

北京市超重和肥胖成人基础代谢率的研究

张莹 吴景欢 洪平¹ 毛德倩 卓勤² 陈晓荣³ 杨晓光
中国疾病预防控制中心营养与健康所 北京 100050



摘要:目的 测定北京市超重和肥胖成人基础代谢率(BMR),分析其与体成分的相关性,寻找适合我国超重肥胖人群基础代谢率的估算公式。方法 采用间接测热法测定BMR,双能X线吸收法测定体成分, Pearson相关性分析检验BMR和体成分的关系,并将BMR实测值与常用公式估算值进行比较。结果 85名受试者基础代谢的能量消耗,超重组和肥胖组显著高于体重正常组($P < 0.001$),肥胖组显著高于超重组($P = 0.036$)。超重组和肥胖组受试对象的基础代谢率与瘦体重相关性最强($r = 0.865$; $r = 0.784$)。BMI正常和肥胖组受试者的脂肪组织质量与BMR无显著相关性,超重受试者的脂肪组织质量与BMR呈显著负相关($r = -0.484$)。HENRY公式和LIU公式的BMR估算值与实测值差异 $< 2%$,差异无统计学意义。结论 超重肥胖人群的BMR要高于体重正常健康者。影响超重肥胖人群BMR的最主要因素是瘦体重,脂肪组织对BMR的影响尚不确定。HENRY公式和LIU公式适合我国超重肥胖人群。

关键词: 基础代谢率 体成分 超重 肥胖

中图分类号: R195.2 R589.2

文献标志码: A

Basal metabolic rate of overweight and obese adults in Beijing

ZHANG Ying, WU Jinghuan, HONG Ping, MAO Deqian, ZHUO Qin,
CHEN Xiaorong, YANG Xiaoguang

National Institute for Nutrition and Health, Chinese CDC, Beijing 100050, China

Abstract: Objective To detect the basal metabolic rate (BMR) of overweight and obese adults in Beijing, to investigate the correlation of BMR with body composition and to find a better BMR estimated equation for overweight and obese adults in China. **Methods** The BMR and body composition were detected with indirect calorimetry and dual-energy X-ray absorptiometry. The correlations of BMR with body composition were used by Pearson correlation test. The measured BMR data were compared with the estimated values of commonly used equations. **Results** The study involved 85 adults. The BMR of overweight and obese adults were significantly more than those of normal BMI ($P < 0.001$). The BMR of obese people were significantly more than overweight ($P = 0.036$). The measured BMR was significantly correlated with lean body mass ($r = 0.865$; $r = 0.784$) in overweight and obese adults. The measured BMR was negatively correlated with fat mass in overweight

基金项目: 国家科技基础性工作专项(No. 2013FY114700)

作者简介: 张莹,女,博士,助理研究员, E-mail: ying1985love0905@sina.com

1 国家体育总局体育科学研究所

2 通信作者: 卓勤,女,研究员, E-mail: zhuoqin1@sina.com

3 中国疾病预防控制中心慢性非传染性疾病预防控制中心

people, but not among the normal BMI and obese people. The BMR average bias of HENRY equation and LIU equation were less than 2%, respectively, the difference was not significant ($P > 0.05$). **Conclusion** The BMR of overweight and obese people is higher than normal healthy people. The important factor affect BMR is lean body mass. The impact of fat mass on BMR is uncertain. HENRY equation and LIU (≥ 18) equation are suitable for predicting BMR of overweight and obese people.

Key words: basal metabolic rate, body composition, overweight, obesity

基础代谢是维持机体生命活动最基本的能量消耗,研究发现,体表面积、瘦体重是影响健康成人基础代谢率的主要因素^[1],脂肪组织对基础代谢率也有一定的影响^[2]。基础代谢率(BMR)可通过直接测热法、间接测热法和公式估算法得到,前两种方法是测量能量消耗的金标准,但存在测量仪器和耗材昂贵,测量过程复杂等缺点^[3],因此,研究者倾向于使用公式估算法进行大样本人群研究。目前超重和肥胖已经成为全球公共卫生问题,准确评估肥胖者的基础代谢是预防和控制肥胖的重要基础。本研究通过比较体重正常、超重和肥胖人群的基础代谢率,探讨体成分对超重和肥胖人群基础代谢率的影响,以及不同推测公式应用于中国超重和肥胖成人基础代谢评估的可靠性。

1 对象与方法

1.1 研究对象

纳入标准:(1)在北京市居留不少于1年;(2)年龄20~29岁;(3)身高范围,男性164~180 cm;女性154~167 cm;(4)体型正常组(BMI 18.5~23.9 kg/m²)、超重组(BMI 24~27.9 kg/m²)和肥胖组(BMI ≥ 28 kg/m²)各30人,男女各半;(5)在过去1年内没有参加规律性体育锻炼的习惯;(6)体重稳定3个月体重变化不超过2.5 kg;(7)女性月经周期规律。

排除标准:(1)贫血、肝功、肾功、血压、血糖、甲状腺激素及促甲状腺激素水平异常者;(2)女性处于孕期或哺乳期;(3)有酗酒史者;(4)急慢性疾病患者;(5)服用影响代谢药物者。

本研究通过中国疾病预防控制中心营养与健

康所伦理委员会审查。所有受试者均签署知情同意书。

1.2 体格检查

采用北京鑫东华腾电子身高计和体重计测量身高体重,精确到0.1 cm(0.1 kg)。计算体质指数(BMI)和体表面积(BSA),BMI = 体重(kg)/身高²(m²),体表面积(m²) = 0.00586 × 身高(cm) + 0.0126 × 体重(kg) - 0.0461^[4]。

1.3 体成分测量

采用美国通用公司Lunar Prodigy型双能X线仪器测量受试者体成分,指标包括脂肪组织质量(FM)、体脂百分比(%BF)、肌肉组织质量和瘦体重(LM)。

1.4 间接测热法测定基础代谢率

采用Cortex Metamax 3B心肺功能仪对基础代谢能量消耗进行测定。受试者在清晨空腹状态下测试基础代谢率,距前一天晚上进餐时间至少12 h以上。根据受试者日常起床时间,提前把受试者从睡眠状态中叫醒,若受试者提前醒来,嘱咐其卧床、闭眼休息,以保证所有受试对象都处于完全空腹、安静、清醒而舒适的状态。测试过程中受试者不能活动四肢、说话和摇头,以排除肌肉活动对基础代谢的影响。保持室温在20~25℃之间。测试时间15 min,测试过程中受试者呼吸商平稳,VO₂及VCO₂曲线稳定。根据Weir公式(BMR = 3.9 × VO₂ + 1.1 × VCO₂)计算受试者基础代谢率,单位kJ/d。

1.5 基础代谢率的预测公式

通过文献检索,使用以下5种常用公式计算BMR(表1)。

表1 BMR估算法⁽¹⁾

Table 1 BMR predictive equations

公式	年龄/岁	男/(kJ/d)	女/(kJ/d)
HENRY ^[5]	18~30	51W + 3500	47W + 2800
SCHOFIELD ^[6]	18~30	63W + 2896	62W + 2036
H-B ^[7]	≥ 18	278 + 58W + 21H - 28A	2741 + 40W + 8H - 20A
LIU ^[8]	≥ 18	58W + 1741H - 14A - 470S + 227	
HARRIS ^[9]	不限	66.47 + 13.57W + 5H - 6.76A	655.1 + 9.46W + 1.85H - 4.68A

注:(1)W:体重;H:身高;A:年龄;S:性别(男=0,女=1)

1.6 统计学处理

采用 SPSS 16.0 软件进行统计学分析。计量资料描述使用均数 ± 标准差。组间比较采用单因素方差分析(ANOVA),组间两两比较采用 LSD 检验。测量值与估算值的均数间比较采用独立样本的 *t* 检验。BMR 测量均值与其他数据的相关性采用双变量相关性分析(Pearson's correlation)。统计检验采用双侧检验,以 *P* < 0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 受试对象基本特征

共纳入 85 名受试对象,男性 42 名,女性 43 名,平均年龄 24.4 岁。男性身高、体重、腰围、体表面积、瘦体重和基础代谢率均显著高于女性(*P* < 0.05),女性脂肪组织质量和体脂百分比显著高于男性(*P* < 0.05)。详见表 2。

表 2 受试对象基本特征

Table 2 Characters of participants

指标	男			女		
	体重正常组 (<i>n</i> = 15)	超重组 (<i>n</i> = 15)	肥胖组 (<i>n</i> = 12)	体重正常组 (<i>n</i> = 15)	超重组 (<i>n</i> = 15)	肥胖组 (<i>n</i> = 13)
年龄/岁	24.4 ± 2.0	24.8 ± 2.8	24.9 ± 1.9	24.3 ± 1.4	24.6 ± 2.9	23.3 ± 2.6
身高/cm	172.4 ± 4.4	172.2 ± 5.7	171.8 ± 2.9	159.7 ± 6.1	161.3 ± 3.9	160.2 ± 7.0
体重/kg	62.5 ± 5.7	77.6 ± 7.0 ⁽¹⁾	89.5 ± 6.1 ^(1,2)	53.1 ± 6.0	67.2 ± 4.4 ⁽¹⁾	79.6 ± 11.5 ^(1,2)
BMI/(kg/m ²)	21.0 ± 1.8	26.1 ± 1.4 ⁽¹⁾	30.3 ± 1.6 ^(1,2)	20.7 ± 1.4	25.7 ± 1.1 ⁽¹⁾	30.9 ± 3.4 ^(1,2)
腰围/cm	76.9 ± 5.3	89.7 ± 4.8 ⁽¹⁾	99.0 ± 5.8 ^(1,2)	71.7 ± 3.5	85.6 ± 4.8 ⁽¹⁾	95.1 ± 7.8 ^(1,2)
BSA/m ²	1.77 ± 0.09	1.96 ± 0.12 ⁽¹⁾	2.11 ± 0.09 ^(1,2)	1.60 ± 0.10	1.75 ± 0.07 ⁽¹⁾	1.90 ± 0.18 ^(1,2)
FM/kg	12.46 ± 4.26	19.95 ± 3.12 ⁽¹⁾	31.47 ± 5.38 ^(1,2)	15.46 ± 4.18	26.28 ± 3.81 ⁽¹⁾	34.42 ± 6.57 ^(1,2)
%BF/%	19.36 ± 5.62	25.97 ± 3.90 ⁽¹⁾	34.98 ± 4.13 ^(1,2)	29.14 ± 4.67	39.13 ± 4.06 ⁽¹⁾	42.43 ± 3.24 ⁽¹⁾
LM/kg	51.25 ± 4.69	57.06 ± 6.18 ⁽¹⁾	58.11 ± 3.77 ⁽¹⁾	36.95 ± 2.99	40.70 ± 3.06 ⁽¹⁾	46.45 ± 6.71 ^(1,2)
BMR/(kJ/d)	6471 ± 163	7364 ± 330 ⁽¹⁾	8000 ± 623 ^(1,2)	5220 ± 213	5985 ± 166 ⁽¹⁾	6648 ± 467 ^(1,2)

注: BMI: 体质指数; BMR: 基础代谢率; BSA: 体表面积; FM: 脂肪组织质量; %BF: 体脂百分比; LM: 瘦体重; (1) 与体重正常组比较 *P* < 0.05; (2) 与体重超重组比较 *P* < 0.05

2.2 受试对象基础代谢率实测结果与公式计算值的比较

基础代谢的能量消耗,超重组和肥胖组高于体重正常组,差异有统计学意义(*P* < 0.001),肥胖组高于超重组,差异有统计学意义(*P* =

0.036)。由表 3 可见,HENRY 公式和 LIU 公式的 BMR 估算值与实测值差异 < 2%,差异无统计学意义。H-B 公式、HARRIS 公式和 SCHOFIELD 公式的 BMR 估算值均显著高于实测值(*P* < 0.001)。

表 3 受试对象基础代谢率实测结果与公式计算值的比较

Table 3 Comparison of values between measured and predicted BMR

组别	测量值	HENRY	SCHOFIELD	H-B	LIU	HARRIS
体重正常组(<i>n</i> = 30)	5824 ± 587	5881 ± 723	6019 ± 844 ⁽¹⁾	6206 ± 693 ⁽¹⁾	5838 ± 749	6162 ± 684 ⁽¹⁾
超重组(<i>n</i> = 30)	6715 ± 734	6798 ± 785	7050 ± 893 ⁽¹⁾	7017 ± 855 ⁽¹⁾	6797 ± 769	6968 ± 842 ⁽¹⁾
肥胖组(<i>n</i> = 25)	7263 ± 758	7277 ± 863	7682 ± 988 ⁽¹⁾	7487 ± 961 ⁽¹⁾	7394 ± 881	7436 ± 947 ⁽¹⁾

注: (1) 与测量值相比较 *P* < 0.05

2.3 基础代谢率与人体组织的相关关系

基础代谢率与人体组织的相关关系详见表 4。BMI 正常组受试对象的基础代谢率与体表面积相关性最强(*r* = 0.959),其次是瘦体重(*r* = 0.937);超重组和肥胖组受试对象的基础代谢率与瘦体重相关性最强(*r* = 0.865; *r* = 0.784),其次是体表面积(*r* = 0.848; *r* = 0.782)。对所有受试对象而言,脂肪组织质量与基础代谢率呈显著正相关(*r* = 0.373),而 BMI 正常和肥胖组受试者的脂肪组织质量与基础代谢率无显著相关性,超重

受试者的脂肪组织质量与基础代谢率呈显著负相关(*r* = -0.484)。

3 讨论

双能 X 线吸收法(DXA)是一种能精确测量体成分的方法,它与排水法、生物电阻抗分析、中子活化分析等实验方法有很好的相关性,且具有快速、操作分析简单、受检者易接受、放射线剂量低等优点^[10],故本研究采用双能 X 线吸收法对受试对象体成分进行研究。影响 BMR 的因素很多,

表 4 基础代谢率(BMR)与人体组织的相关关系
Table 4 Correlation coefficients between basal metabolic rate and anthropometric-considered variables

指标	体重正常组	超重组	肥胖组	合计
身高	0.906 ⁽¹⁾	0.804 ⁽¹⁾	0.678 ⁽¹⁾	0.657 ⁽¹⁾
体重	0.916 ⁽¹⁾	0.820 ⁽¹⁾	0.751 ⁽¹⁾	0.862 ⁽¹⁾
BMI	0.261	0.370 ⁽²⁾	0.355	0.622 ⁽¹⁾
腰围	0.685 ⁽¹⁾	0.454 ⁽¹⁾	0.353	0.686 ⁽¹⁾
BSA	0.959 ⁽¹⁾	0.848 ⁽¹⁾	0.782 ⁽¹⁾	0.903 ⁽¹⁾
FM	-0.259	-0.484 ⁽¹⁾	0.271	0.373 ⁽¹⁾
LM	0.937 ⁽¹⁾	0.865 ⁽¹⁾	0.784 ⁽¹⁾	0.838 ⁽¹⁾

注: BMI: 体质指数; BSA: 体表面积; FM: 脂肪组织质量; LM: 瘦体重; (1) $P < 0.01$; (2) $P < 0.05$

为了减少因样本量小和抽样误差带来的偏倚,入选标准对受试者的年龄和身高进行了限定,通过血液检查和问卷筛查,排除可能对基础代谢产生影响的因素,共纳入 85 名合格受试者。测试过程中严格控制温度、湿度和噪声,消除环境对测定结果的影响。

本研究结果显示,男性基础代谢率为 7218 kJ/d,女性为 5903 kJ/d,要高于国内相关研究结果^[1,11]。其原因可能是本研究纳入了超重和肥胖的受试者,而以往研究对象是体型正常的健康成人。刘健敏等^[1]以 20~25 岁, BMI 为 18.5~24 kg/m² 的女性为研究对象,测得基础代谢率为 4712.09 kJ/d。孙锐等^[11]以 20~24 岁,体重为 57~73 kg 的男性(BMI = 21.7 kg/m²)为研究对象,测得基础代谢率为 5508.7 kJ/d。而本研究的受试人群年龄为 20~29 岁, BMI 范围为 18.7~35.6 kg/m²,由研究结果可以看出,超重人群的基础代谢率显著高于 BMI 正常人群,肥胖人群的基础代谢率要显著高于超重人群。

本研究结果显示, BMR 与身高、体重、BMI、腰围、体表面积、脂肪组织和瘦体重都有显著的正相关,这与国内的其他研究结果一致^[12]。对于 BMI 正常者,影响 BMR 的最主要因素是体表面积($r = 0.959$),其次是瘦体重($r = 0.937$),影响超重和肥胖人群 BMR 的最主要因素是瘦体重(超重组 $r = 0.865$,肥胖组 $r = 0.784$),其次是体表面积(超重组 $r = 0.848$,肥胖组 $r = 0.782$),但脂肪组织对 BMR 的影响不确定,超重受试者的脂肪组织质量与 BMR 呈显著负相关性,而 BMI 正常和肥胖组受试者的脂肪组织质量与基础代谢率无显著相关性。刘燕萍等^[12]的研究结果显示脂肪重量与 BMR 呈显著正相关,但该研究对象为 BMI 正常人群。鉴于本研究的样本量较小,尚不能确定脂肪组织质量是否对不同 BMI 人群的基础代谢率产

生影响,建议进行大样本的相关研究,探究脂肪组织质量与超重肥胖人群 BMR 的相关性。

20 世纪初已有关于基础代谢率推测公式的研究报道^[13],目前常用的有 H-B 公式、HENRY 公式、SCHOFIELD 公式和 HARRIS 公式等。对于这些公式的应用,得出的结论并不一致。刘艳萍等^[12]的研究结果显示北京地区健康成人 BMR 的实测值显著低于 SCHOFIELD 公式的估算值,男性实测值比估算值低 1854 kJ/d,女性低 1313 kJ/d。刘建敏等^[1]测量了石家庄健康女性的 BMR,比 SCHOFIELD 公式(修正)低 10% 左右。梁洁等^[14]通过数据库检索有关 BMR 的文献,认为 LIU 公式 BMR 估算值与实测值差别较大,不适合我国健康成人, HENRY 公式、H-B 公式估算效果较好,但 SCHOFIELD 公式更适合于估算我国健康成人的基础代谢率。李可基等^[15]通过综合比较得出 HENRY 公式的预测值更接近中国成人实测值。本研究结果显示,无论 BMI 正常、超重还是肥胖, HENRY 公式和 LIU 公式的预测值更接近于实测值,而 HARRIS 公式、H-B 公式和 SCHOFIELD 公式预测值高于实测值。

4 结论

随着 BMI 的增加, BMR 也呈增长的趋势,超重肥胖人群的 BMR 要高于体重正常者。影响超重肥胖人群 BMR 的最主要因素是瘦体重和体表面积,脂肪组织对 BMR 的影响尚不确定。HENRY 公式和 LIU(≥ 18 岁)公式适合我国各类人群,而 HARRIS 公式、H-B 公式和 SCHOFIELD 公式不适合估算我国人群的基础代谢量。

参考文献

- [1] 刘健敏,孙锐,勾凌燕,等. 中国北方青年女子基础代谢率的研究[J]. 营养学报, 2008, 30(1): 31-34.
- [2] LAZZER S, BEDOGNI G, LAFORTUNA C L, et al. Relationship between basal metabolic rate, gender, age, and body composition in 8780 white obese subjects[J]. Obesity (Silver Spring) 2010, 18(1): 71-8.
- [3] 张亚军,陈佩杰,王茹. 肥胖青少年基础代谢率实测值与公式推测值的一致性研究[J]. 中国运动医学杂志, 2012, 31(4): 299-302.
- [4] 赵松山,刘友梅,姚家邦,等. 中国成年女子体表面积的测量[J]. 营养学报, 1987, 9(3): 200-207.

(下转第 748 页)

- ed. New York: Oxford University Press, 1998: 101-102.
- [6] 王陇德. 中国居民营养与健康状况调查报告之一综合报告 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2005: 39-135.
- [7] 杨月欣, 王光亚, 潘兴昌. 中国食物成分表 2002 [M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2002: 24-343.
- [8] 中国疾病预防控制中心与食品安全所. 中国食物成分表 2004 [M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2004: 78-311.
- [9] MILLEN B E, QUAT ROMONI P A. Nutritional research within the Framingham Heart Study [J]. *J Nutr Health Aging*, 2001, 5(3): 139-143.
- [10] THOMAS B S, HOTING I, BOEING H, et al. Reproducibility and relative validity of energy and macronutrient intake of a food frequency questionnaire developed for the German part of the EPIC project, European Prospective Investigation in to Cancer and Nutrition [J]. *Inter J Epidemiol*, 1997, 26 (Suppl 1): 71-81.
- [11] JOHANSSON I, HALLMANS G, WIKMAN A, et al. Validation and calibration of food-frequency questionnaire measurements in the Northern Sweden Health and Disease cohort [J]. *Public Health Nutr*, 2002, 5(3): 487-496.
- [12] 马德福, 郑迎东, 宁一冰, 等. 食物频率问卷法评估 1-3 岁幼儿营养素摄入量准确性及重现性研究 [J]. *营养学报*, 2014, 36(1): 45-48.
- [13] 宫伟彦, 周兴华, 张妍, 等. 食物频率问卷法评估人群能量和营养素摄入量的准确性 [J]. *中国卫生产业*, 2014, 18: 88-89.
- [14] 李艳平, 宋军, 潘慧, 等. 食物频率问卷法评估人群能量和营养素摄入量的准确性验证 [J]. *营养学报*, 2006, 28(2): 143-147.
- [15] VILLEGAS R, YANG G, LIU D K, et al. Validity and reproducibility of the food-frequency questionnaire used in the Shanghai Men's Health Study [J]. *Br J Nutr*, 2007, 97: 993-1000.
- [16] 于科, 项永兵. 食物频率问卷的信效度研究进展 [J]. *中国慢性病预防与控制*, 2006, 2: 136-139.
- [17] MACDIARMID J, BLUNDEL J. Assessing dietary intake: Who, what and why of under-reporting [J]. *Nutr Res Rev*, 1998, 11(2): 231-253.

收稿日期: 2015-06-01

(上接第 742 页)

- [5] HAYTER J E, HENRY C J. A re-examination of basal metabolic rate predictive equations: the importance of geographic origin of subjects in sample selection [J]. *Eur J Clin Nutr*, 1994, 48(10): 702-707.
- [6] SCHOFIELD W N, SCHOFIELD C, JAMESW P T. Basal metabolic rate—review and prediction together with an annotated biography of source material [J]. *Hum Nutr Clin Nutr*, 1985, 39C(Suppl 1): 85-96.
- [7] BENEDICT F G, GARVEN H S D. The basal metabolism of male Chinese in Manchuria [J]. *Chinese J Physiol*, 1936, 10: 141-174.
- [8] LIU H Y, LU Y F, CHEN W J. Predictive equations for basal metabolic rate in Chinese adults: a cross-validations study [J]. *J Am Diet Assoc*, 1995, 95(12): 1403-1408.
- [9] 葛可佑. 中国营养科学全书 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2004: 17-18.
- [10] 陈金标, 秦林林. 双能 X 线吸收法——一个新的体成分测量方法 [J]. *国外医学内分泌学分册*, 1998, 18(3): 154-156.
- [11] 孙锐, 勾凌燕, 朴建华, 等. 我国北方男性青年基础代谢率 [J]. *营养学报*, 2007, 29(1): 13-15.
- [12] 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身体成分的相关性 [J]. *协和医学杂志*, 2013, 4(1): 11-14.
- [13] HARRIS J A, BENEDICT F G. A biometric study of basal metabolism in man [J]. *PNAS*, 1919, 4(12): 370-373.
- [14] 梁洁, 蒋卓勤, 何玉敏, 等. 中国健康成人基础代谢率估算公式的探讨 [J]. *中国校医*, 2008, 22(4): 372-374.
- [15] 李可基, 屈宁宁. 中国成人基础代谢率实测值与公式预测值的比较 [J]. *营养学报*, 2004, 26(4): 244-248.

收稿日期: 2016-02-25