

# 可穿戴设备干预促进老年人身体活动的 Meta 分析

王锦福, 杨管

<https://doi.org/10.12307/2025.469>

投稿日期: 2024-05-08

采用日期: 2024-07-08

修回日期: 2024-09-01

在线日期: 2024-09-12

中图分类号:

R459.9; R318; R161.7

文章编号:

2095-4344(2025)28-06146-15

文献标识码: A

## 文章快速阅读: Meta 分析可穿戴设备干预对老年人身体活动的影响

### 研究起点:

- 运动生理学
- 可穿戴设备
- 身体活动
- 老年人
- Meta 分析

干预措施: ① 试验组采用可穿戴设备干预, 并且干预持续时间  $\geq 2$  周; ② 对照措施: 采用不同于可穿戴设备的常规干预手段或可穿戴设备设置。

文献检索、筛选纳入 → 最终纳入 43 篇文献 → Meta 分析 → 结论

结局指标: ① 每日步数; ② 中高强度身体活动; ③ 低强度身体活动; ④ 总身体活动; ⑤ 久坐行为。

(1) 可穿戴设备干预在促进老年人每日步数、中高强度身体活动、低强度身体活动和总身体活动方面具有积极作用。

(2) 采用综合干预措施、干预时间  $\leq 12$  周及使用计步器作为干预设备对促进老年人低强度身体活动、总身体活动的效果更佳。

(3) 采用综合干预措施、干预时间  $\leq 12$  周及使用加速度计作为干预设备可能对促进老年人每日步数和中高强度身体活动的效果更为有效。

## 文题释义:

**可穿戴设备:** 应用穿戴式技术对人们日常的穿戴进行智能化配置, 可以用来客观测量用户日常身体活动, 通过监视显示器或合作应用程序提供反馈的便携式设备。

**身体活动:** 以骨骼肌牵引为特征的各种活动。身体活动结果是身体能量的利用和运动功能的参与。

## 摘要

**目的:** 虽然可穿戴设备在促进老年人身体活动方面的潜在效益已得到认可, 但现有研究针对该人群的具体效果尚未进行全面系统的评估。文章旨在系统评价可穿戴设备干预对老年人中高强度身体活动、低强度身体活动、总身体活动、每日步数以及久坐行为等身体活动相关指标的影响。

**方法:** 通过PubMed、EMbase、Scopus、Ovid-Medline、The Cochrane Library、SPORTDiscus、CNKI、维普和万方等数据库检索文献, 搜集关于可穿戴设备干预对老年人身体活动影响的随机对照试验, 检索时限为各数据库建库至2024-03-10。采用Cochrane偏倚风险评估工具对纳入文献进行方法学质量评价, 运用Review Manager 5.2和Stata 12.0软件进行数据合并、亚组分析、森林图绘制、敏感性分析、发表偏倚评价及单因素Meta回归分析。

**结果:** ① 最终纳入43篇文献, 包含5 194个样本量; ② Meta分析结果显示, 可穿戴设备干预对老年人每日步数( $SMD=0.48$ ,  $95\%CI: 0.33-0.62$ ,  $P < 0.000 01$ )、中高强度身体活动( $SMD=0.29$ ,  $95\%CI: 0.20-0.38$ ,  $P < 0.000 01$ )、低强度身体活动( $SMD=0.17$ ,  $95\%CI: 0.02-0.32$ ,  $P=0.03$ )和总身体活动( $SMD=0.15$ ,  $95\%CI: 0.02-0.28$ ,  $P=0.02$ )均有显著的促进效果, 然而对改善老年人久坐行为无明显效果( $SMD=-0.08$ ,  $95\%CI: -0.21-0.05$ ,  $P=0.22$ ); ③ 亚组分析结果显示, 采用综合干预措施、干预时间  $\leq 12$  周及使用计步器作为干预设备对促进老年人低强度身体活动和总身体活动的效果更佳; 采用综合干预措施、干预时间  $\leq 12$  周及使用加速度计为干预设备可能对促进老年人每日步数和中高强度身体活动更有效; ④ Meta回归结果表明, 年龄( $P=0.038$ )和健康状况( $P=0.083$ )是影响每日步数异质性的的重要因素。

**结论:** 当前证据表明, 可穿戴设备干预在促进老年人每日步数、中高强度身体活动、低强度身体活动和总身体活动方面具有积极作用, 建议在设计可穿戴设备干预方案时, 考虑采用综合干预方式、干预时间  $\leq 12$  周并根据干预目标选择合适的设备。尽管如此, 对于减少久坐行为的干预效果尚需更多高质量随机对照试验来进一步验证。

**关键词:** 运动生理学; 可穿戴设备; 每日步数; 中高强度身体活动; 低强度身体活动; 总身体活动; 久坐行为; 老年人; Meta分析

## Meta-analysis of wearable device interventions to promote physical activity in older adults

Wang Jinfu, Yang Guan

School of Physical Education, South China University of Technology, Guangzhou 510641, Guangdong Province, China

Wang Jinfu, Master candidate, School of Physical Education, South China University of Technology, Guangzhou 510641, Guangdong Province, China

**Corresponding author:** Yang Guan, PhD, Associate professor, Master's supervisor, School of Physical Education, South China University of Technology, Guangzhou 510641, Guangdong Province, China

## Abstract

**OBJECTIVE:** Although the potential benefits of wearable devices in enhancing the physical activity levels of the elderly have been recognized, the specific effects of these devices on this population have not yet been comprehensively and systematically assessed. The aim of this article is to systematically evaluate

华南理工大学体育学院, 广东省广州市 510641

第一作者: 王锦福, 男, 2000年生, 广东省佛山市人, 汉族, 华南理工大学在读硕士, 主要从事运动与健康促进相关研究。

通讯作者: 杨管, 博士, 副教授, 硕士生导师, 华南理工大学体育学院, 广东省广州市 510641

<https://orcid.org/0000-0001-6529-5530> (王锦福); <https://orcid.org/0000-0002-9559-247X> (杨管)

基金资助: 广东省哲学社会科学学科共建项目 (GD22XTY01), 项目负责人: 杨管; 广州市哲学社会科学发展规划共建课题

(2023GZGJ327), 项目负责人: 杨管; 广州市科技局一般项目 (2023A04J1822), 项目负责人: 杨管

引用本文: 王锦福, 杨管. 可穿戴设备干预促进老年人身体活动的 Meta 分析 [J]. 中国组织工程研究, 2025, 29(28):6146-6160.



the effect of wearable device interventions on various physical activity-related indicators in the elderly, including moderate-to-vigorous physical activity, low-intensity physical activity, total physical activity, daily step count, and sedentary behavior.

**METHODS:** A literature search was conducted through databases including PubMed, EMBASE, Scopus, Ovid-Medline, The Cochrane Library, SPORTDiscus, CNKI, VIP, and WanFang from inception to March 10, 2024, to collect randomized controlled trials on the effect of wearable device interventions on physical activity in the elderly. The methodological quality of included studies was assessed using the Cochrane Risk of Bias tool. Data synthesis, subgroup analysis, forest plot creation, sensitivity analysis, publication bias assessment, and univariate meta-regression analysis were performed using Review Manager 5.2 and Stata 12.0 software.

**RESULTS:** (1) A total of 43 articles, encompassing 5 194 participants, were included in the final analysis. (2) Meta-analysis results indicated that wearable device interventions significantly enhanced the daily step count ( $SMD=0.48$ ,  $95\%CI: 0.33-0.62$ ,  $P < 0.000 01$ ), moderate-to-vigorous physical activity ( $SMD=0.29$ ,  $95\%CI: 0.20-0.38$ ,  $P < 0.000 01$ ), low-intensity physical activity ( $SMD=0.17$ ,  $95\%CI: 0.02-0.32$ ,  $P=0.03$ ), and total physical activity ( $SMD=0.15$ ,  $95\%CI: 0.02-0.28$ ,  $P=0.02$ ) in the elderly. However, the intervention showed no significant effect on improving sedentary behavior ( $SMD=-0.08$ ,  $95\%CI: -0.21-0.05$ ,  $P=0.22$ ). (3) Subgroup analysis revealed that comprehensive intervention strategies, interventions lasting  $\leq 12$  weeks, and the use of pedometers as intervention devices were more effective in promoting low-intensity physical activity and total physical activity among the elderly. Comprehensive intervention strategies, interventions lasting  $\leq 12$  weeks, and the use of accelerometers as intervention devices might be more effective in enhancing daily step count and moderate-to-vigorous physical activity. (4) Meta-regression results suggested that age ( $P=0.038$ ) and health status ( $P=0.083$ ) could be significant factors influencing heterogeneity in daily step count.

**CONCLUSION:** Current evidence suggests that wearable device interventions have a positive role in promoting daily step count, moderate-to-vigorous physical activity, low-intensity physical activity, and total physical activity in the elderly. It is recommended to consider comprehensive intervention approaches, interventions lasting  $\leq 12$  weeks, and the selection of appropriate devices based on intervention goals when designing wearable device intervention programs. Nevertheless, further high-quality randomized controlled trials are needed to substantiate the effectiveness of interventions aimed at reducing sedentary behavior.

**Key words:** sports physiology; wearable devices; daily step count; moderate-to-vigorous intensity physical activity; low-intensity physical activity; total physical activity; sedentary behavior; older adults; meta-analysis

**Funding:** Guangdong Provincial Philosophy and Social Science Joint Construction Project, No. GD22XTY01 (to YG); Guangzhou City Philosophy and Social Science Joint Construction Topic, No. 2023GZGJ327 (to YG); General Project of Guangzhou City Science and Technology Bureau, No. 2023A04J1822 (to YG)

**How to cite this article:** WANG JF, YANG G. Meta-analysis of wearable device interventions to promote physical activity in older adults. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu*. 2025;29(28):6146-6160.

## 0 引言 Introduction

人口老龄化是全球性的公共卫生挑战, 预计到 2050 年, 全球老年人口将翻一番, 达到约 21 亿<sup>[1]</sup>。老龄化是导致老年人身体功能下降和慢性疾病流行率增加的主要原因, 增加了家庭和社会的经济负担<sup>[2]</sup>, 因此, 促进“健康老龄化”将具有重大的社会和经济意义。虽然定期的身体活动对于维持身体功能和预防慢性疾病至关重要<sup>[3-4]</sup>, 但许多老年人并未达到指南建议的活动水平。在欧洲, 自我报告缺乏身体活动的老年人比例从 5% 到 29% 不等<sup>[5]</sup>, 而在中国这一比例甚至高达约一半以上<sup>[6]</sup>, 因此, 开发有效的干预措施以促进老年人的身体活动显得尤为迫切。近年来, 随着互联网和通信技术的快速发展, 可穿戴设备作为一种新兴干预方式备受关注。

可穿戴设备是指利用穿戴式技术测量并提供用户日常身体活动反馈的一种便携式设备<sup>[7]</sup>。研究表明, 可穿戴设备干预可以提高身体活动水平, 例如 CADMUS-BERRAM 等<sup>[8]</sup> 研究发现, 计步器联合运动指导可以显著增加老年人的每日步数; LYONS 等<sup>[9]</sup> 研究表明, 加速度计干预对老年人每日步数和久坐行为有积极影响。但也有学者发现, 可穿戴设备干预在增加老年人每日步数及改善久坐行为方面并无显

著效果<sup>[10-11]</sup>。因此, 可穿戴设备促进老年人身体活动的有效性仍存争议。虽然, 关于可穿戴设备促进身体活动的 Meta 分析研究成果已有发表, 但这些研究在方法学上存在一些局限, 例如混合了不同的研究设计和干预类型<sup>[12-13]</sup>、访问的数据库数量较少<sup>[14]</sup>、纳入试验数量不足以及仅进行叙述性综述<sup>[12, 14]</sup>; 此外, 这些研究多集中于 60 岁以下或特定健康状况的人群, 一定程度上限制了对老年群体的普适性。

迄今为止, 仅有 2 篇综述探讨了可穿戴设备对 60 岁以上老年人身体活动的影响, 但主要关注每日步数指标<sup>[15-16]</sup>。步数作为评估活动水平的关键指标, 与降低老年人死亡风险密切相关<sup>[17]</sup>, 然而仅凭步数无法全面评估老年人的身体活动状况, 特别是当需要综合考量身体活动的时间和强度时。因此, 探索如总身体活动水平、活动强度和久坐行为等其他健康相关指标变得尤为重要, 这些指标与死亡率和健康结果同样紧密相关<sup>[18-19]</sup>。为了填补现有证据的缺口, 该文采用 Meta 分析方法全面评估了可穿戴设备对老年人中高强度身体活动、低强度身体活动、总身体活动、每日步数和久坐行为的影响, 旨在为今后利用可穿戴设备干预老年人身体活动提供循证医学证据和客观参考依据。

## 1 资料和方法 Data and methods

### 1.1 资料来源

1.1.1 检索者 由第一作者和通讯作者严格按照《PRISMA 2020 声明》独立进行文献检索。

1.1.2 检索数据库 应用计算机检索 PubMed、EMBASE、Scopus、Ovid-Medline、SPORTDiscus、The Cochrane Library、CNKI、维普和万方数据库中的相关文献。

1.1.3 检索词 中文检索词为“可穿戴设备, 可穿戴装置, 计步器, 加速度计, 活动监视器, 身体活动, 体育运动, 运动, 锻炼, 老年人, 老人, 随机对照试验”等。英文检索词为“Accelerometry, Actigraphy, Wearable Electronic Devices, Fitness Trackers, pedometer\*, step count, fitness tracker\*, accelerometer, Fitbit, Exercise, physical activity\*, Physical Exercise\*, Aged, elderly, elderly subject, Randomized Controlled Trial, RCT 等”。

1.1.4 检索时间范围 检索时限均为各数据库建库至 2024-03-10。

1.1.5 文献检索策略 由 2 名研究人员采用主题词结合自由词的方式进行系统检索, 以 PubMed 数据库为例, 见图 1。

1.2 纳入与排除标准 根据 PICOS (Population, Intervention, Comparison,

Outcome, Study design) 原则制定筛选标准。

**1.2.1 纳入标准** ①研究对象:  $\geq 60$  岁老年人(性别和健康状况不限); ②干预措施: 试验组采用可穿戴设备干预, 并且干预持续时间  $\geq 2$  周; ③对照措施: 采用不同于可穿戴设备的常规干预手段或可穿戴设备设盲; ④结局指标: 中高强度身体活动、低强度身体活动、总身体活动、每日步数、久坐行为; ⑤研究设计: 随机对照试验。其中, 涉及含多组研究和多个干预时长的随机对照试验时, 提取离随访时间最近且符合此次研究的数据。

**1.2.2 排除标准** ①质性研究、会议论文、硕士及博士论文、非核心论文合集、文献综述、个案研究、病例报告; ②无法获取全文的文献; ③重复发表的文献; ④文献数据缺失或无法提取, 联系原作者后依旧无法获得原始数据。⑤文献质量评分  $< 3$  分。

**1.3 文献筛选和资料提取** 由第一作者和通讯作者独立根据拟定的纳入和排除标准进行文献初筛后, 根据既定的《数据信息提取表》独立提取资料并交叉核对。如有分歧, 共同讨论解决或咨询相关专家。资料提取的基本信息包括第一作者、发表年份、国家信息、研究对象的类型和年龄、干预措施、干预时间及干预前后结局指标的平均值和标准差。

**1.4 文献质量评估** 由第一作者和通讯作者独立采用 Cochrane 偏倚风险评估工具对文献质量进行评价<sup>[20]</sup>, 主要从随机序列生成、分配隐藏、参与者盲法、评定者盲法、数据不完整、选择性报告和其他偏倚 7 个方面进行, 根据 3 个偏倚风险等级(低风险、高风险和不清楚)进行质量评分, 将纳入文献的质量分为 2 个等级: 5-6 分为高质量文献, 3-4 分为中等质量文献。若存在不同意见, 共同讨论解决或咨询相关专家。

运用 GRADE 系统对纳入研究的证据质量进行分级, 主要从偏倚风险、不一致性、不精确性、间接性和发表偏倚 5 个维度进行评估, 并根据不同的证据等级分为高质量(不降级)、中等质量(降 1 级)、低质量(降 2 级)和极低质量(降 3 级)<sup>[21]</sup>。表 1 展示了文章基于以往研究制定的 GRADE

```
#1 (((((((((((((((((((((((("Accelerometry"[Mesh]) OR "Actigraphy"[Mesh]) OR "Wearable Electronic Devices"[Mesh]) OR "Fitness Trackers"[Mesh]) OR (pedomet*[Title/Abstract]) OR (wearable*[Title/Abstract]) OR (step count*[Title/Abstract]) OR (activity tracker*[Title/Abstract]) OR (fitness tracker*[Title/Abstract]) OR (accelerometer[Title/Abstract]) OR (Fitbit[Title/Abstract]) OR (Garmin[Title/Abstract]) OR (Polar[Title/Abstract]) OR (Wearable[Title/Abstract]) OR (Tracker[Title/Abstract]) OR (Smartwatch[Title/Abstract]) OR (Accelerometer[Title/Abstract]) OR (activity bracelet[Title/Abstract]) OR (activity band[Title/Abstract]) OR (activity monitor*[Title/Abstract]) OR (acceleromet*[Title/Abstract]) OR (fitness monitor*[Title/Abstract]) OR (apple watch[Title/Abstract]) OR (Wearable Technology[Title/Abstract]) OR (Wearable Device[Title/Abstract])))))))

#2 (((((((((((((((((((((((((Exercise[MeSH Terms]) OR (Exercises[Title/Abstract]) OR (physical activit*[Title/Abstract]) OR (walk*[Title/Abstract]) OR (jog*[Title/Abstract]) OR (run*[Title/Abstract]) OR (move*[Title/Abstract]) OR (active lifestyle*[Title/Abstract]) OR (sport*[Title/Abstract]) OR (lifestyle intervention*[Title/Abstract]) OR (resistance training[Title/Abstract]) OR (sedentary behavior[Title/Abstract]) OR (fitness workout[Title/Abstract]) OR (fitness training[Title/Abstract]) OR (exercise training[Title/Abstract]) OR (Physical Exercise*[Title/Abstract]) OR (Aerobic Exercise*[Title/Abstract])))))))

#3 (((((((((((((((((((((((((Aged[MeSH Terms]) OR (elderly[Title/Abstract]) OR (aged patient[Title/Abstract]) OR (aged people[Title/Abstract]) OR (aged person[Title/Abstract]) OR (aged subject[Title/Abstract]) OR (elderly patient[Title/Abstract]) OR (elderly people[Title/Abstract]) OR (sport*[Title/Abstract]) OR (elderly person[Title/Abstract]) OR (elderly subject[Title/Abstract]) OR (senior citizen[Title/Abstract]) OR (senium[Title/Abstract])))))))

#4 (((((((((((((((((((((((((Randomized Controlled Trial[MeSH Terms]) OR (Randomized Controlled Trials as Topic[MeSH Terms]) OR (Radom[Title/Abstract]) OR (RCT[Title/Abstract]) OR (Randomized[Title/Abstract]) OR (randomised[Title/Abstract]) OR (controlled clinical trial[Title/Abstract]) OR (random allocation[Title/Abstract]) OR (randomly[Title/Abstract]) OR (clinical trial*[Title/Abstract]) OR (trial*[Title/Abstract])))))))

#5 #1 AND #2 AND #3 AND #4
```

图 1 | PubMed 数据库检索策略  
Figure 1 | Retrieval strategies of PubMed database

表 1 | 纳入研究的 GRADE 证据质量评估标准  
Table 1 | GRADE quality assessment criteria for included studies

证据质量维度	描述	评估标准	降级标准
偏倚风险	评估研究设计和实施是否可能导致过高或过低的效应估计	未报道恰当的随机序列产生方法; 未描述随机序列的隐藏方法; 未实施盲法或盲法的实施不充分	严重降 1 级; 非常严重降 2 级
不一致性	评估不同研究结果是否相似, 是否存在异质性	统计学异质性过高(如 $I^2 > 50\%$ ); 可信区间(CI)范围很窄或无重叠	严重降 1 级; 非常严重降 2 级
间接性	评估研究结果是否直接回答了系统评价的研究问题	研究人群、干预措施、结局指标与系统评价问题不一致	严重降 1 级; 非常严重降 2 级
不精确性	评估证据是否足够精确, 以支持结论	CI 范围较宽、越过无效线条; 纳入研究样本量少于 400 人	严重降 1 级; 非常严重降 2 级
发表偏倚	评估研究结果的报告是否全面, 是否存在因为统计显著性而导致研究结果被选择性发表的现象	漏斗图明显不对称; 纳入研究数量较少或 Egger 检验发现发表偏倚	严重降 1 级; 非常严重降 2 级

评估标准及证据质量降级的依据<sup>[22]</sup>。

**1.5 结局指标** ①每日步数; ②中高强度身体活动; ③低强度身体活动; ④总身体活动; ⑤久坐行为。

**1.6 统计学分析** 采用 Review Manager 5.2 和 Stata 12.0 软件对纳入的数据进行统计学处理。为综合评价干预效果, 计算了每个研究组基线至干预后结局指标的平均值和标准差的变化。对于原始研究未直接提供平均值和标准差的情况, 通过联系作者获取, 或根据 Cochrane 推荐的方法进行推算。若原始研究仅报告中位数、范围、四分位数间距和标准误差时, 则采用 WAN 等<sup>[23]</sup>提出的计算公式近似估算平均值和标准差。鉴于文章纳入的数据均为连续性变量, 并且存在度量衡单位不完全一致的情况, 故选择标准化均

数差 (Standardized Mean Difference, SMD) 为效应分析统计量和 95% 可信区间 (Confidence Interval, CI) 为效应尺度。同时, 考虑到大多数纳入研究的样本量较小, 使用 Hedges'g 来计算 SMD, 并对小样本偏差进行了校正。效应量的大小根据 SMD 值分为 4 个等级: SMD  $< 0.2$  时为微小效应量,  $0.2 \leq SMD < 0.5$  为小效应量,  $0.5 \leq SMD < 0.8$  为中等效应量, SMD  $\geq 0.8$  为大效应量。

为了更好地转移到当前体育活动指南, 研究依照 BRICKWOOD 等<sup>[24]</sup>的做法对部分数据做了以下调整: ①将以每天中高强度身体活动分钟数表示的数据乘以 7, 以计算每周中高强度身体活动的分钟数; ②将每天久坐行为以小

时数表示的数据乘以 60 得出每天久坐分钟数。当检验水准为  $P < 0.05$  时,提示干预组和对照组之间存在显著性差异,证明 Meta 分析有统计学意义。采用  $I^2$  定量分析研究间的异质性大小,当  $P > 0.1$  且  $I^2 < 50\%$  时认为各研究间同质性较好,采用固定效应模型;否则采用随机效应模型<sup>[25]</sup>,并进行亚组分析和单因素 Meta 回归寻找异质性来源。通过漏斗图法和 Egger 检验对各项研究中可能存在的发表偏倚进行评估,若漏斗图大致对称或 Egger 检验的  $P > 0.05$  时,认为研究间不存在显著的发表偏倚;反之,则表明可能存在发表偏倚。采用留一法 (Leave-One-Out) 进行敏感性分析,以验证合并效应量的稳定性和评估单个研究对整体估计值的影响。

采用 Cohen's kappa 方法检验 2 位评价者在文献纳入与排除、质量评价和数据提取中的一致性。根据 Cohen's kappa 系数,一致性被划分为 3 个等级:当系数  $\leq 0.60$  时表示一致性较差,系数在 0.61–0.80 之间时为中等程度的一致性,系数  $\geq 0.81$  时则认为一致性较好<sup>[26]</sup>。该研究统计学方法已经过华南理工大学生物统计学专家核实。

## 2 结果 Results

**2.1 文献检索结果** 通过各个数据库检索共获得文献 15 390 篇,同时通过文献追溯补充文献 1 篇,共计 15 391 篇。剔除重复文献后剩余 8 518 篇文献,进一步阅读标题和摘要,排除不相关文献 8 265 篇。对剩余的 253 篇文献进行全文阅读复筛,最终纳入 43 篇文献进行 Meta 分析<sup>[8-11, 27-65]</sup>,文献筛选流程见图 2。Cohen's kappa 检验表明,2 位评价者在文献纳入与排除中具有较好一致性, Cohen's kappa 系数为 0.89。

**2.2 纳入研究的基本特征** 所纳入的 43 项研究发表于 2004–2022 年间,来自澳大利亚、荷兰、美国、中国、比利时等国家,共涉及 5 194 例参与者,其中试验组 2 701 例,对照组 2 493 例。纳入研究的基本特征见表 2。

**2.3 文献质量评价结果** 纳入的 43 项研究均对参与者的基线情况进行报道,均提及“随机分配”,其

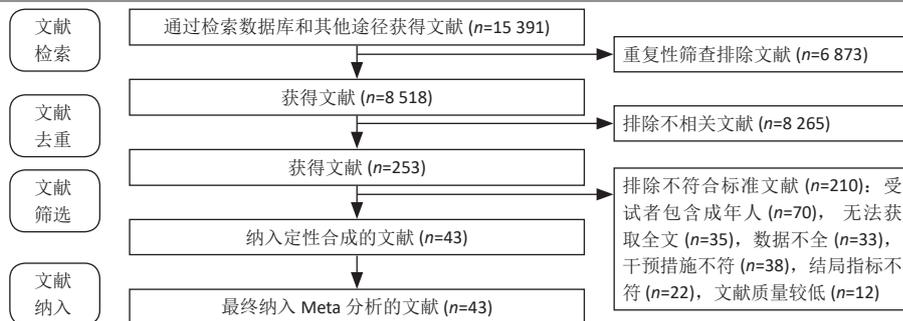


图 2 | 文献筛选流程情况

Figure 2 | Literature screening process status

中 39 项研究报告具体的随机方法 (包括计算机生成的随机数字、信封)<sup>[8-10, 27-33, 35-38, 40-62, 64-65]</sup>, 23 项研究描述具体的分配隐藏方案<sup>[8-9, 11, 27, 29-30, 32-33, 35, 37, 42-43, 45-47, 49-51, 54, 57, 61-62, 64]</sup>, 11 项研究对受试者实施盲法<sup>[27, 33-34, 38-39, 42-43, 46, 50-51, 59]</sup>, 9 项研究对试验人员和结果评估人员实施盲法<sup>[10-11, 35, 37, 43, 50, 52-53, 57]</sup>, 28 项研究数据报告完整<sup>[27-28, 31-35, 38-42, 44, 46-48, 50, 52-53, 55-56, 58-60, 62-65]</sup>, 均对缺失结果数据或缺失原因进行描述, 42 项研究均无失实报道<sup>[8-11, 27-65]</sup>。根据 Cochrane 偏倚风险评估工具的文献质量评分, 9 项研究为高质量文献<sup>[27, 32-33, 35, 42-43, 46, 50, 62]</sup>, 34 项研究为中等质量文献<sup>[8-11, 28-31, 34, 36-41, 44-45, 47-49, 51-61, 63-65]</sup>, 见图 3, 4。Cohen's kappa 检验表明, 2 位评价者在文献质量评价结果上具有较好一致性, Cohen's kappa 系数为 0.84。

表 3 显示了可穿戴设备干预对老年人每日步数、中高强度身体活动、低强度身体活动、总身体活动和久坐行为的 GRADE 证据质量评价结果。所有指标由于存在不良偏倚风险, 如未采用盲法或盲法的实施不充分, 因此证据被降一级。每日步数由于异质性较大, 因此证据再降一级。久坐行为由于存在严重的不精确性, 如置信区间过宽, 因此证据再降一级。最终, 每日步数、中高强度身体活动、低强度身体活动、总身体活动和久坐行为的证据质量分别为低、中等、中等、中等和低。Cohen's kappa 检验表明, 2 位评价者在证据质量评价上一致性较好, Cohen's kappa 系数为 0.85。

### 2.4 Meta 分析结果

**2.4.1 两组中高强度身体活动差异的 Meta 分析结果** 从图 5 可

知, 15 项研究报告了可穿戴设备对老年人中高强度身体活动的影响<sup>[8, 27, 30, 33, 37, 42-44, 47-52, 62]</sup>, 各研究间统计学异质性较小 ( $I^2=20\%$ ,  $P=0.23$ ), 故采用固定效应模型进行分析。结果显示, 两组间中高强度身体活动水平相比差异有显著性意义 ( $SMD=0.29$ ,  $95\%CI: 0.20-0.38$ ,  $P < 0.000 01$ ), 提示可穿戴设备干预能够促进老年人的中高强度身体活动水平。

**2.4.2 两组每日步数差异的 Meta 分析结果** 从图 6 中可见, 35 项研究报告了可穿戴设备对老年人每日步数的影响<sup>[8-9, 27, 29-35, 37-42, 44-46, 49-57, 59-65]</sup>, 各研究间统计学异质性较大 ( $I^2=72\%$ ,  $P < 0.000 01$ ), 故采用随机效应模型进行分析。结果显示, 两组间每日步数相比差异有显著性意义 ( $SMD=0.48$ ,  $95\%CI: 0.33-0.62$ ,  $P < 0.000 01$ ), 提示可穿戴设备干预能够有效提高老年人的每日步数。

**2.4.3 两组低强度身体活动差异的 Meta 分析结果** 在图 7 中, 6 项研究报告了可穿戴设备对老年人低强度身体活动的影响<sup>[28, 38, 43, 47, 51-52]</sup>, 各研究间异质性较小 ( $I^2=21\%$ ,  $P=0.27$ ), 故采用固定效应模型进行分析。结果显示, 两组间低强度身体活动水平相比差异有显著性意义 ( $SMD=0.17$ ,  $95\%CI: 0.02-0.32$ ,  $P=0.03$ ), 提示可穿戴设备干预能够有效促进老年人的低强度身体活动水平。

**2.4.4 两组总身体活动差异的 Meta 分析结果** 由图 8 可知, 8 项研究报告了可穿戴设备对老年人总身体活动的影响<sup>[8, 29, 33, 36, 47, 52, 55, 65]</sup>, 各研究间异质性较小 ( $I^2=48\%$ ,  $P=0.06$ ), 故采用固定效应模型进行分析。结果显示, 两组间总身体活动水平相比差异有显著性意义 ( $SMD=0.15$ ,  $95\%CI:$

表 2 | 纳入文献的基线特征

Table 2 | Baseline characteristics of the included literature

研究者 (发表年份)	国家	研究对象	研究对象			干预措施	干预 结局指 时间 标	研究 质量
			类型	年龄 (岁)	样本量			
ASHE 等 <sup>[27]</sup> (2015 年)	加拿大	健康老年人	试验组: 64.8±4.6, 对照组: 63.1±4.8	试验组 12 例, 对照组 8 例	试验组 0/12, 对照组 0/8	试验组: Fitbit 活动追踪器 <sup>a</sup> + 团体教育 + 社会支持, 对照组: 教育课程	24 周 ①③	5
BLAIR 等 <sup>[28]</sup> (2021 年)	美国	癌症幸存者	试验组: 169.6±4.5, 试验组 2: 69.1±4.0, 对照组: 70.2±5.9	试验组 1 18 例, 试验组 2 18 例, 对照组 18 例	试验组 1 110/8, 试验组 2 6/12, 对照组 8/10	试验组 1: Jawbone UP2 活动监视器 <sup>a</sup> + 应用程序, 试验组 2: Jawbone UP2 活动监视器 <sup>a</sup> + 应用程序 + 电话支持, 对照组: 空白	13 周 ②④	3
BRICKWOOD 等 <sup>[29]</sup> (2021 年)	澳大利亚	健康老年人	试验组: 72.3±7.0, 对照组: 71.9±6.0	试验组 37 例, 对照组 42 例	试验组 13/24, 对照组 13/29	试验组: 商业活动追踪器 <sup>a</sup> + 短信反馈, 对照组: 常规护理	48 周 ①⑤	3
CADMUS-BERTRAM 等 <sup>[8]</sup> (2013 年)	美国	超重或肥胖女性	试验组: 61.2±5.6, 对照组: 60.2±5.9	试验组 33 例, 对照组 17 例	试验组 0/33, 对照组 0/17	试验组: 计步器 + 目标设定 + 电话支持, 对照组: 膳食指南	12 周 ①③⑤	3
CHRISTIANSEN 等 <sup>[30]</sup> (2020 年)	美国	骨关节炎患者	试验组: 66.5±6.9, 对照组: 67.5±7.2	试验组 20 例, 对照组 23 例	试验组 12/8, 对照组 8/15	试验组: Fitbit 活动追踪器 <sup>a</sup> + 目标设定 + 电话跟进 + 门诊物理治疗, 对照组: 膝关节康复指南 + 门诊治疗	24 周 ①③	3
CROTEAU 等 <sup>[31]</sup> (2004 年)	美国	健康老年人	试验组: 78.0±7.5, 对照组: 83.0±6.7	试验组 7 例, 对照组 8 例	试验组 1/6, 对照组 0/8	试验组: 计步器 + 咨询课程 + 目标设定, 对照组: 空白	4 周 ①	3
CROTEAU 等 <sup>[32]</sup> (2007 年)	美国	健康老年人	试验组: 74.0±9.1, 对照组: 71.2±8.2	试验组 95 例, 对照组 84 例	-	试验组: 计步器 + 目标设定 + 小组会议, 对照组: 空白	12 周 ①	5
CRUZ 等 <sup>[33]</sup> (2016 年)	葡萄牙	慢阻肺老年人	试验组: 68.8±8.2, 对照组: 64.1±8.2	试验组 16 例, 对照组 16 例	试验组 13/3, 对照组 14/2	试验组: 压电计步器 + 社会支持 + 教育课程 + 电话支持, 对照组: 运动训练 + 社会支持 + 教育课程	24 周 ①②	5
DE BLOK 等 <sup>[34]</sup> (2006 年)	荷兰	慢阻肺老年人	试验组: 65.7±10.4, 对照组: 62.5±12.3	试验组 10 例, 对照组 11 例	试验组 5/5, 对照组 4/7	试验组: 计步器 + 目标设定 + 康复治疗, 对照组: 康复治疗	9 周 ①	3
DEMEYER 等 <sup>[35]</sup> (2017 年)	比利时	慢阻肺老年人	试验组: 66, 对照组: 67	试验组 171 例, 对照组 172 例	试验组 111/60, 对照组 108/64	试验组: 计步器 + 面对面访谈 + 移动应用程序 + 短信建议, 对照组: 常规护理	12 周 ①	5
GOLSTEIJN 等 <sup>[36]</sup> (2018 年)	荷兰	前列腺癌和结肠直肠癌老年人	试验组: 66.6±7.1, 对照组: 66.4±8.2	试验组 208 例, 对照组 211 例	试验组 171/37, 对照组 186/25	试验组: 计步器 + 网站, 对照组: 常规护理	24 周 ⑤	3
HARRIS 等 <sup>[37]</sup> (2015 年)	英国	健康老年人	-	试验组 150 例, 对照组 149 例	试验组 69/79, 对照组 69/81	试验组: 计步器 + 执业护士咨询 + 患者手册 + 步行计划, 对照组: 常规护理	48 周 ①③	4
HIRASE 等 <sup>[38]</sup> (2022 年)	日本	健康老年人	试验组: 72.2±5.6, 对照组: 72.8±5.6	试验组 40 例, 对照组 39 例	试验组 23/27, 对照组 22/27	试验组: 计步器 + 运动训练, 对照组: 运动训练	24 周 ①④	4
HOSPES 等 <sup>[39]</sup> (2009 年)	荷兰	慢阻肺老年人	试验组: 63.1±8.3, 对照组: 61.2±9.1	试验组 18 例, 对照组 17 例	试验组 10/8, 对照组 11/6	试验组: 计步器 + 运动咨询计划, 对照组: 常规护理	12 周 ①	3
HUEBSCHMANN 等 <sup>[40]</sup> (2022 年)	美国	2 型糖尿病老年人	试验组: 65.5±7.6, 对照组: 66.5±7.1	试验组 28 例, 对照组 22 例	试验组 15/13, 对照组 9/13	试验组: Fitbit 活动追踪器 <sup>a</sup> + 身体活动辅助电话 + 面对面访问 + 日记, 对照组: 常规护理	12 周 ①	3
KAREN 等 <sup>[41]</sup> (2014 年)	荷兰	健康老年人	试验组: 78.0±7.7, 对照组: 83.0±6.7	试验组 7 例, 对照组 8 例	试验组 1/6, 对照组 0/8	试验组: 计步器 + 小组会议, 对照组: 空白	4 周 ①	4
KENFIELD 等 <sup>[42]</sup> (2019 年)	美国	前列腺癌患者	试验组: 66.0±5.2, 对照组: 65.0±6.7	试验组 37 例, 对照组 39 例	试验组 37/0, 对照组 39/0	试验组: Fitbit One 活动追踪器 <sup>a</sup> + 目标设定 + 网站 + 短信, 对照组: 常规护理	12 周 ①③	5
KERR 等 <sup>[43]</sup> (2018 年)	美国	健康老年人	试验组: 81.9±5.9, 对照组: 85.3±6.5	试验组 151 例, 对照组 156 例	试验组 40/111, 对照组 46/110	试验组: 计步器 + 目标设定 + 电话咨询 + 小组教育课程 + 同伴支持, 对照组: 小组教育课程 + 电话支持	48 周 ③④	5
KOHLBRENNER 等 <sup>[44]</sup> (2020 年)	瑞士	重度慢阻肺老年人	试验组: 64.4±9.4, 对照组: 67.1±8.5	试验组 37 例, 对照组 37 例	试验组 23/14, 对照组 27/10	试验组: 计步器 + 目标设定 + 电话咨询, 对照组: 常规护理	48 周 ①	3
KOIZUMI 等 <sup>[45]</sup> (2009 年)	日本	健康老年人	试验组: 66.0±4.0, 对照组: 67.0±4.0	试验组 34 例, 对照组 34 例	试验组 0/34, 对照组 0/34	试验组: Kenz Lifecorder 加速度计 + 小组教育, 对照组: 空白	12 周 ①③	4
LARA 等 <sup>[46]</sup> (2016 年)	英国	健康老年人	试验组: 60.9±3.4, 对照组: 62.0±3.9	试验组 50 例, 对照组 25 例	试验组 12/38, 对照组 6/19	试验组: 计步器 + 网站 + 日记, 对照组: 常规护理	8 周 ①	5
LESKINEN 等 <sup>[47]</sup> (2021 年)	芬兰	健康老年人	试验组: 65.2±1.0, 对照组: 65.2±1.1	试验组 117 例, 对照组 114 例	试验组 21/96, 对照组 19/95	试验组: Polar Loop 2 活动追踪器 <sup>a</sup> + 目标设定, 对照组: 空白	48 周 ③④⑤	4
LEWIS 等 <sup>[48]</sup> (2020 年)	美国	超重或肥胖老年人	-	试验组 20 例, 对照组 20 例	-	试验组: 计步器 + 运动处方 + 活动咨询, 对照组: 常规护理	12 周 ③	4
LI 等 <sup>[49]</sup> (2020 年)	加拿大	骨关节炎老年人	试验组: 65.0±8.0, 对照组: 64.8±9.0	试验组 26 例, 对照组 25 例	试验组 3/23, 对照组 6/19	试验组: Fitbit <sup>+</sup> 面对面会议 + 电话咨询, 对照组: 空白	12 周 ①②③	3
LIU 等 <sup>[50]</sup> (2021 年)	中国	虚弱老年人	试验组: 72.1±3.7, 对照组: 80.4±6.8	试验组 22 例, 对照组 18 例	试验组 5/17, 对照组 1/17	试验组: 商业追踪器 <sup>a</sup> + 面对面会议 + 电话会议 + 体能训练, 对照组: 体能训练	14 周 ①③	6
LYNCH 等 <sup>[51]</sup> (2019 年)	澳大利亚	I - III 期乳腺癌患者	试验组: 61.3±5.9, 对照组: 61.9±7.0	试验组 43 例, 对照组 40 例	试验组 0/43, 对照组 0/40	试验组: Garmin Vivofit 2 活动监视器 <sup>a</sup> + 电话咨询, 对照组: 空白	12 周 ①②	4
LYONS 等 <sup>[9]</sup> (2017 年)	美国	健康老年人	试验组: 61.3±5.0, 对照组: 61.7±6.3	试验组 20 例, 对照组 20 例	试验组 3/17, 对照组 3/17	试验组: Jawbone Up24 监视器 <sup>a</sup> + 移动应用程序 + 电话咨询, 对照组: 空白	12 周 ①②	3
MACKEY 等 <sup>[52]</sup> (2019 年)	加拿大	健康男性老年人	试验组: 71.8±6.5, 对照组: 72.0±6.9	试验组 29 例, 对照组 29 例	试验组 29/0, 对照组 29/0	试验组: 计步器 + 小组激励会议 + 一对一咨询 + 培训 + 活动日记 + 电话支持 + 奖励, 对照组: 空白	12 周 ①②③④⑤	4
MENDOZA 等 <sup>[53]</sup> (2015 年)	智利	慢阻肺老年人	试验组: 68.9±9.5, 对照组: 68.4±7.5	试验组 52 例, 对照组 50 例	试验组 29/23, 对照组 33/17	试验组: Tanita PD724 三轴计步器 + 日记, 对照组: 门诊治疗 + 日记	12 周 ①	4
MUTRIE 等 <sup>[54]</sup> (2012 年)	英国	健康老年人	试验组: 71.6±6.0, 对照组: 70.0±4.3	试验组 20 例, 对照组 21 例	试验组 7/13, 对照组 6/15	试验组: 计步器 + 步行计划 + 体育活动咨询, 对照组: 常规护理	12 周 ①	3

续表 2

研究者	国家	研究对象	研究设计			干预措施	干预时间	结局指标	研究质量
			类型	年龄 (岁)	样本量				
MIYAMOTO 等 <sup>[55]</sup> (2017 年)	日本	糖尿病老年人	试验组: 60.0±3.1, 对照组: 60.2±3.0	试验组 12 例, 对照组 10 例	试验组 9/3, 对照组 8/2	试验组: 三轴加速度计+视觉反馈, 对照组: 空白	12 周	⑤	3
NISHIGUCHI 等 <sup>[56]</sup> (2015 年)	日本	健康老年人	试验组: 73.0±4.8, 对照组: 73.5±5.6	试验组 24 例, 对照组 24 例	试验组 13/11, 对照组 13/11	试验组: 计步器+集体训练+反馈, 对照组: 空白	12 周	①	3
NOLAN 等 <sup>[40]</sup> (2017 年)	英国	慢阻肺老年人	试验组: 69.9±9.0, 对照组: 68.0±8.0	试验组 76 例, 对照组 76 例	试验组 56/20, 对照组 54/22	试验组: 计步器++常规护理+门诊计划, 对照组: 常规护理	8 周	①	3
OLIVEIRA 等 <sup>[57]</sup> (2019 年)	澳大利亚	健康老年人	试验组: 71.0±6.0, 对照组: 72.0±7.0	试验组 64 例, 对照组 67 例	试验组 28/43, 对照组 22/50	试验组: 计步器+物理治疗师访问+电话健康指导+跌倒预防手册, 对照组: 跌倒预防手册	48 周	①	4
PEACOCK 等 <sup>[11]</sup> (2020 年)	英国	慢性病老年人	试验组: 64.0±6.0, 对照组: 63.0±6.0	试验组 134 例, 对照组 70 例	试验组 86/48, 对照组 45/25	试验组: 商用活动监视器+移动应用程序+面对面健康培训, 对照组: 体育活动指南	48 周	②	3
PETERSEN 等 <sup>[58]</sup> (2012 年)	丹麦	健康老年人	-	试验组 192 例, 对照组 173 例	-	试验组: 计步器+目标设定, 对照组: 空白	12 周	②	3
ROBINSON 等 <sup>[59]</sup> (2021 年)	美国	慢阻肺老年人	试验组: 69.2±7.2, 对照组: 70.4±7.3	试验组 75 例, 对照组 78 例	试验组 70/5, 对照组 72/6	试验组: 计步器+口头鼓励+教育手册+反馈, 对照组: 常规护理	24 周	①	4
ROWLEY 等 <sup>[60]</sup> (2021 年)	美国	健康老年人	试验组: 68.3±7.1, 对照组: 66.1±4.9	试验组 62 例, 对照组 51 例	试验组 13/49, 对照组 11/40	试验组: 计步器+网络咨询, 对照组: 空白	12 周	①	4
ROSSEN 等 <sup>[61]</sup> (2021 年)	瑞士	糖尿病老年人	试验组 1: 65.1±7.3, 试验组 2: 64.2±6.8, 对照组: 63.1±8.7	试验组 159 例, 试验组 264 例, 对照组 65 例	试验组 135/24, 试验组 236/28, 对照组 41/24	试验组 1: 计步器+网站, 试验组 2: 计步器+网站+小组和面对面咨询, 对照组: 常规护理	48 周	①	3
HARRIS 等 <sup>[62]</sup> (2017 年)	美国	健康老年人	-	试验组 339 例, 对照组 338 例	试验组 124/215, 对照组 115/223	试验组: 计步器+护士支持+日记, 对照组: 常规护理	12 周	①③	5
VARAS 等 <sup>[63]</sup> (2018 年)	西班牙	慢阻肺老年人	试验组: 69.5±7.4, 对照组: 64.8±9.1	试验组 21 例, 对照组 19 例	试验组 18/3, 对照组 13/6	试验组: 计步器+运动训练+电话检查, 对照组: 空白	48 周	①	4
YATES 等 <sup>[64]</sup> (2009 年)	英国	糖耐量受损患者	试验组: 65.0±10.0, 对照组: 64.0±7.0	试验组 29 例, 对照组 29 例	试验组 20/9, 对照组 17/12	试验组: 计步器+目标设定+小组教育计划, 对照组: 常规护理	48 周	①	4
YATES 等 <sup>[65]</sup> (2010 年)	英国	糖耐量受损患者	试验组: 65.0±8.0, 对照组: 64.0±7.0	试验组 24 例, 对照组 26 例	试验组 16/8, 对照组 17/9	试验组: 计步器+小组教育, 对照组: 常规护理	48 周	①⑤	3

表注: ①代表每日步数; ②代表久坐行为; ③代表中高强度身体活动; ④代表低强度身体活动; ⑤代表总身体活动; - 说明未报告; a 代表加速度计。

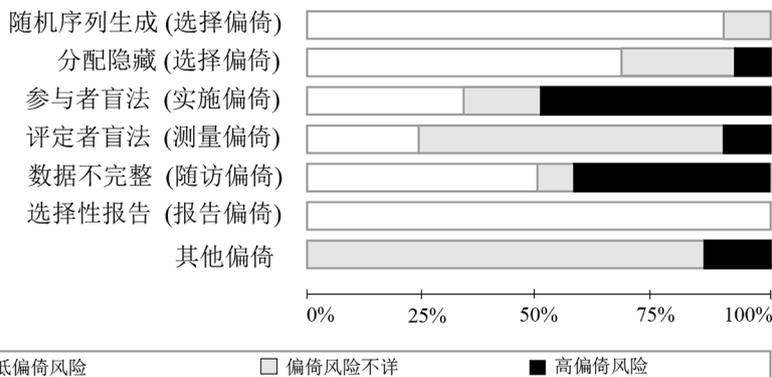


图 3 | 纳入文献风险偏倚评估百分比

Figure 3 | Percentage of risk of bias assessment of included literature

研究者	随机序列生成	分配隐藏	参与者盲法	评定者盲法	数据不完整	选择性报告	其他偏倚
Ashe 2015	+	+	+	+	+	+	+
Blair 2021	+	+	+	+	+	+	+
Brickwood 2021	+	+	+	+	+	+	+
Cadmus-Bertram 2013	+	+	+	+	+	+	+
Christiansen 2020	+	+	+	+	+	+	+
Crozeau 2004	+	+	+	+	+	+	+
Crozeau 2007	+	+	+	+	+	+	+
Cruz 2016	+	+	+	+	+	+	+
De Blok 2006	+	+	+	+	+	+	+
Demeyer 2017	+	+	+	+	+	+	+
Golshejn 2018	+	+	+	+	+	+	+
Harris 2015	+	+	+	+	+	+	+
Hirase 2022	+	+	+	+	+	+	+
Hospes 2009	+	+	+	+	+	+	+
Huebschmann 2022	+	+	+	+	+	+	+
Karen 2004	+	+	+	+	+	+	+
Kenfield 2019	+	+	+	+	+	+	+
Kerr 2018	+	+	+	+	+	+	+
Koizumi 2009	+	+	+	+	+	+	+
Kohlmeier 2020	+	+	+	+	+	+	+
Lara 2016	+	+	+	+	+	+	+
Leskinen 2021	+	+	+	+	+	+	+
Lewis 2020	+	+	+	+	+	+	+
Li 2020	+	+	+	+	+	+	+
Liu 2021	+	+	+	+	+	+	+
Lynch 2019	+	+	+	+	+	+	+
Lyonne 2017	+	+	+	+	+	+	+
Mackey 2019	+	+	+	+	+	+	+
Mendoza 2015	+	+	+	+	+	+	+
Muirie 2012	+	+	+	+	+	+	+
Miyamoto 2017	+	+	+	+	+	+	+
Nishiguchi 2015	+	+	+	+	+	+	+
Nobin 2017	+	+	+	+	+	+	+
Oliveira 2019	+	+	+	+	+	+	+
Peacock 2020	+	+	+	+	+	+	+
Petersen 2012	+	+	+	+	+	+	+
Rossman 2021	+	+	+	+	+	+	+
Rosson 2021	+	+	+	+	+	+	+
Tess Harris 2017	+	+	+	+	+	+	+
Varas 2018	+	+	+	+	+	+	+
Yates 2009	+	+	+	+	+	+	+
Yates 2010	+	+	+	+	+	+	+

图注: “+”代表低偏倚风险, “-”代表高偏倚风险, “?”代表不清楚偏倚风险。

图 4 | 纳入文献风险偏倚评估概况

Figure 4 | Risk of bias assessment of the included literature

0.02-0.28,  $P=0.02$ ), 提示可穿戴设备干预可促进老年人总身体活动水平。

2.4.5 两组久坐行为差异的 Meta 分析结果 在图 9 中, 8 项研究报告了可穿戴设备对老年人久坐行为的影响<sup>[9, 11, 28, 33, 49, 51-52, 58]</sup>, 各研究间异质性较小 ( $I^2=27%$ ,  $P=0.21$ ), 故采用固定效应模型进行分析。结果显示, 试验组在减少久坐行为方面与对照组相比差异无显著性意义 ( $SMD=-0.08$ ,  $95\%CI: -0.21-0.05$ ,  $P=0.22$ )。

2.5 亚组分析结果 为进一步探究可穿戴设备对老年人身体活动表现的最佳设计策略, 根据已有相关研究, 选择干预措施、干预时间以及可穿戴设备的传感器类型<sup>[24, 66]</sup>, 对老年人中高强度身体活动、低强度身体活动、总身体活动和每日步数 4 个身体活动指标进行亚组分析, 而久坐行为由于所有亚组结果均无显著意义, 因此没有进行深入分析。

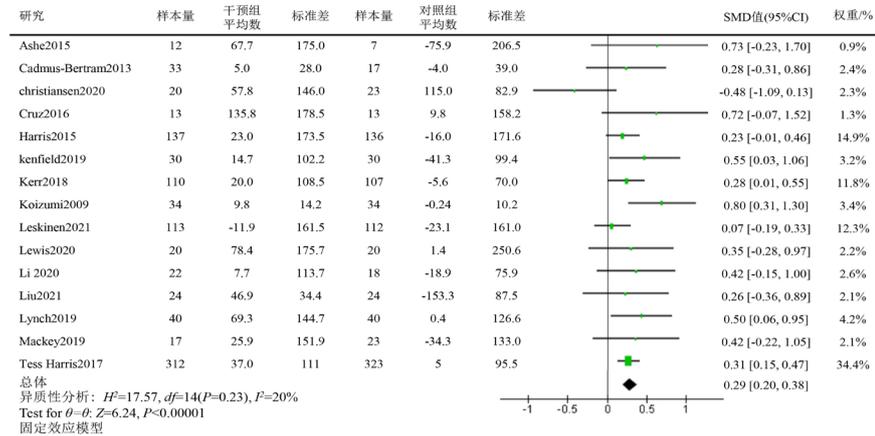
2.5.1 两组中高强度身体活动差异的亚组 Meta 分析结果 将干预措施分为综合干预和单一干预 2 个亚组。综合干预定义为可穿戴设备作为联合人工

表 3 | 纳入研究证据的 GRADE 质量评价结果

Table 3 | Results of the GRADE quality assessment of evidence from included studies

结局指标	质量评估					受试者数量		SMD(95%CI)	证据质量
	偏倚风险	不一致性	间接性	不精确性	发表偏倚	干预组	对照组		
每日步数	降 1 级 <sup>a</sup>	降 1 级 <sup>b</sup>	不降级	不降级	不降级	1 659	1 600	0.48(0.33-0.62)	低
久坐行为	降 1 级 <sup>a</sup>	不降级	不降级	降 1 级 <sup>c</sup>	不降级	459	428	-0.08(0.21-0.05)	低
中高强度身体活动	降 1 级 <sup>a</sup>	不降级	不降级	不降级	不降级	937	927	0.29(0.20-0.38)	中等
低强度身体活动	降 1 级 <sup>a</sup>	不降级	不降级	不降级	不降级	355	337	0.17(0.02-0.32)	中等
总身体活动	降 1 级 <sup>a</sup>	不降级	不降级	不降级	不降级	456	453	0.15(0.02-0.28)	中等

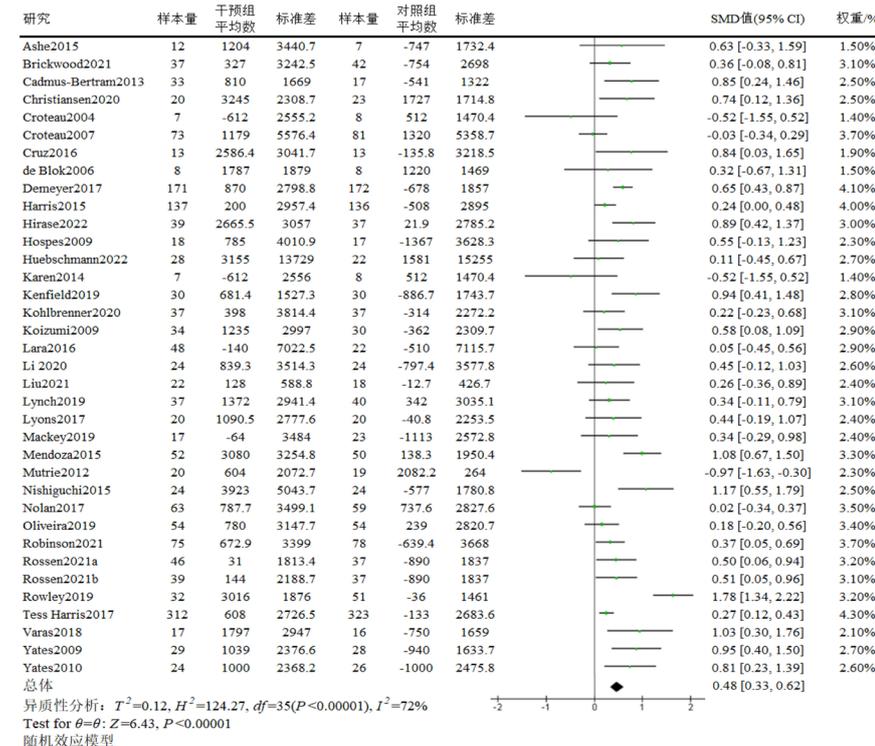
表注: a 表示未采用盲法或盲法的实施不充分; b 表示异质性较大; c 表示置信区间较宽。



图注: 试验组采用可穿戴设备干预, 对照组采用不同于可穿戴设备的常规干预手段或可穿戴设备设盲。试验组中高强度身体活动的促进效果显著优于对照组 (SMD=0.29, 95%CI: 0.20-0.38, P<0.000 01)。

图 5 | 可穿戴设备干预对老年人中高强度身体活动影响效果的 Meta 分析森林图

Figure 5 | Meta-analysis forest plot of the effect of wearable device interventions on moderate-to-vigorous intensity physical activity



图注: 试验组采用可穿戴设备干预, 对照组采用不同于可穿戴设备的常规干预手段或可穿戴设备设盲。试验组每日步数的促进效果显著优于对照组 (SMD=0.48, 95%CI: 0.33-0.62, P<0.000 01)。

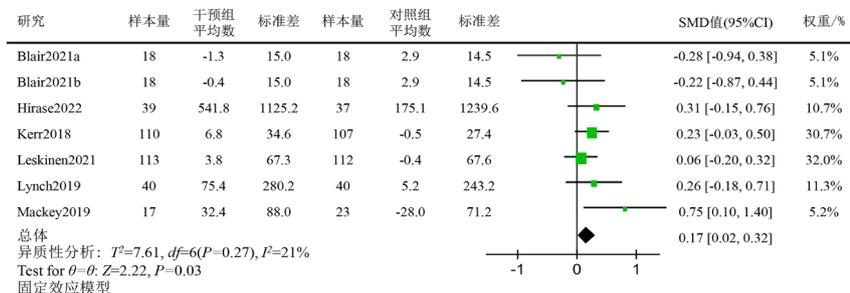
图 6 | 可穿戴设备干预对老年人每日步数影响效果的 Meta 分析森林图

Figure 6 | Meta-analysis forest plot of the effect of wearable device interventions on daily step in the elderly

(如团体信息会议、咨询、电话支持等)的组成部分; 单一干预定义为独立于人工进行基于可穿戴设备的干预<sup>[24]</sup>。亚组分析结果显示(表 4)。与单一干预相比 (SMD=0.11, 95%CI: -0.13-0.35, P=0.37), 综合干预 (SMD=0.32, 95%CI: 0.22-0.42, P<0.001) 对老年人中高强度身体活动有更加显著的促进效果。将干预时间分为干预时间≤12 周和>12 周 2 个亚组, 结果显示, 与对照组相比, 干预时间≤12 周 (SMD=0.50, 95%CI: 0.29-0.70, P<0.001) 或>12 周 (SMD=0.22, 95%CI: 0.08-0.37, P=0.003) 均能显著增加老年人的中高强度身体活动水平。将传感器类型分为加速度计和计步器 2 个亚组。计步器定义为用于记录个体所走的步数的一种便携式电子设备; 加速度计定义为通过使用算法测量加速度力, 可以用于准确检测个体身体活动的周期和强度的电子追踪器<sup>[67]</sup>。结果显示, 与对照组相比, 使用加速度计干预 (SMD=0.33, 95%CI: 0.06-0.61, P<0.001) 或计步器干预 (SMD=0.30, 95%CI: 0.19-0.41, P<0.001) 均能显著增加老年人中高强度身体活动水平。

2.5.2 两组每日步数差异的亚组 Meta 分析结果 亚组分析结果显示(表 5), 对于干预措施, 综合干预 (SMD=0.49, 95%CI: 0.33-0.66, P<0.001) 或单一干预 (SMD=0.40, 95%CI: 0.09-0.70, P=0.01) 均能显著促进老年人的每日步数; 对于干预时间, 干预时间≤12 周 (SMD=0.46, 95%CI: 0.20-0.73, P<0.001) 或>12 周 (SMD=0.45, 95%CI: 0.31-0.59, P<0.001) 均能显著促进老年人的每日步数; 对于传感器类型, 使用加速度计干预 (SMD=0.56, 95%CI: 0.40-0.72, P<0.001) 或计步器干预 (SMD=0.45, 95%CI: 0.26-0.63, P<0.001) 均能显著增加老年人的每日步数。

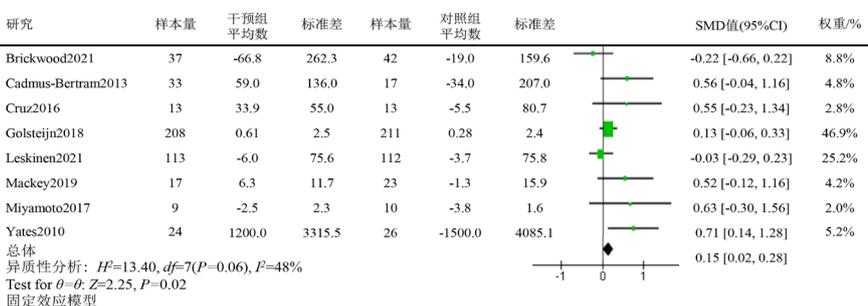
2.5.3 两组低强度身体活动差异的亚组 Meta 分析结果 亚组分析结果显示(表 6), 对于干预措施, 与单一干预相比 (SMD=0.02, 95%CI: -0.22-0.27, P=0.850), 综合干预 (SMD=0.25, 95%CI: 0.07-0.44, P=0.008) 对老年人低强度身体活动有更显著促进效果; 对于干预时间, 与干预时间>



图注: 试验组采用可穿戴设备干预, 对照组采用不同于可穿戴设备的常规干预手段或可穿戴设备设备。试验组低强度身体活动的促进效果显著优于对照组 ( $SMD=0.17, 95\%CI: 0.02-0.32, P=0.03$ )。

图 7 | 可穿戴设备干预对老年人低强度身体活动影响效果的 Meta 分析森林图

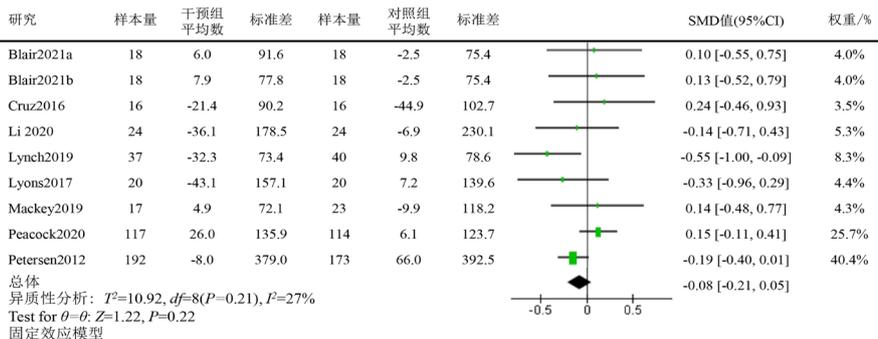
Figure 7 | Meta-analysis forest plot of the effect of wearable device interventions on low-intensity physical activity in the elderly



图注: 试验组采用可穿戴设备干预, 对照组采用不同于可穿戴设备的常规干预手段或可穿戴设备设备。试验组总身体活动的促进效果显著优于对照组 ( $SMD=0.15, 95\%CI: 0.02-0.28, P=0.02$ )。

图 8 | 可穿戴设备干预对老年人总身体活动影响效果的 Meta 分析森林图

Figure 8 | Meta-analysis forest plot of the effect of wearable device interventions on total physical activity in the elderly



图注: 试验组采用可穿戴设备干预, 对照组采用不同于可穿戴设备的常规干预手段或可穿戴设备设备。试验组在减少久坐行为方面与对照组相比差异无显著性意义 ( $SMD=-0.08, 95\%CI: -0.21-0.05, P=0.22$ )。

图 9 | 可穿戴设备干预对老年人久坐行为影响效果的 Meta 分析森林图

Figure 9 | Meta-analysis forest plot of the effect of wearable device interventions on sedentary behavior in the elderly

表 4 | 不同亚组变量对老年人中高强度身体活动影响的 Meta 分析结果

Table 4 | Meta-analysis results of the effects of different subgroup variables on moderate-to-vigorous intensity physical activity

亚组	分组标准	研究数量	效应模型	Meta 分析结果			总效应量检验结果	
				SMD	95%CI 值	I <sup>2</sup> 值 (%)	Z 值	P 值
干预措施	综合干预	13 <sup>[8, 27, 30, 33, 37, 42-43, 45, 49-52, 62]</sup>	固定	0.32	0.22-0.42	16.6	6.37	<0.001
	单一干预	2 <sup>[67-68]</sup>	固定	0.11	-0.13-0.35	0	0.90	0.370
干预时间	≤ 12 周	7 <sup>[8, 42, 45, 48-49, 51-52]</sup>	固定	0.50	0.29-0.70	0	4.77	<0.001
	> 12 周	8 <sup>[27, 30, 33, 37, 43, 47, 50, 62]</sup>	固定	0.22	0.08-0.37	32.1	3.02	0.003
传感器类型	计步器	7 <sup>[8, 33, 37, 43, 48, 52, 62]</sup>	固定	0.30	0.19-0.41	0	5.27	<0.001
	加速度计	8 <sup>[27, 30, 42, 45, 47, 49-51]</sup>	随机	0.33	0.06-0.61	55.9	5.10	<0.001

12 周相比 ( $SMD=0.12, 95\%CI: -0.04-0.28, P=0.15$ ), 干预时间 ≤ 12 周 ( $SMD=0.42, 95\%CI: 0.05-0.78, P=0.02$ ) 对老年人低强度身体活动有更显著促进效果; 对于传感器类型, 与加速度计相比 ( $SMD=0.05, 95\%CI: -0.16-0.25, P=0.66$ ), 计步器 ( $SMD=0.31, 95\%CI: 0.09-0.52, P=0.005$ ) 干预对老年人低强度身体活动有更显著促进效果。

2.5.4 两组总身体活动差异的亚组 Meta 分析结果 亚组分析结果显示 (表 7), 对于干预措施, 与单一干预相比 ( $SMD=0.06, 95\%CI: -0.09-0.20, P=0.43$ ), 综合干预 ( $SMD=0.60, 95\%CI: 0.28-0.91, P < 0.001$ ) 对老年人总身体活动有更加显著的促进效果; 对于干预时间, 与干预时间 > 12 周相比 ( $SMD=0.13, 95\%CI: -0.11-0.38, P=0.29$ ), 干预时间 ≤ 12 周 ( $SMD=0.56, 95\%CI: 0.16-0.95, P=0.005$ ) 对老年人总身体活动有更加显著的促进效果; 对于传感器类型, 与加速度计相比 ( $SMD=-0.04, 95\%CI: -0.26-0.18, P=0.72$ ), 计步器 ( $SMD=0.26, 95\%CI: 0.09-0.42, P=0.002$ ) 干预对老年人总身体活动有更显著促进效果。

2.5.5 影响老年人每日步数效应量的异质性因素 Meta 回归结果 采用单因素 Meta 回归来探究异质性的显著影响因素。鉴于单变量 Meta 回归分析旨在筛选可能引起异质性的变量, 为了确保不遗漏任何关键的影响因素, 将检验标准 P 值放宽至 0.1<sup>[68]</sup>。结果显示 (表 8), 发表年份、发表地区、性别、样本量以及文献质量这 5 个因素的  $P > 0.1$ , 说明这些因素与每日步数研究间异质性无关; 而年龄 ( $P=0.038$ ) 和健康状况因素 ( $P=0.083$ ) 的  $P < 0.1$ , 说明年龄和健康状况是影响每日步数效应量的明显异质性来源。

2.6 发表偏倚评价和敏感性分析结果 采用定量和定性的方法对纳入文献的发表偏倚进行评估。依据先前的研究经验, 绘制漏斗图至少需 10 项研究数据, 并且仅通过直观检查漏斗图可能得出错误的结论<sup>[69]</sup>。因此, 文章联合使用 Egger 检验对纳入研究的发表偏倚进行定量分析, 具体而言, 针对

表 5 | 不同亚组变量对老年人每日步数影响 Meta 分析结果

Table 5 | Meta-analysis results of the effects of different subgroup variables on daily step in the elderly

亚组	分组标准	研究数量	效应模型	Meta 分析结果			总效应量检验结果	
				SMD	95%CI 值	I <sup>2</sup> 值 (%)	Z 值	P 值
干预措施	综合干预	30 <sup>[8-9, 27, 30-35, 37-42, 44-45, 49-52, 54, 56-57, 60-65]</sup>	随机	0.49	0.33-0.66	71.6	5.81	<0.001
	单一干预	6 <sup>[10, 29, 46, 53, 59, 61]</sup>	随机	0.40	0.09-0.70	70.9	2.54	0.010
干预时间	≤ 12 周	19 <sup>[8-10, 31-32, 34-35, 39-40, 42, 45-47, 49, 51-54, 56, 60]</sup>	随机	0.46	0.20-0.73	81.7	3.74	<0.001
	> 12 周	16 <sup>[27, 29-30, 33, 37-38, 41, 44, 50, 57, 59, 61-65]</sup>	固定	0.45	0.31-0.59	38.9	7.61	<0.001
传感器类型	计步器	25 <sup>[8-10, 31-35, 37-39, 41, 44, 46, 52, 54, 56-57, 59-65]</sup>	随机	0.45	0.26-0.63	77.7	4.77	<0.001
	加速度计	10 <sup>[27, 29-30, 40, 42, 45, 49-51, 53]</sup>	固定	0.56	0.40-0.72	27.1	6.84	<0.001

表 6 | 不同亚组变量对老年人低强度身体活动影响的 Meta 分析结果

Table 6 | Meta-analysis results of the effects of different subgroup variables on low-intensity physical activity in the elderly

亚组	分组标准	研究数量	效应模型	Meta 分析结果			总效应量检验结果	
				SMD	95%CI	I <sup>2</sup> 值 (%)	Z 值	P 值
干预措施	综合干预	5 <sup>[28, 38, 43, 51-52]</sup>	固定	0.25	0.07-0.44	18	2.65	0.008
	单一干预	2 <sup>[28, 47]</sup>	固定	0.02	-0.22-0.27	0	0.19	0.850
干预时间	≤ 12 周	2 <sup>[51-52]</sup>	固定	0.42	0.05-0.78	32	2.25	0.020
	> 12 周	4 <sup>[28, 38, 43, 47]</sup>	固定	0.12	-0.04-0.28	0	1.43	0.150
传感器类型	计步器	3 <sup>[38, 43, 52]</sup>	固定	0.31	0.09-0.52	5	2.78	0.005
	加速度计	3 <sup>[28, 47, 51]</sup>	固定	0.05	-0.16-0.25	0	0.44	0.660

表 7 | 不同亚组变量对老年人总身体活动影响的 Meta 分析结果

Table 7 | Meta-analysis results of the effects of different subgroup variables on total physical activity in the elderly

亚组	分组标准	研究数量	效应模型	Meta 分析结果			总效应量检验结果	
				SMD	95%CI	I <sup>2</sup> 值 (%)	Z 值	P 值
干预措施	综合干预	4 <sup>[8, 33, 52, 65]</sup>	固定	0.60	0.28-0.91	0	3.68	<0.001
	单一干预	4 <sup>[29, 36, 47, 55]</sup>	固定	0.06	-0.09-0.20	26.0	0.80	0.430
干预时间	≤ 12 周	3 <sup>[8, 52, 55]</sup>	固定	0.56	0.16-0.95	0	2.78	0.005
	> 12 周	5 <sup>[29, 33, 36, 47, 65]</sup>	随机	0.13	-0.11-0.38	54.2	1.05	0.290
传感器类型	计步器	5 <sup>[33, 36, 52, 55, 65]</sup>	固定	0.26	0.09-0.42	35.3	3.08	0.002
	加速度计	3 <sup>[29, 47, 55]</sup>	固定	-0.04	-0.26-0.18	25.0	0.36	0.720

表 8 | 影响老年人每日步数效应量的异质性因素 Meta 回归分析结果

Table 8 | Results of meta-regression analysis of heterogeneous factors affecting the effect size of daily steps in the elderly

异质性因素	回归系数 β	标准误差 SE	t 值	P 值 >  t 值	95%CI 值
发表年份	0.270 78	0.205 71	1.32	0.197	-0.147 28-0.688 85
发表地区	-0.061 75	0.175 09	-0.35	0.726	-0.417 59-0.294 08
性别	-0.118 66	0.159 92	-0.74	0.463	-0.443 66-0.206 33
年龄	-0.387 17	0.179 22	-2.16	0.038	-0.751 40 至 -0.022 94
样本量	-0.083 30	0.185 74	-0.45	0.657	-0.460 78-0.294 18
健康状况	0.290 11	0.162 39	1.79	0.083	-0.039 21-0.620 14
文献质量	-0.073 03	0.198 67	-0.37	0.715	-0.476 78-0.330 71

报告每日步数和中高强度身体活动的研究，同时进行了 Egger 检验和漏斗图分析；针对低强度身体活动、总身体活动和久坐行为的研究，则仅执行了 Egger 检验。分析结果显示，每日步数和中高强度身体活动的漏斗图对称性欠佳，提示可能存在发表偏倚，见图 10, 11。然而 Egger 检验结果显示，所有指标  $P > 0.05$ ，见表 9，表明

纳入的所有研究不存在发表偏倚。

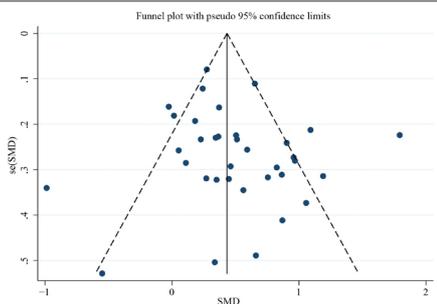
为了验证 Meta 分析结果的稳健性和评估单个研究对整体估计值的影响，文章采用 Leave-One-Out 方法进行敏感性分析，结果显示 (图 12-16)，剔除任何一篇文献对每日步数、中高强度身体活动、低强度身体活动、总身体活动和久坐行为效应量影响不大，说明 Meta 分析结果较为稳定。

### 3 讨论 Discussion

3.1 证据总结 文章通过对 43 项随机对照试验进行汇总分析，系统评价了可穿戴设备对老年人每日步数、中高强度身体活动、低强度身体活动、总身体活动和久坐时间等身体活动相关指标的影响，为在实践中科学运用可穿戴设备提供证据支持。文章所有结果不存在明显的发表偏倚，增强了证据的可靠性。此次研究结果显示，与对照组相比，可穿戴设备干预在促进老年人每日步数、中高强度身体活动、低强度身体活动和总身体活动方面具有显著的积极作用。特别是，当采用综合干预措施，并且干预时间控制在 12 周以内时，使用计步器作为干预工具对老年人的低强度身体活动和总身体活动显示出更为显著的促进效果；而对于促进老年人的每日步数和中高强度身体活动，采用综合干预措施结合使用加速度计作为干预设备，并且干预时间同样控制在 12 周以内时，可能更为有效。然而，文章并未发现可穿戴设备干预能够显著改善老年人的久坐行为，这表明尽管这些设备在提高身体活动水平方面有效，但它们对减少长时间久坐的影响可能需要替代策略或进一步研究。

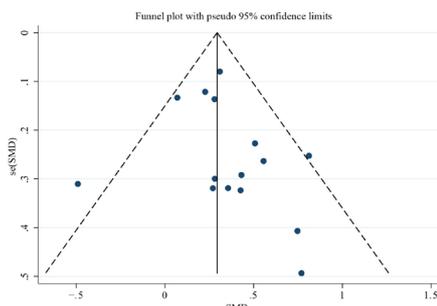
3.2 可穿戴设备干预对老年人身体活动的影响 此次研究结果显示，可穿戴设备干预对老年人身体活动有显著的促进作用，具体而言，与对照组相比，可穿戴设备干预在促进老年人中高强度身体活动方面显示出积极的效果 ( $SMD=0.29$ )，相当于每周中高强度身体活动增加 25 min，总体合并效应量较小，但证据质量评定为中等，这从临床角度来看很重要，因为它占据了世界卫生组织推荐老年人每周 150 min 中高强度身体活动的 17%。ROBERTS 等<sup>[70]</sup>进行的一项 Meta 分析也显示出类似的增加，他们发现当老年癌症幸存者采取数字技术干预措施以促进中高强度身体活动时，每周中高强度身体活动参与时间增加约 40 min。

此次研究结果显示，可穿戴设备干预与老年人每日步数的显著增加有关 ( $SMD=0.48$ )，相当于每天多走 1 217 步，整体合并效应量较小，证据质量评定为低，这一发现与现有的



图注：每日步数漏斗图对称性欠佳，可能存在发表偏倚。横坐标代表效应量的大小，以标准化均数差(SMD)表示；纵坐标代表标准误差。

图 10 | 每日步数指标的发表偏倚漏斗图  
Figure 10 | Publication bias funnel plot for daily step count metrics



图注：中高强度身体活动漏斗图对称性欠佳，可能存在发表偏倚。横坐标代表效应量的大小，以标准化均数差(SMD)表示；纵坐标代表标准误差。

图 11 | 中高强度身体活动指标的发表偏倚漏斗图  
Figure 11 | Publication bias funnel plot for moderate-to-vigorous physical activity metrics

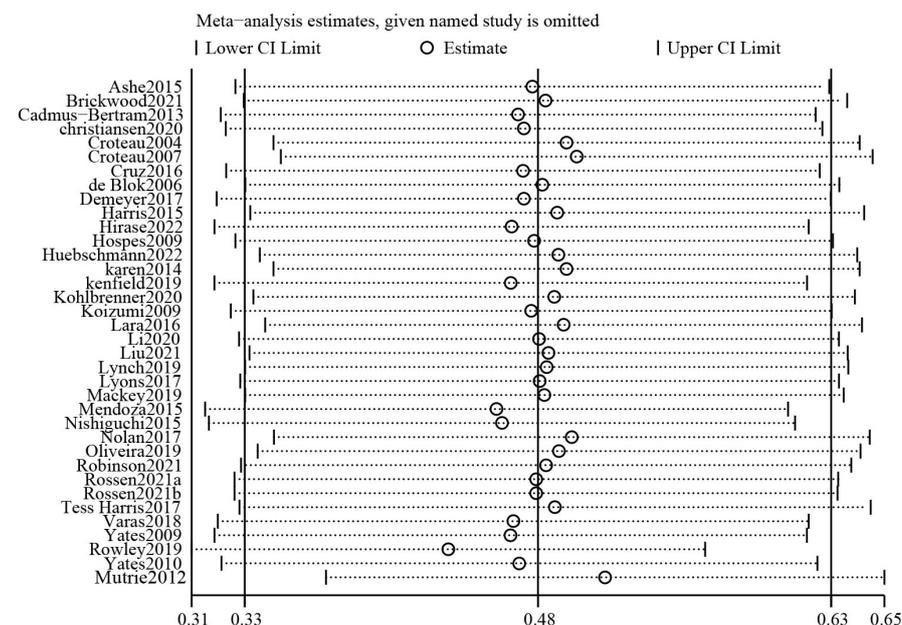
表 9 | 可穿戴设备干预对老年人身体活性影响的 Meta 分析 Egger 法检验结果

Table 9 | Meta-analysis of Egger test results of the effects of wearable device interventions on physical activity in the elderly

结局指标	斜率	回归系数	标准误	t 值	P 值	95%CI
每日步数	截距	0.311 39	0.152 36	2.04	0.049	0.001 75-0.621 03
	偏倚	0.637 52	0.714 05	0.89	0.378	-0.813 61-2.088 65
中高强度身体活动	截距	0.198 29	0.106 06	1.87	0.084	-0.030 85-0.427 43
	偏倚	0.611 43	0.585 17	1.04	0.315	-0.652 75-1.875 63
低强度身体活动	截距	0.167 60	0.258 18	0.65	0.545	-0.496 07-0.831 28
	偏倚	0.006 37	1.293 10	0.00	0.996	-3.317 65-3.330 41
总身体活动	截距	-0.121 08	0.157 31	-0.77	0.471	-0.506 01-0.263 84
	偏倚	1.673 37	0.830 38	2.02	0.091	-0.358 51-3.705 26
久坐行为	截距	-0.131 61	0.183 01	-0.72	0.495	-0.564 37-0.301 14
	偏倚	0.279 02	0.913 28	0.31	0.769	-1.880 55-2.438 59

Meta 分析结果相似<sup>[16]</sup>。在解释每天多走 1 217 步的效果方面，目前并没有明确的公共卫生指南表明对老年人的健康益处有多大，但既往研究已经发现，成年人每天多走 1 000 步，全因死亡风险的降低约 15%<sup>[71]</sup>，这可能对老年人也有类似的效益，但还需更多的研究进一步提供证据。此次研究还发现，可穿戴设备干预可以显著提高老年人低强度身体活动和总身体活动水平，这与 D'AMORE 等<sup>[72]</sup>和 LIU 等<sup>[73]</sup>的综述研究结果一致。和参与中高强度身体活动已知的广泛益处相比，老年人在日常生活中更倾向于从事低强度身体活动，尽管如此，先前研究已经证明，即使是低强度身体活动，也与老年人显著降低的死亡风险有关<sup>[74]</sup>。值得注意的是，大部分测量总身体活动的文献依赖于参与者的自我报告，这可能导致实际总身体活动水平被高估<sup>[75]</sup>，因此，必须审慎解释这一结果。总之，这些研究结果表明，可穿戴设备在促进老年人体育活动参与方面起着重要作用，可穿戴设备的促进作用可以从以下几个方面来解释：根据行为改变技术模型<sup>[76]</sup>，可穿戴设备可以通过目标设定、行动提示以及提供身体活动水平的反馈与奖励来促进身体活动；可穿戴设备可以通过用户自我监控促进自我效能感进而促进健康行为<sup>[77]</sup>，研究已证明，自我效能感可以预测并维持成年人的身体活动行为<sup>[78]</sup>。

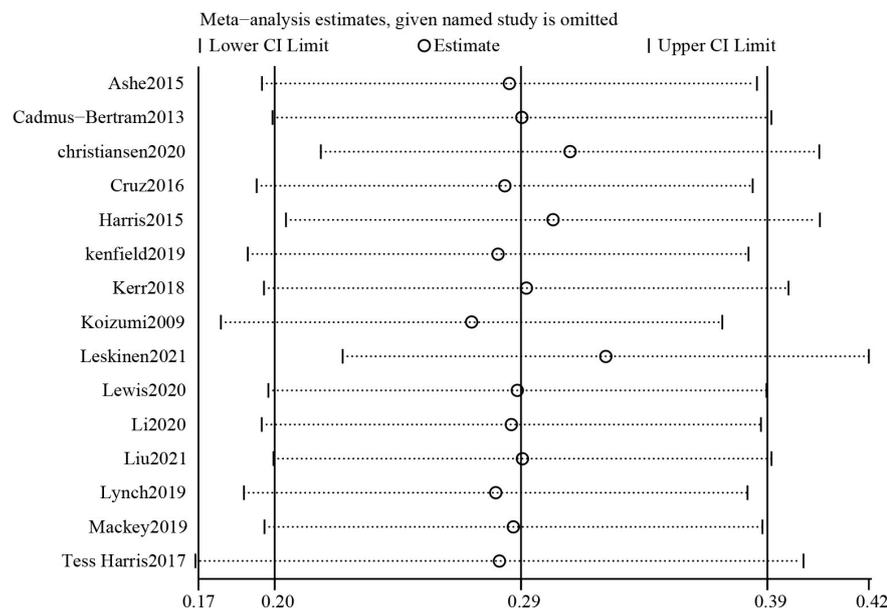
干预措施的亚组分析显示，无论是综合干预还是单一干预，可穿戴设备均能提高老年人的身体活动水平。特别是与单一干预相比，综合干预措施对老年人每日步数、中高强度身体活动、总身体活动产生了更大的效应量，表明基于可穿戴设备的干预本身是有效的，并且当与其他行为改变技术(如电话支持或小组激励会议)相结合时身体活动的促进效果可能更佳。然而，综合干预措施中每个单独的组成部分的独立贡献无法通过 Meta 分析来确定。在文章纳入的 43 项研究中，只有 3 项研究直接比较了单一干预和综合干预的效果，其中 2 项研究提供了社会支持<sup>[28, 61]</sup>，这 2 项研究结果表明，相比于对照组或未接受社会支持的老年人，接受社会支



图注：各项研究的点估计值均值在置信区间范围内，表明每日步数的 Meta 分析结果较为稳定。Lower CI Limit 表示置信区间下限；Upper CI Limit 表示置信区间上限。

图 12 | 可穿戴设备干预对老年人每日步数影响的敏感性分析结果  
Figure 12 | Results of a sensitivity analysis of the effect of wearable device interventions on daily step counts in the elderly

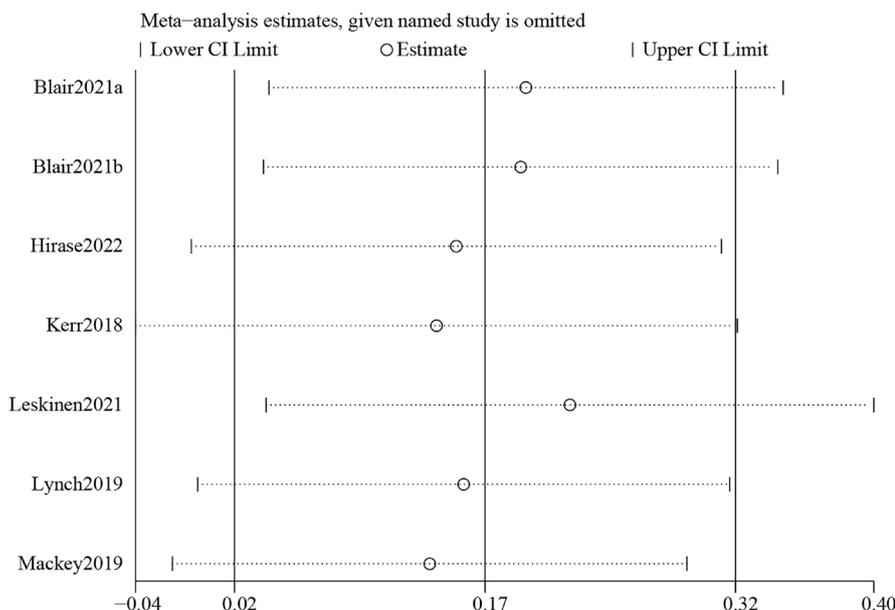
综述研究结果一致，对此的解释可能与老年人对可穿戴设备的依从性以及在这些研究中采取各种辅助干预措施的作用有关。AUERSWALD 等<sup>[80]</sup>的研究也发现，当干预时间超过 5 周时，受试者身体活动的促进能力逐渐降低，表明可穿戴设备的影响会随着时间推移而减弱。AUERSWALD 等<sup>[80]</sup>推测，基于可穿戴设备促进身体活动的效果会受到干预持续时间“最佳点”的影响，当干预持续时间超过“最佳点”时，老年人对使用可穿戴设备的新颖性和兴趣消失，导致干预效果逐渐减弱甚至消失。在设备类型方面，此次研究发现，与使用加速度计相比，采用计步器的干预设备能够显著增加老年人低强度身体活动和总身体活动水平，这种积极影响可能源于计步器用户界面的直观性、便携性设计以及其清晰的大屏幕显示的特点，这些特性使得老年人更容易接受和持续使用该设备。因此，计步器不仅作为一种活动监测工具，也可能作为一种促进身体活动的激励工具。相反，目前的研究发现，使用加速度计在促进老年人每日步数和中高强度身体活动水平上优于计步器干预，这与先前的 Meta 分析结果相一致<sup>[66]</sup>，表明详细监测身体活动信息而非简单记录步数可能对促进老年人中高强度身体活动和每日步数更有效。相比之下，HODKINSON 等<sup>[81]</sup>的 Meta 分析结果显示，使用计步器干预比加速度计干预更能增加受试者的身体活动。然而需要指出的是，HODKINSON 等的研究并未分别评估每日步数和中高强度身体活动，而是将计步器对每日步数的影响和加速度计对中高强度身体活动的影响进行比较。由于该文合并基于加速计和计步器的可穿戴设备的每日步数效应量大于中高强度身体活动，因此可以合理的假设，在 HODKINSON 等<sup>[81]</sup>的研究中计步器的干预效应被夸大了。加速度计和计步器作为可穿戴设备，在促进老年人身体活动方面出现效果不一致的内在原理也可能归因于加速度计能够提供更全面的身体活动信息，包括强度、持续时间和类型，而计步器主要记录步数，可能无法充分反映活动的多样性和强度。此外，加速度计可能因更精确的



图注：各项研究的点估计值均值在置信区间范围内，表明中高强度身体活动的 Meta 分析结果较为稳定。Lower CI Limit 表示置信区间下限；Upper CI Limit 表示置信区间上限。

图 13 | 可穿戴设备干预对老年人中高强度身体活动影响的敏感性分析结果

Figure 13 | Results of a sensitivity analysis of the effect of wearable device interventions on moderate-to-vigorous physical activity in the elderly



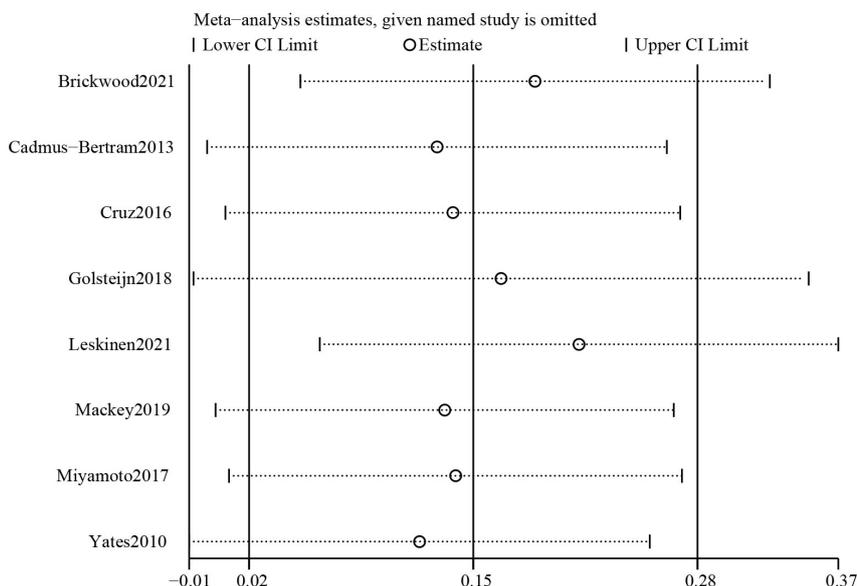
图注：各项研究的点估计值均值在置信区间范围内，表明低强度身体活动的 Meta 分析结果较为稳定。Lower CI Limit 表示置信区间下限；Upper CI Limit 表示置信区间上限。

图 14 | 可穿戴设备干预对老年人低强度身体活动影响的敏感性分析结果

Figure 14 | Results of a sensitivity analysis of the effect of wearable device interventions on low-intensity physical activity in the elderly

持的老年人的每日步数、总身体活动、低强度身体活动均有显著提高。既往研究也表明，如果存在有意义的激励因素，例如社会和环境支持和个性化指导，而不是纯粹的可穿戴设备干预，老年人更有可能参与身体活动，提高

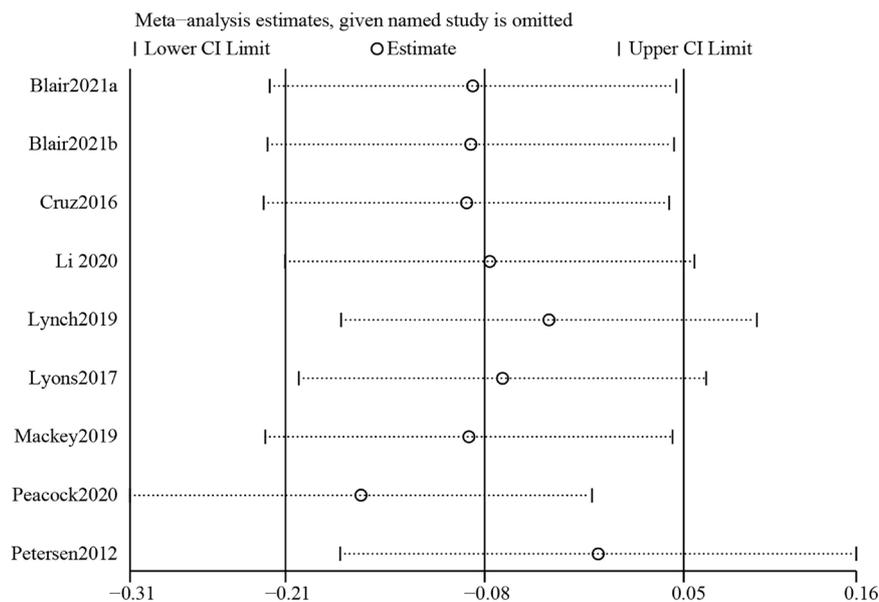
干预的效果和依从性<sup>[79]</sup>。在干预时间方面，此次研究发现，与持续时间较长的干预相比 (> 12 周)，持续时间较短的干预 (≤ 12 周) 对老年人中高强度身体活动、总身体活动和每日步数产生了更大影响，这与 WU 等<sup>[67]</sup>的



图注: 各项研究的点估计值均值在置信区间范围内, 表明总身体活动的 Meta 分析结果较为稳定。Lower CI Limit 表示置信区间下限; Upper CI Limit 表示置信区间上限。

图 15 | 可穿戴设备干预对老年人总身体活动影响的敏感性分析结果

Figure 15 | Results of a sensitivity analysis of the effect of wearable device interventions on total physical activity in the elderly



图注: 各项研究的点估计值均值在置信区间范围内, 表明久坐行为的 Meta 分析结果较为稳定。Lower CI Limit 表示置信区间下限; Upper CI Limit 表示置信区间上限。

图 16 | 可穿戴设备干预对老年人久坐行为影响的敏感性分析结果

Figure 16 | Results of a sensitivity analysis of the effect of wearable device interventions on sedentary behavior in the elderly

测量和反馈增强了用户的自我监控能力, 从而更有效地促进身体活动, 这提示未来的研究和开发工作应专注于设计和实施更符合老年人需求的可穿戴设备, 以进一步提高其活动水平和生活质量。

3.3 可穿戴设备干预对老年人久坐行为的影响 久坐行为是身体活动的重

要参考指标。此次研究结果显示, 与对照组相比, 可穿戴设备干预在减少老年人久坐时间上没有显著差异, 这与 LARSEN 等<sup>[82]</sup>的研究结论一致。然而先前的研究结果显示<sup>[67, 83]</sup>, 基于可穿戴设备的干预措施减少老年人久坐时间是切实可行的, 但文章的研究结果并不支持这一结论, 分析认为:

在现有的基于可穿戴设备干预的研究中, 这些设备主要用于激励个体有意识地增加身体活动, 如努力达到每日步数目标或每周中高强度身体活动目标, 而不是直接针对改变久坐等待习惯性行为。Li 等<sup>[66]</sup>的研究也支持这一观点, 他们指出: 虽然有意识的行为调节策略(例如监测、目标设定和反馈)通常应用于现有的可穿戴设备干预设计中, 但专门用于逆转习惯性行为的研究设计在当前基于可穿戴设备促进身体活动的研究中并不常见, 这可能解释了文章观测到可穿戴设备干预并没有改善老年人久坐行为的原因。因此, 在解释可穿戴设备干预对久坐行为的影响时需要谨慎, 未来仍需高质量、大样本的随机对照试验进一步验证现有证据。

3.4 研究的局限性 ①在解释每日步数和中高强度身体活动的益处时, 文章采用 SMD 转换为步数和每周中高强度身体活动时间, 虽然转换可以使研究结果更容易理解, 但对于此解释结果的广泛推广可能产生限制; ②尽管文章结果表明, 可穿戴设备联合多方面干预组件可以显著促进老年人的身体活动, 但由于多方面干预组件往往包含 2 个或以上的组成部分(如网站、日记和电话支持), 因此目前的研究尚不清楚这些组成部分中任何一个的独立贡献; ③由于纳入分析的老年人大多为欧洲、北美洲和澳洲人群, 因而该研究结果应谨慎用于亚洲老年人群; ④文章未能充分探讨可穿戴设备佩戴位置对活动监测准确性的影响, 由于可穿戴设备可以佩戴在腰间、臀部、腕部等不同身体部位, 佩戴位置的不同可能会对监测到的身体活动数据产生显著差异; ⑤文章结局指标虽涵盖每日步数、总身体活动、低强度身体活动、中高强度身体活动及久坐时间, 但未单独区分中等强度和剧烈强度身体活动, 这可能导致对可穿戴设备在促进不同强度活动方面的具体效果理解不足; ⑥虽然文章在中高强度身体活动、总身体活动和久坐行为等结局指标中未发现显著的统计学异质性, 但这些指标的研究在干预措施、时间以及老年人的健康状况方面存在差异, 可能导致了潜在的方法学异质性和临床异质性。

3.5 研究适用性及对未来研究的启示  
文章通过 Meta 分析证实了可穿戴设备在促进老年人身体活动方面的重要潜力，这对公共健康实践具有显著意义。考虑到身体活动在提升老年人健康和福祉中的关键作用，文章结果特别支持在老年人人群中推广可穿戴设备，这不仅有助于增强其身体活动水平，还可能减少与久坐生活方式相关的健康风险。然而，由于文章中每日步数和久坐行为证据质量较低，并且缺乏对中等强度和剧烈强度身体活动的分析，以及在中高强度身体活动、总身体活动和久坐行为结局指标表现出的方法学和临床异质性，未来研究应开展更高标准的随机对照试验，这包括制定统一的干预措施、采用一致的评估工具和实施标准化的数据报告方法，以减少特定结局指标研究间的异质性。此外，还应进一步细化对不同活动强度的分析，以确保研究结论的深入性和广泛适用性。

在干预措施设计上，建议采用多策略组合，如结合教育、个性化目标和社会支持，以增强长期效果。此外，更多研究应通过更严格的试验设计来评估可穿戴设备与其他干预措施的独立效应，探索其与可穿戴设备的最优结合方式。个性化和定制化干预以及跨文化和地区的研究也应是未来研究的重要方向，以确保干预措施的广泛适用性和文化敏感性。

3.6 结论 ①可穿戴设备干预可以显著提升老年人的每日步数、中高强度身体活动、低强度身体活动和总身体活动水平；②采用综合干预措施与计步器结合使用，并且干预时间≤12周时，对促进老年人的低强度身体活动和总身体活动水平更佳；③采用综合干预措施与加速度计结合使用，并且干预时间≤12周时，对老年人的每日步数和中高强度身体活动的促进效益更大；④可穿戴设备干预对老年人久坐行为的改善效果尚不明确，提示未来需要开展更高质量和更大样本量的随机对照试验，以进一步验证可穿戴设备在减少久坐行为方面的效果。然而，文章的结论应当在考虑其局限性的前提下进行解读，尽管文章揭示了可穿戴设备对促进老年人身体活动的积极作用，但结论的普适性受

限于研究设计、样本来源和干预措施的多样性。未来的研究应解决这些局限性，以确保结果的广泛适用性和深入理解干预的独立效应。

作者贡献：王锦福负责文章设计、数据分析和撰写。杨管负责文章的审核。

利益冲突：文章的全部作者声明，在课题研究和文章撰写过程中不存在利益冲突。

开放获取声明：这是一篇开放获取文章，根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享 4.0”条款，在合理引用的情况下，允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展，同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献，并为之建立索引，用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

版权转让：文章出版前全体作者与编辑部签署了文章版权转让协议。

出版规范：该研究遵守《系统综述和荟萃分析报告规范》(PRISMA 指南)。文章出版前已经过专业反剽窃文献检测系统进行 3 次查重。文章经小同行外审专家双盲外审，同行评议认为文章符合期刊发稿宗旨。

#### 4 参考文献 References

[1] AMUTHAVALLI THIYAGARAJAN J, MIKTON C, HARWOOD RH, et al. The UN Decade of healthy ageing: strengthening measurement for monitoring health and wellbeing of older people. *Age Ageing*. 2022;51(7):afac147.

[2] CHEN X, GILES J, YAO Y, et al. The path to healthy ageing in China: a Peking University-Lancet Commission. *Lancet*. 2022;400(10367):1967-2006.

[3] STENSEL DJ. How can physical activity facilitate a sustainable future? Reducing obesity and chronic disease. *Proc Nutr Soc*. 2023;82(3):286-297.

[4] D'ONOPRIO G, KIRSCHNER J, PRATHER H, et al. Musculoskeletal exercise: its role in promoting health and longevity. *Prog Cardiovasc Dis*. 2023;77(4):25-36.

[5] GOMES M, FIGUEIREDO D, TEIXEIRA L, et al. Physical inactivity among older adults across Europe based on the SHARE database. *Age Ageing*. 2017;46(1):71-79.

[6] ZHOU Y, WU J, ZHANG S, et al. Prevalence and risk factors of physical inactivity among middle-aged and older Chinese in Shenzhen: a cross-sectional study. *BMJ Open*. 2018;8(10):e019775.

[7] LEWIS ZH, LYONS EJ, JARVIS JM, et al. Using an electronic activity monitor system as an intervention modality: A systematic review. *BMC Public Health*. 2015;15(6):585-600.

[8] CADMUS-BERTRAM L, WANG JB, PATTERSON RE, et al. Web-based self-monitoring for weight loss among overweight/obese women at increased risk for breast cancer: the HELP pilot study. *Psycho-Oncol*. 2013; 22(8):1821-1829.

[9] LYONS EJ, SWARTZ MC, LEWIS ZH, et al. Feasibility and Acceptability of a Wearable Technology Physical Activity Intervention With Telephone Counseling for Mid-Aged and Older Adults: A Randomized Controlled Pilot Trial. *JMIR Mhealth Uhealth*. 2017; 5(3):e28.

[10] NOLAN CM, MADDOCKS M, CANAVAN JL, et al. Pedometer Step Count Targets during Pulmonary Rehabilitation in Chronic Obstructive Pulmonary Disease. A Randomized Controlled Trial. *Am J Respir Crit Care Med*. 2017;195(10):1344-1352.

[11] PEACOCK OJ, WESTERN MJ, BATTERHAM AM, et al. Effect of novel technology-enabled multidimensional physical activity feedback in primary care patients at risk of chronic disease-The MIPACT study: A randomised controlled trial. *Int J Behav Nutr Phys Act*. 2020;17(1):156-172.

[12] BLOUNT DS, MCDONOUGH DJ, GAO Z. Effect of Wearable Technology-Based Physical Activity Interventions on Breast Cancer Survivors' Physiological, Cognitive, and Emotional Outcomes: A Systematic Review. *J Clin Med*. 2021;10(9):2015-2034.

[13] GAL R, MAY AM, VAN OVERMEEREN EJ, et al. The Effect of Physical Activity Interventions Comprising Wearables and Smartphone Applications on Physical Activity: a Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Med Open*. 2018;4(1):42-48.

[14] CHEATHAM SW, STULL KR, FANTIGRASSI M, et al. The efficacy of wearable activity tracking technology as part of a weight loss program: a systematic review. *J Sports Med Phys Fitness*. 2018;58(4):534-548.

[15] OLIVEIRA J, SHERRINGTON C, ZHENG E, et al. Effect of interventions using physical activity trackers on physical activity in people aged 60 years and over: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med*. 2020;54(20):1188-1194.

[16] COOPER C, GROSS A, BRINKMAN C, et al. The impact of wearable motion sensing technology on physical activity in older adults. *Exp Gerontol*. 2018;112(1):9-19.

[17] PALUCH AE, BAIJAI S, BASSETT DR, et al. Daily steps and all-cause mortality: a meta-analysis of 15 international cohorts. *Lancet Public health*. 2022;7(3):e219-e228.

[18] FISHMAN EI, STEEVES JA, ZIPUNNUKOV V, et al. Association between Objectively Measured Physical Activity and Mortality in NHANES. *Med Sci Sports Exerc*. 2016; 48(7):1303-1311.

- [19] BALLIN M, NORDSTROM P, NIKLASSON J, et al. Associations of Objectively Measured Physical Activity and Sedentary Time with the Risk of Stroke, Myocardial Infarction or All-Cause Mortality in 70-Year-Old Men and Women: A Prospective Cohort Study. *Sports Med.* 2021;51(2):339-349.
- [20] HIGGINS JP, ALTMAN DG, GØTZSCHE PC, et al. The Cochrane Collaboration's tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ.* 2011;343:d5928.
- [21] GUYATT GH, OXMAN AD, SCHÜNEMANN HJ, et al. GRADE guidelines: a new series of articles in the Journal of Clinical Epidemiology. *J Clin Epidemiol.* 2011;64(4):380-382.
- [22] 吴洋, 王宇, 李柏辰, 等. 疏肝解郁法治疗冠心病合并抑郁的 Meta 分析及 GRADE 评价 [J]. *中西医结合心脑血管病杂志*, 2024,22(9):1547-1554.
- [23] WAN X, WANG W, LIU J, et al. Estimating the sample mean and standard deviation from the sample size, median, range and/or interquartile range. *BMC Med Res Methodol.* 2014;14:135-148.
- [24] BRICKWOOD KJ, WATSON G, O'BRIEN J, et al. Consumer-Based Wearable Activity Trackers Increase Physical Activity Participation: Systematic Review and Meta-Analysis. *JMIR Mhealth Uhealth.* 2019;7(4):e11819.
- [25] HIGGINS JP, THOMPSON SG, DEEKS JJ, et al. Measuring inconsistency in Meta-analyses. *BMJ.* 2003;327:557-560.
- [26] MCHUGH ML. Interrater reliability: the kappa statistic. *Biochem Med (Zagreb).* 2012;22(3):276-282.
- [27] ASHE MC, WINTERS M, HOPPMANN CA, et al. "Not just another walking program": Everyday Activity Supports You (EASY) model-a randomized pilot study for a parallel randomized controlled trial. *Pilot Feasibility Stud.* 2015;1(1):367-379.
- [28] BLAIR CK, HARDING E, WIGGINS C, et al. A home-based mobile health intervention to replace sedentary time with light physical activity in older cancer survivors: Randomized controlled pilot trial. *JMIR Cancer.* 2021;7(2):281-295.
- [29] BRICKWOOD KJ, AHUJA KDK, WATSON G, et al. Effects of activity tracker use with health professional support or telephone counseling on maintenance of physical activity and health outcomes in older adults: Randomized controlled trial. *JMIR Mhealth Uhealth.* 2021;9(1):369-382.
- [30] CHRISTIANSEN MB, THOMA LM, MASTER H, et al. Feasibility and Preliminary Outcomes of a Physical Therapist-Administered Physical Activity Intervention After Total Knee Replacement. *Arthritis Care Res.* 2020;72(5):661-668.
- [31] CROTEAU KA, RICHESON NE, VINES SW, et al. Effects of a Pedometer-Based Physical Activity Program on Older Adults' Mobility-Related Self-Efficacy and Physical Performance. *Act Adapt Aging.* 2004;28(2):19-33.
- [32] CROTEAU KA, RICHESON NE, FARMER BC, et al. Effect of a pedometer-based intervention on daily step counts of community-dwelling older adults. *Res Q Exerc Sport.* 2007;78:401-406.
- [33] CRUZ J, BROOKS D, MARQUES A. Walk2Bactive: A randomized controlled trial of a physical activity-focused behavioural intervention beyond pulmonary rehabilitation in chronic obstructive pulmonary disease. *Chron Respir Dis.* 2016;13(1):57-66.
- [34] DE BLOK BM, DE GREEF MHG, TEN HACKEN NHT, et al. The effects of a lifestyle physical activity counseling program with feedback of a pedometer during pulmonary rehabilitation in patients with COPD: a pilot study. *Patient Educ Couns.* 2006;61(1):48-55.
- [35] DEMEYER H, LOUVARIS Z, FREI A, et al. Physical activity is increased by a 12-week semiautomated telecoaching programme in patients with COPD: a multicentre randomised controlled trial. *Thorax.* 2017;72(5):415-423.
- [36] GOLSTEIJN RHJ, BOLMAN C, VOLDERS E, et al. Short-term efficacy of a computer-tailored physical activity intervention for prostate and colorectal cancer patients and survivors: a randomized controlled trial. *Int J Behav Nutr Phys Act.* 2018;15(1):106.
- [37] HARRIS T, KERRY SM, VICTOR CR, et al. A primary care nurse-delivered walking intervention in older adults: PACE (pedometer accelerometer consultation evaluation)-Lift cluster randomised controlled trial. *PLoS Med.* 2015;12(2):e1001783.
- [38] HIRASE T, INOKUCHI S, KOSHIKAWA S, et al. Preventive effect of an intervention program with increased physical activity on the development of musculoskeletal pain in community-dwelling older adults: A randomized controlled trial. *Pain Med (Malden, Mass).* 2022;28(3):581-593.
- [39] HOSPEL G, BOSSENBOECK L, TEN HACKEN NHT, et al. Enhancement of daily physical activity increases physical fitness of outclinic COPD patients: results of an exercise counseling program. *Patient Educ Couns.* 2009;75(2):274-281.
- [40] HUEBSCHMANN AG, GLASGOW RE, LEAVITT IM, et al. Integrating a physical activity coaching intervention into diabetes care: a mixed-methods evaluation of a pilot pragmatic trial. *Transl Behav Med.* 2022;12(4):601-610.
- [41] KAREN AC, NANCY ER, SUSAN WV, et al. Effects of a pedometer-based physical activity program on older adults' mobility-related self-efficacy and physical performance. *Act Adapt Aging.* 2004;28:2.
- [42] KENFIELD SA, VAN BLARIGAN EL, AMELI N, et al. Feasibility, Acceptability, and Behavioral Outcomes from a Technology-enhanced Behavioral Change Intervention (Prostate 8): A Pilot Randomized Controlled Trial in Men with Prostate Cancer. *Eur Urol.* 2019;75(6):950-958.
- [43] KERR J, ROSENBERG D, MILLSTEIN RA, et al. Cluster randomized controlled trial of a multilevel physical activity intervention for older adults. *Int J Behav Nutr Phys Act.* 2018;15(1):32-47.
- [44] KOHLBRENNER D, SIEVI NA, SENN O, et al. Long-term effects of pedometer-based physical activity coaching in severe copd: A randomized controlled trial. *Int J COPD.* 2020;15:2837-2846.
- [45] KOIZUMI D, ROGERS NL, ROGERS ME, et al. Efficacy of an accelerometer-guided physical activity intervention in community-dwelling older women. *J Phys Act Health.* 2009;6(4):467-474.
- [46] LARA J, O'BRIEN N, GODFREY A, et al. Pilot randomised controlled trial of a web-based intervention to promote healthy eating, physical activity and meaningful social connections compared with usual care control in people of retirement age recruited from workplaces. *PLoS One.* 2016;11(7):292-308.
- [47] LESKINEN T, SUORSA K, TUOMINEN M, et al. The Effect of Consumer-based Activity Tracker Intervention on Physical Activity among Recent Retirees-An RCT Study. *Med Sci Sports Exerc.* 2021;53(8):1756-1765.
- [48] LEWIS ZH, OTTENBACHER KJ, FISHER SR, et al. Effect of electronic activity monitors and pedometers on health: Results from the TAME health pilot randomized pragmatic trial. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17:18.
- [49] LI LC, FEEHAN LM, XIE H, et al. Effects of a 12-Week Multifaceted Wearable-Based Program for People With Knee Osteoarthritis: Randomized Controlled Trial. *JMIR Mhealth Uhealth.* 2020;8(7):e19116.
- [50] LIU JW, KWAN RYC, YIN YH, et al. Enhancing the physical activity levels of frail older adults with a wearable activity tracker-based exercise intervention: A pilot cluster randomized controlled trial. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(19):781-795.
- [51] LYNCH BM, NGUYEN NH, MOORE MM, et al. A randomized controlled trial of a wearable technology-based intervention for increasing moderate to vigorous physical activity and reducing sedentary behavior in breast cancer survivors: The ACTIVATE Trial. *Cancer.* 2019;125(16):2846-2855.

- [52] MACKEY DC, PERKINS AD, TAI K H, et al. Men on the move: A randomized controlled feasibility trial of a scalable, choice-based, physical activity and active transportation intervention for older men. *J Aging Phys Act.* 2019;27(4):489-502.
- [53] MENDOZA L, HORTA P, ESPINOZA J, et al. Pedometers to enhance physical activity in COPD: A randomised controlled trial. *Eur Respir J.* 2015;45(2):347-354.
- [54] MUTRIE N, DOOLIN O, FITZSIMONS CF, et al. Increasing older adults' walking through primary care: results of a pilot randomized controlled trial. *Fam Pr.* 2012;29(6):633-642.
- [55] MIYAMOTO T, FUKUDA K, OSHIMA Y, et al. Non-locomotive physical activity intervention using a tri-axial accelerometer reduces sedentary time in type 2 diabetes. *Phys Sportsmed.* 2017;45(3):245-251.
- [56] NISHIGUCHI S, YAMADA M, TANIGAWA T, et al. A 12-Week Physical and Cognitive Exercise Program Can Improve Cognitive Function and Neural Efficiency in Community-Dwelling Older Adults: A Randomized Controlled Trial. *J Am Geriatr Soc.* 2015;63(7):1355-1363.
- [57] OLIVEIRA JS, SHERRINGTON C, PAUL SS, et al. A combined physical activity and fall prevention intervention improved mobility-related goal attainment but not physical activity in older adults: a randomised trial. *J Physiother.* 2019;65(1):16-22.
- [58] PETERSEN CB, SEVERIN M, HANSEN AW, et al. A population-based randomized controlled trial of the effect of combining a pedometer with an intervention toolkit on physical activity among individuals with low levels of physical activity or fitness. *Prev Med.* 2012;54:125-130.
- [59] ROBINSON SA, COOPER JAJR, GOLDSTEIN RL, et al. A randomised trial of a web-based physical activity self-management intervention in COPD. *ERJ Open Res.* 2021; 7(3):461-472.
- [60] ROWLEY TW, LENZ EK, SWARTZ AM, et al. Efficacy of an individually tailored, Internet-mediated physical activity intervention in older adults: A randomized controlled trial. *J Appl Gerontol.* 2019;38:1011-1022.
- [61] ROSSEN J, HAGSTROMER M, YNGVE A, et al. Process evaluation of the Sophia Step Study- a primary care based three-armed randomized controlled trial using self-monitoring of steps with and without counseling in prediabetes and type 2 diabetes. *BMC Public Health.* 2021;21(1):1191-1203.
- [62] HARRIS T, KERRY SM, LIMB ES, et al. Effect of a primary care walking intervention with and without nurse support on physical activity levels in 45- to 75-year-olds: The pedometer and consultation evaluation (PACE-UP) cluster randomised clinical trial. *Plos Med.* 2017;14:e1002210.
- [63] VARAS AB, CORDOBA S, RODRIGUEZ-ANDONAEGUI I, et al. Effectiveness of a community-based exercise training programme to increase physical activity level in patients with chronic obstructive pulmonary disease: A randomized controlled trial. *Physiother Res Int.* 2018;23(4):e1740.
- [64] YATES T, DAVIES M, GORELY T, et al. Effectiveness of a pragmatic education program designed to promote walking activity in individuals with impaired glucose tolerance: a randomized controlled trial. *Diabetes Care.* 2009;32(8):1404-1410.
- [65] YATES T, DAVIES MJ, GORELY T, et al. The effect of increased ambulatory activity on markers of chronic low-grade inflammation: evidence from the PREPARE programme randomized controlled trial. *Diabet Med.* 2010;27(11):1256-1263.
- [66] LI C, CHEN X, BI X. Wearable activity trackers for promoting physical activity: A systematic meta-analytic review. *Int J Med Inform.* 2021;152(5):104487-104498.
- [67] WU S, LI G, DU L, et al. The effectiveness of wearable activity trackers for increasing physical activity and reducing sedentary time in older adults: A systematic review and meta-analysis. *Digit Health.* 2023;9: 1-13.
- [68] 王从江. 体育锻炼对我国普通大学生抑郁影响的 Meta 分析 [J]. 成都体育学院学报, 2014,40(3):75-79.
- [69] DEBRAY TPA, MOONS KGM, RILEY RD. Detecting small-study effects and funnel plot asymmetry in meta-analysis of survival data: A comparison of new and existing tests. *Res Synth Methods.* 2018; 9(1):41-50.
- [70] ROBERTS AL, FISHER A, SMITH L, et al. Digital health behaviour change interventions targeting physical activity and diet in cancer survivors: a systematic review and meta-analysis. *J Cancer Surviv.* 2017;11(6): 704-719.
- [71] SAINT-MAURICE PF, TROIANO RP, BASSETT DRJR, et al. Association of Daily Step Count and Step Intensity With Mortality Among US Adults. *JAMA.* 2020;323(12):1151-1160.
- [72] D'AMORE C, REID JC, CHAN M, et al. Interventions Including Smart Technology Compared With Face-to-face Physical Activity Interventions in Older Adults: Systematic Review and Meta-analysis. *J Med Internet Res.* 2022;24(10):e36134.
- [73] LIU JY, KOR PP, CHAN CP, et al. The effectiveness of a wearable activity tracker (WAT)-based intervention to improve physical activity levels in sedentary older adults: A systematic review and meta-analysis. *Arch Gerontol Geriatr.* 2020;91:104211-104230.
- [74] EKELUND U, TARP J, FAGERLAND MW, et al. Joint associations of accelerometer measured physical activity and sedentary time with all-cause mortality: a harmonised meta-analysis in more than 44 000 middle-aged and older individuals. *Br J Sports Med.* 2020;54(24):1499-1506.
- [75] MEH K, SEMBER V, SORIC M, et al. The dilemma of physical activity questionnaires: Fitter people are less prone to over reporting. *PLoS One.* 2023;18(8):e0285357.
- [76] MICHIE S, RICHARDSON M, JOHNSTON M, et al. The behavior change technique taxonomy (v1) of 93 hierarchically clustered techniques: building an international consensus for the reporting of behavior change interventions. *Ann Behav Med.* 2013;46(1):81-95.
- [77] GAO Z, RYU S, ZHOU W, et al. Effects of personalized exercise prescriptions and social media delivered through mobile health on cancer survivors' physical activity and quality of life. *J Sport Health Sci.* 2023; 12(6):705-714.
- [78] ISLAM KF, AWAL A, MAZUMDER H, et al. Social cognitive theory-based health promotion in primary care practice: A scoping review. *Heliyon.* 2023;9(4):e14889.
- [79] ZUBALA A, MACGILLIVRAY S, FROST H, et al. Promotion of physical activity interventions for community dwelling older adults: A systematic review of reviews. *PLoS One.* 2017;12(7):e0180902
- [80] AUERSWALD T, MEYER J, VON HOLDT K, et al. Application of Activity Trackers among Nursing Home Residents-A Pilot and Feasibility Study on Physical Activity Behavior, Usage Behavior, Acceptance, Usability and Motivational Impact. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(18):6683-6704.
- [81] HODKINSON A, KONTOPANTELIS E, ADENIJI C, et al. Interventions Using Wearable Physical Activity Trackers Among Adults With Cardiometabolic Conditions: A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA Netw Open.* 2021;4(7):e2116382.
- [82] LARSEN RT, CHRISTENSEN J, JUHL CB, et al. Physical activity monitors to enhance amount of physical activity in older adults- a systematic review and meta-analysis. *Eur Rev Aging Phys Act.* 2019;16(1):7.
- [83] STOCLWELL S, SCHOFIELD P, FISHER A, et al. Digital behavior change interventions to promote physical activity and/or reduce sedentary behavior in older adults: A systematic review and meta-analysis. *Exp Gerontol.* 2019;120:68-87.

(责任编辑: LWJ, GW, ZN, QY)