



doi:10.7659/j.issn.1005-6947.260028
http://dx.doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.260028
China Journal of General Surgery, 2026, 35(4):684-695.

· 述评 ·

肠菌移植：从经验治疗迈向精准规范化时代

范俊杰，王新军，黄龙，秦环龙

[消化疾病国家临床研究(上海)分中心/苏州市立医院/南京医科大学附属苏州医院;苏州市重大慢病与肠道微生态重点实验室,江苏苏州 215008]



秦环龙

摘要

肠菌移植(FMT)作为重塑肠道微生态的重要生物治疗策略,已从早期经验性用于复发性艰难梭菌感染,逐步拓展至炎症性肠病、功能性胃肠疾病、慢性肝病以及神经精神疾病等多种肠内外疾病,并正在向精准化、规范化和机制导向的微生态治疗阶段发展。本文结合近十年来国内外FMT领域的重要研究进展及本团队的大规模临床实践经验,围绕“经验治疗—标准化实践—精准干预”的发展主线,系统综述FMT在供体筛选与质量控制、肠道微生物组检测、供受体精准配型、治疗时机与疗程优化、移植途径选择、疗效评估体系构建及长期随访管理等方面的关键问题与挑战,同时总结FMT在“菌-肠-器官轴”调控、活菌生物药、噬菌体疗法等新兴方向的研究进展。未来FMT的发展将更加依赖多组学技术、人工智能配型及功能菌群解析,推动FMT从经验性操作向精准、可控和可复制的微生态治疗模式转变。

关键词

粪便微生物群移植;精准医学;胃肠道微生物组
中图分类号:R446.1

Fecal microbiota transplantation: from empirical therapy to the era of precision and standardized medicine

FAN Junjie, WANG Xinjun, HUANG Long, QIN Huanlong

[Branch Center of National Clinical Research Center for Digestive Diseases (Shanghai)/Suzhou Municipal Hospital/the Affiliated Suzhou Hospital of Nanjing Medical University; Suzhou Key Laboratory for Major Chronic Diseases and Intestinal Microecology, Suzhou, Jiangsu 215008, China]

Abstract

Fecal microbiota transplantation (FMT), as an important biological strategy for reconstructing intestinal microecology, has evolved from an empirical therapy for recurrent *Clostridioides difficile* infection to a promising intervention for a wide range of intestinal and extraintestinal diseases, including inflammatory bowel disease, functional gastrointestinal disorders, chronic liver diseases, and neuropsychiatric

基金项目:国家自然科学基金资助项目(82300753);江苏省前沿技术(卫生健康领域)计划基金资助项目(BF2025637);国家重点研发计划基金资助项目(2024YFA1307101);南京医科大学姑苏学院肠道菌群专项基金资助项目(GSKY20250802, GSKY20250807);南京医科大学姑苏学院博士科研启动基金资助项目(Szsllyrc202601036)。

收稿日期:2026-01-15; **修订日期:**2026-03-23。

作者简介:秦环龙,苏州市立医院/南京医科大学附属苏州医院主任医师,主要从事肠道微生态及胃肠肿瘤方面的研究。

通信作者:秦环龙, Email: qinhuanlong@tongji.edu.cn

disorders. FMT is currently transitioning toward an era of precision, standardization, and mechanism-oriented microecological therapy. Based on major advances in FMT research over the past decade and the extensive clinical experience of our team, this review systematically summarizes the developmental trajectory of FMT from "empirical treatment-standardized practice-precision intervention". Key issues and challenges are discussed, including donor screening and quality control, gut microbiome detection, donor-recipient matching, optimization of treatment timing and therapeutic courses, selection of transplantation routes, establishment of efficacy evaluation systems, and long-term follow-up management. In addition, recent progress in emerging fields such as the gut-organ axis, live biotherapeutic products, and bacteriophage therapy is highlighted. Future development of FMT will increasingly rely on multi-omics technologies, artificial intelligence-assisted matching strategies, and functional microbiota analysis, thereby promoting the transformation of FMT from an empirical intervention into a precise, controllable, and reproducible microecological therapeutic modality.

Key words

Fecal Microbiota Transplantation; Precision Medicine; Gastrointestinal Microbiome

CLC number: R446.1

古希腊医学之父希波克拉底曾言:“所有疾病始于肠道”。如今,现代医学正在不断印证这一古老智慧。人体肠道内栖息着数以万亿计的微生物,其基因数量是人类自身基因的百倍以上,这个复杂的微生态系统被称为人体的“第二基因组”或一个“被遗忘的器官”。健康的肠道菌群与人体相互依存,共同维持着消化、代谢、免疫乃至神经系统的稳态。然而,当这一平衡因抗生素及其他药物滥用、不良饮食习惯、环境因素、社会压力等被打破时,即发生“肠道菌群失调”(dysbiosis),其影响将远超肠道本身。大量研究证实,菌群失调通过复杂的“菌-肠-X轴”(X可代表脑、肝、心、肺、肾、皮肤等几乎所有器官)与多种疾病的发生密切相关,包括炎症性肠病(inflammatory bowel disease, IBD)、肠易激综合征(irritable bowel syndrome, IBS)等消化系统疾病,以及肥胖、糖尿病等代谢性疾病,甚至孤独症、帕金森病、抑郁症等神经精神类疾病,并且与肿瘤免疫治疗的疗效密切相关。

肠菌移植(fecal microbiota transplantation, FMT)将健康人类粪便功能菌群移植到患者肠内,重建肠道菌群稳态,从而达到治疗疾病的目的。目前有超过10万例的临床病例数据证明,FMT在多种肠内及肠外疾病中显示出潜在疗效和较好的安全性^[1]。因此,探究肠道菌群与疾病的关系,恢复其平衡以改善病情,已成为21世纪新的临床治疗策

略。目前,FMT已成为复发性艰难梭菌感染(*Clostridioides difficile* infection, CDI)的推荐治疗方案,能有效提升患者整体存活率和生活质量,成功率高达90%^[2]。近年来,一系列高质量论文报道了FMT治疗其他肠内及肠外疾病的长期疗效^[3]。为进一步提升治疗效果,需优化供受体匹配策略,精准筛选功能性菌群,深入解析菌群作用机制,基于肠道菌群的个体差异性,未来治疗策略将趋向精准化与模块化。

十余年来,FMT疗法已经走出混沌争议,现已相对规范成熟。本文结合国内外最新研究进展,分析了FMT在重大慢病干预中取得的成就和临床突破,为进一步更广泛的临床推广应用和丰富科学内涵奠定理论价值。

1 FMT从经验性治疗到科学规范化治疗的历程

FMT的发展历程,体现了其从传统经验疗法向现代标准化医疗技术的深刻转变。该疗法的理念源远流长,可追溯至中国东晋葛洪《肘后备急方》及明代李时珍《本草纲目》中的相关记载。在现代医学史上,FMT于1958年首次在*Lancet*杂志中被报道用于治疗CDI^[4]。早期FMT主要应用于难治性肠道感染,但由于缺乏统一标准,制备工艺相对粗糙,多局限于院内制剂,给药途径也较为

简单（如灌肠），且长期安全性数据不足，制约了其临床推广。

近5年来，国家层面陆续出台关键政策，为FMT的规范化应用提供了重要支撑。2023年，国家卫生健康委将其纳入《国家医疗服务项目规范》；2025年，国家医保局进一步将其列入消化系统疾病诊疗项目价格标准。与此同时，FMT的技术体系也日趋完善，多项国家级专家共识相继发布，逐步构建起覆盖全流程的标准化指导体系：《肠道菌群移植临床应用管理中国专家共识（2022版）》^[5]初步明确了适应证、禁忌证及疗效评估；《肠道菌群移植供体筛选与管理中国专家共识（2022版）》^[6]规范了供体管理流程。《肠菌移植制备和质控实验室标准化技术规范中国专家共识（2023版）》^[7]进一步确立了从供体筛选到产品制备的全链条质控标准。随后，《慢性便秘肠道微生物生态临床应用中国专家共识（2024版）》^[8]《肠菌移植治疗炎症性肠病专家共识（2025版）》^[9]及《肠道菌群移植治疗慢性肝病的临床应用专家共识（2025版）》^[10]等行业指导文件的出台，为FMT在特定疾病领域的应用提供了专业依据与实践指引。即将发布的新版的《成人肠道菌群移植临床应用管理中国专家共识》更是全面、系统的提供了科学、规范和权威的实践指导。

2 FMT移植策略所面临的难点

2.1 健康供体粪便来源的安全性质疑与公众接受度

FMT的临床推广面临公众接受度的现实挑战。由于FMT涉及粪便即人体的排泄物，许多患者和公众会感到厌恶或存在心理障碍，对供体来源的控制和不确定性，均构成了其临床应用的巨大阻力。这种“粪便”的负面标签可能导致患者拒绝接受治疗，即使其潜在获益巨大。多数民众质疑健康志愿者的捐献粪便标准如何，严格筛查的标准是什么、粪便中的毒性成分或致病菌如何处理掉；每批次生产的胶囊和菌液如何进行质量控制；是否对患者产生严重不良事件和长远影响。而实际上，粪便能成为“药物”用的青年健康供体捐献者有严格的筛查标准，笔者曾在 *Gastroenterology*（2022年）发表过“五步六维度法”严格程序，年龄在18~28岁之间的大学生符合率仅0.2%，对其生活习惯、饮食结构、身体体检、心理状态、血液

特殊标志物检测、免疫功能和肠道微生物组进行动态检测，一旦其中一项指标不符合即取消健康供体资格，可见其严格程度^[11]。因此，十分必要加强公众科普教育，以科学、客观的方式介绍供体库的建立和严格、动态筛选的苛刻条件。

2.2 FMT本质：从“粪便秘植”到“肠道菌群移植”

FMT的成功在很大程度上依赖于移植菌群的质量。其早期阶段客观上类似于约1650年前记载的“黄龙汤”，确实当时FMT制备工艺缺乏统一标准，是其临床应用和研究结果出现异质性的主要原因之一。这一挑战体现在供体筛选、粪便及时处理时间、剂量确定等多个环节。近5年来，高水平公立医院和企业一起联手颁布了FMT制备胶囊和菌液方面的国家级标准和相应的实验室生产标准，而且对实验室提出了必须具备GLP、GMP（甚至P2或者P3实验室）条件，达到成药标准才能供临床使用；所生产的胶囊、菌液进入医院治疗疾病作为生物新技术也在2023年9月获得国家卫生健康委的行政许可。此外，制备过程的高精密仪器，能够高质量地去除臭味、杂质、脱色（黄色）；滤去了食物残渣和没吸收的食物、粗纤维等，保存了肠道微生物菌群及其活力；而且对毒性成分和潜在的致病菌去除均有严格的标准。因此，不应将FMT粗浅地理解为“粪便”移植，其本质是“肠道菌群移植”或“微生物群移植”。此外，同时优化治疗创新剂型（如推广接受度更高的pH响应性肠菌释放胶囊、纳米胶囊、滴丸等，甚至类似奶茶式的口服液），对于克服心理障碍、提高患者依从性至关重要。

2.3 FMT临床疗效评价体系的局限性与挑战

FMT的疗效评价和菌群定植是相互关联的复杂问题。过去5年，评估FMT的疗效是基于疾病症状学的改善程度，而目前已经逐步过渡到症状学、病因学、微生物组学联合评价体系。

在疗效评价方面，虽然FMT对复发性CDI的疗效显著且易于评估（如腹泻症状缓解），但在其他慢性复杂疾病中，评价标准则模糊得多。例如，在慢性便秘的治疗中，一项2025年发表的系统评价和Meta分析^[12]显示，FMT的汇总缓解率为50.7%，改善率为64.8%，生活质量评分显著改善（MD=32.19）。另外一项针对移植植物抗宿主病（graft-versus-host disease, GVHD）的II期临床试验^[13]显示，FMT的客观缓解率为57%。笔者曾在 *hLife*

(2024年)报道1.8万例不同重大慢病患者FMT治疗,随访10年平均有效率达到62%。分层分析如下:FMT治疗复发性CDI有效率超过90%;治疗便秘和IBS等肠道功能性疾病有效率65%;治疗炎症性肠病等器质性疾病有效率58.4%;治疗伴有肠道症状的帕金森病、阿尔茨海默病等有效率48.3%;治疗没有肠道症状的肠外疾病有效率40.4%^[1]。随后在*Science Bulletin* (2025年)和*iMETA* (2026年)提出了综合临床终点(症状改善)、生活质量量表、内镜评分和生物标志物、肠道微生物组演化特征等综合用于疗效评估,形成公认的标准化评价体系^[3]。诚然,FMT的菌群定植的成功受到多种因素影响,包括供体菌群的特性、受体的肠道微环境(如原有菌群的抵抗力、免疫状态、肠道pH值等)、移植前的预处理(如使用抗生素或肠道准备)以及移植途径等。受体的个体差异,如遗传背景和免疫状态,也极大地影响着菌群的定植和与宿主的相互作用。可见将这些微生态的动态变化与临床疗效精准关联起来,仍需进一步深入揭示的科学问题。

3 FMT科学规范化治疗的策略

3.1 肠菌微生物组检测和精准解析

肠道微生物组检测已逐渐从探索性研究阶段,发展为具备明确临床应用潜力的重要检测技术。2024年发表于*Cell*上的研究提出了“基石菌”与“共生菌”概念,深刻揭示了肠道菌群的内在平衡机制^[14]。

16S rRNA扩增子测序作为肠道微生态结构初筛和群体比较的首选工具,不仅能快速评估肠道菌群紊乱情况,且具有成本可控、周期较短的优势,单样本检测成本低,检测周期通常为3~7个工作日,适合常规筛查、普通患者的初步评估。对于特殊疾病(如复杂感染、难治性肠道疾病)、临床研究(如疾病标志物挖掘、功能机制探索等)以及FMT供体筛选与疗效动态评估等需要高精度解析的场景,则采用宏基因组测序,以实现物种、功能及耐药性等多维度的精准分析,但成本相对较高,且因需进行全基因组测序与复杂生物信息分析,检测周期较长,更适用于精准诊疗、深度科研等高端需求场景。

目前粪便微生物成分极复杂且多未知,细菌仅达种水平,病毒多未分类,且存在种族、饮食

差异,导致关键治疗成分与不良反应难以界定。近年来,多项研究揭示出粪便中未解析成分的丰富多样性。宏基因组与分箱技术揭示全球人群肠道未培养微生物,2019年,发表于*Nature*的研究^[15]新增2 058个新菌种,提升已知细菌多样性50%。单微生物RNA测序技术的应用揭示了部分未知微生物的代谢功能。2025年,发表于*iMeta*的研究^[16]发现,亚洲人群肠道中的单形巨单胞菌(*Megamonas funiformis*)可降解植酸,促进矿物质吸收,具备益生菌应用潜力。噬菌体在肠道微生物群体中同样扮演重要角色,可能通过感染细菌调控微生物群落结构和功能。2024年发表于*Nature Medicine*的研究^[17]发现,噬菌体驱动的细菌变化可能与2型糖尿病风险相关,为理解肠道微生物组与疾病的关系提供了新视角。代谢组学技术弥补了传统测序技术的不足,揭示了微生物代谢产物与宿主健康的关系。

肠道微生物组检测在FMT的临床实践中,贯穿于患者筛选、供受体配型、疗效评估与预后管理的全流程,是实现精准FMT的重要工具^[18-19]。肠道微生物组检测结果是FMT临床决策的关键参考依据,而非独立决策标准,必须在符合相关指南与规范的前提下,紧密结合患者的具体临床症状、疾病类型与严重程度进行综合判断。

3.2 供受体配型及个性化治疗策略

目前针对供体的微生物组和受体微生物组之间的适配或者错配等实践仍在实验室阶段,临床应用仍有差距。在一般临床应用中,某一供体对既往患者的疗效确切,作为固定供体治疗病例累计50例、其疗效超过60%,即保留该供体的一定时期内的供体资格。而在复杂病例或多次移植失败建议采用人工智能(AI)配型;其适用人群包括:常规移植失败(≥2次未改善)、合并基础疾病(如自身免疫病、代谢综合征)及特殊人群(儿童、老年人、免疫功能低下者)。其核心是通过机器学习分析多组学数据,构建预测模型以实现智能供体筛选:该模型可通过选择与受体菌群功能互补的供体来克服定植拮抗(如供体-受体匹配的AI模型将IBD有效率从57.1%显著提升至93.3%)^[20]。不同的病种可采取不同的配型方案,包括“菌株缺陷型配型”和“功能缺陷型配型”,这两种配型模式是从物种组成和生物学功能提出的FMT供受体精准匹配策略^[19]。菌株缺陷型配型

侧重于补充疾病状态下缺失的特定菌群，适用于受体肠道菌群中特定有益菌株缺失或严重不足的情况。需利用宏基因组测序对受体进行菌株水平扫描，识别缺失的特定功能菌株，并在供体库中检索含有目标菌株且该菌株具有高定植潜力的供体。移植后通过单核苷酸多态性或单核苷酸变异追踪技术，以验证供体菌株在受体肠道内的长期定植情况^[21]。而功能缺陷型配型则关注恢复关键的代谢和免疫功能，需宏基因组功能注释及代谢组验证，更适用于受体肠道菌群整体功能异常，如代谢功能、免疫调节功能等缺陷，而非单纯特定菌株缺失的情况。因此，通过供受体在菌群组成和功能上的高度契合，既保障有益菌定植，又确保其发挥受体所缺失的代谢、免疫调节功能，从而提升临床疗效。

未来，通过整合供受体临床指标，包括噬菌体、小分子代谢物等在内的微生物、代谢物指标及治疗因素构建供受体AI模型，为疾病治疗筛选出合适的“专病供体”，通过完善“配得准”来进一步解决“有效性”的问题，使“经验FMT”逐步走向“精准FMT”。

3.3 FMT的适应证的选择和治疗时机选择

FMT的适应证选择应以疾病类型及肠道菌群紊乱证据为基础。总体而言，明确的肠道疾病，或虽属肠道外疾病但伴有明显胃肠道症状者是FMT的主要适应证范围，涵盖复发性CDI、IBD、菌群紊乱相关腹泻、慢性肝病，以及肠-脑互动障碍相关疾病如IBS、功能性便秘和难治性消化不良等^[22-26]。部分神经、精神、代谢、免疫及肿瘤相关肠外疾病，如患者伴有胃肠道症状，或已有检查证实存在明显肠菌紊乱，也可作为选择性适应证^[5, 27-30]。对于无典型胃肠症状的肠外疾病，应在充分评估潜在获益与不确定性、严格掌握知情同意后审慎开展。

在治疗时机的选择方面，应根据疾病类型、病情阶段及常规治疗反应进行分层把握^[31-32]。对于多数疾病，FMT更适合在基础药物、靶向药物或生物制剂治疗过程中联合应用，以期发挥增敏增效、提高应答率及减轻药物相关肠道不良反应的作用；当常规治疗效果不佳，尤其在无效、反复复发或患者无法耐受时，FMT可作为优先考虑的补充或联合治疗措施。但对于复发性或难治性CDI等特定疾病，FMT可作为早期或一线治疗选项。

3.4 FMT疗程的选择和疗效评估

多项研究和指南共识指出，相较于单次移植，多次或高频次的FMT可能带来更好的临床结局。《肠菌移植治疗炎症性肠病专家共识（2025版）》^[9]指出，多次输注菌液可增加供体微生物多样性与定植机会来提高IBD患者的临床应答。《肠道菌群移植治疗慢性肝病的临床应用专家共识（2025版）》^[10]也提出，较高剂量和频繁施治可有效恢复肠道微生物群平衡，降低复发率。对于初始FMT无反应的患者，重复FMT可获得较高的有效率。FMT可采用每天1次、连续6 d作为1个标准疗程，每个疗程间隔4周；对于不耐受鼻肠管或结肠镜置管的患者，可口服冻干菌群胶囊，口服菌群胶囊4粒/次，每粒10 g，每克内容物包含活菌数不小于 10^9 菌落形成单位（colony-forming unit, CFU），持续6 d。《肠菌移植治疗炎症性肠病专家共识（2025版）》^[9]推荐，在活动期IBD患者通过FMT取得临床缓解后，继续使用口服胶囊形式的进行维持治疗10周。该共识引用一项研究^[33]表明，接受长达48周维持治疗的患者，FMT组的临床缓解率（88.6%）显著高于对照组（55.6%）。建议单次输注剂量为 $1 \times 10^9 \sim 1 \times 10^{14}$ CFU菌落才能达到最佳状态，活菌成分不低于80%。其中菌种数量益生菌总数 $\geq 1.39 \times 10^{11}$ CFU/mL；双歧杆菌（*Bifidobacteria*） $\geq 7.06 \times 10^{10}$ CFU/mL；乳酸杆菌（*Lactobacilli*） $\geq 6.78 \times 10^{10}$ CFU/mL；需氧菌（*Aerobes*） $\geq 5.67 \times 10^{11}$ CFU/mL；总大肠杆菌（total *Coliforms*） $\geq 6.30 \times 10^{10}$ CFU/mL；厌氧菌总数（total *Anaerobes*） $\geq 8.54 \times 10^{10}$ CFU/mL。供体肠道菌群健康指数达到理想状态才能满足剂量的最佳状态。

3.5 FMT途径的选择与疾病的关联

FMT途径可分为上消化道途径、中消化道途径和下消化道途径。实践中，临床医师根据患者临床症状、耐受度、治疗需求及病变部位，合理选择移植途径。一项纳入2 010例患者的病例系列研究^[34]显示，鼻肠管组的临床治愈率和改善率在所有移植途径中最高。但在选择FMT移植途径时，应综合评估患者的具体情况（如疾病种类、吞咽功能、肠道通畅性、营养状况、耐受性）、治疗需求（如单次或多次移植）、安全性、成本效益及患者意愿，以制定个体化的治疗方案。口服胶囊FMT相比灌肠或内镜操作，更加便捷而安全，适合长期维持治疗，尤其在需要频繁移植的患者中，

降低了侵入性操作的风险。通过结肠镜置TET管行FMT可以直观观察肠道黏膜炎症和愈合情况,评估黏膜修复程度,黏膜愈合被认为是IBD长期预后改善的重要标志。2025年,DeLeon等^[35]在*Cell*上发表的结果显示,经上消化道途径FMT会导致小肠细菌结肠化风险(而产生代谢、免疫异常),但由于样本量较小(仅7例),随访3个月,尚缺乏强有力的说服力,仍需扩大随访时间及更多样本量来评估其风险。

临床上选择FMT实施途径也是基于疾病的基础状态和合并局部及全身反应而决定。当患者合并全身性反应如慢性营养不良、低蛋白血症需要同时肠内营养治疗;或者患者合并重症时其他治疗已经留置鼻肠管,即可鼻饲管肠内营养同时兼顾FMT干预;患者气管切开或者抗生素治疗2周及以上,导致肠功能障碍等均可首选经鼻肠管途径。如患者经鼻肠管耐受性差,全身情况良好,病灶比较局限在结肠(如溃疡性结肠炎)或者单纯性肠道外疾病肠道表现较为突出,则经肛结肠途径推荐为首选。

3.6 FMT治疗与影响疗效因素分析

FMT的临床应用范围已从复发性CDI扩展至更多疾病领域,疗效的稳定性已经从10年前的40%提高到65%~80%^[34],FMT影响疗效的主要因素包括:(1)供体因素:供体的肠道菌群组成、多样性、稳定性及其代谢功能谱,直接影响移植菌群的“质量”和治疗潜力^[36]。(2)受体因素:FMT疗效不仅取决于“健康供体”,更取决于“适合特定供体的受体”^[37-38];受体微生物组基线水平多样性过高或过低都可能影响FMT反应,不同疾病呈现不同结果^[39-40]。(3)FMT制剂制备方式:在治疗复发性CDI中,冷冻制剂(-80℃保存)与新鲜制剂疗效相当。(4)移植时期选择:在IBD治疗过程中,对于存在黏膜炎症的患者,进行抗感染治疗后,让其肠道微环境恢复至相对稳态后再进行FMT治疗^[41]。(5)预处理的影响:包括饮食及营养干预、抗生素预处理、肠道清洁程度、移植前药物的使用^[42-43]。

3.7 FMT联合用药的注意事项

对于多数存在复杂用药史的患者,常见非抗生素药物的使用即可导致肠道菌群、组学及代谢的改变^[44]。对抗生素而言,虽然在CDI的FMT治疗中,短程万古霉素预处理可降低艰难梭菌载量、缓解黏膜炎症显著提高疗效^[45],但抗生素的使用

可使肠道处于高度不稳定的炎症与代谢失调状态。因此,对于非感染性肠道疾病的FMT治疗中,已不推荐抗生素作为预处理措施,如患者在围移植期,则需系统评估并分层管理患者的用药史。

为最大限度降低FMT期间合并药物对菌群定植或治疗安全的不利影响,对相关药物进行如下调整:暂停非必需的胃肠动力调节药物;广谱抗生素应尽可能替换为对菌群影响较小的窄谱药物;免疫抑制剂应在病情允许时降至最低有效剂量;对于无法停用的药物(如精神类药物),无需强制停药,但需完整记录用药信息并在疗效评估中充分考虑其潜在影响。

在围FMT期间需重视肠内外营养支持,应采用营养风险筛查评分简表、全球营养不良领导倡议标准等工具进行营养风险筛查,对中高危风险(NRS $\geq$ 3)者,明确营养不良类型,再根据疾病特点选择特定的营养制剂与剂量。对于无营养支持需求的,在FMT治疗期间应积极给予一定剂量的肠内营养支持,有利于肠道菌群的定植和平衡。至于制酸剂、激素、单抗治疗原发疾病时,可以甚至积极鼓励FMT的联合使用,一定程度上起到增敏、增效的作用;有诸多文章报道在肿瘤免疫治疗(PD-1、CAR-T等)中,FMT可逆转免疫卡点治疗不敏感的患者出现增效效应^[46]。

3.8 FMT长期疗效与疾病表型的复发

FMT长期疗效受疾病类型、移植方式和个体差异影响,部分患者可能需重复治疗或联合其他疗法。2025年3月,一项纳入15 000例FMT患者研究报告,覆盖消化、代谢、神经类等九类慢病3年随访数据,显示多个病种的症状明显缓解,部分患者的药物依赖显著下降,有效率最高达72.3%。但长期有效率存在下降趋势,治疗3、12、36个月后,治疗有效率分别为71.8%、64.4%、58.8%^[47]。

长期疗效取决于供体菌群在受体肠道内的成功定植。研究发现,FMT后短期内受体菌群向供体趋近,但这种重塑状态可能随时间发生漂移。也有研究表明,即使移植4年后,供体的菌株仍可在IBD患者的肠道内出现,维持了治疗的有效性^[48]。同时,供体微生物组的长期稳定性和物种均匀度也是决定治疗效果的关键指标,在溃疡性结肠炎治疗中,具有高物种均匀度的供体能促进更好的菌株植入。此外,FMT的长期临床获益具有明显“疾病分层”特点。FMT对肠道急性炎症

性疾病疗效最高，应答率可超过90%；对肠道功能性疾病总体有效率在60%以上；对慢性肠道炎症或器质性疾病通常低于60%；对没有胃肠道症状的肠外疾病通常低于50%。这说明FMT长期疗效与疾病类型密切相关^[1]。

在FMT治疗后，若供体菌群无法长期定植（如受体免疫抑制、饮食不当、疗程不足），受体肠道菌群会逐渐恢复至基线失调状态，致病菌（如艰难梭菌、变形菌门）重新过度繁殖，导致疾病表型复发（如CDI的再次腹泻、IBD的炎症活动）。例如FMT复发高风险的IBD，供体菌定植率低的患者，其肠道炎症评分显著高于定植率高的患者，复发率也高^[49]。

3.9 FMT治疗与肠道微生物组生态转换

肠型是根据肠道中占主导地位的菌群划分的基本类型，相当于肠道菌群的血型，目前微生物组的临床研究中将其分为拟杆菌属（*Bacteroides*, B型）、普雷沃菌属（*Prevotella*, P型）和瘤胃球菌属（*Ruminococcus*, R型）。

一项发表于*Microbiome*的临床研究^[50]提示植入的菌株引起了受体肠型的转变，并提供了改变菌群代谢潜力的基因。肠型的转换通常意味着：(1) 供体肠菌成功定植：供体的菌群在患者肠道内成功“安家落户”，并占据了生态位。(2) 肠道生态系统的重塑：患者的肠道微环境从失调状态被“重置”到了一个更健康、更平衡的状态。(3) 肠道功能的恢复：新的菌群组合会执行不同的代谢功能（如产生短链脂肪酸、调节胆汁酸代谢、合成维生素等），这些功能正是FMT发挥治疗作用（如抑制病原体、抗炎、修复肠屏障）的基础。FMT后肠型的转变，提示FMT治疗在生物学层面上是起效的，是预测和解释临床疗效的重要生物标志物。但肠型的改变本身并不直接等同于临床症状的改善，可能存在“不协调”的现象，如有的患者肠型发生转换，但临床症状（如腹痛、腹泻）或疾病活动度（如炎症指标）没有改善，可能是因为关键的、起治疗作用的功能菌株或代谢通路没有被成功植入或激活。

3.10 FMT治疗与菌-肠-脑轴等肠外器官的影响

FMT对远隔器官的影响是一个复杂且多维度的生物学现象，目前研究已发现其对多个远隔器官存在显著影响；尤其在精神神经领域报道较为集中。其核心机制主要涉及免疫调控、微生物代

谢物、神经内分泌及炎症信号通路等多层次网络（图1）。概括起来，主要四个途径构成菌肠脑轴的调控机制：(1) 迷走神经-炎症反射弧：菌群色氨酸→吲哚→芳香烃受体（AhR）→IL-22→屏障完整性；手术切断迷走神经可阻断部分抑郁表型，证实电信号必要性。(2) 微生物代谢物-血行途径：短链脂肪酸（乙酸、丙酸、丁酸）浓度每升高1 μm，海马脑源性神经营养因子mRNA表达增加12%；次级胆汁酸（脱氧胆酸）过量→屏障松动→脂多糖（LPS）升高→小胶质细胞TNF-α风暴。(3) 肠免疫系统“外周教育”：树突细胞（CD103⁺）摄取菌群抗原→肠系膜淋巴结→诱导Treg/Th17，趋化梯度CCL20-CCR6把Th17送进脉络丛，调节认知行为。(4) 下丘脑-垂体-肾上腺（HPA）轴-昼夜节律耦合：慢性压力→皮质酮昼夜峰值前移→菌群α多样性降低30%；给予丁酸（butyrate）可恢复CLOCK/BMAL1节律，降低应激逃逸行为^[51]。临床研究揭示了“菌-肠-脑轴”疾病作为FMT应用的潜在重要领域。近年来，FMT在代谢性疾病、神经系统疾病及精神心理疾病等肠外场景中的应用受到广泛关注，已成为微生态治疗的重要研究热点。研究表明，肠道菌群可通过调节宿主免疫炎症反应、影响短链脂肪酸和胆汁酸等代谢产物生成、介导神经内分泌信号传递，并经迷走神经等神经通路参与远隔器官功能调控，从而影响疾病发生发展^[52]。基于上述机制，FMT已被用于帕金森病、阿尔茨海默病、孤独症谱系障碍及焦虑、抑郁等神经精神系统疾病，通过FMT治疗有望使相关疾病患者的健康状况恢复或部分恢复至正常水平。

除了神经精神领域，FMT通过“肠-X轴”对多系统远隔器官的调控作用也正迎来机制驱动的临床应用快速拓展。在慢性肝病中，FMT通过修复肠道屏障、减少内毒素移位，显著降低肝硬化肝性脑病复发率（从40%降至9%）^[53]。在代谢性疾病中，FMT通过增加产丁酸菌丰度，调节胆汁酸代谢及GLP-1释放，改善胰岛素敏感性^[39]；此外，在肿瘤免疫治疗中，FMT可能成为改善免疫检查点抑制剂耐药的重要辅助策略，通过联合FMT，在晚期黑色素瘤、非小细胞肺癌、肾细胞癌等实体肿瘤中显著提升晚期实体瘤的客观缓解率^[46]。综上所述，FMT对远隔器官的干预已迈向基于多组学特征的系统性微生态重塑，未来有望进化为针对特定疾病的“精准活体生物治疗”。

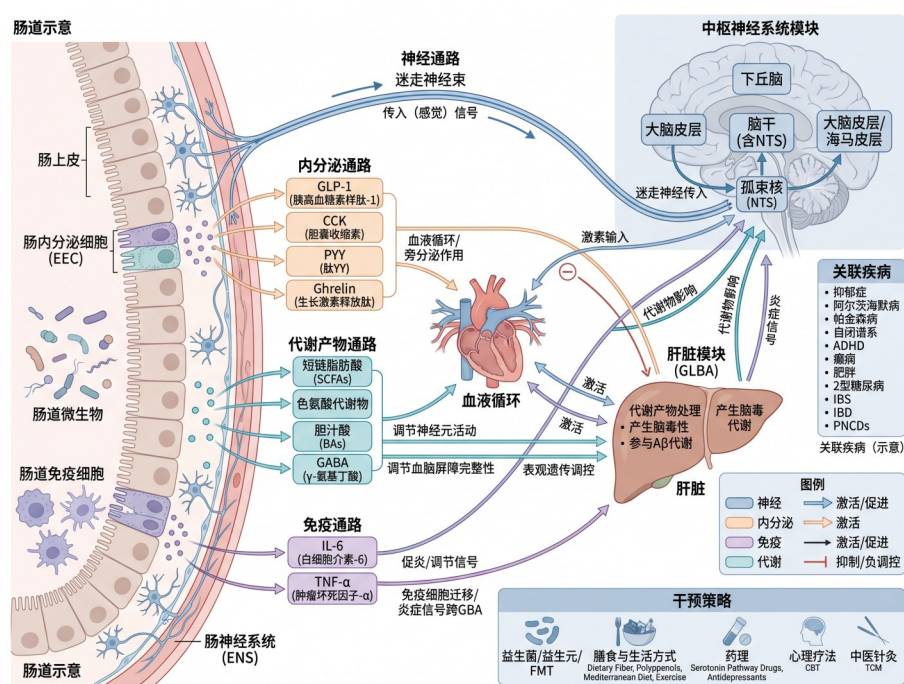


图 1 FMT 通过“菌-肠-器官轴”调控远隔器官的机制示意图

Figure 1 Schematic diagram illustrating the mechanisms by which FMT regulates distant organs via the gut-organ axis

3.11 FMT 向活菌生物药 (live biotherapeutic product, LBP) 的开发与临床应用

与传统 FMT 相比, LBP 代表了微生态治疗从“供体粪菌整体移植”向“成分明确、质量可控、可工业化生产”的重要转化方向。LBP 是以活菌为核心的生物治疗产品, 用于预防、治疗或缓解疾病, 其研发强调菌株组成明确、作用机制可解释、生产与质控可重复、批间一致性可验证^[54]。

LBP 通过调节肠道微生态、免疫系统以及代谢通路, 在多种疾病的治疗中显示出应用前景。美国 FDA 已先后批准 REBYOT 和 VOWS 用于成人抗菌药物治疗后预防复发性 CDI 再发, 有效性及安全性均得到验证。LBP 凭借其精准调控微生态系统的能力, 正成为肿瘤免疫治疗的新兴力量。工程化 LBP 不仅能特异性靶向肿瘤组织, 还能通过调节肿瘤微环境增强免疫应答^[54]。在代谢领域, 产丁酸菌株 (*Anaerobutyricum soehngenii*) 已在临床研究中证实可显著提升代谢综合征患者的胰岛素敏感性, 为代谢性疾病提供了基于机制的干预方案^[55]。此外, LBP 的应用边界不断拓展, 呼吸系统疾病中, 吸入式乳杆菌制剂, 通过靶向抑制 MMP-9/PGP 通路能有效减轻肺部炎症并改善支气管肺发育不良症及慢性阻塞性肺疾病模型的结构损伤^[56]。

从学术与产业发展趋势看, LBP 可被视为 FMT

的“标准化升级版”或“精准化延伸”: 一方面, FMT 为菌群重建治疗提供了临床概念验证; 另一方面, LBP 则试图通过定义菌株组合、核心功能菌筛选、代谢通路设计和宿主-菌群匹配, 提高疗效可预测性并降低供体差异带来的波动。

3.12 噬菌体疗法临床应用

随着高通量测序技术的发展, 对肠道噬菌体的研究日益深入, 揭示了其在健康和疾病状态下的动态变化。研究发现, 噬菌体组的改变与 IBD、IBS、肥胖、2 型糖尿病等多种疾病相关^[57]。同时, 由于抗生素耐药性问题日益严峻, 噬菌体疗法作为一种精准靶向病原菌而不破坏有益菌群的替代策略, 受到广泛关注。

FMT 制备过程不可避免带入供体噬菌体, 其可稳定植入受体肠道, 且特定类群 (如有尾噬菌体目) 丰度与疗效相关^[58]。噬菌体疗法针对耐药菌疗效良好, 高度专一, 对正常菌群干扰小, 免疫原性低, 相对安全, 通过识别并裂解致病菌参与肠道菌群失调, 对个体化治疗提供方向, 研究^[22]发现移植无菌粪便滤液 (可能仅含噬菌体和代谢产物) 同样可以有效治疗复发性 CDI。然而, 噬菌体亦存风险: 2 型糖尿病供体噬菌体可诱导健康免疫细胞炎症^[59]; 溃疡性结肠炎患者噬菌体丰

度与疗效负相关,并可加重炎症^[60]。此外,噬菌体疗法临床转化面临多重挑战:监管端缺乏统一临床规范与质量标准;技术端受限于宿主范围窄、细菌耐药风险及分离纯化储存难题;尽管临床研究普遍显示噬菌体疗法具有良好的安全性,但缺乏大规模高质量RCT支持。未来亟须建立标准化制备与评估流程,通过更多高质量临床试验验证其安全与疗效。

4 未来10年FMT的机制研究方向

尽管FMT在多种疾病中展现出广阔前景,但移植成分尚未完全厘清,外源菌群定植仍受多重屏障限制,功能级联反应、多菌互作网络以及通过“菌-肠-器官轴”影响远隔器官的机制仍认识不足。未来FMT发展应立足临床实际,聚焦重大疾病诊疗需求:第一,加快供体标准化与专病供体库建设,依托多组学技术与AI算法构建供受体精准配型模型,做到“配得准、分得出”,精确锁定功效菌群与关键代谢物,确保疗效安全可控、稳定传递。第二,围绕菌株定植拮抗、资源竞争和空间重排等关键过程,系统阐明从微生物群到宿主免疫、代谢的作用通路,揭开临床疗效的神秘面纱。第三,厘清底盘菌、功能菌、过路菌的分类及互作关系,以此为基础构建全新菌库与新型菌群制剂或者剂型,突出单一疾病中体内的定植和功能菌株发挥作用。第四,还需进一步探索工程菌/驯化菌、人工粪便、噬菌体或代谢物移植以及基因编辑供体动物等新型微生态治疗策略,优化剂量、给药途径和新剂型设计,推动FMT从经验性操作迈向规范化、精准化、可复制的微生态重建方案。

总之,FMT正处于从经验性治疗向精准微生态治疗转型的关键阶段。随着多组学技术、AI及合成生物学的发展,FMT的研究正在从单纯菌群重建逐步深入到功能菌群解析、供受体精准匹配及“菌-肠-器官轴”机制探索。未来,通过建立标准化供体体系、优化治疗策略及开发新型活体生物治疗产品,FMT有望实现从“经验应用”向“精准、可控、可复制”治疗模式的跨越,并为重大慢病及复杂疾病的微生态干预提供新的治疗思路与发展方向。

作者贡献声明:秦环龙负责文章终审及论文架构设计;黄龙负责文章撰写指导及文章修改;范俊杰、王新军负责文章撰写及文献调研。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突。

参考文献

- [1] Tian H, Wang X, Fang Z, et al. Fecal microbiota transplantation in clinical practice: Present controversies and future prospects[J]. *hLife*, 2024, 2(6):269–283. doi:10.1016/j.hlife.2024.01.006.
- [2] Quraishi MN, Widlak M, Bhala N, et al. Systematic review with meta-analysis: the efficacy of faecal microbiota transplantation for the treatment of recurrent and refractory *Clostridium difficile* infection[J]. *Aliment Pharmacol Ther*, 2017, 46(5): 479–493. doi: 10.1111/apt.14201.
- [3] Wang X, Zhao D, Bi D, et al. Fecal microbiota transplantation: transitioning from chaos and controversial realm to scientific precision era[J]. *Sci Bull*, 2025, 70(6): 970–985. doi: 10.1016/j.scib.2025.01.029.
- [4] Eiseman B, Silen W, BASCOM GS, et al. Fecal Enema as an adjunct in the treatment of pseudomembranous enterocolitis[J]. *Surgery*, 1958, 44(5):854–859.
- [5] 国家卫生健康委员会医院管理研究所, 中华医学会肠外肠内营养学分会, 中华医学会肠外肠内营养学分会肠道微生态协作组, 等. 肠道菌群移植临床应用管理中国专家共识(2022版)[J]. *中华胃肠外科杂志*, 2022, 25(9): 747–756. doi: 10.3760/cma.j.cn441530-20220725-00324. Institute of Hospital Management, National Health Commission, Parenteral and Enteral Nutrition Branch of the Chinese Medical Association, Intestinal Microecology Collaboration Group of Parenteral and Enteral Nutrition Branch, Chinese Medical Association. Expert consensus on clinical application management of fecal microbiota transplantation(2022 edition) [J]. *Chinese Journal of Gastrointestinal Surgery*, 2022, 25(9): 747–756. doi: 10.3760/cma.j.cn441530-20220725-00324.
- [6] 中华医学会肠外肠内营养学分会, 上海预防医学会微生态专业委员会. 肠道菌群移植供体筛选与管理中国专家共识(2022版)[J]. *中华胃肠外科杂志*, 2022, 25(9): 757–765. doi: 10.3760/cma.j.cn441530-20220606-00246. Society of Parenteral and Enteral Nutrition, Chinese Medical Association, Microecology Professional Committee of Shanghai Preventive Medicine Association. Chinese expert consensus on screening and management of fecal microbiota transplantation donors (2022 edition) [J]. *Chinese Journal of Gastrointestinal Surgery* 2022, 25(9): 757–765. doi: 10.3760/cma.j.cn441530-

- 20220606-00246.
- [7] 中国抗癌协会肿瘤与微生态专业委员会, 中国感染免疫与微生态研究转化协作组. 肠菌移植制备和质控实验室标准化技术规范中国专家共识(2023版)[J]. 中国微生态学杂志, 2024, 36(6):705-711. doi:10.13381/j.cnki.cjm.202406013.
- 中国抗癌协会肿瘤与微生态专业委员会, 中国感染免疫与微生态研究转化协作组. Chinese expert consensus on standardized technical specifications for laboratory preparation and quality control of fecal microbiota transplantation(2023 edition) [J]. Chinese Journal of Microecology, 2024, 36(6): 705-711. doi: 10.13381/j.cnki.cjm.202406013.
- [8] 中华医学会肠外肠内营养学分会, 中国人体健康科技促进会肠道微生态与肠菌移植专业委员会, 上海市预防医学会肠道微生态专业委员会. 慢性便秘肠道微生态临床应用中国专家共识(2024版)[J]. 中华胃肠外科杂志, 2024, 27(4):326-337. doi:10.3760/cma.j.cn441530-20240313-00096.
- Parenteral and Enteral Nutrition Branch of the Chinese Medical Association, Chinese Society for the Promotion of Human Health Science and Technology, Committee on Gut Microecology and Fecal Microbiota Transplantation, Shanghai Preventive Medicine Association. Chinese expert consensus on the clinical diagnosis and treatment of gut microecology in chronic constipation (2024 edition)[J]. Chinese Journal of Gastrointestinal Surgery, 2024, 27(4):326-337. doi:10.3760/cma.j.cn441530-20240313-00096.
- [9] 中华医学会肠外肠内营养学分会, 中国人体健康科技促进会肠道微生态与肠菌移植专业委员会, 上海市预防医学会肠道微生态专业委员会. 肠菌移植治疗炎症性肠病专家共识(2025版)[J]. 中华胃肠外科杂志, 2025, 28(3): 225-235. doi: 10.3760/cma.j.cn441530-20241224-00422.
- Parenteral and Enteral Nutrition Branch of the Chinese Medical Association, Chinese Society for the Promotion of Human Health Science and Technology, Committee on Gut Microecology and Fecal Microbiota Transplantation, Shanghai Preventive Medicine Association. . Consensus of Chinese experts on gut microbiota and fecal microbiota transplantation in inflammatory bowel disease (2025 edition) [J]. Chinese Journal of Gastrointestinal Surgery, 2025, 28(3): 225-235. doi: 10.3760/cma.j.cn441530-20241224-00422.
- [10] 中华医学会肝病学分会肝病相关消化组. 肠道菌群移植治疗慢性肝病的临床应用专家共识(2025版)[J]. 中华肝病杂志, 2025, 33(8): 738-746. doi: 10.3760/cma.j.cn501113-20250429-00163.
- Liver Related Digestive Diseases Group, Chinese Society of Hepatology, Chinese Medical Association. Expert consensus on the clinical application of gut microbiota transplant therapy in chronic liver disease (version 2025) [J]. Chinese Journal of Hepatology, 2025, 33(8): 738-746. doi: 10.3760/cma.j.cn501113-20250429-00163.
- [11] Zhang S, Chen Q, Kelly CR, et al. Donor screening for fecal microbiota transplantation in China: evaluation of 8 483 candidates[J]. Gastroenterology, 2022, 162(3): 966-968. doi: 10.1053/j.gastro.2021.11.004.
- [12] Wang K, Gao C, Zhu L, et al. Fecal microbiota transplantation for chronic constipation: a systematic review and meta-analysis of clinical efficacy, safety, and microbial dynamics[J]. Front Microbiol, 2025, 16:1604571. doi:10.3389/fmicb.2025.1604571.
- [13] Rashidi A, Ebadi M, Rehman TU, et al. Potential of fecal microbiota transplantation to prevent acute GVHD: analysis from a phase II trial[J]. Clin Cancer Res, 2023, 29(23): 4920-4929. doi: 10.1158/1078-0432.ccr-23-2369.
- [14] Wu G, Xu T, Zhao N, et al. A core microbiome signature as an indicator of health[J]. Cell, 2024, 187(23):6550-6565. doi:10.1016/j.cell.2024.09.019.
- [15] Nayfach S, Shi ZJ, Seshadri R, et al. New insights from uncultivated genomes of the global human gut microbiome[J]. Nature, 2019, 568(7753): 505-510. doi: 10.1038/s41586-019-1058-x.
- [16] Shen YF, Qu WX, Song MD, et al. Single-microbe RNA sequencing uncovers unexplored specialized metabolic functions of keystone species in the human gut[J]. iMeta, 2025, 4(3): e70035. doi:10.1002/imt2.70035.
- [17] Mei Z, Wang F, Bhosle A, et al. Strain-specific gut microbial signatures in type 2 diabetes identified in a cross-cohort analysis of 8, 117 metagenomes[J]. Nat Med, 2024, 30(8): 2265-2276. doi: 10.1038/s41591-024-03067-7.
- [18] Porcari S, Benech N, Valles-Colomer M, et al. Key determinants of success in fecal microbiota transplantation: From microbiome to clinic[J]. Cell Host Microbe, 2023, 31(5): 712-733. doi:10.1016/j.chom.2023.03.020.
- [19] Chen Q, Wu C, Xu J, et al. Donor-recipient intermicrobial interactions impact transfer of subspecies and fecal microbiota transplantation outcome[J]. Cell Host Microbe, 2024, 32(3): 349-365. doi:10.1016/j.chom.2024.01.013.
- [20] Zhao D, Wang X, Wang K, et al. Recipients' native bacteria determine the outcome of FMT treatment in inflammatory bowel disease[J]. Gut Microbes, 2025, 17(1): 2600055. doi: 10.1080/19490976.2025.2600055.
- [21] Fan Y, Ni M, Aggarwala V, et al. Long-read metagenomics for strain tracking after faecal microbiota transplant[J]. Nat Microbiol, 2025, 10(12):3258-3271. doi:10.1038/s41564-025-02164-8.
- [22] Ott SJ, Waetzig GH, Rehman A, et al. Efficacy of sterile fecal filtrate transfer for treating patients with *Clostridium difficile*

- infection[J]. *Gastroenterology*, 2017, 152(4):799–811. doi:10.1053/j.gastro.2016.11.010.
- [23] Cammarota G, Ianiro G, Tilg H, et al. European consensus conference on faecal microbiota transplantation in clinical practice[J]. *Gut*, 2017, 66(4): 569–580. doi: 10.1136/gutjnl-2016-313017.
- [24] Cui JQ, Lin ZL, Tian HL, et al. Long-term follow-up results of fecal microbiota transplantation for irritable bowel syndrome: a single-center, retrospective study[J]. *Front Med*, 2021, 8: 710452. doi:10.3389/fmed.2021.710452.
- [25] Yang B, Tian H, Ye C, et al. The efficacy and safety of fecal microbiota transplantation combined with biofeedback for mixed constipation: a retrospective cohort study[J]. *Front Med*, 2021, 8: 746990. doi:10.3389/fmed.2021.746990.
- [26] Zhou Y, Yang L, Nan Y. Expert consensus on clinical applications of fecal microbiota transplantation for chronic liver disease (2025 edition) [J]. *J Clin Transl Hepatol*, 2025, 13: 1107–1116. doi: 10.14218/JCTH.2025.00456.
- [27] Scheperjans F, Levo R, Bosch B, et al. Fecal microbiota transplantation for treatment of Parkinson disease: a randomized clinical trial[J]. *JAMA Neurol*, 2024, 81(9): 925. doi: 10.1001/jamaneurol.2024.2305.
- [28] Zhang X, Li Y, Guo Y, et al. Clinical efficacy of fecal microbiota transplantation in alleviating depressive symptoms: a meta-analysis of randomized trials[J]. *Front Psychiatry*, 2025, 16: 1656969. doi: 10.3389/fpsyt.2025.1656969.
- [29] 中国抗癌协会肿瘤与微生态专业委员会, 湖北省免疫学会肿瘤与微生态专业委员会. 肠菌移植应用于肿瘤治疗中国专家共识(2025年版)[J]. *中国医学前沿杂志:电子版*, 2025, 17(7):1–14. doi:10.12037/YXQY.2025.07–01.
- Committee of Cancer and Microecology, Chinese AntiCancer Association. Chinese expert consensus on application of fecal microbiota transplantation in cancer therapy(2025 edition) [J]. *Chinese Journal of the Frontiers of Medical Science: Electronic Version*, 2025, 17(7):1–14. doi:10.12037/YXQY.2025.07–01.
- [30] Qi X, Li X, Zhao Y, et al. Treating steroid refractory intestinal acute graft-vs.-host disease with fecal microbiota transplantation: a pilot study[J]. *Front Immunol*, 2018, 9: 2195. doi: 10.3389/fimmu.2018.02195.
- [31] Cui BT, Li P, Xu LJ, et al. Step-up fecal microbiota transplantation (FMT) strategy[J]. *Gut Microbes*, 2016, 7(4):323–328. doi:10.1080/19490976.2016.1151608.
- [32] Zhang F, Cui B, He X, et al. Microbiota transplantation: concept, methodology and strategy for its modernization[J]. *Protein Cell*, 2018, 9(5):462–473. doi:10.1007/s13238-018-0541-8.
- [33] Peery AF, Kelly CR, Kao DN, et al. AGA clinical practice guideline on fecal microbiota-based therapies for select gastrointestinal diseases[J]. *Gastroenterology*, 2024, 166(3):409–434. doi:10.1053/j.gastro.2024.01.008.
- [34] 李宁, 田宏亮, 陈启仪, 等. 菌群移植治疗肠道疾病2 010例疗效分析[J]. *中华胃肠外科杂志*, 2019, 22(9): 861–868. doi:10.3760/cma.j.issn.1671-0274.2019.09.011.
- Li N, Tian HL, Chen QY, et al. Efficacy analysis of fecal microbiota transplantation in the treatment of 2010 patients with intestinal disorders[J]. *Chinese Journal of Gastrointestinal Surgery*, 2019, 22(9): 861–868. doi: 10.3760/cma. j. issn. 1671-0274.2019.09.011.
- [35] DeLeon O, Mocanu M, Tan A, et al. Microbiome mismatches from microbiota transplants lead to persistent off-target metabolic and immunomodulatory effects[J]. *Cell*, 2025, 188(15):3927–3941. doi: 10.1016/j.cell.2025.05.014.
- [36] Vermeire S, Joossens M, Verbeke K, et al. Donor species richness determines faecal microbiota transplantation success in inflammatory bowel disease[J]. *J Crohns Colitis*, 2016, 10(4): 387–394. doi: 10.1093/ecco-jcc/jjv203.
- [37] He RQ, Li P, Wang JF, et al. The interplay of gut microbiota between donors and recipients determines the efficacy of fecal microbiota transplantation[J]. *Gut Microbes*, 2022, 14(1):2100197. doi:10.1080/19490976.2022.2100197.
- [38] Rees NP, Shaheen W, Quince C, et al. Systematic review of donor and recipient predictive biomarkers of response to faecal microbiota transplantation in patients with ulcerative colitis[J]. *eBioMedicine*, 2022, 81:104088. doi:10.1016/j.ebiom.2022.104088.
- [39] Kootte RS, Levin E, Salojärvi J, et al. Improvement of insulin sensitivity after lean donor feces in metabolic syndrome is driven by baseline intestinal microbiota composition[J]. *Cell Metab*, 2017, 26(4):611–619. doi:10.1016/j.cmet.2017.09.008.
- [40] Sokol H, Landman C, Seksik P, et al. Fecal microbiota transplantation to maintain remission in Crohn's disease: a pilot randomized controlled study[J]. *Microbiome*, 2020, 8(1): 12. doi: 10.1186/s40168-020-0792-5.
- [41] Komorniak N, Gawel K, Deskur A, et al. The impact of diet on the fecal microbiota transplantation success in patients with gastrointestinal diseases: a literature review[J]. *Nutrients*, 2025, 17(20):3314. doi:10.3390/nu17203314.
- [42] Singhal R, Ghadvaje G, Karra N, et al. A narrative review on fecal microbiota transplantation routes in ulcerative colitis: identifying the optimal approach across key parameters[J]. *Ann Med Surg*, 2025, 87(10):6599–6611. doi:10.1097/ms9.0000000000003841.
- [43] Vich Vila A, Collij V, Sanna S, et al. Impact of commonly used drugs on the composition and metabolic function of the gut microbiota[J]. *Nat Commun*, 2020, 11: 362. doi: 10.1038/s41467-

- 019-14177-z.
- [44] Maier L, Pruteanu M, Kuhn M, et al. Extensive impact of non-antibiotic drugs on human gut bacteria[J]. *Nature*, 2018, 555(7698): 623-628. doi:10.1038/nature25979.
- [45] Baktash A, Terveer EM, Zwitter RD, et al. Mechanistic insights in the success of fecal microbiota transplants for the treatment of *Clostridium difficile* infections[J]. *Front Microbiol*, 2018, 9: 1242. doi:10.3389/fmicb.2018.01242.
- [46] Duttagupta S, Messaoudene M, Hunter S, et al. Fecal microbiota transplantation plus immunotherapy in non-small cell lung cancer and melanoma: the phase 2 FMT-LUMINATE trial[J]. *Nat Med*, 2026, 32(4):1337-1350. doi:10.1038/s41591-025-04186-5.
- [47] 田宏亮, 王乐, 马春联, 等. 肠菌移植治疗肠道菌群失调相关疾病 15 000 例的长期疗效分析[J]. *中华胃肠外科杂志*, 2025, 28(3): 296-303. doi:10.3760/cma.j.cn441530-20250114-00025.
- Tian HL, Wang L, Ma CL, et al. Fecal microbiota transplantation for the treatment of intestinal disorders: an analysis of treatment of 15 000 patients[J]. *Chinese Journal of Gastrointestinal Surgery*, 2025, 28(3): 296-303. doi: 10.3760/cma. j. cn441530-20250114-00025.
- [48] Wilson BC, Zuppi M, Derraik JGB, et al. Long-term health outcomes in adolescents with obesity treated with faecal microbiota transplantation: 4-year follow-up[J]. *Nat Commun*, 2025, 16: 7786. doi:10.1038/s41467-025-62752-4.
- [49] Zhang YJ, Bousvaros A, Docktor M, et al. Higher alpha diversity and *Lactobacillus* blooms are associated with better engraftment after fecal microbiota transplant in inflammatory bowel disease[J]. *Sci Rep*, 2024, 14:18188. doi:10.1038/s41598-024-68619-w.
- [50] Wilson BC, Vatanen T, Jayasinghe TN, et al. Strain engraftment competition and functional augmentation in a multi-donor fecal microbiota transplantation trial for obesity[J]. *Microbiome*, 2021, 9(1):107. doi:10.1186/s40168-021-01060-7.
- [51] O'Riordan KJ, Moloney GM, Keane L, et al. The gut microbiota-immune-brain axis: Therapeutic implications[J]. *Cell Rep Med*, 2025, 6(3):101982. doi:10.1016/j.xcrm.2025.101982.
- [52] Cryan JF, O'Riordan KJ, Cowan CSM, et al. The microbiota-gut-brain axis[J]. *Physiol Rev*, 2019, 99(4): 1877-2013. doi: 10.1152/physrev.00018.2018.
- [53] Bajaj JS, Fagan A, Gavis EA, et al. Microbiota transplant for hepatic encephalopathy in cirrhosis: The THEMATIC trial[J]. *J Hepatol*, 2025, 83(1):81-91. doi:10.1016/j.jhep.2024.12.047.
- [54] Lee J, McClure S, Weichselbaum RR, et al. Designing live bacterial therapeutics for cancer[J]. *Adv Drug Deliv Rev*, 2025, 221:115579. doi:10.1016/j.addr.2025.115579.
- [55] Attaye I, Bird JK, Nieuwdorp M, et al. Anaerobutyricum soehngenii improves glycemic control and other markers of cardio-metabolic health in adults at risk of type 2 diabetes[J]. *Gut Microbes*, 2025, 17(1): 2504115. doi: 10.1080/19490976.2025.2504115.
- [56] Nicola T, Wenger N, Xu X, et al. A lactobacilli-based inhaled live biotherapeutic product attenuates pulmonary neutrophilic inflammation[J]. *Nat Commun*, 2024, 15: 7113. doi: 10.1038/s41467-024-51169-0.
- [57] Deng Y, Jiang S, Duan H, et al. Bacteriophages and their potential for treatment of metabolic diseases[J]. *J Diabetes*, 2024, 16(11): e70024. doi:10.1111/1753-0407.70024.
- [58] Zuo T, Wong SH, Lam K, et al. Bacteriophage transfer during faecal microbiota transplantation in *Clostridium difficile* infection is associated with treatment outcome[J]. *Gut*, 2018, 67(4): 634-643. doi:10.1136/gutjnl-2017-313952.
- [59] Scheithauer TPM, Wortelboer K, Winkelmeijer M, et al. Bacteriophages from treatment-naïve type 2 diabetes individuals drive an inflammatory response in human co-cultures of dendritic cells and T cells[J]. *Gut Microbes*, 2024, 16:2380747. doi:10.1080/19490976.2024.2380747.
- [60] Gogokhia L, Buhrke K, Bell R, et al. Expansion of bacteriophages is linked to aggravated intestinal inflammation and colitis[J]. *Cell Host Microbe*, 2019, 25(2): 285-299. doi: 10.1016/j.chom.2019.01.008.
- (本文编辑 宋涛)

本文引用格式: 范俊杰, 王新军, 黄龙, 等. 肠菌移植: 从经验治疗迈向精准规范化时代[J]. *中国普通外科杂志*, 2026, 35(4):684-695. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.260028

Cite this article as: Fan JJ, Wang XJ, Huang L, et al. Fecal microbiota transplantation: from empirical therapy to the era of precision and standardized medicine[J]. *Chin J Gen Surg*, 2026, 35(4):684-695. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.260028