



身体活动客观测量方法的比较与选择

孙建刚^{1,2}, 刘阳^{2,3*}, 任波⁴, 李博²

摘要: 客观高效地测量身体活动是全球医学、公共卫生学、教育学和体育学领域面临的共同议题。身体活动客观测量法种类繁多、各具特色,给研究者的选择和使用造成了一定的困难。本文回顾与总结了国内外关于身体活动测量的相关研究,对其使用的测量方法的工作原理与适用情形等方面进行了总结与述评,为身体活动测量方法的选用提供理论参考,也为测量方法的未来发展提供建议。各类测量方法均存在局限性,选用时应根据研究目的和研究内容综合考虑;研究者理解测量原理对工具的选择和合理使用有较大帮助。多方法联合测量将会是今后身体活动研究的主流选择。

关键词: 身体活动; 能耗; 测量; 比较

中图分类号: G804 文献标志码: A 文章编号: 1006-1207(2021)01-0069-08

DOI: 10.12064/ssr.20210110

Choose and Comparison of Measurements on Physical Activity Comparison and Selection of Objective Measurements on Physical Activity

SUN Jiangang^{1,2}, LIU Yang^{2,3*}, REN Bo⁴, LI Bo²

(1. School of Physical Education, West Anhui University, Lu'an 237012, China; 2. School of Physical Education and Training, Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China; 3. Shanghai Research Center for Physical Fitness and Health of Children and Adolescents, Shanghai 200438, China; 4. School of Economics and Management, Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China)

Abstract: How to measure physical activity Objectively and efficiently is a common issue in the fields of medicine, public health, education and physical education all over the world. The varieties and distinctiveness of physical activity measurement methods make it difficult for researchers to choose and use. This article reviews the relevant researches on physical activity measurement at home and abroad, and summarizes the working principles and application situations of the measurement methods used. It provides a theoretical reference for the selection of physical activity measurement methods, and also provides suggestions for the future development of measurement methods. It concludes that all kinds of measurement methods have limitations; therefore, the selection of measurements should be based on the research purpose and content. The researcher's understanding of the measurement principle is of great help to the selection and rational use of different tools. Multi-method joint measurement will be the mainstream choice for physical activity research in the future.

Key Words: physical activity; energy expenditure; measurement; comparison

充足的身体活动是降低慢性病风险、增长寿命、促进生命质量的关键因素^[1-3]。著名国际医学杂志《柳叶刀》于2012年首次推出了以身体活动为主题的专刊^[4],4年后推出第二期特刊^[5],凸显了全球医学、教育学及体育学领域研究对身体活动研究的高度重视。但全世界仍有81%的儿童青少年存在身体

活动不足的情况^[6-10],这对儿童青少年的体质健康促进工作造成了极大的阻碍。准确高效地测量身体活动,是制定身体活动策略和实施干预措施的基础,身体活动测量的重要性不言而喻^[11-12]。身体活动的测量方法大体可以分为主观测量法和客观测量法,信效度不足一直是主观法难以解决的问题^[13]。随着科技

收稿日期: 2020-03-20

基金项目: 上海市哲学社会科学规划教育学一般项目(A1904); 国家社科基金青年项目(20CTY007);

安徽高校人文社科重点研究项目(WXSK202053)。

第一作者简介: 孙建刚,男,在读博士研究生,副教授。主要研究方向: 运动健康促进、体育测量与评价。E-mail: sunjiangang0633@163.com。

* 通信作者简介: 刘阳,男,博士,教授,博士生导师。主要研究方向: 体育与健康教育、运动与健康促进。E-mail: docliuyang@hotmail.com。

作者单位: 1. 皖西学院 体育教育学院,安徽 六安 237012; 2. 上海体育学院 体育教育训练学院,上海 200438;

3. 上海市学生体质健康研究中心,上海 200438; 4. 上海体育学院 经济管理学院,上海 200438。



的进步,客观测量法在身体活动研究中的应用越来越多^[14-17],为身体活动研究提供了较大的推动作用。身体活动客观法种类繁多,相关新技术层出不穷,给研究者的选择和使用造成了一定的困扰。

目前,国内外关于测量方法信效度的研究较多,但是仍缺少对测量方法原理与机制方面问题的研究。对测量方法原理与机制的理解不仅有助于方法的选择,还能为提高方法的利用效率和降低测量误差提供科学指导。鉴于此,本研究对目前常见的身体活动测量工具进行归类和梳理,一方面解释各类工具的测量原理,为研究者选用适当测量工具提供建议,另一方面为测量工具未来发展提供方向。

1 身体活动及测量的相关概念

身体活动和能量消耗(Energy Expenditure, EE)两者经常被误解为相同的意义,实质上两者是不同的,其测量方法也不相同,对两者及相关概念的理解对于研究者选取身体活动测量工具是有较大帮助的。总能耗(Total Energy Expenditure, TEE)主要包括静息能耗(Resting Energy Expenditure, REE)和活动能耗(Physical Activity Energy Expenditure, PAEE),另外还有一小部分的食物特殊动力学效应产生的能耗(Thermic Effect of Food, WEF), WEF 占比较少,身体活动测量中会将 WEF 算作 PAEE 中的一部分, PAEE 可以通过 $PAEE = TEE - REE$ 计算。REE 是指维持人体 24 h 基本需求的能耗, PAEE 是指发生在 REE 之外的所有 EE^[18]。由于基础代谢率的测试要求较高,因此多数研究采用测试静息代谢率(Resting Metabolic Rate, BMR)的方法,所以在估算个体的能耗时一般需要测量 REE 或 BMR,然后再计算 PAEE 或身体活动水平(Physical Activity Level, PAL)。但是 REE 的影响因素很多,包括年龄、性别、体格、体成分、种族、健康水平、运动技术水平、遗传和环境因素^[19]。因此,测量指标涉及到以上内容时,其测量精确程度可能会受到个体因素的影响。以上是身体活动测量过程中涉及的相关概念或原理,这些为身体活动测量打下了现实基础,同时这些因素也影响着身体活动测量的结果。

2 身体活动测量方法原理与机制

身体活动的测量方法大体可以分为主观测量法和客观测量法。主观法主要包含主观观察法、日志法和自我报告法,主观测量法在身体活动测量时需研究者或被研究对象的参与,结果较容易受到主观影响。主观观察法中观察者需对研究对象进行持续观

察与记录,观察者的工作强度较大,对观察者的要求较高,不适合长期追踪与大范围研究。该方法操作复杂且成本也较高,大样本量身体活动研究中采用较少。问卷法和日志法大多是以回忆性问卷/报告的形式,此方法成本低、易实施,适合大样本量的身体活动研究。目前已有 80 多个国家以国际身体活动问卷(Global Physical Activity Questionnaire, GPAQ)为测量工具,各自建立身体活动调查体系^[20]。但此类方法在估算身体活动强度或能耗时,往往要对身体活动类型进行限定,而当超出规定范围时,往往会因其类型和对应强度的不确定,不能准确估算身体活动。对于不同年龄的人群来说,报告法和问卷法的效度也存在较大的问题^[21],容易出现“过度报告”“过度理解”等情况^[22],信效度较低的问题一直难以解决^[13]。

客观测量法是利用特定仪器、设备或试剂对身体活动进行测量的方法。一类是通过气体分析仪器测量的方法,如气体分析法。另一类是通过化学试剂进行,如双标水法(Doubly Labeled Water, DLW)。还有一类是借助运动传感器的客观测量法,有计步器、加速度计、心率计、全球卫星定位系统(Global Position System, GPS)等。除此之外,还有直接测热法,如代谢仓法。各类方法各具特色,应用要求各不相同,以下将对各类方法进行说明与比较,并给出相应选用建议。

2.1 化学试剂法

DLW 被认为是客观测量法中精确程度最高的方法,也是化学试剂法的代表。该方法通过追踪特殊元素,间接计算 PAEE,常作为衡量其他方法的“金标准”。Lifson 等于 1955 年发明了 DLW,并于 1982 年第一次应用于人类研究^[23],这是一种非侵入式的方法,不会对人体造成任何的负担,不影响受试者的身体活动,几乎适用任何运动项目与日常生活背景。受试者饮下经非放射性同位素 2H 和 ^{18}O 双重标记的水,在测量期间收集全部尿液,通过检测尿液中同位素的含量,计算 2H 和 ^{18}O 的代谢速率,推算 CO_2 生成率和摄氧量(VO_2),得出单位时间的能量消耗率,结合人体基础代谢率,就可以计算出身体活动消耗^[24]。但由于 2H 和 ^{18}O 造价昂贵,分析尿液中的同位素时,需要有较完善的实验室基础,目前还不适合在大样本人群中应用^[25]。另外,DLW 更适合长期追踪,由于人的代谢速率问题,以小时为单位的身体活动测量时 DLW 也并不合适,目前常用于对受试者进行 7~14 d 的 PAEE 测量^[13]。



2.2 气体分析法

气体分析法是间接热量测定法中另一具有代表性的方法,它也经常被当作检验新方法的金标准^[26-30],是实验室条件和限制性情境中最常用的测量法。它通过测量人体吸入的 O₂ 量和呼出的 CO₂ 量差值来计算消耗的 O₂ 量,根据耗氧量计算身体活动的 EE,如人体消耗 1 L O₂ 大约能产生 5 kcal 热量。最初,研究人员使用道格拉斯气袋(Douglas bag)收集受试者呼吸的气体,气袋容量有限所以需要定时更换(30 s 或 1 min),测试过程需要若干个气袋。测试结束后,再分析气袋中的 O₂ 量和 CO₂ 量,推算呼吸商(Respiratory Quotient, RQ)、能量消耗量等指标。可见道格拉斯法测试过程复杂而繁琐、不便利、局限性较大^[31]。随着科技的进步与计算机技术的应用,人们提出了呼出气体的动态混合概念即混合仓法(Mixing Chamber),它适用于负荷稳态的测试,但却难以实现快速、精确的测量要求^[32]。Breath-by-breath 方法是通过佩戴密封的面罩,分析人体每一次呼出气体的 VE、O₂ 和 CO₂ 浓度,使 VO₂ 的测试更快速、准确与方便。随着无线传输技术的应用,目前已有便携式遥测气体代谢仪,不再需要各种通气管道,可以让佩戴者在更自由的状态下进行身体活动。常见的设备有 K5、K4b²、Metamax3B/VmaxST、Oxycon Mobile、VO2000 等^[33]。但是这些测试仪器也存在一些问题,例如利用间接测热法测量 PAEE 时,一般要求受试者必须佩戴密封良好的面罩,穿戴背负仪器和电源的背心或背带(图 1),可以进行幅度较小的身体活动测量,但无法进行复杂和剧烈活动的测量,且使用者的视线会受到面罩的影响,身体活动的空间范围会受到一定限制,因此很难在长期性项目中使用,其操作复杂性和造价高昂的特点,也限制了在大样本量人群日常 PAEE 调查中的应用^[24]。



图 1 意大利产 K5 遥测心肺功能测试仪

Figure1 Italian K5 Telemetry Cardiopulmonary Function Tester

2.3 运动传感器

2.3.1 计步器

计步器可以说是最受欢迎和最广泛使用的运动传感器^[13],计步器大多是采用内置机械式计数器计量走路和跑步的步数,造价较低,一般佩戴在腰部,体积较小,对受试者的身体活动影响较小,可以感应人体重心垂直方向的运动。计步器推荐的身体活动量以“每天的步数”为指标(见表 1)^[13]。常用的“每天 1 万步”这样的目标,容易被大众理解和熟知。计步器在常规情况下能够比较准确地记录人们正常行走时的步数,并可长期跟踪,以步数结合受试者的其他生理指标,可以估算对应的 PAL。戴剑松等^[34]利用日本 Yamax 公司生产的 DdigiWalker200 型计步器,推算出了步行 EE 和一日总能量消耗的公式,经其检验,该算法在一定条件下具有可接受的信度与效度水平。但计步器在测量身体活动时存在的局限性也较大,步数指标不能体现身体活动强度与频率,仅能作为身体活动量的一种参考。类似“每天 1 万步”这样的指标,这对很多对运动强度有精细要求的人群来说并不完全合适。另外,计步器受限于只能测量步行类的身体活动,还在低速和异常步态情况下会出现信度与效度明显降低的局限性^[35]。因此,想要以计步器对日常 PAEE 进行测量难度较大。

表 1 健康成人 PAL 与每日步数对应关系^[13]

Table1 Number of Steps per Day and Corresponding Physical Activity Level^[13]

PAL	每日步数
静态行为过多	< 5 000
身体活动不足	5 000~7 499
身体活动尚可	7 500~9 999
身体活动正常	10 000~12 500
身体活动充足	> 12 500

2.3.2 加速度计

加速度计(非竞技体育用途)是目前较为成熟的也是更为复杂的运动传感器,通过感应水平面、冠状面和矢状面的加速度值来推算身体活动的时间和强度(表 2)。加速度计的发明被认为是从自我报告法以来身体活动测量领域最具实质性的进步^[36-37]。Actigraph RT3 等设备被国内外很多研究证明能够较为准确地测量体力活动,已经广泛应用于各类体力活动的研究中^[38-42]。加速计的内部核心是由压电元件及震动体组成的传感器,震动体能够感应运动中的加速度,然后作用于压电元件产生电信号,经过计算机处理后得出加速度计数,进而推算出 EE^[43]。加速



计法能够通过计算机处理得出身体活动的强度、持续时间、频率,且能被广大儿童接受^[44],适用于不同年龄段,使用广泛。同时,加速计法也能准确测量一些特殊人群的身体活动情况^[45]。有研究表明有 63% 的运用运动传感器法进行身体活动测量的研究,是以加

速计为核心元件完成的^[46]。有研究者以 DLW 为金标准对加速度计测量健康成年人的日常身体活动的效度进行了验证,结果表明使用加速度计可以一定程度上反映健康成年人 PAEE 的基本情况^[47],但能否使用加速度计对人的 EE 做准确测量仍未有定论^[48]。

表 2 身体活动测量常见加速度计^[49]

Table2 Accelerometers Used in the Study of Physical Activity Assessment^[49]

序号	名称及型号	主要功能	佩戴部位	生产商	所属国
1	Actical	身体活动监测及能量消耗估算	腕部、腰部、踝部	Philips	荷兰
2	ActivPAL3	身体活动监测及身体姿势测量	大腿	PAL Technologies	英国
3	ActiGraph GT1M	身体活动监测及能量消耗估算	腕部、腰部、踝部	ActiGraph	美国
4	ActiGraph GT3X	身体活动监测及能量消耗估算	腕部、腰部、踝部	ActiGraph	美国
5	ActiGraph GT3X+	身体活动监测及能量消耗估算	腕部、腰部、踝部	ActiGraph	美国
6	ActiGraph wGT3-BT	身体活动监测及能量消耗估算	腕部、腰部、踝部、大腿	ActiGraph	美国
7	ActiGraph GT9X Link	身体活动监测及能量消耗估算	腕部、腰部、踝部、大腿	ActiGraph	美国
8	BodyMedia Armband	身体活动监测及能量消耗估算	腕部	BodyMedia	美国
9	Fitbit Charge	计步、距离、身体活动监测及能量消耗估算	腕部	Fitbit	美国
10	Fitbit Flex	计步、距离、睡眠监控,身体活动监测及能量消耗估算	腕部	Fitbit	美国
11	Fitbit One	计步、距离、睡眠监控,身体活动监测及能量消耗估算	腕部	Fitbit	美国
12	Garmin Vivofit	计步、距离、睡眠监控,心率监测及能量消耗估算	腕部	Garmin	美国
13	Jawbone UP	运动速度、距离、能量消耗估算、睡眠监测	腕部	Jawbone	美国
14	Lifetrak C200	计步、距离、心率监测、脉搏追踪、能量消耗估算	腕部	Lifetrak	美国
15	Misfit Flash	计步、距离、睡眠监测、能量消耗估算	腕部、腰部、踝部、大腿、肩	Misfit	美国
16	Misfit Shine	计步、距离、睡眠及游泳监测、能量消耗估算	腕部、腰部、踝部、大腿	Misfit	美国
17	MOVband Model 2	计步、身体活动监测及能量消耗估算	腕部	Movable	美国
18	Nike Fuelband	计步、距离、身体活动监测及能量消耗估算	腕部	Nike	美国
19	NL-1000	计步、距离、活动时间	腕部	New Lifestyle	美国
20	SenseWear Pro Armband	身体活动监测及能量消耗估算	手臂	BodyMedia	美国
21	PolarLoop	计步、睡眠监测及能量消耗监控	腕部	Polar	芬兰

2.3.3 心率计

心率计按测量原理一般可分为心电式和光电式,目前普遍认为依靠测量心脏电流的心电式精确度较高。心电式心率计是利用电极贴片感应心脏电流信号采集数据,但成本较高,操作较复杂。但随着技术的进步,光电式心率计的精确性也越来越多被认可^[50]。光电式心率计利用光电容积脉搏波描记法原理,通过光电传感器感应血液在皮肤下的脉动情况,并将这些信息转化成电信号,呈现对应的心率信息。此类方法精确度也很高,而且可以佩戴在手腕或胳膊上,佩戴位置并不局限于胸部^[51]。但这种方法的原理决定了其存在一定的缺点,如汗液进入传感器和皮肤之间时,测量的精确性会受到一定影响。心率计测量身体活动的机制是,在一定强度范围内,如 110~150 b/min,心率与 VO₂ 之间存在的线性关系,以一定的频率采集心率数据,通过心率计算出 VO₂,再通过 VO₂ 得出 PAEE。Strath 等^[52]在校正了年龄和体

适能后,测得心率与耗氧量的相关系数为 0.68,所以心率在一定条件下可以作为测量身体活动的一种客观指标。Spurr 等在 1980 年首次提出“曲线 HR 法”也叫“拐点 HR 法”,主要用于预测受试者的 EE^[53]。它需要根据每个人的不同状态(平卧、坐位、站位等)建立独立的 HR 与 EE 曲线关系,在预测 EE 时,若 HR 值高于曲线 HR 可根据 HR-VO₂ 的曲线计算出 EE;若低于曲线 HR 则需要根据安静代谢率计算 EE,这样的算法考虑了个体差异,理论上要更精确。与其他客观分析法相比,心率计法对儿童行为影响较小,且不受性别及体质水平的影响。心率检测法能够比较客观、持续地测量 PAEE,同时还能记录身体活动的强度、持续时间及频率且精确度高,但单纯的心率不能反映身体真实的运动情况。

2.4 联合测量法

鉴于没有一种技术或设备能够单独地量化人体



在运动或日常生活中的能耗,所以产生了多设备联合测量的需求^[54]。可穿戴智能设备是身体活动测量领域的新兴工具,是可以穿戴在身上的智能信息交互设备^[55-56]。可穿戴智能设备不但结合了加速度计与心率计,还联合了其他测量方法,获取的身体活动信息更加全面,一定程度上可以认为它是联合测量法的代表。可穿戴智能设备在身体活动测量领域中的应用获得了广泛的关注。可穿戴智能设备具有重量轻、尺寸小、使用简单、便于携带的优点,内置多种传感器,接收感知来自于自身的各项数据,例如步数、行走距离、卡路里、心跳、GPS坐标等,这些数据被搜集起来并在后台中进行分析,形成具体化结论,告诉使用者自身的健康情况、运动情况,甚至形成直接建议。正在进化的可穿戴设备将更多成为信息输入和输出混合设备,这种设备既能采集数据,又能在过滤处理数据后显示出来,可对正在进行的身体活动进行干预。

2.5 其他

身体活动客观测量法中还包含了一些其他的方法,如能量代谢舱法,代谢舱法可以实现短周期的测量,一天或数天都可以,可以精确地测量包括睡眠能耗在内的能耗情况。因为代谢舱的空间有限而且不能移动,故不能对个体室外的日常身体活动进行测量。虽然代谢舱能实时监控受试者的代谢情况,但造价高昂,很难进行大样本量测试。虽然总体上利用代谢舱法的身体活动研究属少数,但随着经济的发展,研究经费逐渐充足,使用代谢舱的研究数量正在不断增加。基于GPS的方法是通过测量穿戴者位置、速度、坡度和时间来估算EE,目前的研究认为,GPS在EE估算方面准确性较差、受限方面较多,可以与其他方法结合使用,从而提升PAEE估算的有效性和可靠性^[57]。目前也有通过在活动范围周边架设信号增强设备来提高GPS的准确性的方法,此类方法测量位置、位移、速度与加速度方面较准,对于个体能耗的计算仍需要结合其他方法,而且此类方法成本较高,佩戴者活动范围受到限制,不能超出信号增强区域,因此无法进行大样本长期性的测量。另外也有一些为测量身体活动而附加的设备和方法,如在一些客观法的基础上增加的皮肤温度传感器、胸围起伏测量仪器等,旨在提高测量PAEE的准确性,但效果如何未有一致的定论。

3 测量方法的比较与选择

在多数大规模身体活动调查研究中,自我报告

法仍然是首选测量工具^[58-59],尤其是关于身体活动与静态行为趋势的调查大多依赖于目前比较成熟的问卷测量法^[13,60]。但在实践中,在对不同人群(包括儿童)的身体活动进行测量的时候,因为身体活动的偶发性和不连续性^[61],对于使用主观法来说存在很大的技术挑战^[37,62]。又因为身体活动的内容异质而复杂,所以想要以自我报告法对身体活动进行精确的量化就更加困难^[63]。所以对于身体活动和流行病学研究来说,为大规模的调查研究选择一种精确且可行的客观测量法是一个较好的发展方向^[63-65]。

DLW对身体活动的限制性与干扰较少、测量精确性高、使用过程的注意事项较少,但材料准备与数据收集难度较高。因DLW不能对尿液按身体活动类型分类,因此这种方法可以评价特定的阶段的总体能耗,但不能提供身体活动的类型、强度等信息。此方法适用对象广泛,适用情境全面,对体质比较脆弱或敏感的人群,比如孕妇、哺乳期妇女和婴儿都可以应用,实验条件较完备的情况下可以选用。

气体代谢分析仪测量身体活动时,会要求受试者必须佩戴密封良好的面罩,为避免面罩漏气,受试者只能进行简单、小幅度、短时间的身体活动。根据其测量原理,导致气体代谢分析法误差的因素主要是使用设备测量之前的“校标”与设备的密闭性问题,因此任何可能导致设备漏气的因素,都有可能对其测量结果造成影响。气体代谢法比较适合时间短、人数少、活动范围不大的身体活动测量。随着无线技术的应用,气体代谢分析仪的便捷性问题有望得以改善。

运动传感器的精确性普遍受到佩戴方式与运动类型的影响。计步器造价低、佩戴方便、使用简单,但其仅能够提供步数信息或以步数估算能耗,不能区分不同个体的特征,这导致使用计步器测量不同个体身体活动的结果容易出现较大波动。另外,计步器的佩戴位置与佩戴方式也会对其精确性产生影响,设备佩戴松弛,或人体所进行的活动没有重心上下波动的情况(如骑自行车),计步器的内置机械杆的感应能力就会受到影响,从而产生测量误差。因此,想要以计步器对日常身体活动进行精确测量很难实现,可以在一些以行走为主要内容的康复性训练或精确性要求不高的场景中应用。

加速度计的优点是可以提供活动强度和活动频率等信息,其输出结果更能反映人体的真实活动情况,但加速度计对上楼梯、骑自行车和搬运物体等非全身运动和非平面运动的测量不准确。一般来说,加速度计的佩戴距离重心越近精确度越高。虽然手腕佩戴加速度计对受试行为影响较小,且不受性别及



体质水平的影响^[53],加速度计的原理决定了将其佩戴在手腕时,收集到的大多是手臂的活动,而不能代表整体的活动数据。加速度计虽然佩戴简单,但其数据的收集与分析需要一定的技术基础,因此不太适合普通人群而比较适合资金条件较理想的研究者。

心率计种类较多,可选择性较大,心电式心率计一般要求佩戴在胸部,除了佩戴不方便之外,造价往往也比较高。光电式心率计虽然佩戴方便、造价较低,但误差相对较大。心率计虽然有不低于加速度计的准确性,但心率却不能真实反映身体活动的方式,所以在以心率转换为 EE 时,效度会有一定程度的降低,心率计比较适合情境相对恒定的环境。随着科学技术的发展,心率监测仪结合卫星定位系统评估儿童 PAEE 已经成为现实,需不断地完善^[66]。

联合测量法-可穿戴智能设备造价相对较低、操作简单、佩戴方式多样,可对使用者的身体活动状况进行长期的跟踪,而且能够即时地反映使用者的身体活动情况,而且可穿戴智能设备能够建立档案,一定程度上降低了由于个体差异造成的测量误差。但是,可穿戴智能设备精确度往往并不稳定,不同品牌、不同类型的设备存在较大差别,针对不同身体活动类型和不同受试对象也存在差别^[67]。有研究表明,在利用可穿戴智能设备对走跑类运动进行测量时发现,不同速度下,可穿戴设备的表现存在差异,很多可穿戴式智能设备能够在某特定条件下实现对身体活动的精确测量,但是很难找到一种能够适应所有情况的设备。国内关于可穿戴智能设备能否用于科研,或关于其是否能够达到科研级要求的研究数量相对较少,还需要更多研究来验证^[68]。可穿戴智能设备目前仍未达到科研级需求,多数仅能用于日常生活中的身体活动测量。

4 建议

在多数身体活动研究中,自我报告法仍然是首选测量工具。随着科技的进步,常见客观测量方法技术日趋成熟,应用也会越来越多,但仍存在各种局限性。理解测量工具的原理对于工具的选择和合理使用都具有较大帮助。可穿戴智能设备在身体活动中的应用引起了广泛关注,随着技术的进步其精确性问题必将得以解决,具有广阔的应用前景。

参考文献:

[1] Bull F C, Al-Ansari S S, Biddle S, et al. World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and se-

dentary behaviour[J]. British Journal of Sports Medicine, 2020, 54(24): 1451-1462.

- [2] Manley A. F. Physical activity and health: A report of the surgeon general[J]. Clinical Nutrition Insight, 1996, 23(8): 294.
- [3] Lee I. M., Shiroma E. J., Lobelo F., et al. Effect of physical inactivity on major non-communicable diseases worldwide: an analysis of burden of disease and life expectancy[J]. The Lancet, 2012, 380(9838): 219-229.
- [4] Hallal P. C., Andersen L. B., Bull F. C., et al. Global physical activity levels: surveillance progress, pitfalls, and prospects[J]. The Lancet, 2012, 380(9838): 247-257.
- [5] Ding D., Lawson K. D., Kolbe-Alexander T. L., et al. The economic burden of physical inactivity: a global analysis of major non-communicable diseases[J]. Lancet, 2016, 388(10051): 1311-1324.
- [6] Bucksch J., Inchley J., Hamrik Z., et al. Trends in television time, non-gaming PC use and moderate-to-vigorous physical activity among German adolescents 2002-2010[J]. BMC Public Health, 2014, 14(1): 351.
- [7] Manz K., Schlack R., Poethko-Miller C., et al. Physical activity and electronic media use in children and adolescents [J]. Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz, 2014, 57(7): 840-848.
- [8] Verloigne M., Lippevelde W. V., Maes L., et al. Levels of physical activity and sedentary time among 10- to 12-year-old boys and girls across 5 European countries using accelerometers: an observational study within the ENERGY-project[J]. International Journal of Behavioral Nutrition & Physical Activity, 2012, 9(1): 1-8.
- [9] Zhu Z., Tang Y., Zhuang J., et al. Physical activity, screen viewing time, and overweight/obesity among Chinese children and adolescents: an update from the 2017 physical activity and fitness in China-the youth study[J]. BMC public health, 2019, 19(1): 197.
- [10] Hollis J. L., Williams A. J., Sutherland R., et al. A systematic review and meta-analysis of moderate-to-vigorous physical activity levels in elementary school physical education lessons[J]. Preventive Medicine, 2016, 86(1): 34-54.
- [11] Volp A. C., Oliveira F. C., Alves R. D. M., et al. Energy expenditure: components and evaluation methods[J]. Nutrición Hospitalaria, 2011, 26(3): 430-440.
- [12] Klein D. A., Levine E., Walsh B. T., et al. Validation of two novel monitoring devices to measure physical activity in healthy women[J]. Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2014, 2014: 1727-1730.



- [13] Hills A. P., Mokhtar N., Byrne N. M. Assessment of physical activity and energy expenditure: an overview of objective measures[J]. *Frontiers in nutrition*, 2014, 1: 5.
- [14] Middlebeek L., Kahlmeier S. Review of physical activity surveillance data sources in European Union Member States[C]. *Review of physical activity surveillance data sources in European Union Member States*. Copenhagen, Denmark: World Health Organization, 2010.
- [15] Colley R. C., Garriguet D., Janssen I., et al. Physical activity of Canadian adults: Accelerometer results from the 2007 to 2009 Canadian Health Measures Survey[J]. *Health Reports*, 2011, 22(1): 7-14.
- [16] Ravelli M. N., Schoeller D. A., Crisp A. H., et al. Accuracy of total energy expenditure predictive equations after a massive weight loss induced by bariatric surgery [J]. *Clinical nutrition ESPEN*, 2018, 26:57-65.
- [17] Agogo G. O., Van Der Voet H., Hulshof P. J. M., et al. Validation of accelerometer for measuring physical activity in free-living individuals[J]. *Baltic Journal of Health & Physical Activity*, 2018, 10(1): 7-21.
- [18] Sardinha L. B., Judice P. B. Usefulness of motion sensors to estimate energy expenditure in children and adults: a narrative review of studies using DLW[J]. *European Journal of Clinical Nutrition*, 2017, 71(3): 331-319.
- [19] Coulston A., Boushey C., Coulston A., et al. *Nutrition in the prevention and treatment of disease*[M]. London: Elsevier Inc., 2013.
- [20] Pedisic Z., Bauman A. Accelerometer-based measures in physical activity surveillance: current practices and issues [J]. *British Journal of Sports Medicine*, 2015, 49(4): 219-225.
- [21] 朱琳,陈佩杰.三轴运动加速度计(GT3X)测量青春少年(11~14岁)身体活动能耗预测方程的建立和检验[J].*中国体育科技*,2014,50(03): 73-77.
- [22] Haskell W. L. Physical activity by self-report: a brief history and future issues[J]. *Journal of physical activity & health*, 2012, 9(1):5.
- [23] 任建安,黎介寿,刘放南,等.监测危重病人的能量代谢对营养支持治疗的指导作用[J].*中华医学杂志*,1995(6): 346-348.
- [24] 戴剑松,孙飙.体力活动测量方法综述[J].*体育科学*, 2005,25(9): 69-75.
- [25] 邢慧娴,杨功焕.身体活动的测量与评价[J].*中国自然医学杂志*,2010,12(02): 148-150.
- [26] Brehm M. A., Harlaar J., Groepenhof H. Validation of the portable Vmax ST system for oxygen-uptake measurement[J]. *Gait Posture*, 2004, 20(1): 67-73.
- [27] Bassett D. R., Howley E. T., Thompson D. L., et al. Validity of inspiratory and expiratory methods of measuring gas exchange with a computerized system[J]. *Journal of Applied Physiology*, 2001, 91(1): 218-224.
- [28] Crouter S. E., Amanda A., Hudak J. R., et al. Accuracy and reliability of the ParvoMedics TrueOne 2400 and MedGraphics VO2000 metabolic systems[J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2006, 98(2): 139-151.
- [29] Mclaughlin J. E., King G. A., Howley E. T., et al. Validation of the COSMED K4 b2 portable metabolic system [J]. *International Journal of Sports Medicine*, 2001, 22(04): 280-284.
- [30] Hopker J. G., Jobson S. A., Gregson H. C., et al. Reliability of cycling gross efficiency using the Douglas bag method[J]. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 2012, 44(2): 290-296.
- [31] Shephard R. J. A critical examination of the Douglas bag technique[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2012, 44(7): 1407.
- [32] Macfarlane D J. Automated metabolic gas analysis systems[J]. *Sports Medicine*, 2001, 31(12): 841-861.
- [33] 陈俊飞,汤强,严翊,等.常见便携式遥测气体代谢仪核心测量指标的信度和效度分析[J].*体育科研*,2017,38(06): 67-73.
- [34] 戴剑松,李靖,顾忠科,等.步行和日常体力活动能量消耗的推算[J].*体育科学*,2006,26(11):91-95.
- [35] Tudorlocke C., Williams J. E., Reis J. P., et al. Utility of pedometers for assessing physical activity[J]. *Sports Medicine*, 2004, 34(5): 795-808.
- [36] Andersen L. B. Accelerometer-measured daily physical activity related to aerobic fitness in children and adolescents[J]. *Journal of Sports Sciences*, 2011, 29(9): 887-895.
- [37] Iii H. W. K., Fulton J. E., Caspersen C. J. Assessment of physical activity among children and adolescents: A review and synthesis[J]. *Preventive Medicine*, 2000, 31(2): 54-76.
- [38] 王军利,张冰,贾丽雅,等.Actigraph(GT3X)加速度计测量我国19~29岁人群身体活动能耗的效度研究[J].*体育科学*,2012(12):71-77+92.
- [39] Butte N. F., Ekelund U., Westerterp K. R. Assessing physical activity using wearable monitors: measures of physical activity[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2012, 44(1): 5-12.
- [40] Hendrick P., Boyd T., Low O., et al. Construct validity of RT3 accelerometer: a comparison of level-ground and treadmill walking at self-selected speeds[J]. *Journal of Rehabilitation Research & Development*, 2010, 47(2): 157-168.
- [41] Murakami H., Kawakami R., Nakae S., et al. Accuracy of wearable devices for estimating total energy expenditure: Comparison with metabolic chamber and doubly la-



- beled water method[J]. *Jama Internal Medicine*, 2016, 176(5): 702-703.
- [42] Wetten A. A., Batterham M., Tan S. Y., et al. Relative validity of 3 accelerometer models for estimating energy expenditure during light activity[J]. *J. Phys. Act. Health*, 2014, 11(3): 638-647.
- [43] Chen K. Y., Bassettd R. Jr. The technology of accelerometerbased activity monitors: current and future[J]. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 2005, 37(11):490-500.
- [44] Robertson W., Stewartbrown S., Wilcock E., et al. Utility of accelerometers to measure physical activity in children attending an obesity treatment intervention[J]. *J. Obes.*, 2010, 2011(2011): 1416-1432.
- [45] Capio C. M., Sit C. H., Abernethy B. Physical activity measurement using MTI (actigraph) among children with cerebral palsy[J]. *Archives of Physical Medicine & Rehabilitation*, 2010, 91(8): 1283-1290.
- [46] Oliver M., Schofield G. M., Kolt G. S. Physical activity in preschoolers: understanding prevalence and measurement issues[J]. *Sports Medicine*, 2007, 37(12): 1045.
- [47] 刘爱玲,李艳平,宋军,等.加速度计对成人日常体力活动测量效度的研究[J].*中华流行病学杂志*,2005,26(3): 197-200.
- [48] De Graauw S. M., De Groot J. F., Van B. M., et al. Review of prediction models to estimate activity-related energy expenditure in children and adolescents[J]. *International Journal of Pediatrics*,2010, (2010): 489304.
- [49] 刘阳.基于加速度计的身体活动测量研究前沿[J].*北京体育大学学报*,2016,39(08):66-73.
- [50] Wang R., Blackburn G., Desai M., et al. Accuracy of wrist-worn heart rate monitors[J]. *Jama Cardiology*, 2017, 2(1): 104-106.
- [51] Nelson B. W., Allen N. B. Accuracy of consumer wearable heart rate measurement during an ecologically valid 24-hour period: Intraindividual validation study[J]. *JMIR Mhealth Uhealth*, 2019, 7(3): e10828.
- [52] Strath S. J., Swartz A. M., Jr B. D., et al. Evaluation of heart rate as a method for assessing moderate intensity physical activity[J]. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 2000, 32(9): 465-470.
- [53] 陈佳.儿童身体活动测量方法研究进展[J].*中国儿童保健杂志*,2012,20(8):713-715.
- [54] Schutz Y., Weinsier R. L., Hunter G. R. Assessment of free-living physical activity in humans: an overview of currently available and proposed new measures[J]. *Obes. Res.*, 2012, 9(6): 368-379.
- [55] 封顺天.可穿戴设备发展现状及趋势[J].*信息通信技术*,2014(03):52-57.
- [56] 钟意.可穿戴智能设备的发展现状与前景展望[J].*电子技术与软件工程*,2017(01): 96.
- [57] 温煦,袁冰,李华,等.论智能可穿戴设备在我国体力活动大数据分析中的应用[J].*中国体育科技*,2017,53(02): 80-87.
- [58] Shephard R. J., Aoyagi Y. Measurement of human energy expenditure, with particular reference to field studies: an historical perspective[J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2012, 112(8): 2785-2815.
- [59] Sattler M. C., Jaunig J., Watson E. D., et al. Physical Activity Questionnaires for Pregnancy: A systematic review of measurement properties[J]. *Sports Medicine*, 2018, 48(10): 2317-2346.
- [60] Stanhope K. K., Kay C., Stevenson B., et al. Measurement of obesity prevention in childcare settings: A systematic review of current instruments[J]. *Obesity Research & Clinical Practice*, 2017, 11(5): 52-89.
- [61] Bailey R. C., Olson J., Pepper S. L., et al. The level and tempo of children's physical activities: an observational study[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 1995, 27(7): 1033-1041.
- [62] Kirsten C., Sren B., Wareham N. J., et al. Comparison of PAEE from combined and separate heart rate and movement models in children[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2005, 37(10): 1761.
- [63] Lamonte M. J., Ainsworth B. E. Quantifying energy expenditure and physical activity in the context of dose response[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2001, 33(6): 370.
- [64] Bassett D. R. Validity and reliability issues in objective monitoring of physical activity[J]. *Research Quarterly for Exercise & Sport*, 2000, 71(2): 30-36.
- [65] 王超,贺刚,李建忠,等.残疾青少年体力活动水平及其与运动自我效能的关系:基于加速度计的初步研究[J].*首都体育学院学报*,2016,28(04):380-384.
- [66] Duncan J. S., Badland H. M., Schofield G. Combining GPS with heart rate monitoring to measure physical activity in children: A feasibility study[J]. *Journal of Science & Medicine in Sport*, 2010, 12(5): 583-585.
- [67] 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(06):29-38.
- [68] 周厚栋,李华.运动手环测量 22~27 岁人群体力活动能量消耗的有效性探究[J].*智富时代*,2015(01): 205-206.

(责任编辑:刘畅)