

· 现场调查 ·

加速度计对成人日常体力活动测量效度的研究

刘爱玲 李艳平 宋军 潘慧 韩秀明 马冠生

【摘要】 目的 对加速度计(CSA)测量成年人日常体力活动的效度进行验证并提出根据 CSA 数据预测能量消耗的方程。方法 选取 72 名北京市居民,年龄(43.6 ± 4.0)岁,男性 33 名,女性 39 名,作为调查对象,佩带 7 天 CSA,在同一期间采用双标水方法(DLW)测量能量消耗,包括平均每天总能量消耗(TEE)、平均每天体力活动能量消耗(AEE)和体力活动水平(PAL)作为验证标准。结果 通过 CSA 测量的平均每天活动计数(AC)与 TEE、AEE 和 PAL 之间均呈显著相关,偏相关系数 r 分别为 0.31、0.30、0.26 ($P < 0.05$)。逐步多元回归分析表明,影响 TEE 的因素包括去脂体重或体重指数、AC ($R^2 = 0.52 \sim 0.70$),影响 AEE 的因素包括 AC、性别和去脂体重 ($R^2 = 0.25 \sim 0.32$)。结论 CSA 能准确测量中国成年人日常体力活动模式,AC 可以解释 TEE 和 AEE 的变异。

【关键词】 加速度计; 双标水; 能量消耗

Study on the validation of the computer science application's activity monitor in assessing the physical activity among adults using doubly labeled water method LIU Ai-ling, LI Yan-ping, SONG Jun, PAN Hui, HAN Xiu-ming, MA Guan-sheng. Institute of Nutrition and Food Safety, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 100050, China

【Abstract】 Objective Using doubly labeled water method to validate the colmputer science application's activity monitor(CSA) in assessing physical activity of free-living adults in Beijing, in order to develop equations to predict total daily energy expenditure(TEE) and activity related energy expenditure (AEE) from activity counts(AC) and anthropometric variables. **Methods** A total of 72 healthy adults(33 males and 39 females, mean age 43.6 ± 4.0 yr) were monitored for 7 consecutive days by CSA. TEE was simultaneously measured using doubly labeled water method. Average AC(counts/min⁻¹) was compared with TEE, AEE and physical activity level (PAL). **Results** Physical activity determined by AC was significantly related to data on energy expenditures: TEE ($r = 0.31, P < 0.01$), AEE ($r = 0.30, P < 0.05$), and PAL ($r = 0.26, P < 0.05$). Multiple stepwise regression analysis showed that TEE was significantly influenced by gender, fat-free mass(FFM) or BMI and AC ($R^2 = 0.52-0.70$) while AEE was significantly influenced by gender, FFM and AC ($R^2 = 0.25-0.32$). **Conclusion** AC from CSA activity monitor seemed a useful measure in studying the total amount of physical activity in free-living adults while AC significantly contributed to the explained variation in TEE and AEE.

【Key words】 Aaccelerometer; Doubly labeled water; Energy expenditure

许多研究表明,体力活动与人体健康密切相关,高水平的体力活动可以降低冠心病危险因素如高血压的发生率;体力活动与糖尿病、肥胖等其他慢性疾病的发生及其造成的病死率也密切相关^[1]。准确测量体力活动水平对研究体力活动与健康之间的关系是十分必要的。体力活动测量不准确会降低甚至消除其与健康的关联程度。为此,流行病学家制定了许多测量体力活动的工具,包括问卷、加速计、直接

观察法、双标水法、心率测量仪等。加速度计(computer science application's activity monitor, CSA)通过感受身体在垂直方向加速度的变化来测量体力活动,属于一维加速计。由于测量结果准确、可以了解调查对象不同时间段的体力活动模式等优点而被广泛应用。但对 CSA 效度的验证大都在实验室中进行,缺乏 CSA 测量成人日常体力活动效度的研究。而双标水方法被认为是测量能量消耗的金标准^[2],所以本研究采用双标水方法对 CSA 测量成人日常体力活动的效度进行验证。

对象与方法

1. 调查对象:采用方便抽样的方法从北京市朝阳区、宣武区、西城区以及北京市第二棉纺厂和特钢厂的 15 个居委会和 2 个工会选取 73 名健康居民和职工作为调查对象。研究通过了中国疾病预防控制中心营养与食品安全所伦理委员会的审查,调查对象均签订了知情同意书。

2. 研究方法:

(1)体格测量:采用国产金属立柱式身高坐高计测量身高,精确度为 0.1 cm。采用美国 Country Technology 公司的产品 THINNER-TM 体重计测量体重,精确度为 0.227 kg。去脂体重(fat-free mass, FFM)采用单标水方法测量,样品的测定在 TUFTS 大学美国农业部老年营养研究中心进行。根据公式计算体重指数(BMI) = 体重(kg)/身高(m)²。

(2)总能量消耗(TEE):采用双标水方法来测量 TEE。实验共计 8 天。在第 1 天上午先收集晨起第 2 次尿样品后,按每公斤体重 0.1 g 纯²H¹⁸O 和 0.08 g 纯²H²O 给予双标水,其后收集受试者服双标水后第 3、第 4、第 5 小时的尿样以及第 2、第 7、第 8 天晨起后第 2 次尿样品。分装后密封保存在 -20℃ 低温冰箱。使用质谱仪对样品进行分析,样品的测定在 TUFTS 大学美国农业部老年营养研究中心进行。

(3)体力活动能量消耗(AEE): $AEE = TEE - 24 \text{ h 基础代谢率(BMR)} - 10\% TEE$,其中 BMR 根据预测方程 $BMR(MJ/d) = 0.0581 \times \text{体重(kg)} + 1.7405 \times \text{身高(m)} - 0.0144 \times \text{年龄} - 0.4703 \times \text{性别(男} = 0, \text{女} = 1) + 0.2274$ 计算所得^[3]。体力活动水平(PAL)的计算公式为 $PAL = TEE/BMR$ ^[4]。

(4)体力活动水平:采用美国 Computer Science and Application Inc. 公司的产品 CSA 加速度计测量。在进行双标水测量的第 1 天,调查对象佩带 CSA,固定于腰部。每天早晨起床就带上,一直到晚上睡觉前摘下。在游泳、洗澡及其他原因未佩带仪器时,要在体力活动记录表上记录未佩带时的体力活动类型及开始和结束的时间,根据公式计算该项活动的能量消耗:能量消耗(MJ) = 活动强度系数(METs, $\text{kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) × 活动时间(h) × 体重(kg) × 4.2/1000;共佩带 7 天。由于 CSA 不能测量一些静力性活动,所以在佩带 CSA 期间,用自行车表测量骑自行车的速度、时间、里程等,根据公式:能

量消耗(MJ) = (0.698 + 0.357 × 每天骑自行车的平均速度) × 24 h 基础代谢率(MJ)/24 × 骑自行车时间(h/d)计算平均每天骑自行车的能量消耗。CSA 对体力活动的测量结果以活动计数(AC)的形式表示,代表了加速度的大小和多少的总和,也可以通过 CSA 内固有的程序(佩带前在 CSA 中录入身高、体重、年龄、性别),直接读出受试者每天的体力活动能量消耗(kcal, energy expenditure from CSA, EE_{CSA}),利用未佩带加速计时体力活动能量消耗和骑自行车时能量消耗对直接读数进行调整,得到调整后的每天体力活动能量消耗(adjusted energy expenditure from CSA, $AEE_{CSA} = EE_{CSA} + \text{骑自行车能量消耗} + \text{活动但未佩带 CSA 时的能量消耗}$)。

3. 统计学分析:采用均数和标准差($\bar{x} \pm s$)对各变量进行描述,用单因素方差分析比较不同性别间的差异。采用 Pearson 相关分析 CSA 与双标水两种方法在测量体力活动方面的相关性。随机选出 60 人的数据,采用逐步回归方法建立以 TEE 和 AEE 为因变量,以年龄、性别、身高、FFM/BMI、AC 为自变量的回归方程。用剩余人的数据对预测的 TEE 和 AEE 与 DLW 测量的 TEE 和 AEE 进行一致性分析以验证回归方程。

结 果

1. 测量情况:有 72 人完成全部的测量,1 名受试者在佩带 CSA 的过程中出现故障除外,其中男性 33 名,女性 39 名,年龄、身高、体重,通过双标水方法得到 TEE 和 AEE 以及 PAL,通过 CSA 得到的 AC 、 EE_{CSA} 以及 AEE_{CSA} 结果见表 1。男女间的体力活动差异有统计学意义,男性 TEE、AEE 和 PAL 高于女性,而体力活动计数低于女性。

表 1 不同性别调查对象身高、体重、能量消耗以及 CSA 计数分布($\bar{x} \pm s$)

变量	男(n = 33)	女(n = 39)
年龄(岁)	43.80 ± 3.9	43.40 ± 4.1
身高(cm)	172.00 ± 6.1	160.40 ± 6.2*
体重(kg)	73.40 ± 12.8	65.50 ± 12.6*
FFM(kg)	54.10 ± 6.6	41.00 ± 5.5*
TEE(MJ/d)	12.10 ± 1.8	9.60 ± 1.4*
AEE(MJ/d)	4.10 ± 1.4	2.90 ± 0.8*
PAL	1.77 ± 0.25	1.66 ± 0.14#
AC(计数/min)	297.60 ± 106.8	356.70 ± 106.2#
EE_{CSA} (MJ/d)	1.60 ± 0.7	1.70 ± 0.5
AEE_{CSA} (MJ/d)	3.00 ± 1.2	2.70 ± 0.9

注:性别间比较采用单因素方差分析; * $P < 0.01$, # $P < 0.05$

2. CSA 与双标水的相关性分析:调整了年龄、性别和体重的影响后,AC 与 TEE、AEE 和 PAL 之间均存在显著的正相关关系,偏相关系数 r 位于 0.26~0.31 ($P < 0.05$) 之间。对 CSA 原始数据进行调整后,即考虑骑自行车和未佩戴 CSA 时进行活动的能量消耗,两方法间的相关程度提高, r 位于 0.37~0.42 ($P < 0.01$) 之间(表 2)。

表2 CSA 和双标水方法之间的相关性

变量	AC	EE _{CSA}	AEE _{CSA}
TEE	0.31*	0.31*	0.42*
AEE	0.30#	0.30#	0.41*
PAL	0.26#	0.27#	0.37*

* $P < 0.01$, # $P < 0.05$

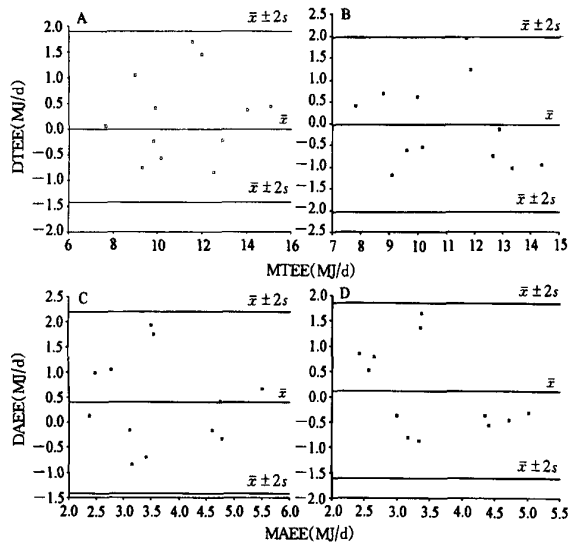
3. CSA 与双标水的多因素分析:利用随机选取的 60 名调查对象的数据,采用逐步回归方法得到 TEE 和 AEE 的预测方程。表 3 中方程 1 和 2 的自变量包括年龄、性别、身高、FFM 和 AC,方程 3、4 的自变量包括年龄、性别、BMI 和 AC。4 个方程的 R^2 在 0.25~0.70 之间 ($P < 0.001$)。

在剩余的 12 人中,对根据预测方程得出的 TEE 和 AEE 与双标水方法测量的实际 TEE 和 AEE 进行比较。方程 1 和 3 实测的 TEE 和预测的 TEE 之间的平均差值分别为 0.24 MJ/d ($P = 0.34$, 95% CI: -1.37~1.85 MJ/d) 和 -0.03 MJ/d ($P = 0.91$, 95% CI: -2.03~1.97 MJ/d), 相关系数分别为 0.93、0.87 ($P < 0.001$)。方程 2 和 4 实测的 AEE 和预测的 AEE 之间的平均差值分别为 0.39 MJ/d ($P = 0.16$, 95% CI: -1.41~2.19 MJ/d) 和 0.12 MJ/d ($P = 0.64$, 95% CI: -1.62~1.86 MJ/d), 相关系数分别为 0.67、0.65 ($P < 0.001$)。以预测值与实测值的差值为纵坐标,以预测值与实测值的均值为横坐标做散点图(图 1)。结果显示,任何一个方程的预测值与实测值的差值均在 95% CI 之内,并且与均值之间也都没有显著联系。

讨 论

本次研究结果表明,CSA 计数与双标水方法得

到的 TEE、AEE 和 PAL 之间都存在显著的相关关系,多元回归分析的结果也表明,体力活动计数与性别和去脂体重或 BMI 一起显著的影响 TEE 和 AEE。与 Ekelund 等^[5]、Sirard 等^[6] 以及 Bouten 等^[7] 利用双标水或体力活动回顾问卷对 CSA 或三维加速计 Tracmor 的验证结果相接近。但与 Trost 等^[8] 和 Melanson, Freedson^[9] 在实验室中进行的相比,CSA 测量日常体力活动的效度要低。Welk 等^[10] 的研究结果证明了这一点。造成差异的原因可能在于活动方式不同。实验室里活动条件控制严格,活动方式如活动时间、活动强度等标准化,一般只测量一种或几种活动,而在日常活动状态下,调查对象活动类型比较多,活动方式也不同,即使是同一种活动,不同人的活动方式会不同,同一个人在不同时间参加同一个活动的方式也会不同,各类活动都不是在一个标准的方式下进行的^[6]。另外,有一些日常活动 CSA 不能测量,如只有上肢参与的活动、骑自行车、游泳等,也会影响 CSA 测量日常体力活动的效度。



DTEE = 实测 TEE; DAEE = 实测 AEE - 预测 AEE; MTEE = (实测 TEE + 预测 TEE)/2; MAEE = (实测 AEE + 预测 AEE)/2

图1 对 TEE 和 AEE 预测方程的验证

表3 TEE 和 AEE 预测方程的逐步回归分析

预测方程	标准化的 β				R^2
	AC	性别	FFM	BMI	
1 TEE(MJ/d) = 0.22 + 0.0023 × AC + 0.21 × FFM	0.12	-	0.86	-	0.70
2 AEE(MJ/d) = 0.33 + 0.0026 × AC - 0.70 × 性别 + 0.06 × FFM	0.22	-0.27	0.37	-	0.32
3 TEE(MJ/d) = 5.58 + 0.0038 × AC + 0.22 × BMI - 3.0 × 性别	0.20	-0.72	-	0.43	0.52
4 AEE(MJ/d) = 3.39 + 0.0024 × AC - 1.40 × 性别	0.21	-0.52	-	-	0.25

注:性别:男性=0,女性=1

AEE 是 TEE 中变化最大的一部分, 尽管 AEE 和 AC 有所不同(AEE 不能反映调查对象的体力活动模式, 而 AC 可以反映出调查对象的活动强度), 但他们之间是相互关联的。本研究中, AC 与 AEE 显著相关($r=0.30$), 在回归方程中, AC 与 FFM 和性别一起解释 32% 的 AEE 变异, 对回归方程的验证表明, 根据方程得到的预测值和实测值之间差异没有统计学意义。从得到的回归方程可以看出, 尽管 50%~70% 左右的 TEE 和 30% 左右的 AEE 可以用 FFM 或 BMI、性别和 CSA 计数(表 3)来解释, 但仍有部分变异不能被解释, 原因在于: 首先是测量仪器的限制, CSA 是一维加速度计, 不能测量所有的活动, 如一些静力性活动, 所以用骑自行车能量消耗和未佩戴 CSA 时进行的活动(睡眠除外)对 CSA 数据进行调整后, 与 TEE 和 AEE 以及 PAL 的相关系数比未调整时的相关系数提高(表 2)。另外, 其他一些因素也会影响活动计数, 如乘坐汽车和自行车时, 交通工具的振动会影响活动计数, 这种非人体自主移动会使相关性降低^[7]。其次, TEE 和 AEE 的预测方程并没有引入所有的影响因素, 方程本身的 R^2 不为 1。最后, 本次研究利用已有的预测方程来推算 BMR, 而不是直接测量, 在计算 AEE 时可能会产生一些偏差, 有可能影响研究结果。

尽管本次研究得到的回归方程对 AEE 预测的准确性低于实验室某种特定活动, 如步行或慢跑的预测方程, 但由于该方程是从日常体力活动得到的, 因此适用范围更广。另外, 根据预测方程得到的 AEE 与实测值之间的相关程度高于根据 CSA 本身设置的方程得到的 AEE 与实测值之间的相关程度(r 分别为 0.67、0.65、0.30), 说明本研究得到的方程更适合应用于评价中国成年人的日常体力活动能量消耗。方程 3、4 是利用调查对象年龄、性别、BMI 和 AC 建立起来的, 应用起来比较方便、简单、经济。而方程 1 和 2 是利用调查对象年龄、性别、FFM 和 AC 建立起来的, 与方程 3 和 4 相比, 对 TEE 和 AEE 的预测更准确, 但需要测量 FFM, 操作起来费时, 花费也比较高, 所以在实际应用中应根据课题需

要选择合适的方程。

综上所述, 从 CSA 得到的活动计数可以有效地评价中国成人总体力活动量, 根据活动计数和其他一些体格数据可以得到计算 TEE 和 AEE 的预测方程, 与 CSA 本身设置的方程相比更适合日常活动状态下的中国成年人。

参 考 文 献

- 1 US: Department of Health and Human Services. Physical activity and health: a report of the surgeon general. Atlanta, GA: US. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion, International Medical Publishing, 1996. 85-142.
- 2 Weir JB deV. New methods of calculating metabolic rate with special reference to rotein metabolism. J Physiol, 1949, 109:1-9.
- 3 Liu HY, Lu YF, Chen WJ. Predictive equations for basal metabolic rate in Chinese adults: a cross-validation study. J Am Diet Assoc, 1995, 95:1403-1408.
- 4 中国营养学会. 中国居民膳食营养素参考摄入量. 北京: 中国工业出版社, 2001. 28.
- 5 Ekelund U, Sjostrom M, Yanve A, et al. Physical activity assessed by activity monitor and doubly labeled water in children. Med Sci Sports Exerc, 2001, 33:275-281.
- 6 Sirard JR, Melanson EL, Li L, et al. Field evaluation of the Computer Science and Applications, Inc. physical activity monitor. Med Sci Sports Exerc, 2000, 32:695-700.
- 7 Bouten CVC, Westerterp KR, Verduin M, et al. Daily physical activity assessment: comparison between movement registration and doubly labeled water. J Appl Physiol, 1996, 81:1019-1026.
- 8 Trost SG, Ward DS, Moorehead MS, et al. Validity of the computer science and applications (CSA) activity monitor in children. Med Sci Sports Exerc, 1998, 30:629-633.
- 9 Melanson EL, Freedson P. Validity of the computer science and applications, Inc. (CSA) activity monitor. Med Sci Sports Exerc, 1995, 27:934-940.
- 10 Welk GJ, Blair SN, Wood K, et al. A comparative evaluation of three accelerometry-based physical activity monitors. Med Sci Sports Exerc, 2000, 32 suppl: s489-s497.

(收稿日期: 2004-07-19)

(本文编辑: 尹廉)