

即时适应性干预在乳腺癌患者运动干预中的应用

陶泽钦, 程艳蓉, 王诗源, 张灵, 刘伟, 刘文玲, 赵晓婷, 高星

(海南医科大学 护理学院, 海南 海口 570100)

目前, 运动疗法被认为是乳腺癌康复的重要辅助方法, 可改善患者生活质量, 降低心血管病发生风险, 减轻相关治疗的不良反应^[1]。传统运动干预大多依赖于静态健康行为理论, 不能满足患者运动过程中不断变化的个性化需求^[2], 即时适应性干预(just-in-time adaptive intervention, JITAI)利用数字化技术监测个体的实时状态, 在适宜的时机提供个性化支持, 促进健康行为并改善结局^[3-4]。本文综述 JITAI 在乳腺癌运动干预中的应用, 并展望应用前景, 以期对乳腺癌患者健康行为干预提供参考。

1 JITAI 概述

1.1 JITAI 的基本概念 2014 年 Spruijt-Metz 等^[5]首次提出 JITAI 概念, 2015 年 Nahum-Shani 等^[4]整合证据设计了有关 JITAI 的框架, 为静态运动模型向动态运动模型转变奠定基础。2018 年 Nahum-Shani 等^[6]明确 JITAI 的动机、组成、设计原则, 建立 JITAI 设计框架, 促进 JITAI 与移动健康技术的融合。2025 年 Zarski 等^[7]将人工智能与 JITAI 相结合, 开发了用于预防焦虑抑郁的应用(DyAI-JITAI)。JITAI 已在物质成瘾管理、体力活动推进、饮食行为调整、心理健康以及慢性病护理等领域收获了成果, 依靠智能设备随时监测并反馈, 促使强化学习模型不断更新, 实现实时动态干预, 有效保证个体行为改变和干预的精确执行^[8]。

1.2 JITAI 的理论简介 个性化和动态化是 JITAI 的核心理念, 其理论基础来自于人与情境互动理论^[9]和时间尺度与组织理论^[10]。个性化强调个体的生物、行为和心理与物理和社会环境随时间和情景变化而不断调整; 基于该理论, JITAI 实时监测患者个体需求和情景变化, 制订个性化干预方案, 体现 JITAI 的“适配性”。动态化强调个体会随时间变化不断适应环境^[10], 为 JITAI 的“即时性”提供理论依据。

JITAI 整合行为改变理论、福格行为模型、信息—动机—行为模型等行为科学理论, 为干预设计提供理论支持^[11]。本文将相关依据归纳为 3 类: (1) 促

进行为依据, 结合福格行为模型、操作条件反射理论以及社会认知理论改善行为和久坐等^[11]; (2) 促进习惯形成与维持依据, 结合习惯形成理论、自我决定理论行为改变理论以及重复干预行为强化行为习惯^[11], 多用于戒烟戒酒以及减重等行为; (3) 改善干预认知依据, 结合信息—动机—行为技能模型、社会行动理论以及认知行为疗法改善知识或行为动机不足等情况^[11], 多用于改善治疗依从性、促进健康行为等。

1.3 应用条件 (1) 技术支持: JITAI 借助智能手机、可穿戴设备等实时收集步数、情境及情绪等数据, 识别最佳干预时机^[12]; (2) 决策算法: 基于参与者的实时数据, 采用序贯多重分配随机试验(sequential multiple assignment randomized trial, SMART)^[2,13]、微型随机干预试验(micro-randomized trial, MRT)^[14]等方法优化干预决策, 为参与者筛选适配的干预; (3) 用户参与度: 参与者需要佩戴可穿戴设备并即时响应干预行为, 同时重视隐私和伦理规范^[15]。

1.4 设计要素 JITAI 的设计框架由远端结局、近端结局、决策点、干预选项、适配变量和决策规则 6 个部分组成^[6]。远端结局指 JITAI 的最终目的, 是评价 JITAI 有效性的最终指标^[16]; 近端结局指 JITAI 的短期目标或中介变量, JITAI 通过改善近端结局推动远端结局的完成^[17]; 适配变量用以制订 JITAI 的情境信息, 在每个决策点收集实时数据, 确保干预精准性^[18]; 决策点是 JITAI 实施的时间窗口^[16]; 干预选项涵盖行为提示、信息回馈、情绪调节策略、奖励机制等^[6]等多种方案; 决策规则的制订基于 MRT^[2,14]。JITAI 通过实时监测数据, 在干预决策点评估个体的适配变量, 获取其实时状态与所处情境, 使用决策规则判断个体的实时需求, 在干预选项中为其推送最合适的干预措施, 该措施作用于近端结局, 推动远端结局的完成。MRT^[14,19]是优化 JITAI 的重要方法, 通过预设时间窗口为决策点, 在不同时间段为患者随机推送信息, 在触发决策点后, 通过可穿戴设备持续收集参与者实时状态与所处情境, 在每个决策点根据参与者情况, 判断其是否适宜接受干预, 对符合推送条件者随机分配不同的适配干预, 通过比较不同时间、情境以及干预条件, 筛选出最适合的干预时机和方案, 为 JITAI 决策规则的制定与优化提供依据。

【收稿日期】 2025-06-19 【修回日期】 2026-04-06

【基金项目】 2025 年海南省自然科学基金项目(825MS094)

【作者简介】 陶泽钦, 硕士在读, 电话: 0898-66892700

【通信作者】 高星, 电话: 0898-66892700

1.5 数据收集方法 JITAI 借助智能手机、手环以及体动传感器等设备^[20],通过生态瞬时评估(ecological momentary assessment,EMA)^[21]实时收集个体数据。(1)固定时间抽样:设定时间点记录健康行为变化^[21],减少回忆偏差^[22],多用于久坐行为、饮食行为、饮酒等研究;(2)随机抽样评估:随机选择时间点监测即时状态^[21],多用于疼痛与情绪监测^[23];(3)事件抽样评估:在行为发生之后(如餐后、运动后^[21,24])进行评估,了解情境变化,多用于压力、情绪等监测^[25]。

1.6 应用要点

1.6.1 干预频率 过于频繁的评估与推送会给患者带来压力并降低依从性^[26],所以 JITAI 设计时可采用 MRT 评估不同频率效果^[19],若干预频率过高则允许患者在干预前自主设置 EMA 频率偏好^[27],在不便时可忽略 EMA 提示,部分研究在初始通知后 2 h 内完成评估^[19]。

1.6.2 干预内容 单调、重复性的干预易引起依从性降低,干预疲劳^[20]的情形,针对这一情况 Hietbrink 等^[27]发现用户对具备激励性和趣味性的消息反馈较好,通过提高多样化干预选项可提升内容的新鲜感和针对性,以此减少干预疲劳感。

1.6.3 干预应答 JITAI 可能会存在应答率不足的情况^[17]。Hietbrink 等^[27]通过优化提示时机和相关性,并简化用户界面设计、减少不必要的提示频率、引入互动式功能,以增强参与感。此外,采取优先发送高影响力干预内容^[28],有助于提升患者的应答效率。

2 JITAI 在乳腺癌患者运动干预的应用现状

2.1 乳腺癌术后恢复期 乳腺癌患者术后早期面临肩关节活动受限、持续疼痛以及淋巴水肿等问题,传统居家方案缺乏实时指导,患者在居家锻炼(如进行肩胛骨抬高、耸肩、躯干后倾、倾斜等动作)时会因疼痛而导致锻炼终止,甚至是活动受限。这不仅降低了康复效率,更可能导致二次损伤。JITAI 通过在运动过程中进行实时监测,为患者提供及时反馈,从而保证运动的有效性和安全性。Cattaneo 等^[29]针对传统居家运动缺乏实时监测、患者存在运动姿势不到位的情况,设计了基于 Azure Kinect 的 JITAI 运动方案,研究采用 Azure Kinect 作为干预媒介,干预使用传感器实时追踪患者的运动轨迹,当系统发现患者肩胛骨抬高幅度、躯干倾斜幅度超过一定范围时,会予以即时反馈。结果显示干预可以有效改善患者康复运动中肩胛骨抬高、躯干倾斜程度等问题。Lim 等^[30]针对乳腺癌幸存者因术后或放化疗导致的肩关节活动受限和上肢功能障碍的情况,设计了一套基于 JITAI 的运动干预方案,利用

Kinect 监测患者的实时动作,并根据患者动作的完成情况即时反馈,帮助患者纠正动作。该研究使用 Kinect 的混合现实设备作为干预媒介,实时监测患者全身 25 个关节的运动轨迹,并将运动数据作为适配变量,帮助患者通过实时影像了解自身运动表现。研究结果显示,相较于对照组,干预组依从性为 92.4%,参与者动作达标的比例从 66.6% 提升至 78.3%;同时干预组在改善患侧肩关节屈曲、内收及非患侧肩关节外展方面均表现出更好的干预效果。综上,JITAI 可以有效保证乳腺癌术后患者居家康复运动的准确度,避免了因动作不当可能导致的二次损伤,为术后恢复期的患者提供了居家运动的新模式。

2.2 乳腺癌治疗期 乳腺癌康复期患者的康复重点转变为生活方式的改善与康复运动习惯。Ballinger 等^[31]设计了基于 JITAI 的干预方案,干预前 3 周使用可穿戴设备结合 GPS 收集患者的运动方式、能量消耗以及实时运动情境,明确患者的基线数据,后续进行 12 周的运动干预,根据其基线数据以及实时运动情境生成个性化运动处方,通过智能手机、平板等设备推送,根据 3 d 的平均数据对方自适应调整。研究^[31]显示,参与者每日平均步数从 (6642 ± 2817) 步提升至 (7200 ± 2744) 步,生活质量、生理健康以及乳腺癌症状评分均有显著改善。Wolff 等^[32]利用手机应用 PINK! Coach 结合数字健康应用 DiGA,为患者设计了一项基于 JITAI 的干预方案,医生通过 DiGA 为患者开具处方,PINK! Coach 收集患者的既往病史与治疗方案,监测其实时行为改变情况,根据运动情况为其推送干预选项。该研究整合了患者的治疗类型与体质量变化,根据应用内计步器的步数、自我报告的运动类型、持续时间以及每日系统反馈设置运动目标,通过 APP 为患者推送每日步数目标、营养和心理学资料等;干预每 4 周重新评估患者的治疗类型与体质量情况,作为调整方案的依据。研究结果显示,患者每日步数从 4833 步增至 5384 步($P=0.01$),每周中等强度活动时长从 61.9 min 增至 71.3 min($P<0.01$)。

2.3 转移性乳腺癌 转移性乳腺癌患者的康复重点旨在带癌状态下保持生活质量与维持身体能力。Phillips 等^[33]针对转移性乳腺癌患者日常活动不足的情况,基于社会认知理论设计了 JITAI 的干预方案,通过患者每日晨间症状评分以及前 1 d 的运动情况,设计运动目标,通过提升患者的日常活动量,促进其身体活动。研究使用 Fit2ThriveMB App 作为干预媒介,干预组的参与者需全天佩戴可穿戴设备 Fitbit,用于监测参与者的日常数据,并实时反馈

信息;每周进行 20 min 访谈,帮助其克服运动障碍心理,提升自我运动效能,干预共 12 周。应用设置了线上平台,干预决策点设置为每天早晨,参与者需在应用内打卡;适配变量为患者每日症状负担和运动目标完成情况;干预选项是指根据适配变量为参与者设置步数目标,并为患者推送定制化的通知,推送内容包括鼓励信息、运动提醒、运动实时反馈等;决策规则是指基于症状和前 1 d 表现,在当前水平上增加或减少 10% 或 20%,或维持原有运动目标,对于前 1 d 步数极低(<3750 步)的参与者,选取“增加 5%”“维持当前步数并逐步过渡”等作为其调整选项;对于前 1 d 极高($>12\,000$ 步)的参与者,提供“减少 15%”“维持高步数但设置疲劳预警阈值”等保护型调整方案;未填写症状调查,系统将自动沿用前 1 d 的目标;若参与者未主动选择目标,则自动分配中等强度目标。对照组同样干预 12 周,通用癌症管理应用 Cancer.Net App 进行宣教与每周电话访谈,干预不涉及具体的活动指导与运动目标设置。结果显示,干预完成率高达 98%,Fitbit 佩戴率高达 92.7%,APP 使用率为 94.1%,表明干预在转移性乳腺癌人群中的可靠性与安全性;干预组同对照组相比,两组每日步数变化相差 1024.9 步,表明干预能有效改善患者的体能水平,同时干预组在改善疲劳($d=0.49$)、睡眠障碍($d=0.19$)以及情绪和家庭幸福感方面均显示出了比对照组更好的效果^[33]。由此可知,JITAI 在转移性乳腺癌患者中具有较好的接受度和可行性,能有效改善治疗带来的活动量下降,并改善疲劳。

3 乳腺癌患者运动干预应用的未来展望

3.1 规模化干预人群 当前大部分 JITAI 研究仍处于早期开发阶段,存在样本量不足^[13]的情况。未来可组建大规模的纵向研究,通过扩大人群数量来提升研究的有效性;当前研究要求参与者具备一定的数字素养,未来可以针对不同文化背景的乳腺癌患者,开发更加简便易懂的交互界面,构建数字孪生模型^[34],覆盖各个阶段的乳腺癌患者,提高研究的有效性。

3.2 维持长期行为改变 当前大多数 JITAI 研究干预周期仅为 1~2 周,存在干预起效快,但是维持干预难的情况,很少有关干预后 6 个月或者更长时间行为干预的监测研究^[35],此外由于干预内容可能存在单调、重复的问题,导致参与者容易随着干预的进行产生干预疲劳、依从性下降的情况^[6],为此可以采用多阶段优化策略和 MRT 设计,优化干预组件的构成,减少无效推送,同时引入激励性、趣味性的干预内容,并提供社交平台用于信息交流,提升参与者对于干预的兴趣。

3.3 提升监测准确度 JITAI 应用过程中依赖智能设备与可穿戴设备进行实时运动监测,当前在监测准确度已在特定人群中经过验证,但在使用过程中准确度仍受到设备类型、使用场景以及个体差异的影响^[36]。未来可验证不同设备对于不同人群的适配性;同时,将人工智能与 JITAI 应用相结合,在干预过程中结合患者的既往病史、症状负担、实时运动情境以及心理状态等数据,在不打扰患者正常休息与治疗的前提下,使用人工智能进行实时监测,捕捉患者的最佳干预窗口,提升监测的准确度。

4 小结

JITAI 在乳腺癌患者运动干预中已取得初步应用成果,解决了传统方案缺乏灵活性、难以做到精准匹配的问题。虽然 JITAI 在乳腺癌运动干预上具有很大潜力,但其在大面积推广过程中仍需要考虑以下问题:JITAI 有效与否取决于实时数据收集和分析工作,这可能会给患者带来负担;存在泄露个人数据隐私的隐患;需要验证其长远效果并找到医保涵盖途径,从而减轻患者的经济压力。未来可参照国外的研究进展,加强护理培训和将其纳入乳腺癌全程管理指南等来推进 JITAI 在我国应用的进程。

【关键词】 即时适应性干预;乳腺癌;运动干预;数字健康

DOI:10.3969/j.issn.2097-1826.2026.10.023

【中图分类号】 R473.73 **【文献标识码】** A

【文章编号】 2097-1826(2026)10-0098-04

【参考文献】

- [1] Abuladze M, Esakia T, Melkadze T, et al. Physical therapy and rehabilitation for improvement of quality of life of breast cancer patients[J/OL]. [2025-04-02]. https://ascopubs.org/doi/10.1200/JCO.2023.41.16_suppl.e18711. DOI:10.1200/JCO.2023.41.16_suppl.e18711.
- [2] 李帅妮,倪晓莎,胡文奕,等.适配干预研究进展[J].中国医学科学院学报,2021,43(4):612-619.
- [3] Künzler F, Mishra V, Kramer J N, et al. Exploring the state-of-receptivity for mHealth interventions[J/OL]. [2025-04-02]. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3369805>. DOI:10.1145/3369805.
- [4] Nahum-Shani I, Hekler E B, Spruijt-Metz D. Building health behavior models to guide the development of just-in-time adaptive interventions: a pragmatic framework[J]. Health Psychol, 2015, 34(Suppl):1209-1219.
- [5] Spruijt-Metz D, Nilsen W. Dynamic models of behavior for just-in-time adaptive interventions[J]. IEEE Pervasive Computing, 2014, 13(3):13-17.
- [6] Nahum-Shani I, Smith S N, Spring B J, et al. Just-in-time adaptive interventions (JITAI) in mobile health: key components and design principles for ongoing health behavior support[J]. Ann Behav Med, 2017, 52(6):446-462.
- [7] Zarski A C, Sextl-Plötz T, Schmidt-Hantke J, et al. Participatory development and proof-of-concept of a dyadic-based, AI-driven, just-in-time adaptive intervention mechanism for preventing anxiety and depressive disorders via app: study protocol for a feasibility study[J/OL]. [2025-04-02]. <https://www.frontiers->

- in. org/journals/public-health/articles/10. 3389/fpubh. 2025. 16264 28/full.DOI:10.3389/fpubh.2025.1626428.
- [8] 王晴,黄晓婷,唐四元,等.即时适配干预在护理领域中的应用进展[J].中华护理杂志,2024,59(4):490-495.
- [9] Magnusson D, Stattin H. The person in context: a holistic-interaction-istic approach[M]//Damon W, Lerner R M. Handbook of Child Psychology. Hoboken: John Wiley & Sons, Ltd, 2006: 400-464.
- [10] Zaheer S, Albert S, Zaheer A. Time scales and organizational theory[J]. Acad Manage Rev, 1999, 24(4): 725-741.
- [11] Hsu T C C, Whelan P, Gandrup J, et al. Personalized interventions for behaviour change: a scoping review of just-in-time adaptive interventions[J/OL]. [2025-04-02]. <https://bpspsychub.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/bjhp.12766>. DOI: 10.1111/bjhp.12766.
- [12] Xu J, Yan X, Figueroa C, et al. A flexible micro-randomized trial design and sample size considerations[J]. Stat Methods Med Res, 2023, 32(9): 1766-1783.
- [13] van Genugten C R, Thong M S Y, van Ballegooijen W, et al. Beyond the current state of just-in-time adaptive interventions in mental health: a qualitative systematic review [J/OL]. [2025-04-02]. <https://www.frontiersin.org/journals/digital-health/articles/10.3389/fdgth.2025.1460167/full>. DOI: 10.3389/fdgth.2025.1460167.
- [14] Qian T, Walton A E, Collins L M, et al. The microrandomized trial for developing digital interventions: experimental design and data analysis considerations[J]. Psychological Methods, 2022, 27(5): 874-894.
- [15] O'Driscoll C, Singh A, Chichua I, et al. An ecological mobile momentary intervention to support dynamic goal pursuit: feasibility and acceptability study[J/OL]. [2025-04-02]. <https://formative.jmir.org/2024/1/e49857>. DOI: 10.2196/49857.
- [16] Liu X, Deliu N, Chakraborty B. Microrandomized trials: developing just-in-time adaptive interventions for better public health [J]. Am J Public Health, 2023, 113(1): 60-69.
- [17] Hardeman W, Houghton J, Lane K, et al. A systematic review of just-in-time adaptive interventions (JITAI) to promote physical activity [J/OL]. [2025-04-02]. <https://link.springer.com/article/10.1186/s12966-019-0792-7>. DOI: 10.1186/s12966-019-0792-7.
- [18] Spruijt-Metz D, Hekler E, Saranummi N, et al. Building new computational models to support health behavior change and maintenance: new opportunities in behavioral research[J]. Transl Behav Med, 2015, 5(3): 335-346.
- [19] Dowling N A, Rodda S N, Merkouris S S. Applying the just-in-time adaptive intervention framework to the development of gambling interventions[J]. J Gambl Stud, 2023, 40(2): 717-747.
- [20] 田思颖, 常红. 即时适配干预在慢性病患者久坐与身体活动中应用的研究进展[J]. 中华护理杂志, 2025, 60(5): 619-623.
- [21] Shiffman S. Conceptualizing analyses of ecological momentary assessment data[J]. Nicotine Tob Res, 2013, 16(Suppl 2): S76-S87.
- [22] Perski O, Keller J, Kale D, et al. Understanding health behaviours in context: a systematic review and Meta-analysis of ecological momentary assessment studies of five key health behaviours[J]. Health Psychol Rev, 2022, 16(4): 576-601.
- [23] Woznowski-Vu A, Martel M O, Ahmed S, et al. Task-based measures of sensitivity to physical activity predict daily life pain and mood among people living with back pain[J]. Eur J Pain, 2023, 27(6): 735-748.
- [24] Allicock M, Kendzor D, Sedory A, et al. A pilot and feasibility mobile health intervention to support healthy behaviors in african American breast cancer survivors[J]. J Racial Ethn Health Disparities, 2020, 8(1): 157-165.
- [25] Dell'Aversana G, Herold M, Simbula S, et al. Wearable devices and ecological momentary assessment EMA in the workplace: a study protocol on work stress assessment[J/OL]. [2025-04-02]. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0339288>. DOI: 10.1371/journal.pone.0339288.
- [26] Wen X, Li Y, Zhang Q, et al. Enhancing long-term adherence in elderly stroke rehabilitation through a digital health approach based on multimodal feedback and personalized intervention[J/OL]. [2025-04-02]. <https://www.nature.com/articles/s41598-025-95726-z>. DOI: 10.1038/s41598-025-95726-z.
- [27] Hietbrink E A G, Middelweerd A, d'Hollosy W, et al. Exploring the acceptance of just-in-time adaptive lifestyle support for people with type 2 diabetes: qualitative acceptability study[J/OL]. [2025-04-02]. <https://formative.jmir.org/2025/1/e65026>. DOI: 10.2196/65026.
- [28] Wang J, Wu Z, Choi S W, et al. The dosing of mobile-based just-in-time adaptive self-management prompts for caregivers: preliminary findings from a pilot microrandomized study[J/OL]. [2025-04-02]. <https://formative.jmir.org/2023/1/e43099>. DOI: 10.2196/43099.
- [29] Cattaneo A, Fragasso M, Magni M, et al. Assessing the accuracy of the azure kinect for telerehabilitation after breast cancer surgery[J]. Stud Health Technol Inform, 2023, 301: 83-88.
- [30] Lim B, Li X, Sung Y, et al. Kinect-based mixed reality exercise program improves physical function and quality of life in breast cancer survivors: a randomized clinical trial [J]. Cancer Res Treat, 2025, 57(2): 478-491.
- [31] Ballinger T J, Althouse S K, Olsen T P, et al. A personalized, dynamic physical activity intervention is feasible and improves energetic capacity, energy expenditure, and quality of life in breast cancer survivors[J/OL]. [2025-04-02]. <https://www.frontiersin.org/journals/oncology/articles/10.3389/fonc.2021.626180/full>. DOI: 10.3389/fonc.2021.626180.
- [32] Wolff J, Smollich M, Wuelfing P, et al. App-based lifestyle intervention (PINK! Coach) in breast cancer patients—a real-world-data analysis[J/OL]. [2025-04-02]. <https://www.mdpi.com/2072-6694/16/5/1020>. DOI: 10.3390/cancers16051020.
- [33] Phillips S M, Starikovskiy J, Solk P, et al. Feasibility and preliminary effects of the Fit2ThriveMB pilot physical activity promotion intervention on physical activity and patient reported outcomes in individuals with metastatic breast cancer [J]. Breast Cancer Res Treat, 2024, 208(2): 391-403.
- [34] 刘鸿飞, 李晖凤, 严枫, 等. 数字孪生技术在卫勤保障中的应用现状与展望[J]. 军事护理, 2026, 43(3): 104-107.
- [35] Koh J Y J, Tan S X, Tan X M, et al. Just-In-Time adaptive interventions for weight management among adults with excess body weight: scoping review [J/OL]. [2025-04-02]. <https://www.jmir.org/2025/1/e76625>. DOI: 10.2196/76625.
- [36] Benzo R M, Singh R, Presley C J, et al. Comparing the accuracy of different wearable activity monitors in patients with lung cancer and providing initial recommendations: protocol for a pilot validation study[J/OL]. [2025-04-02]. <https://www.researchprotocols.org/2025/1/e70472>. DOI: 10.2196/70472.