

# 纳米材料在溃疡性结肠炎治疗中的创新策略与应用前景

孙尚国, 许克伟, 史红岩, 陈燕, 盛淑婷, 刘汝冰\*

阜阳师范大学附属阜南医院消化内科, 安徽 阜阳

收稿日期: 2025年6月1日; 录用日期: 2025年6月24日; 发布日期: 2025年7月2日

## 摘要

溃疡性结肠炎是一种慢性炎症性肠病, 其病因尚未完全明确, 治疗手段有限, 给患者带来了较大的生活困扰和健康风险。近年来, 随着纳米技术的发展, 纳米材料因其独特的物理化学性质和良好的生物相容性, 逐渐成为溃疡性结肠炎治疗的新兴策略。当前, 纳米材料在靶向药物传递、抗炎作用、康复辅助以及再生医学等领域的应用现状显示出良好的前景, 但仍存在一些挑战和问题亟待解决。本文旨在综述纳米材料在溃疡性结肠炎治疗中的应用进展, 探讨其潜在的创新策略, 并展望未来的应用前景, 以期对相关研究提供参考和启示。

## 关键词

纳米材料, 溃疡性结肠炎, 治疗策略, 药物传递, 抗炎

# Innovative Strategies and Application Prospects of Nanomaterials in Ulcerative Colitis Therapy

Shangguo Sun, Kewei Xu, Hongyan Shi, Yan Chen, Shuting Sheng, Rubing Liu\*

Department of Gastroenterology, The Affiliated Funan Hospital of Fuyang Normal University, Fuyang Anhui

Received: Jun. 1<sup>st</sup>, 2025; accepted: Jun. 24<sup>th</sup>, 2025; published: Jul. 2<sup>nd</sup>, 2025

## Abstract

Ulcerative colitis (UC) is a chronic inflammatory bowel disease with incompletely understood etiology and limited therapeutic options, imposing substantial lifestyle burdens and health risks on patients.

\*通讯作者。

文章引用: 孙尚国, 许克伟, 史红岩, 陈燕, 盛淑婷, 刘汝冰. 纳米材料在溃疡性结肠炎治疗中的创新策略与应用前景[J]. 临床医学进展, 2025, 15(7): 115-122. DOI: 10.12677/acm.2025.1571965

**In recent years, advancements in nanotechnology have positioned nanomaterials as a promising strategy for UC treatment due to their unique physicochemical properties and excellent biocompatibility. Current applications of nanomaterials in targeted drug delivery, anti-inflammatory interventions, rehabilitation support, and regenerative medicine demonstrate significant potential. However, persisting challenges, such as biocompatibility optimization, precise targeting, and long-term safety evaluation, require urgent resolution. This review systematically summarizes recent progress in nanomaterial-based UC therapies, explores innovative strategies to overcome existing limitations, and outlines future directions to advance clinical translation. The findings aim to provide valuable insights and references for interdisciplinary research in this evolving field.**

## Keywords

**Nanomaterials, Ulcerative Colitis, Therapeutic Strategies, Drug Delivery, Anti-Inflammatory**

Copyright © 2025 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. 前言

近年来, 溃疡性结肠炎(UC)的发病率持续上升, 已成为全球范围内日益严重的健康问题。这种慢性炎症性肠病不仅给患者带来了身体上的痛苦, 还显著影响了他们的生活质量。尽管目前已有多种传统治疗方案, 如激素和免疫抑制剂等, 但这些疗法往往伴随着严重的副作用, 且疗效并不理想。因此, 寻找更为有效且副作用更小的治疗策略显得尤为重要。

纳米医学的兴起为溃疡性结肠炎的治疗提供了新的希望。纳米材料以其微小的尺寸和大的比表面积, 使其在体内能够实现靶向传递和有效释放, 从而提高治疗效果并减少副作用。研究表明, 纳米材料能够通过多种机制改善溃疡性结肠炎的病理状态。例如, 一项研究开发了一种基于 DNA 纳米材料的探针, 可以在体内实时成像监测与溃疡性结肠炎相关的次氯酸(HClO)水平, 这为疾病的早期诊断提供了新的工具[1]。

此外, 纳米材料在调节氧化还原状态方面的潜力也得到了广泛关注。研究发现, 功能化的锰氧化物纳米颗粒能够有效恢复溃疡性结肠炎小鼠模型中的氧化还原平衡, 减轻炎症反应, 并降低疾病的死亡率[2]。这种纳米材料的应用不仅展示了其在抗炎治疗中的有效性, 还为未来的临床应用提供了可能的方向。

针对溃疡性结肠炎的靶向治疗, 开发智能纳米载体系统也是一个重要的研究方向。这些纳米载体能够响应特定的生理环境变化, 如 pH 值、氧化还原状态等, 从而实现药物的选择性释放。例如, 研究人员设计了一种 pH 响应的聚醚胶束纳米材料, 能够在炎症部位有效释放药物, 显著改善溃疡性结肠炎小鼠的病理状态[3]。这种策略不仅提高了药物的靶向性, 还减少了对健康组织的影响, 降低了系统性吸收的风险。

综上所述, 纳米材料在溃疡性结肠炎的治疗中展现出了巨大的应用潜力。通过靶向传递、调节氧化还原状态以及智能释放等机制, 纳米材料能够有效改善炎症反应, 促进肠道愈合。随着对纳米医学研究的深入, 未来有望开发出更多安全、有效的治疗方案, 为溃疡性结肠炎患者带来新的希望。

## 2. 纳米材料的种类与特性

### 2.1. 纳米颗粒

纳米颗粒是指直径在 1 到 100 纳米之间的微小颗粒, 因其独特的物理和化学特性而在药物载体应用中展现出广泛的潜力。纳米颗粒的尺寸和形状多样, 使其能够被设计用于特定的药物释放和靶向治疗。

例如,近年来的研究表明,功能化的纳米颗粒可以通过改变其表面性质来增强药物的生物相容性和靶向性[1]。在溃疡性结肠炎的治疗中,纳米颗粒能够通过调节药物释放速率和靶向炎症区域,从而提高治疗效果[2]。此外,纳米颗粒的表面修饰技术可以使其在特定的生理条件下释放药物,从而实现疾病部位的精准治疗[3]。

## 2.2. 纳米胶囊

纳米胶囊是一种具有核心-壳结构的纳米材料,能够有效包封药物并实现缓释特性。其核心部分通常是药物,而外壳则由聚合物或其他材料构成,起到保护药物和控制释放的作用。研究表明,纳米胶囊可以通过改变其材料组成和结构设计来优化药物释放行为,从而提升治疗效率[4]。例如,利用 pH 敏感的聚合物制备的纳米胶囊可以在溶液 pH 值变化时实现药物的快速释放,这对于治疗溃疡性结肠炎等疾病尤其重要,因为该疾病的炎症区域通常伴随局部 pH 值的变化[5]。这种智能化的药物释放系统不仅提高了药物的生物利用度,还减少了对健康组织的副作用[6]。

## 2.3. 碳纳米材料

碳纳米材料,包括碳纳米管、石墨烯和碳量子点等,因其优异的生物相容性和生物降解性而受到广泛关注。这些材料在生物医学领域的应用前景广阔,特别是在药物传递和抗炎治疗方面。研究发现,碳纳米材料能够有效地载药并在体内实现靶向释放,显著提高药物的治疗效果[7]。例如,碳量子点作为药物载体,不仅可以提高药物的溶解度,还能通过光学特性实现实时监测和成像,从而为溃疡性结肠炎的早期诊断和治疗提供新的思路[8]。此外,碳纳米材料的表面改性可以进一步提升其在生物体内的稳定性和靶向性,使其成为未来临床应用的理想选择[9]。

## 3. 靶向药物传递系统

### 3.1. 通过修饰纳米材料表面,实现靶向结肠区域的药物释放,提高药效

靶向药物传递系统在溃疡性结肠炎(UC)的治疗中显示出巨大的潜力,尤其是通过修饰纳米材料的表面来实现对结肠区域的靶向药物释放。传统的药物治疗往往由于药物的非特异性分布和系统性副作用而效果不佳。纳米材料的引入为解决这一问题提供了新的思路。通过表面修饰,纳米载体可以实现对特定靶点的识别和结合,从而提高药物在病变部位的浓度并减少对健康组织的影响。例如,研究表明,利用肠道特异性配体修饰的纳米载体能够有效地将药物输送到炎症部位,增强治疗效果[3]。此外,纳米载体的设计可以通过改变其物理化学性质,如粒径、表面电荷和疏水性,来优化其在生物体内的分布和细胞摄取[1]。这些进展为溃疡性结肠炎的靶向治疗提供了新的可能性。

### 3.2. 特殊配体的靶向功能

选择性与肠道相关受体结合的配体是提高靶向性的关键。通过选择与特定肠道受体结合的配体,研究人员能够显著提高纳米载体的靶向性。例如,使用具有高亲和力的配体如乳铁蛋白或肠道特异性抗体,可以有效地引导纳米载体到达炎症部位,从而实现更高效的药物释放和治疗效果[5]。此外,某些配体能够与肠道微生物相互作用,进一步增强靶向性和药物的生物利用度。研究表明,结合特定配体的纳米载体在小鼠模型中显示出显著的抗炎效果,且能有效减少炎症标志物的水平[2]。这些发现表明,特殊配体的靶向功能在纳米药物传递系统中发挥着重要作用,为溃疡性结肠炎的精准治疗提供了新的策略。

### 3.3. pH 响应型纳米载体

pH 响应型纳米载体的设计是针对肠道环境特点而提出的一种创新策略。溃疡性结肠炎患者的肠道环

境通常呈现出酸性，而 pH 响应型纳米载体能够在特定的 pH 条件下释放药物，从而实现靶向治疗。这种纳米载体的优势在于其能够在健康组织和病变组织间实现药物的选择性释放。例如，研究表明，利用 pH 敏感材料构建的纳米载体能够在酸性环境中快速释放药物，而在中性环境中则保持稳定，从而减少药物的系统性副作用[3]。此外，pH 响应型纳米载体还可以通过调节其表面性质，进一步提高药物的载药量和释放效率。这些特性使得 pH 响应型纳米载体在溃疡性结肠炎的治疗中展现出良好的应用前景，为未来的临床转化奠定了基础[6]。

## 4. 纳米材料的抗炎作用

纳米材料在医学领域的应用越来越广泛，尤其是在炎症性疾病的治疗中，如溃疡性结肠炎(UC)。这些材料通过调节免疫反应来减轻炎症，促进肠道愈合。研究表明，纳米材料能够通过多种机制发挥抗炎作用，包括靶向特定免疫细胞、清除活性氧(ROS)等，从而改善疾病症状并促进组织修复。

### 4.1. 纳米药物引导的免疫调节

纳米药物的设计使其能够有效地靶向特定的免疫细胞，从而调控免疫反应。例如，研究发现，利用纳米材料递送的药物能够选择性地作用于巨噬细胞，诱导其向 M2 型极化，进而抑制炎症反应并促进组织修复[10]。此外，某些纳米材料能够通过调节细胞内信号通路，如 NF- $\kappa$ B 和 MAPK 信号通路，来抑制炎症因子的释放，从而减轻结肠炎症[3]。

在一项研究中，使用功能化的三氧化锰( $Mn_3O_4$ )纳米颗粒对小鼠模型的溃疡性结肠炎进行治疗，结果显示该纳米材料能够恢复细胞的氧化还原平衡，减少炎症标志物的表达，并显著降低小鼠的死亡率[2]。这表明，通过纳米药物引导的免疫调节不仅能够改善炎症症状，还能增强机体的整体免疫功能。

### 4.2. 抗氧化纳米材料的应用

抗氧化纳米材料在减轻氧化应激对结肠的损伤方面具有重要应用。溃疡性结肠炎的发病机制与氧化应激密切相关，过量的活性氧(ROS)会导致细胞损伤和炎症反应的加剧[1]。因此，开发能够清除 ROS 的纳米材料成为治疗 UC 的一种有效策略。例如，研究人员开发了一种基于  $Bi_2Se_3$  纳米片的多功能纳米酶，该材料能够有效清除多种 ROS，包括羟基自由基和超氧阴离子，从而减轻小鼠模型中的结肠炎症[11]。该研究表明， $Bi_2Se_3$  纳米片不仅能够改善细胞存活率，还能调节肠道菌群，恢复肠道的微生态平衡。此外，使用聚酰胺微球(PVP)修饰的  $Bi_2Se_3$  纳米片在小鼠体内的实验结果显示，该纳米材料能够显著降低体重减轻、脾脏指数和促炎细胞因子的水平，从而有效减轻结肠炎症[11]。这些发现为抗氧化纳米材料在溃疡性结肠炎的治疗提供了新的思路和依据。综上所述，纳米材料通过调节免疫反应和清除氧化应激在溃疡性结肠炎的治疗中展现出良好的应用前景。未来的研究应进一步探索这些材料的机制及其临床应用，以期能为溃疡性结肠炎患者提供更有效的治疗方案。

## 5. 再生医学在溃疡性结肠炎中的应用

再生医学在溃疡性结肠炎(UC)治疗中展现出巨大的潜力，尤其是通过结合干细胞和纳米材料的创新策略。这些方法不仅能够促进受损肠道的再生，还能改善患者的生活质量。近年来，研究者们探索了多种再生医学策略，旨在利用干细胞的再生能力和纳米材料的特性来治疗 UC。

### 5.1. 利用纳米材料为干细胞提供支持，促进受损肠道的再生

纳米材料在再生医学中的应用为干细胞治疗提供了新的支持。研究表明，纳米材料能够改善干细胞的存活率、增殖能力和分化潜力，从而增强其在组织再生中的作用。例如，某些纳米材料能够模拟细胞

外基质(ECM),为干细胞提供一个更适合生长和分化的微环境。此外,纳米材料的表面特性和大小可以调节干细胞的行为,促进其向特定细胞类型的分化,从而在溃疡性结肠炎的治疗中发挥重要作用[1][2]。

在溃疡性结肠炎的治疗中,干细胞的来源也多种多样,包括骨髓干细胞、脂肪干细胞和诱导多能干细胞(iPSCs)。这些干细胞在体外培养时,结合纳米材料可以显著提高其再生能力。例如,研究显示,功能化的纳米颗粒能够促进干细胞的增殖和分化,并通过释放生长因子来促进肠道上皮的再生[3][5]。此外,纳米材料的抗氧化特性可以减轻炎症反应,进一步支持肠道的修复过程[6][12]。

## 5.2. 干细胞与纳米材料的结合

干细胞治疗与纳米材料的结合被认为是治疗溃疡性结肠炎的一种协同策略。干细胞本身具有自我更新和多向分化的能力,而纳米材料则可以通过多种方式增强这些特性。研究表明,纳米材料能够通过改变干细胞的微环境,促进其向肠道上皮细胞的分化。例如,某些纳米材料能够通过调节细胞信号通路,促进干细胞向肠道上皮细胞的分化,进而增强肠道的再生能力[3][4]。

此外,纳米材料还可以作为干细胞的载体,将生长因子或药物直接递送到受损的肠道区域。这种靶向递送系统能够提高治疗的有效性,并减少系统性副作用。例如,研究发现,功能化的纳米颗粒能够在肠道炎症部位释放药物,从而增强药物的局部效应并改善治疗效果[2][3]。这种结合不仅提高了干细胞的治疗效果,还为溃疡性结肠炎的个体化治疗提供了新的思路。

## 5.3. 生物支架中的纳米材料

生物支架在再生医学中起着至关重要的作用,尤其是在组织工程和再生治疗中。利用纳米材料制备的生物支架能够提供良好的支撑,促进细胞的生长和分化。在溃疡性结肠炎的治疗中,生物支架可以为干细胞提供一个合适的生长环境,从而促进肠道组织的再生。

研究表明,纳米材料能够显著改善生物支架的机械性能和生物相容性。例如,某些纳米材料可以增强支架的强度和韧性,使其更适合在肠道内使用。此外,纳米材料的高比表面积和可调节的表面特性使其能够有效地吸附生长因子,从而促进细胞的黏附和增殖[5][6]。

在实际应用中,生物支架可以通过3D打印技术制备,结合纳米材料的特性,形成具有特定形状和功能的支架。这些支架不仅能够提供机械支持,还能够通过释放生长因子来促进肠道的再生。例如,某些研究利用纳米材料制备的支架成功促进了小鼠模型中肠道上皮的再生,显示出良好的治疗效果[1][3]。

综上所述,再生医学在溃疡性结肠炎的治疗中展现出广阔的前景。通过结合干细胞与纳米材料,研究者们正在开发出更有效的治疗策略,以期改善患者的生活质量并促进肠道的再生。未来的研究将继续探索这一领域的潜力,为溃疡性结肠炎的治疗提供更多创新的解决方案。

## 6. 纳米材料的安全性及临床前景

纳米材料为溃疡性结肠炎(UC)的治疗带来了新的希望和创新策略,然而其在实际应用中仍面临诸多局限性和挑战,深入剖析这些问题对于推动纳米材料在UC治疗领域的发展至关重要。在纳米材料的研究和应用中,安全性问题始终是一个重要的关注点,特别是在临床应用方面。随着纳米技术的不断发展,纳米材料在溃疡性结肠炎等疾病的治疗中展现出良好的前景,但其安全性和潜在风险仍需深入探讨。纳米材料的特性使其在药物传递、成像以及治疗等方面具有独特优势,但也可能引发毒理学问题。因此,评估纳米材料的安全性以及其在临床应用中的前景是当前研究的重点。

### 6.1. 毒理学研究

纳米材料的毒性评价是确保其安全性的重要环节。研究表明,纳米材料的大小、形状、表面修饰和

化学成分等都会影响其生物相容性和毒性。例如,某些金属纳米颗粒在体内可能引发氧化应激,导致细胞损伤和炎症反应[1]。此外,纳米材料的生物分布和代谢途径也对其毒性有重要影响。研究发现,纳米材料在体内的积累可能导致长期的毒性效应,尤其是在肝脏、肾脏等重要器官中[2]。在溃疡性结肠炎的研究中,纳米材料被用于改善药物的靶向性和生物利用度。然而,针对这些材料的毒理学研究仍显不足。例如,某些纳米材料在动物模型中表现出良好的抗炎效果,但其长期使用的安全性尚未得到充分验证[3]。因此,开展系统的毒理学研究,以评估纳米材料对人体的潜在风险,尤其是在长期暴露情况下的影响,是非常必要的。

纳米材料的毒性是其应用中备受关注的焦点。由于其尺寸微小,纳米材料进入人体后可能具有独特的生物学效应。包括:1) 氧化应激与细胞损伤:部分纳米材料,如金属纳米颗粒,在体内易引发氧化应激反应。以纳米银为例,它在生物体内可诱导活性氧(ROS)的过量产生,ROS的积累会攻击细胞内的脂质、蛋白质和DNA,导致细胞膜损伤、蛋白质变性以及基因突变等一系列不良后果,进而影响肠道细胞的正常生理功能,在UC治疗中可能加剧肠道组织的损伤。2) 免疫毒性:纳米材料的免疫毒性不容忽视。一些纳米材料可能被免疫系统识别为异物,从而激活免疫细胞,引发过度的免疫反应。比如,碳纳米管在体内可能会刺激巨噬细胞释放大量炎症因子,导致炎症风暴,这不仅不利于UC的治疗,反而可能加重肠道炎症,干扰机体正常的免疫平衡。3) 对肠道微生物群的影响:肠道微生物群在UC的发生发展中起着关键作用。纳米材料进入肠道后,可能会改变肠道微生物的组成和功能。研究发现,某些纳米材料会抑制有益菌的生长,如双歧杆菌和乳酸菌,同时促进有害菌的繁殖,像大肠杆菌和肠球菌,这种微生物群落的失衡可能会破坏肠道屏障功能,影响肠道的正常代谢和免疫调节,阻碍UC的治疗进程。

除了毒性问题之外,纳米材料的体内代谢难题也限制了纳米材料在UC治疗中的应用。包括:1) 吸收与分布:纳米材料在胃肠道的吸收机制尚未完全明确。其吸收效率受到多种因素的影响,包括粒径、表面电荷、化学组成等。一般来说,较小粒径的纳米材料更容易穿过肠道上皮细胞进入血液循环,但进入血液循环后,纳米材料在体内的分布难以精准控制。它们可能会在肝脏、脾脏、肾脏等器官中蓄积,而不是特异性地富集在肠道病变部位,这不仅降低了纳米材料在UC治疗中的靶向性,还可能对其他器官造成潜在损害。2) 代谢与排泄:纳米材料在体内的代谢途径和排泄方式同样是研究的难点。多数纳米材料难以被机体正常代谢分解,它们在体内的长期存在可能会引发慢性毒性。例如,一些金属氧化物纳米颗粒在体内几乎不被代谢,长期蓄积在组织器官中,随着时间的推移,可能会逐渐释放出金属离子,对周围组织产生毒性作用。而且,纳米材料的排泄效率较低,部分纳米材料可能会在体内滞留数月甚至数年,这大大增加了其潜在风险。

此外,虽然纳米材料在UC治疗的短期研究中展现出一定的潜力,但长期疗效仍存在诸多不确定性。包括:1) 炎症复发风险:UC是一种慢性复发性疾病,目前尚不清楚纳米材料治疗是否能真正降低UC的复发率。在一些短期研究中,纳米材料确实能够有效减轻炎症症状,促进肠道黏膜愈合,但停止治疗后,炎症是否会再次发作仍未可知。例如,某些纳米材料可能只是暂时抑制了炎症反应,并没有从根本上修复肠道的免疫异常和组织损伤,一旦停止使用,炎症很可能会卷土重来。2) 对肠道组织修复的长期影响:肠道组织的修复是一个长期而复杂的过程。纳米材料在促进肠道组织修复方面的长期效果需要进一步评估。一方面,纳米材料可能在短期内促进细胞增殖和组织再生,但长期使用可能会对细胞的分化和组织的重构产生不良影响,导致修复后的组织功能异常。另一方面,纳米材料在肠道组织中的长期存在可能会干扰正常的细胞间信号传导和组织修复过程,影响肠道的长期健康。3) 纳米材料在UC治疗中虽展现出一定优势,但在毒性、体内代谢以及长期疗效等方面存在的局限性和挑战不可小觑。未来,需要开展更多深入的研究,全面了解纳米材料的生物学特性,探索有效的解决方案,以确保纳米材料在UC治疗中的安全性和有效性,推动其从实验室研究走向临床应用,为UC患者带来切实的治疗益处。

## 6.2. 临床试验现状

当前, 纳米材料在临床试验中的应用逐渐增多, 尤其是在炎症性肠病(IBD)治疗领域。许多研究正在探索纳米材料作为药物载体的有效性和安全性。例如, 某些研究表明, 功能化的纳米颗粒能够有效靶向结肠炎症区域, 并释放药物, 从而提高治疗效果[5]。然而, 尽管已有一些临床试验显示出积极的结果, 纳米材料在临床应用中仍面临诸多挑战, 包括生产成本低、标准化难度大以及对患者的长期安全性评估不足等[4]。

此外, 临床试验的设计和实施也需要考虑纳米材料的特殊性质。例如, 如何确保纳米材料在体内的稳定性和生物相容性, 以及如何有效监测其在体内的分布和代谢, 都是当前研究的热点[13]。随着对纳米材料理解的深入, 未来的临床试验将更加注重这些材料的安全性和有效性, 以推动其在临床上的广泛应用。

综上所述, 纳米材料在溃疡性结肠炎治疗中的应用前景广阔, 但其安全性和临床应用的挑战仍需进一步研究和解决。通过加强毒理学研究和临床试验的设计, 可以为纳米材料的安全应用奠定基础, 推动其在医疗领域的转化应用。

## 7. 结论和展望

纳米材料在溃疡性结肠炎(UC)的治疗中展现出显著的创新潜力, 其应用的前景令人鼓舞。通过增强药物的靶向性和生物相容性, 纳米材料为传统治疗方法提供了新的思路, 可能改善患者的疗效和生活质量。当前的研究表明, 纳米载体能够有效地将药物送达病变部位, 降低全身性副作用, 这为提高溃疡性结肠炎的治疗效果提供了新的可能。

在分析当前的研究结果时, 我们发现不同的研究团队在纳米材料的选择、制备方法以及临床应用效果上各有侧重。例如, 一些研究集中于改进纳米颗粒的表面修饰, 以增强其对肠道黏膜的亲合力, 而其他研究则关注于不同药物与纳米载体的结合效果。这些研究的多样性虽然反映了纳米材料在溃疡性结肠炎治疗中的广泛应用, 但也导致了结果的不一致性, 使得我们在综合评估其实际效果时面临挑战。

在未来的研究中, 如何平衡不同研究的观点和发现, 将是推动纳米材料在溃疡性结肠炎临床应用的重要课题。为此, 建立标准化的评价体系, 对不同类型纳米材料的治疗效果进行系统性比较, 将有助于形成更为一致的研究结论。同时, 临床试验的设计也需要更加注重纳米材料的个体化应用, 以适应不同患者的病理状态和治疗需求。

值得注意的是, 尽管纳米材料在溃疡性结肠炎治疗中展现出良好的应用前景, 但其安全性和长期效果仍需深入研究。未来的工作应关注纳米材料在体内代谢及其对肠道微生物群的影响, 确保在有效治疗的同时不会对患者的整体健康造成负面影响。

总之, 纳米材料为溃疡性结肠炎的治疗提供了创新的策略, 其在药物靶向性和生物相容性方面的优势, 为改善患者的治疗效果开辟了新的方向。随着技术的不断发展和研究的深入, 纳米材料的应用有望在未来为溃疡性结肠炎的治疗带来革命性的进展。学术界和临床界需携手合作, 共同推动这一领域的研究, 以实现更安全、更有效的治疗方案, 最终造福广大患者。

## 基金项目

安徽省卫健委科研项目(AHWJ2024Ab0161)。

## 参考文献

- [1] Jia, Z., Yu, M., Wang, W., Ghazimirsaeid, S., Qu, Y. and Zhang, M. (2024) An Oxidative Cleavage-Based Cruciform

- DNA Nanostructure for *in Vivo* Hypochlorous Acid Visualization to Monitor Intestinal Inflammation. *Analytical Chemistry*, **96**, 9621-9628. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.4c01272>
- [2] Mondal, S., Das, M., Ghosh, R., Singh, M., Adhikari, A., Darbar, S., *et al.* (2023) Chitosan Functionalized Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles Counteracts Ulcerative Colitis in Mice through Modulation of Cellular Redox State. *Communications Biology*, **6**, Article No. 647. <https://doi.org/10.1038/s42003-023-05023-6>
- [3] Chen, M., Lan, H., Jin, K. and Chen, Y. (2023) Responsive Nanosystems for Targeted Therapy of Ulcerative Colitis: Current Practices and Future Perspectives. *Drug Delivery*, **30**, Article ID: 2219427. <https://doi.org/10.1080/10717544.2023.2219427>
- [4] Zhao, X., Ma, S., Wen, J., Hu, D., Gao, J., Peng, Q., *et al.* (2022) Reactive Oxygen Species-Responsive Polyether Micelle Nanomaterials for Targeted Treatment of Ulcerative Colitis. *Journal of Biomedical Nanotechnology*, **18**, 120-131. <https://doi.org/10.1166/jbn.2022.3233>
- [5] Ma, L., Lyu, W., Song, Y., Chen, K., Lv, L., Yang, H., *et al.* (2023) Front Cover: Anti-Inflammatory Effect of *Clostridium butyricum*-Derived Extracellular Vesicles in Ulcerative Colitis: Impact on Host MicroRNAs Expressions and Gut Microbiome Profiles. *Molecular Nutrition & Food Research*, **67**, e2200884. <https://doi.org/10.1002/mnfr.202370029>
- [6] Lu, J., Shi, T., Shi, C., Chen, F., Yang, C., Xie, X., *et al.* (2023) Thiol-Disulfide Exchange Coordinates the Release of Nitric Oxide and Dexamethasone for Synergistic Regulation of Intestinal Microenvironment in Colitis. *Research*, **6**, Article No. 0204. <https://doi.org/10.34133/research.0204>
- [7] Zhang, Y., Zhao, J., Zhao, Y., Bai, X., Chen, Y., Liu, Y., *et al.* (2023) The *Rhei radix rhizoma*-Based Carbon Dots Ameliorates Dextran Sulphate-Induced Ulcerative Colitis in Mice. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*, **51**, 180-191. <https://doi.org/10.1080/21691401.2023.2197947>
- [8] Kan, L., Zheng, Z., Fu, W., Ma, Y., Wang, W., Qian, H., *et al.* (2024) Recent Progress on Engineered Micro/Nanomaterials Mediated Modulation of Gut Microbiota for Treating Inflammatory Bowel Disease. *Journal of Controlled Release*, **370**, 43-65. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2024.04.014>
- [9] Wang, H., Zhou, F., Shen, M., Ma, R. and Yu, Q. (2025) Classification of Nanomaterial Drug Delivery Systems for Inflammatory Bowel Disease. *International Journal of Nanomedicine*, **20**, 1383-1399. <https://doi.org/10.2147/ijn.s502546>
- [10] Cheng, C., Cheng, Y., Zhao, S., Wang, Q., Li, S., Chen, X., *et al.* (2021) Multifunctional Nanozyme Hydrogel with Mucosal Healing Activity for Single-Dose Ulcerative Colitis Therapy. *Bioconjugate Chemistry*, **33**, 248-259. <https://doi.org/10.1021/acs.bioconjchem.1c00583>
- [11] Zhang, C., Li, Q., Shan, J., Xing, J., Liu, X., Ma, Y., *et al.* (2023) Multifunctional Two-Dimensional Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> Nanodiscs for Anti-Inflammatory Therapy of Inflammatory Bowel Diseases. *Acta Biomaterialia*, **160**, 252-264. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2023.02.016>
- [12] Wang, T., Fan, Q., Hong, J., Chen, Z., Zhou, X., Zhang, J., *et al.* (2021) Therapeutic Nanoparticles from Grape Seed for Modulating Oxidative Stress. *Small*, **17**, e2102485. <https://doi.org/10.1002/sml.202102485>
- [13] Ranjha, M.M.A.N., Shafique, B., Rehman, A., Mehmood, A., Ali, A., Zahra, S.M., *et al.* (2022) Biocompatible Nanomaterials in Food Science, Technology, and Nutrient Drug Delivery: Recent Developments and Applications. *Frontiers in Nutrition*, **8**, Article ID: 778155. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.778155>