

DOI:10.61189/158176zcoley

· 综述 ·

AI+控制体重研究进展及展望

陈颖¹, 白春学^{2,3,4*}

1. 复旦大学附属中山医院内分泌科, 上海 200032

2. 复旦大学附属中山医院呼吸危重医学科, 上海 200032

3. 上海市呼吸病研究所, 上海 200032

4. 上海呼吸物联网医学工程技术研究中心, 上海 200032

[摘要] 肥胖/超重已成为累及多系统的复杂代谢性疾病, 传统依赖门诊随访与短期减重的模式难以解决预测不足、干预粗放、依从性差和资源不均等问题。近年来, 人工智能(AI/ML)、大语言模型(LLM/GPT)、物联网(IoT)、元宇宙和数字人被引入体重管理全链条: 在预防阶段, 多模态风险模型与可穿戴设备实现高危人群早期识别和行为预警, 元宇宙场景提升健康教育与参与度; 在诊断阶段, AI支持肥胖表型重构、体成分自动分析及并发症“红灯信号”识别, 推动体重控制从“以BMI为中心”转向“以表型与并发症为中心”; 在治疗与康复阶段, AI辅助GLP-1等减重药物精准获益预测、数字疗法与行为教练个性化推送、代谢手术的全流程风险评估, 并通过VR/GDTx与数字孪生促进功能恢复与防复胖。管理层面, 形成以云—边—端架构为基础、嵌入5P医学理念的综合平台, 医学GPT/BAIMGPT作为“减重数字人专家”连接医生、患者与管理者。当前主要挑战包括数据质量与泛化性、公平性与隐私保护、临床流程与支付模式适配以及GPT安全监管。展望未来, AI与数字孪生、元宇宙深度融合, 有望实现从单纯“减重”走向“代谢健康与自我管理能力”的系统性提升。

[关键词] 体重控制; 人工智能; 物联网; 医学GPT; 元宇宙

[中图分类号] R 589.2 **[文献标志码]** A

Research progress and prospects of AI+ weight control

CHEN Ying¹, BAI Chunxue^{2,3,4*}

1. Department of Endocrinology, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China

2. Department of Pulmonary and Critical Care Medicine, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China

3. Shanghai Respiratory Research Institution, Shanghai 200032, China

4. Shanghai Engineer & Technology Research Center of Internet of Things for Respiratory Medicine, Shanghai 200032, China

[Abstract] Obesity/overweight has become a complex metabolic disease involving multiple systems, and the traditional model of relying on outpatient follow-up and short-term weight loss is difficult to solve the problems of insufficient prediction, extensive intervention, poor adherence and unequal resources. In recent years, artificial intelligence (AI/ML), large language models (LLM/GPT), Internet of Things (IoT), metaverse and digital humans have been introduced into the whole chain of weight management: in the prevention stage, multimodal risk models and wearable devices achieve early identification and behavior warning of high-risk groups, and metaverse scenarios improve health education and participation; In the diagnostic stage, AI supports obesity phenotype reconstruction, automatic body composition analysis, and complication “red light signal” recognition, promoting weight control from “BMI-centric” to “phenotype and complication-centric”; In the treatment and rehabilitation stage, AI-assisted accurate benefit prediction of weight loss drugs such as GLP-1, personalized push of digital therapy and behavioral coaching, full-process risk assessment of metabolic surgery, and promotion of functional recovery and anti-obesity through VR/GDTx and digital twins. At the management level, a comprehensive platform based on cloud-edge-end architecture and embedded with 5P medical concepts has been formed, and medical GPT/BAIMGPT connects doctors, patients and managers as a “weight loss digital human expert”. The main challenges include data quality and generalization, fairness and privacy protection, clinical process and payment model adaptation, and GPT security regulation. Looking forward to the future, the deep integration of AI, digital twins, and the metaverse is expected to achieve systematic improvement from simple “weight loss” to “metabolic health and self-management ability”.

[Key Words] weight control; AI; Internet of Things; medical GPT; metaverse

[收稿日期] 2025-12-08

[接受日期] 2025-12-24

[作者简介] 陈颖. E-mail: chen.ying4@zs-hospital.sh.cn

*通信作者 (Corresponding author). Tel: 021-64041990, E-mail: bai.chunxue@zs-hospital.sh.cn

肥胖/超重已被公认为最重要的可预防死亡与致残因素之一,其危害远超“体重超标”,而是一类累及心、脑、肝、肺、内分泌与生殖等多系统的复杂代谢性疾病,与 2 型糖尿病、动脉粥样硬化性心血管病、OSA、NAFLD/MAFLD、多囊卵巢综合征及多种肿瘤呈现高度共病与相互放大的风险链^[1]。现行以门诊随访和人力密集干预为主的传统模式,正越来越难以满足这一“慢性—终生”疾病的管理需求:其一,仅依赖常规体检与主观问诊,难以及时在儿童、青少年和“代谢性肥胖高危人群”中识别早期风险,形成“预测不足”的结构性短板^[2];其二,以 BMI 单一指标分层、以短期减重为目标的方式,忽视遗传、生活方式、心理状态、环境暴露与社会决定因素,导致干预策略普遍“粗放”^[3]。与此同时,零散随访与面对面宣教难以支撑行为长期改变,依从性下降与医护投入不足并存^[4];肥胖专科、营养师与心理师资源分布不均,更扩大了地区间服务质量差异。在此背景下,如何依托数字技术突破“预测不足、干预粗放、依从性差与资源不均”等瓶颈,成为肥胖管理模式转型的核心命题。

在这一进程中,AI+ 正成为重构肥胖防治体系的关键“基础设施升级”。近 5 年的综述与指南显示,人工智能(artificial intelligence, AI)、大语言模型(large language model, LLM)、可穿戴与家庭物联网(Internet of Things, IoT),以及元宇宙与数字人技术,正在从风险预测—精准分型—个体化治疗—康复—长期管理的全链条,系统性重塑肥胖照护^[5-10]。AI/机器学习(machine learning, ML)可整合电子病历、影像、组学、生活方式与环境暴露等多源数据,构建用于分型、并发症预测与疗效评估的多模态模型;LLM/生成式预训练转换器(generative pre-trained transformer, GPT)结合医学知识图谱,可作为“对话式专家”,实时解答个体化问题并将循证证据转化为可执行建议;IoT 持续记录体重、活动、睡眠与饮食,用作动态风险评估与干预定位的“数据底座”;元宇宙与数字人则通过沉浸式场景提升患者参与度与长期坚持意愿^[11-14]。由此形成的“云—边—端一体化”AI+ 管理生态,为 5P 医学在肥胖领域的系统化落地奠定基础。

5P 医学为 AI+ 控制体重提供了清晰的价值框架。在预测(predictive)层面,多模态模型可前瞻性评估肥胖及并发症风险,为人群筛查与资源配置提供量化依据;在预防(preventive)层面,基于风险分层的生活方式强化与早期药物干预使“治未病”真正可实施;在个体化(personalized)层面,结合基因、

代谢表型、行为与心理特征,可量身定制饮食、运动、药物与数字疗法组合;在参与(participatory)层面,GPT 与数字人以自然语言作为交互界面,增强患者对疾病与治疗路径的理解与共决策能力;在精准(precision)层面,借助真实世界数据与持续学习算法,可不断校准干预策略,实现“越用越准”。

在这一总体框架中,白春学教授提出的“元宇宙医学”“医学新质生产力”与 BAIMGPT 白皮书,强调以 MIoT+AR/VR+数字人专家构建未来医疗基础设施^[15-19]。由此,医学 GPT 不再是单一工具,而是贯穿 5P 全链条的“减重数字人专家”,连接云端智能、临床决策与公众参与,为构建“AI+控制体重”蓝图奠定理论与技术基石,并自然引出后续关于预防、诊断、治疗、康复与管理的系统部署。

1 AI+ 赋能预防:从人群风险分层到个体化“数字生活方式处方”

1.1 多模态 AI 风险预测与人群分层 在 5P 医学框架中,多模态 AI 风险预测是肥胖防控由“被动应对”转向“前瞻预警”的起点。通过整合电子病历、基因与多组学、体检与影像、饮食与体力活动,以及收入、教育与居住环境等社会决定因素,可构建 ML/深度学习模型,在儿童、青少年与成年人中提前多年预测肥胖及其并发症风险。2025 年系统综述显示,纳入饮食、运动、睡眠和心理特征的 AI 模型,其儿童肥胖预测 AUC 多超过 0.80,显著优于传统风险评估。同时,结合 GIS 与环境暴露数据,AI 可生成城市级“肥胖风险热力图”,将食品可及性、步行友好度及绿地覆盖等因素量化,为控糖饮料税与城市设计等政策提供依据^[5-6]。上述多层级分层体系不仅识别高危个体,也定位高危区域,为后续精准预防奠定基础。5P 映射表明,该类模型是“Predictive”的核心抓手,并直接服务“Preventive”。

1.2 IoT 可穿戴设备的早期预警与行为刻画 IoT 可穿戴设备首次使肥胖防控具备“连续观察真实行为轨迹”的能力。智能手表、联网体重秤、睡眠监测与膳食记录 App 可长期捕捉体重趋势、活动水平、心率变异性、睡眠结构与进食模式。借助 ML,这些高频时序数据可转化为可操作的早期预警信号,如体重滚动平均上升、久坐时间延长、睡眠明显不足等^[7,20],从而在症状之前识别“生活方式失衡”。系统综述亦提示,mHealth 与可穿戴辅助干预可额外带来 1~3 kg 减重,且效果与使用频度呈正相关^[8,21]。进一步应用强化学习(RL)后,系统能根据用户反馈动态调整推送频率与内容,避免“提醒疲劳”,同时

在关键节点增强干预^[5]。IoT+AI 因此构成一套基于行为轨迹与风险走势的连续预防体系,而非依赖零散问诊。

1.3 元宇宙健康教育与体重污名化干预 在行为预防中,让公众“理解并愿意改变”与“知道如何改变”同样重要。“元宇宙医学”专家共识将医学元宇宙定义为由医疗 IoT、AR/VR 与数字人构成的新型健康空间,强调沉浸式体验在教育与行为改变中的价值^[11-12,15-16]。医学 GPT 可作为“减重数字人导师”:在虚拟厨房演示如何阅读营养标签、辨识高能量食品;在虚拟健身场景中根据体能和共病情况指导有氧与抗阻训练,并实时反馈动作质量与安全边界;借助沉浸式体验呈现体重污名化造成的心理伤害,促进社会环境更包容^[17,22]。从 5P 视角看,元宇宙与数字人显著提升公众“参与(participatory)”度,并根据年龄、性别、文化背景与健康素养实现教育内容个性化(personalized)。因此,AI+ 赋能预防已不仅是“风险告知”,而是将抽象风险转译为可感、可执行的“数字生活方式处方”,并自然衔接至诊断与治疗阶段。

2 AI+ 赋能诊断

2.1 AI 驱动的肥胖表型识别与多病共存评估 AI 在肥胖诊断中的核心价值,首先体现在对疾病异质性的重新建模。传统依赖 BMI/腰围的分层方式虽便于筛查,却无法识别“代谢健康型肥胖”“代谢不健康型肥胖”“肌少性肥胖”等关键表型³,而这些表型在脂肪分布、肌肉量、炎症水平及代谢风险上差异巨大。另外肥胖基于病理生理可分为脑饥饿型、胃肠饥饿型、情绪饥饿型和低代谢型,有助于肥胖的治疗方案的选择。AI/ML 能整合实验室指标、心肺功能、睡眠监测(如 OSA)、心理测评及社会经济因素,构建由生物学与行为共同驱动的多维表型网络,涵盖内脏脂肪优势、肝脂肪沉积、炎症-心代谢高危表型,以及抑郁/暴饮、睡眠剥夺、药物相关等行为-心理亚型^[5,23]。

这一趋势已快速进入指南体系。包括 JOMES 2025、ADA 2025 与 ACC/AHA/TOS 在内的多国指南均强调,应从“以 BMI 为中心”转向“以并发症与多维表型为中心”的诊疗框架^[1,24-27]。AI 将海量多源数据压缩为可解释的表型结构,有助于临床从“单指标判断”跃迁至“个体特异性评估”,并为精准治疗奠定关键基础。

2.2 影像与体成分的自动化分析 AI 的第二个突破点在于影像体成分测量的自动化。传统 CT/MRI

分割脂肪与肌肉依赖大量人工操作,难以规模化推广。深度学习可自动、稳定提取内脏脂肪、皮下脂肪与肌肉量,提高效率并推动“肌少性肥胖-代谢风险-运动处方”链条落地^[5]。同时,基于 3D 光学与姿态估计的“无接触体成分评估”逐步成熟,可在门诊与家庭场景快速生成体脂率与腰臀比^[28],为基层与自我管理提供低门槛方案。

更重要的是,当影像 AI 与临床模型耦合后,可构建“体成分-代谢-心肺生理”立体图谱。例如,内脏脂肪体积可与胰岛素抵抗指数、NAFLD/NASH 风险评分及最大摄氧量(VO_{2max})自动关联,形成更完整的“代谢健康画像”。该图谱为随访、疗效评估与治疗个体化提供量化基线,使诊断体系更加精细可追踪。

2.3 AI 识别肥胖相关红灯信号与高危并发症 AI 的第三个诊断价值在于提升对高危并发症的识别能力。NLP 技术可自动结构化电子病历,识别 OSA、NAFLD/NASH、T2DM、心衰、抑郁及部分肿瘤等高危共病组合,并生成个体化随访清单^[2,5]。与人工筛查相比,AI 更能捕捉跨专科隐性风险,从而降低漏诊率。

在儿童与青少年群体中,该能力尤为重要。儿科肥胖指南强调“生长追踪曲线”与“共病聚类”对早诊意义重大³⁷,但依赖连续数据且执行复杂。AI 工具可在学校体检与儿科门诊自动完成轨迹预测、共病聚类与预警提示^[3,29],显著提升早期干预覆盖率,使生命早期健康管理真正可行。

综合来看,AI 诊断模块通过精准识别表型、体成分与并发症网络,拓展了肥胖诊断的深度与广度。从 5P 医学视角,其贡献集中于 precision 与 predictive:既让预测更前置,也让诊断更细化,为后续个体化治疗自然铺路。

3 AI+ 赋能治疗和精准治疗

AI 技术深度融入肥胖治疗,使原本依赖经验和单指标的决策体系逐步升级为以“数据-模型-反馈”为核心的精准干预框架。本节从药物、数字疗法与代谢手术三个层面阐述 AI 的作用,并进一步说明医学 GPT 的专业定位。

3.1 GLP-1 及新一代药物治疗的 AI 精准决策 最新 WHO GLP-1 指南、AGA 指南、JOMES 2025 及 ACC 专家共识均指出,GLP-1RA、GIP/GLP-1 及 GLP-1/GCGR 双重促效剂已成为成人肥胖治疗主干,同时 GLP-1/GIP/GCGR 的多重激动剂类药物的研发取得突破性进展;其选择应基于患者肥胖程

度、肥胖共病和心肾结局、患者可能存在的药物相关风险和禁忌症,以及患者偏好,并以 GRADE 证据等级为依据^[1,24-27,30]。高质量循证医学 RCT 研究显示 Semaglutide(司美格鲁肽)2.4 mg、Tirzepatide(替尔泊肽)10 mg/15 mg 在中国人群可实现 12%~20% 体重下降,并带来显著心肾获益。

AI 的核心贡献在于实现“人药匹配”。ML 模型可结合 BMI、体成分、代谢谱、遗传标记、行为特征及共病结构,预测药物反应、不良反应风险及停药后复胖模式^[5,31],为“药物 vs 手术 vs 强化生活方式”提供量化证据。

同时,“营养与 GLP-1 协同管理”研究指出,此类药物影响饱腹感、食欲与进食节律³²。AI 可基于膳食图像、进食时间与症状记录生成干预建议,如调整餐次结构、优化蛋白摄入或提示微量营养素补充,使药物治疗从“给药”延伸至“管理”。

3.2 数字疗法(DTx)与 AI 行为教练 DTx 将传统难以量化的行为改变转化为可监测、可追踪的数字流程。多项 RCT 显示,基于 App 的 DTx 可在 6~12 个月额外实现 2~5 kg 减重,并改善饮食行为与心理状态^[8,21,32-33]。其中,zanadio 在真实世界研究中达成约 7%~8% 体重下降³³;DEMETRA 试验显示使用率 ≥ 40% 者获益更显著;Lifeness 在奖赏相关饮食

行为改善方面具有优势。系统综述指出,AI 行为教练的效果可接近面对面干预^[9]。

AI/GPT 的加入使 DTx 从“内容推送”转向“策略干预”:① 图像识别自动估算餐食营养并提供即时反馈;② 对话式 GPT(如医学 GPT 减重子模型)识别情绪性进食与暴饮触发点,并推送 CBT 风格调节建议^[20,22];③ 强化学习根据用户行为动态优化推送策略,使提示更贴合个人偏好^[5]。这一模式以高频微干预嵌入真实生活,使行为改变更具持续性。

3.3 代谢/减重手术的 AI 全流程辅助 代谢手术仍是中重度肥胖及重要代谢并发症患者的高效选择。AI 正在手术全流程提供量化支持。术前,ML 模型可利用年龄、肝脏脂肪量、糖代谢状态、心理特质与社会支持等变量,预测手术并发症、体重下降轨迹及糖尿病缓解概率,使决策更依据数据而非经验。术后,AI 与 IoT 联合构成敏感随访体系,通过体重曲线、饮食记录与情绪量表识别营养不良、复胖趋势或心理问题,并自动触发营养及心理干预。该“前瞻式随访”显著提升术后质量与安全性。

3.4 医学 GPT:减重数字人专家的临床级应用 在“医学新质生产力”理念下,医学 GPT 被定位为可解释、可验证、可问责的智能医疗伙伴^[17-19],其在肥胖治疗中承担三大角色(表 1)。

从 5P 视角,本节集中体现 personalized 与 precision: AI 进行精准预测与靶向决策,医学 GPT 将复杂方案转译为患者可理解、可执行且可坚持的路径,为随后的康复与长期管理奠定基础。

4 AI+ 赋能康复

康复阶段的核心不只是“维持减重成果”,更在于促进代谢改善、恢复身体功能并降低复胖风险。AI、IoT 与元宇宙技术使康复管理从依赖主观感受与零散随访,转向连续监测和动态反馈的智能体系。本节从复胖监测、运动康复与肌少性肥胖管理三方面阐述 AI+ 的关键作用。

4.1 防复胖智能监测与行为微调 长期随访显示,多数患者在减重后 5 年内不同程度回升^[4],提示康复的重点在于持续调整而非一次性干预。AI 的优

表 1 医学 GPT 作为“减重数字人专家”的应用路线

策略	技术路径
循证处方顾问	嵌入 WHO、AGA、ADA 等指南与本地路径,按 GRADE 证据生成用药建议(剂量、滴定、停药、手术转诊)。
虚拟 MDT 协调者	整合多学科意见,生成结构化治疗解释,并以通俗语言回答关键问题。
个体化治疗规划师	基于云端 AI 与 IoT 数据,为患者制定包含药物、营养、运动、睡眠与心理支持的综合方案。

势在于能从高频数据中捕捉早期失衡信号,并提前识别复胖轨迹。例如体重滚动平均持续上升、夜间进食增多、周末活动下降或睡眠不足导致食欲调节紊乱等^[5]。

整合体重曲线、膳食图像、活动量、心率变异性与睡眠结构后,AI 可推送“微量行为调整”,如优化早餐蛋白比例、重设活动目标或减少睡前电子产品使用等。强化学习算法进一步提升干预“适配性”,根据近期完成度动态调整提醒频率与难度^[5],避免信息过载,同时保持必要推动力。

从康复管理角度看,这一 AI 监测体系相当于“数字化体重维持护栏”,有效填补随访间的管理空窗。

4.2 元宇宙康复与“运动处方游戏化” 在运动康复方面,AI 与元宇宙技术使运动处方由“任务执行”转

为“沉浸体验”。依据元宇宙医学共识^[11,23],VR/AR可构建安全、互动的“虚拟健身房”,通过姿态估计实时反馈动作质量与关节角度,降低损伤风险,并通过能量消耗和心率区间的可视化让患者理解训练收益。

“数字孪生身体”可展示体成分的动态变化,如内脏脂肪下降、肌肉量提升,即便体重变化有限也能增强坚持动力。游戏化数字疗法(GDTx)借助积分、挑战与社交机制显著提升运动依从性与持续率。

在此过程中,医学GPT作为“虚拟康复教练”,可结合IoT数据实时调整运动处方(类型、强度、频率),并解释心率区间、安全警示和恢复策略,使康复指导从冰冷指令转为可理解的陪伴式教学。

4.3 关注肌少性肥胖与老年功能康复 对老年或合并慢病患者而言,康复重点从“减重”转向肌肉量、力量与功能维持。肌少性肥胖由于兼具脂肪过多与肌肉减少,其管理不能简单套用一般减重方案。

AI可利用CT/MRI体成分、BIA、步态与握力等多模态信息识别肌少性肥胖表型^[28],并制定以“高质量蛋白摄入+阻力训练”为核心的处方。对于营养不足或跌倒风险较高人群,AI的实时评估尤为关键,可提示疲劳、代偿或训练不均衡。IoT力量训练设备(智能弹力带、阻力器械等)可自动记录训练量与动作质量,为AI提供连续反馈,使康复更具量化与可追踪性,也拓展了居家康复的可及性。

AI+ 康复实现了从体重维持到功能重建、从行为纠偏到运动指导的全链路升级,使康复成为“可测量、可反馈、可持续”的过程。借助医学GPT作为智能接口,患者获得一个可长期共同进化的数字康复伙伴,也为下一章节的长期管理体系奠定逻辑基础。

5 AI+ 赋能管理

随着肥胖管理从“阶段性治疗”迈向“全生命周期健康管理”,单点式干预已难支撑复杂需求。AI、IoT与数字人技术为此提供了“云一边一端”协同架构,使个体管理、群体策略与公共卫生工具统一于一个动态、自学习体系。本节从平台架构、5P落地与医学GPT三方面展开。

5.1 云一边一端闭环架构 借鉴AI驱动慢病管理经验,可将“AI+ 控制体重”构建为三层闭环体系^[9-10],使信息流、决策流与服务流贯通。

(1) 云端(cloud):智能计算与人群管理中心。云端整合多机构EHR、可穿戴数据、药物与支付记录,并运行核心模型:①肥胖及并发症风险预测;②药物/手术/数字疗法成本一效果评估;③公共卫生干预模拟工具。同时构建“人群级数字孪生队列”,预测不同策略在5~10年内的健康与经济影响,为区域决策提供量化依据。

(2) 边缘(edge:医院/社区):临床与基层执行枢纽。边缘层承担个体诊疗与重点人群管理:①CDSS为医生提供药物、手术与数字疗法组合建议,并附简明GRADE摘要;②社区健康管理师依据“高危复胖”“低依从性”名单开展随访。该层既支持个体治疗,也落实人群分层管理。

(3) 终端(end:家庭/个人):行为改变与自我管理中心。患者通过App、可穿戴与元宇宙场景形成连续的自我管理体系:①可与医学GPT对话获得行为指导与药物管理;②“健康仪表盘”展示体重、体成分、睡眠与实验室指标趋势,强化正向反馈。终端层构成“每日可用、即时反馈”的闭环入口。

5.2 5P医学在平台中的具体落地 “云一边一端”正是5P医学的工程化体现(表2)。

表2 5P医学的理念与落地路径

理念	路径
Predictive	云端模型预测肥胖、并发症与复胖风险,为资源配置与随访频率提供依据。
Preventive	医院/社区据预测结果组织生活方式门诊、药物预防与公共卫生干预。
Personalized	依据深度表型与行为画像定制饮食、运动、药物与数字疗法组合。
Participatory	BAIMGPT通过自然语言解释与共创目标,促进患者主动参与。
Precision	平台基于真实世界数据持续学习与迭代,提高干预效果与安全性。

5P构成从预测到精准执行、从个体到人群的闭环,使体重管理成为可测量、可反馈、可迭代的过程。

5.3 医学GPT的多方角色 在平台中,医学GPT不

只是交互工具,而是联通临床、个人与公共卫生的“数字桥梁”。

临床医生视角。医学GPT作为循证助手,提供最新指南(含GRADE等级)的一页式摘要,将复杂

选择转化为决策树与风险—获益图,并坚持“辅助而非替代”原则,提高诊疗一致性与效率。

患者与家庭视角。医学 GPT 作为健康素养友好的伙伴,以易懂语言解释“药物是否会反弹”“如何协调饮食”等问题;并通过本地化表达减少健康素养差异带来的不平等,同时提供持续的情绪与行为支持。

管理者与支付方视角。医学 GPT 可自动生成肥胖患病率、治疗模式、数字疗法覆盖率与健康经济报告,并按地区、年龄与共病结构提供动态分析,支持支付与公共卫生策略制定^[4]。

总体而言,“AI+ 管理”通过平台整合、5P 驱动与医学 GPT 交互,使体重管理从“临床孤岛”走向

“系统协同”,并为后续挑战与解决方案奠定坚实基础。

6 挑战与解决方案

AI 正在重塑肥胖防治全链条,但其真正价值取决于能否在真实世界中“安全、可靠、可持续”地落地。一个可信赖的 AI+ 控制体重体系需同时解决数据、伦理、公平性、流程与监管等关键挑战。

6.1 数据质量、泛化性与可解释性 多数 AI 模型仍基于单中心或单一族群数据,存在泛化性不足与潜在偏倚^[5,23],导致开发阶段表现优异但在不同地区与疾病结构中可能失效。破解该瓶颈需聚焦三方面(表 3)。

表 3 确保模型“可信”而非“好看”的策略

策略	实施技术路线
提升数据多样性	建立跨机构、多地区联合数据库,并用联邦学习提升数据代表性;
强化可解释性	采用 SHAP、LIME 等 xAI 展示特征贡献,增强医生与患者对算法的理解 ⁵ ;
遵循方法学规范	按 TRIPOD+AI、CONSORT-AI 进行设计与报告,使研究可复现、可监管 ³⁷ 。

上述措施共同构成模型“科学落地”的基石。

6.2 公平性、隐私与伦理治理 医疗 AI 存在“健康数据贫困”现象:弱势群体最需要干预,却最缺乏高质量数据。若缺乏治理,AI 可能放大既有不平等。STANDING Together 等倡议提出,数据采集必须保证多样性,且需提前评估少数族裔与弱势群体的性能。可行路径如下(表 4)。

6.3 临床流程整合与支付体系适配 AHA 指出,“肥胖科学”与“临床实践”之间的鸿沟源于循证方案复杂且门诊时间有限^[4]。AI 能否真正发挥作用,关键在于与临床工作流和支付体系的匹配。整合原则如下(表 5)。一旦工作流与支付体系对接,AI 才能从试点走向常规。

表 4 防止 AI 成为“不平等放大器”的策略

战略	实践战术
技术层面	差分隐私、同态加密、脱敏以降低风险;
治理层面	多学科伦理委员会定期审查模型在不同人群的表现;
设计层面	将公平性设为核心性能指标,而非事后修补。

6.4 GPT/数字人的可靠性、安全与监管 白春学教授在“医学 GPT 研发应用之吾见”与“BAIMGPT 白皮书”中强调:医学 GPT 必须坚持“安全优先、循证优先、医生主导、分级授权”^[17-19]。其落地路径可概括为三类(表 6)。

表 5 让 AI“用得上、用得动”的策略

策略	实践方法
少而精的信息推送	仅在筛查、治疗选择、复胖预警等关键节点提供简明建议;
严格对齐指南	所有输出须可追溯至现行指南或高质量证据;
支付激励	将数字疗法、AI 行为教练纳入医保或人头付费体系,使长期管理获得制度支撑。

表 6 让医学 GPT 可用、能用、可信的策略

策略	实践技术路线
明确权责边界	限于教育、辅助决策与行为管理,不独立处方或诊断;
双轨安全架构	LLM 输出经知识图谱与规则引擎过滤,高风险建议需人工确认;
沙箱监管	先在限定场景试点,逐步推广,并建立“AI 风险事件”监测与反馈机制。

7 展 望

面向未来, AI、IoT、数字孪生、元宇宙与医学 GPT 的融合, 将推动体重管理从“治疗肥胖”迈向“治理体重”, 再提升至“塑造健康能力”的更高维度。随着多模态大模型、联邦学习和可解释 AI 的成熟, 个体的代谢、行为、环境与社会因素将被整合进更立体的风险图谱; 数字孪生人体也可在云端同步“学习”患者真实世界变化, 并动态更新最佳干预策略。届时, 医学 GPT 不再只是决策助手, 而将成为人人可及的“数字体重与代谢健康伙伴”, 陪伴日常生活的每一次决策。与此同时, 医疗支付体系、隐私保护架构与伦理监管也将持续演进, 为 AI 的大规模应用提供制度化保障。未来的体重管理平台或将如“智能电网”般运行: 在云端调度资源, 在社区精准触达, 在家庭持续反馈, 使健康干预真正实现按需、实时与个体化。最终, AI+ 控制体重的目标并非减重本身, 而在于帮助公众重新获得代谢稳态、身体功能与生活掌控感。随着技术演进、临床循证与公共卫生协同推进, 一个低肥胖率、高健康素养、具备自我管理能力的群体形态将逐步成形。这亦是 AI 时代慢病治理的核心愿景——让更健康的未来, 不再依赖偶然, 而能通过系统智能实现。

伦理声明 无。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突。

作者贡献 陈颖: 撰写、修改论文, 核对参考文献; 白春学: 选题、撰写、修改、定稿, 使用 AI 技术生成图片。

参考文献

- [1] TEKE J, MSISKA M, ADANINI O A, et al. Artificial intelligence for obesity management: a review of applications, opportunities, and challenges [J]. *Obes Med*, 2025, 58: 100657.
- [2] HUANG L, HUHULEA E N, ABRAHAM E, et al. The role of artificial intelligence in obesity risk prediction and management: approaches, insights, and recommendations [J]. *Medicina*, 2025, 61(2): 358.
- [3] AZMI S, KUNNATHODI F, ALOTAIBI H F, et al. Harnessing artificial intelligence in obesity research and management: a comprehensive review [J]. *Diagnostics*, 2025, 15(3): 396.
- [4] KOO T H, LEONG X B, JET KWAN N G, et al. Emerging trends in telehealth and AI-driven approaches for obesity management: a new perspective [J]. *Malays J Med Sci*, 2025, 32(1): 26–34.
- [5] HALLOCK R, MEHTA N, PATEL N, et al. A systematic review of AI-enabled behavioral coaching for obesity and cardiometabolic risk [J]. *Curr Obes Rep*. 2025, 19(1):24.
- [6] KIM M, CHOI H J. Digital therapeutics for obesity and eating-related problems [J]. *Endocrinol Metab*, 2021, 36 (2) : 220–228.
- [7] GEMESI K, WINKLER S, SCHMIDT-TESCH S, et al. Efficacy of an app-based multimodal lifestyle intervention on body weight in persons with obesity: results from a randomized controlled trial [J]. *Int J Obes*, 2024, 48(1): 118–126.
- [8] THORGEIRSSON T, TORFADOTTIR J E, EGILSSON E, et al. Randomized trial for weight loss using a digital therapeutic application [J]. *J Diabetes Sci Technol*, 2022, 16(5): 1150–1158.
- [9] BERTOLI S, CAPODAGLIO P, COLOSIMO S, et al. Effectiveness of a digital therapy on 6-month weight loss in people living with obesity: the DEMETRA randomized clinical trial. *J Med Internet Res*. 2025, 27:e72054.
- [10] AUKAN M I, LARSEN M A, MELAN T I, et al. Beyond weight loss: digital therapeutic for behavioral change and psychological well-being for individuals with overweight and obesity in a primary healthcare setting—a randomized controlled pilot study [J]. *Front Digit Health*, 2025, 7: 1671649.
- [11] ROTH L, ORDUNUNG M, FORKMANN K, et al. A randomized-controlled trial to evaluate the app-based multimodal weight loss program *zanadio* for patients with obesity [J]. *Obesity*, 2023, 31(5): 1300–1310.
- [12] CHEW H S J, CHEW N W, LOONG S S E, et al. Effectiveness of an artificial intelligence-assisted app for improving eating behaviors: mixed methods evaluation [J]. *J Med Internet Res*, 2024, 26: e46036.
- [13] CHEW H S J, ACHANANUPARP P, DALAKOTI M, et al. Public acceptance of using artificial intelligence-assisted weight management apps in high-income Southeast Asian adults with overweight and obesity: a cross-sectional study [J]. *Front Nutr*, 2024, 11: 1287156.
- [14] ZHU X, et al. How do gamified digital therapeutics work on obesity self-management. *Digital Health*. 2024, 10.
- [15] CELLETTI F, et al. WHO guideline on the use and indications of GLP-1 therapies for adults living with obesity. *JAMA*. 2025, 324.
- [16] GRUNVALD E L, et al. AGA clinical practice guideline on pharmacological interventions for adults with obesity [J]. *Gastroenterology*. 2022;163(5):1198–1225.
- [17] BAE J H, et al. 2024 clinical practice guidelines for the diagnosis and treatment of obesity in Korea [J]. *J Obes Metab Syndr*. 2025;34(1):1–39.
- [18] AMERICAN DIABETES ASSOCIATION. Obesity and weight management for the prevention and treatment of type 2 diabetes: Standards of Care in Diabetes—2025 [J]. *Diabetes Care*. 2025; 48(Suppl 1):S167–S176.
- [19] Gilbert O. 2025 concise clinical guidance: an ACC expert consensus decision pathway on obesity pharmacotherapy [J]. *J Am Coll Cardiol*. 2025;85(2):123–149.
- [20] KUSHNER R F. A review of current guidelines for the treatment of obesity [J]. *Am J Manag Care*. 2022;28(2):e55–e64.

- [21] KELLY A S. Clinical practice guideline for the evaluation and treatment of children and adolescents with obesity [J]. *Pediatrics*. 2023;151(2):e2022060640.
- [22] YURISTA S R, EDER R A, FEELEY M, et al. A closer look at ACC/AHA and ESC guidelines for managing obesity and overweight in adults[J]. *JACC Adv*, 2023, 2(7): 100570.
- [23] AMERICAN HEART ASSOCIATION. Significant gaps between science of obesity and care patients receive [J]. *Circulation*. 2024;149(10):e1 - e15.
- [24] MOZAFFARIAN D. Nutritional priorities to support GLP-1 therapy for obesity[J]. *Am J Clin Nutr*. 2025.
- [25] YANG D, ZHOU J, SUN M, et al. Expert consensus on the metaverse in medicine[J]. *Clin eHealth*. 2022;5:1 - 9.
- [26] YANG D W, ZHOU J, SONG Y L, et al. Metaverse in medicine [J]. *Clin eHealth*, 2022, 5: 39-43.
- [27] YANG D W, SUN M T, ZHOU J, et al. Expert consensus on the “Digital Human” of metaverse in medicine [J]. *Clin eHealth*, 2023, 6: 159-163.
- [28] MASSETTI M, CHIARIELLO G A. The metaverse in medicine [J]. *Eur Heart J Suppl*, 2023, 25: B104-B107.
- [29] JAGATHEESAPERUMAL S K, BARRETO A G, CDE ALBUQUERQUE V H. Metaverse platforms for immersive healthcare: a survey on telemedicine solutions [J]. *ACM Comput Surv*, 2026, 58(2): 1-31.
- [30] COUTINHO W. Noncontact assessment of body composition by 3D optical imaging: a scoping review [J]. *Obesity (Silver Spring)*. 2023;31(6):1234 - 1245.
- [31] ARORA A, ALDERMAN J E, PALMER J, et al. The value of standards for health datasets in artificial intelligence-based applications[J]. *Nat Med*, 2023, 29(11): 2929-2938.
- [32] ALDERMAN J E, PALMER J, LAWS E, et al. Tackling algorithmic bias and promoting transparency in health datasets: the STANDING Together consensus recommendations [J]. *Lancet Digit Health*, 2025, 7(1): e64-e88.
- [33] COLLINS G S, MOONS K G M, DHIMAN P, et al. TRIPOD+ AI statement: updated guidance for reporting clinical prediction models that use regression or machine learning methods [J]. *BMJ*, 2024, 385: e078378.

引用本文

陈 颖,白春学. AI+控制体重研究进展及展望[J]. 元宇宙医学, 2025, 2(4): 17-24.

CHEN Y, BAI C X. Research progress and prospects of AI+ weight control[J]. *Metaverse Med*, 2025, 2(4): 17-24.