

数体融合：可穿戴设备在体育活动测量中的应用与展望

闫 斌¹, 张 伟^{1,2}

(1. 川北幼儿师范高等专科学校 体育与国防教育部, 四川 广元 628017;

2. 浙江大学 教育学院, 杭州 310000)

摘要: 通过文献资料法和逻辑分析法, 对可穿戴设备在身体活动测量中的信效度进行分析, 探讨身体活动类型、佩戴位置、测量指标、工具类型和测量环境等因素对测量结果的影响, 并进一步从适用对象、设备类型、佩戴位置、身体活动指标、执行标准、研究环境和技术适用性等维度探讨可穿戴设备的发展方向。由可穿戴设备所反馈的各项身体活动数据得出: 可穿戴设备对儿童青少年及老年人身体活动干预较为有效; 可穿戴设备对复杂的活动测量精度较差; 可穿戴设备须选择步进计数、能耗和心率等基础类指标作为测评衡量参数; 可穿戴设备在身体活动、养成健康行为层面对儿童青少年和老年人的促进作用效果有限。

关键词: 数体融合; 可穿戴设备; 身体活动; 测量

中图分类号: G80-05

文献标志码: A

文章编号: 1008-3596 (2023) 04-0025-09

0 引言

身体活动不足已经被公认为全球第四大死亡风险致因, 全球每年因此而死亡的人数约 320 万 (占全球死亡人数的 6%)^[1]。身体活动是一种可改变的生活方式行为, 利用嵌入生理反馈技术的可穿戴设备, 可以对身体活动进行技术干预、监控和改造。可穿戴设备在身体活动监测干预研究中的应用日益广泛, 且在个体身体活动促进方面显示出巨大的技术潜力。对可穿戴设备在身体活动测量研究中的信效度进行统计分析, 并探究其生理反馈技术的运用机理, 有助于厘清现有设备的成熟程度和发展方向, 促进可穿戴设备在运动表现分析方面的不断优化。

1 可穿戴设备在身体活动测量中的描述性统计分析及其技术机理

本研究搜集了国内外 2016 年 1 月至 2020 年 12 月期间, 有关身体活动测量设备信效度研究的文献, 并对不同群体身体活动测量设备的信效度研究进行统计分析。

1.1 研究方法

1.1.1 文献资料来源及检索策略

有效性、适用性是技术的功用价值被认可的前提条件^[2]。因此, 本研究以技术的适用性、效用性以及身体活动相关的指标为主题搜集相关文献资料。在适用性方面, 将设备特征具体化为“可穿戴设备 (wearable technology device)、便携式 (portable)、传感器 (sensor)、手环

收稿日期: 2022-12-12

作者简介: 闫 斌 (1985—), 男, 甘肃高台人, 副教授, 硕士, 研究方向为体育管理、体育教育。

文本信息: 闫斌, 张伟. 数体融合: 可穿戴设备在体育活动测量中的应用与展望[J]. 河北体育学院学报, 2023, 37 (4): 25-33.

(wrist)、腰带 (waist)、app、设备 (device)、智能 (intelligence)、电话 (phone)、代谢装置 (metabolize)、检测仪 (monitor)、加速度计 (accelerometer)、计步器 (pedometer)、心率 (heart rate)、Fitbit、活动监测仪 (actigraph)、Polar、腕带 (wristband)、测量 (measure)、估算 (estimate)、计算 (calculate)、评估 (evaluate)、检测 (check)、测试 (test)”等主题词。在身体活动维度上,选择“身体活动 (physical activity)、活动 (activity)、上 (up)、下 (down)、走 (walk)、跑 (run)、下蹲 (squat)、蹬踏 (pedal)、步数 (step)、行为 (behavior)、锻炼 (exercise)、体育运动 (sport)、骑自行车 (bicycle)、单车 (bike)、体育参与 (sport participation)、步进数 (count)、参加 (比赛) (play)”等关键词。在效用性方面,选择“信度 (reliability)、效度 (validity)、准确 (accuracy)、可靠 (reliable)、一致 (stable)”等主题词。分别在 CNKI 和 Web of Science 核心集 (下称“WOS”) 数据库里进行文献检索。

在检索策略上 (图 1), 按照“适用性+身体活动类型+效用性”的逻辑主线搜集文献资料, 进行效用性验证, 确证当前的成熟程度及优化改进。CNKI 检索方法为 $SU = (\text{可穿戴设备 or 便携式 or 传感器 or 手环 or 腰带 or app or 设$

备 or 智能 or 电话 or 代谢装置 or 检测仪 or 加速度计 or 计步器 or 心率 or Fitbit or 活动监测仪 or Polar or 腕带 or 测量 or 估算 or 计算 or 评估 or 检测 or 测试) And $SU = (\text{身体活动 or 活动 or 上 or 下 or 走 or 跑 or 下蹲 or 蹬踏 or 步数 or 行为 or 锻炼 or 体育运动 or 骑自行车 or 单车 or 体育参与 or 步进数 or 运动})$ And $SU = (\text{信度 or 效度 or 准确 or 可靠 or 一致})$ 。在 WOS 中检索采用 $TI = (\text{“wearable technology device” or “portable” or “sensor” or “wrist” or “waist” or “app” or “device” or “intelligence” or “phone” or “metabolize” or “monitor” or “accelerometer” or “pedometer” or “heart rate” or “Fitbit” or “actigraph” or “Polar” or “wristband” or “measure” or “estimate” or “calculate” or “evaluate” or “check” or “test”})$ and $TI = (\text{“physical activity” or “activity” or “up” or “down” or “walk” or “run” or “squat” or “pedal” or “step” or “behavior” or “exercise” or “sport” or “bicycle” or “bike” or “sport participation” or “count” or “play”})$ and $TI = (\text{“reliability” or “validity” or “accuracy” or “reliable” or “stable”})$ 的方式, 分别运用布尔运算和搜索字符串组合的迭代过程进行组合检索。同时, 对所检索到的文献中所列出的参考文献进行追溯。

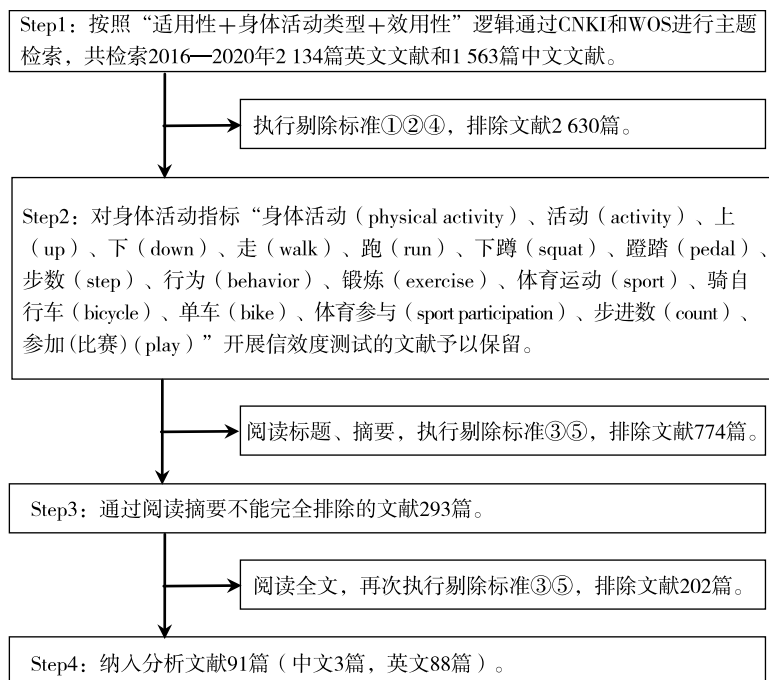


图1 CNKI 和 WOS 文献检索流程

1.1.2 文献剔除标准与一致性检验

(1) 文献剔除标准。①综述类文献; ②会议文章、摘要文章; ③评论, 描述性、纯理论性文章; ④关于程序、算法、软件或者发明方面的文献; ⑤过程无标准、无生理反馈描述、无明确结果的文献。

(2) 研究的质量保证与评估。在执行完剔除标准后, 分别邀请 3 位评估员对筛选后的文献进行一致性检验, *Cohen's kappa* 系数为 0.843, 具有较好的编码信度。同时, 对研究中涉及的信效度做了规定: 相关设备信效度的等级评定依照原文献中所界定的标准来确定。参照绝大多数文献中等级的划分 (个别文献将信效度等级划分为

高等、中等、低等 3 个等级, 根据原研究的定性, 依次纳入信效度的相应等级层次), 本研究信度划分为非常好、较好、一般和较低 4 个等级, 效度划分为有效、中等、低等和无效 4 个等级。在本研究所纳入的文献中, 其信度处于较好及以上视为合格, 效度处于中等及以上等级视为合格。

1.1.3 数据提取

利用 EXCLE2017 制作数据统计表。提取数据包括研究群体、身体活动类型、测试工具佩戴位置、测量指标、工具类型、测量环境等字段。

1.2 可穿戴设备应用的信效度描述统计分析

1.2.1 研究对象的信效度描述分析

表 1 不同人群身体活动测量的信效度描述性统计

人群类别	信度等级								合计	效度等级								合计		
	非常好		较好		一般		较低			有效		中等		低等		无效				
	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%		
健康成人	15	36.6	12	29.2	10	24.4	4	9.8	41	68.3	30	33.3	31	34.4	19	22.1	10	11.1	90	63.8
健康儿童青少年	4	33.3	1	8.3	1	8.3	6	50.0	12	20.0	6	19.3	9	29.0	15	48.3	1	3.2	31	22.0
健康老年人	0	0	1	100.0	0	0	0	0	1	7.1	0	0	2	33.3	4	66.6	0	0	6	4.2
特殊群体	4	66.7	1	16.7	1	16.7	0	0	6	10.0	2	14.3	3	21.4	7	50.0	2	14.3	14	9.9
总计	23	38.3	15	25.0	12	20.0	10	16.7	60	100.0	38	27.0	45	31.9	45	31.9	13	9.2	141	100

从研究对象群体看, 大部分为健康群体, 信效度研究数量占比均达 90%, 而特殊人群仅占 10%。健康群体中, 对成年群体的信效度研究占据明显优势 (41 次、90 次), 对儿童青少年的信效度研究较少 (12 次、31 次), 对老年人群体的信效度研究更少 (1 次、6 次)。

在信效度合格度方面, 一方面, 特殊人群的信度合格值为 83.4%, 高于健康群体中的成人和儿童青少年 (虽然老年人群体的信度达 100%, 但样本量太小)。其可能原因是特殊群体身体活动的幅度和强度在前后重复的测量中变化较小, 以及对特殊人群的身体活动测量一般是在自然、无干涉条件下进行的, 符合日常的身体活动习惯, 所以设备在前后的测试中表现出较好的稳定性, 测量的信度较高。需要注意的是, 技术设备前后的一致性不代表技术设备有较高的测试准确度。在对特殊群体的身体活动进行测量时, 信度较高的技术设备往往表现出较低的效度值。

在效度合格值方面, 健康群体中成年人为 67.7%, 远高于儿童青少年 (48.3%)、老年人

(33.3%) 和特殊人群 (35.7%)。这可能与不同群体的活动类型有关, 特殊群体的身体活动幅度、强度、速度都较健康成年人小; 儿童青少年的身体活动类型更多为爆发性活动^[3], 如瞬间的起跳、奔跑等; 老年人的身体活动类型多为柔慢性活动^[3], 如健身走跑、太极拳、养生气功等。反映了现有设备难以对较低或较高活动水平的身体活动做出精准识别和数据监测, 也说明现有大部分设备和算法是针对健康成年人群设计的, 忽视了其他人群的多样化要求。另外还发现, 在目前的研究中, 对儿童、老年人的研究不多, 样本比较小。可能因为与其他人群相比, 该两类人群身体活动不足的比例较高、不确定因素更多, 在可穿戴设备干预过程中较难把控^[4]。

1.2.2 身体活动类型的信效度描述分析

在活动类型的信度研究中, 走跑类的研究最多, 力量练习和静止类活动较少。信度合格值最高的是走跑类 (68.2%), 其次是力量练习类 (66.7%)、骑行类 (56.9%)、静止类 (50%), 综合类信度最低 (42.9%)。在效度研究中, 研究数量依次为走跑类、综合类、骑行类、静止类

和力量练习类。在效度合格值方面，依次为综合类（75%）、骑行类（71.4%）、力量练习类（53.6%）、静止类（57.2%）和走跑类（71.3%）。

表2 不同身体活动类型测量的信效度描述性统计

身体活动类型	信度等级								合计	效度等级								合计		
	非常好		较好		一般		较低			有效		中等		低等		无效				
	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%		
走跑类	16	39.0	12	29.2	10	24.4	3	7.3	41	68.3	22	22.7	30	30.9	37	38.1	8	8.3	97	68.8
骑行类	3	42.9	1	14.3	0	0	3	42.9	7	11.7	5	35.7	5	35.7	3	21.4	1	7.1	14	9.9
综合类	2	28.6	1	14.3	1	14.3	3	42.9	7	11.7	5	31.2	7	43.8	2	12.5	2	12.5	16	11.4
力量练习类	2	66.7	0	0	0	0	1	33.3	3	5	4	57.1	1	14.2	2	28.6	0	0	7	5.0
静止类	0	0	1	50.0	1	50.0	0	0	2	3.3	2	28.6	2	28.6	1	14.2	2	28.6	7	5.0
总计	23	38.3	15	25.0	12	20.0	10	16.7	60	100.0	38	27.0	45	31.9	45	31.9	13	9.2	141	100.0

注：“综合类”是指多项活动的结合和叠加。

可见，作为日常生活中最常见的活动方式，走和跑被研究的最多，设备信度一般，有待改进提升。走跑类属于效度表现最低的活动类型，一定程度上说明，针对不同强度、不同模式的活动，设备的精确性不够稳定，效度水平很难保证。如加速度计通常用于测量身体活动和久坐行为，但可能无法准确测量姿势变化。身体质量对加速度计产生的加速度大小有显著影响，加速度计似乎不适合测量高速运行期间的平均加速度

值^[3]。采用坐姿佩戴腕带活动监视器时，静止的手臂运动可能低估步数；而在携带物品行走时，连续的大臂运动导致高估步数^[5]。Fitbit Charge HR 在高强度活动中往往会低估心率^[2]。随着人们活动类型及形式的日益丰富，未来设备应尽可能纳入更多的身体活动类型并进行生物特征的综合测量，以及对同一类型活动不同强度水平进行明确的生物特征界定和精确的分级测量。

1.2.3 佩戴位置的信效度描述分析

表3 不同佩戴位置测量的信效度描述性统计

佩戴位置		信度等级								合计		效度等级								合计	
		非常好		较好		一般		较低				有效		中等		低等		无效			
		<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%
手腕	11	44.0	4	16.0	4	16.0	6	24.0	25	41.7	17	29.8	13	22.8	21	36.8	6	10.5	57	40.4	
腕部	2	22.2	3	33.3	3	33.3	1	11.1	9	15.0	4	22.2	6	33.3	7	38.9	1	5.6	18	12.8	
脚踝	1	14.3	2	28.6	4	57.1	0	0	7	11.7	4	40.0	3	30.0	3	30.0	0	0	10	7.1	
脚底	1	100	0	0	0	0	0	0	1	1.7	1	50.0	0	0	0	0	1	50.0	2	1.4	
小腿	2	66.7	0	0	0	0	1	33.3	3	5.0	1	33.3	2	66.7	0	0	0	0	3	2.1	
胸部	1	100.0	0	0	0	0	0	0	1	1.7	2	28.6	2	28.6	2	28.6	1	14.3	7	5.0	
整上半身	1	100.0	0	0	0	0	0	0	1	1.7	1	20.0	2	40.0	1	20.0	1	20.0	5	3.6	
耳朵	0	0	1	100.0	0	0	0	0	1	1.7	0	0	1	50.0	0	0	1	50.0	2	1.4	
大腿	1	100.0	0	0	0	0	0	0	1	1.7	1	16.7	2	33.3	2	33.3	1	16.7	6	4.3	
手上臂	1	50.0	1	50.0	0	0	0	0	2	3.3	3	37.5	3	37.5	2	25	0	0	8	5.6	
背部	1	100.0	0	0	0	0	0	0	1	1.7	1	25.0	3	75.0	0	0	0	0	4	2.8	
手持	1	33.3	1	33.3	1	33.3	0	0	3	5.0	0	0	3	60.0	2	40.0	0	0	5	3.6	
口袋	0	0	1	33.3	0	0	2	66.7	3	5.0	3	50.0	2	33.3	1	16.7	0	0	6	4.3	
领口	0	0	1	100.0	0	0	0	0	1	1.7	0	0	1	50.0	0	0	1	50.0	2	1.4	
颈部	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	50.0	1	50.0	0	0	2	1.4	
多部位组合	0	0	1	100.0	0	0	0	0	1	1.7	0	0	1	25.0	3	75.0	0	0	4	2.8	
总计	23	38.3	15	25.0	12	20.0	10	16.7	60	100.0	38	27.0	45	31.9	45	31.9	13	9.2	141	100.0	

对佩戴位置信度研究最多的是手腕，其次是髌部和脚踝，其他佩戴位置研究较少。从佩戴位置看，背部、耳朵、领口、大腿、整上半身、胸

部、手上臂、脚底和多部位组合等区域设备信度最高，但研究数量都小于4次。其次是小腿和手持，手腕和髌部信度表现一般，口袋信度最差。

研究数量达 5 次以上的佩戴位置中，手腕位置佩戴的设备信度较高（60%），优于髌部（55.5%）和脚踝（42.9%）。手腕部位佩戴的方式更符合人们的使用习惯，虽然佩戴在大腿和脚底的位置测量信度较高，但下肢的形态结构和运动结构往往导致佩戴者不适或设备滑落^[6]。将设备安放在背部、整上半身、胸部和耳朵等部位，会让佩戴者产生排斥感，降低佩戴的依从性。因此，手腕佩戴设备将是未来的技术样态。

佩戴位置效度研究最多的为手腕，其次是髌部。效度合格值方面，颈部、领口、多部位组合、手持和耳朵佩戴位置的设备效度较低，且研究数量少于 5 次。在研究数量多于 5 次的佩戴位置中，效度合格值依次为口袋（83.3%）、手上

臂（75%）、脚踝（70%）、整上半身（60%）、手持（60%）和胸部（57.2%）等，大腿最低（49.9%），佩戴位置研究最多的手腕（52.6%）和髌部（55.5%）效度表现一般。腕部和髌部佩戴位置的设备效度不理想，可能是因为设备本身的算法和设计还不成熟，对上肢较大开放性的活动状态难以准确测量，需改进优化。其次，设备的佩戴需符合一定的规范，如基于加速度计的设备一般佩戴在接近重心的髌部位置，而佩戴在腕部的设备只有在快速运动时才有较高的准确性^[7]。佩戴在非优势侧或非健康侧部位的设备效度较优势侧或健康侧普遍较低，这可能是不同身体侧的身体活动存在较大差异造成的^[8]。

1.2.4 测量指标的信效度描述分析

表 4 不同测量指标的信效度描述性统计

测量指标	信度等级								合计	效度等级								合计		
	非常好		较好		一般		较低			有效		中等		低等		无效				
	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%		
心率	5	71.4	2	28.6	0	0	0	0	7	11.7	4	33.3	3	25.0	5	41.7	0	0	12	8.5
动作识别	1	33.3	1	33.3	0	0	1	33.3	3	5.0	3	37.5	1	12.5	3	37.5	1	12.5	8	5.7
步进计数	13	35.1	11	29.7	10	27.0	3	8.1	37	61.7	17	26.1	21	32.3	16	24.6	11	16.9	65	46.1
能耗	3	27.2	1	9.1	1	9.1	6	54.6	11	18.3	9	25.0	13	36.1	14	38.9	0	0	36	25.5
睡眠时间	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	27.3	4	36.4	4	36.4	0	0	11	7.8
综合类	1	50.0	0	0	1	50.0	0	0	2	3.3	2	20.0	3	30.0	3	30.0	2	20.0	10	7.1
总计	23	38.3	15	25.0	12	20.0	10	16.7	60	100.0	38	27.0	45	31.9	45	31.9	13	9.2	141	100.0

在测量指标的信度研究中，最多的是步进计数，其次是能耗、心率、动作识别、综合类。信度合格值最高的测量指标是心率（100%），其次是动作识别（66.6%）、步进计数（64.8%）、综合类（50%），最差的是能耗（36.3%）。需要特别指出的是，尽管综合类测量在现实研究中难度较大，但系统运用多项指标开展身体活动综合测量已有尝试且信度合格值达到 50%，但由于目前的研究样本较少（2 次），还需要更多的研究继续论证。总体看来，测量指标的信度表现较好。

在效度验证中，步进计数的研究最多，其次为能耗、心率、睡眠时间、综合类和动作识别。在效度合格值上，睡眠时间（63.7%）最高，其次为能耗（61.1%）、步进计数（58.4%）、心率（58.3%）、动作识别（50%）和综合类（50%）。指标效度整体水平一般，研究次数较多的指标是步进计数和能耗。对各

类群体而言，设备应加强心率、能耗、睡眠时间指标的效度设计精准性。

研究发现，同一设备在不同的数据指标中存在效度不稳定情况。如在以步数为算法基础的代谢当量的测量中，当设备在代谢成本高、步数低的任务中时，其预测能耗的准确性较低^[9]。这与设备的算法有关，因为日常的分析指标都是以某一原始生理数据结合某一特定的算法转换而来的，不同设备有不同的转换算法程序和转换指标^[9]。因此，算法是今后设备技术优化升级的首要问题。另有研究发现，测量指标的效度在不同身体活动的类型、速度、强度下存在一定差异。这暴露出单纯依靠加速度传感器的能量消耗算法的缺陷。此外，在以步数为指标的研究中，加速度计类型的设备在中高速度中有较高的效度，但低速状态时，就会出现低估或者高估实际步数值的情况^[5]。

1.2.5 工具类型的信效度描述分析

表 5 不同工具的信效度描述性统计

工具类型	信度等级								合计	效度等级								合计		
	非常好		较好		一般		较低			有效		中等		低等		无效				
	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%		<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%			
追踪器	7	33.3	5	23.8	5	23.8	4	19.1	21	35.0	4	20.0	7	35.0	8	40.0	1	5.0	20	14.2
加速度计	3	42.9	2	28.6	2	28.6	0	0	7	11.7	6	28.6	6	28.6	7	33.3	2	9.5	21	14.9
计步器	2	33.3	2	33.3	2	33.3	0	0	6	10.0	4	30.8	4	30.8	3	23.1	2	15.4	13	9.2
传感器	1	50.0	0	0	0	0	1	50.0	2	3.3	2	14.3	5	35.7	4	28.6	3	21.4	14	9.9
手腕设备	5	38.5	3	23.1	2	15.4	3	23.1	13	21.7	4	23.5	7	41.2	4	23.5	2	11.8	17	12.1
胸带	1	100.0	0	0	0	0	0	0	1	1.7	1	100	0	0	0	0	0	0	1	0.7
手环	3	42.9	2	28.6	1	14.3	1	14.3	7	11.7	14	35.0	11	27.5	13	32.5	2	5.0	40	28.4
能耗	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	22.2	3	33.3	3	33.3	1	11.1	9	6.4
应用程序	1	33.3	1	33.3	0	0	1	33.3	3	5.0	1	16.7	2	33.3	3	50.0	0	0	6	4.3
总计	23	38.3	15	25.0	12	20.0	10	16.7	60	100.0	38	27.0	45	31.9	45	31.9	13	9.2	141	100.0

工具类型的信度研究涉及 9 种设备，按设备类属统计，胸带信度最高（100%），但只有 1 次研究；其次为手环和加速度计（均为 71.5%）、计步器和应用程序（均为 66.6%）、手腕设备（61.6%）、追踪器（57.1%）和传感器（50%）。随着设备算法的优化改进，设备品质已相对稳定，只要保证身体活动的监控原理和算法相对固定，在硬件正常运行的情况下，各类工具测量的信度都较高。

在效度方面，总研究数量为 141 次，效度合格值为 58.9%，显示设备效度值一般。按设备类属统计，胸带效度最高（100%），但研究只有 1 次；其次为手腕设备（64.7%）、手环

（62.5%）、计步器（61.6%）、加速度计（57.2%）、能耗（55.5%）、追踪器（55%）、传感器和应用程序类（均为 50%）。本文涉及设备的效度在某一特定条件下都达到过要求，效度达到较高水平的设备有 Fitbit Charge HR、Acti-Graph GT3X+ 和 Polar 等，但都限于某种单一指标和特定环境。部分设备在不同条件下测量身体活动的表现并不一致，即使是同一品牌的技术设备，其效度值也存在较大差异。因设备的效度受研究对象、身体活动类型、自然环境等多种因素影响，目前只能从整体上判断现有身体活动测量设备效度一般。

1.2.6 测量环境的信效度描述分析

表 6 不同测量环境的信效度描述性统计

测量环境	信度等级								合计	效度等级								合计		
	非常好		较好		一般		较低			有效		中等		低等		无效				
	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%		<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%			
实验环境	8	28.6	6	21.4	7	25.0	7	25.0	28	46.7	32	33.0	37	38.1	24	24.7	4	4.1	97	68.8
日常生活场景	15	46.9	9	28.1	5	15.6	3	9.4	32	53.3	6	13.6	8	18.2	21	47.7	9	20.5	44	31.2
总计	23	38.3	15	25.0	12	20.0	10	16.7	60	100.0	38	27.0	45	31.9	45	31.9	13	9.2	141	100.0

从测量环境指标的信度上看，实验环境下的研究少于日常生活场景，实验环境下的设备信度合格值（50%）低于日常生活场景（75%），表明在实验环境下采用的技术规范和技术标准高于日常生活场景。

从测量环境指标的效度上看，实验环境下的研究多于日常生活场景，且实验环境中的效度值（71.1%）高于日常生活场景（31.8%）。这可能

是因为大多数设备还处于研发升级阶段，且相比日常生活场景下的身体活动，实验室的条件控制更为严格。另外，也表明现有设备未能有效区别实验室与日常生活条件下的身体活动行为，或是对不同强度的身体活动未能精准识别，尽管是相同设备也表现出较大的效度差异，如与实验室步态相比，在生活环境中行走的速度明显较慢且更多变。

2 讨论总结

2.1 适用对象

从当前的信效度研究来看, 可穿戴设备用于身体活动测量是可行的, 对儿童青少年及老年人身体活动干预较为有效。虽然目前可穿戴设备主要用于健康成人, 但儿童青少年、健康水平不稳定的老年人以及残疾人, 也需进行身体活动测量并促进身体活动开展, 这是健康中国的要求, 应该成为社会关注的重点领域。

2.2 测量设备

由于设备的类别、型号、佩戴位置、运动方式、速度、测试对象和算法都会对测量的准确性和有效性产生影响, 目前很难发现一种能兼顾多种身体活动类型和环境条件的设备。现有绝大多数设备只是在特定的环境条件下表现出较好的信效度, 还不能很好地识别一些独立的身体活动。然而对于复杂的活动集(如嵌入2个步行段的跑步)测量精度较差^[10]。未来可穿戴设备需要进一步提升对活动类型尤其是活动组合的识别能力, 进一步改进和优化设备算法来提高设备的信效度。例如在有氧运动方面, 不仅要收集慢走和轻强度活动, 更应该涉及高强度间歇性活动(如篮球和足球), 以及其他各种运动强度下的自由活动模式。此外, 随着电路学、艺术美学、服装设计学、材料学等多领域学科知识的交叉融合, 以及纳米技术、低功耗电子学和生物传感器设计的进步, 将多种传感器集成于一个设备成为可能, 兼顾穿着性和精确性的多模态、多指标的多传感器方法是行业发展趋势。同时, 未来设备将更好地对生物反馈程序、显示技术、实时生物力学数据与交互式视觉显示技术进行整合。可穿戴接收器单元和应用程序使用中国北斗卫星导航系统(BDS)、全球定位系统(GPS)或本地定位系统(LPS)能更准确地全方位监测家庭、社区等场域的身体活动, 积累丰富的身体活动大数据。以智能手机为载体集成BDS、GPS的“应用程序”可能会成为一个廉价便捷、适合大规模身体活动监测的工具, 更好地用以改进运动计划^[11]。

2.3 佩戴位置

不同佩戴位置会对姿势(坐或站立)和活动类型辨别的精确性产生影响, 需要根据特定的身体活动类型、使用群体特征来确定佩戴位置。如

需要识别手势的研究可能需要腕部传感器; 测量日常活动和久坐行为的研究可以选择使用大腿、脚踝、腰等部位的传感器; 基于加速度计的可穿戴设备, 其佩戴位置距离重心越近、越靠近躯干测量越准确; 旨在检测一组精细、复杂的身体活动的研究, 可以使用腕部和非腕部位置的传感器组合, 考虑使用至少2个或3个传感器组合(包括臀部、脚踝和大腿的传感器组合)的模型将方位相关特征与运动特征相结合来识别身体姿势和活动类型, 可以提高基于定向的运动特征准确度; 嵌入可穿戴传感器的穿着类设备可能是戴在手腕或腰部设备的潜在替代品, 其可增加佩戴者对设备的依从性, 提高设备数据收集的合规性和质量^[12]。同时, 除了佩戴的舒适性和可接受性外, 还需要考虑佩戴位置的优势侧(健康侧)和非优势侧(非健康侧)等因素。

2.4 身体活动指标

人类的能量消耗由静息能耗、饮食诱导的产热和身体活动能耗组成, 精确量化与活动相关的能耗是检查普通人群是否符合体育活动建议的必要条件。步数作为转化为能量消耗以及衡量距离等参数的一项基础身体活动监控指标, 通常被用于计算身体活动水平^[13]。中高强度身体活动被认为能够反映身体活动水平和评估儿童青少年是否达到身体活动推荐量。在未来的研究中, 选择步进计数、能耗和心率等基础类指标作为衡量参数, 能较容易地测评儿童青少年身体活动水平。未来对大型数据集分析的需要, 要求身体活动测量设备或应用程序无创地监测更多的额外参数, 以尽可能可靠和方便地收集尽可能多的数据, 并将其转化为有意义的性能参数模型。在一项研究中, 建议将加速度计(理想位置靠近质心)与心率、呼吸频率或分钟通气相结合, 以提供最可靠的能量消耗预测^[14]。

2.5 执行标准

目前大多数设备都使用各自的算法, 没有对身体活动原始生理数据进行加工以转化为可供直接测评反馈的统一标准, 也没有达成共识的身体活动强度分界点。各类测量指标使用对照选择的“黄金标准”也不一致, 很难进行相互之间的信效度比较。今后要逐步建立身体活动指标测量评估标准, 实现不同品牌、型号设备间数据处理算法的统一, 以便于在不同的数据集上重复这些实验, 并将测试扩展到日常生活中, 收集更多的数

据集。

2.6 研究环境

实验室测试的优势是可以在严格的条件下测试不同生理指标的极限值,有合理的生理生物学机制性能控制。标准化实验室主要聚焦案例研究,样本采集的规模性、多样性受到较大限制,测试持续时间短,不能完整捕捉全面的生物信息。此外,实验过程中还存在着样本遗失、数据丢失的情形。复杂的实验过程还会对教育实验产生较大的干扰,无法克服学生在非自然日常环境下带来的心理和学习习惯偏差^[15]。因此,在正式实验前最好采用不同的组合方式进行预实验及数据的预处理,选择信效度最高的研究方案。在实验设计上,尽可能进行随机对照实验提升实验的有效性,进一步完善实验设计的规范、逻辑与执行的程序、步骤。同时,由于自然环境因素,如海拔、坡度、温度、紫外线、湿度等都不可避免地会对身体活动各项指标测量值产生影响。所以,在自然环境中验证身体活动指标是非常必要的。

2.7 技术的意用满足

技术的意用性是指个体对技术的期望偏好、感知满意度和接受程度。嵌入生理反馈技术的可穿戴设备在促进身体活动、养成健康行为层面对儿童青少年和老年人的作用有限。某研究显示:“大多数人使用可穿戴设备的时间较短,最多不超过6个月。”^[16]一方面,这可能与现有技术的低依从性与低效用性有关,人们对该类技术的意用水平较低;另一方面,当今身体消费领域的商业化炒作营造出的各类“完美身体”模型,将身体异化为可改造的商品,较大误导了人们的身体认同和身体活动认知^[17],使得身体被淹没在符号、假象与臆想的漩涡之中,当下的身体比之前所有时代都呈现出更大的不确定性^[18]。大多数人将健康简化为可以量化的步进计数、运动里程、能量消耗、数字排名。在这种量化背景下,可穿戴设备成了一种“凝视”装置,实现对身体的管理和规划^[19],嵌入日常活动的持续监测会造成一种压力。人们为了克服这些消极的自我感觉,会倾向于终止设备或应用程序,甚至通过操纵设备上的数据记录来提升排名^[20]。因此,需要引导人们批判地看待测量工具、测量指标及测量反馈,形成正确的健康认知和科学的心理解释机制,以更好应对压力和消极的感觉,深刻理解

运动的乐趣和价值。

3 结束语

当前,利用可穿戴设备对身体活动进行测量已成为一种日常生活实践,以“数字映照身体”所建构起的自我量化和数字刻画已成为主要呈现和表征形式。未来,需要进一步从技术升级、制度完善、算法优化和标准统一等方面进行改进,让可穿戴设备更精准反馈各项身体活动数据、更大范围覆盖健身人群,让个体能够对身体进行更有效、更便捷的自我凝视和自我感知,达成真正意义上的“数体融合”状态,从而更好地进行身体管理和促进身体活动的开展,为实现“健康中国2030”中的全民体质健康目标提供更多的技术支持。

参考文献:

- [1] 陈中医.建成环境对儿童体力活动情况影响的研究:以南京市为例[D].扬州:扬州大学,2017.
- [2] THOMSON E A, NUSS K, COMSTOCK A, et al. Heart rate measures from the Apple Watch, Fitbit Charge HR 2, and electrocardiogram across different exercise intensities[J]. Journal of Sports Sciences, 2019, 37(12): 1411.
- [3] ALEXANDER J P, HOPKINSON T L, WUNDERSITZ D W, et al. Validity of a wearable accelerometer device to measure average acceleration values during high-speed running[J]. Journal of Strength and Conditioning Research, 2016, 30(11): 3007.
- [4] 张丹青,孙建刚,刘雪琦,等.基于可穿戴设备的儿童青少年身体活动干预效果综述[J].上海体育学院学报,2019,43(5):41.
- [5] CHEN M D, KUO C C, PELLEGRINI C A, et al. Accuracy of wristband activity monitors during ambulation and activities[J]. Medicine and Science in Sports and Exercise, 2016, 48(10): 1942.
- [6] 孙建刚,柯友枝,洪金涛,等.利器还是噱头:可穿戴设备在身体活动测量中的信效度[J].上海体育学院学报,2019,43(6):29.
- [7] WAHL Y, DÜKING P, DROSZEZ A, et al. Criterion-validity of commercially available physical activity tracker to estimate step count, covered distance and energy expenditure during sports conditions[J]. Frontiers in Physiology, 2017, 8: 725.
- [8] TREACY D, HASSETT L, SCHURR K, et al. Validity of different activity monitors to count steps

- in an inpatient rehabilitation setting [J]. *Physical Therapy*, 2017, 97(5): 581.
- [9] MONTOYE A H K, DONG B, BISWAS S, et al. Validation of a wireless accelerometer network for energy expenditure measurement [J]. *Journal of Sports Sciences*, 2016, 34(21): 2130.
- [10] MOKHLESPOUR ESFAHANI M I, NUSSBAUM M A. Classifying diverse physical activities using “smart garments” [J]. *Sensors*, 2019, 19(14): 3133.
- [11] BENSON A C, BRUCE L, GORDON B A. Reliability and validity of a GPS-enabled iPhone™ “app” to measure physical activity [J]. *Journal of Sports Sciences*, 2015, 33(14): 1421.
- [12] MONTOYE A H K, MITRZYK J R, MOLESKY M J. Comparative accuracy of a wrist-worn activity tracker and a smart shirt for physical activity assessment [J]. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 2017, 21(4): 201.
- [13] EL-AMRAWY F, NOUNOU M I. Are currently available wearable devices for activity tracking and heart rate monitoring accurate, precise, and medically beneficial? [J]. *Healthcare Informatics Research*, 2015, 21(4): 315.
- [14] INGRAHAM K A, FERRIS D P, REMY C D. Evaluating physiological signal salience for estimating metabolic energy cost from wearable sensors [J]. *Journal of Applied Physiology*, 2019, 126(3): 717.
- [15] 翟雪松, 束永红, 楚肖燕, 等. 轻量级生理反馈技术的教育应用及测量: 基于 2015—2020 年的文献综述 [J]. *开放教育研究*, 2020, 26(6): 37.
- [16] SALMON J, RIDGERS N D. Is wearable technology an activity motivator, or a fad that wears thin? [J]. *Medical Journal of Australia*, 2017, 206(3): 119.
- [17] 廖述务. 身体: 美学的与实践的: 大众文化视野中“身体美学”的反思与重构 [D]. 福州: 福建师范大学, 2010.
- [18] 郭海霞. 论身体资本与身体教育 [D]. 北京: 北京体育大学, 2011.
- [19] 彭秀祝. “雕刻身体”: 青年健身群体的身体实践与情感体验 [J]. *中国青年研究*, 2020(3): 78.
- [20] GOODYEAR V A, KERNER C, QUENNERSTEDT M. Young people’s uses of wearable healthy lifestyle technologies; surveillance, self-surveillance and resistance [J]. *Sport, Education and Society*, 2019, 24(3): 212.

Integration of Digitization and Sports: Application and Prospect of Wearable Devices in Sports Activity Measurement

YAN Bin¹, ZHANG Wei^{1,2}

(1. Physical Defense Education, North Sichuan College of Preschool Teacher Education, Guangyuan 628017, China;

2. College of Education, Zhejiang University, Hangzhou 310000, China)

Abstract: Through the methods of literature review and logical analysis, this paper analyzes the reliability and validity of wearable devices in sports activity measurement, discusses the influence of sports activity type, wearing position, measurement index, tool type and measurement environment on the measurement results, and further discusses the development direction of wearable devices from the dimensions of applicable object, device type, wearing position, physical activity index, implementation standard, research environment and technical applicability. According to the physical activity data fed back by wearable devices, wearable devices are more effective in physical activity intervention for children, adolescents and the elderly; wearable devices have poor measurement accuracy for complex activities; wearable devices must choose basic indicators such as step count, energy consumption and heart rate as evaluation parameters; wearable devices have limited effects on promoting physical activity and healthy behavior in children, adolescents and the elderly.

Key words: integration of digitization and sports; wearable device; physical activity; measurement