

# 生物医用材料在皮肤敷料领域的应用研究进展

吴 聪<sup>1</sup>, 李泽宇<sup>1</sup>, 王尹源<sup>2\*</sup>, 王光硕<sup>1</sup>

<sup>1</sup>河北工程大学材料科学与工程学院, 河北 邯郸

<sup>2</sup>河北工程大学矿业与测绘工程学院, 河北 邯郸

收稿日期: 2025年11月30日; 录用日期: 2025年12月23日; 发布日期: 2025年12月29日

## 摘要

随着生物医学和材料科学的快速发展, 生物医用材料在皮肤敷料领域的应用也越来越广。本文总结了近期用于皮肤伤口修复的生物材料研究发展, 包括传统敷料、生物敷料、合成敷料以及复合敷料的作用机理、材料组成、产品特点和适用场景。虽然当前先进的敷料得到了广泛应用, 但仍面临着生物相容性较差以及规模化生产难以实现等挑战, 有待进一步研究解决这些问题。

## 关键词

生物医用材料, 皮肤敷料, 创面愈合, 研究进展

# Research Progress on the Application of Biomedical Materials in Skin Dressings

Cong Wu<sup>1</sup>, Zeyu Li<sup>1</sup>, Yinyuan Wang<sup>2\*</sup>, Guangshuo Wang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>School of Materials Science and Engineering, Hebei University of Engineering, Handan Hebei

<sup>2</sup>School of Mining and Geomatics Engineering, Hebei University of Engineering, Handan Hebei

Received: November 30, 2025; accepted: December 23, 2025; published: December 29, 2025

## Abstract

With the rapid advancement of biomedical and materials science, the application of biomaterials in the field of skin wound dressings has become increasingly widespread. This article summarizes recent research developments in biomaterials for skin wound repair, covering the mechanisms of

\*通讯作者。

action, material compositions, product characteristics, and applicable scenarios of traditional dressings, biological dressings, synthetic dressings, and composite dressings. Although advanced dressings are now widely used, challenges such as relatively poor biocompatibility and difficulties in achieving large-scale production remain, necessitating further research to address these issues.

## Keywords

Biomedical Materials, Skin Dressings, Wound Healing, Research Progress

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

皮肤作为人体最大的器官，在维持内环境稳定、防止病原微生物入侵和调节体温等方面发挥着至关重要的屏障作用[1]。当皮肤因烧伤、创伤、糖尿病或手术等原因造成损伤时，要进行及时有效的创面覆盖，可以有效地防止体液丢失、控制感染、促进愈合以及减少瘢痕形成。传统的干性敷料(如纱布、棉垫)，虽在一定程度上能保护创面，但存在粘附创面、更换疼痛、无法提供湿润环境等局限。因此，开发新型医用敷料具有重要意义。

随着人们对创面愈合分子机制的理解不断加深，生物医用材料在皮肤敷料领域的应用也取得了明显进步。现代伤口护理理念认为，理想的敷料应该能够保持湿润环境、提供保护屏障、具备良好的生物相容性和可降解性，同时还能主动参与愈合过程[2][3]。近年来，新型生物材料如天然聚合物(丝素蛋白、壳聚糖、海藻酸盐)、合成高分子(聚氨酯、聚乳酸-羟基乙酸共聚物)及它们的复合物，已经被广泛研究并用于开发功能化敷料。这些材料可以模拟天然皮肤的结构和功能，因此能够通过主动调节创面微环境来加快愈合[4][5]。本文综述生物医用材料在皮肤敷料中的应用研究进展，重点讨论了不同类型生物材料的设计思路、功能特性以及它们在创面愈合中的作用机制。

## 2. 生物敷料的类型与特点

生物敷料根据材料来源、结构特性和功能机制可分为多种类型，从传统的被动覆盖到现代的主动干预，其设计理念和性能不断优化。表 1 系统比较了主要类型生物敷料的特点。

Table 1. Comparison of common biological wound dressings

表 1. 常用生物敷料对比

敷料类型	材料组成	优点	缺点	适用场景
传统敷料	纱布、棉垫、凡士林纱布	成本低、使用简单、吸收性强	易粘附创面、更换损伤新生组织、无法保持湿润环境	浅表创面、低渗出性伤口
生物敷料	海藻酸盐、壳聚糖、胶原蛋白	生物相容性好、可降解、促进愈合	机械性能差异、成本较高	大量渗出伤口、烧伤、溃疡
合成敷料	聚氨酯、硅酮、水凝胶	性能可控、透气性好、不粘创面	生物活性有限、可能引发炎症反应	慢性伤口、烧伤、手术切口
复合敷料	多种材料组合(天然/合成)	功能集成、性能优化、多功能性	制备工艺复杂、成本高	复杂创面、感染性伤口、糖尿病足溃疡

## 2.1. 传统敷料

传统敷料主要包括纱布、棉垫和凡士林纱布等，它们主要是通过物理屏障的作用来保护创面、吸收渗出液并防止微生物的入侵。然而，这类敷料存在明显的局限性是当渗出液饱和时，微生物容易大量地繁殖；更换时易导致新生组织撕裂；且无法提供湿润环境，反而形成干性愈合的环境，不利于细胞的迁移和增殖[6]。因此，传统敷料主要适用于浅表、低渗出性的简单创面。

## 2.2. 生物敷料

生物敷料主要来源于天然的生物材料，如海藻酸盐、壳聚糖、胶原蛋白和明胶等，这类材料通常具有良好的生物相容性和可降解性，能够模拟细胞外基质(ECM)的结构和功能，为细胞生长提供了有利的微环境。

海藻酸盐敷料在与创面渗出液接触时，钙离子等金属离子与体液中的钠离子发生离子交换之后会形成一种水凝胶体，可以为皮肤表面提供湿润的环境并促进自溶性清创，不会造成患者二次损伤。壳聚糖是甲壳素脱乙酰得到的线性天然高分子聚合物，由  $\beta$ -1,4 糖苷键连接的 2-氨基- $\beta$ -D 葡萄糖组成，具有天然抗菌性、生物粘附性和止血功能，且安全无毒、可降解、生物相容性良好，被广泛用于创面敷料、抗菌材料、止血材料等方面[7]。胶原蛋白敷料作为细胞外基质的主要成分，能引导细胞迁移和增殖，促进肉芽组织形成。加速创面的愈合。胶原分子对成纤维细胞的趋化反应，使胶原在伤口愈合过程中起重要作用[8]。近年来，动物源性生物敷料如猪皮、鱼皮等也得到广泛应用，它们结构与人类皮肤相似，可作为生物屏障临时替代品[9]。

丝素蛋白(SF)是一种天然高分子材料。因为它具有很好的生物相容性、可调控的降解性和良好的力学性能，所以在伤口敷料中使用广泛。刘玉玲课题组[10]将丝素蛋白与聚乙烯醇缩丁醛复合，研制出一种能够原位快速成膜的水凝胶敷料(LD-SF)。这种敷料在使用后随着乙醇挥发，可以在 100 秒内形成稳定的水凝胶膜。该膜具备良好的透气性、防水性和可移除性，因此提高了使用的方便性和患者的接受度。该项研究的突出亮点在于系统揭示了丝素蛋白分子量与其生物功能之间的构效关系：低分子量 SF (-45 kDa) 显著促进成纤维细胞增殖与迁移；高分子量 SF (-72 kDa) 则表现出更强的免疫调节能力，可诱导巨噬细胞向促修复 M2 表型极化，有效调控炎症微环境。这一发现说明，丝素蛋白敷料能够精确调控伤口愈合过程。此外，LD-SF 通过  $\beta$ -折叠结构增强膜的稳定性，同时通过氨基酸代谢支持细胞外基质的重建，从而实现瘢痕最小化的高质量愈合。该研究不仅为急性创面治疗提供了一种潜在的治疗策略，也为生物材料的组合设计提供了新的研究思路。

## 2.3. 合成敷料

合成敷料由人工合成的高分子材料制备而成，如聚氨酯、硅酮、聚乙烯醇和水凝胶等。这类材料的特点是结构可控、性能可调，能够针对特定创面需求进行设计[11][12]。薄膜类敷料：由聚氨酯、聚乙烯、聚丙烯腈、聚乳酸、聚四氟乙烯等材料制成，透明易观察，可以维持伤口湿润，促使坏死组织脱落。但是此类敷料吸收性较差，因此该敷料适用于低渗出性创面。泡沫类敷料：具有多孔结构、高吸收性，提供湿润环境，适用于中至大量渗出伤口。水凝胶类敷料：由交联聚合物网络构成，含水量高，能填充不规则创面，促进自溶性清创，可用于治疗糜烂和坏死性伤口。合成敷料的主要优势在于其一致的品质和可预测的性能，但可能存在生物活性不足的问题。

近期，Liu 等人采用简单的加热与混合方法，开发出一种基于天然成分的生物粘附水凝胶。该水凝胶使用多糖、硫辛酸和天然多酚提取物作为基础材料，为开发多功能伤口敷料提供了一个有前景的新途径[13]。这种水凝胶能通过氢键和静电相互作用等非共价力，紧密地粘附在组织上，表现出优异的止血性能，

并能快速有效地封闭伤口。与传统的生物粘合剂相比，这种水凝胶还具有更好的抗炎效果、生物相容性和生物降解性，所以能有效促进线性创面与烧伤的愈合。该水凝胶可以充分利用天然分子之间的协同作用，因此它能在提供强大粘附力的同时，还能避免引发过度的炎症反应，这个特点在炎症性伤口环境中显得尤为重要。

#### 2.4. 复合敷料

伤口愈合是一个复杂的过程，单一的敷料无法满足该复杂过程的需要，可以通过复合各种材料，综合利用各自优点，实现该复杂过程的要求。如将天然材料的生物活性与合成材料的力学性能相结合，或通过加入抗菌剂、生长因子和信号分子等活性成分，赋予敷料各类功能，因此这类敷料特别适用于难愈性慢性伤口和感染性创面。Wan 等人通过一种新颖的、可保留细菌纤维素三维网络的逐步原位生物合成法，制备了包含抗菌纤维素(BC)与银纳米线(AgNW)的复合敷料[14]。水蒸气透过率、吸水率和保水率的测试结果表明，制备的 BC/AgNW 复合敷料可以吸收创面皮肤渗出液并维持湿润环境。重要的是，BC/AgNW 敷料坚固具有弹性，且能持续释放银离子。动物试验结果表明，含有 38.4 wt% AgNWs 的 BC/AgNW 敷料与纯 BC 相比，表现出更高的细胞角蛋白 10 和整合素  $\beta 4$  的表达水平、更显著的角质形成细胞增殖和上皮组织形成，并大大改善了皮肤再生。研究人员认为，集成的纳米纤维结构以及 AgNWs 优异且持续的抗菌活性是其具有出色体内伤口愈合能力和生物相容性的原因。这些结果表明，BC/AgNW 复合敷料作为伤口敷料具有广阔的应用前景。

### 3. 当前挑战与发展趋势

#### 3.1. 生物相容性问题

虽然新型生物材料敷料具有许多优点，但其生物相容性仍然是临床应用中的关键考量因素[15]。一项研究评估了 11 种现代伤口敷料的生物相容性，结果发现不同敷料对人真皮成纤维细胞活力的影响存在明显差异。其中，Parapran®、Lomatuell®H 等敷料表现出较高的生物相容性，适合用于伤口治疗。而 Granuflex®、Syspyr-derm® 等产品的生物相容性较低，并显示出细胞毒性，所以需要谨慎使用这些产品。需要指出的是，在更接近临床实际状况的三维直接接触实验中，只有含有氯己定的 Parapran® 保持了良好的生物相容性，其他敷料，包括在二维模型中表现良好的 Lomatuell® H 等敷料，均显示出不同程度的细胞毒性。这些发现说明，在开发新型敷料时必须进行系统的生物相容性评估。

#### 3.2. 规模化生产与临床转化

许多新型生物敷料在实验室研究中表现良好，但在大规模生产和临床应用阶段仍然面临许多困难。特别是对于结构复杂的敷料系统，例如 MOF 微针贴片和负载外泌体的水凝胶，由于它们的生产过程复杂、质量控制困难且成本较高，所以难以广泛应用。此外，敷料的长期稳定性以及是否能够适应常规灭菌方法，也是产业化和临床使用中必须解决的实际问题。

多肽类材料虽然能为伤口愈合提供独特的多功能益处，但由于其稳定性较差、容易被酶降解，因此这类材料面临临床转化时仍存在明显挑战。为应对这些问题，研究人员正在通过改进多肽设计和递送策略来提高其稳定性和半衰期，同时尽量保持生物活性[16]，这对于肽驱动的伤口疗法的临床转化和更广泛的临床应用至关重要。

#### 3.3. 智能化发展趋势

随着材料科学和制造技术的快速进步，伤口敷料正朝着智能化的方向发展。近年来纳米技术和 3D 打

印的应用使创面敷料功能得到显著提升,作用也由单一功能向多功能复合及智能化方向演进。例如,通过将集成传感元件和响应性材料同生物敷料有机结合,开发出能够实时监测创面状态(如pH值、湿度、温度、细菌负载量等)并释放出相应的治疗剂量的智能敷料[17][18]。

#### 4. 结语

生物医用材料在皮肤敷料领域的创新应用已经改变了传统敷料处理伤口的方式,从传统的被动覆盖到现在的功能干预,敷料设计理念也发生了根本性的转变。丝素蛋白水凝胶、多肽驱动材料、生物粘附水凝胶和MOF微针贴片等一系列新型材料,能够模拟天然皮肤结构、调控创面微环境以及主动促进组织的再生,从而显著提升了创面愈合质量。

当前的研究主要面临着敷料的生物相容性和稳定性较差以及在医用领域的规模化生产难以实现等挑战。未来研究重点应放在开发更智能的响应型敷料,这类系统能够根据伤口环境的变化,从而释放出适当的生物活性因子,便于伤口的恢复。同时,研究人员可以将传统技术与组织工程技术和干细胞疗法等方法相结合,有望构建出结构和功能完整的生物活性皮肤替代物,这将成为理想的最终解决方案之一。随着材料科学、生物技术和临床医学的不断融合,下一代皮肤敷料有望实现由简单覆盖到功能性组织再生的跨越。这一进步将为各类难愈性创面患者带来新的治疗希望。

#### 参考文献

- [1] 林琳, 陈景民, 王会, 李久盛, 陈晋阳, 曾祥琼. 皮肤敷料的研究进展[J]. 材料导报, 2019, 33(1): 65-72.
- [2] 王亚飞. 伤口护理用聚氨酯敷料的研究进展[J]. 合成材料老化与应用, 2025, 54(5): 79-81+91.
- [3] Liang, Y.P., He, J.H. and Guo, B.L. (2021) Functional Hydrogels as Wound Dressing to Enhance Wound Healing. *ACS Nano*, **15**, 12687-12722. <https://doi.org/10.1021/acsnano.1c04206>
- [4] 王诗雨, 赵玲, 古雅洁, 孙润军, 魏亮. 生物医用伤口敷料的材料及结构设计研究进展[J]. 纺织科学与工程学报, 2025, 42(3): 69-78+85.
- [5] 李晶, 薛斌. 新型医用敷料的分类及特点[J]. 中国组织工程研究, 2013, 17(12): 2225-2232.
- [6] 张劲峰, 郝建波, 张劲鹏, 罗波, 刘鹏. 生物敷料的研究进展[J]. 中国修复重建外科杂志, 2015, 29(2): 254-259.
- [7] 刘亚南, 屈乾良, 屈广, 屈乾斌, 彭斌. 壳聚糖及其衍生物敷料在创面愈合中的研究进展[J]. 江西中医药大学学报, 2025, 37(5): 120-124.
- [8] 王丽娜, 黄素珍. 胶原蛋白的研究进展[J]. 肉类研究, 2010(1): 16-22.
- [9] 沈家成, 秦政, 周祖浩, 许瑞波, 刘强, 李正夫, 李姣姣. 鱼皮中胶原蛋白的药用价值研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(23): 347-354.
- [10] Chen, Z., Cheng, J., Wang, M., Jiang, Y., Jiang, D., Yang, Y., et al. (2025) In Situ Forming Silk Fibroin Hydrogel Dressing Accelerates Acute Wound Healing via Immunomodulation and Extracellular Matrix Regeneration. *Journal of Controlled Release*, **387**, Article ID: 114228. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2025.114228>
- [11] 杨连利, 梁国正. 水凝胶在医学领域的热点研究及应用[J]. 材料导报, 2007(2): 112-115.
- [12] Nguyen, H.M., Ngoc Le, T.T., Nguyen, A.T., Thien Le, H.N. and Pham, T.T. (2023) Biomedical Materials for Wound Dressing: Recent Advances and Applications. *RSC Advances*, **13**, 5509-5528. <https://doi.org/10.1039/d2ra07673j>
- [13] Liu, K.R., Zhang, H.J., Xia, B., et al. (2025) Multifunctional Bioadhesive Hydrogels Derived from Naturally Occurring Building Blocks for Wound Healing. *Journal of Materials Chemistry B*, **13**, 15007-15014. <https://doi.org/10.1039/d5tb02043c>
- [14] Wan, Y., Yang, S., Wang, J., Gan, D., Gama, M., Yang, Z., et al. (2020) Scalable Synthesis of Robust and Stretchable Composite Wound Dressings by Dispersing Silver Nanowires in Continuous Bacterial Cellulose. *Composites Part B: Engineering*, **199**, Article ID: 108259. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2020.108259>
- [15] Jia, B., Li, G., Cao, E., Luo, J., Zhao, X. and Huang, H. (2023) Recent Progress of Antibacterial Hydrogels in Wound Dressings. *Materials Today Bio*, **19**, Article ID: 100582. <https://doi.org/10.1016/j.mtbio.2023.100582>
- [16] Zhang, C., Meng, L., Sethi, G., Wang, J. and Li, B. (2025) Peptide-Driven Approaches in Advanced Wound Healing

Materials. *Drug Discovery Today*, **30**, Article ID: 104440. <https://doi.org/10.1016/j.drudis.2025.104440>

- [17] 张天蔚, 刘方, 田卫群. 促皮肤创面愈合新型敷料研究现状与进展[J]. 生物医学工程学杂志, 2019, 36(6): 1055-1059+1068.
- [18] 翟兴. 柔性传感器智能敷料在伤口管理中的应用进展[J]. 中国护理管理, 2025, 25(10): 1590-1594.