] 重组纤连蛋白; 抗衰修复机理; 医学美容领域; 细胞外基质; 生物活性

[中图分类号] R318.08

[文献标识码] A

[文章编号] 1004-4949(2025)01-0187-04

Study Progress on Anti-aging Repair Mechanism of Recombinant Fibronectin and its Application in Medical Aesthetics

YANG Yan¹, WU Dongxu², SHI Quan¹

(1. Shanghai Dongli Health Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200062, China;

2. Shanghai Tongguang ShanLiang Health Technology Co., Ltd., Shanghai 200062, China)

[Abstract] As an important product of genetic engineering, recombinant fibronectin has extensive application potential in the biological medicine. It shows good effects on skin anti-aging, scar repair and wound treatment by promoting collagen synthesis, enhancing cell adhesion, regulating inflammatory response and angiogenesis. Recombinant fibronectin can activate PI3K/Akt and Ras/MAPK signaling pathways, promote cell proliferation and differentiation, inhibit apoptosis, and provide support for tissue repair. In the field of medical aesthetics, recombinant fibronectin not only contributes to skin barrier repair and anti-aging, but also improves scar and promotes wound healing. The article was aimed at analyzing the study progress on anti-aging repair mechanism of recombinant fibronectin and its application in medical aesthetics, so as to optimize rFN expression system, explore its combination application and broaden its application field, and provide support for clinical treatment.

[Key words] Recombinant fibronectin; Anti-aging repair mechanism; Medical aesthetics; Extracellular matrix; Bioactivity

随着科技的飞速发展, 纤连蛋白作为关键的组织构成元素, 在维持身体结构与功能以及促进组织抗衰修复与构建方面的作用愈发显著, 并引起了广泛的研究关注^[1, 2]。重组纤连蛋白(recombinant fibronectin, rFn)作为通过基因工程技术精确表达与纯化的高级生物材料, 不仅保留了天然纤连蛋白的所有生物学功能, 更

在此基础上展现出优化的特性和增强的效能, 其卓越的生物相容性、稳定性及安全性, 为在医学美容及更广泛的生物医学领域应用奠定了坚实基础^[3, 4]。本文从重组纤连蛋白的基本特性和抗衰修复机理、重组纤连蛋白的基本特性和抗衰修复机理方面展开综述, 以期对相关领域提供一定参考价值。

1 重组纤连蛋白的基本特性和抗衰修复机理

1.1 重组纤连蛋白的基本特性 重组纤连蛋白是一种高度复杂的多功能细胞外基质蛋白,在生物体内具有广泛的分布和多种生理功能^[5-6]。重组纤连蛋白最显著的特征是含有多个结合位点,能够与其他多种分子(如胶原蛋白、透明质酸、生长因子等)相互作用,形成复杂的网络结构,进而参与细胞的黏附、迁移、增殖、分化及组织修复等多种细胞过程。在细胞信号传导方面,重组纤连蛋白扮演着尤为重要的角色。具体而言,重组纤连蛋白通过其特有的受体(如整合素)结合于细胞膜表面,激活一系列下游信号通路,包括激活部粘着斑激酶(focal adhesion kinase, FAK)和Src酪氨酸蛋白激酶等关键分子。FAK的激活促进了细胞骨架的重组,加强了细胞与细胞外基质的联系,并调节了细胞的形状和运动能力。同时,Src酪氨酸蛋白激酶的活化则进一步参与了多种细胞反应的调控,如细胞周期、代谢及免疫应答等,从而在更深层次上影响了细胞的生物学行为。既往研究表明^[7],重组纤连蛋白在美容医学领域展现出显著的应用潜力和价值。作为一种多功能细胞外基质蛋白,重组纤连蛋白通过促进细胞间的黏附与迁移,加速皮肤受损时的伤口愈合过程,从而在皮肤屏障修复中发挥着重要作用。重组纤连蛋白不仅能够刺激胶原蛋白的增生与重组,还能有效去除面部皮肤的红血丝,改善皮肤状况。一项临床实验研究中发现^[8],重组纤连蛋白能够缩短烧伤等创伤的愈合时间,促进皮肤各层细胞、组织的再生修复及结构改善,展现出卓越的修复效果。此外,重组纤连蛋白在化妆品中的应用也备受关注,由于其能够激活皮肤细胞,修复受损的皮肤组织,调动体内的营养细胞,清除坏死组织,从而达到改善皮肤状况的效果,因此被广泛应用于抗衰老、修复和美容产品中。

1.2 纤连蛋白基因重组表达系统的构建 构建纤连蛋白基因重组表达系统,针对医学美容领域,需从生物源提取基因,通过分子克隆技术整合至大肠杆菌、酵母或哺乳动物细胞表达载体中。选择时考虑高效性与生物相容性,哺乳动物细胞系统尤佳,因其能生成高生物活性且适用于精细医学

美容应用的纤连蛋白^[9,10]。优化载体设计、表达条件及纯化工艺,确保高纯度产物。最终,利用先进分析技术验证其功能与结构,满足医学美容对高品质纤连蛋白的需求。

1.3 重组纤连蛋白的抗衰修复机理探讨

1.3.1 重组纤连蛋白在抗衰修复中的作用 分析重组纤连蛋白在细胞增殖、分化以及细胞与细胞外基质(ECM)的复杂通信过程中发挥着关键作用^[11,12]。作为细胞外基质的重要组成部分,纤连蛋白通过与细胞膜上的整合素受体紧密结合,激活包括PI3K/Akt和Ras/MAPK在内的多条关键信号通路,从而有效促进细胞周期进程,加速细胞增殖。不仅增强了细胞对生长因子的敏感性,还提升了细胞整体的增殖能力。在细胞分化领域,纤连蛋白通过调控HIF-1 α 等分子,影响细胞的基因表达模式,引导细胞向特定功能类型分化。且其能够促进成骨细胞的分化,通过激活Wnt/ β -连环蛋白和BMP等信号通路,上调成骨细胞相关基因的表达,为骨骼发育和修复提供了重要支持^[13,14]。重组纤连蛋白不仅作为生物活性分子发挥着关键作用,而且在细胞与细胞外基质之间的复杂通信网络中扮演着不可或缺的角色。通过促进细胞间的黏附、信号传导以及细胞外基质的重塑,重组纤连蛋白能够显著增强组织的自我修复能力,对抗衰老过程中细胞功能下降和结构退化的趋势^[15]。

1.3.2 重组纤连蛋白在抗衰修复中的机制 重组纤连蛋白在抗衰修复中展现复杂而深远的作用机制,其不仅通过结合和交联促进细胞黏附和铺展,为组织再生提供必要的结构和物质基础,还参与多种信号通路调控细胞功能和修复过程^[16,17]。尤为突出的是,重组纤连蛋白在抑制细胞凋亡方面潜力巨大,这对抗衰老和组织修复至关重要。研究表明^[18],重组纤连蛋白能调节Bcl-2/Bax比例,提高Bcl-2表达,降低Bax表达,从而抑制凋亡信号激活,保护细胞免受凋亡诱导。此外,重组纤连蛋白还激活FAK和Src激酶等关键分子,促进细胞生长、运动和分化^[19]。这些特性使重组纤连蛋白在抗衰修复领域具有广泛应用前景和研究价值。总之,重组纤连蛋白不仅能在损伤时保护关键细胞群,为组织再生和修复创造有利条件,还通过

调控细胞信号传导,为抗衰老和组织修复提供有力支持。

1.3.3 重组纤连蛋白在组织抗衰修复和重构过程中的核心作用 重组纤连蛋白在组织抗衰修复和重构过程中发挥着重要作用,其核心功能主要体现在几个方面。重组纤连蛋白通过促进细胞增殖和分化,加速受损组织的再生。这一过程包括上调关键生长因子的表达,如转化生长因子- β (TGF- β)和血管内皮生长因子(VEGF),从而增强细胞的再生能力。重组纤连蛋白还能够增强细胞与细胞外基质的黏附,提供了必要的机械支撑和信号传导,优化了细胞的存活环境。重组纤连蛋白在组织抗衰修复过程中通过调控炎症反应,降低了过度炎症可能引起的组织损伤^[20, 21]。通过抑制炎症因子的释放,如肿瘤坏死因子- α (TNF- α)和白介素-6 (IL-6),重组纤连蛋白有效减少了炎症介质的破坏作用,有利于组织的健康愈合。这些核心作用使重组纤连蛋白在各种组织损伤和疾病治疗中展示出了极大的应用潜力,为进一步开发新型治疗手段提供了理论支持。

2 重组纤连蛋白在医学美容领域的应用研究

2.1 重组纤连蛋白在皮肤屏障修复及抗衰中的应用 重组纤连蛋白在皮肤屏障修复中展现出卓越的应用潜力。作为一种多功能细胞外基质蛋白,重组纤连蛋白能够促进细胞间的黏附与迁移,从而在皮肤受损时加速伤口的愈合过程,这一特性在皮肤遭受损伤时尤为关键,能够加速伤口的愈合过程。通过模拟人体天然纤连蛋白的结构与功能,重组纤连蛋白能够深入肌底,激活皮肤细胞的自我修复机制,促进胶原蛋白和弹力纤维的生成,从而增强皮肤的弹性和紧致度。此外,重组纤连蛋白还具有良好的保湿性能,能在皮肤表面形成一层保护膜,锁住水分,减少皮肤干燥,进一步提升皮肤的健康状态。因此,在皮肤护理与抗衰老领域,重组纤连蛋白作为一种高效的生物活性成分,越来越受到消费者的青睐与认可^[22, 23]。

2.2 重组纤连蛋白在瘢痕修复领域的应用 在瘢痕修复领域,重组纤连蛋白因其卓越生物活性和促进细胞粘附、迁移的特性,展现出显著的应用

潜力和前景。作为一种重要的细胞外基质蛋白,纤连蛋白在促进细胞粘附、迁移、增殖及分化过程中发挥着关键作用。在瘢痕修复过程中,重组纤连蛋白能够通过其独特的生物活性,促进成纤维细胞和表皮细胞的增殖与迁移,加速创伤面的愈合。同时,重组纤连蛋白还能有效调节炎症反应,减少瘢痕组织的过度增生,从而达到修复的效果。具体而言,重组纤连蛋白可应用于多种瘢痕修复产品中,如瘢痕凝胶、修复贴等。这些产品通过直接作用于瘢痕组织,提供持续稳定的纤连蛋白供给,促进瘢痕组织的软化、平整和淡化。此外,重组纤连蛋白还可与其他生物活性因子联合使用,如生长因子、透明质酸等,进一步增强其修复效果,满足不同瘢痕修复阶段的需求^[24]。

2.3 重组纤连蛋白在创伤愈合领域的应用 重组纤连蛋白在创伤愈合过程中发挥了关键作用,其抗炎和抗菌特性促进了伤口的迅速愈合。重组纤连蛋白通过精细调控细胞增殖、分化以及细胞与ECM的相互作用,显著提升了组织抗衰修复的效率与质量,并提升了肌腱和韧带抗衰修复的效果,在皮肤烧伤、骨骼损伤以及软组织抗衰修复中的应用取得了积极成果^[25, 26]。

3 总结

重组纤连蛋白在皮肤抗衰修复和医学美容方面具有理想的效果,其抗衰、抗衰修复、抗敏的机理为临床应用提供了理论基础。未来的研究应聚焦于深入探索重组纤连蛋白在细胞信号通路中的具体作用机制,特别是其在抗衰老过程中的分子网络调控。同时,还需关注其在修复过程中的作用机制,以进一步揭示其潜在的应用价值。同时,进一步优化基因重组表达技术,降低成本,提高产量,推动重组纤连蛋白在临床治疗和日常美容中的广泛应用。未来还需探索重组纤连蛋白与其他生物活性物质的联合应用策略,以期实现更佳的治疗效果。

[参考文献]

- [1] Wang Y, Ni H. Fibronectin maintains the balance between hemostasis and thrombosis[J]. *Cell Mol Life Sci*, 2016, 73(17):3265-3277.

- [2] Dalton CJ, Lemmon CA. Fibronectin: Molecular Structure, Fibrillar Structure and Mechanochemical Signaling[J]. *Cells*, 2021, 10(9):2443.
- [3] Guillem-Marti J, Boix-Lemonche G, Gugutkov D, et al. Recombinant fibronectin fragment III8-10/poly(lactic acid) hybrid nanofibers enhance the bioactivity of titanium surface[J]. *Nanomedicine (Lond)*, 2018, 13(8):899-912.
- [4] Vempati RK. Cloning, expression, purification, and immunoblotting analysis of recombinant type III fibronectin domains of human oncostatin M receptor[J]. *Mol Biol Rep*, 2023, 50(5):4735-4741.
- [5] 江遥, 梁舒曼, 李敬. 浓缩生长因子在创面修复及美容医学中的应用进展[J]. *中国医疗美容*, 2024, 14(5):106-109.
- [6] Cai X, Zhu J, Luo X, et al. A Thermally Stable Recombinant Human Fibronectin Peptide-Fused Protein (rhFN3C) for Faster Aphthous Ulcer (AU) Healing[J]. *Bioengineering (Basel)*, 2023, 11(1):38.
- [7] 石文隆. 新型重组纤连蛋白肽在毕赤酵母X33中的表达及功能研究[D]. 广州: 暨南大学, 2020.
- [8] 王德震, 王红梅, 车敏. 整形美容修复技术对面部创伤治疗患者满意度及并发症的影响[J]. *慢性病学杂志*, 2024, 25(3):459-461.
- [9] 何杏杏, 赵越, 鲁朝刚, 等. 胶原蛋白、弹性蛋白、纤连蛋白在化妆品中的功效及评价研究[J]. *精细与专用化学品*, 2023, 31(10):39-43.
- [10] 赵广建, 刘大男, 周博, 等. III型纤连蛋白结构域包含蛋白5抑制巨噬细胞焦亡的作用机制[J]. *中国组织工程研究*, 2024, 28(25):4005-4012.
- [11] 袁庆功, 张焱, 李军辉, 等. 纤连蛋白III型结构域蛋白5对HepG2肝癌细胞体外转移活性的影响及其机制[J]. *肝脏*, 2023, 28(8):943-946.
- [12] 张群. 重组纤连蛋白制备及其应用[J]. *食品与生物技术学报*, 2023, 42(7):112.
- [13] 邓旭辉, 张友来, 辛国华, 等. 富血小板浓缩物在整复外科及美容医学中的应用进展[J]. *南昌大学学报(医学版)*, 2022, 62(5):102-106.
- [14] 董云青. 重组类人胶原蛋白及重组类人纤连蛋白促进小鼠急性创面愈合的研究[D]. 广州: 南方医科大学, 2022.
- [15] Park BH, Jeong ES, Lee S, et al. Bio-functionalization and in-vitro evaluation of titanium surface with recombinant fibronectin and elastin fragment in human mesenchymal stem cell[J]. *PLoS One*, 2021, 16(12):e0260760.
- [16] 余建军, 赵铎. 重组类人胶原蛋白研究应用进展[J]. *日用化学品科学*, 2022, 45(2):48-51.
- [17] 王艺纯, 徐荣荣, 王啸尘, 等. 重组人源化胶原蛋白与护肤原料[J]. *山东化工*, 2024, 53(12):92-96.
- [18] Luo X, Geng D, Zhang Q, et al. Recombinant expression a novel fibronectin-collage fusion peptide modulating stem cell stemness via integrin $\beta 3$ [J]. *Appl Microbiol Biotechnol*, 2022, 106(9-10):3765-3776.
- [19] Almeida EA, Ilić D, Han Q, et al. Matrix survival signaling: from fibronectin via focal adhesion kinase to c-Jun NH₂-terminal kinase[J]. *J Cell Biol*, 2000, 149(3):741-754.
- [20] 李印. 细胞DNA单链断裂修复能力评价方法的建立及其应用[D]. 长春: 吉林大学, 2023.
- [21] 王斌, 吴学军, 张世阳, 等. 纤连蛋白(FN)国内研究开发及临床应用新进展[J]. *基础医学与临床*, 2012, 32(8):964-967.
- [22] 肖赫, 李雅嘉, 王华, 等. 纤维连接蛋白在糖尿病足溃疡中的研究进展[J]. *中国老年学杂志*, 2017, 37(21):5474-5476.
- [23] 白嘉懿. 重组胶原蛋白能否成为第二个“玻尿酸”[J]. *中国化妆品*, 2022(11):54-55.
- [24] 中国医疗美容行业研究报告[C]//上海艾瑞市场咨询有限公司. 2022艾瑞咨询11月研究报告会论文集. 2022:69.
- [25] 邹洁, 陈来成, 吴雅勤, 等. 纤连蛋白的研究进展及在化妆品中的应用[J]. *日用化学品科学*, 2021, 44(11):48-51.
- [26] 程雅婷. 重组人纤连蛋白肽(rhFN)的设计及其促牙周膜干细胞(hPDLSCs)成骨分化的机制研究[D]. 广州: 暨南大学, 2021.