

· 综述 ·

DOI: 10.12449/JCH260422

代谢相关脂肪性肝病的智能诊疗与数字健康综合管理

蒋晔玮^{1,2}, 徐蕴怡¹, 何钰茹^{1,3}, 乔王宇^{1,4}, 苟明阳⁵, 周婧琪¹

1 上海交通大学医学院公共卫生学院, 上海 200025

2 上海交通大学医学院儿科学院, 上海 200025

3 上海交通大学医学院口腔医学院, 上海 200025

4 上海交通大学医学院仁济临床医学院, 上海 200025

5 上海交通大学生物医学工程学院, 上海 200240

通信作者: 周婧琪, jingqizhou@sjtu.edu.cn (ORCID: 0000-0002-9961-199X)

摘要: 代谢相关脂肪性肝病(MAFLD)已成为全球范围内最常见的慢性肝病之一,构成严峻的公共卫生挑战。在此背景下,融合人工智能技术,特别是机器学习的智能诊疗和数字健康干预,能够突破传统方法局限,高效筛选关键基因、生物标志物、生化代谢等多维度数据,实现MAFLD风险预测、亚型识别、疗效评估等革命性突破。本文系统综述了机器学习模型在驱动MAFLD临床诊断革新与精准风险预测中的突破性应用;全面比较并分析了国内外MAFLD数字健康实践案例,深入剖析其在研究对象、干预方式及管理团队等方面的优势与局限。研究表明,数字健康与MAFLD长期管理的深度整合,正成为推动疾病管理模式向智能化、个体化、精准化转型的核心动力,但也存在诸多伦理技术问题亟待解决。

关键词: 代谢相关脂肪性肝病; 机器学习; 人工智能; 数字健康

基金项目: 上海交通大学医学院大学生创新性训练计划(1723X020); 上海市高水平地方高校创新团队(SSMU-ZDCX1723X020)

Intelligent diagnosis and treatment and comprehensive digital health management of metabolic dysfunction-associated fatty liver disease

JIANG Yewei^{1,2}, XU Yunyi¹, HE Yuru^{1,3}, QIAO Wangyu^{1,4}, GOU Mingyang⁵, ZHOU Jingqi¹

1. School of Public Health, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200025, China; 2. School of Pediatrics, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200025, China; 3. School of Stomatology, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200025, China; 4. Renji Clinical Medical College, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200025, China; 5. School of Biomedical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China

Corresponding author: ZHOU Jingqi, jingqizhou@sjtu.edu.cn (ORCID: 0000-0002-9961-199X)

Abstract: Metabolic dysfunction-associated fatty liver disease (MAFLD) has become one of the most prevalent chronic liver diseases worldwide, posing a serious challenge to public health. In this context, the integration of artificial intelligence (AI), especially intelligent diagnosis and treatment and digital health interventions based on machine learning, can break through the limitations of traditional methods, realize efficient screening of multi-dimensional data such as key genes, biomarkers, and biochemical metabolites, and achieve revolutionary breakthroughs in risk prediction, subtype identification, and therapeutic effect assessment for MAFLD. This article systematically reviews the ground-breaking application of machine learning models in driving the innovation of clinical diagnosis and precise risk prediction of MAFLD, conducts a comprehensive comparative analysis of digital health practice cases of MAFLD in China and globally, and deeply analyzes their advantages and limitations in terms of

research subjects, interventions, and management team. Studies have shown that the deep integration of digital health and long-term management of MAFLD is becoming the key engine driving the transformation of disease management modes towards an intelligent, individualized, and precise era, but there are various ethical and technical issues that need to be addressed urgently.

Key words: Metabolic Dysfunction-Associated Fatty Liver Disease; Machine Learning; Artificial Intelligence; Digital Health

Research funding: Shanghai Jiao Tong University School of Medicine Undergraduate Innovative Training Program (1723X020); Shanghai High-level Local University Innovation Team (SSMU-ZDCX1723X020)

1 代谢相关脂肪性肝病 (metabolic dysfunction-associated fatty liver disease, MAFLD) 的诊断及治疗研究现状

MAFLD 是全球范围内最常见的慢性肝病之一^[1], 其与肥胖、2型糖尿病等代谢性疾病密切相关, 并可显著增加心血管疾病和慢性肾病等的发生风险^[2]。MAFLD 的诊断依赖于肝脂肪变性及代谢功能障碍, 现有诊断方法包括超声、肝活检等传统方式, 以及振动控制瞬态弹性成像、磁共振弹性成像和血清学评分系统等新型无创手段, 但这些方法均存在灵敏度低、成本高或推广难度大的局限性^[3]。

目前, MAFLD 的主要治疗策略为综合生活方式干预^[4], 但患者依从性差, 随访脱落率较高, 且常规门诊管理效率低下, 难以满足个体化医疗需求^[5]。由此可见, 传统诊断与管理模式难以应对 MAFLD 的复杂性与长期性挑战。在此背景下, 机器学习、人工智能与数字健康干预逐渐成为突破方向, 为提高 MAFLD 早期筛查准确性、改善患者治疗依从性及疗效评估提供了新路径, 展现出广阔的应用前景^[3]。

2 基于机器学习及人工智能的 MAFLD 精准诊断

人工智能已成为当前解析复杂生物医学数据的重要工具, 而机器学习则是人工智能实现智能预测和决策支持的关键技术路径。相较于传统统计方法, 人工智能与机器学习通过高效处理多源异构数据 (包括影像学、血清学、基因学等), 在 MAFLD 的早期诊断、风险分层和疗效评估中展现出显著优势^[6]。笔者将根据 MAFLD 的疾病进展规律, 从预测模型构建、分子标志物筛查及医学图像识别三个方面综述其应用进展。

2.1 MAFLD 预测模型构建 在 MAFLD 风险预测中, 支持向量机 (SVM)、随机森林 (RF)、极限梯度提升 (XGBoost) 等机器学习模型表现优异。多项研究显示, 其受试者操作特征曲线下面积 (area under the curve, AUC) 显著高于 FIB-4 指数、非酒精性脂肪性肝病

(nonalcoholic fatty liver disease, NAFLD) 纤维化评分、天冬氨酸转氨酶与血小板比值指数等传统评分系统^[7]。例如, 轻量级梯度提升机 (LightGBM) 模型在预测肝纤维化进展中 AUC 达 0.869^[7], XGBoost 在肝脂肪变性预测中 AUC 为 0.87^[8], 显示出良好的临床转化潜力。除构建高精度的宏观预测模型外, 机器学习技术也逐渐拓展至分子层面的机制探索。

2.2 MAFLD 相关分子标志物筛查 机器学习有助于识别与 MAFLD 早期诊断相关的关键基因及通路。例如, 经 SVM 筛选出的黄素单氧化酶 1 (flavin containing monooxygenase 1, FMO1)、父系表达基因 10 (paternally expressed gene 10, PEG10) 等特征基因对早期 MAFLD 诊断具有较高的预测价值 (AUC>0.8)^[9]。多组学整合进一步发现细胞周期蛋白依赖性激酶抑制剂 1B (cyclin dependent kinase inhibitor 1B, CDKN1B)、线粒体转录因子 A (transcription factor A mitochondrial, TFAM) 等与氧化应激相关的共有基因^[10], 以及膜联蛋白 A2 (annexin A2, ANXA2) 在铁死亡通路中的核心作用^[11], 为 MAFLD 的靶向治疗提供了新思路。然而, 仅依赖分子标志物的诊断方法仍存在临床推广局限, 相比之下, 影像学人工智能在无创诊断与病变定量方面显示出更高的应用价值。

2.3 MAFLD 相关医学图像识别 人工智能在肝脏影像识别中可实现病灶的自动检测与精准评估。机器学习辅助肝纤维化分期有助于提高诊断的组间一致性和准确度^[12]; 此外, 机器学习还能从计算机体层成像^[13]和超声^[14]等影像中提取特征, 实现肝脂肪变性的分级评估。其中基于振动控制瞬态弹性成像的 Agile 评分系统评估 MAFLD 预后的 AUC 达 0.89^[15], 显示出重要的临床转化价值。

总体而言, 机器学习/人工智能已在 MAFLD 的风险预测、分子机制探索和影像诊断等多个环节形成互补, 并拓展至 MAFLD 的亚型分类、转诊适宜性评估及全因死亡率预测等临床场景^[16-18]。然而, 该类模型在向临床转化过程中仍面临数据一致性不足、外部验证缺乏及观

察者差异等挑战,亟需在多中心研究基础上进一步优化与验证^[19]。

3 基于数字健康的MAFLD管理模式构建研究

世界卫生组织将“数字健康”定义为利用数字技术改善健康相关的知识与实践,涵盖人工智能影像识别、可穿戴设备监测、远程问诊及健康管理App等关键技术^[20]。数字健康凭借高效率、低成本与可扩展性,被视为实现慢性病长期健康管理最具前景的策略之一,已在糖尿病、高血压、哮喘、慢性阻塞性肺病、心理疾病等领域应用广泛。尽管针对MAFLD的数字健康管理起步较晚,但已逐步显现其价值。回顾相关文献,针对MAFLD的数字健康研究可追溯至2014年的微信健康干预试验^[21],2023年后逐渐出现系统综述和荟萃分析,证实数字健康在改善体重指数、肝功能指标及生活方式依从性方面具有积极作用^[22-25]。下文将从研究设计、干预方式、研究对象、管理团队、干预周期和监测指标等维度,系统梳理当前MAFLD数字健康管理的研究模式与发展现状。

3.1 研究设计 目前大多数研究采用随机对照试验(randomized controlled trial, RCT)设计,涵盖中国、新加坡、伊朗、美国、意大利、澳大利亚、泰国、韩国等多个国家的研究^[21,26-42]。RCT设计能较好控制偏倚,其结论具有较高的推断力与外推性。同时,其他类型研究也验证了数字平台的可行性与安全性,为后续大规模试验提供了依据。例如,德国、英国和冰岛的研究团队均采用了前瞻性单臂试验设计^[43-47];Motz等^[48]的概念验证研究证明了数字运动干预的安全性 with 初步效果;印度一项回顾性研究表明,数字认知行为(cognitive behavior therapy, CBT)治疗可能带来积极影响^[49]。

3.2 干预方式 数字健康经历了由电话随访^[28-30]、短信提醒^[31]逐步发展到基于社交媒体^[21,26-27]、App应用程序的演进过程。例如,意大利的SaaS学习平台引入游戏交互与动机测评等机制,通过角色模拟的形式跟踪管理进程,对于提升用户兴趣度与依从性具有关键作用^[32];英国的VITALISE行为干预系统整合实用减肥技巧、多维科普、目标设定与持续跟踪功能,展现出多模块协同的独特优势^[33,45-46]。相比之下,同期其他系统的功能较为单一,仅涵盖笼统的饮食咨询、步数监督或心率监测,个性化与交互性不足^[34-35,48]。

新一代数字健康系统进一步向专业化与智能化方向发展。目前相关App普遍集成饮食、运动、健康教育

等模块,借助机器学习与实时反馈机制显著提升个性化管理水平。例如,nBuddy(HeartVoice Pte Ltd, Singapore)通过算法生成个性化运动与饮食方案,界面友好、内容全面^[36];Noom Weight(Noom Inc, America)聚焦CBT,引入行为改变策略并提供压力与睡眠管理课程,支持用户实现整体健康目标^[37];Dr. Coach(Bionutrition Corp, Korea)整合FIB-4指数肝脏评估模型并链接电子病历,能够动态监测慢性疾病与情绪状态^[38];冰岛的应用程序Sidekick则侧重用户主观生活质量、动机与注意训练,推动心理与行为双维干预^[47]。尽管这些系统显著提升了用户依从性和互动性,但也存在功能单一、数据整合不足及用户黏性下降等问题^[39-42]。Zhou等^[50]指出,数字疗法在MAFLD领域仍面临多源健康数据(如基因组学、肠道微生物、连续血糖监测等)融合困难、用户长期依从性机制尚未成熟,以及与医疗机构数据对接的信息泄露风险等挑战,未来应在提高干预措施科学性、系统整合性与运行可持续性方面进一步深化。

3.3 研究对象 大多数的MAFLD数字健康管理研究以影像学或组织学确诊的门诊患者为对象,样本量通常介于30~60例,在一定程度上反映出数字健康仍处于初步探索和验证阶段。值得注意的是,不同研究在样本规模和人群特征方面存在较大差异。例如,意大利一项RCT纳入716例超声诊断的NAFLD患者,为目前样本量最大的研究,展示了数字健康在大规模人群中的应用潜力^[32];而美国一项概念验证研究仅纳入3例肝脏活组织检查诊断的非酒精性脂肪性肝炎受试者,侧重于初步验证数字健康方案的可行性^[48]。在人群选择方面,部分研究聚焦特定群体,如中国一项研究针对大学生脂肪肝人群开展了基于微信的数字健康管理^[27];Vilar-Gomez等^[51]基于糖尿病门诊患者探索融合数字技术的代谢综合管理路径。尽管多数研究通过严格的纳排标准已控制偏倚,但受试者在教育水平、数字化能力及社会经济背景方面的不均分布,可能影响数字健康干预的普适性与实际推广效果。

3.4 管理团队 健康管理团队的配置直接影响数字健康的干预效果与患者依从性,多学科团队是提高数字健康成效的关键。当前主流模式是以医生和营养师为核心,逐渐整合运动治疗师、护士、健康教练及心理学家等多元角色,形成多学科专业团队,以实现高效协同与个体化管理。具体实践过程中呈现多样化特征,例如,德国的研究纳入了运动治疗师^[43-44];亦有多项试验以健康教练^[33,37,49,51]和运动生理学家^[35,39-40,48]为实施主体;

Hallsworth等^[33]构建了涵盖肝病学、营养学、保健学、护理学及基层医疗的复合医疗专业团队,依托数字系统实现跨角色协作与资源整合。值得注意的是,心理支持在数字健康中的作用日益突出,相关干预模式也在持续创新。例如,意大利和冰岛的研究引入了心理学家^[32,47],并结合CBT模块提供结构化心理支持;印度一项研究进一步引入数字化CBT教练,实现自动化与人工支持相结合的心理评估与干预^[49]。总体而言,数字健康领域的团队配置正呈现出一种结构化的“核心-卫星”模式演进趋势,即以肝病专科医师与护士为核心,整合营养、运动、心理等多学科专业人员作为可灵活调度的卫星节点,并通过统一的数字平台实现高效协作与数据共享。

3.5 干预周期 干预周期的长短对干预成效和统计学效力具有重要影响。大多数研究的干预周期为3~6个月。韩国的一项研究周期较短,仅持续干预4周,主要验证了数字健康的初步可行性和短期效果^[38]。也有研究将干预时间延长至12~24个月,例如上海一项为期2年的RCT显示,通过数字化平台持续进行生活方式管理,不仅患者的丙氨酸氨基转移酶、血脂、肝脂肪指数等指标呈现改善趋势,其长期参与度也得以有效维持^[28]。然而,部分干预周期较长的研究中,受试者腰围、体重等指标的改善并未达到统计学差异显著性,提示未来研究需纳入更大样本量,优化远程随访策略,并应对患者长期使用黏性下降的挑战。目前受限于文献数量、数字健康方案异质性及患者依从性波动等因素,部分结论仍需谨慎解读,这也凸显出构建更智能、自适应且用户友好数字健康系统的必要性。

3.6 监测指标 本综述系统比较了现有MAFLD相关数字健康研究中所涉及的主要监测指标,从人体测量学、临床评估、血液生化、影像与组织学、风险评分以及行为与功能等多个维度进行分析,总结了各类指标的优势与局限性(表1)。整体而言,人体测量指标、临床评估及反映肝损伤的血液生化指标已在现有研究中广泛应用,其余指标各具特点,在实际应用中需结合具体场景、成本与可靠性进行综合选择。

数字健康疗法有望在MAFLD等代谢性疾病管理中实现规模化应用,其核心在于综合利用多种数字化工具与智能系统,覆盖疾病预测、远程诊疗、行为干预与长期管理等环节。具体而言,疾病预测模型依托机器学习算法,整合多维度临床与体检数据,可实现MAFLD风险的早期识别;远程医疗平台(如“小五健康”)支持医患实时交互、指标跟踪与个性化反馈,显著延伸服务范围;饮食与运动类App(如MyFitnessPal、Strava、Keep)协助患者完成日常热量记录、营养搭配及身体活动监测,有效提升行为改变的可行性与依从性。此外,自我监测数据与智能健康教育内容(如“小肝驿站”平台)相结合,共同构建连续性的健康管理支持体系。人工智能辅助决策系统则进一步整合上述多源数据,为临床医生提供诊断建议、风险分层及干预策略优化支持。目前,海南省已出台数字健康全周期支持政策,《“十四五”生物经济发展规划》亦将数字健康列入重点发展方向。未来,数字健康有望结合人工智能和大数据技术,拓展至亚健康人群、代谢高危人群,实现多种慢病的分级预防与长期追踪管理。

表1 现有MAFLD数字健康研究的监测指标对比

Table 1 A comparison and collation of the monitoring indicators for current digital health research on MAFLD

指标类型	代表指标	优势	局限性
人体测量学	体重、BMI、腰围	简便、低成本	精度有限,标准化不足
身体成分分析	肌肉量、内脏脂肪 ^[35,47,49]	精准评估肥胖与少肌症	设备要求高,不易普及
临床评估	病史 ^[35,39,41,49] 、血压	识别心血管风险	回忆偏倚,瞬时因素干扰
血液生化	肝酶、代谢指标 ^[40,42,46] 、炎症 ^[44] 、凝血 ^[30,35,37]	全面反映代谢与炎症状态	部分新型标志物(如PRO-C3 ^[44] 、CK-18 ^[35])成本高,未经临床验证
影像学	MRI-PDFF ^[35,47-48] 、超声 ^[28] 、瞬时弹性成像 ^[34,44] 、CAP ^[26,34,47] 、肝硬度测量 ^[42,45-47]	MRI-PDFF是肝脂肪变性的无创定量金标准;新兴技术可实现床旁快速检测	超声灵敏度有限,MRI成本高;新兴技术的准确度难以保证
组织学	肝活检 ^[35]	诊断精准	有创、成本高,且临床难以推广
风险评分	FLI ^[44,49,51] 、FIB-4指数 ^[35,37,45,47] 、APRI ^[44]	多指标整合,无创评估	部分风险评分对晚期肝纤维化识别性能不足
行为与功能	体力活动、睡眠 ^[35] 、心理量表 ^[34,43] 、心肺功能 ^[35,48] 、疼痛评估 ^[41,47]	贴近干预目标,主观与客观相结合	部分量表与评估缺乏统一标准

注:MAFLD,代谢相关脂肪性肝病;BMI,体重指数;PRO-C3,人Ⅲ型胶原前肽;CK-18,细胞角蛋白18;MRI-PDFF,磁共振质子密度脂肪分数;CAP,受控衰减参数;FLI,肝脂肪指数;APRI,天冬氨酸转氨酶与血小板比值指数。

4 总结与展望

近年来,数字健康在MAFLD管理中的应用不断深入,以人工智能和机器学习为代表的智能技术,在疾病预测、远程医疗、饮食管理、运动督促、自我监测及患者教育等方面展现出显著潜力。人工智能能够基于多源健康数据构建预测模型,辅助识别疾病进展、亚型特征及并发症风险,从而协助医生制订精准治疗策略,显著提升管理效率并优化医患沟通模式。

然而,人工智能在MAFLD临床实践中仍面临多重挑战。首先,医疗数据隐私和安全问题突出,亟需建立统一的行业标准与规范,构建完善的数据安全预警与应急响应机制,加强加密技术与权限管理,并提升全员数据安全意识^[52]。其次,“数字鸿沟”现象在中老年患者及基层医疗资源匮乏地区尤为明显,设备使用障碍与依从性不足限制了技术普及,亟需推动适老化设计与可及性提升。此外,MAFLD具有高度异质性,实现精准干预需要依托基于人群特征的人工智能决策支持系统与实时反馈机制^[18],但目前仍缺乏基于中国人群生活方式特点的大样本、长周期、多中心RCT,制约了干预模式的精准适配与临床成果转化。

通过克服数据安全、技术可及性与循证基础不足等核心挑战,人工智能与数字工具有望构建覆盖MAFLD全流程的智能管理新范式,推动慢性病管理向个性化、精细化方向持续发展。该模式不仅能够有效拓展传统诊疗的时空与资源限制,实现从筛查预警到干预康复的一体化覆盖,也为慢性病防控,尤其是肝脏代谢性疾病的诊疗管理一体化提供了新思路与发展方向。

利益冲突声明: 本文不存在任何利益冲突。

作者贡献声明: 蒋晔玮负责设计论文框架,起草论文,修改论文;徐蕴怡、苟明阳、乔王宇负责实施研究过程,起草论文;何钰茹负责数据收集,绘制图表;周婧琪负责拟定写作思路,指导撰写文章并最后定稿。

参考文献:

- [1] ZHOU JH, SUN DQ, TARGHER G, et al. Metabolic dysfunction-associated fatty liver disease increases risk of chronic kidney disease: A systematic review and meta-analysis[J]. *eGastroenterology*, 2023, 1(1): e100005. DOI: 10.1136/egastro-2023-100005.
- [2] FAN JG, YANG R. Global prevalence trends and disease burden of non-alcoholic fatty liver disease[J]. *Chin J Dig*, 2023, 43(4): 248-252. DOI: 10.3760/cma.j.cn311367-20230202-00038. 范建高, 杨荣. 全球非酒精性脂肪性肝病的流行趋势与疾病负担[J]. *中华消化杂志*, 2023, 43(4): 248-252. DOI: 10.3760/cma.j.cn311367-20230202-00038.
- [3] ESLAM M, FAN JG, YU ML, et al. The Asian Pacific Association for the study of the liver clinical practice guidelines for the diagnosis and management of metabolic dysfunction-associated fatty liver disease[J]. *Hepatol Int*, 2025, 19(2): 261-301. DOI: 10.1007/s12072-024-10774-3.
- [4] YANG B, ZHANG R. Progress on the treatment of metabolic associated fatty liver disease[J/CD]. *Chin J Liver Dis (Electronic Version)*, 2024, 16(4): 25-30. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7380.2024.04.004. 杨彬, 张瑞. 代谢相关脂肪性肝病治疗进展[J/CD]. *中国肝脏病杂志(电子版)*, 2024, 16(4): 25-30. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7380.2024.04.004.
- [5] ZENG MH, SHI QY, XU L, et al. Establishment and validation of an adherence prediction system for lifestyle interventions in non-alcoholic fatty liver disease[J]. *World J Gastroenterol*, 2024, 30(10): 1393-1404. DOI: 10.3748/wjg.v30.i10.1393.
- [6] XIE TA, LIUFU LL, CHEN HJ, et al. Trends in the applications of artificial intelligence in fatty liver diseases[J]. *Hepatol Int*, 2025, 19(5): 1109-1120. DOI: 10.1007/s12072-025-10827-1.
- [7] XU XQ, LI J, FU YQ, et al. A plasma metabolome-derived model predicts severe liver outcomes of nonalcoholic fatty liver disease in the UK Biobank[J]. *Diabetes Obes Metab*, 2025, 27(9): 4903-4914. DOI: 10.1111/dom.16533.
- [8] MAMANDIPOOR B, WERNLY S, SEMMLER G, et al. Machine learning models predict liver steatosis but not liver fibrosis in a prospective cohort study[J]. *Clin Res Hepatol Gastroenterol*, 2023, 47(7): 102181. DOI: 10.1016/j.clinre.2023.102181.
- [9] ZHANG YY, LI JE, ZENG HX, et al. Identification and validation of biomarkers in metabolic dysfunction-associated steatohepatitis using machine learning and bioinformatics[J]. *Mol Genet Genomic Med*, 2025, 13(2): e70063. DOI: 10.1002/mggg.70063.
- [10] WANG HN, CHENG W, HU P, et al. Integrative analysis identifies oxidative stress biomarkers in non-alcoholic fatty liver disease via machine learning and weighted gene co-expression network analysis[J]. *Front Immunol*, 2024, 15: 1335112. DOI: 10.3389/fimmu.2024.1335112.
- [11] QIN JT, CAO P, DING XX, et al. Machine learning identifies ferroptosis-related gene ANXA2 as potential diagnostic biomarkers for NAFLD[J]. *Front Endocrinol*, 2023, 14: 1303426. DOI: 10.3389/fendo.2023.1303426.
- [12] ABDURRACHIM D, LEK S, ONG CZL, et al. Utility of AI digital pathology as an aid for pathologists scoring fibrosis in MASH[J]. *J Hepatol*, 2025, 82(5): 898-908. DOI: 10.1016/j.jhep.2024.11.032.
- [13] JEON SK, JOO I, PARK J, et al. Automated hepatic steatosis assessment on dual-energy CT-derived virtual non-contrast images through fully-automated 3D organ segmentation[J]. *Radiol Med*, 2024, 129(7): 967-976. DOI: 10.1007/s11547-024-01833-8.
- [14] KWON H, KIM MG, OH S, et al. Application of quantitative ultrasonography and artificial intelligence for assessing severity of fatty liver: A pilot study[J]. *Diagnostics (Basel)*, 2024, 14(12): 1237. DOI: 10.3390/diagnostics14121237.
- [15] LIN HP, LEE HW, YIP TC, et al. Vibration-controlled transient elastography scores to predict liver-related events in steatotic liver disease[J]. *JAMA*, 2024, 331(15): 1287-1297. DOI: 10.1001/jama.2024.1447.
- [16] WANG XN, CHEN HH, WANG LQ, et al. Machine learning for predicting all-cause mortality of metabolic dysfunction-associated fatty liver disease: A longitudinal study based on NHANES[J]. *BMC Gastroenterol*, 2025, 25(1): 376. DOI: 10.1186/s12876-025-03946-4.
- [17] YE JZ, ZHUANG XD, LI X, et al. Novel metabolic classification for extrahepatic complication of metabolic associated fatty liver disease: A data-driven cluster analysis with international validation[J]. *Metabolism*, 2022, 136: 155294. DOI: 10.1016/j.metabol.2022.155294.
- [18] VERMA N, VOJJALA N, MISHRA S, et al. Machine learning can guide suitability of consultation and patient referral through telemedicine for hepatobiliary diseases[J]. *J Gastroenterol Hepatol*, 2023, 38(6): 999-1007. DOI: 10.1111/jgh.16194.

- [19] ZAMANIAN H, SHALBAF A, ZALI MR, et al. Application of artificial intelligence techniques for non-alcoholic fatty liver disease diagnosis: A systematic review (2005-2023) [J]. *Comput Methods Programs Biomed*, 2024, 244: 107932. DOI: 10.1016/j.cmpb.2023.107932.
- [20] World Health Organization. Global strategy on digital health 2020-2025 [R/OL]. (2021-08-18) [2025-09-25]. Geneva: World Health Organization, 2021. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240020924>.
- [21] CHEN XH, HUANG J, HUANG Q, et al. Application of network support intervention in patients with nonalcoholic fatty liver disease[J]. *Nurs Pract Res*, 2014, 11(7): 56-57. DOI: 10.3969/j.issn.1672-9676.2014.07.028.
陈小华, 黄健, 黄群, 等. 网络支持干预在非酒精性脂肪肝患者中的应用[J]. *护理实践与研究*, 2014, 11(7): 56-57. DOI: 10.3969/j.issn.1672-9676.2014.07.028.
- [22] KWON OY, CHOI JY, JANG Y. The effectiveness of eHealth interventions on lifestyle modification in patients with nonalcoholic fatty liver disease: Systematic review and meta-analysis[J]. *J Med Internet Res*, 2023, 25: e37487. DOI: 10.2196/37487.
- [23] ZAFAR Y, SOHAIL MU, SAAD M, et al. eHealth interventions and patients with metabolic dysfunction-associated steatotic liver disease: A systematic review and meta-analysis[J]. *BMJ Open Gastroenterol*, 2025, 12(1): e001670. DOI: 10.1136/bmjgast-2024-001670.
- [24] SAOKAEW S, KANCHANASURAKIT S, KOSITAMONGKOL C, et al. Effects of telemedicine on obese patients with non-alcoholic fatty liver disease: A systematic review and meta-analysis[J]. *Front Med*, 2021, 8: 723790. DOI: 10.3389/fmed.2021.723790.
- [25] SUN C, FAN JG. Effects of mobile health applications on lifestyle intervention for patients with nonalcoholic fatty liver disease[J]. *Chin J Health Manage*, 2023, 17(10): 796-800. DOI: 10.3760/cma.j.cn115624-20230615-00374.
孙超, 范建高. 移动医疗应用程序干预非酒精性脂肪肝患者生活方式的效果[J]. *中华健康管理学杂志*, 2023, 17(10): 796-800. DOI: 10.3760/cma.j.cn115624-20230615-00374.
- [26] LI J, HE TS, WANG P, et al. Application of PDCA health education management model on WeChat platform in patients with fatty liver [J]. *J Qilu Nurs*, 2018, 24(4): 108-110. DOI: 10.3969/j.issn.1006-7256.2018.04.049.
李静, 何婷珊, 王鹏, 等. 微信平台PDCA健康教育管理模式在脂肪肝患者中的应用[J]. *齐鲁护理杂志*, 2018, 24(4): 108-110. DOI: 10.3969/j.issn.1006-7256.2018.04.049.
- [27] WANG XJ, CHEN JC, JIAO LM, et al. Effect of internet-based health management intervention among college students with nonalcoholic fatty liver disease[J]. *Chin J Public Health*, 2017, 33(6): 988-990. DOI: 10.11847/zgggws2017-33-06-32.
王雪娇, 陈基成, 焦凌梅, 等. 非酒精性脂肪肝大学生“互联网+”健康管理干预效果分析[J]. *中国公共卫生*, 2017, 33(6): 988-990. DOI: 10.11847/zgggws2017-33-06-32.
- [28] DONG FY, ZHANG Y, HUANG YQ, et al. Long-term lifestyle interventions in middle-aged and elderly men with nonalcoholic fatty liver disease: A randomized controlled trial[J]. *Sci Rep*, 2016, 6: 36783. DOI: 10.1038/srep36783.
- [29] FARD SJ, GHODSBIN F, KAVIANI MJ, et al. The effect of follow up (telenursing) on liver enzymes in patients with nonalcoholic fatty liver disease: A randomized controlled clinical trial[J]. *Int J Community Based Nurs Midwifery*, 2016, 4(3): 239-246.
- [30] GHODSBIN F, JAVANMARDIFARD S, JAVAD KAVIANI M, et al. Effect of tele-nursing in the improving of the ultrasound findings in patients with nonalcoholic fatty liver diseases: A randomized clinical trial study[J]. *Invest Educ Enferm*, 2018, 36(3). DOI: 10.17533/udea.iee.v36n3e09.
- [31] AXLEY P, KODALI S, KUO YF, et al. Text messaging approach improves weight loss in patients with nonalcoholic fatty liver disease: A randomized study[J]. *Liver Int*, 2018, 38(5): 924-931. DOI: 10.1111/liv.13622.
- [32] MAZZOTTI A, CALETTI MT, BRODOSI L, et al. An Internet-based approach for lifestyle changes in patients with NAFLD: Two-year effects on weight loss and surrogate markers[J]. *J Hepatol*, 2018, 69(5): 1155-1163. DOI: 10.1016/j.jhep.2018.07.013.
- [33] HALLSWORTH K, MCPHERSON S, ANSTEE QM, et al. Digital intervention with lifestyle coach support to target dietary and physical activity behaviors of adults with nonalcoholic fatty liver disease: Systematic development process of VITALISE using intervention mapping [J]. *J Med Internet Res*, 2021, 23(1): e20491. DOI: 10.2196/20491.
- [34] TINCOPA MA, LYDEN A, WONG J, et al. Impact of a pilot structured mobile technology based lifestyle intervention for patients with non-alcoholic fatty liver disease[J]. *Dig Dis Sci*, 2022, 67(2): 481-491. DOI: 10.1007/s10620-021-06922-6.
- [35] STINE JG, SCHREIBMAN I, NAVABI S, et al. Nonalcoholic steatohepatitis Fitness Intervention in Thrombosis (NASHFit): Study protocol for a randomized controlled trial of a supervised aerobic exercise program to reduce elevated clotting risk in patients with NASH [J]. *Contemp Clin Trials Commun*, 2020, 18: 100560. DOI: 10.1016/j.conctc.2020.100560.
- [36] LIM SL, JOHAL J, ONG KW, et al. Lifestyle intervention enabled by mobile technology on weight loss in patients with nonalcoholic fatty liver disease: Randomized controlled trial[J]. *JMIR Mhealth Uhealth*, 2020, 8(4): e14802. DOI: 10.2196/14802.
- [37] STINE JG, RIVAS G, HUMMER B, et al. Mobile health lifestyle intervention program leads to clinically significant loss of body weight in patients with NASH[J]. *Hepatol Commun*, 2023, 7(4): e0052. DOI: 10.1097/HC9.0000000000000052.
- [38] CHO E, KIM S, KIM S, et al. The effect of mobile lifestyle intervention combined with high-protein meal replacement on liver function in patients with metabolic dysfunction-associated steatotic liver disease: A pilot randomized controlled trial[J]. *Nutrients*, 2024, 16(14): 2254. DOI: 10.3390/nu16142254.
- [39] FREER CL, GEORGE ES, TAN SY, et al. Delivery of a telehealth supported home exercise program with dietary advice to increase plant-based protein intake in people with non-alcoholic fatty liver disease: A 12-week randomised controlled feasibility trial[J]. *Br J Nutr*, 2024, 131(10): 1709-1719. DOI: 10.1017/S0007114524000242.
- [40] FREER CL, GEORGE ES, TAN SY, et al. Acceptability and perceptions of a 12-week telehealth exercise programme with dietary advice to increase plant-based protein in people with non-alcoholic fatty liver disease: A programme evaluation using mixed methods [J]. *BMJ Open*, 2025, 15(3): e086604. DOI: 10.1136/bmjopen-2024-086604.
- [41] KWON OY, LEE MK, LEE HW, et al. Mobile app-based lifestyle coaching intervention for patients with nonalcoholic fatty liver disease: Randomized controlled trial[J]. *J Med Internet Res*, 2024, 26: e49839. DOI: 10.2196/49839.
- [42] KAEWDECH A, ASSAWASUWANNAKIT S, CHURUANGSUK C, et al. Effect of smartphone-assisted lifestyle intervention in MASLD patients: A randomized controlled trial[J]. *Sci Rep*, 2024, 14: 13961. DOI: 10.1038/s41598-024-64988-4.
- [43] PFIRRMANN D, HUBER Y, SCHATTENBERG JM, et al. Web-based exercise as an effective complementary treatment for patients with nonalcoholic fatty liver disease: Intervention study[J]. *J Med Internet Res*, 2019, 21(1): e11250. DOI: 10.2196/11250.
- [44] HUBER Y, PFIRRMANN D, GEBHARDT I, et al. Improvement of non-invasive markers of NAFLD from an individualised, web-based exercise program[J]. *Aliment Pharmacol Ther*, 2019, 50(8): 930-939. DOI: 10.1111/apt.15427.
- [45] AVERY L, SMITH H, MCPHERSON S, et al. Feasibility and acceptability of an evidence-informed digital intervention to support self-management in people with non-alcoholic fatty liver disease: Protocol for a non-randomised feasibility study (VITALISE) [J]. *Pilot Feasibility Stud*, 2023, 9(1): 62. DOI: 10.1186/s40814-023-01286-2.

- [46] AVERY L, SMITH H, LIVINGSTON R, et al. Feasibility of a digital life-style intervention (VITALISE) to support weight loss in patients with MASLD in routine secondary care[J]. BMJ Open Gastroenterol, 2025, 12(1): e001771. DOI: 10.1136/bmjgast-2025-001771.
- [47] BJÖRNSDÓTTIR S, ULFSDÓTTIR H, GUDMUNDSSON EF, et al. User engagement, acceptability, and clinical markers in a digital health program for nonalcoholic fatty liver disease: Prospective, single-arm feasibility study[J]. JMIR Cardio, 2024, 8: e52576. DOI: 10.2196/52576.
- [48] MOTZ V, FAUST A, DAHMUS J, et al. Utilization of a directly supervised telehealth-based exercise training program in patients with nonalcoholic steatohepatitis: Feasibility study[J]. JMIR Form Res, 2021, 5(8): e30239. DOI: 10.2196/30239.
- [49] SONI J, PATHAK N, GHARIA M, et al. Effectiveness of RESET care program: A real-world-evidence on managing non-alcoholic fatty liver disease through digital health interventions[J]. World J Hepatol, 2025, 17(1): 101630. DOI: 10.4254/wjh.v17.i1.101630.
- [50] ZHOU R, GU YP, ZHANG BB, et al. Digital therapeutics: Emerging new therapy for nonalcoholic fatty liver disease[J]. Clin Transl Gastroenterol, 2023, 14(4): e00575. DOI: 10.14309/ctg.0000000000000575.
- [51] VILAR-GOMEZ E, ATHINARAYANAN SJ, ADAMS RN, et al. Post hoc analyses of surrogate markers of non-alcoholic fatty liver disease (NAFLD) and liver fibrosis in patients with type 2 diabetes in a digitally supported continuous care intervention: An open-label, non-randomised controlled study[J]. BMJ Open, 2019, 9(2): e023597. DOI: 10.1136/bmjopen-2018-023597.
- [52] MO LF, LI Z, GAN HL, et al. Patient privacy and data security in medical artificial intelligence from a global perspective: Focus and strategies[J]. Acad J Nav Med Univ, 2025, 46(8): 989-999. DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20250363.
- 莫琳芳, 李喆, 甘辉亮, 等. 全球视野下医疗人工智能中患者隐私和数据安全: 焦点与策略[J]. 海军军医大学学报, 2025, 46(8): 989-999. DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20250363.

收稿日期: 2025-07-31; 录用日期: 2025-09-26

本文编辑: 葛俊

引证本文: JIANG YW, XU YY, HE YR, et al. Intelligent diagnosis and treatment and comprehensive digital health management of metabolic dysfunction-associated fatty liver disease[J]. J Clin Hepatol, 2026, 42(4): 923-929.

蒋晔玮, 徐蕴怡, 何钰茹, 等. 代谢相关脂肪性肝病的智能诊疗与数字健康综合管理[J]. 临床肝胆病杂志, 2026, 42(4): 923-929.

· 国外期刊精品文章简介 ·

Gut Microbes | 他莫昔芬通过肠道菌群介导的猪去氧胆酸耗竭和法尼醇X受体信号中断诱导肝毒性

他莫昔芬(TAM)是一种广泛应用于乳腺癌治疗的雌激素受体调节剂。然而,TAM在临床上表现出明显的肝毒性,影响了近50%的患者,从而限制了其临床应用。TAM诱导肝损伤的具体机制尚不清楚。来自中山大学药学院的Chen等开展了一项研究,阐明了肠道微生物群在TAM相关肝毒性中的机制及作用。

TAM在小鼠中可引起严重的肝损伤和肠道菌群失调,其特征是埃希氏菌丰度增加和毛螺科NK4A136组的减少。这些微生物的变化导致粪便总胆汁酸(BA)水平下降,特别是猪去氧胆酸(HDCA),这与TAM诱导的肝损伤呈负相关。

此外,TAM可增强肠道法尼醇X受体(FXR)的活性,同时通过另一种非肠道FXR机制刺激肝脏BA合成,从而破坏BA稳态。值得注意的是,肠道微生物群的消耗逆转了这些效应,证明了微生物在TAM诱导的肝损伤中调节肠道-肝脏FXR轴的关键作用。

粪菌移植(FMT)进一步证实了TAM通过菌群依赖机制直接刺激肝脏BA合成。肠-肝BA-FXR轴的破坏损害了肠-肝BA循环,导致与TAM给药相关的肝毒性。重要的是,补充HDCA可恢复肠-肝BA-FXR轴,减轻TAM诱导的肝损伤。

这些发现强调了TAM、肠道微生物群和BA代谢之间的复杂关系,表明HDCA靶向肝-肠FXR轴可能是缓解TAM相关肝损伤的一种有前景的治疗策略。

摘译自 CHEN Y, DU H, ZHOU W, et al. Tamoxifen induced hepatotoxicity via gut microbiota-mediated hyodeoxycholic acid depletion and Farnesoid X receptor signaling disruption [J]. Gut Microbes, 2026, 18(1): 2610077. DOI: 10.1080/19490976.2025.2610077.

(吉林大学第一医院感染病中心肝病科 姜子璇 温晓玉 报道)