

· 标准与规范 ·

# 数字疗法防治老年人跌倒中国专家共识 (2026 版)

中华医学会老年医学分会 国家老年疾病临床医学研究中心(首都医科大学宣武医院),  
北京 100053

通信作者:马丽娜,首都医科大学宣武医院,Email:malina0883@126.com

**【摘要】** 我国老年人跌倒发生率高,易引起跌倒相关伤害,导致多种不良结局。国内外多项指南及共识均建议对老年人常规开展跌倒风险筛查,针对高风险人群进行评估,并据此开展个性化干预和管理。近年来新兴的数字疗法被应用于跌倒评估、干预和管理等各个环节,作为传统跌倒防治措施的辅助或替代方法,展现出广阔的应用前景。目前国内尚缺乏数字疗法防治老年人跌倒的相关规范。本共识专家组系统回顾了国内外数字疗法防治老年人跌倒的最新循证医学证据,并整合各领域专家经验提出共识意见,旨在推动数字疗法在我国老年人跌倒防治中的规范应用和持续优化。

**【关键词】** 数字疗法; 跌倒; 老年人; 专家共识

**实践指南注册:**国际实践指南注册与透明化平台(PREPARE-2025CN156,2020YFC2008606)

**基金项目:**国家重点研发计划(2023YFC3603400,2023YFC3603404)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-9026.2026.02.003

## Chinese expert consensus on digital therapeutics for preventing falls in older adults(2026 edition)

Chinese Geriatrics Society, National Clinical Research Center for Geriatric Medicine (Xuanwu Hospital, Capital Medical University), Beijing 100053, China

Corresponding author: Ma Lina, Email: malina0883@126.com

**【Abstract】** The incidence of falls in Chinese older adults is high, which can easily lead to fall-related injuries and various adverse outcomes. Many guidelines and consensus both at home and abroad recommend conducting regular fall risk screening for older adults, assessing high-risk groups, and implementing personalized intervention and management based on the assessment. In recent years, emerging digital therapeutics have been applied in various aspects, such as fall assessment, intervention and management. As an auxiliary or alternative method to traditional fall prevention measures, they have shown broad prospects of application. Currently, there is a lack of guidelines on digital therapeutics to prevent falls among the older adults in China. The expert group of this consensus systematically reviewed the latest evidence-based medical proof on the use of digital therapeutics for preventing falls among older adults at home and abroad, and integrated the experience of experts from various fields to propose consensus opinions, aiming to promote the standardized application and continuous optimization of digital therapeutics in the prevention and treatment of falls among Chinese older adults.

**【Key words】** Falls; Digital therapeutics; Older adults; Expert consensus

**Practice Guideline Registration:** Practice Guideline Registration for Transparency (PREPARE-2025CN156, 2020YFC2008606)

**Fund Programs:** National Key R&D Program of China(2023YFC3603400, 2023YFC3603404)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-9026.2026.02.003

推荐意见汇总:

**推荐意见 1:**我国老年人跌倒及相关伤害发生率居高不下,有必要对跌倒及其危险因素进行系统评估、个性化干预和全程管理,数字疗法在跌倒的防治中有巨大潜力。(1A)

**推荐意见 2:**数字疗法可通过获取老年人跌倒的相关危险因素信息及在体能测试和日常活动中

的定量数据,客观评估跌倒风险。(1A)

**推荐意见 3:**老年人跌倒风险评估常用的数字疗法为可穿戴/非穿戴式传感器联合机器学习,可对跌倒风险进行准确分类。(1B)

**推荐意见 4:**数字疗法(可穿戴/非穿戴传感器)可用于识别老年人跌倒的发生并及时发出警报,有助于照护者及早发现异常并提供帮助,减少



老年人跌倒后倒地时间。(1A)

推荐意见 5:以促进平衡和下肢肌力训练为核心的数字疗法可用于老年人跌倒的干预。(1B)

推荐意见 6:为预防老年人跌倒,基于移动端的应用程序开展的个性化居家运动干预是可行、有效且安全的。(1B)

推荐意见 7:运动游戏能改善老年人平衡功能和姿势控制,提高干预的依从性,是有趣、有效、较为安全的跌倒干预措施。(1B)

推荐意见 8:基于 VR 的干预通过运动结合视觉和前庭刺激训练预防老年人跌倒,在无视觉障碍的老年人中可作为传统运动干预的替代疗法。(1B)

推荐意见 9:VR 运动游戏具有预防老年人跌倒的潜力,但仍需进一步验证和评估。(2C)

推荐意见 10:数字疗法用于老年人跌倒的干预前要进行充分评估,启动干预时需对老年人和照护者开展系统培训,干预中需要持续反馈和激励,并辅以全程技术支持和安全监测。(1A)

推荐意见 11:包含跌倒日记、运动记录、主观体验评价等内容多终端应用程序有助于老年人进行跌倒的全面自我管理。(1C)

推荐意见 12:老年人应用数字疗法防治跌倒的积极性高、安全性佳,但仍需警惕数字技术可能带来的不适感和潜在跌倒风险的增加。(2B)

推荐意见 13:为推进数字疗法在防治老年人跌倒领域的应用,需实现技术手段集成化、数据信息安全化和监督管理系统化。(1B)

跌倒是指个体意外倒在地面或其他低于初始位置的地方<sup>[1]</sup>,是全球范围内的重大公共卫生问题。年龄越大,跌倒导致死亡或严重外伤的风险越高<sup>[2]</sup>。老年人跌倒后可因恐惧再次跌倒而限制活动,进而降低生活质量<sup>[3]</sup>,甚至继发外伤、失能和死亡<sup>[4]</sup>。据 2019 年全球疾病、伤害和危险因素负担研究数据显示,全球范围内,跌倒所致死亡率呈逐年上升趋势,其在 70 岁及以上老年人死亡原因中位列第 13 位<sup>[5]</sup>。我国 60 岁及以上人群 2019 年跌倒发生率为 3 799.4 例/10 万人口,较以往明显上升,已成为伤害性疾病负担的主要原因<sup>[6]</sup>。一项系统评价显示,我国老年人跌倒相关伤害的发生率为 0.6%~19.5%,跌倒相关伤害的医疗开支为每人每次跌倒 16~3 812 美元<sup>[7]</sup>。跌倒相关伤害及相应的医疗保健开支为老年人个体和我国卫生系统带来的负担不容小觑,因而有必要对跌倒及其相关

危险因素进行系统地评估、干预和管理。作为一种新型非药物治疗方法,数字疗法(digital therapeutics,DTx)为跌倒的评估、干预和管理提供了新契机,但目前仍缺乏系统性证据总结。本共识专家组基于跌倒及数字疗法相关的国内外临床指南、共识和研究进展,以循证医学为依据,结合临床实践经验,经过多轮讨论和修改,制定了本专家共识,旨在对数字疗法在老年人跌倒防治中的应用现状、优势与风险等问题进行证据汇总和梳理,为该疗法在预防跌倒领域的临床应用提供参考意见。

## 一、共识制定过程

### (一)共识的目标人群和适用人群

本共识的目标人群为存在跌倒风险的 $\geq 60$ 岁老年人。

本共识适用于可能接触到有跌倒风险老年人的临床医生、护理人员、康复治疗师、公共卫生政策制定者、科技企业、社区服务机构及老年人照护者等。

### (二)专家共识形成过程与方法

首先系统回顾国内外数字疗法应用于老年人跌倒防治的研究现状,结合我国临床实践需求,初步筛选出临床问题范围。随后由中华医学会老年医学分会、国家老年疾病临床医学研究中心(首都医科大学宣武医院)组织老年医学、康复医学、全科医学、老年护理学、公共卫生、健康管理学、流行病学、神经病学、内科学、外科学、运动医学、人工智能、精神心理学、循证医学等各领域专家组建共识编委会,进行两轮专家咨询,按照人群、干预、对照和结局(Population, Intervention, Comparison and Outcome, PICO)框架对临床问题进行结构化表述。通过共识会议讨论确定了包括“老年人跌倒风险评估与监测的数字疗法”“老年人跌倒干预的数字疗法”“基于数字疗法的老年人跌倒综合管理”“老年人的数字疗法应用体验”“数字疗法在老年人跌倒防治中的应用前景与挑战”5 个待优先解决的临床问题。共识编委会按照预设的文献检索策略在中英文主要数据库中进行文献筛选,并进行方法学质量评价。根据证据整合结合编委会成员临床经验起草共识初稿,采用名义群体法进行最终推荐意见的确定。当“同意”比例达到或超过 85% 时,该条推荐意见即视为达成共识。证据分级与推荐强度参考推荐意见分级评估、制订与评价(grading of recommendations assessment, development and evaluation, GRADE)分级系统,最终形成 13 条推



荐意见。

### (三) 文献检索策略

1. 文献检索与筛选:为了总结数字疗法在老年人跌倒防治领域的应用研究成果,专家团队于 2024 年 4 月成立编委会并启动共识编写工作。编委会在 Medline、PubMed、Web of Science、Cochrane library、中国生物医学文献服务系统、万方全文数据库、中国知网等国内外主要数据库中检索“digital therapeutics”“falls”“virtual reality”“machine learning”“exergames”“wearable”“sensor”“smart home”“older adults”“intervention”“assessment”“exercise”“rehabilitation”“balance”“数字疗法”“跌倒”“虚拟现实”“机器学习”“运动游戏”“可穿戴”“传感器”“智能家居”“老年人”“干预”“评估”“运动”“康复”“平衡”及其同义词,使用布尔运算符“AND”和“OR”组合关键词。纳入的文献截至 2024 年 6 月。

2. 纳入与排除标准:纳入标准:(1)研究类型:系统综述和荟萃分析、随机对照试验、队列研究,以及相关的专家共识与指南;(2)研究对象:平均年龄 $\geq 60$ 岁、有跌倒风险或跌倒史的老年人;(3)干预措施:基于数字疗法的跌倒评估与干预;(4)语言:中文及英文。排除标准:(1)个案报告、会议摘要、书信、评论以及未经同行评议的预印本文章;(2)方法学描述不清、数据不完整或无法获取全文的文献;(3)非中英文文献。

### (四) 证据评价

1. 证据方法学质量评价:本共识使用国际公认工具对研究证据的方法学质量进行评价:系统评价和荟萃分析采用 AMSTAR 2 量表<sup>[8]</sup>,随机对照试验采用 Cochrane RoB 2.0 工具<sup>[9]</sup>,观察性研究采用纽卡斯尔-渥太华量表(Newcastle-Ottawa Scale, NOS)<sup>[10]</sup>。评价结果将用于指导证据的综合与推荐意见的形成,方法学质量过低的研究结论在形成共识时将被审慎考虑或不予采纳。

2. 推荐意见分级评价:基于国内外跌倒相关数字疗法在循证医学和临床研究等方面的数据,按照推荐意见分级评估、制订与评价(grading of recommendations assessment, development and evaluation, GRADE)分级系统进行证据质量和推荐强度评价(表 1)<sup>[11]</sup>,经编委会研讨后汇总修订形成本共识。

3. 推荐意见形成:共识编委会对相关领域文献进行检索及证据整合,结合编委会成员的临床经

验,通过名义群体法,形成 13 条推荐意见,所有推荐意见均经过正式投票,最终同意率均超过 85%(实际投票率介于 97.2%~98.6%)。

表 1 推荐意见分级评价、制定与评估  
(GRADE)系统证据质量等级

| 级别    | 说明                            |
|-------|-------------------------------|
| 证据质量  |                               |
| 高(A)  | 进一步研究不太可能改变对效果估计的信心           |
| 中(B)  | 进一步研究可能影响对效果估计的信心,且可能改变估计结果   |
| 低(C)  | 进一步研究极有可能影响对效果估计的信心,且可能改变估计结果 |
| 极低(D) | 任何效果估计都很不确定                   |
| 推荐强度  |                               |
| 强(1)  | 明确显示干预措施利大于弊或弊大于利             |
| 弱(2)  | 利弊不确定或无论质量高低的证据均显示利弊相当        |

### (五) 注册与计划书的撰写

本共识已在国际实践指南注册与透明化平台(<http://guidelines-registry.cn/>)进行注册,注册编号为 PREPARE-2025CN156。可联系共识发起组织索要计划书。

### (六) 共识外审

本共识在编委会内部审定后,邀请了未参与编写的相关领域专家进行外部评审,重点对推荐意见的准确性、证据支持的充分性以及临床实施的可行性进行评议。编委会根据回收的外审意见对共识进行了必要的修订,以确保其内容的客观性与科学性。

### (七) 共识发布和更新

本共识将发表于《中华老年医学杂志》。为确保共识内容的时效性与科学性,编委会计划每 2~3 年对内容进行审阅,若出现足以改变临床实践的新证据,将启动更新。

### (八) 共识传播、实施和评价

为促进本共识的推广与应用,计划采取以下措施:通过专业期刊、学术会议及线上平台发布全文与推荐意见;鼓励医疗机构在老年科、康复科及社区场景中开展数字疗法防跌倒试点,并推动开发配套的临床操作路径与评估工具;定期调研评估本共识应用情况,并计划于 2~3 年后根据新证据进行更新。

### 二、数字疗法概述

#### (一) 数字疗法的定义

1995 年,美国的皮肤科医生 Ternullo 等<sup>[12]</sup>提



出,通过技术手段构建“一对多”的照护模式能克服时间、地点和医疗人员的限制,为更多老年人提供医疗服务。这一理念可被视为数字疗法的前身。20 年后,美国的精神科医生 Cameron Sepah 首次提出,“数字疗法是一种线上提供的、基于循证的行为治疗,可以提高医疗保健的可及性和有效性”<sup>[13]</sup>。国际标准化组织于 2023 年将数字疗法定义为“通过生成或提供对健康有积极影响的医疗干预,以治疗或缓解疾病、功能紊乱、异常状况或损伤的一种医疗卫生软件”(ISO/TR 11147:2023)。数字疗法以计算机软件为核心,常搭配硬件使用,其形式包括但不限于可穿戴设备、虚拟现实、运动游戏和人工智能设备等。数字疗法既可以单独作为治疗手段,也可以与其他药物和医疗器械等配合使用<sup>[14]</sup>。

### (二)数字疗法的适用条件

一般而言,老年人或照护者需具备基本的智能设备操作能力,以便顺利完成数字疗法相关的评估和训练。同时,数字疗法的应用还对网络环境和专业的医疗团队支持有一定要求,以确保其应用的实时性、规范性和安全性。

### (三)数字疗法在临床中的应用

无论是作为独立还是辅助治疗,数字疗法在临床中都有广阔的应用前景,目前在认知障碍、抑郁、焦虑、失眠、药物滥用等精神行为疾病的治疗,以及糖尿病、高血压、脑卒中、肥胖等慢性疾病的管理,甚至是女性尿失禁、慢性疼痛、用药管理等方面都有应用<sup>[15-26]</sup>。尤其是在慢性疾病管理方面,数字疗法能通过激励患者主动参与疾病管理来提高治疗效果<sup>[27]</sup>。

数字疗法不仅应用范围广泛,更具有独特的优势。一方面,其获取渠道相对便捷,人们可以通过医疗或科研机构推荐、医生开具处方、移动端应用程序或互联网平台等途径接触并使用。另一方面,相比于药品,数字疗法开发成本低、周期短,可根据患者个体情况进行个性化设置,从而实现实时远程数据收集,提高诊疗效率,且患者参与的积极性和治疗依从性高,不良事件发生率低<sup>[14,28-31]</sup>。但是,当前仍有很多因素限制了数字疗法的推广,例如患者对数字设备接受程度各异、临床效果评估不够充分、个人敏感数据存在泄露风险、监管审查标准尚不完善等问题。

### 三、数字疗法在老年人跌倒防治中的应用

临床问题 1:对于存在跌倒风险的老年人,数

字疗法能否用于跌倒的防治,以更有效地降低跌倒发生率和相关风险,并提升干预可及性与依从性?

**推荐意见 1:我国老年人跌倒及相关伤害发生率居高不下,有必要对跌倒及其危险因素进行系统评估、个性化干预和全程管理,数字疗法在跌倒的防治中有巨大潜力。(1A)**

证据概述:老年人跌倒的防治包含风险评估、干预和管理等多个环节。跌倒的风险因素包括年龄、性别、步态和平衡功能、肌肉力量、视力和听力等生理因素,心血管疾病、神经系统疾病、前庭系统疾病、睡眠障碍、认知和心理障碍等病理因素,使用增加跌倒风险的药物、多重用药等药物因素,照明、路面障碍物、台阶、鞋履、助行器、居住环境、天气等环境因素,匆忙变换体位、冒险行为、缺乏身体活动、对跌倒的恐惧等行为因素,以及跌倒史等<sup>[7,32-34]</sup>。危险因素越多,发生跌倒及跌倒相关损害的风险就越大。因此,国内外多项指南及共识均建议对老年人每年进行跌倒风险筛查,针对性地进行多因素跌倒风险评估和风险等级划分(低、中、高风险),并据此开展个性化干预<sup>[35-41]</sup>。

跌倒的干预措施包含运动干预和非运动干预。运动干预,特别是以平衡和力量训练为重点的锻炼计划,对预防跌倒的有效性已经得到了充分证明<sup>[42-47]</sup>。在运动干预的基础上开展多因素非运动干预(包括疾病诊疗、视力矫正、药物管理、营养补充、认知与心理干预、生活环境改造等),对于降低跌倒发生率具有积极作用<sup>[45,48-49]</sup>,且具有跌倒中高风险的老年人获益更大<sup>[47]</sup>。然而,传统跌倒干预措施的实际应用会受到多种主客观因素的限制。尽管运动干预已被证明对预防跌倒切实有益,但老年人对面对面集体授课模式的接受度、参与度和依从性较差<sup>[50]</sup>。其潜在障碍可能包括课程费用高、培训资源匮乏、个人兴趣不足、行动受限、交通不便、社交障碍、环境适应困难等<sup>[50-52]</sup>,这极大限制了干预的有效性。通过居家锻炼预防跌倒虽然理论上可以作为面对面授课的替代方案,但其实施往往依赖于专业人士的指导,因而也影响了干预的依从性、可靠性和普适性<sup>[42,53-54]</sup>。为降低跌倒风险、帮助老年人提升独立生活能力,亟需更新、更有效的干预策略。

随着近年来智能手机和移动应用程序、可穿戴设备、云数据平台等的出现和迭代,数字疗法应运而生,并被应用于跌倒的风险评估、监测、康复等领域<sup>[55]</sup>。在我国,已开发出多项基于传感器、深度学



习和人工智能的跌倒预防检测系统,可在居家场景或者养老机构中实现跌倒动作识别的毫秒级响应<sup>[56-59]</sup>。有的系统则包含了跌倒风险评估、目标设定、康复计划制定、运动监测、跌倒报警等多个单元,使跌倒的全流程评估、监测、管理和干预集成化<sup>[60]</sup>。目前,利用数字疗法进行跌倒的实时监测和远程防治模式已逐渐落地应用。2025 年国家药监局也起草了《康复类数字疗法软件产品分类界定指导原则(征求意见稿)》,以期为康复类数字疗法软件产品的管理属性和管理类别判定提供更多的政策依据,从而加速行业发展。2022 年,世界跌倒指南工作组在《老年人跌倒预防和管理世界指南:一项全球倡议》中推荐“将远程医疗和/或智能家居系统与运动训练相结合,作为社区跌倒预防计划的一部分”<sup>[38]</sup>。由此可见,数字疗法在老年人跌倒的防治方面具有巨大的应用潜力和发展空间。

推荐说明:本推荐意见旨在明确数字疗法在老年人跌倒防治体系中的战略定位。尽管运动等传统干预措施有效,但实施障碍限制了老年人从中获益<sup>[50-52]</sup>。数字疗法通过可穿戴设备、移动应用和云平台等技术,有望实现跌倒风险的便捷筛查、持续监测、个性化训练方案提供与远程指导,从而弥补传统方式的不足,提升干预的可及性、依从性和管理效率<sup>[38,56-60]</sup>。专家组认为,在当前老龄化进程加速与数字技术蓬勃发展的背景下,肯定数字疗法的潜力并引导其规范发展,对于构建更高效、普惠的跌倒防治体系至关重要。

#### (一)跌倒的风险评估

临床问题 2:数字疗法如何应用于老年人跌倒的评估、识别和预警?

推荐意见 2:数字疗法可通过获取老年人跌倒的相关危险因素信息及在体能测试和日常活动中的定量数据,客观评估跌倒风险。(1A)

推荐意见 3:老年人跌倒风险评估常用的数字疗法为可穿戴/非穿戴式传感器联合机器学习,可对跌倒风险进行准确分类。(1B)

推荐意见 4:数字疗法(可穿戴/非穿戴传感器)可用于识别老年人跌倒的发生并及时发出警报,有助于照护者及早发现异常并提供帮助,减少老年人跌倒后倒地时间。(1A)

证据概述:老年人跌倒的危险因素众多。跌倒风险评估有助于明确跌倒的原因、后果以及潜在风险,从而针对中高风险人群实施早期干预。目前临床中的跌倒风险评估主要依赖医疗人员对老年人

进行面对面体能测试、量表评价和病史采集,内容繁多、耗时较长、易受主观因素干扰,因而限制了评估的可操作性和结果的可靠性。与之相比,基于数字疗法开展的跌倒风险评估则更加高效、客观、准确<sup>[61-62]</sup>。

在跌倒风险评估的内容中,体能测试表现(如步速、简易体能测试、计时起立行走测试、5 次椅子起坐测试、Berg 平衡量表等)能提供定性和定量数据,对老年人未来跌倒风险的预测效能最优<sup>[32,43,63]</sup>。可靠的数字化体能测试结合传感器和预测算法可以客观评估跌倒风险,并支持在医疗资源有限、经济水平不佳的环境下开展评估工作。

国际欧盟委员会在第七框架计划项目中,开发了一个基于信息和通信技术的数字评估系统“iStoppFalls 跌倒风险评估工具”,并针对其开展了国际多中心随机对照研究<sup>[64]</sup>。该系统基于传感器技术进行与平衡、步态相关的多项体能测试,并整合既往跌倒史、用药史、视力、感觉、对跌倒的恐惧等一系列信息,得出跌倒风险总分以及评估结果细则,可用于定期评估老年人在家中跌倒的风险,并提供个性化的居家锻炼方案和预防跌倒教育计划,从而改善老年人平衡功能、肌肉力量和生活质量<sup>[65]</sup>。研究结果显示,该系统可以降低老年人跌倒风险、改善姿势控制和运动能力,使用体验良好、用户接受度高<sup>[65-67]</sup>。

1. 可穿戴传感器:可穿戴传感器包括加速度计、陀螺仪、压力传感器、红外传感器、心率监测器等<sup>[68-71]</sup>,可佩戴于腰背部、腿部、腕部、足部、胸部和头部<sup>[68,72-76]</sup>,并可在单个或多个部位同时佩戴<sup>[77]</sup>,能够精确、系统地检测到运动过程中体位的变化,且不受环境限制,因此可用于预测跌倒风险。其中,研究最深入的是惯性传感器,也称为惯性测量单元(inertial measurement unit, IMU),由多个三轴加速度计和陀螺仪构成<sup>[78]</sup>。研究发现,参与者腿部佩戴 IMU 进行 5 次椅子起坐测试,通过感知运动轨迹特征能够评估老年人跌倒风险(分类准确率 74.4%、特异度 80.0%、灵敏度 68.7%)<sup>[79]</sup>。相较于传统体能测试,通过 IMU 记录老年人计时起立行走测试的运动轨迹(准确率 79.69%)对跌倒风险的分类更加准确,并能预测老年帕金森病患者的跌倒次数<sup>[61,80-82]</sup>。

然而,在医疗环境中进行单次评估可能无法反映老年人的真实能力。因此,如果能持续监测个体在日常生活场景下的运动表现可更准确地评估跌



倒风险,有效预防跌倒发生。在老年帕金森病患者中,连续 3 d 于腰背部佩戴 IMU 测量日常行走的步态特征,可评估跌倒风险并预测首次跌倒出现的时间<sup>[83]</sup>。在 70 岁及以上的社区老年人非惯用手腕部佩戴 IMU 7 d,收集体力活动数据并转化为步态特征,可比传统体能测试(4 m 步速、6 min 步行试验)更敏感地预测跌倒<sup>[84]</sup>。为减少可穿戴设备的不适感,有学者将 IMU 固定于老年人的鞋面上,让其自由行走 15 min,然后分析步态参数,结果显示其对跌倒风险分类的准确度比计时起立行走测试高 11%<sup>[74]</sup>。置于鞋垫内的 IMU 和可穿戴摄像机等新型可穿戴技术也让跌倒风险评估从临床走入日常生活成为可能<sup>[76,85]</sup>。

可穿戴设备也用于监测跌倒事件的发生,常被制作成智能手环、手表、吊坠或其他便携形式,能在识别跌倒事件的同时进行定位并发出警报<sup>[86-87]</sup>。据统计,老年人跌倒后,约 1/3 无法自行从地面站起,约 1/8 会在地面躺卧至少 1 h<sup>[88-89]</sup>。而跌倒后倒地时间长的老年人更有可能发生日常生活能力下降、严重的跌倒相关性伤害、住院、甚至死亡<sup>[88,90]</sup>。可穿戴设备有助于照护者及时发现老年人跌倒并提供帮助,缩短倒地时长,从而减少跌倒相关不良事件的发生。

2. 非穿戴传感器:非穿戴传感器则需固定在使用环境中,包括压力传感器、摄像机、麦克风等。其优势在于无需穿戴、不影响身体活动。例如,在计时起立行走测试中,应用超声设备感知参与者动作,并自动记录、分析测量值,可缩短测试时长并提高精确度<sup>[91]</sup>;在 Berg 平衡量表评估中,应用摄像机对参与者进行动作捕捉并结合机器学习,可以准确、高效地预测 Berg 平衡量表评分及跌倒风险<sup>[62]</sup>。

非穿戴传感器也可以应用于日常生活中。瑞士一项研究发现,在单间公寓一角放置可产生深度图像的飞行时间三维摄像机,对老年人的白天室内活动进行 8 h 监控,可对跌倒风险准确分类<sup>[92]</sup>。另外,基于视觉监测(如摄像头)或环境布置(如地面压力传感器)的非穿戴传感器也可用于老年人跌倒事件的识别,并向照护者或紧急服务部门发出警报<sup>[93-95]</sup>。相关产品已较为成熟,可应用于养老院、医院、公共卫生间和家庭等环境中。

3. 传感器数据处理的常用机器学习算法:无论何种类型的传感器,其对跌倒风险的评估和分类都有赖于对获取数据的进一步处理以进行决策。

系统评价表明,机器学习算法在跌倒风险分类的准确性方面明显优于常规数据统计方法<sup>[96]</sup>。机器学习模型具有自主学习、自动化决策与预测等特点,擅长处理复杂、高维数据,并能不断自我调整和优化,这是常规数据统计方法所不能实现的。跌倒评估和监测最常使用的机器学习算法包括人工神经网络、支持向量机、随机森林、K 均值聚类、K 近邻、线性判别分析、决策树、贝叶斯等<sup>[96]</sup>。然而,各种机器学习算法普遍存在数据依赖性强、可解释性差、参数调节复杂等共性不足,在现实环境中需要对数据进行充分的预处理和验证,比较不同算法下模型的性能,持续调整和优化参数,并对模型可行性和适用性进行测试,从而提升模型的稳健性和可解释性。

推荐说明:专家组认为,将传感器技术与机器学习结合的数字疗法,能够客观、连续地捕捉老年人在临床测试及真实生活环境中的运动与平衡数据,从而克服单次临床评估的局限性,尤其适用于资源有限的环境进行初步筛查和定期监测,实现对跌倒风险的更精准分类<sup>[43,61-63,74,79-82,91-92]</sup>。同时,该技术能主动识别跌倒事件并即时报警,使照护者得以快速响应,其核心价值在于缩短老年人跌倒后的倒地时间,这对于预防严重的二次伤害、降低住院率与死亡率具有至关重要的现实意义<sup>[86-87,93-95]</sup>。尽管机器学习模型存在数据依赖性强、可解释性待提升等共性挑战,但其在传感器数据处理方面的优势已非常明确<sup>[96]</sup>。将数字化评估与传统评估方法相结合,有望构建更精准、便捷的跌倒风险管理模式。

## (二) 跌倒的干预

临床问题 3:数字疗法如何应用于老年人跌倒的干预?

**推荐意见 5:以促进平衡和下肢肌力训练为核心的数字疗法可用于老年人跌倒的干预。(1B)**

证据概述:已有充分证据表明,在社区老年人中开展以平衡能力和下肢肌肉力量为核心的运动干预可有效预防跌倒<sup>[46]</sup>。世界卫生组织也推荐通过踏步或步行运动来改善老年人的平衡能力和肌力,以降低跌倒风险<sup>[97]</sup>。然而,由于前述各种主客观因素的限制,老年人对传统的面对面运动干预模式和居家锻炼的接受度和依从性较低<sup>[42,50]</sup>。数字疗法能依托数字设备为老年人提供以预防跌倒为目的的居家运动干预。与以往的运动干预方式相比,其可以为老年人提供个性化跌倒预防运动方



案,且更加新颖有趣,有助于增加跌倒干预措施的普及性、接受度和依从性。

推荐说明:数字疗法能有效弥补传统运动的实施短板。它通过提供个性化、趣味性强的居家运动方案,显著提升干预措施的普及性、患者接受度与长期依从性,从而确保基于运动干预的跌倒预防策略落地。

1. 基于应用程序的干预: **推荐意见 6:为预防老年人跌倒,基于移动端的应用程序开展的个性化居家运动干预是可行、有效且安全的。(1B)**

证据概述:用于老年人跌倒干预最简单的数字疗法,是以平板电脑等移动端为载体、基于应用程序开展的自我管理居家运动干预。干预形式主要是制定个性化运动方案,并通过移动端提供运动视频课程,引导老年人按需练习、循序渐进地完成训练并进行自我管理。训练过程中可能会用到泡沫垫、脚踏箱、沙袋等辅助器材。训练内容多以平衡训练(包含静态和动态平衡)为主,并辅以下肢力量、步态、灵活性训练等多组分运动<sup>[36,98]</sup>。训练时间至少持续 12 周(一般为 1~2 年),每周 3 次,每次至少 30 min<sup>[99-100]</sup>;非训练时间也要辅以散步等轻体力活动。在训练期间,通过应用程序对老年人的训练进度进行监督、提醒,并推送跌倒相关宣教材料,进行个性化运动指导;训练完成后通过应用程序、邮件或电话等方式进行效果评价和结果反馈,并激励老年人坚持运动<sup>[100-101]</sup>。澳大利亚 StandingTall<sup>[98]</sup>、美国 Bold Fall Prevention Program<sup>[101]</sup>和瑞典 Safe Step<sup>[102]</sup>等项目均在针对此类数字疗法的实施和优化开展临床研究。结果表明,这种借助应用程序开展的数字疗法能显著降低老年人的跌倒率和跌倒相关伤害发生率,且未发生训练相关的严重不良事件<sup>[98,101-102]</sup>。还有研究将应用程序与可穿戴传感器相结合,以监督多组分运动方案的完成度,并记录日常步行活跃度<sup>[103]</sup>。结果显示,在为期 12 周的干预后,老年人的平衡能力、下肢肌力等体能指标和对跌倒的恐惧均显著改善,依从率高达 84.4%,且无严重不良事件发生<sup>[103]</sup>。应用程序用于老年人个性化居家运动干预是可行、有效且安全的。

推荐说明:基于应用程序的跌倒干预将运动转化为标准化的居家干预,极大提升了运动的可及性和可行性,且具有明确的跌倒防治效果和良好的安全性<sup>[98,101-103]</sup>。在实施中应确保个性化多组分运动方案设计,并辅以远程监督与反馈,以维持老年人

的长期参与和依从性。

2. 基于运动游戏的干预: **推荐意见 7:运动游戏能改善老年人平衡功能和姿势控制,提高干预的依从性,是有趣、有效、较为安全的跌倒干预措施。(1B)**

证据概述:为提升运动干预的互动性、趣味性和用户黏性,运动游戏也有望成为老年人跌倒的干预形式之一。运动游戏是指有体力消耗的电子游戏,其对跌倒的预防效果不劣于传统运动方式,能显著改善老年人的姿势控制和动态平衡,降低跌倒发生率,并缓解其对跌倒的恐惧心理<sup>[104-107]</sup>。训练时间应持续 8 周以上,每周至少 90 min,可分次进行<sup>[108]</sup>。应用微软公司 Kinect 传感器(一种非手持三维运动追踪装置)对参与者开展力量和平衡运动游戏训练,在坚持 12 周、每周 3 次后,老年人的 Berg 平衡量表评分、疼痛症状及对跌倒的恐惧均得到改善<sup>[109]</sup>。此外,由于运动游戏和认知训练都被证实可以有效预防社区老年人跌倒<sup>[108]</sup>,因此在运动游戏中融入认知训练的复合干预形式也具有开发前景。在一项国际多中心随机对照研究中,社区老年人通过 iStoppFalls 系统结合动作捕捉技术开展居家运动干预,具体内容包括每周至少进行 3 次 40 min 的平衡运动游戏联合 20 min 的下肢肌肉力量训练<sup>[65]</sup>。其中,平衡运动游戏在虚拟情景中融入重心转移、屈膝和踏步等动作,同时结合计算和记忆等认知模块,提供双重任务情景训练<sup>[65]</sup>。在为期 16 周的干预后,老年人跌倒的风险较前降低,且运动游戏的依从性越高、平衡功能的改善越显著<sup>[66]</sup>。另一项研究也采取了运动游戏结合认知的双重任务训练,在干预 8 周后,老年人的跌倒风险显著下降<sup>[29]</sup>。运动游戏较为安全<sup>[66,108]</sup>,适用于老年人的跌倒干预,但其成本效益尚不明确,有待进一步研究验证<sup>[109-110]</sup>。

推荐说明:运动游戏在提升老年人平衡功能、降低跌倒风险方面具有明确效益,且其具有通过趣味性提升老年人长期坚持干预的独特优势<sup>[104-109]</sup>。实施时应注意,干预需坚持一定时间(如 8 周以上)才能见效,并建议优先选择整合了平衡训练、力量训练与认知任务的运动游戏程序,以获取额外益处<sup>[66,108]</sup>。虽然其成本效益尚需进一步研究,但不影响其作为有效且安全干预措施的临床价值。

3. 基于虚拟现实(virtual reality, VR)的干预: **推荐意见 8:基于 VR 的干预通过运动结合视觉和前庭刺激训练预防老年人跌倒,在无视觉障碍的**



### 老年人中可作为传统运动干预的替代疗法。(1B)

证据概述:VR 是利用计算机模拟虚拟的三维空间,并借助动作捕捉传感设备和交互显示终端,为用户提供视觉感知和人体多感官立体逼真的模拟体验。基于 VR 的数字疗法常与改善下肢肌力或平衡能力的训练相结合,用于老年人跌倒的预防干预。在欧洲的“虚拟现实增强跑步机训练计划降低老年人跌倒风险”(A treadmill training program augmented by virtual reality to decrease fall risk in older adults, V-TIME)研究中,老年人随机接受跑步机和 VR 联合训练或单纯跑步机训练。其中,VR 组件由屏幕中的模拟环境和动作捕捉摄像机构成,可模拟障碍物、不同路径、狭窄的走廊和干扰物等,需要在步行中调节步幅宽度及抬脚高度以配合虚拟场景<sup>[111]</sup>。对跌倒高风险老年人进行为期 6 周、每周 3 次、每次 45 min 的跑步机和 VR 联合训练后,6 个月的跌倒率显著下降,且低于单纯跑步机训练组<sup>[112]</sup>。VR 平衡训练则是一类以平衡、视觉和前庭系统为干预重点的数字疗法,可结合力学平台、VR 眼镜和 VR 耳机开展平衡训练,方案因人而异、难度可酌情调整<sup>[113,114]</sup>。经过 VR 平衡训练,老年人的平衡能力(计时起立行走测试、Berg 平衡量表)、身体机能(步速、5 次椅子起坐试验、伸膝力量)均得到改善,跌倒次数和对跌倒的恐惧显著减少<sup>[113-115]</sup>。为期 5~8 周、每周至少 3 次、每次 20~45 min 的治疗方案效果显著<sup>[115]</sup>。VR 训练可增加与平衡和灵活性相关的视觉和前庭刺激,从而有效预防老年人跌倒,且依从性好,是传统运动干预的实用替代疗法。

推荐说明:VR 在老年人跌倒干预的数字疗法中仅作为“替代疗法”,旨在为无法坚持或获取传统运动的老年人提供一种相对有效、新颖且依从性高的选择。VR 具有较明确的跌倒预防效果和良好的安全性<sup>[112-115]</sup>。需注意,实施时应排除存在严重视觉障碍或不耐受 VR 环境的个体,并建议治疗方案个体化调整,以确保障碍人群的适用性与安全性。

4. 基于 VR 运动游戏的干预:推荐意见 9:VR 运动游戏具有预防老年人跌倒的潜力,但仍需进一步验证和评估。(2C)

证据概述:VR 运动游戏可以视为上述跌倒干预数字疗法的进阶版,也可通过训练运动技能改善老年人的平衡能力,预防跌倒。早在 2012 年就有研究发现任天堂开发的 Wii Fit 平衡游戏可以改善绝经后女性的平衡能力、减少对跌倒的恐惧、提高居家

干预的依从性和趣味性<sup>[116]</sup>。还有研究应用微软公司的 Xbox 360 Kinect 让老年人进行包括热身、足球、保龄球和高山滑雪在内的 VR 运动游戏,经过为期 30 d、每周 3 次、每次 30 min 的干预,老年人的静态和动态平衡功能都得到了改善<sup>[117]</sup>。类似的干预措施在养老院居民中也同样有效,有助于降低跌倒风险<sup>[118]</sup>。不过现有研究样本量均较小,VR 运动游戏在老年人跌倒干预中的有效性有待验证。

推荐说明:VR 运动游戏作为一种有前景的干预方式,其在趣味性和提升依从性方面具有优势<sup>[116]</sup>。但鉴于现有证据较少,目前仅能作为传统跌倒干预的一种探索性方案。本推荐鼓励对 VR 运动游戏进行审慎应用与效果评估,仍有待开展更多设计严谨、大样本的研究来验证其有效性与安全性。

5. 应用数字疗法干预跌倒的注意事项:推荐意见 10:数字疗法用于老年人跌倒的干预前要进行充分评估,启动干预时需对老年人和照护者开展系统培训,干预中需要持续反馈和激励,并辅以全程技术支持和安全监测。(1A)

证据概述:在数字疗法用于跌倒干预前,要对老年人的身体功能、跌倒史、用药史、感官、生活习惯、周边环境等进行充分评估,以制定个性化干预方案;启动干预时,要对老年人及照护者进行技能培训,以帮助其学习使用设备及系统;干预过程中,要及时进行结果反馈,予以监督和激励,以提高依从性;干预全过程,要提供持续的技术支持和监测,以确保数字疗法安全有效实施<sup>[65,98,100,119]</sup>。

推荐说明:在老年人跌倒的干预中,数字疗法应依托一个完整的流程展开应用,以确保其有效性、安全性和可行性。全面的干预前评估能规避不当干预风险,系统培训可确保干预依从性,而过程中的监督、激励与技术支持,则是长期维持干预的必要措施。

### (三)跌倒的管理

临床问题 4:数字疗法如何应用于老年人跌倒的管理?

推荐意见 11:包含跌倒日记、运动记录、主观体验评价内容的多终端应用程序有助于老年人进行跌倒的全面自我管理。(1C)

证据概述:手机、电脑等移动端及配套应用程序的普及为老年人跌倒的管理提供了便利。例如,以色列学者开发的 Age-Techcare 应用程序可记录跌倒日记并观看平衡锻炼视频,在手机端和电视端均可使用<sup>[120]</sup>。瑞典的 Safe Step 应用程序包含了



居家运动方案的制定、视频指导、记录完成情况和个人体验的运动日志,以及在线虚拟治疗师的提示和反馈<sup>[102]</sup>。澳大利亚的 StandingTall 项目也在平板电脑中嵌入了跌倒管理模块,用于记录跌倒日记、运动时间,了解日常行走和站立情况,进行有关身体活动舒适度、运动自我效能和跌倒干预体验等相关的量表评价<sup>[98]</sup>。此外,一些用于失眠药物管理或慢病自我管理的数字疗法,也在老年人的跌倒防控方面颇具潜力<sup>[121-122]</sup>。技术驱动下的跌倒自我管理有助于提高老年人自我意识、关注跌倒风险并及时采取预防措施。未来纳入包含运动、饮食、睡眠、用药、生活方式等跌倒危险因素管理模块的应用程序,将有利于老年人跌倒的全面、全程管理。

推荐说明:数字疗法的便捷性和交互性,可将跌倒管理转变为主动、系统化的全面自我管理模式<sup>[98,102,120]</sup>。尽管直接证据等级有限,但数字化的跌倒管理模式获益明确、风险极低,且符合“以患者为中心”和“全程管理”的现代医疗理念,具有较高的可行性和应用潜力。

#### (四)用户体验

临床问题 5:老年人在应用数字疗法进行跌倒防治时用户体验如何?

**推荐意见 12:老年人应用数字疗法防治跌倒的积极性高、安全性佳,但仍需警惕数字技术可能带来的不适感和潜在跌倒风险的增加。(2B)**

证据概述:在应用数字疗法的过程中,用户体验至关重要,决定了干预措施的接受度、依从性和安全性。采用数字化设备进行的运动干预往往能激励老年人更积极、持续地参与锻炼<sup>[30,123-124]</sup>。从数字疗法在防治跌倒方面的应用现状来看,老年人往往会倾向于正面评价。老年人普遍反映数字疗法灵活有趣,有吸引力,易于接受,不影响日常生活,能激励他们主动参与,并带来积极的体验<sup>[74,109,125-128]</sup>。不过,也有少数老年人报告了负面感受,如在 VR 设备的使用过程中可能出现视觉疲劳、晕屏(定向障碍、恶心、眼球异常运动)、甚至幻觉<sup>[129-131]</sup>。数字疗法带来的不适感和潜在的跌倒风险(如晕屏)与技术条件和个人健康状态有关,尽管极少出现,但仍需引起重视。另外,视力、听力受损或认知障碍等情况也常见于老年人,因此过于复杂的功能模块或操作界面也可能影响老年人对数字疗法的接受度。

推荐说明:在积极推广跌倒防治相关数字疗法

的同时,必须关注老年人的用户体验。界面简洁、操作便捷、晕眩感低的设备与软件对老年人更友好<sup>[129-131]</sup>。在数字疗法的应用过程中,应对老年人进行密切观察与评估,如有不适应及时处理,以最大限度确保安全。

四、数字疗法在老年人跌倒防治中的应用前景与挑战

临床问题 6:数字疗法在老年人跌倒防治的应用中面临哪些挑战?

**推荐意见 13:为推进数字疗法在防治老年人跌倒领域的应用,需实现技术手段集成化、数据信息安全化和监督管理系统化。(1B)**

证据概述:

#### (一)新型数字疗法层面

当前应用于老年人跌倒防治的数字疗法多着重于运动领域的监测、评估和干预,未来应加强开发其他领域数字疗法的应用。例如认知数字疗法、语音语义分析结合微表情识别的心理状态监测、触觉生物反馈、脑机接口、运动与环境智能交互、基于数字孪生的环境适老化改造等新型手段,均可用于老年人跌倒的防治。

#### (二)技术层面

未来的数字疗法应向集成化方向转变,结合多种传感器采集生理、运动、环境、影像等多模式数据,通过机器学习算法进行分析处理,依托数字平台承载跌倒风险评估、监测、干预、管理等模块,并将上述功能融合入单个设备中。技术开发人员和医疗人员应开展跨学科协作,优化数字疗法,使之同时适应老年人的需求和跌倒防治的策略,以提升其可用性和有效性。

#### (三)数据安全层面

由于数字疗法依赖互联网传输数据,其中不乏个人隐私信息,因此,确保网络安全和数据权限是大规模应用数字疗法的先决条件。一方面,需要在技术层面上建立数据保护系统,确保数据质量和安全;另一方面,需要构建相关支撑政策和法律框架,以在实现数据共享的同时兼顾个人隐私保护。

#### (四)监管层面

在美国和欧洲,数字疗法被归类为医疗器械。与传统药物的研发审批流程类似,数字疗法需先通过临床试验验证,再经美国食品药品监督管理局审查批准用于特定的适应证,患者可通过处方或非处方的形式获得。我国国家药品监督管理局也于

表 2 预防老年人跌倒常用的数字疗法

| 目的 | 方法         | 内容                                                                                                                                                               |
|----|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 评估 | 可穿戴传感器     | 形式:惯性传感器、压力传感器、红外传感器、心率监测器、血氧监测器、可穿戴摄像机等<br>作用:通过监测运动轨迹、步态特征及生命体征变化,评估跌倒风险、预测跌倒时间和跌倒次数<br>优势:可精确、实时采集运动数据,不受环境限制<br>不足:需穿戴,可能影响活动,有不适感                           |
|    | 非穿戴传感器     | 形式:压力传感器、超声感应设备、固定摄像机、麦克风等<br>作用:通过感知和记录动作变化,评估跌倒风险<br>优势:无需穿戴,不影响活动<br>不足:受环境限制,需固定设备                                                                           |
|    | 综合评估系统     | 形式:传感器技术结合电子化多维度跌倒风险因素评估<br>作用:计算跌倒风险总分<br>优势:整合了传感器技术和传统评估内容<br>劣势:对硬件设备集成化水平要求高                                                                                |
| 干预 | 基于应用程序     | 形式:以移动端为载体,基于应用程序提供运动指导,结合/不结合可穿戴传感器等技术,开展个性化运动干预<br>作用:通过居家进行以平衡训练为主的多组分运动,减少跌倒、跌倒相关伤害及对跌倒的恐惧<br>优势:可实现老年人居家自我管理,运动方案个性化,安全性佳<br>劣势:需要提前进行运动指导;效果取决于老年人的依从性和参与度 |
|    | 基于运动游戏     | 形式:由体感控制、有体力消耗的游戏,以考验平衡和下肢力量相关游戏内容为主<br>作用:可改善平衡功能,减少跌倒风险和对跌倒的恐惧<br>优势:具有趣味性和理想的成本效益<br>劣势:游戏失败可能引起老年人挫败感,影响依从性                                                  |
|    | 基于虚拟现实     | 形式:在体能训练中通过虚拟现实技术模拟体验不同运动环境;增加视觉和前庭的虚拟现实刺激<br>作用:可改善平衡功能,减少跌倒风险和对跌倒的恐惧<br>优势:提供视觉、前庭的多维度刺激,增强体能训练效果<br>劣势:可能出现视觉疲劳、晕屏等不适,从而增加潜在跌倒风险                              |
|    | 基于虚拟现实运动游戏 | 形式:结合虚拟现实技术的运动游戏<br>作用:改善平衡功能,减少跌倒风险<br>优势:兼具运动游戏和虚拟现实的趣味性,适用于家庭、养老院等多种场景<br>劣势:对于预防跌倒的有效性缺少验证                                                                   |
|    | 管理 基于应用程序  | 形式:以移动端为载体,嵌入跌倒日记、运动记录、危险因素管理、个人体验等模块<br>作用:协助实现老年人跌倒的全面、全程自我管理<br>优势:操作简便,内容齐全<br>劣势:效果取决于老年人的依从性                                                               |

2020 年开启了数字疗法审批通道:数字疗法产品可申报为二类或三类医疗器械,根据预期用途和风险进行注册和临床评估,并需符合网络安全要求(<https://www.nmpa.gov.cn/>)。然而,我国目前仍缺乏数字疗法产品的相关标准,还需要完善监管体系,通过高质量临床试验评价数字疗法的有效性和安全性,审查产品的实际性能,确定适应证并评估成本效益和风险,务必确保科学和严谨。

推荐说明:本意见基于专家共识进行推荐。专家组认为,数字疗法的长远发展有赖于顶层设计:技术集成化是提升跌倒防治效能的关键;数据安全性是获取用户信任与推广应用的前提;监管系统化则是行业规范发展的基石。

五、小结

我国老年人跌倒及跌倒相关伤害的发生率高,其带来的医疗保健负担沉重。应用数字疗法有助于高效、客观地评估跌倒风险并监测跌倒事件,提升跌倒运动干预的接受度和依从性,实现老年人跌倒的全面、全程管理。应加强数字疗法的技术优化和数据安全管理,辅以配套的行业监管体系,从而推动数字疗法在老年人跌倒防治中的应用(图 1)。

本共识的制定参考了数字疗法应用于老年人跌倒防治的最新研究进展,经过专家研讨和修改后形成定稿。然而,数字疗法的研究和实践仍在不断进行中,其临床价值和潜在风险仍存在诸多问题值得探讨。本共识仅代表撰写专家组的观点,不具备法律效力,不作为医疗事故鉴定和医学责任的认定

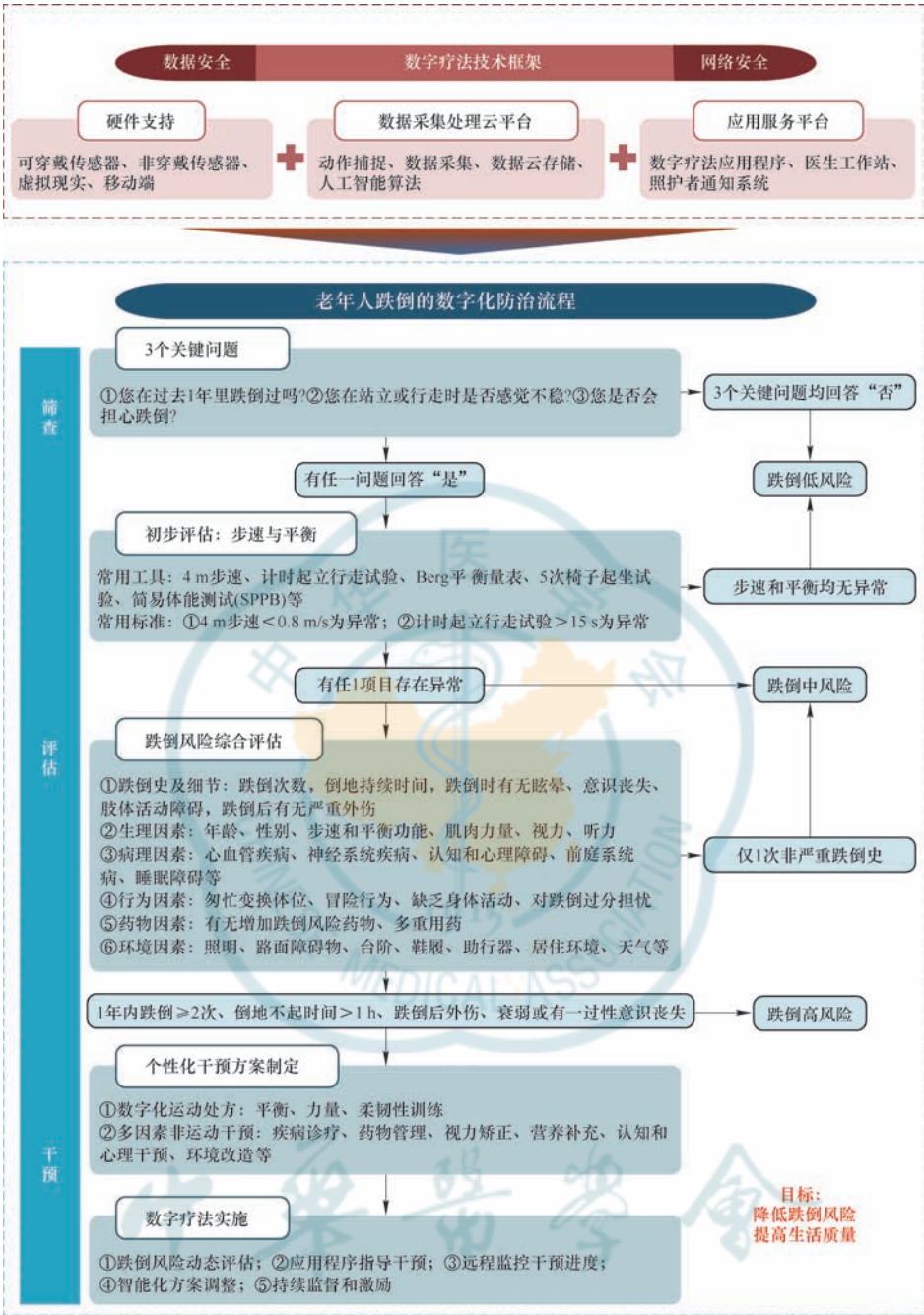


图 1 数字疗法防治老年人跌倒的技术框架和流程图

依据。未来,随着数字疗法的更新迭代和相关临床研究的不断进展,本共识有待不断更新、完善,为我国老年人跌倒的防治提供参考。

指导委员会(按姓氏笔画排序):于普林(北京医院 国家老年医学中心),张存泰(华中科技大学同济医学院附属同济医院老年病科),陈彪(首都医科大学宣武医院 国家老年疾病临床研究中心)

执笔(按作者贡献排序):马丽娜(首都医科大学宣武医院老年医学科),潘一鸣(首都医科大学附属北京积水潭医院老年医学科),刘盼(首都医科大学宣武医院老年医学科)

共识讨论小组专家委员会成员(按姓氏笔画排序):于雪(北京医院心血管内科),马丽娜(首都医科大学宣武医院老年医学科),方伯

言(首都医科大学附属北京康复医院神经康复中心),毛拥军(青岛大学附属医院老年医学科),牛慧彦(中国医科大学附属盛京医院老年医学科),王冠珍(解放军总医院第五医学中心感染病学部),王小明(空军军医大学西京医院老年病科),王晓娟(首都医科大学附属北京朝阳医院全科医学科),王晶桐(北京大学人民医院老年科),王朝晖(华中科技大学同济医学院附属协和医院老年科),王鹏(首都医科大学附属复兴医院老年医学科),王翠丽(北京大学护理学院),王国栋(中国康复研究中心北京博爱医院心血管内科),田文(中国医科大学附属第一医院老年医学科),田巍(首都医科大学附属北京积水潭医院老年医学科),邓沱(中南大学湘雅二医院代谢内分泌科),乔成栋(兰州大学第一医院老年病科),乔薇(中日

友好医院保健一部),刘足云(浙江大学公共卫生学院),刘盼(首都医科大学宣武医院老年医学科),刘谦(首都医科大学附属北京同仁医院老年医学科),刘慧珍(中国康复研究中心北京博爱医院重症康复科),吉彤(首都医科大学附属北京同仁医院老年医学科),吕继辉(北京老年医院精神心理科),吕跃斌(中国疾病预防控制中心环境与健康相关产品安全所),孙颖(首都医科大学附属北京友谊医院老年医学科),何平(华中科技大学同济医学院附属协和医院老年病科),吴秀萍(哈尔滨医科大学附属第一医院老年病科),吴晨凯(昆山杜克大学全球健康研究中心),张丽(首都医科大学宣武医院老年医学科),张改改(清华大学第一附属医院北京华信医院老年医学科),张艳红(首都医科大学宣武医院医务处),张婉淑(首都医科大学附属北京康复医院老年康复中心),张勤(浙江大学医学院附属第一医院老年病科),张蔷(天津医科大学总医院老年科),张翼(中国疾病预防控制中心环境与健康相关产品安全所),张巍(首都医科大学附属北京天坛医院认知障碍性疾病科),李宇晟(中南大学湘雅医院骨科),李杰(吉林大学第一医院干部病房),李春宝(解放军总医院骨科医学部运动医学科),李耘(首都医科大学宣武医院老年医学科),李菲卡(上海交通大学医学院附属瑞金医院老年病科),李嘉童(安徽医科大学第三附属医院老年医学科),李静(首都医科大学宣武医院老年医学科),邢怡文(首都医科大学附属北京朝阳医院全科医学科),邢艳秋(山东大学齐鲁医院老年医学科),郭真力(内蒙古自治区人民医院),周厚广(复旦大学附属华山医院老年医学科),岳冀蓉(四川大学华西医院老年医学科),林展翼(广东省人民医院老年医学科),武文斌(北京医院老年医学科),陈世展(天津大学智能与计算机学部),陈波(浙江省人民医院老年医学中心),陈雪丽(首都医科大学附属北京世纪坛医院康复医学科),姜昕(深圳市人民医院老年医学科),柏勇平(中南大学湘雅医院心血管内科),胡坚(江西省人民医院干部病房),苗海军(新疆医科大学第一附属医院老年干部科),郑德强(首都医科大学公共卫生学院),修双玲(首都医科大学附属北京朝阳医院内分泌科),唐毅(首都医科大学宣武医院神经内科),殷实(中国科学技术大学附属第一医院/安徽省立医院老年医学科),钱力(山西医科大学第一医院老年病科),高旭(北京大学公共卫生学院),寇京莉(首都医科大学宣武医院老年医学科),康琳(中国医学科学院北京协和医学院北京协和医院老年医学科),曹丰(解放军总医院第二医学中心心血管内科),郭艳苏(首都医科大学宣武医院循证医学中心),章晓燕(上海交通大学附属第六人民医院老年病科),惠海鹏(解放军总医院第二医学中心保健七科),景丽伟(首都医科大学护理学院),程标(四川省人民医院老年医学科),鲁翔(南京医科大学附属逸夫医院老年医学科),黄鹏(民航总医院老年科),熊玮(陆军军医大学第一附属医院老年医学与特勤医学科),褚熙(首都医科大学宣武医院健康管理科),潘一鸣(首都医科大学附属北京积水潭医院老年医学科)

**外审专家(按姓氏笔画排序):**马清(首都医科大学附属北京友谊医院老年医学科),刘幼硕(中南大学湘雅二医院老年医学科),刘辉(中南大学交通运输工程学院),陈旭娇(浙江省中医院老年医学科),郑松柏(复旦大学附属华东医院老年医学科),高超(北京医院国家老年医学中心),曹剑(解放军总医院第二医学中心保健四科)

**方法学专家(按姓氏笔画排序):**刘足云(浙江大学公共卫生学院),吴晨凯(昆山杜克大学全球健康研究中心),郑德强(首都医科大学公共卫生学院),高旭(北京大学公共卫生学院),郭艳苏(首都医科大学宣武医院循证医学中心)

**学术秘书(按作者贡献排序):**潘一鸣(首都医科大学附属北京积水潭医院老年医学科),邢怡文(首都医科大学附属北京朝阳医院全科医学科)

**利益冲突** 所有作者声明无利益冲突

## 参 考 文 献

- [1] Lamb SE, Jorstad-Stein EC, Hauer K, et al. Development of a common outcome data set for fall injury prevention trials; the Prevention of Falls Network Europe consensus [J]. J Am Geriatr Soc, 2005, 53(9): 1618-1622. DOI: 10. 1111/j. 1532-5415. 2005. 53455. x.
- [2] Bhattacharya B, Maung A, Schuster K, et al. The older they are the harder they fall; injury patterns and outcomes by age after ground level falls [J]. Injury, 2016, 47(9): 1955-1959. DOI: 10. 1016/j. injury. 2016. 06. 019.
- [3] Liu M, Hou T, Li Y, et al. Fear of falling is as important as multiple previous falls in terms of limiting daily activities: a longitudinal study [J]. BMC Geriatr, 2021, 21(1): 350. DOI: 10. 1186/s12877-021-02305-8.
- [4] Colon-Emeric CS, McDermott CL, Lee DS, et al. Risk assessment and prevention of falls in older community-dwelling adults: a review [J]. JAMA, 2024, 331(16): 1397-1406. DOI: 10. 1001/jama. 2024. 1416.
- [5] Collaborators GBDA. Global, regional, and national burden of diseases and injuries for adults 70 years and older: systematic analysis for the Global Burden of Disease 2019 Study [J]. BMJ, 2022, 376: e068208. DOI: 10. 1136/bmj-2021-068208.
- [6] 魏欣悦, 祖力亚尔·塔力甫, 钟盼亮, 等. 1990-2019 年中国 60 岁及以上老年人疾病负担趋势分析 [J]. 中华疾病控制杂志, 2024, 28(11): 1321-1329, 1343. DOI: 10. 16462/j. cnki. zhjbkz. 2024. 11. 013.
- [7] Wei XY, Zuliyaer TLF, Zhong PL, et al. Trend analysis on the disease burden among Chinese elderly population aged 60 and older from 1990 to 2019 [J]. Chin J Dis Control Prev, 2024, 28(11): 1321-1329, 1343. DOI: 10. 16462/j. cnki. zhjbkz. 2024. 11. 013.
- [8] Peng K, Tian M, Andersen M, et al. Incidence, risk factors and economic burden of fall-related injuries in older Chinese people: a systematic review [J]. Inj Prev, 2019, 25(1): 4-12. DOI: 10. 1136/injuryprev-2018-042982.
- [9] Shea BJ, Reeves BC, Wells G, et al. AMSTAR 2: a critical appraisal tool for systematic reviews that include randomised or non-randomised studies of healthcare interventions, or both [J]. BMJ, 2017, 358: j4008. DOI: 10. 1136/bmj. j4008.
- [10] Sterne JAC, Savovic J, Page MJ, et al. RoB 2: a revised tool for assessing risk of bias in randomised trials [J]. BMJ, 2019, 366: 14898. DOI: 10. 1136/bmj. 14898.
- [11] Wells GA, Shea B, O'Connell D, et al. The Newcastle-Ottawa Scale (NOS) for Assessing the Quality of Nonrandomised Studies in Meta-Analyses [G]. Ottawa: Ottawa Hospital Research Institute, 2009.
- [12] Guyatt GH, Oxman AD, Vist GE, et al. GRADE: an emerging consensus on rating quality of evidence and strength of recommendations [J]. BMJ, 2008, 336



- (7650): 924-926. DOI: 10. 1136/bmj. 39489. 470347. AD.
- [12] Ternullo J, Jethwani K, Lane S, et al. Partners HealthCare Center for Connected Health[J]. *Telemed J E Health*, 2013, 19(5): 363-367. DOI: 10. 1089/tmj. 2012. 0294.
  - [13] Sepah SC, Jiang L, Peters AL. Long-term outcomes of a Web-based diabetes prevention program: 2-year results of a single-arm longitudinal study[J]. *J Med Internet Res*, 2015, 17 (4): e92. DOI: 10. 2196/jmir. 4052.
  - [14] Sverdllov O, van Dam J, Hannesdottir K, et al. Digital Therapeutics: An Integral Component of Digital Innovation in Drug Development[J]. *Clin Pharmacol Ther*, 2018, 104(1): 72-80. DOI: 10. 1002/cpt. 1036.
  - [15] Chinese Society of D, Cognitive I, Consensus Panel on Digital Therapeutics for Cognitive I. [Chinese expert consensus on digital therapeutics for cognitive impairment(2023 edition)][J]. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi*, 2023, 103 (9): 640-647. DOI: 10. 3760/cma. j. cn112137-20221121-02441.
  - [16] Beevers CG, Pearson R, Hoffman JS, et al. Effectiveness of an internet intervention(Deprexis) for depression in a united states adult sample: A parallel-group pragmatic randomized controlled trial [J]. *J Consult Clin Psychol*, 2017, 85(4): 367-380. DOI: 10. 1037/ccp0000171.
  - [17] Miller CB, Gu J, Henry AL, et al. Feasibility and efficacy of a digital CBT intervention for symptoms of Generalized Anxiety Disorder: A randomized multiple-baseline study [J]. *J Behav Ther Exp Psychiatry*, 2020, 70: 101609. DOI: 10. 1016/j. jbt. 2020. 101609.
  - [18] Morin CM. Profile of Somnyst Prescription Digital Therapeutic for Chronic Insomnia: Overview of Safety and Efficacy[J]. *Expert Rev Med Devices*, 2020, 17 (12): 1239-1248. DOI: 10. 1080/17434440. 2020. 1852929.
  - [19] Campbell AN, Nunes EV, Matthews AG, et al. Internet-delivered treatment for substance abuse: a multisite randomized controlled trial [J]. *Am J Psychiatry*, 2014, 171 (6): 683-690. DOI: 10. 1176/appi. ajp. 2014. 13081055.
  - [20] Berman MA, Guthrie NL, Edwards KL, et al. Change in Glycemic Control With Use of a Digital Therapeutic in Adults With Type 2 Diabetes: Cohort Study[J]. *JMIR Diabetes*, 2018, 3 (1): e4. DOI: 10. 2196/diabetes. 9591.
  - [21] Kario K, Nomura A, Harada N, et al. Efficacy of a digital therapeutics system in the management of essential hypertension: the HERB-DH1 pivotal trial [J]. *Eur Heart J*, 2021, 42(40): 4111-4122. DOI: 10. 1093/eurheartj/ehab559.
  - [22] Braley M, Pierce JS, Saxena S, et al. A virtual, randomized, control trial of a digital therapeutic for speech, language, and cognitive intervention in post-stroke persons with aphasia[J]. *Front Neurol*, 2021, 12: 626780. DOI: 10. 3389/fneur. 2021. 626780.
  - [23] Moravcova K, Karbanova M, Bretschneider MP, et al. Comparing Digital Therapeutic Intervention with an Intensive Obesity Management Program: Randomized Controlled Trial[J]. *Nutrients*, 2022, 14 (10): 2005. DOI: 10. 3390/nu14102005.
  - [24] Weinstein MM, Dunivan G, Guaderrama NM, et al. Digital Therapeutic Device for Urinary Incontinence: A Randomized Controlled Trial[J]. *Obstet Gynecol*, 2022, 139 (4): 606-615. DOI: 10. 1097/AOG. 0000000000004725.
  - [25] Lin J, Paganini S, Sander L, et al. An Internet-Based Intervention for Chronic Pain[J]. *Dtsch Arztebl Int*, 2017, 114 (41): 681-688. DOI: 10. 3238/arztebl. 2017. 0681.
  - [26] Wiecek E, Torres-Robles A, Cutler RL, et al. Impact of a Multicomponent Digital Therapeutic Mobile App on Medication Adherence in Patients with Chronic Conditions: Retrospective Analysis[J]. *J Med Internet Res*, 2020, 22(8): e17834. DOI: 10. 2196/17834.
  - [27] Kvedar JC, Fogel AL, Elenko E, et al. Digital medicine's march on chronic disease [J]. *Nat Biotechnol*, 2016, 34 (3): 239-246. DOI: 10. 1038/nbt. 3495.
  - [28] Van Norman GA. Drugs, Devices, and the FDA: Part 2: An Overview of Approval Processes: FDA Approval of Medical Devices[J]. *JACC Basic Transl Sci*, 2016, 1 (4): 277-287. DOI: 10. 1016/j. jacbts. 2016. 03. 009.
  - [29] Begde A, Alqurafi A, Pain MTG, et al. The Effectiveness of Home-Based Exergames Training on Cognition and Balance in Older Adults: A Comparative Quasi-Randomized Study of Two Exergame Interventions[J]. *Innov Aging*, 2023, 7(8): igad102. DOI: 10. 1093/geroni/igad102.
  - [30] Mansson L, Lundin-Olsson L, Skelton DA, et al. Older adults' preferences for, adherence to and experiences of two self-management falls prevention home exercise programmes: a comparison between a digital programme and a paper booklet [J]. *BMC Geriatr*, 2020, 20(1): 209. DOI: 10. 1186/s12877-020-01592-x.
  - [31] Jain D, Norman K, Werner Z, et al. Using Postmarket Surveillance to Assess Safety-Related Events in a Digital Rehabilitation App(Kaia App): Observational Study[J]. *JMIR Hum Factors*, 2021, 8 (4): e25453. DOI: 10. 2196/25453.
  - [32] Ganz DA, Bao Y, Shekelle PG, et al. Will my patient fall? [J]. *JAMA*, 2007, 297 (1): 77-86. DOI: 10. 1001/jama. 297. 1. 77.
  - [33] Boelens C, Hekman EE, Verkerke GJ. Risk factors for falls of older citizens[J]. *Technol Health Care*, 2013, 21(5): 521-533. DOI: 10. 3233/THC-130748.
  - [34] 方思航, 刘迪智, 贾春媛, 等. 老年人跌倒风险评分的影响因素研究[J]. *中华老年医学杂志*, 2024, 43(11): 1481-1485. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 0254-9026. 2024. 11. 018.
  - [35] Fang SH, Liu DZ, Jia CY, et al. Study on influencing factors for falls risks score in the elderly[J]. *Chin J Geriatr*, 2024, 43 (11): 1481-1485. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 0254-9026. 2024. 11. 018.
  - [36] Panel on Prevention of Falls in Older Persons AGS, British Geriatrics S. Summary of the Updated American Geriatrics Society/British Geriatrics Society clinical practice guideline for prevention of falls in older persons[J]. *J Am Geriatr Soc*, 2011, 59(1): 148-157. DOI: 10. 1111/j. 1532-5415. 2010. 03234. x.
  - [37] Sherrington C, Michaleff ZA, Fairhall N, et al. Exercise to prevent falls in older adults: an updated systematic review and meta-analysis[J]. *Br J Sports Med*, 2017, 51 (24): 1750-1758. DOI: 10. 1136/



- bjsports-2016-096547.
- [37] Avin KG, Hanke TA, Kirk-Sanchez N, et al. Management of falls in community-dwelling older adults: clinical guidance statement from the Academy of Geriatric Physical Therapy of the American Physical Therapy Association[J]. *Phys Ther*, 2015, 95(6): 815-834. DOI: 10.2522/ptj.20140415.
  - [38] Montero-Odasso M, van der Velde N, Martin FC, et al. World guidelines for falls prevention and management for older adults: a global initiative[J]. *Age Ageing*, 2022, 51(9): afac205. DOI: 10.1093/ageing/afac205.
  - [39] 中国老年保健医学研究会老龄健康服务与标准化分会,《中国老年保健医学》杂志编辑委员会. 中国老年人跌倒风险评估专家共识(草案)[J]. *中国老年保健医学*, 2019, 17(4): 47-48, 50. DOI: 10.3969/j.issn.1672-2671.2019.04.013.
  - China Geriatric Health Medicine Research Association Aging Health Service and Standardization Branch, "Chinese Journal of Geriatric Health Medicine" Editorial Committee, Expert Consensus on Fall Risk Assessment for Older Adults in China (Draft)[J]. *Chin J Geriatr Health Med*, 2019, 17(4): 47-48, 50. DOI: 10.3969/j.issn.1672-2671.2019.04.013.
  - [40] 皮红英, 高远, 候惠如, 等. 老年人跌倒风险综合管理专家共识[J]. *中华保健医学杂志*, 2022, 24(6): 439-441. DOI: 10.3969/j.issn.1674-3245.2022.06.001.
  - Pi HY, Gao Y, Hou HR, et al. Expert consensus on comprehensive management of fall risk in older adults[J]. *Chin J Health Care Med*, 2022, 24(6): 439-441. DOI: 10.3969/j.issn.1674-3245.2022.06.001.
  - [41] 中国康复医学会老年康复专业委员会专家共识组, 上海市康复医学会专家共识组. 预防老年人跌倒康复综合干预专家共识[J]. *老年医学与保健*, 2017, 23(5): 349-352. DOI: 10.3969/j.issn.1008-8296.2017.05.001.
  - Chinese Society of Geriatric Rehabilitation, Expert Consensus Group of Chinese Association of Rehabilitation Medicine; Shanghai Society of Rehabilitation Medicine, Expert Consensus Group. Expert consensus on comprehensive rehabilitation intervention for preventing falls in the elderly[J]. *Geriatr Health Care*, 2017, 23(5): 349-352. DOI: 10.3969/j.issn.1008-8296.2017.05.001.
  - [42] Liu-Ambrose T, Davis JC, Best JR, et al. Effect of a Home-Based Exercise Program on Subsequent Falls Among Community-Dwelling High-Risk Older Adults After a Fall: A Randomized Clinical Trial[J]. *JAMA*, 2019, 321(21): 2092-2100. DOI: 10.1001/jama.2019.5795.
  - [43] Ganz DA, Latham NK. Prevention of Falls in Community-Dwelling Older Adults[J]. *N Engl J Med*, 2020, 382(8): 734-743. DOI: 10.1056/NEJMc1903252.
  - [44] Dautzenberg L, Beglinger S, Tsokani S, et al. Interventions for preventing falls and fall-related fractures in community-dwelling older adults: A systematic review and network meta-analysis[J]. *J Am Geriatr Soc*, 2021, 69(10): 2973-2984. DOI: 10.1111/jgs.17375.
  - [45] Guirguis-Blake JM, Michael YL, Perdue LA, et al. Interventions to Prevent Falls in Older Adults: Updated Evidence Report and Systematic Review for the US Preventive Services Task Force[J]. *JAMA*, 2018, 319(16): 1705-1716. DOI: 10.1001/jama.2017.21962.
  - [46] Sherrington C, Fairhall NJ, Wallbank GK, et al. Exercise for preventing falls in older people living in the community[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2019, 1(1): CD012424. DOI: 10.1002/14651858.CD012424.pub2.
  - [47] Force USPST, Nicholson WK, Silverstein M, et al. Interventions to Prevent Falls in Community-Dwelling Older Adults: US Preventive Services Task Force Recommendation Statement[J]. *JAMA*, 2024, 332(1): 51-57. DOI: 10.1001/jama.2024.8481.
  - [48] Tricco AC, Thomas SM, Veroniki AA, et al. Comparisons of Interventions for Preventing Falls in Older Adults: A Systematic Review and Meta-analysis[J]. *JAMA*, 2017, 318(17): 1687-1699. DOI: 10.1001/jama.2017.15006.
  - [49] Hopewell S, Adedire O, Copsey BJ, et al. Multifactorial and multiple component interventions for preventing falls in older people living in the community[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2018, 7(7): CD012221. DOI: 10.1002/14651858.CD012221.pub2.
  - [50] Nyman SR, Victor CR. Older people's participation in and engagement with falls prevention interventions in community settings: an augment to the Cochrane systematic review[J]. *Age Ageing*, 2012, 41(1): 16-23. DOI: 10.1093/ageing/afr103.
  - [51] Merom D, Pye V, Macniven R, et al. Prevalence and correlates of participation in fall prevention exercise/physical activity by older adults[J]. *Prev Med*, 2012, 55(6): 613-617. DOI: 10.1016/j.ypmed.2012.10.001.
  - [52] Franco MR, Howard K, Sherrington C, et al. Eliciting older people's preferences for exercise programs: a best-worst scaling choice experiment[J]. *J Physiother*, 2015, 61(1): 34-41. DOI: 10.1016/j.jphys.2014.11.001.
  - [53] Campbell AJ, Robertson MC, Gardner MM, et al. Randomised controlled trial of a general practice programme of home based exercise to prevent falls in elderly women[J]. *BMJ*, 1997, 315(7115): 1065-1069. DOI: 10.1136/bmj.315.7115.1065.
  - [54] Mittaz Hager AG, Mathieu N, Lenoble-Hoskovec C, et al. Effects of three home-based exercise programmes regarding falls, quality of life and exercise-adherence in older adults at risk of falling: protocol for a randomized controlled trial[J]. *BMC Geriatr*, 2019, 19(1): 13. DOI: 10.1186/s12877-018-1021-y.
  - [55] 仇小敏, 肖广辉. 人工智能在跌倒中的研究进展[J]. *实用老年医学*, 2024, 38(1): 15-17. DOI: 10.3969/j.issn.1003-9198.2024.01.005.
  - Qiu XM, Xiao GH. Research progress of artificial intelligence in falls[J]. *Pract Geriatr*, 2024, 38(1): 15-17. DOI: 10.3969/j.issn.1003-9198.2024.01.005.
  - [56] 焦志全, 毛樑, 吴志勇. 一种基于机器学习算法敏捷开发的跌倒预防与检测系统: CN117958808A[P]. 2024-05-03.
  - Jiao ZQ, Mao L, Wu ZY. A Fall Prevention and Detection System Based on Agile Development of Machine Learning Algorithms: CN117958808A[P]. 2024-05-03.



- [57] 章玉伟,郭德平,李玉友,等.一种基于多传感器的跌倒检测方法及系统:CN118021294A[P]. 2024-05-14. Zhang YW, Guo DP, Li YY, et al. A Fall Detection Method and System Based on Multi-sensor: CN118021294A[P]. 2024-05-14.
- [58] 李兴广,何仁浪,赵屹,等.基于双通道卷积神经网络的卫浴环境下人体跌倒检测方法:CN117796795A[P]. 2024-04-02. Li XG, He RL, Zhao Y, et al. A Human Fall Detection Method in Bathroom Environment Based on Dual-Channel Convolutional Neural Network: CN117796795A[P]. 2024-04-02.
- [59] 李洪,张莉,何梦颖,等.一种基于边云协同计算的跌倒检测系统及方法:CN118252495A[P]. 2024-06-28. Li H, Zhang L, He MY, et al. A Fall Detection System and Method Based on Edge-Cloud Collaborative Computing: CN118252495A[P]. 2024-06-28.
- [60] 张曦月,张楷桔,陈天.一种老年人跌倒预测与运动康复指导系统及其方法:CN117770801A[P]. 2024-03-29. Zhang XY, Zhang KJ, Chen T. A system and method for fall prediction and exercise rehabilitation guidance for elderly individuals: CN117770801A[P]. 2024-03-29.
- [61] Greene BR, McManus K, Redmond SJ, et al. Digital assessment of falls risk, frailty, and mobility impairment using wearable sensors[J]. NPJ Digit Med, 2019, 2: 125. DOI: 10. 1038/s41746-019-0204-z.
- [62] Eichler N, Raz S, Toledano-Shubi A, et al. Automatic and Efficient Fall Risk Assessment Based on Machine Learning[J]. Sensors (Basel), 2022, 22(4): 1557. DOI: 10. 3390/s22041557.
- [63] Beck Jepsen D, Robinson K, Ogliairi G, et al. Predicting falls in older adults: an umbrella review of instruments assessing gait, balance, and functional mobility[J]. BMC Geriatr, 2022, 22(1): 615. DOI: 10. 1186/s12877-022-03271-5.
- [64] Gschwind YJ, Eichberg S, Marston HR, et al. ICT-based system to predict and prevent falls (iStoppFalls): study protocol for an international multicenter randomized controlled trial[J]. BMC Geriatr, 2014, 14: 91. DOI: 10. 1186/1471-2318-14-91.
- [65] Marston HR, Woodbury A, Gschwind YJ, et al. The design of a purpose-built exergame for fall prediction and prevention for older people[J]. Eur Rev Aging Phys Act, 2015, 12: 13. DOI: 10. 1186/s11556-015-0157-4.
- [66] Gschwind YJ, Eichberg S, Ejupi A, et al. ICT-based system to predict and prevent falls (iStoppFalls): results from an international multicenter randomized controlled trial[J]. Eur Rev Aging Phys Act, 2015, 12: 10. DOI: 10. 1186/s11556-015-0155-6.
- [67] Vaziri DD, Aal K, Ogonowski C, et al. Exploring user experience and technology acceptance for a fall prevention system: results from a randomized clinical trial and a living lab[J]. Eur Rev Aging Phys Act, 2016, 13: 6. DOI: 10. 1186/s11556-016-0165-z.
- [68] van Schooten KS, Pijnappels M, Rispens SM, et al. Ambulatory fall-risk assessment: amount and quality of daily-life gait predict falls in older adults[J]. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 2015, 70(5): 608-615. DOI: 10. 1093/gerona/glu225.
- [69] Howcroft J, Lemaire ED, Kofman J. Wearable-Sensor-Based Classification Models of Faller Status in Older Adults[J]. PLoS One, 2016, 11(4): e0153240. DOI: 10. 1371/journal.pone.0153240.
- [70] Brodie MA, Coppens MJ, Ejupi A, et al. Comparison between clinical gait and daily-life gait assessments of fall risk in older people[J]. Geriatr Gerontol Int, 2017, 17(11): 2274-2282. DOI: 10. 1111/ggi. 12979.
- [71] Wu Z, Moradi H, Yang S, et al. Automatic search for photoacoustic marker using automated transrectal ultrasound[J]. Biomed Opt Express, 2023, 14(11): 6016-6030. DOI: 10. 1364/BOE. 501251.
- [72] Saadeh W, Butt SA, Altaf MAB. A Patient-Specific Single Sensor IoT-Based Wearable Fall Prediction and Detection System[J]. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng, 2019, 27(5): 995-1003. DOI: 10. 1109/TNSRE. 2019. 2911602.
- [73] Kiprijanovska I, Gjoreski H, Gams M. Detection of Gait Abnormalities for Fall Risk Assessment Using Wrist-Worn Inertial Sensors and Deep Learning[J]. Sensors (Basel), 2020, 20(18): 5373. DOI: 10. 3390/s20185373.
- [74] Alvarez MN, Ruiz ARJ, Neira GG, et al. Assessing falls in the elderly population using G-STRIDE foot-mounted inertial sensor[J]. Sci Rep, 2023, 13(1): 9208. DOI: 10. 1038/s41598-023-36241-x.
- [75] Rivolta MW, Aktaruzzaman M, Rizzo G, et al. Evaluation of the Tinetti score and fall risk assessment via accelerometry-based movement analysis[J]. Artif Intell Med, 2019, 95: 38-47. DOI: 10. 1016/j.artmed. 2018. 08. 005.
- [76] Moore J, McMeekin P, Parkes T, et al. Contextualizing remote fall risk: Video data capture and implementing ethical AI[J]. NPJ Digit Med, 2024, 7(1): 61. DOI: 10. 1038/s41746-024-01050-7.
- [77] Wang K, Delbaere K, Brodie MAD, et al. Differences Between Gait on Stairs and Flat Surfaces in Relation to Fall Risk and Future Falls[J]. IEEE J Biomed Health Inform, 2017, 21(6): 1479-1486. DOI: 10. 1109/JBHI. 2017. 2677901.
- [78] Pathirana PN, Karunaratne MS, Williams GL, et al. Robust and Accurate Capture of Human Joint Pose Using an Inertial Sensor[J]. IEEE J Transl Eng Health Med, 2018, 6: 2700913. DOI: 10. 1109/JTEHM. 2018. 2877980.
- [79] Doheny EP, Walsh C, Foran T, et al. Falls classification using tri-axial accelerometers during the five-times-sit-to-stand test[J]. Gait Posture, 2013, 38(4): 1021-1025. DOI: 10. 1016/j.gaitpost. 2013. 05. 013.
- [80] Greene BR, Doheny EP, Walsh C, et al. Evaluation of falls risk in community-dwelling older adults using body-worn sensors[J]. Gerontology, 2012, 58(5): 472-480. DOI: 10. 1159/000337259.
- [81] Buisseret F, Catinus L, Grenard R, et al. Timed Up and Go and Six-Minute Walking Tests with Wearable Inertial Sensor: One Step Further for the Prediction of the Risk of Fall in Elderly Nursing Home People[J]. Sensors (Basel), 2020, 20(11): 3207. DOI: 10. 3390/s20113207.
- [82] Greene BR, Premoli I, McManus K, et al. Predicting Fall Counts Using Wearable Sensors: A Novel Digital Biomarker for Parkinson's Disease[J]. Sensors (Basel), 2021, 22(1): 54. DOI: 10. 3390/s22010054.



- [83] Weiss A, Herman T, Giladi N, et al. Objective assessment of fall risk in Parkinson's disease using a body-fixed sensor worn for 3 days[J]. *PLoS One*, 2014, 9 (5): e96675. DOI: 10.1371/journal.pone.0096675.
- [84] Urbanek JK, Roth DL, Karas M, et al. Free-Living Gait Cadence Measured by Wearable Accelerometer; A Promising Alternative to Traditional Measures of Mobility for Assessing Fall Risk[J]. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2023, 78 (5): 802-810. DOI: 10.1093/gerona/glac013.
- [85] Muro-de-la-Herran A, Garcia-Zapirain B, Mendez-Zorrilla A. Gait analysis methods; an overview of wearable and non-wearable systems, highlighting clinical applications[J]. *Sensors(Basel)*, 2014, 14(2): 3362-3394. DOI:10.3390/s140203362.
- [86] Silva de Lima AL, Smits T, Darweesh SKL, et al. Home-based monitoring of falls using wearable sensors in Parkinson's disease[J]. *Mov Disord*, 2020, 35(1):109-115. DOI:10.1002/mds.27830.
- [87] Wang C, Lu W, Redmond SJ, et al. A Low-Power Fall Detector Balancing Sensitivity and False Alarm Rate[J]. *IEEE J Biomed Health Inform*, 2018, 22 (6): 1929-1937. DOI:10.1109/JBHI.2017.2778271.
- [88] Tinetti ME, Liu WL, Claus EB. Predictors and prognosis of inability to get up after falls among elderly persons[J]. *JAMA*, 1993, 269(1):65-70. DOI: 10.1001/jama.1993.03500010075035.
- [89] Vellas B, Cayla F, Bocquet H, et al. Prospective study of restriction of activity in old people after falls[J]. *Age Ageing*, 1987, 16 (3): 189-193. DOI: 10.1093/ageing/16.3.189.
- [90] Fleming J, Brayne C, Cambridge City over-75s Cohort study c. Inability to get up after falling, subsequent time on floor, and summoning help: prospective cohort study in people over 90[J]. *BMJ*, 2008, 337: a2227. DOI:10.1136/bmj.a2227.
- [91] Ziegl A, Hayn D, Kastner P, et al. Quantitative falls risk assessment in elderly people: results from a clinical study with distance based timed up-and-go test recordings[J]. *Physiol Meas*, 2020, 41 (11): 115006. DOI:10.1088/1361-6579/abc352.
- [92] Dubois A, Bihl T, Bresciani JP. Identifying Fall Risk Predictors by Monitoring Daily Activities at Home Using a Depth Sensor Coupled to Machine Learning Algorithms[J]. *Sensors(Basel)*, 2021, 21 (6): 1957. DOI:10.3390/s21061957.
- [93] Zhengming F, Delbruck T, Lichtsteiner P, et al. An address-event fall detector for assisted living applications[J]. *IEEE Trans Biomed Circuits Syst*, 2008, 2 (2): 88-96. DOI: 10.1109/TBCAS.2008.924448.
- [94] de Miguel K, Brunete A, Hernando M, et al. Home Camera-Based Fall Detection System for the Elderly[J]. *Sensors(Basel)*, 2017, 17 (12): 2864. DOI: 10.3390/s17122864.
- [95] Wickramasinghe A, Shinmoto Torres RL, Ranasinghe DC. Recognition of falls using dense sensing in an ambient assisted living environment[J]. *Pervasive and Mobile Computing*, 2017, 34: 14-24. DOI:10.1016/j.pmcj.2016.06.004.
- [96] Usmani S, Saboor A, Haris M, et al. Latest Research Trends in Fall Detection and Prevention Using Machine Learning; A Systematic Review[J]. *Sensors(Basel)*, 2021, 21 (15): 5134. DOI: 10.3390/s21155134.
- [97] World Health Organization. WHO Global Report on falls prevention in older age[R]. Switzerland World Health Organization, 2008.
- [98] Delbaere K, Valenzuela T, Lord SR, et al. E-health StandingTall balance exercise for fall prevention in older people: results of a two year randomised controlled trial[J]. *BMJ*, 2021, 373: n740. DOI: 10.1136/bmj.n740.
- [99] Delbaere K, Valenzuela T, Woodbury A, et al. Evaluating the effectiveness of a home-based exercise programme delivered through a tablet computer for preventing falls in older community-dwelling people over 2 years: study protocol for the Standing Tall randomised controlled trial[J]. *BMJ Open*, 2015, 5 (10): e009173. DOI:10.1136/bmjopen-2015-009173.
- [100] Bajraktari S, Zingmark M, Pettersson B, et al. Reaching Older People With a Digital Fall Prevention Intervention in a Swedish Municipality Context-an Observational Study[J]. *Front Public Health*, 2022, 10: 857652. DOI:10.3389/fpubh.2022.857652.
- [101] Jacobson CL, Foster LC, Arul H, et al. A Digital Health Fall Prevention Program for Older Adults: Feasibility Study[J]. *JMIR Form Res*, 2021, 5 (12): e30558. DOI:10.2196/30558.
- [102] Pettersson B, Lundin-Olsson L, Skelton DA, et al. Effectiveness of a self-managed digital exercise programme to prevent falls in older community-dwelling adults; study protocol for the Safe Step randomised controlled trial[J]. *BMJ Open*, 2020, 10 (5): e036194. DOI:10.1136/bmjopen-2019-036194.
- [103] Bajdek N, Latham NK, Dishaw M, et al. Feasibility of a Multicomponent Digital Fall Prevention Exercise Intervention for At-Risk Older Adults[J]. *J Frailty Aging*, 2024, 13 (4): 349-358. DOI: 10.14283/jfa.2024.35.
- [104] Skjaeret N, Nawaz A, Morat T, et al. Exercise and rehabilitation delivered through exergames in older adults: An integrative review of technologies, safety and efficacy[J]. *Int J Med Inform*, 2016, 85(1): 1-16. DOI:10.1016/j.ijmedinf.2015.10.008.
- [105] Chen Y, Zhang Y, Guo Z, et al. Comparison between the effects of exergame intervention and traditional physical training on improving balance and fall prevention in healthy older adults: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2021, 18 (1): 164. DOI:10.1186/s12984-021-00917-0.
- [106] Lapierre N, Um Din N, Belmin J, et al. Exergame-assisted rehabilitation for preventing falls in older adults at risk: a systematic review and meta-analysis[J]. *Gerontology*, 2023, 69 (6): 757-767. DOI: 10.1159/000528854.
- [107] Ge L, Su TT, An Y, et al. The effectiveness of exergames on fear of falling in community-dwelling older adults: a systematic review[J]. *Aging Ment Health*, 2022, 26 (7): 1306-1317. DOI: 10.1080/13607863.2021.1950615.
- [108] Sturnieks DL, Hicks C, Smith N, et al. Exergame and cognitive training for preventing falls in community-dwelling older people: a randomized controlled trial[J]. *Nat Med*, 2024, 30 (1): 98-105. DOI: 10.1038/s41591-023-02739-0.
- [109] Stanmore EK, Mavroeidi A, de Jong LD, et al. The



- effectiveness and cost-effectiveness of strength and balance Exergames to reduce falls risk for people aged 55 years and older in UK assisted living facilities: a multi-centre, cluster randomised controlled trial[J]. BMC Med, 2019, 17(1): 49. DOI: 10. 1186/s12916-019-1278-9.
- [110] van Santen J, Meiland FJM, Dros RM, et al. Cost-effectiveness of exergaming compared to regular day-care activities in dementia: Results of a randomised controlled trial in the Netherlands [J]. Health Soc Care Community, 2022, 30(5): e1794-e1804. DOI: 10. 1111/hsc. 13608.
- [111] Mirelman A, Rochester L, Reelick M, et al. V-TIME: a treadmill training program augmented by virtual reality to decrease fall risk in older adults; study design of a randomized controlled trial [J]. BMC Neurol, 2013, 13: 15. DOI: 10. 1186/1471-2377-13-15.
- [112] Mirelman A, Rochester L, Maidan I, et al. Addition of a non-immersive virtual reality component to treadmill training to reduce fall risk in older adults (V-TIME): a randomised controlled trial[J]. Lancet, 2016, 388(10050): 1170-1182. DOI: 10. 1016/S0140-6736(16)31325-3.
- [113] Duque G, Boersma D, Loza-Diaz G, et al. Effects of balance training using a virtual-reality system in older fallers[J]. Clin Interv Aging, 2013, 8: 257-263. DOI: 10. 2147/CIA. S41453.
- [114] Phu S, Vogrin S, Al Saedi A, et al. Balance training using virtual reality improves balance and physical performance in older adults at high risk of falls[J]. Clin Interv Aging, 2019, 14: 1567-1577. DOI: 10. 2147/CIA. S220890.
- [115] Ren Y, Lin C, Zhou Q, et al. Effectiveness of virtual reality games in improving physical function, balance and reducing falls in balance-impaired older adults: A systematic review and meta-analysis [J]. Arch Gerontol Geriatr, 2023, 108: 104924. DOI: 10. 1016/j. archger. 2023. 104924.
- [116] Singh DK, Rajaratnam BS, Palaniswamy V, et al. Participating in a virtual reality balance exercise program can reduce risk and fear of falls [J]. Maturitas, 2012, 73(3): 239-243. DOI: 10. 1016/j. maturitas. 2012. 07. 011.
- [117] Kaminska MS, Miller A, Rotter I, et al. The effectiveness of virtual reality training in reducing the risk of falls among elderly people [J]. Clin Interv Aging, 2018, 13: 2329-2338. DOI: 10. 2147/CIA. S183502.
- [118] Zahedian-Nasab N, Jaber A, Shirazi F, et al. Effect of virtual reality exercises on balance and fall in elderly people with fall risk: a randomized controlled trial [J]. BMC Geriatr, 2021, 21(1): 509. DOI: 10. 1186/s12877-021-02462-w.
- [119] Nahum-Shani I, Shaw SD, Carpenter SM, et al. Engagement in digital interventions[J]. Am Psychol, 2022, 77(7): 836-852. DOI: 10. 1037/amp0000983.
- [120] Mazuz K, Biswas S, Lindner U. Developing Self-Management Application of Fall Prevention Among Older Adults: A Content and Usability Evaluation [J]. Front Digit Health, 2020, 2: 11. DOI: 10. 3389/fdgth. 2020. 00011.
- [121] Dreyer RP, Berkowitz A, Yaggi HK, et al. PreScript Digital Therapeutic for Patients with Insomnia (SLEEP-I): a protocol for a pragmatic randomised controlled trial[J]. BMJ Open, 2022, 12(8): e062041. DOI: 10. 1136/bmjopen-2022-062041.
- [122] Sheng Y, Doyle J, Bond R, et al. Home-based digital health technologies for older adults to self-manage multiple chronic conditions: A data-informed analysis of user engagement from a longitudinal trial[J]. Digit Health, 2022, 8: 20552076221125957. DOI: 10. 1177/20552076221125957.
- [123] Silveira P, van de Langenberg R, van Het Reve E, et al. Tablet-based strength-balance training to motivate and improve adherence to exercise in independently living older people: a phase II preclinical exploratory trial[J]. J Med Internet Res, 2013, 15(8): e159. DOI: 10. 2196/jmir. 2579.
- [124] Pettersson B, Wiklund M, Janols R, et al. 'Managing pieces of a personal puzzle'-Older people's experiences of self-management falls prevention exercise guided by a digital program or a booklet[J]. BMC Geriatr, 2019, 19(1): 43. DOI: 10. 1186/s12877-019-1063-9.
- [125] Ambrens M, Stanners M, Valenzuela T, et al. Exploring older adults' experiences of a home-based, technology-driven balance training exercise program designed to reduce fall risk: a qualitative research study within a randomized controlled trial [J]. J Geriatr Phys Ther, 2023, 46(2): 139-148. DOI: 10. 1519/JPT. 0000000000000321.
- [126] Dockx K, Alcock L, Bekkers E, et al. Fall-prone older people's attitudes towards the use of virtual reality technology for fall prevention[J]. Gerontology, 2017, 63(6): 590-598. DOI: 10. 1159/000479085.
- [127] Molina KI, Ricci NA, de Moraes SA, et al. Virtual reality using games for improving physical functioning in older adults: a systematic review[J]. J Neuroeng Rehabil, 2014, 11: 156. DOI: 10. 1186/1743-0003-11-156.
- [128] Syed-Abdul S, Malwade S, Nursetyo AA, et al. Virtual reality among the elderly: a usefulness and acceptance study from Taiwan [J]. BMC Geriatr, 2019, 19(1): 223. DOI: 10. 1186/s12877-019-1218-8.
- [129] Goumopoulos C, Drakakis E, Gklavakis D. Feasibility and Acceptance of Augmented and Virtual Reality Exergames to Train Motor and Cognitive Skills of Elderly[J]. Computers, 2023, 12(3): 52. DOI: 10. 3390/computers12030052.
- [130] Bauer ACM, Andringa G. The potential of immersive virtual reality for cognitive training in elderly[J]. Gerontology, 2020, 66(6): 614-623. DOI: 10. 1159/000509830.
- [131] Baker S, Waycott J, Robertson E, et al. Evaluating the use of interactive virtual reality technology with older adults living in residential aged care[J]. Inf Process Manag, 2020, 57(3): 13. DOI: 10. 1016/j. ipm. 2019. 102105.

(收稿日期: 2025-02-15)

(本文编辑: 周白瑜)

