DOI:10.12138/j.issn.1671－9638.20264252

综述·人工智能专题

算法驱动的个性化干预在 HIV 感染预防及管理中的研究进展

李　婷[1]，陈思懿[1]，何嘉欣[1]，郝　琴[1]，王珊珊[2]，侯宇洋[3]，苏昕怡[3]
（1. 延安大学延安医学院，陕西 延安　716000；2. 延安大学经济管理学院，陕西 延安　716000；3. 中南大学湘雅护理学院，湖南 长沙　410013）

[摘　要] 算法驱动的个性化干预能够精准适配个体需求，且具备规模化推广优势，现已成为人类免疫缺陷病毒（HIV）感染防治领域的重要研究方向。本文系统梳理该模式在 HIV 感染预防与管理领域的应用进展，围绕计算机定制干预、即时适配干预、人工智能（AI）驱动的个性化干预三大模式，阐述其发展历程、设计架构及典型应用场景，同时探讨当前实践挑战与未来趋势，旨在为我国相关理论研究与本土化应用提供借鉴。

[关　键　词] 人类免疫缺陷病毒；个性化干预；计算机算法；计算机定制干预；即时适配干预；人工智能；HIV 预防
[中图分类号] R512.91　R319

Research progress on algorithm-driven personalized intervention in HIV prevention and management

LI Ting[1], *CHEN Siyi*[1], *HE Jiaxin*[1], *HAO Qin*[1], *WANG Shanshan*[2], *HOU Yuyang*[3], *SU Xinyi*[3] (1. *Yan'an Medical College, Yan'an University, Yan'an* 716000, *China*; 2. *School of Economics and Management, Yan'an University, Yan'an* 716000, *China*; 3. *Xiangya School of Nursing, Central South University, Changsha* 410013, *China*)

[**Abstract**] Algorithm-driven personalized intervention, capable of being precisely tailored to individual needs and offering the advantage of scalable implementation, has emerged as an important research direction in the field of human immunodeficiency virus (HIV) prevention and treatment. This paper systematically reviews the application progress of this intervention model in the field of HIV prevention and management, elaborates on the development process, design framework, and typical application scenarios of three major models: computer-tailored intervention, just-in-time adaptive intervention, and artificial intelligence (AI)-driven personalized intervention. Concurrently, it explores existing practical challenges and future trends, aiming to provide references for relevant theoretical research and localized applications in China.

[**Key words**] human immunodeficiency virus; personalized intervention; computer algorithm; computer-tailored intervention; just-in-time adaptive intervention; artificial intelligence; HIV prevention

最新流行病学数据显示，艾滋病防治依然面临严峻挑战。截至 2024 年底，全球现存人类免疫缺陷病毒（human immunodeficiency virus，HIV）感染者约 4 080 万，当年新发感染约 130 万例[1]；我国同期现存感染者达 135.5 万，新发感染超过 10 万例[2]。《中国遏制与防治艾滋病规划（2024—2030 年）》明确指出，健康行为干预是艾滋病防治工作的重要组成部分[3]。近年来，信息技术支持的干预措施在 HIV 预防和管理中显示出良好的应用前景，但多数仍采用“一刀切”式的标准化内容，难以适应不

[收稿日期]　2026－02－05
[基金项目]　国家自然科学基金资助项目（72261032）；延安大学 2025 年大学生创新训练计划项目
[作者简介]　李婷（1989－），女（汉族），陕西省榆林市人，讲师，主要从事疾病防控方面的研究。
[通信作者]　苏昕怡　　E-mail:1017330574@qq.com

同人群的个性化需求[4-5]。

国内目前 HIV 领域个性化干预主要依赖人工评估与一对一方案制定，尽管干预效果显著，却面临标准化困难、服务效率不高等突出问题[6]。算法驱动的个性化干预不仅具有易复制、易规模化推广的优势，且在涉及 HIV 暴露史等敏感内容时，计算机化干预方式更易获得参与者认可[7]。该类干预通过计算机分析个体数据，并依据算法自动生成或匹配个性化干预方案；由于所采用算法的逻辑差异，其可区分为三种技术形态：基于静态决策规则的计算机定制干预（computer-tailored intervention，CTI）[8]、基于实时数据触发动态适配的即时适配干预（just-in-time adaptive intervention，JITAI）[9]，以及基于机器学习算法的人工智能（artificial intelligence，AI）驱动个性化干预[10-11]。

目前，算法驱动的个性化干预在 HIV 领域于国外已积累了一定研究依据，而国内的相关探索尚处于起步阶段，实证研究较为有限。本文拟系统梳理此类干预在 HIV 感染预防及管理中的应用进展，聚焦其发展脉络、类别与设计框架、实际应用场景，以及当前面临的挑战与未来趋势，旨在为我国在该领域的理论发展与本土化实践提供参考。

1 算法驱动的个性化干预技术发展脉络

20 世纪 90 年代初，计算机算法开始应用于个性化健康干预，1999 年 De Vries 和 Brug 将其统一命名为 CTI，即一种通过高度计算机化的过程，将健康教育内容适配于特定个体的健康干预方法[8]。该方法常在干预前对参与者特征进行单次评估，并基于预设的“If-Then”逻辑树结构匹配并生成内容，形成相对静态的个性化健康教育资料[12]。

随着方法发展，干预策略从静态定制转向多阶段动态适配，研究者通过干预过程中的反复评估调整干预内容[13]。移动终端、可穿戴传感设备的普及促进了 JITAI 的出现，即依据个体实时状态与所处情境即时调整干预策略，使得个体在最易或最需接受干预时得到适配支持[9]。

近年来，AI 技术的进步进一步推动范式革新，催生了 AI 驱动的个性化干预这一前沿类别。该范式以机器学习、自然语言处理等技术为核心，可整合多维度个体数据，实现风险前瞻性预测与干预方案动态迭代，突破了预设规则的限制，成为当前 HIV 感染精准防治领域的研究热点[10-11]。

2 算法驱动的个性化干预技术类型、核心特征与设计框架

2.1 CTI CTI 基本架构通常包括四大部分：个体评估、决策算法、信息库与输出渠道[8]。如图 1 所示，系统首先通过问卷、量表或医疗记录等方式，对用户的健康行为及相关特征进行评估；随后，依据预设的决策算法从信息库中匹配相应的健康信息，进而整合为个性化内容；最终，通过适当的输出渠道（如短信系统、交互式屏幕、移动应用等）传递给目标用户。

以 Noar 等[14]针对非裔美国人开发的“TIPSS”安全套使用干预项目为例，其设计充分遵循上述框架：首先，系统借助电子问卷与量表收集用户的人口学特征、性行为模式、对安全套的态度及自我效能等数据；随后，根据用户各量表得分是否超过预设阈值，判断其行为改变阶段，并从信息库中提取对应阶段的内容模块；信息库涵盖安全套使用益处、伴侣沟通技巧与应对策略等文本信息，以及正确使用安全套、情景化协商模拟的交互式动画；最后，所有个性化内容通过计算机界面结合语音引导呈现给用户。

CTI 因采用成熟的静态“If-Then”规则算法，开发成本较低；且只需一次评估，所需设备（如手机、电脑）普及度高，易于实现大规模推广应用[15]。但其干预方案缺乏动态调整功能，无法随用户状态变化而响应，在阻止突发高危行为上存在一定局限。

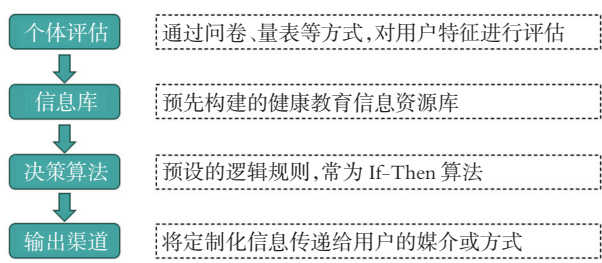


图 1 CTI 的设计框架

2.2 JITAI JITAI 的设计框架包括六大核心要素：远端结局、近端结局、适配变量、决策点、干预选项和决策规则[16]。如图 2 所示，决策点即干预决策的时机，可设定为固定时点或随机时点，也可通过特定事件（如用户靠近高风险场所）动态触发；系统依据预设决策规则，对比各适配变量的实测值与预设截断值，从干预选项库中匹配相应的内容与形式，以

改善近端及远端结局。

以 Santa 等[17]开发的高危行为干预项目“MYRID”为例：该项目以降低 HIV 传播风险为远端目标，以提升安全性行为，减少各类风险行为冲动为近端目标；系统每日对用户进行 3 次生态瞬时评估，据此判断是否需要启动干预；每次评估收集用户的相关适配变量评分，包括性冲动程度、压力程度等。系统依据预设决策规则自动触发相应干预选项（如压力水平超出截断值时，匹配压力管理类干预）。

JITAI 具有干预时机精准、生态效度高的特点，能够根据用户实时状态动态调整干预方案；但其技术实现复杂、开发与维护成本偏高，通常依赖专用监测设备或移动传感技术，且高频评估与实时推送可能导致用户产生干预疲劳，从而影响其长期依从性[18]。



图 2　JITAI 的设计框架

2.3　AI 驱动的个性化干预　设计框架由五大部分构成：数据整合、模型算法、干预生成、执行与反馈、伦理与治理[11]。如图 3 所示，系统首先整合多组学、临床、行为与社会心理等多模态数据，并基于机器学习、深度学习等算法进行分析与建模，进而匹配或生成个性化干预方案。系统通过收集反馈数据，可持续优化干预方案。同时，采用加密、区块链等技术确保患者数据安全，并采取多种措施增强算法的公平性与可解释性。

以 Holloway 等[19]针对少数人群开发的 HIV 感染预防干预项目“uTECH”为例：该系统先整合用户的数字痕迹、人口学特征、性行为、物质使用状态等多维度数据；随后基于机器学习算法对数据进行深度分析与风险预测，识别个体的 HIV 感染风险和物质使用行为模式；继而将用户进行分组，并从标准化短信内容库中匹配相应信息推送至用户手机；用户的短信反馈则作为反馈数据，用于优化机器学习模型；同时，系统通过严格控制数据访问权限、实施数据脱敏等措施，确保整个流程的数据安全与合规。

AI 驱动的个性化干预，其优势不仅在于依托机器学习算法主动预测风险，实现高精度预警；更在于能够统筹管理感染者多病共存的复杂健康需求，提供动态、多维的协同支持。但其在开发、实施及优化过程中，需整合大规模、多模态、长周期的数据，因此技术成本较高，同时存在隐私与伦理风险、算法公平性隐患[10,20]。



图 3　AI 驱动的个性化干预设计框架

3　CTI 在 HIV 感染预防及管理中的应用

3.1　HIV 传播风险行为干预　无保护性行为、多性伴、注射吸毒等 HIV 传播风险行为存在显著的个体差异，其受行为模式、风险认知、社会规范、自我效能等多维因素影响。针对这些因素定制个性化干预方案，可对不同特征人群实施分层干预。

Zule 等[21]构建的个性化 HIV 健康教育系统已通过实践验证，技术较为成熟。该系统预先为 6 类基础人群（3 种族×2 性别）开发内容模块，结合不同风险行为，形成 144 条内容。计算机可根据用户特征自动匹配并整合相关内容，生成个性化健康教育幻灯片。Zule 等[21]纳入 120 名参与者开展试点研究，结果显示干预可行性良好，在资源有限的基层医疗机构也可实施，且显著提高了安全套使用率。类似地，Jones 等[22]开发了风险行为算法，依据用户的性行为特征将其划分为 7 个 HIV 感染风险等级，并自动匹配播放相应版本的肥皂剧视频。Tolosa-Kline 等[23]则开发了基于搜索关键词的精准广告干预系统，当识别到用户搜索含性暗示词汇时，自动推送免费安全套广告；识别到 HIV 感染相关症状词汇时，推送免费检测试剂广告，实现轻量化 CTI 干预。

3.2 HIV 感染者共病管理 共病管理是 HIV 感染者管理中的重要环节。美国 48%的 HIV 感染者同时患有物质使用障碍,严重影响治疗依从性与病毒抑制效果,并提高二次传播风险[24]。为此,Hutton 等[25]开发了针对 HIV 感染者的物质使用行为干预项目"C-Raven",该项目依据用户性别、物质使用类型及严重程度、触发因素、信息偏好等维度,通过预设算法匹配相应的干预模块,由数字咨询师以动机性访谈形式实施对话干预,针对性解决物质使用问题。

在全球范围内,34%的 HIV 感染者合并抑郁症,直接影响其免疫功能和治疗依从性,对患者长期预后产生不利影响[26]。鉴于此,Lai 等[27]开发了 HIV 感染者抑郁症状管理系统"HIV TIDES",该系统借助标准化量表评估抑郁严重程度并确定核心症状维度,精准匹配干预方案。接受度调查显示,该系统在感知有用性、感知易用性和使用意愿方面均获较高评价。

4 JITAI 在 HIV 预防及管理中的应用

4.1 HIV 传播风险行为干预 HIV 传播风险行为的诱发往往与特定情境(如兴奋剂使用、负性情绪)和场所(如酒吧、酒店)密切相关,具有极强的动态性与突发性,这正是 CTI 难以解决的难点。因此,研究者借助移动技术与传感设备,通过实时识别情绪状态与地理位置,在用户做出关键行为决策时推送个性化的预防信息、情绪支持及应对策略,以实现精准干预。

以前文示例中的"MY-RID"干预[17]为例,当系统检测到用户存在高风险行为意图或处于高风险场所时,即刻推送个性化干预信息。随机对照试验结果显示,该干预能显著减少毒品使用量[28]。同样,Shrier 等[29]开发的"MARSSI"项目,在识别参与者出现负面情绪、不良认知或危险性行为倾向时,即时提供情绪调节与行为应对策略。试点研究表明,该项目参与度高,具备良好的可行性与可接受性。Wray 等[30]指出,风险性行为发生后即时的情绪反应(如羞耻、内疚等)亦可能成为促进行为改变的干预时机,未来可据此构建相应的 JITAI 策略。

4.2 服药依从性干预 抗逆转录病毒药物的服药依从性是确保 HIV 感染预防或治疗成功的关键[31]。Ingersoll 等[32]开发了双向短信干预项目"TEXT",系统依据患者服药时间发送提醒,并支持其主动反馈状态,根据回复动态调整干预内容。对依从者予以强化反馈,对未回复或报告有困难者,推送个性化激励措施、实用技巧或转介支持服务。

国内学者 Jin 等[33]则设计了基于电子药瓶实时数据的干预方案,当预设服药时段未监测到开瓶信号,系统自动发送短信提醒;若仍无开瓶记录,则通知医生启动电话干预。该研究为多中心研究,在沈阳、北京、重庆、深圳四地开展,具备较强的本土规模化应用前景。

4.3 HIV 感染者健康风险管理 压力状态、吸烟等增加 HIV 感染者健康风险的行为,具有随时间与情境动态变化的特征,JITAI 为实时支持与预防提供了可行途径。Sizemore 等[34]借助应用程序每日随机发起 1 次生态瞬时评估,捕捉 HIV 感染者的压力程度,并根据其压力水平给予激励性反馈或针对性干预。Skeen 等[35]则在此基础上整合地理位置信息,当系统检测到用户自评压力水平超出预设阈值,或进入其设定的"高压力地理区域"时,即推送应对策略。

Das 等[36]为帮助 HIV 感染者戒烟,开发了移动应用"Sense2Quit",利用智能手表传感器实时识别吸烟手势,触发个性化戒烟支持,从而在行为发生的关键时刻提供精准干预。Bizier 等[37]开发的"MASP+"项目则借助每日 4 次生态瞬时评估(晨间、晚间各 1 次,日间随机 2 次),高频捕捉用户实时状态(包括吸烟行为与冲动等),据此推送个性化干预信息。

5 AI 驱动的个性化干预在 HIV 感染预防及管理中的应用

5.1 HIV 传播风险行为干预 性活跃群体广泛使用社交媒体和社交软件,由此产生的海量数据为洞察和预测 HIV 传播风险奠定了基础。如前所述,Holloway 等[19]开发的 HIV 感染预防干预系统"uTECH",通过分析用户的数字痕迹(包括手机键盘输入、应用程序使用记录、地理位置数据、社交媒体数据),结合监督学习与自然语言处理技术,动态预测、识别用户的 HIV 感染风险行为与干预需求,进而提供实时、个性化的干预策略。

国内虽缺乏此类干预系统,但已具备扎实的本土数据与技术基础。国内学者 He 等[38]率先利用我国艾滋病哨点监测数据,开发了针对男男性行为人群的 HIV 感染风险机器学习预测模型。该模型

可有效识别高风险个体，预测准确度显著优于传统逻辑回归模型[38]，解决了国外模型对国内人群适配性不足的问题，为后续本土化干预系统的开发提供了坚实基础。

5.2 HIV 自检干预 推广 HIV 自我检测对于实现联合国艾滋病规划署提出的“三个 95%”目标至关重要[39]。以人工咨询与干预为代表的传统服务模式虽经证实有效，但其高度依赖人力资源，限制了大规模推广[40]。中国香港学者 Chen 等[41]开发了基于自然语言处理技术的聊天机器人“HIVST-Chatbot”，能理解用户输入内容，评估感染风险，增强风险认知并促进检测意愿，随后根据用户提供的检测结果给出个性化建议。随机对照试验显示，该聊天机器人的 HIV 自我检测提升效果与人工干预相当，成本效益更佳、用户参与度更高[42]。但该聊天机器人基于 WhatsApp 平台运行，需基于国内软件平台进行适配开发，以进一步拓展其在我国 HIV 感染防控中的应用价值。

5.3 HIV 感染者自我管理干预 HIV 感染已成为可控的慢性疾病，感染者的自我管理是提升其生活质量的关键举措，该过程具有多维性与复杂性[43]。研究[44-45]团队开发的 HIV 感染者自我管理 AI 聊天机器人“MARVIN”，采用自然语言处理算法解析用户输入内容，并通过决策树匹配专家预设内容，在 HIV 知识科普、用药管理、心理健康管理等方面提供针对性干预与支持。可行性研究显示，参与者留存率达 70%，用户普遍认为信息可靠、使用便捷，但同时也指出 AI 理解能力有限，话题覆盖面不足[44]。这提示 AI 尚不能替代人类在复杂情感支持与个性化沟通中的核心作用，尤其是在处理非结构化表达、情绪识别等方面仍存在显著局限。

5.4 HIV 感染者血清状态披露干预 披露血清状态有助于提升 HIV 感染者的安全性行为与治疗依从性，从而降低病毒二次传播风险[46]。Hightow-Weidman 等[47]开发的 HIV 披露技能训练系统“Tough Talks”，运用自然语言处理算法，可实时理解用户在对话练习中的输入内容，并从专属话语库中匹配与当前场景和语境相适配的虚拟角色回应。该干预措施可行性良好，但其效果评估仅依赖用户访谈数据，尚未采用客观指标加以验证[47]。

6 三类算法驱动的个性化干预对比

前文提及的三类干预模式，在技术发展中并非相互取代，而是针对 HIV 感染防治全流程的不同环节、目标群体及现有资源状况，构成的互补性技术框架。三者在设计与应用上的核心区别见表 1。

表 1 三类算法驱动的个性化干预比较

对比维度	CTI	JITAI	AI 驱动的个性化干预
适用场景	静态干预，适用于基线评估、常规宣教等场景	动态情境干预，适配情绪、高危行为等实时波动场景	前瞻性主动干预，可预判风险、应对复杂场景
数据需求	较低，仅需单次基线调研数据	中等，依赖动态、高频瞬时采集数据	较高，需多模态、长周期、多维度用户数据
技术成本	低，开发与部署流程成熟简便	中，需配套移动端采集、实时触发技术	高，涉及算法研发、算力支撑与模型训练
可推广性	高，方案成熟、易于批量复制落地	中等，依赖移动设备与实时数据采集条件	暂时偏低，受研发成本、基础设施、算法泛化能力限制
用户负担	单次主动参与，后续无持续负担	持续性高频主动配合，易产生干预疲劳	以被动采集为主，负担较轻，需重点防范隐私泄露
核心优势	模式成熟稳定，干预逻辑清晰，执行门槛低	响应及时精准，贴合真实生活，干预针对性强	具备前瞻预测能力，可适配复杂个体与场景需求
核心局限	模式静态僵化，无实时调整与响应能力	高频评估易引发用户疲劳、依从性下降	模型可解释性差，存在算法偏见、伦理与隐私争议

7 问题与挑战

7.1 个性化干预边界与风险不容忽视 尽管算法驱动的个性化干预为 HIV 感染防治提供了可规模化且精准的路径，但其仍存在内生边界与潜在风险。首先，可能导致信息碎片化，三类干预均以碎片化内容输出为主，削弱了干预体系的完整性；其次，可能加重用户认知负担，CTI 的多维度基线评估及 JITAI 的高频监测与推送，均会消耗用户认知资源，易引发干预疲劳与脱落；最后，存在算法适配偏差风险，CTI 的静态规则仅适用于预设人群与场景，而

JITAI 对缺乏监测设备的低资源群体适配不足，AI 训练数据偏差还可能加剧健康不平等现象。

7.2 干预效果的高质量证据有限 现有研究多集中于系统开发与可行性验证，仅有少数研究开展了随机对照试验，高质量效果证据尚显匮乏。同时，干预依从性是产生效果的核心前提，而关于评估频率、推送时机等关键参数的优化研究不足，设计不当易导致用户依从性降低，进而削弱干预效果[34]。因此，未来仍需加强高质量循证研究，以完善干预效果的证据支撑体系。

7.3 医院感染控制场景相关研究稀缺 在医院感染控制领域，关于 HIV 的算法驱动个性化干预研究极为匮乏。现有研究仅借助可视化 AI 系统规范手卫生、消毒等基础医护行为[48]，尚未深入探索医护人员 HIV 职业暴露个性化预防与管理等方面。同时，因免疫功能受损，HIV 感染者属于医院机会性感染、交叉感染高危人群，现有感染预测模型仅聚焦导管相关血流感染等常规医院感染[49]，未涉及 HIV 相关领域。未来可通过算法实施医护人员 HIV 职业暴露的个性化预防干预与培训，并制定 HIV 感染者医院感染的预防策略。

7.4 系统整合不足，影响可持续实施 目前大多数个性化干预系统仍以独立工具形态运行，与公共卫生服务及电子病历系统间缺乏有效衔接，阻碍其在实际防治体系中的融合应用。未来应推动系统与临床工作深度融合，构建“预防－筛查－转介－干预－随访”一体化支持体系，实现数据互通与服务延续。

8 小结

在 HIV 感染预防与管理领域，算法驱动的个性化干预展现出显著潜力与价值，目前已形成 CTI、JITAI 和 AI 驱动的个性化干预三种主要模式，已在风险行为干预、用药依从性促进和感染者心理健康支持等方面取得实际成效。然而，该领域仍面临若干关键挑战：个性化干预存在内在局限与潜在风险、干预效果相关研究证据不足、医院感染控制场景相关研究匮乏、系统整合不足影响可持续应用。未来需在这些方面开展更深入系统的研究。

利益冲突：所有作者均声明不存在利益冲突。

作者贡献声明 李婷：选题、论文撰写及修改；陈思懿、何嘉欣、郝琴、侯宇洋：文献查找、论文修改；王珊珊：资金支持、审阅与修改；苏昕怡：文献整理、审阅与修改。

[参 考 文 献]

[1] UNAIDS. Global HIV & AIDS statistics — fact sheet[EB/OL]. [2025 - 08 - 01]. https://www.unaids.org/en/resources/fact-sheet.

[2] 中国疾病预防控制中心性病艾滋病预防控制中心. 2024 年 12 月全国艾滋病性病疫情[J]. 中国艾滋病性病，2025，31(3)：225.
National Center for AIDS/STD Control and Prevention, China CDC. Epidemic of HIV/AIDS and sexually transmitted diseases in China, December 2024[J]. Chinese Journal of AIDS & STD, 2025, 31(3): 225.

[3] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于印发《中国遏制与防治艾滋病规划(2024—2030 年)》的通知[J]. 中华人民共和国国务院公报，2025(1)：33－36.
General Office of the State Council of the People's Republic of China. Circular on issuing the “China AIDS prevention and control plan (2024－2030)”[J]. Gazette of the State Council of the People's Republic of China, 2025(1): 33－36.

[4] Huang WT, Stegmueller D, Ong JJ, et al. Technology-based HIV prevention interventions for men who have sex with men: systematic review and meta-analysis[J]. J Med Internet Res, 2025, 27: e63111.

[5] Manby L, Aicken C, Delgrange M, et al. Effectiveness of eHealth interventions for HIV prevention and management in Sub-Saharan Africa: systematic review and meta-analyses[J]. AIDS Behav, 2022, 26(2): 457－469.

[6] 高静，蔡常辉，高齐明. 个性化心理护理干预对艾滋病患者治疗依从性的应用效果研究[J]. 中外医学研究，2020，18(15)：114－116.
Gao J, Cai CH, Gao QM. The effect of personalized psychological nursing intervention on treatment compliance of AIDS patients[J]. Chinese and Foreign Medical Research, 2020, 18(15): 114－116.

[7] Pickard MD, Roster CA. Using computer automated systems to conduct personal interviews: does the mere presence of a human face inhibit disclosure? [J]. Comput Human Behav, 2020, 105: 106197.

[8] de Vries H, Brug J. Computer-tailored interventions motivating people to adopt health promoting behaviours: introduction to a new approach[J]. Patient Educ Couns, 1999, 36(2): 99－105.

[9] Nahum-Shani I, Smith SN, Spring BJ, et al. Just-in-time adaptive interventions (JITAIs) in mobile health: key components and design principles for ongoing health behavior support [J]. Ann Behav Med, 2018, 52(6): 446－462.

[10] Marcus JL, Sewell WC, Balzer LB, et al. Artificial intelligence and machine learning for HIV prevention: emerging

approaches to ending the epidemic[J]. Curr HIV/AIDS Rep, 2020, 17(3): 171 - 179.

[11] Sah AK, Elshaikh RH, Shalabi MG, et al. Role of artificial intelligence and personalized medicine in enhancing HIV management and treatment outcomes[J]. Life (Basel), 2025, 15(5): 745.

[12] Dijkstra A, De Vries H. The development of computer-generated tailored interventions[J]. Patient Educ Couns, 1999, 36(2): 193 - 203.

[13] Collins LM, Murphy SA, Bierman KL. A conceptual framework for adaptive preventive interventions[J]. Prev Sci, 2004, 5(3): 185 - 196.

[14] Noar SM, Webb EM, Van Stee SK, et al. Using computer technology for HIV prevention among African-Americans: development of a tailored information program for safer sex (TIPSS)[J]. Health Educ Res, 2011, 26(3): 393 - 406.

[15] Noar SM, Crosby R, Benac C, et al. Application of the attitude-social influence-efficacy model to condom use among African-American STD clinic patients: implications for tailored health communication[J]. AIDS Behav, 2011, 15(5): 1045 - 1057.

[16] Nahum-Shani I, Hekler EB, Spruijt-Metz D. Building health behavior models to guide the development of just-in-time adaptive interventions: a pragmatic framework[J]. Health Psychol, 2015, 34S: 1209 - 1219.

[17] Santa Maria D, Padhye N, Businelle M, et al. Just-in-time adaptive intervention to improve HIV prevention and substance use in youth experiencing homelessness (MYRIDE): protocol for a randomized controlled trial[J]. JMIR Res Protoc, 2025, 14: e78006.

[18] Wen CKF, Schneider S, Stone AA, et al. Compliance with mobile ecological momentary assessment protocols in children and adolescents: a systematic review and meta-analysis[J]. J Med Internet Res, 2017, 19(4): e132.

[19] Holloway IW, Wu ESC, Boka C, et al. Novel machine learning HIV intervention for sexual and gender minority young people who have sex with men (uTECH): protocol for a randomized comparison trial[J]. JMIR Res Protoc, 2024, 13: e58448.

[20] 梁福鑫，徐杰. 机器学习技术在 HIV 防治中的应用研究进展[J]. 中国艾滋病性病，2024，30(4)：435 - 440.
Liang FX, Xu J. Research progress on the application of machine learning in HIV prevention and treatment[J]. Chinese Journal of AIDS & STD, 2024, 30(4): 435 - 440.

[21] Zule WA, Bobashev GV, Reif SM, et al. Results of a pilot test of a brief computer-assisted tailored HIV prevention intervention for use with a range of demographic and risk groups[J]. AIDS Behav, 2013, 17(9): 3045 - 3058.

[22] Jones R. Handheld computers to run ACASI to assess HIV risk and deliver tailored soap opera video feedback: acceptability among young adult urban women[J]. J Assoc Nurses AIDS Care, 2012, 23(3): 260 - 267.

[23] Tolosa-Kline A, Yom-Tov E, Hoffman C, et al. Trojan horse: an analysis of targeted advertising to reduce sexually transmitted diseases among YMSM[J]. Health Educ Behav, 2021, 48(5): 637 - 650.

[24] Hartzler B, Dombrowski JC, Crane HM, et al. Prevalence and predictors of substance use disorders among HIV care enrollees in the United States[J]. AIDS Behav, 2017, 21(4): 1138 - 1148.

[25] Hutton HE, Aggarwal S, Gillani A, et al. A digital counselor-delivered intervention for substance use among people with HIV: development and usability study[J]. JMIR Form Res, 2023, 7: e40260.

[26] Necho M, Zenebe Y, Tiruneh C, et al. The global landscape of the burden of depressive symptoms/major depression in individuals living with HIV/AIDs and its effect on antiretroviral medication adherence: an umbrella review[J]. Front Psychiatry, 2022, 13: 814360.

[27] Lai TY, Larson EL, Rockoff ML, et al. User acceptance of HIV TIDES-tailored interventions for management of depressive symptoms in persons living with HIV/AIDS[J]. J Am Med Inform Assoc, 2008, 15(2): 217 - 226.

[28] Santa Maria D, Padhye N, Businelle M, et al. Efficacy of a just-in-time adaptive intervention to promote HIV risk reduction behaviors among young adults experiencing homelessness: pilot randomized controlled trial[J]. J Med Internet Res, 2021, 23(7): e26704.

[29] Shrier LA, Burke PJ, Parker S, et al. Development and pilot testing of a counseling-plus-mHealth intervention to reduce risk for pregnancy and sexually transmitted infection in young women with depression[J]. Mhealth, 2020, 6: 17.

[30] Wray TB, Emery NN, Guigayoma JP. Emotional reactions to high-risk sex among sexual minority men: exploring potential opportunities for just-in-time intervention[J]. J Sex Res, 2023, 60(5): 718 - 727.

[31] Paterson DL, Swindells S, Mohr J, et al. Adherence to protease inhibitor therapy and outcomes in patients with HIV infection[J]. Ann Intern Med, 2000, 133(1): 21 - 30.

[32] Ingersoll K, Dillingham R, Reynolds G, et al. Development of a personalized bidirectional text messaging tool for HIV adherence assessment and intervention among substance abusers[J]. J Subst Abuse Treat, 2014, 46(1): 66 - 73.

[33] Jin X, Wang HY, Li H, et al. Real-time monitoring and just-in-time intervention for adherence to pre-exposure prophylaxis among men who have sex with men in China: a multicentre RCT study protocol[J]. BMC Public Health, 2020, 20(1): 1160.

[34] Sizemore KM, Gray S, Wolfer C, et al. A proof of concept pilot examining feasibility and acceptability of the positively healthy just-in-time adaptive, ecological momentary, intervention among a sample of sexual minority men living with HIV[J]. J Happiness Stud, 2022, 23(8): 4091 - 4118.

[35] Skeen SJ, Tokarz S, Gasik RE, et al. A trauma-informed,

geospatially aware, just-in-time adaptive mHealth intervention to support effective coping skills among people living with HIV in New Orleans: development and protocol for a pilot randomized controlled trial[J]. JMIR Res Protoc, 2023, 12: e47151.

[36] Das A, Feng JT, Brin M, et al. A robust cross-platform solution with the Sense2Quit system to enhance smoking gesture recognition: model development and validation study[J]. J Med Internet Res, 2025, 27: e67186.

[37] Bizier A, Jones A, Businelle M, et al. An integrated mHealth app for smoking cessation in black smokers with HIV: protocol for a randomized controlled trial[J]. JMIR Res Protoc, 2024, 13: e52090.

[38] He JJ, Li JH, Jiang SQ, et al. Application of machine learning algorithms in predicting HIV infection among men who have sex with men: model development and validation[J]. Front Public Health, 2022, 10: 967681.

[39] van Empel E, De Vlieg RA, Harling G, et al. Reaching for the 'first 95': a cross-country analysis of HIV self-testing in nine countries in sub-Saharan Africa[J]. AIDS, 2022, 36(2): 297 - 304.

[40] Wang ZX, Lau JTF, Ip M, et al. A randomized controlled trial evaluating efficacy of promoting a home-based HIV self-testing with online counseling on increasing HIV testing among men who have sex with men[J]. AIDS Behav, 2018, 22(1): 190 - 201.

[41] Chen SY, Zhang QP, Chan CK, et al. Evaluating an innovative HIV self-testing service with web-based, real-time counseling provided by an artificial intelligence chatbot (HIVST-Chatbot) in increasing HIV self-testing use among Chinese men who have sex with men: protocol for a noninferiority randomized controlled trial[J]. JMIR Res Protoc, 2023, 12: e48447.

[42] Chen SY, Yu FY, Fang Y, et al. Chatbot-delivered real-time support to improve HIV self-testing rates: a randomized clinical trial[J]. JAMA Netw Open, 2025, 8(11): e2544821.

[43] 苏昕怡. O2O 模式下艾滋病患者积极自我管理干预方案的修订及应用[D]. 长沙: 中南大学, 2024.
Su XY. Revision and application of intervention based on the O2O model and positive self-management program among people living with HIV[D]. Changsha: Central South University, 2024.

[44] Ma YC, Achiche S, Tu G, et al. The first AI-based chatbot to promote HIV self-management: a mixed methods usability study[J]. HIV Med, 2025, 26(2): 184 - 206.

[45] Villanueva S, Ma Y, Achiche S, et al. AI-powered preventive intervention for stigma and suicidal ideation in HIV self-management: development, evaluation and user testing of the MARVIN chatbot's integrated mental health management module[J]. J Int AIDS Soc, 2025, 28(Suppl 4): e26518.

[46] Cheptoek MC, Karanja S, Kibiti CM, et al. Effect of nurse-led PMTCT health education on HIV disclosure among HIV-positive women in mombasa county: a quasi-experimental study[J]. Afr J Health Sci, 2024, 36(4): 484 - 491.

[47] Hightow-Weidman LB, Muessig K, Soberano Z, et al. Tough talks virtual simulation HIV disclosure intervention for young men who have sex with men: development and usability testing[J]. JMIR Form Res, 2022, 6(9): e38354.

[48] 许洛, 郎东, 王晓君. 人工智能技术在医院感染防控中的应用研究进展[J]. 中国感染控制杂志, 2025, 24(7): 1019 - 1026.
Xu L, Lang D, Wang XJ. Research progress in the application of artificial intelligence technology in healthcare-associated infection prevention and control[J]. Chinese Journal of Infection Control, 2025, 24(7): 1019 - 1026.

[49] 刘欣奕, 范鹏超, 刘文芝. 人工智能技术在医院感染管理中的应用与研究进展[J]. 中国感染控制杂志, 2025, 24(11): 1671 - 1680.
Liu XY, Fan PC, Liu WZ. Application and research progress of artificial intelligence technology in healthcare-associated infection management[J]. Chinese Journal of Infection Control, 2025, 24(11): 1671 - 1680.

(本文编辑:文细毛)

本文引用格式:李婷,陈思懿,何嘉欣,等. 算法驱动的个性化干预在 HIV 感染预防及管理中的研究进展[J]. 中国感染控制杂志, 2026, 25(5): 777 - 784. DOI: 10. 12138/j. issn. 1671 - 9638. 20264252.

Cite this article as: LI Ting, CHEN Siyi, HE Jiaxin, et al. Research progress on algorithm-driven personalized intervention in HIV prevention and management[J]. Chin J Infect Control, 2026, 25(5): 777 - 784. DOI: 10. 12138/j. issn. 1671 - 9638. 20264252.