

# 双能 X 线吸收法和生物电阻抗法测量成年超重/肥胖人群体脂率一致性分析

王政和 付连国 阳益德 王烁 马军

**【摘要】** 目的 分析生物电阻抗(MF-BIA)法和双能 X 线吸收(DXA)法测量成年超重/肥胖人群体脂率的一致性,并建立 MF-BIA 法校正预测模型。方法 招募志愿成年超重/肥胖者 1 323 人,分别采用 MF-BIA 法和 DXA 法测定受试者的体脂率,分析两方法测量结果的一致性,并建立 MF-BIA 法校正预测模型。结果 成年男女性超重/肥胖的 MF-BIA 法与 DXA 法测量体脂率差值分别为 -6.5%、-4.3%和 -2.5%、0.5%,差异均有统计学意义(均  $P < 0.01$ ),其体脂率的组内相关系数分别为 0.746、0.807 和 0.628、0.674,差异均有统计学意义(均  $P < 0.01$ )。MF-BIA 法校正预测模型包括超重男性人群:体脂率(DXA 法) =  $13.425 + 0.719 \times$  体脂率(MF-BIA 法);肥胖男性人群:体脂率(DXA 法) =  $12.572 + 0.741 \times$  体脂率(MF-BIA 法);超重女性人群:体脂率(DXA 法) =  $9.785 + 0.802 \times$  体脂率(MF-BIA 法);肥胖女性人群:体脂率(DXA 法) =  $20.348 + 0.532 \times$  体脂率(MF-BIA 法)。结论 MF-BIA 法和 DXA 法测量我国成年超重/肥胖人群体脂率一致性较差,使用 MF-BIA 法测量体脂率需进行校正。

**【关键词】** 肥胖; 体脂率; 生物电阻抗法; 双能 X 线吸收法; 预测模型

**Comparison of consistency in measurement of body fat percentage by dual-energy X-ray absorptiometry and multi-frequency bioelectrical impedance analysis in overweight and obese adults in China** Wang Zhenghe<sup>1</sup>, Fu Lianguo<sup>2</sup>, Yang Yide<sup>1</sup>, Wang Shuo<sup>1</sup>, Ma Jun<sup>1</sup>. 1 School of Public Health and Institute of Child and Adolescent Health, Peking University, Beijing 100191, China; 2 Department of Preventive Medicine, Bengbu Medical College  
Corresponding author: Ma Jun, Email: majunt@bjmu.edu.cn

**【Abstract】 Objective** To compare the consistency in the measurement of percentage of body fat (PBF) by multi-frequency bioelectrical impedance analysis (MF-BIA) and dual energy X-ray absorptiometry (DXA) in overweight and obese adults in China, and provide evidence for the accurate MF-BIA application in China. **Methods** A total of 1 323 overweight/obese adults aged 22–55 years were recruited in this study. All the subjects received PBF measurement by both MF-BIA and DXA. The consistency in PBF measurement by MF-BIA and DXA was evaluated by using interclass correlation coefficients (ICC), then the correction prediction models was established. **Results** The differences in PBF measurement in male subjects and female subjects between MF-BIA and DXA were statistical significant (all  $P < 0.01$ ), the mean difference values were -6.5% for overweight males and -4.3% for obese males, -2.5% for overweight females and 0.5% for obese females, respectively. The difference in ICC of PBF between MF-BIA and DXA measurement were statistically significant in all subgroups ( $P < 0.01$ ). The ICC was 0.746 for overweight males, 0.807 for obese males, 0.628 for overweight females and 0.674 for obese females, respectively. The correction prediction models included: PBF (DXA) =  $13.425 + 0.719 \times$  PBF (MF-BIA) for overweight males; PBF (DXA) =  $12.572 + 0.741 \times$  PBF (MF-BIA) for obese males; PBF (DXA) =  $9.785 + 0.802 \times$  PBF (MF-BIA) for overweight females; PBF (DXA) =  $20.348 + 0.532 \times$  PBF (MF-BIA) for obese females. **Conclusion** The consistency in PBF measurement in overweight/obese adults by MF-BIA and DXA was poor in China. Correction should be conducted when MF-BIA is used in the measurement of PBF.

**【Key words】** Obesity; Percentage of body fat; Bioelectrical impedance analysis; Dual energy X-ray absorptiometry; Prediction models

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2015.07.008

作者单位: 100191 北京大学公共卫生学院 北京大学儿童青少年卫生研究所(王政和、阳益德、王烁、马军); 蚌埠医学院预防医学系(付连国)  
通信作者: 马军, Email: majunt@bjmu.edu.cn

双能 X 线吸收(DXA)法采用 X 线作为放射源,探测全身或某个部位骨和软组织含量,测量结果准确、可靠,正逐步取代“水下称重法”成为测量身体成分的“金标准”,但其测试费用较高,设备精细、昂贵,不适用于大规模流行病学调查。生物电阻抗(BIA)法是一种快速、非损伤测量身体成分的方法<sup>[1]</sup>,具有操作简单、成本低廉、测试速度快等优点,在大规模流行病学调查中应用广泛。已有研究显示,BIA 法与 DXA 法比较缺乏准确性<sup>[2-4]</sup>,如单频生物电阻抗仪(SF-BIA)与 DXA 的测量一致性较差<sup>[5-7]</sup>,尤其是肥胖个体<sup>[6-7]</sup>。近年来,发展的多频生物电阻抗仪(MF-BIA)在一定程度上能更准确测量体成分,但对于 MF-BIA 在我国成年超重/肥胖个体中应用的适用性尚不清楚。为此本研究同时采用 MF-BIA 法和 DXA 法分别测量成年超重/肥胖个体的体脂率,评价两方法的一致性并建立校正方程,为 MF-BIA 法在我国成人超重/肥胖人群中准确测量体脂率提供依据。

### 对象与方法

1. 研究对象:2014 年 4 月 1 日至 5 月 2 日采用志愿招募方式,在知情同意情况下,招募在北京市居住满 1 年,年龄 22 ~ 55 岁、BMI  $\geq 24$  kg/m<sup>2</sup> 的志愿者,在首次身高、体重测量后,依据中国肥胖问题工作组制定的《中国成人超重和肥胖症预防控制指南》肥胖诊断标准<sup>[8]</sup>[超重:  $24 \leq \text{BMI}(\text{kg}/\text{m}^2) < 28$ ;肥胖: BMI  $\geq 28$ ]排除非超重/肥胖志愿者;并经内科医生询问既往病史,排除曾患有心血管疾病、肺炎、肝炎、胃炎、肾炎等疾病及身体发育缺陷、继发性肥胖、身体内安置金属医疗器械(如心脏起搏器、金属钢钉等)的志愿者。最终招募 1 323 名超重/肥胖成人,其中男性 522 人(超重 183 人、肥胖 339 人),女性 801 人(超重 391 人、肥胖 410 人)。

#### 2. 体脂率测试方法:

(1)MF-BIA 法:采用 TANITA MC-180 体成分仪(日本 TANITA 公司)由经过专业培训的测试者测量受试者全身体脂率。测量时要求受试者脱去外衣、鞋、袜等衣物,且摘掉手表、戒指等金属饰品。

(2)DXA 法:采用 DXA(美国 GE 公司)由专业医师测量受试者的全身体脂率。采用标准模式扫描,X 射线剂量 0.4 LGy,支持电流 0.15 A。

(3)判定超重/肥胖标准:采用长岭晋吉体脂率法判断超重/肥胖的标准,男性体脂率  $\geq 20.0\%$ 、女性体脂率  $\geq 30.0\%$  判定为超重/肥胖<sup>[9]</sup>。

3. 统计学分析:采用 EpiData 3.1 软件建立数据库,平行双录入。采用 SPSS 17.0 软件,组间差异采用配对 *t* 检验;采用组内相关系数(ICC)和 Bland-Altman 分析 MF-BIA 法与 DXA 法测量体脂率的一致性;以 DXA 法测量的体脂率为因变量, MF-BIA 法测量的体脂率为自变量进行线性回归,校正 MF-BIA 法测量的体脂率。

### 结 果

1. 一般情况:共测量 1 312 人,其中男性 522 人,女性 801 人;平均年龄(37.2  $\pm$  9.1)岁,其中男性(35.5  $\pm$  8.5)岁,女性(38.2  $\pm$  9.4)岁;平均 BMI(29.4  $\pm$  4.0)kg/m<sup>2</sup>,男性为(30.1  $\pm$  4.1)kg/m<sup>2</sup>,女性为(29.0  $\pm$  3.8)kg/m<sup>2</sup>。MF-BIA 法测量体脂率其判定超重/肥胖率为 98.7%,其中男性为 100%,女性为 99.6%;DXA 法测量体脂率其判定超重/肥胖率为 99.8%,其中男性为 97.6%,女性为 99.4%。

2. 两法测量体脂率的一致性:分别采用 MF-BIA 法和 DXA 法测量超重男性、肥胖男性、超重女性、肥胖女性的体脂率平均差值分别为 -6.5%、-4.3%、-2.5% 和 0.5%;配对 *t* 检验结果显示,超重男性、肥胖男性、超重女性和肥胖女性 MF-BIA 法与 DXA 法测量体脂率的差异均有统计学意义(*P* 值均  $< 0.05$ ),见表 1。

表 1 MF-BIA 法和 DXA 法测量超重/肥胖人群体脂率( $\bar{x} \pm s, \%$ )的比较

| 组别                 | MF-BIA 法       | DXA 法          | 差值 <sup>a</sup> | <i>t</i> 值 | <i>P</i> 值 |
|--------------------|----------------|----------------|-----------------|------------|------------|
| 男性                 |                |                |                 |            |            |
| 超重( <i>n</i> =183) | 24.7 $\pm$ 3.6 | 31.2 $\pm$ 3.5 | -6.5 $\pm$ 2.5  | -34.5      | <0.001     |
| 肥胖( <i>n</i> =339) | 31.8 $\pm$ 4.8 | 36.1 $\pm$ 4.4 | -4.3 $\pm$ 2.9  | -27.7      | <0.001     |
| 女性                 |                |                |                 |            |            |
| 超重( <i>n</i> =391) | 36.5 $\pm$ 2.7 | 39.1 $\pm$ 3.3 | -2.5 $\pm$ 2.6  | -19.5      | <0.001     |
| 肥胖( <i>n</i> =410) | 44.5 $\pm$ 4.4 | 44.0 $\pm$ 3.4 | 0.5 $\pm$ 3.2   | 3.2        | 0.002      |

注:<sup>a</sup>为 MF-BIA 法与 DXA 法测量体脂率的差值

进一步计算 MF-BIA 法和 DXA 法测量体脂率的 ICC 值。结果显示,超重男性 ICC=0.746(*F*=6.86, *P*<0.01),肥胖男性 ICC=0.807(*F*=9.35, *P*<0.01),超重女性 ICC=0.628(*F*=4.38, *P*<0.001),肥胖女性 ICC=0.674(*F*=5.14, *P*<0.001)。绘制 Bland-Altman 图显示, MF-BIA 法和 DXA 法测量的体脂率一致性:超重男性为 -11.47% ~ -1.51%,肥胖男性为 -9.97% ~ 1.30%,超重女性为 -7.62% ~ 2.52%,肥胖女性为 -5.75% ~ 6.74%(图 1)。

3. MF-BIA 法测量体脂率的校正预测模型:将 MF-BIA 法测量的体脂率作为自变量,DXA 法测量

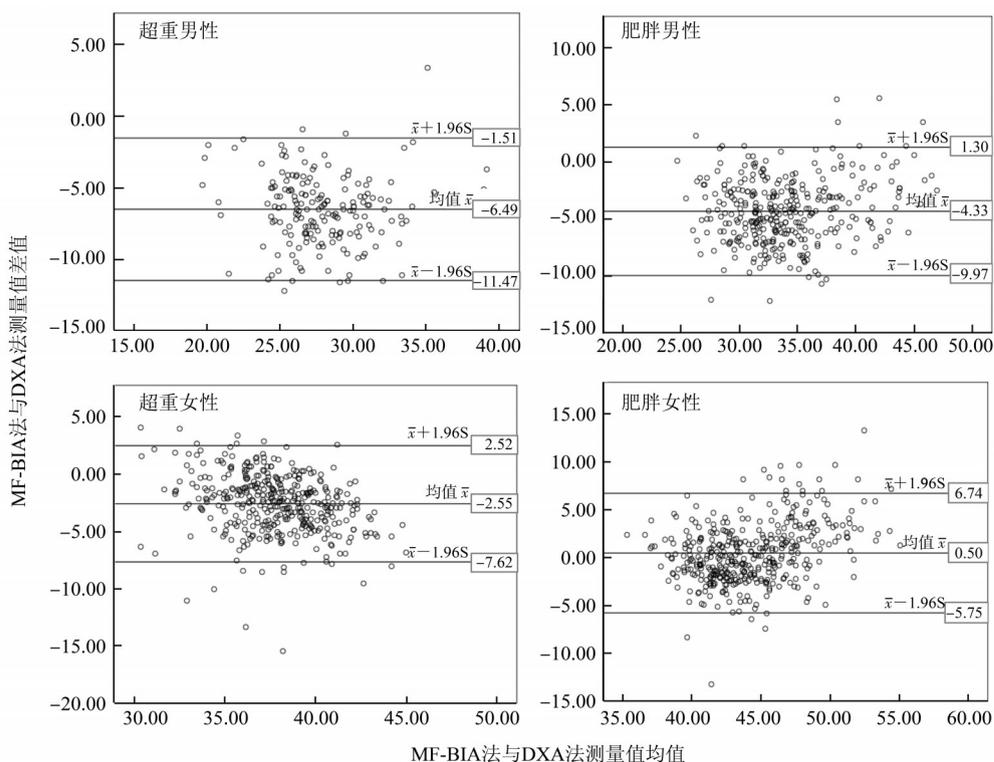


图1 MF-BIA法与DXA法测量女性体脂率一致性的Bland-Altman分析

的体脂率为因变量,进行线性回归分析。结果显示,超重男性人群回归模型:体脂率(DXA法) = 13.425 + 0.719 × 体脂率(MF-BIA法),决定系数  $R^2=0.557$ ;肥胖男性人群回归模型:体脂率(DXA法) = 12.572 + 0.741 × 体脂率(MF-BIA法),决定系数  $R^2=0.656$ ;超重女性人群回归模型:体脂率(DXA法) = 9.785 + 0.802 × 体脂率(MF-BIA法),决定系数  $R^2=0.414$ ,肥胖女性人群回归模型:体脂率(DXA法) = 20.348 + 0.532 × 体脂率(MF-BIA法),决定系数  $R^2=0.490$ (表2)。4个回归模型的残差分别为超重男性(-0.01 ± 2.33)%、肥胖男性(0.02 ± 2.59)%、超重女性(0.00 ± 2.53)%和肥胖女性(0.02 ± 2.41)%;将回归模型的残差与MF-BIA法和DXA法测量的体脂率差值的绝对值进行配对t检验,结果显示:预测模型的差值显著小于实测值的差值(P值均<0.01),即矫正后的模型具有较好的使用价值(表3)。

### 讨论

本研究对MF-BIA法与DXA法测量成年超重/肥胖人群体脂率进行配对t检验、组内相关分析和Bland-Altman分析显示:两法检测体脂率的一致性较差,存在较大系统误差。表明MF-BIA不能准确测量我国成年超重/肥胖人群的体脂率。DXA法是

表2 MF-BIA法测量体脂率校正预测模型

| 组别 | 变量 | $\beta$ | $s_e$  | t值    | P值     | $R^2$ 值 |
|----|----|---------|--------|-------|--------|---------|
| 男性 | 超重 | 常数项     | 13.425 | 1.193 |        |         |
|    |    | 体脂率     | 0.719  | 0.048 | 15.077 | <0.001  |
|    | 肥胖 | 常数项     | 12.572 | 0.938 |        |         |
|    |    | 体脂率     | 0.741  | 0.029 | 25.353 | <0.001  |
| 女性 | 超重 | 常数项     | 9.785  | 1.771 |        |         |
|    |    | 体脂率     | 0.802  | 0.048 | 16.585 | <0.001  |
|    | 肥胖 | 常数项     | 20.348 | 1.202 |        |         |
|    |    | 体脂率     | 0.532  | 0.027 | 19.783 | <0.001  |

表3 MF-BIA法测量体脂率校正预测模型效果评价

| 组别 | 模型残差      | 差值 <sup>a</sup> | t值           | P值    |        |
|----|-----------|-----------------|--------------|-------|--------|
| 男性 | 超重(n=183) | -0.01 ± 2.33    | -6.49 ± 2.54 | 85.95 | <0.001 |
|    | 肥胖(n=339) | 0.02 ± 2.59     | -4.33 ± 2.88 | 64.02 | <0.001 |
| 女性 | 超重(n=391) | 0.00 ± 2.53     | -2.54 ± 2.59 | 95.80 | <0.001 |
|    | 肥胖(n=410) | 0.02 ± 2.41     | 0.50 ± 3.19  | 4.67  | <0.001 |

注:<sup>a</sup> 同表1

采用身体成分三间隔模型,通过X线束滤过式脉冲技术获得两种能量的X线来测量机体脂肪组织、非脂肪组织和骨矿含量的方法<sup>[10]</sup>,是国际公认测定机体成分的“金标准”之一。研究证实,在不同年龄、性别、身体活动水平、种族及脂肪比例的群体中,采用

DXA 法检测体脂率的偏性很小<sup>[11]</sup>。因此,DXA 法测量值可作为参考方法用以评定 MF-BIA 法测量我国超重/肥胖人群的准确性。

本研究发现,与 DXA 法相比,MF-BIA 法显著低估了超重男性、肥胖男性和超重女性人群的体脂肪率,绝对低估值分别为 6.5%、4.3% 和 2.5%。这与国外的研究结果相一致<sup>[3-5,12]</sup>。另外,还发现 MF-BIA 法稍高估了肥胖女性人群的体脂率,虽然绝对高估值仅为 0.5%,但差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),这与已有的研究结果不同,例如 Gába 等<sup>[13]</sup>比较了该两种方法测量绝经后妇女体脂率一致性显示,MF-BIA 法低估绝经后肥胖妇女的体脂肪量约 1.8 kg。这可能与研究人群生理状态不同有关,本研究中肥胖女性大部分未绝经,提示对于不同生理状态的肥胖女性人群采用 MF-BIA 法测量的结果其偏差也不同,但具体关系还有待进一步研究。另外,也可能与人种的差异及 MF-BIA 仪器内置预测模型的差异有关。

通过 ICC 分析和配对  $t$  检验发现,两种方法对于男性超重、男性肥胖人群体脂率测量值的 ICC 均  $> 0.7$ ,且均高于女性,表明在男性超重/肥胖人群两种方法测量值的相关性较好;但 MF-BIA 法低估超重男性和肥胖男性人群的体脂率分别为 6.5% 和 4.3%,占 DXA 法测量值的 20.7% 和 12.0%。表明 MF-BIA 仪器内置预测模型对于我国男性超重人群体脂率的测量值准确性差,存在较大的系统误差。研究中以 MF-BIA 法测量的体脂率作为自变量,DXA 法测量的体脂率为因变量,进行线性回归分析,建立适用于我国成年超重/肥胖人群的校正预测模型。结果显示,预测模型的残差明显低于 MF-BIA 法实测值与 DXA 实测值之差,表明 MF-BIA 的校正模型好于 MF-BIA 实测值,具有一定的使用价值。但本研究仅是基于超重/肥胖人群拟合校正预测模型,对于推广至体重正常人群尚具有局限性。

#### 参 考 文 献

[1] Lukaski HC, Johnson PE, Bolonchuk WW, et al. Assessment of fat-free mass using bioelectrical impedance measurements of the human body[J]. Am J Clin Nutr, 1985, 41(4): 810-817.  
[2] Ritz P, Sallé A, Audran M, et al. Comparison of different methods to assess body composition of weight loss in obese and diabetic patients [J]. Diabetes Res Clin Pract, 2007, 77 (3) :

405-411.

- [3] Sun G, French CR, Martin GR, et al. Comparison of multifrequency bioelectrical impedance analysis with dual-energy X-ray absorptiometry for assessment of percentage body fat in a large, healthy population[J]. Am J Clin Nutr, 2005, 81(1): 74-78.  
[4] Pateyjohns IR, Brinkworth GD, Buckley JD, et al. Comparison of three bioelectrical impedance methods with DXA in overweight and obese men [J]. Obesity (Silver Spring), 2006, 14 (11) : 2064-2070.  
[5] Frisard MI, Greenway FL, Delany JP. Comparison of methods to assess body composition changes during a period of weight loss [J]. Obes Res, 2005, 13(5): 845-854.  
[6] Deurenberg P. Limitations of the bioelectrical impedance method for the assessment of body fat in severe obesity [J]. Am J Clin Nutr, 1996, 64 (3 Suppl) : S449-452.  
[7] Segal KR, van Loan M, Fitzgerald PI, et al. Lean body mass estimation by bioelectrical impedance analysis: a four-site cross-validation study [J]. Am J Clin Nutr, 1998, 47(1): 7-14.  
[8] Working Group on Obesity in China. Chinese adults overweight and obesity prevention and control guidelines (excerpt) [J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2004, 26(1): 1-4. (in Chinese)  
中国肥胖问题工作组. 中国成人超重和肥胖症预防与控制指南 (节录) [J]. 营养学报, 2004, 26(1): 1-4.  
[9] Zheng MX, Zheng LB, Yang Q, et al. Preliminary exploration of obesity evaluation standard of Jianghuai Han by skinfold thickness and body fat ratio [J]. J Tianjin Normal Univ: Natural Sci Ed, 2013, 33(4): 68-72. (in Chinese)  
郑明霞, 郑连斌, 杨茜, 等. 用皮褶厚度、体脂率评价江淮汉族肥胖标准初探 [J]. 天津师范大学学报: 自然科学版, 2013, 33(4): 68-72.  
[10] Branski LK, Norbury WB, Herndon DN, et al. Measurement of body composition in burned children: is there a gold standard? [J]. J Parenter Enteral Nutr, 2010, 34(1): 55-63.  
[11] Tungsiripat M, O' Riordan MA, Storer N, et al. Subjective clinical lipatrophy assessment correlates with DEXA-measured limb fat [J]. HIV Clinical Trials, 2009, 10(5): 314-319.  
[12] Neovius M, Hemmingsson E, Freyschuss B, et al. Bioelectrical impedance underestimates total and truncal fatness in abdominally obese women [J]. Obesity (Silver Spring), 2006, 14 (10): 1731-1738.  
[13] Gába A, Kapuš O, Cuberek R, et al. Comparison of multi- and single-frequency bioelectrical impedance analysis with dual-energy X-ray absorptiometry for assessment of body composition in post-menopausal women: effects of body mass index and accelerometer-determined physical activity [J]. J Hum Nutr Diet, 2014: 1-11. [Epub ahead of print].

(收稿日期: 2014-12-05)

(本文编辑: 张林东)