

# SenseWear Armband运动传感器：体力活动能量评估中的应用

王思娅, 庄洁, 朱政(上海体育学院, 上海市 200438)

## 文章亮点:

- 1 此问题的已知信息: SWA 运动传感器目前被广泛应用于体力活动的研究中, 其佩戴、使用、数据分析等方法已被大部分科研人员了解掌握。
- 2 文章增加的新信息: 归纳总结了目前 SWA 运动传感器在使用过程的优势和不足之处, 主要包括以下几点: SWA 运动传感器和其他体力活动测量工具的同点及其优势; 影响 SWA 运动传感器准确性的各类因素; 针对人种、体质量、从事的运动等方面对 SWA 运动传感器在不同人群中的应用分类讨论分析。
- 3 临床应用的意义: 便于科研人员在今后的研究中针对不同的研究目的, 选择恰当的体力活动测量工具; 同时为 SWA 运动传感器的使用提供理论依据。

## 关键词:

组织构建; 组织工程; 体力活动; SenseWear Pro Armband; 运动传感器; 能量消耗; 综述

## 主题词:

能量代谢; 运动活动; 生物传感技术; 量热法, 间接

## 基金资助:

上海体育学院研究生创新培育计划项目(yjscx2015044); 上海市科委重点支撑计划项目(12490503100); 国家社科基金项目(13BTY044); 上海市人类运动能力开发与保障重点实验室(上海体育学院)资助项目(11DZ2261100)

王思娅, 女, 1991年生, 浙江省杭州市人, 汉族, 2013年上海体育学院毕业, 主要从事青少年体质研究。

通讯作者: 庄洁, 博士, 教授, 上海体育学院, 上海市 200438

中图分类号: R318

文献标识码: A

文章编号: 2095-4344

(2015)42-06843-06

稿件接受: 2015-08-02

http://www.crter.org

## 摘要

**背景:** SWA(SenseWear Pro Armband)是一种由多种运动传感器所结合的体力活动能量消耗监控设备。其在近年来被广泛应用于体力活动能量消耗的研究中。

**目的:** 对 SWA 准确性、软件版本、佩戴时间、不同人群和不同体力活动水平等不同方面的应用情况进行汇总, 期望能为今后 SWA 的使用提供一些实用性的参考。

**方法:** 检索 2015 年 1 月前公开发表于 CNKI 全文数据库及 PubMed 文摘数据库的论文。文献筛选标准为: ①在 CNKI 全文数据库中以“体力活动, Armband, 能量消耗”为关键词进行搜索。②检索 Pubmed 文摘数据库、Web of Science 数据库, 关键词为“Physical activity, SenseWear Pro Armband, Energy Expenditure, Review”。以发表在核心期刊者或 SCI 数据库收录者优先。

**结果与结论:** 双标水、间接测热法等方法为标准的校标研究显示, SWA 具有较高的准确性, 能有效评估日常体力活动的能量消耗。但在特殊情况下也存在一定的差异, 例如不同的人群、运动强度等。与此同时, 确定恰当的佩戴时间和数据统计时使用软件版本也是影响最终结果准确性的因素之一。SWA 能准确预测体力活动能耗, 但针对不同人群、运动强度等情况应有必要对 SWA 的计算公式进一步的进行改进。

王思娅, 庄洁, 朱政. SenseWear Armband 运动传感器: 体力活动能量评估中的应用[J]. 中国组织工程研究, 2015, 19(42):6843-6848.

doi:10.3969/j.issn.2095-4344.2015.42.022

## SenseWear Pro Armband: a monitoring device of physical activity energy consumption

Wang Si-ya, Zhuang Jie, Zhu Zheng (Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China)

## Abstract

**BACKGROUND:** SenseWear Pro Armband (SWA) is a monitoring device of physical activity energy consumption which consists of many kinds of motion sensors, and it has been widely used in the study of physical activity energy consumption in recent years.

**OBJECTIVE:** To summarize the SWA accuracy, software version, time of wear as well as its application in different populations and at different physical activity levels, for the purpose of providing some practical reference in the future usage of SWA.

**METHODS:** A computer-based search of CNKI (full-text database), PubMed and Web of Science databases was done for relevant articles published before January 2015 using the keywords of “physical activity, sensewear pro armband, energy expenditure, review” in Chinese and English, respectively. Articles published in core journals or SCI database were preferred.

**RESULTS AND CONCLUSION:** Double labeled water method and indirect measurement method serve as standard criteria, and the relevant study shows that SWA has higher accuracy and can effectively evaluate the daily physical activity energy consumption. But under the special circumstances, there are some differences,

Wang Si-ya, Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China

Corresponding author: Zhuang Jie, M.D., Professor, Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China

Accepted: 2015-08-02

such as different people and different exercise intensities. Meanwhile, to determine the appropriate wearing time and software version for data statistics are also one of the factors influencing the accuracy of the final result. SWA can accurately predict physical activity energy consumption, but for different populations and exercise intensities, it is necessary to improve the further calculation formula of SWA.

**Subject headings:** Energy Metabolism; Motor Activity; Biosensing Techniques; Calorimetry, Indirect

**Funding:** the Graduate Innovative Development Program of Shanghai University of Sport, No. yjscx2015044; the Support Program of Shanghai Science and Technology Committee, No. 12490503100; the National Social Science Fund of China, No. 13BTY044; the Funding Item of Shanghai Key Laboratory of Human Athletic Ability Development and Protection, No. 11DZ2261100

Wang SY, Zhuang J, Zhu Z. SenseWear Pro Armband: a monitoring of physical activity energy consumption. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2015;19(42):6843-6848.

## 0 引言 Introduction

体力活动是指由骨骼肌收缩产生的身体活动,也是指在基础代谢的水平上,身体能量消耗增加的活动。流行病学的研究表明,体力活动与健康的关系密切。早在20世纪早期人们已经认识到体力活动的重要性并开始了初步的研究<sup>[1]</sup>。

对体力活动的研究发展至今,其研究重点和方法也逐步发生着改变,在医疗康复、组织工程研究中对体力活动的定量研究也有一定的需求<sup>[2-4]</sup>。如何选择恰当的体力活动测量工具,精确、有效的对不同人群的体力活动量作出精确的评定显得尤为重要。运动传感器是目前常用的体力活动测量方法,SWA(Sense Wear Pro2Armband)是一种多重传感器,能够测量自由状态下的体力活动能量消耗及时间。文章汇总分析了SWA在体力活动能量评估中的应用。

## 1 资料和方法 Data and methods

### 1.1 资料来源

**检索人相关内容:** 通过查阅中外文献,对Sensewear Pro Armband在体力活动和能量消耗检测中的应用情况进行总结。

**检索时间范围:** 检索时间范围为2015年1月前公开发表于CNKI全文数据库及PubMed文摘数据库的论文。

**检索词:** 中文数据库检索词为“体力活动, Armband, 能量消耗”,英文数据库检索词为“Physical activity, SenseWear Pro Armband, Energy Expenditure, Review”。

**检索文献量:** CNKI全文数据库中共检索到文献9篇, Pubmed文摘数据库、Web of Science数据库检索到文献87篇。

### 1.2 检索方法

**纳入标准:** 以SWA为测量方法或以SWA的应用为主要研究内容的文献。

**排除标准:** 排除以SWA为测量工具但非用于体力活动研究的文献。

**质量评估:** 以发表在核心期刊及SCI数据库收录的期

刊者优先。

## 2 结果 Results

**2.1 SWA的介绍** 为了准确预测体力活动的能量消耗情况,传感器技术近年来被广泛应用于各类能耗预测中<sup>[5-9]</sup>。臂带式多功能运动传感器(SWA)是一种由美国生产的加速度计配合多种运动传感器的能量消耗监控设备<sup>[10]</sup>。该设备由于其简便的操作方法和小巧的体积被广大科研工作者所青睐。在2004年,SWA作为一种新开发的体力活动测量装备被应用于体力活动能量消耗的监控和预测, Jakicic及Fruin等<sup>[11-12]</sup>多位学者就其准确性进行了初步的研究。

**2.1.1 SWA的特点** SWA合并了多种测试原理的便携式能量消耗预测穿戴装备,并在商业上预测体力活动能量消耗的工具<sup>[13-17]</sup>。通过制造商的资料显示,受试者将设备佩戴于有利手的肱三头肌上,设备将通过多种监控生理指标从而预测能量消耗<sup>[18]</sup>。SWA组合了多种预测参数(加速度技术、热通量、皮肤电反应、皮肤温度、体表温度)以及描述性的特征(性别、年龄、身高、体质量)综合这些算法来预测每分钟能量消耗<sup>[19]</sup>。制造商推荐佩戴SWA时佩戴于右手的肱三头肌中点,即位于肩缝和鹰嘴的连线中点。该设备可监控在实验室或非实验室状态下的各类体力活动的能量消耗,并且在2004年有研究首次验证了SWA在健康成年人中预测能量消耗的有效性<sup>[12]</sup>。

**2.1.2 SWA与其他体力活动测量工具的异同点** 目前较为流行的预测能量消耗和体力活动的设备除SWA外还有双标水、加速度计、心肺功能测试仪、能量代谢仓等,这些设备在准确性、便携性、数据分析的简便性上各有千秋<sup>[19-22]</sup>。

如图1所示为120 min不同强度的体力活动下ActiGraph, ActiReg, Armband, ikcal这几种体力活动测量工具和间接测热法相比能量消耗差值比较<sup>[23]</sup>。

就测试原理而言,SWA采用了包括加速度技术在内的多种运动传感技术,与双标水法和间接测热法相比是一种非入侵性的测试手段,不需要服用双标水或采集呼吸的气体即可预测体力活动能量消耗<sup>[24-25]</sup>。从操作的简

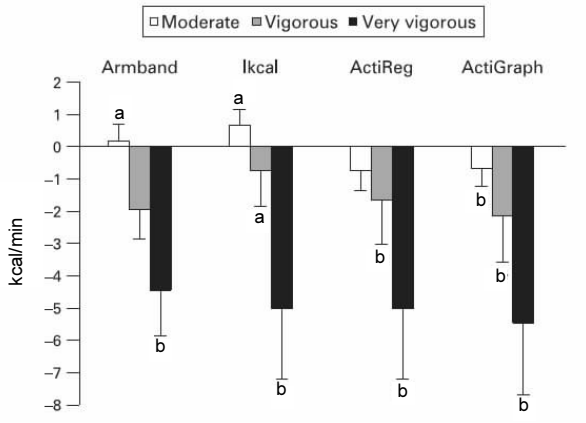


图1 不同体力活动测量工具与间接测热法相比能耗差值  
图注: <sup>a</sup> $P < 0.05$ , <sup>b</sup> $P < 0.001$

便性而言, SWA无需专业的科研人员, 只需了解其佩戴位置, 即可完成测量工作<sup>[26-27]</sup>。从测试费用上而言和SWA相比, 双标水和间接测热法测试价格昂贵, 仅适用于小样本量的研究<sup>[28]</sup>。

精确、客观、重复性强、造作简便的体力活动能量消耗测量方法是目前的研究趋势。并且, 无论采用何种体力活动测量工具, 在使用前都应当对其准确性做出研究<sup>[29-30]</sup>。

**2.2 SWA预测能量消耗准确性的验证研究** 目前针对SWA准确性的验证研究主要是通过其他不同体力活动预测工具对其的验证对比, 以及不同软件版本和佩戴时间对SWA准确性的影响来进行的。

**2.2.1 以双标水为标准验证SWA的效度检验** 双标水以其较高的精确度至今仍然大多数的学者公认为测定能量消耗的“金标准”<sup>[31-32]</sup>。Mackey用双标水来验证老年人总能量消耗时分别用SWA5.1(2, 012+/-497 kcal/dy,  $P=0.593$ )和SWA6.1(2, 066+/-474 kcal/dy,  $P=0.606$ )两种软件测得的总能量均值和双标水的数据无显著性差异<sup>[33]</sup>。另有两项研究, 通过为期14 d的双标水测试来验证SWA的效度可看出在总能量消耗的预测上SWA的结果较为准确<sup>[34-35]</sup>。由此可见, 在用SWA预测体力活动的总能量消耗时该设备能有较高的准确性。

**2.2.2 以间接测热法为标准验证SWA的效度检验** 在过去的20多年间, 间接测热法的仪器设备也有着较大的改进。目前常用的且被证实的有效的间接测热法的设备包括: Cosmed K4B2<sup>[36]</sup>、MetaMaxII<sup>[37]</sup>、Metamax III<sup>[38]</sup>、Oxycon Mobile<sup>[39]</sup>、能量代谢仓等。

已有研究证明间接测热法具有可靠的有效性和精确性。在预测能量消耗时, 间接测热法和双标水均被公认为“金标准”<sup>[40]</sup>。

大量已有的研究证实, SWA与间接测热法预测能量消耗结果有较高的一致性<sup>[12-13, 41]</sup>, 但也有研究显示在不同项目和不同运动强度时存在一定程度的偏差。在一项2014年的研究中Lange等<sup>[21]</sup>通过5个标准化运动(包括

坐、步行、除尘、骑自行车和楼梯踏步)来评估Metamax 3b (MM3b, 间接测热法)和SWA。在这5种运动中SWA所得数据均低于MM3b, 并且随着强度的增加两者的差异增加。Berntsen和他的同事<sup>[23]</sup>在一项有关成年人的自由活动的能耗预测有效性的研究中提出, 和便携式气体代谢分析仪相比SenseWear Pro(2)高估了中高强度体力活动下能量消耗的2.9%, 但是在总能量消耗上却有所低估。同样, 在超重和肥胖人群的室内划船运动的研究中, 在50%最大摄氧量时SWA与间接测热法的相关性较差, 但高估了起重工的能量消耗( $P < 0.001$ ), 而在70%最大摄氧量时SWA与间接测热法得出的数据则没有显著性差异<sup>[42]</sup>。

和K4B2等需要佩戴面罩的间接测热设备不同, 代谢仓无需穿戴设备, 能监控自由活动下的能量消耗, 不受佩戴仪器的影响, 24 h的准确率可以达到99%, 每分钟的准确率也可达到90%, 提供了一种在较短的运动周期内有效测量体力活动能量消耗的方法, 因此, 用代谢仓可有效评估SWA预测体力活动能量消耗的准确性<sup>[43]</sup>。CINDY A. DO RMINY和他的同事应用代谢仓验证SWA在儿童24 h能量消耗的研究中得出, 与代谢仓比较SWA在所有活动和时间周期上过高的估计了能量消耗, 从睡眠的116%到跑台休息的143%。并且建立了针对当地儿童的SWA能量消耗预测方程(单一的久坐和跑台方程式分别为 $EE(kcal/min)=0.462EE(SWA)(kcal/min^{-1})+0.015 body weight [kg]$ , 以及 $EE[kcal \cdot min^{-1}]=0.637EE(SWA)[kcal/min]+0.034 body weight [kg]$ 。RMR的预测方程分别为 $EE [kcal/min]=0.453EE(SWA)[kcal/min]+0.011 body weight [kg]$ <sup>[33]</sup>。该实验首次通过代谢仓验证了SWA的有效性, 并针对特定的人群建立了有效的预测方程。由于不同人种间的差异<sup>[29]</sup>, 该方法得出的结论是否能应用于国内儿童青少年有待进一步研究。

**2.2.3 SWA的重测信度检验研究** 普通的加速度计很难监控类似于静坐或者读书、看电视等活动非常轻微的体力活动<sup>[44]</sup>, 而SWA可以通过皮肤温度传感器和皮肤电感应传感器预测较低强度的体力活动<sup>[45]</sup>。另外, 在2011年, Brazeau用加速度计和SWA通过为期2个24 h的监控下的佩戴时间来重复测量, 检验SWA的重测信度。结果显示在为期2 d包括结构化的久坐、标准化的体育活动和安静的睡眠这几项活动的测试中测试结果显示出了显著地相关性( $r=0.97$ ;  $P < 0.001$ ), 作者由此认为SWA在评估健康成年人的能量消耗时是一项简单有效的工具<sup>[46]</sup>。

**2.2.4 影响SWA预测准确性的因素** 不同SWA软件版本对能量消耗预测值的影响: 由于SWA的制造商并未提供其算法的具体公式, 而是通过软件完成计算的整个过程, 软件的更新对具体能量消耗预测值的计算有着直接的影响, 不同版本的软件所得出的计算结果也有所不同<sup>[34]</sup>。目前SWA公司提供的计算公式按更新的时间顺序包括以下几种: 2.2算法(其中包括5.1、6.1、7.0软

件版本)和5.0算法。

理论上来说随着SWA计算公式和软件版本的不断更新,其预测各项体力活动的准确性应当都有不同程度的提高,然而有部分研究对此的研究确显示了不同的结果。在一项用双标水为标准对比SWA的两种版本软件的准确性,结果显示5.1专业版(InnerView Professional software version 5.1, BodyMedia, Inc.)能准确预测肥胖和超重儿童能量消耗,但6.1专业版(InnerView Professional software version 6.1, BodyMedia, Inc.)则对能耗有所低估<sup>[35]</sup>。另外,在一项针对老年人的分析则显现,和双标水比较,SWA5.1专业版低估了18.5%的能量消耗,而6.1专业版的低估更明显,为26.8%<sup>[33]</sup>。在2013年,SWA制造商新推出了5.0算法,和先前的2.2算法相比准确性有所提高,但对能量消耗仍旧低估了10.9%<sup>[34]</sup>。由以上研究可以发现,总体而言,随着制造商软件版本的不断更新,SWA对能量消耗的预测准确性也随之提高,但也不排除其中存在的偏差,究其原因可能与实验对象活动方式或者身体成分的不同等原因造成。

**佩戴时间:**由于体力活动能量消耗的预测工作仅在特定的时间内进行,测量工具佩戴多久能有效的获得活动测试对象的日常活动规律和习惯,从而得出准确的能量消耗预测值也是一个值得研究的问题。Scheers指出,使用SWA评估健康成年人的体力活动习惯要至少3个工作日和完整的2 d双休日。同时该文献也指出有条件的情况下使用SWA监控完整的1周体力活动情况则在评估体力活动习惯时更加具有说服力<sup>[47]</sup>。

另外,由季节转换而引起的体力活动情况的改变也应当被考虑到。仅通过一个时间点上的一次测试很难评估其体力活动习惯。并且,特殊人群的体力活动情况,如学生的寒暑假等对体力活动习惯也会产生影响。因此,在测试时要具体分析,考虑不同人群的特点,制定恰当的测试时间。

### 2.3 SWA在体力活动评估中的应用

**2.3.1 SWA在不同人群中的应用** 由于不同人群的生理特点和活动方式各不相同,对其体力活动的预测也有所区别,针对不同的人群SWA是否能准确预估体力活动的能量消耗,也是现在国内外学者的研究热点。

**SWA在不同人种中的应用:**2014年有学者用SWA针对不同种族的人群休息和中高强度体力活动能量消耗情况做了对比研究。结果显示,在跑步机跑步和休息时黑人的能量消耗要高于高加索人,而在骑自行车时黑人的能量消耗则略低于高加索人<sup>[29]</sup>。虽然两者具有很强的一致性,但在不同的体力活动和强度下依旧有所差异。因此,作者在文中也指出有必要针对不同的种族对SWA的算法进行改进。

**SWA在不同体质量人群中的应用:**由于近几十年来全球肥胖儿童的数量正在不断的增加<sup>[48-49]</sup>,精确评估日

常能量消耗对超重和肥胖人群的体质量管理与与生活方式有关的健康问题有至关重要的作用<sup>[50]</sup>。有研究指出,和正常体质量儿童相比,超重和肥胖儿童的运动模式有所不同<sup>[51]</sup>,因此在该人群中其体力活动的能量消耗也可能有所不同。

为了验证该想法,有学者用双标水验证了SWA在预测超重和肥胖儿童的能量消耗的准确性,结果显示在为期14 d的研究中SWA(使用5.1软件算法)能准确预估肥胖和超重儿童的能量消耗,但与该结果不同的是在使用6.1软件版本时对能量消耗则有18%的低估<sup>[35]</sup>。于此同时,又有文献指出,在不同强度的活动中通过SWA预测肥胖或超重儿童的能量消耗准确性也各有不同<sup>[52]</sup>。因此,虽然在总能量消耗的预测中使用5.1版本算法可准确预测超重和肥胖儿童的能量消耗,但在不同强度的活动中的能量消耗准确性有待进一步研究。

**SWA在运动员中的应用:**在预测运动员的能量消耗时,由于长时间的运动,运动员的身体素质与普通人存在较大差别<sup>[53-54]</sup>。并且不同类型的运动员,由于运动项目的差异,其肌肉类型、体脂含量等也存在较大差异<sup>[55]</sup>。Koehler和他的同事在研究男性耐力运动员的能量消耗时指出虽然SWA和双标水在测试数据上呈高度相关( $r=0.73$ ,  $P<0.01$ ),但其依然存在一定比例的偏差和局限性,其偏差可能与个体乳酸阈有关,并且低估了大强度的体力活动<sup>[56]</sup>。因此,在使用SWA测量运动员这个特殊群体时如使用针对普通人设计的预测公式则会出现较大的误差,有必要针对不同项目运动员对算法进行改进。

**2.3.2 SWA在不同体力活动水平中的应用** 在日常活动中SWA已经被证明能有效预测体力活动的能量消耗,但在众多研究中显示中高强度的体力活动中依旧存在一定的误差。2014年van Hoya等<sup>[57]</sup>在他的研究中运用递增负荷的跑台测试来验证了这一误差,结果显示,使用新发布的5.2软件算法在低于1.5 m/s的步行中SWA和间接测热法得出的数据并无显著性差异,而在强度增加到1.67 m/s及以上时则发现两者存在显著性差异,并且随着强度的增加SWA对能量消耗的低估就越大。

## 3 结论与建议 Conclusion and suggestion

由于SWA小巧的体积、简便的操作性和非侵入性的测试原理,在体力活动能量消耗预测上正在被全球科研工作者广泛应用。其测试结果的准确性在近年来也是研究的热点之一。总体而言,根据双标水、间接测热法等方法为标准的校标研究显示,SWA具有较高的准确性,能有效评估日常体力活动的能量消耗。但在特殊情况下也存在一定的差异,例如不同的人种、体脂含量和运动强度。因此,有必要针对这些情况对SWA的计算公式进一步的进行改进。与此同时,确定恰当的佩戴时间和数据统计时使用软件版本也是影响最终结果准确性的因素之一。

相比于双标水、间接测热法和加速度计预测体力活动的能量消耗, SWA具有其独特的优势, 其所采用的加速度计联合多种传感器综合测量计算预测能量消耗的方式能测量不同体力活动情况中的能量消耗情况, 也是目前体力活动测量工具的发展趋势。目前, 国内的研究方向多集中于加速度计等测量工具的研究, 和加速度计相比SWA提供了更多的活动信息和监控指标, 同时也能在目前国内外学者广泛关注的静态活动能量消耗的预测提供新的思路。

虽然SWA在预测体力活动能量消耗时有其独特的优势, 但根据前人的研究结果发现不同人种和不同年龄、体质人群的能量消耗情况存在一定的差异性, 如何改进该设备, 使其更加准确有效的预测不同情况下的体力活动是今后研究的目标。另外, 当前的SWA预测公式未涉及到体力活动的类型, 而上述文献中也有阐述了不同体力活动之间的差异, 因此根据不同运动的特点建立不同的预测公式也将成为今后研究的重点之一。

**作者贡献:** 综述设计为通讯作者, 资料收集为第一作者, 文章撰写为第一作者, 审校为通讯作者。

**利益冲突:** 所有作者共同认可文章无相关利益冲突。

**伦理要求:** 没有与相关伦理道德冲突的内容。

**学术术语:** 可穿戴式健康监测系统? 即利用穿戴式生物传感器采集人体运动与生理参数, 来实现对穿戴者运动与健康的管理。穿戴式健康监护系统是具有无创连续检测人体生理信息、数据无线发送和实时处理功能的集成系统, 能满足低生理、心理负荷条件下的生理状态监测。

**作者声明:** 文章第一作者对研究和撰写的论文中出现的不良行为承担责任。论文中涉及的原始图片、数据(包括计算机数据库)记录及样本已按照有关规定保存、分享和销毁, 可接受核查。

#### 4 参考文献 References

- [1] Shephard RJ, Aoyagi Y. Measurement of human energy expenditure, with particular reference to field studies: an historical perspective. *Eur J Appl Physiol*.2012;112(8): 2785-815.
- [2] Dale MT, Mckeough ZJ, Munoz PA, et al. Physical activity in people with asbestos related pleural disease and dust-related interstitial lung disease: an observational study. *Chron Respir Dis*. 2015 Jun 5. pii: 1479972315587518. [Epub ahead of print]
- [3] Camiletti-Moirón D, Segura-Jiménez V, Álvarez-Gallardo IC, et al. Inter-accelerometer comparison to measure physical activity and sedentary time in female fibromyalgia patients: the al-Andalus project. *Clin Exp Rheumatol*. 2015;33(1 Suppl 88): S46-52.
- [4] Agostini PJ, Naidu B, Rajesh P, et al. Potentially modifiable factors contribute to limitation in physical activity following thoracotomy and lung resection: a prospective observational study. *J Cardiothorac Surg*. 2014;9:128.
- [5] Vernillo G, Savoldelli A, Pellegrini B, et al. Validity of the SenseWear Armband to Assess Energy Expenditure in Graded Walking. *J Phys Act Health*. 2015;12(2):178-183.
- [6] Vernillo G, Savoldelli A, Pellegrini B, et al. Evaluation of the SenseWear Mini Armband to assess energy expenditure during pole walking. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2014;24(5):565-569.
- [7] Reeve MD, Pumpa KL, Ball N. Accuracy of the SenseWear Armband Mini and the BodyMedia FIT in resistance training. *J Sci Med Sport*. 2014;17(6):630-634.
- [8] Farooqi N, Slinde F, Haglin L, et al. Validation of SenseWear Armband and ActiHeart monitors for assessments of daily energy expenditure in free-living women with chronic obstructive pulmonary disease. *Physiological reports*.2013; 1(6):e00150.
- [9] Benito PJ, Neiva C, González-Quijano PS, et al. Validation of the SenseWear armband in circuit resistance training with different loads. *Eur J Appl Physiol*.2012;112(8): 3155-3159.
- [10] Giobbi G. [Evaluation of total energy expenditure in adult, overweight and free-living subjects. A comparison between two methods: Factorial Method vs SenseWear Armband "Metabolic Holter"]. *Clin Ter*. 2008;159(6):405-407.
- [11] Jakicic JM, Marcus M, Gallagher KI, et al. Evaluation of the SenseWear Pro Armband to assess energy expenditure during exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2004;36(5):897-904.
- [12] Fruin ML, Rankin JW. Validity of a multi-sensor armband in estimating rest and exercise energy expenditure. *Med Sci Sports Exerc*. 2004;36(6):1063-1069.
- [13] Malavolti M, Pietrobelli A, Dugoni M, et al. A new device for measuring resting energy expenditure (REE) in healthy subjects. *Nutr Metab Cardiovasc Dis*. 2007;17(5):338-343.
- [14] Hill K, Dolmage TE, Woon L, et al. Measurement properties of the SenseWear armband in adults with chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax*.2010; 65(6): 486-491.
- [15] Jones V, Bults R, de Wijk R, et al. Experience with Using the Sensewear BMS Sensor System in the Context of a Health and Wellbeing Application. *Int J Telemed Appl*. 2011;2011: 671040
- [16] Włodarek D, Głańska D, Rojek-Trębicka J. Physical activity of predialysis patients with chronic kidney disease measured using SenseWear Armband. *J Sports Med Phys Fitness*. 2011; 51(4):639-646.
- [17] Vorwerg Y, Petroff D, Kiess W, et al. Physical activity in 3-6 year old children measured by SenseWear Pro(R): direct accelerometry in the course of the week and relation to weight status, media consumption, and socioeconomic factors. *PLoS one*.2013;8(4): e60619.
- [18] Andre D. Assessing resting metabolic rate using a multi-sensor armband. *Obesity*.2007;15(5): 1337; author reply -8.
- [19] Chen KY, Bassett DR, JR. The technology of accelerometry-based activity monitors: current and future. *Med Sci Sports Exerc*. 2005;37(11 Suppl):S490-500.
- [20] Smallwood CD, Mehta NM. Accuracy of gas exchange monitoring during noninvasive ventilation: an in vitro metabolic simulation. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*.2014;38(1): 86-91.
- [21] Lange M, Eckert K. n Measurement Accuracy of an Accelerometry-based Multi-sensor Device for Determining Energy Expenditure in Normal Weight, Overweight and Obese Older Persons. *Aktuelle Rheumatologie*.2014; 39 (5): 322.
- [22] Li AC, Tereszowski CM, Edwards AM, et al. Published predictive equations overestimate measured resting metabolic rate in young, healthy females. *J Am Coll Nutr*. 2010; 29(3): 222-227.

- [23] Berntsen S, Hageberg R, Aandstad A, et al. Validity of physical activity monitors in adults participating in free-living activities. *Br J Sports Med*. 2010;44(9):657-664.
- [24] Silva AM, Santos DA, Matias CN, et al. Accuracy of a combined heart rate and motion sensor for assessing energy expenditure in free-living adults during a double-blind crossover caffeine trial using doubly labeled water as the reference method. *Eur J Clin Nutr*. 2015;69(1):20-27.
- [25] Speakman JR.. Should we abandon indirect calorimetry as a tool to diagnose energy expenditure? Not yet. Perhaps not ever. Commentary on Burnett and Grobe (2014). *Mol Metab*. 2014;3(4):342-344.
- [26] Scheers T, Philippaerts R, Lefevre J. SenseWear-determined physical activity and sedentary behavior and metabolic syndrome. *Med Sci Sports Exerc*. 2013;45(3):481-489.
- [27] Ulas T, Buyukhatipoglu H, Eren MA, et al. Evaluation of sleeping energy expenditure using the SenseWear Armband in patients with overt and subclinical hypothyroidism. *Clin Invest Med*. 2012;35(3):E126-131.
- [28] Shechter A, Rising R, Albu JB, et al. Experimental sleep curtailment causes wake-dependent increases in 24-h energy expenditure as measured by whole-room indirect calorimetry. *Am J Clin Nutr*. 2013;98(6):1433-1439.
- [29] Brazeau AS, Suppere C, Strychar I, et al. Accuracy of energy expenditure estimation by activity monitors differs with ethnicity. *Int J Sports Med*. 2014;35(10):847-850.
- [30] Heiermann S, Khalaj Hedayati K, Müller MJ, et al. Accuracy of a portable multisensor body monitor for predicting resting energy expenditure in older people: a comparison with indirect calorimetry. *Gerontology*. 2011;57(5): 473-479.
- [31] Plasqui G, Westerterp KR. Physical activity assessment with accelerometers: an evaluation against doubly labeled water. *Obesity*. 2007;15(10): 2371-2379.
- [32] Park J, Kazuko IT, Kim E, et al. Estimating free-living human energy expenditure: Practical aspects of the doubly labeled water method and its applications. *Nutr Res Pract*. 2014;8(3): 241-248.
- [33] Mackey DC, Manini TM, Schoeller DA, et al. Validation of an Armband to Measure Daily Energy Expenditure in Older Adults. *J Gerontol a-Biol*. 2011;66(10): 1108-1113.
- [34] Calabró MA, Stewart JM, Welk GJ. Validation of pattern-recognition monitors in children using doubly labeled water. *Med Sci Sports Exerc*. 2013;45(7):1313-1322.
- [35] Catharina Bäcklund, Gunnevi Sundelin, Christel Larsson. Validity of Armband Measuring Energy Expenditure in Overweight and Obese Children. *Med Sci Sports Exerc*. 2010;42(6):1154-1161.
- [36] Eisenmann JC, Brisko N, Shadrick D, et al. Comparative analysis of the Cosmed Quark b2 and K4b2 gas analysis systems during submaximal exercise. *J Sports Med Phys Fitness*. 2003;43(2):150-155.
- [37] Larsson PU, Wadell KM, Jakobsson EJ, et al. Validation of the MetaMax II portable metabolic measurement system. *Int J Sports Med*. 2004;25(2):115-123.
- [38] Meyer T, Georg T, Becker C, et al. Reliability of gas exchange measurements from two different spirometry systems. *Int J Sports Med*. 2001;22(8):593-597.
- [39] Perret C, Mueller G. Validation of a new portable ergospirometric device (Oxycon Mobile) during exercise. *Int J Sports Med*. 2006;27(5):363-367.
- [40] Westerterp KR.. Assessment of physical activity level in relation to obesity: current evidence and research issues. *Med Sci Sports Exerc*. 1999;31(11 Suppl):S522-525.
- [41] Johannsen DL, Calabro MA, Stewart J, et al. Accuracy of armband monitors for measuring daily energy expenditure in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc*. 2010;42(11):2134-2140.
- [42] Erdogan A, Cetin C, Karatosun H, et al. Accuracy of the Polar S810i (TM) heart rate monitor and the Sensewear Pro Armband (TM) to estimate energy expenditure of indoor rowing exercise in overweight and obese individuals. *J Sport Sci Med*. 2010;9(3): 508-516.
- [43] Sun M, Reed GW, Hill JO. Modification of a whole room indirect calorimeter for measurement of rapid changes in energy expenditure. *J Appl Physiol* (1985). 1994;76(6):2686-2691.
- [44] Nichols JF, Morgan CG, Sarkin JA, et al. Validity, reliability, and calibration of the Tritrac accelerometer as a measure of physical activity. *Med Sci Sports Exerc*. 1999;31(6):908-912.
- [45] Welk GJ, McClain JJ, Eisenmann JC, et al. Field validation of the MTI Actigraph and BodyMedia armband monitor using the IDEEA monitor. *Obesity*. 2007;15(4): 918-928.
- [46] Brazeau AS, Karelis AD, Mignault D, et al. Test-retest reliability of a portable monitor to assess energy expenditure. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2011;36(3):339-343.
- [47] Scheers T, Philippaerts R, Lefevre J. Variability in physical activity patterns as measured by the SenseWear Armband: how many days are needed?. *Eur J Appl Physiol*. 2012; 112(5): 1653-1662.
- [48] Olds T, Maher C, Zumin S, et al. Evidence that the prevalence of childhood overweight is plateauing: data from nine countries. *Int J Pediatr Obes*. 2011;6(5-6): 342-360.
- [49] Zhang YX, Zhang ZC, Chu ZH. Prevalence of general and abdominal obesity among children and adolescents with different sitting height ratios in Shandong, China. *Int J Cardiol*. 2015;191:18-19.
- [50] Foster GD, McGuckin BG. Estimating resting energy expenditure in obesity. *Obes Res*. 2001 Dec;9 Suppl 5:367S-372S; discussion 373S-374S.
- [51] Nantel J, Brochu M, Prince F. Locomotor strategies in obese and non-obese children. *Obesity*. 2006;14(10): 1789-1794.
- [52] Arvidsson D, Fitch M, Hudes ML, et al. Accuracy of multisensor activity monitors in normal versus high BMI African American children. *J Phys Act Health*. 2011;8(8): 1124-1134.
- [53] WITKOWSKI S, SPANGENBURG E E. Reduced physical activity and the retired athlete: a dangerous combination? *Br J Sports Med*. 2008; 42(12): 952-953.
- [54] Douglas PS, O'Toole M. Aging and physical activity determine cardiac structure and function in the older athlete. *J Appl Physiol* (1985). 1992;72(5):1969-1973.
- [55] Knechtle B, Wirth A, Knechtle P, et al. A comparison of fat mass and skeletal muscle mass estimation in male ultra-endurance athletes using bioelectrical impedance analysis and different anthropometric methods. *Nutr Hosp*. 2011;26(6):1420-1427.
- [56] Koehler K, Braun H, de Marées M, et al. Assessing Energy Expenditure in Male Endurance Athletes: Validity of the SenseWear Armband. *Med Sci Sports Exerc*. 2011;43(7): 1328-1333.
- [57] van Hoya K, Mortelmans P, Lefevre J. Validation Of the Sensewear Pro3 Armband Using an Incremental Exercise Test. *J Strength Cond Res*. 2014;28(10): 2806-2814.