

# 代谢车间接测热法、公式推测法及人体成分测定法用于测定静息能量消耗的比较

谢海雁 于康 安奇志 姜鸿 李冬晶

**【摘要】 目的** 比较公式预测及分人体成分测定仪估测的静息能量消耗 (REE) 与间接测热法测量的 REE 差异。**方法** 招募从事轻体力劳动的健康志愿者, 使用代谢车测定 REE, 并同时使用人体成分测定仪进行人体成分测定, 推算 REE; 将上述结果与 WHO 推荐的 Schofield 公式和 Harris-Benedict (H-B) 公式推测的 REE 结果进行比较。**结果** 共纳入健康受试者 30 名, 其中男性 12 名, 平均年龄  $(37.8 \pm 7.4)$  岁 (25~46 岁)。女性 18 例, 平均年龄  $(40.4 \pm 7.8)$  岁 (26~52 岁)。男性 REE 实测值为  $(1\,848.33 \pm 155.01)$  kcal/d, 与体质分析仪推算的结果和 Schofield 公式计算的结果相比差异无统计学意义, 而与 H-B 公式计算结果相比, 差异有统计学意义 ( $P=0.003$ ); 女性 REE 实测值为  $(1\,294.44 \pm 134.23)$  kcal/d, 与其他 3 种方法推测结果相比, 差异有统计学意义 ( $P$  分别为 0.002、0.031、0.002)。代谢车实测的 REE 在男性中与体质量 ( $P=0.033$ ) 和体脂百分数 ( $P=0.036$ ) 有相关性, 在女性中与身高和骨骼肌总量相关 ( $P=0.003$ )。**结论** 从事轻体力劳动的健康中青年女性选择代谢车间接测热法直接测定 REE 会更加准确, 而在男性中除了间接测热法之外, 还可以考虑使用 WHO-Schofield 公式与人体成分测定仪来预测 REE 值。

**【关键词】** 静息能量消耗; 间接测热法; 能量预测公式; 人体成分

**基金项目:** 国家卫生计生委保健局保健重点科研项目 (编号 W2015ZD03)

**Comparison in calculating rest energy expenditure with indirect calorimetry, predictive equations and human body component analyzer** Xie Haiyan, Yu Kang, An Qizhi, Jiang Hong, Li Dongjing. Department of Health Care, Peking Union Medical College Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Beijing 100730, China

Corresponding author: Yu Kang, E-mail: yuk1997@sina.com

**【Abstract】 Objective** To compare differences among measured rest energy expenditure (REE) by using indirect calorimetry (IC) and predictive REE from predictive equations (PE) and human body component analyzer (HBCA). **Methods** Young and middle-aged healthy volunteers of light manual labor were recruited in this study. REEs were obtained from IC, PE (WHO-Schofield and Harris-Benedict equations) and HBCA. **Results** A total of 30 healthy participants were included, of whom 12 were males (25-46 years old) with an average age of  $(37.8 \pm 7.4)$  and 18 were females (26-52 years old) with an average age of  $(40.4 \pm 7.8)$ . Measured REE of the males was  $(1\,848.33 \pm 155.01)$  kcal/d, which was significantly different from the predictive REE result of H-B equation ( $P=0.003$ ) but not from results of WHO-Schofield equation and HBCA. In females, however, measured REE was  $(1\,294.44 \pm 134.23)$  kcal/d, which was significantly different from predictive REE results of both equations and HBCA,  $P=0.002$  (WHO-Schofield),  $P=0.031$  (H-B) and  $P=0.002$  (HBCA). Results of measured REE were related to weight ( $P=0.033$ ) and percentage of body fat ( $P=0.036$ ) in males, and to height and muscle mass ( $P=0.003$ ) in females. **Conclusion** In young and middle-aged healthy females of light manual labor, IC represented a more accurate way to measure REE, while in males WHO-Schofield equation and HBCA could be considered as alternative choices to predict REE.

【Key words】Rest energy expenditure; Indirect calorimetry; Energy predictive equations; Body composition

**Fund program:** Health Key Research Projects of Bureau of Health Care for Senior Officials, National Health and Family Planning Commission (W2015ZD03)

随着生活水平的提高,体质量管理日益成为健康管理的重要内容。从能量代谢的角度来说,体质量是能量摄入和消耗平衡后的结果,测定静息能量消耗(rest energy expenditure, REE)有利于准确估算成人能量消耗量,指导营养和运动的平衡方案。REE 是指机体没有活动时的全天 24 h 能量消耗,占总能量的 65% ~ 70%,主要用于维持机体细胞、器官的正常功能和人体的觉醒状态<sup>[1]</sup>。间接测热法通过分析呼吸中的氧气和二氧化碳气体计算 REE,是目前测定 REE 的金标准<sup>[2]</sup>。另一种方法为使用各种公式对基础能量消耗(basic energy expenditure, BEE)进行估测,例如 Harris-Benedict (H-B) 公式(Mifflin 等<sup>[3]</sup>完成的 1990 年修订版),在正常体质量人群中常用的 WHO 推荐的 Schofield 公式等<sup>[4]</sup>。此外,随着人体成分测定仪在体检中的广泛使用,可以由人体成分仪直接估算 REE。本研究拟对上述方法的 REE 结果进行比较,明确实际测定的 REE 与人体成分各参数之间的相关性,以及与其他估测得到的 REE 的差别。

## 1 对象和方法

### 1.1 对象

纳入标准:在北京协和医院院内募集 18~55 岁中年轻体力劳动健康志愿者,生活作息规律,饮食习惯正常。排除标准:体质量指数(body mass index, BMI) < 16 kg/m<sup>2</sup> 及 BMI > 35 kg/m<sup>2</sup>,近半年体质量波动 ≥ 3%,处于孕期或哺乳期女性;患有影响食物摄入、消化吸收或代谢情况疾病的患者,包括:高血压、糖尿病、甲状腺功能异常、肝肾功能异常、贫血、急慢性腹泻、发热、肿瘤等疾病;有哮喘、慢性阻塞性肺疾病、严重鼾症或睡眠呼吸暂停等影响气体测定的患者。全部受试者均获得知情同意。

### 1.2 人体成分测定

人体成分检测使用 Inbody720 型人体成分测定仪(韩国 Biospace 公司,2012),获取身体成分检测数据,包括:身高、体质量、腰围、臀围、全身骨骼肌含量、体脂百分比、内脏脂肪面积、肥胖程度、推测出的 REE 及健康评分等指标。测试者空

腹(禁食水 4~6 h 以上)、排空大小便、赤足、穿轻质衣物。放置电极前使用 75% 乙醇充分清洁皮肤以减少皮肤接触电阻。

### 1.3 REE 测定

由 Vmax Encore229 (美国 Medical Graphics 公司,2015) 能量代谢测试系统(简称代谢车)测定。每次测试前需要给代谢车做预热和容积、气体定标。测量时间选择在上午 8:30~11:30,受试者空腹或禁食 2 h 以上,在 24~26 °C 室温、湿度 45%~60% 和大气压 101.0~102.4 kPa 的环境中,安静平卧或静坐 30 min 后平卧于检查床上,连接头罩和传感器,连续测试 15~20 min,出现 3 个稳态后停止。

### 1.4 WHO 推荐公式(kcal/d)

男性:18~30 岁:  $15.057 \times W + 692.2$ , 31~60 岁:  $11.472 \times W + 873.1$ ; 女性:18~30 岁:  $14.818 \times W + 486.6$ , 31~60 岁:  $8.126 \times W + 845.6$ , W 为体质量(kg)。

### 1.5 1990 年修订的 Harris-Benedict (H-B) 公式(kcal/d)

男性:  $10 \times W + 6.25 \times H - 5 \times A + 5$ ; 女性:  $10 \times W + 6.25 \times H - 5 \times A - 161$ ; 其中 W 为体质量(kg), H 为身高(cm), A 为年龄(岁)。

### 1.6 统计学处理

运用 IBM SPSS statistic for Windows 22.0 进行统计分析。计数资料描述使用例数及百分数,计量资料用  $\bar{x} \pm s$  描述。采用配对 *t* 检验比较组间差异。REE 测量值与其他数据的相关性采用 Pearson's 相关分析。本文所有检验均为双侧检验,  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

自 2016 年 1 月 1 日至 2017 年 1 月 12 日,共收集 30 例健康志愿者,包括医生、护士、后勤管理人员等(表 1),均从事轻至中度体力活动,近半年来体质量波动 < 3%。与代谢车 REE 实测值(rest energy expenditure measured by indirect calorimetry, REEIC) 比较,男性人体成分测定仪估算值、WHO 推荐的 schofield 公式计算值的差异无统计学

意义，而与 H-B 公式计算值差异有统计学意义 ( $P=0.003$ )；在女性中，与 REEIC 比较，其他 3 种方法计算出的 REE 值差异均有统计学意义 ( $P$  分别为 0.002、0.031、0.002) (表 2)。不同性别受试者人体成分测量结果及代谢车检测结果见表

3。采用双变量相关性分析 (Pearson's 相关性分析) 研究 REEIC 与其他因素的相关性 (表 4)，结果显示 REEIC 在男性与体质量和体脂百分数显著相关 ( $P$  分别为 0.033、0.036)，女性则与身高和骨骼肌量显著相关 ( $P$  均为 0.003)。

表 1 受试者一般情况 ( $n=30$ )  
Table 1 Baseline characteristics of participants ( $n=30$ )

性别	例数 (%)	年龄	身高	体质量	体质量指数
		$[\bar{x}\pm s$ (范围), 岁]	$[\bar{x}\pm s$ (范围), cm]	$[\bar{x}\pm s$ (范围), kg]	$[\bar{x}\pm s$ (范围), $\text{kg}/\text{m}^2$ ]
男	12 (40)	37.8 $\pm$ 7.4 (25~46)	175.6 $\pm$ 5.0 (168~183)	88.1 $\pm$ 8.6 (74.3~97.6)	28.6 $\pm$ 2.96 (23.2~31.9)
女	18 (60)	40.4 $\pm$ 7.8 (26~52)	162.3 $\pm$ 3.8 (155~170)	57.2 $\pm$ 4.9 (45.5~66.5)	21.7 $\pm$ 1.60 (18.7~25.0)

表 2 体质分析仪估算、WHO-Schofield 公式和 H-B 公式计算的 REE 与代谢车实测 REE 结果比较  
( $n=30$ ,  $\bar{x}\pm s$ , kcal/d)

Table 2 Comparison of REE results by using indirect calorimetry, 2 different equations (WHO-Schofield and Harris-Benedict) and human body component analyzer ( $n=30$ ,  $\bar{x}\pm s$ , kcal/d)

性别	REEIC	REE <sub>inbody720</sub>		REEHB		REEWHO	
		$\bar{x}\pm s$	$P$ 值	$\bar{x}\pm s$	$P$ 值	$\bar{x}\pm s$	$P$ 值
男	1 848.33 $\pm$ 155.01	1 683.56 $\pm$ 112.35	0.266	1 789.21 $\pm$ 105.29	0.003	1 905.00 $\pm$ 116.89	0.100
女	1 294.44 $\pm$ 134.23	1 232.81 $\pm$ 75.27	0.002	1 213.86 $\pm$ 84.27	0.031	1 524.81 $\pm$ 59.40	0.002

注：REE：基础能量消耗；REEIC：代谢仪实测值；REEinbody720：体质分析仪推算值；REEHB：HB 公式计算值；REEWHO：WHO 推荐的 Schofield 公式计算值； $P$  值均与实测 REE 比较

表 3 男性和女性受试者身体成分测量结果及代谢车检测结果 [ $\bar{x}\pm s$  (范围)]

Table 3 Human body components and REE (kcal/d) results by using indirect calorimetry in male and female participants [ $\bar{x}\pm s$  (范围)]

性别	体脂肪 (kg)	骨骼肌 (kg)	体脂百分数 (%)	腰臀脂肪比率	健康评估
男性 ( $n=12$ )	27.2 $\pm$ 5.0 (20.6~34.4)	34.4 $\pm$ 3.2 (29.9~39.2)	30.8 $\pm$ 3.5 (25.5~36.6)	0.90 $\pm$ 0.04 (0.86~0.97)	66.8 $\pm$ 6.1 (56~75)
女性 ( $n=18$ )	17.2 $\pm$ 2.4 (12.7~22.6)	21.6 $\pm$ 2.2 (17.2~25.1)	30.1 $\pm$ 3.0 (24.6~36.6)	0.85 $\pm$ 0.04 (0.8~0.92)	73 $\pm$ 2.9 (68~77)
性别	内脏脂肪区域	呼吸熵	二氧化碳产生量 (L/min)	氧气消耗量 (L/min)	肥胖程度
男性 ( $n=12$ )	123.6 $\pm$ 36.1 (75.5~175.5)	0.80 $\pm$ 0.07 (0.74~0.95)	0.21 $\pm$ 0.03 (0.175~0.278)	0.27 $\pm$ 0.02 (0.23~0.29)	1.30 $\pm$ 0.13 (1.056~1.484)
女性 ( $n=18$ )	69.5 $\pm$ 20.2 (49.5~116.8)	0.78 $\pm$ 0.05 (0.70~0.87)	0.15 $\pm$ 0.02 (0.12~0.18)	0.19 $\pm$ 0.02 (0.16~0.21)	1.03 $\pm$ 0.08 (0.890~1.200)

注：REE：基础能量消耗

表 4 男性和女性受试者代谢车测量的基础能量消耗与身体成分各参数的相关性 (Pearson's 相关)

Table 4 Pearson's correlation between measured resting energy expenditure (kcal/d) and anthropometric measurements in male and female participants

性别	统计值	身高	体质量	体质量指数	体脂百分数	腰臀脂肪比率	骨骼肌	内脏脂肪区域	肥胖程度
男 ( $n=12$ )	$r$ 值	0.176	0.707	0.573	0.700	0.605	0.407	0.447	0.571
	$P$ 值 (双侧)	0.651	0.033	0.106	0.036	0.084	0.277	0.228	0.108
女 ( $n=18$ )	$r$ 值	0.707	0.500	0.154	-0.500	0.082	0.707	-0.053	0.159
	$P$ 值 (双侧)	0.003	0.058	0.583	0.058	0.771	0.003	0.850	0.572



### 3 讨论

呼吸熵在用代谢车进行 REE 测定中作为判断测定有效性的一项指标。根据文献报道间接测热法测定中有效呼吸熵为 0.67~1.30<sup>[2]</sup>, 本研究中所有受试者的呼吸熵在 0.7~0.95, 表明所有的 REE 测定数据均准确、可靠。

H-B、WHO 推荐的 Schofield 是应用较为广泛的计算人体基础能量消耗的预测公式, 在中国人群中进行的研究表明, 这两个公式预测准确率相对较高<sup>[1,4]</sup>。H-B 公式是 1919 年首次提出, 分别在 1984 年和 1990 年进行了两次修改, 使之更适合在现代生活方式中应用<sup>[3]</sup>。多项研究认为, H-B 公式在预测 60~70 岁以上的老年人时, 准确率高<sup>[5-6]</sup>。而在 18~25 岁的中国青年人中进行的研究显示 Liu's、Owen 和 Mifflin 公式预测性更好一些<sup>[7]</sup>。在新加坡 21~40 岁正常体质量男性中进行的研究发现, H-B 公式会高估实测 REE 的 6.0% 左右<sup>[8]</sup>。本研究 H-B 公式的预测结果与实测 REE 结果相比均出现了低估的情况, 并且差异有统计学意义, 提示在中青年人中, 无论男女, 该公式的预测价值均有限。研究表明 WHO 公式同样会高估实测 REE<sup>[8]</sup>, 与本研究结果相符, 在女性中的差异有统计学意义 ( $P=0.002$ ), 但在男性中高估的差值无统计学意义, 提示在中青年男性中有可能使用 WHO 公式预测实际 REE 值。

此外, 本研究还对人体成分测定仪估测的 REE 值与实测值进行了比较。随着欧洲临床营养学会新的营养不良诊断标准<sup>[9]</sup>的提出, 人体成分测定与分析日益广泛开展, 此项检测比代谢车的测定方法更加简便。我院既往的研究结果提示, REE 实测结果与体质量、BMI 及肌肉量、脂肪重等呈正相关; 仅在男性中与身高显著相关<sup>[4]</sup>。本研究结果与此不同, 即 REE 实测结果仅在女性中与身高和骨骼肌量显著相关, 并与人体成分测定仪估测的 REE 差异有统计学意义; 仅在男性中与体质量和体脂百分数显著相关, 人体成分测定仪估测的 REE 略低于实测 REE, 但差异无统计学意义, 提示在男性中有可能使用人体成分测定仪推测的 REE 代替实测 REE。分析本研究结果与文献中研究结果的差异, 原因可能为: 样本量少, 所使用的人体成分分析仪及代谢车型号与厂家不同等。根据中国肥胖问题工作组的建议, 我国 BMI 分类标准为:  $<18.5 \text{ kg/m}^2$

体质量过低,  $18.5 \sim 23.9 \text{ kg/m}^2$  体质量正常,  $24 \sim 27.9 \text{ kg/m}^2$  超重,  $\geq 28 \text{ kg/m}^2$  肥胖<sup>[10]</sup>。根据此定义, 文献中纳入的均为体质量正常者<sup>[4]</sup>。本研究体质量正常者 18 人, 仅占 60%, 超重 6 人 (20%), 肥胖 6 人 (20%)。平均实测 REE 值在体质量正常组为 1 332 kcal/d, 超重组为 1 672 kcal/d, 肥胖组为 1 945 kcal/d。Pearson's 相关性分析显示: 实测 REE 与 BMI 分组显著相关 ( $P<0.01$ ), 提示在不同 BMI 组中 REE 的变化情况还需要更大样本量的研究来确证。

### 参 考 文 献

- [1] 饶志勇, 伍晓汀, 胡雯. 健康成人公式预测法与间接测热法测定静息能量消耗的差异[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2010, 14(46): 8707-8711. DOI: 10.3969/j.issn.1673-8225.2010.46.038.
- [2] 李杨, 王新颖. 间接能量代谢测定仪的临床应用[J]. 肠外与肠内营养, 2012, 19(2): 118-121. DOI: 10.3969/j.issn.1007-810X.2012.02.017.
- [3] Mifflin MD, St Jeor ST, Hill LA, et al. A new predictive equation for resting energy expenditure in healthy individuals[J]. Am J Clin Nutr, 1990, 51(2): 241-247. DOI: 10.1093/ajcn/51.2.241.
- [4] 刘燕萍, 陈伟, 毛德倩, 等. 间接测热法测定北京成年居民基础代谢率及与身体成分的相关性[J]. 协和医学杂志, 2013, 4(1): 11-14. DOI: 10.3969/j.issn.1674-9081.2013.01.003.
- [5] Siervo M, Bertoli S, Battezzati A, et al. Accuracy of predictive equations for the measurement of resting energy expenditure in older subjects[J]. Clin Nutr, 2014, 33(4): 613-639. DOI: 10.1016/j.clnu.2013.09.009.
- [6] Melzer K, Karsegard VL, Genton L, et al. Comparison of equations for estimating resting metabolic rate in healthy subjects over 70 years of age[J]. Clin Nutr, 2007, 26(4): 498-505. DOI: 10.1016/j.clnu.2007.05.002.
- [7] Rao ZY, Wu XT, Liang BM, et al. Comparison of five equations for estimating resting energy expenditure in Chinese young, normal weight healthy adults[J]. Eur J Med Res, 2012, 17(1): 26. DOI: 10.1186/2047-783X-17-26.
- [8] Song T, Venkataraman K, Gluckman P, et al. Validation of prediction equations for resting energy expenditure in Singaporean Chinese men[J]. Obes Res Clin Pract, 2014, 8(3): e201-e298. DOI: 10.1016/j.orep.2013.05.002.
- [9] Rojer AG, Kruijsenga HM, Trappenburg MC, et al. The prevalence of malnutrition according to the new ESPEN definition in four diverse populations [J]. Clin Nutr, 2016, 35(3): 758-762. DOI: 10.1016/j.clnu.2015.06.005.
- [10] 钟华, 于康, 秦明伟, 等. 探讨老年人适宜的体质量指数[J]. 中华临床营养杂志, 2015, 23(5): 313-316. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-635X.2015.05.012.

(收稿日期: 2017-12-25)