

文章编号: 1000-8020(2016)03-0362-05

·论著·

## 双能 X 线吸收法和生物电阻抗法测量成年 超重和肥胖人群骨矿含量的一致性分析

王政和 付连国<sup>1</sup> 阳益德 王烁 马军<sup>2</sup>

北京大学公共卫生学院 北京大学儿童青少年卫生研究所 北京 100191



**摘要:**目的 分析生物电阻抗法(MF-BIA)和双能 X 线吸收法(DXA)测量成年超重、肥胖人群骨矿含量的一致性,建立 MF-BIA 法校正预测模型,为 MF-BIA 法准确测量我国成年超重、肥胖人群的骨矿含量提供依据。方法 志愿招募成年超重、肥胖者 1323 人,分别采用 MF-BIA 法和 DXA 法测定受试者的骨矿含量,分析 2 种方法测量结果的一致性,并建立 MF-BIA 法校正预测模型。结果 MF-BIA 法测量成年超重男性、肥胖男性、超重女性、肥胖女性的骨矿含量与 DXA 法测量的骨矿含量差值分别为 0.28、0.38、0.24 和 0.36 kg,差异均有统计学意义( $P < 0.05$ )。成年超重男性、肥胖男性、超重女性、肥胖女性 MF-BIA 法与 DXA 法测量骨矿含量的组内相关系数(ICC)分别为 0.787、0.796、0.741 和 0.788,均有统计学意义( $P < 0.01$ )。MF-BIA 法校正预测模型为:超重男性人群,骨矿含量(DXA 法) =  $-0.297 + 1.005 \times$  骨矿含量(MF-BIA 法);肥胖男性人群,骨矿含量(DXA 法) =  $0.302 + 0.799 \times$  骨矿含量(MF-BIA 法);超重女性人群,骨矿含量(DXA 法) =  $0.780 + 0.598 \times$  骨矿含量(MF-BIA 法);肥胖女性人群,骨矿含量(DXA 法) =  $0.755 + 0.597 \times$  骨矿含量(MF-BIA 法)。结论 MF-BIA 法和 DXA 法测量中国成年超重、肥胖人群骨矿含量一致性较差;在中国成年超重、肥胖人群中,使用 MF-BIA 法测量骨矿含量需进行校正。

**关键词:** 肥胖症 骨矿物质含量 电阻抗 双能 X 线 预测模型  
中图分类号: R195.2 R589.2 文献标志码: A

## Comparison BMC assessed by dual-energy X-ray absorptiometry and multi-frequency bioelectrical impedance in Chinese overweight and obesity adults

WANG Zhenghe, FU Lianguo, YANG Yide, WANG Shuo, MA Jun

School of Public Health & Institute of Child and Adolescent Health, Peking University, Beijing 100191, China

**Abstract: Objective** To compare consistency of Body Mineral Content (BMC, kg) assessed by Multi-frequency Bioelectrical Impedance Analysis (MF-BIA) and Dual Energy X-ray Absorptiometry (DXA) measurement, providing evidence for MF-BIA accurate application in Chinese overweight/obese adults. **Methods** A total of 1323 overweight/obesity adults aged 22-55 years were recruited voluntarily. All the subjects received the measurement of BMC both using MF-BIA and DXA. To evaluate the agreement of BMC measured by MF-BIA and DXA using interclass correlation coefficients (ICC), then establish correction prediction models. **Results** The mean difference of

作者简介: 王政和,男,博士研究生,研究方向: 儿童生长发育及影响因素, E-mail: 1160867380@qq.com

<sup>1</sup> 蚌埠医学院预防医学系

<sup>2</sup> 通信作者: 马军,男,博士,教授,研究方向: 儿童生长发育, E-mail: majunt@bjmu.edu.cn

BMC between two methods was significant different with 0 , overweight male subgroup was 0.28 kg , and 0.38 kg for obesity male , 0.24 kg for overweight female and 0.36 kg for obesity female , respectively ( $P < 0.05$ ) . The ICC of BMC between MF-BIA and DXA measurement were statistically significant in all subgroups ( $P < 0.01$ ) . The ICC for overweight male subgroup was 0.787 , 0.796 for obesity male , 0.741 for overweight female and 0.788 for obesity female , respectively. Correction prediction model: overweight male population:  $BMC (DXA \text{ method}) = -0.297 + 1.005 \times BMC (MF-BIA \text{ method})$  . Obese male population:  $BMC (DXA \text{ method}) = 0.302 + 0.799 \times BMC (MF-BIA \text{ method})$  . Overweight female groups:  $BMC (DXA \text{ method}) = 0.780 + 0.598 \times BMC (MF-BIA \text{ method})$  . Obese female group:  $BMC (DXA \text{ method}) = 0.755 + 0.597 \times BMC (MF-BIA \text{ method})$  . Upon examination , correction prediction models were better.

**Conclusion** The correlation and agreement of BMC measured by BIA and DXA are weak in Chinese overweight/obese adults. Therefore , consideration should be given to BMC measured by BIA method in Chinese overweight/obese adults. It should be corrected or adjusted to reduce errors compared with DXA method.

**Key words:** obesity , BMC , electric impedance , dual energy X-ray absorptiometry , prediction models

双能X线吸收法(dual energy X-ray absorptiometry, DXA)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,测量结果精确度、准确度高,测量范围广、容量大、指标多、速度快,在临床上应用最为广泛<sup>[1-2]</sup>。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。与此相反,生物电阻抗法(bioelectrical impedance analysis, BIA)是由LUKASKI等<sup>[2]</sup>在1985年提出的一种快速、非损伤性测量身体成分的方法,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。近年来,发展的多频生物电阻抗仪(MF-BIA)不仅能在一定程度上较准确地测量机体的体脂肪率<sup>[3]</sup>,而且能够同时测量出机体的骨矿含量值。已有研究发现,与DXA法相比,MF-BIA法高估了7~15岁正常体重儿童青少年的骨矿含量<sup>[4]</sup>,而未高估或低估超重肥胖儿童的骨矿含量<sup>[5]</sup>。随着我国成人肥胖人群数量的不断增长和健康诉求的不断提升<sup>[6]</sup>,越来越多的人采用经济方便的MF-BIA法进行体成分的测量进而指导健康保健,但MF-BIA对我国成人超重、肥胖个体中测量骨矿含量的可靠性尚不清楚。因此,本研究通过同时采用MF-BIA法和DXA法分别测量成年超重、肥胖个体的骨矿含量,从而评价2种测量方法的一致性,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骨矿含量提供依据。

## 1 对象与方法

### 1.1 对象

于2014年4月1日至5月2日,采用志愿招募方式,在知情同意的情况下,招募在北京居住满1年,年龄在22~55岁、BMI $\geq$ 24的志愿者。对志愿者进行首次身高、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>[7]</sup>(超重:24 $\leq$ BMI $<$ 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1323名超重、肥胖者。

### 1.2 测试方法

**1.2.1 MF-BIA法测量骨矿含量** 采用TANITA MC-180体成分仪(日本产)由经过专业培训的测试者测量受试者全身骨矿含量。测量时要求受试者脱去外衣、鞋子、袜子等衣物,且摘掉手表、戒指等金属饰品。

**1.2.2 DXA法测量骨矿含量** 采用DXA(GE Healthcare, Lunar iDXA ME+210205美国产)由专业医师测量受试者的全身骨矿含量。采用标准模式扫描,X射线剂量0.4 LGy,支持电流0.15A。

### 1.3 统计分析

采用EpiData 3.1软件建立数据库,平行双录入。采用SPSS 17.0,组间差异采用配对 $t$ 检验;采用组内相关系数(ICC)和Bland-Altman图分析

MF-BIA 法与 DXA 法测量骨矿含量的一致性;以 DXA 法测量的骨矿含量为因变量, MF-BIA 法测量的骨矿含量为自变量进行线性回归, 校正 MF-BIA 法测量的骨矿含量。

2 结果

2.1 一般情况

共测量 1323 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); 研究对象的平均年龄为( 37.2 ± 9.1) 岁, 其中男性( 35.5 ± 8.5) 岁, 女性( 38.2 ± 9.4) 岁; 平均 BMI 为( 29.4 ± 4.0), 男性为( 30.1 ± 4.1), 女性为( 29.0 ± 3.8)。

2.2 MF-BIA 法与 DXA 法测量骨矿含量的一致性

由表 1 可见, 超重男性、肥胖男性、超重女性和肥胖女性 MF-BIA 法与 DXA 法测量骨矿含量的差异均有统计学意义(  $P < 0.001$ )。

表 1 MF-BIA 法与 DXA 法测量的骨矿含量比较  
Table 1 The comparison of BMC between MF-BIA and DXA methods

组别	n	MF-BIA/kg	DXA/kg	t	P
男性					
超重	183	3.03 ± 0.23	2.75 ± 0.34	15.68	<0.001
肥胖	339	3.40 ± 0.30	3.02 ± 0.36	25.48	<0.001
女性					
超重	391	2.52 ± 0.26	2.29 ± 0.27	19.24	<0.001
肥胖	410	2.76 ± 0.29	2.40 ± 0.26	31.32	<0.001

超重男性 ICC 为 0.787 (  $F = 4.69, P < 0.001$ ), 肥胖男性 ICC 为 0.796 (  $F = 4.90, P < 0.001$ ), 超重女性 ICC 为 0.741 (  $F = 3.58, P < 0.001$ ), 肥胖女性 ICC 为 0.788 (  $F = 4.71, P < 0.001$ )。绘制 Bland-Altman 图显示, MF-BIA 法和 DXA 法测量的骨矿含量一致性: 超重男性为 -0.19~0.75 kg, 肥胖男性为 -0.17~0.93 kg, 超重女性为 -0.23~0.71 kg, 肥胖女性为 -0.34~1.07kg, 具体见图 1。

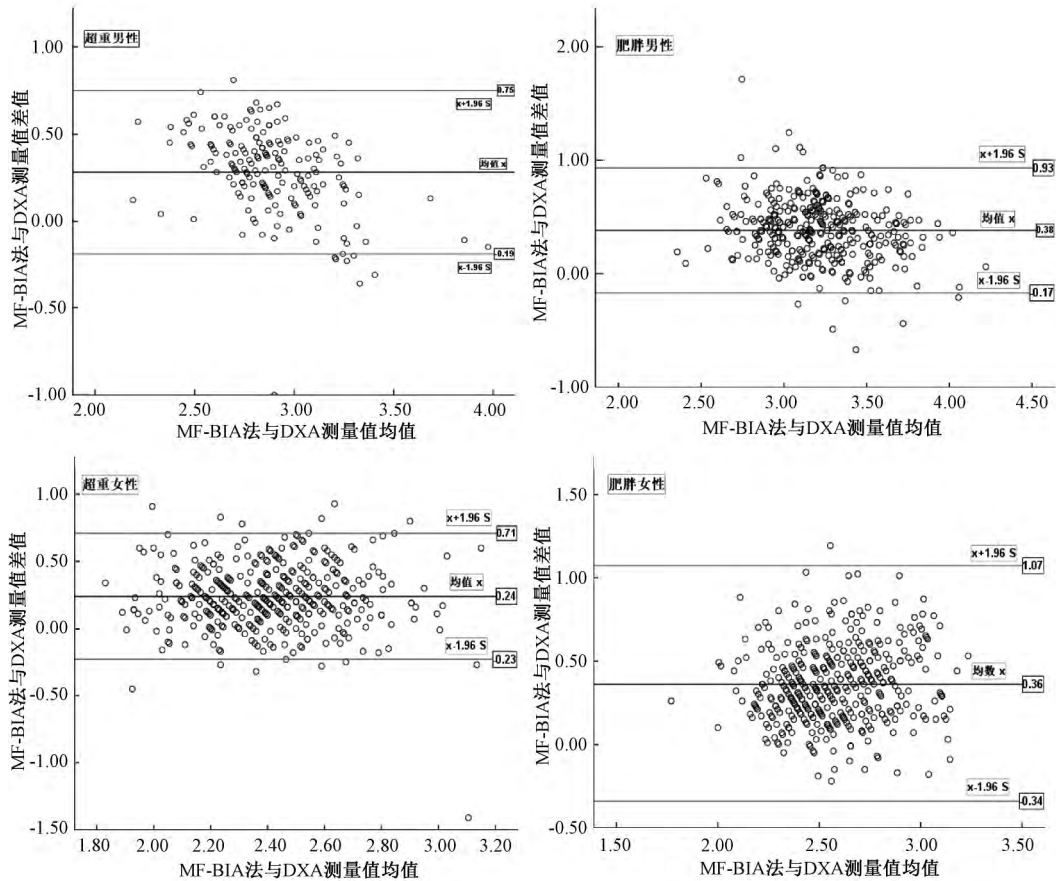


图 1 MF-BIA 法与 DXA 法测量骨矿含量一致性 Bland-Altman 分析图

Figure 1 The Bland-Altman of BMC between MF-BIA and DXA methods

2.3 MF-BIA 法测量骨矿含量的校正预测模型

超重男性人群回归模型: 骨矿含量( DXA 法)

= -0.297 + 1.005 × 骨矿含量( MF-BIA 法), 决定系数  $R^2$  为 0.481; 肥胖男性人群回归模型为:

骨矿含量(DXA法) = 0.302 + 0.799 × 骨矿含量(MF-BIA法), 决定系数  $R^2 = 0.451$ 。超重女性人群回归模型: 骨矿含量(DXA法) = 0.780 + 0.598 × 骨矿含量(MF-BIA法), 决定系数  $R^2 = 0.346$ ; 肥

胖女性人群回归模型: 骨矿含量(DXA法) = 0.755 + 0.597 × 骨矿含量(MF-BIA法), 决定系数  $R^2 = 0.426$ 。具体见表2。

表2 MF-BIA法测量骨矿含量校正预测模型

Table 2 The correction prediction models of BMC measuring by MF-BIA method

性别	组别	变量	回归系数	标准误	t	P	R <sup>2</sup>
男	超重	常数项	-0.297	0.236			
		骨量(MF-BIA法)	1.005	0.078	12.96	<0.001	0.481
	肥胖	常数项	0.302	0.164			
		骨量(MF-BIA法)	0.799	0.048	16.63	<0.001	0.451
女	超重	常数项	0.780	0.106			
		骨量(MF-BIA法)	0.598	0.042	14.34	<0.001	0.346
	肥胖	常数项	0.755	0.095			
		骨量(MF-BIA法)	0.597	0.034	17.39	<0.001	0.426

将回归模型的残差与MF-BIA法和DXA法测量的骨矿含量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( $P < 0.01$ ), 即矫正后的模型具有较好的使用价值。具体见表3。

表3 MF-BIA法测量骨矿含量校正预测模型效果评价

Table 3 Evaluation of correction prediction models of BMC measuring by MF-BIA method

性别	组别	n	残差绝对值	骨量测量差值 <sup>(1)</sup>	t	P
男	超重	183	0.18 ± 0.16	0.32 ± 0.18	9.11	<0.001
	肥胖	339	0.21 ± 0.17	0.40 ± 0.25	13.97	<0.001
女	超重	391	0.16 ± 0.15	0.27 ± 0.20	11.62	<0.001
	肥胖	410	0.16 ± 0.13	0.37 ± 0.22	19.41	<0.001

注: (1) 骨量测量差值是指MF-BIA法和DXA法测量骨量差值的绝对值

### 3 讨论

本研究对MF-BIA法与DXA法测量成年超重、肥胖人群骨矿含量的测量结果进行配对t检验、组内相关分析和Bland-Altman法分析显示: MF-BIA法和DXA法测量骨矿含量的一致性相对较差, 存在一定的系统误差。各组MF-BIA法与DXA法测量值差值均值均大于0, 表明MF-BIA法高估了我国成年超重、肥胖人群的骨矿含量。

DXA是利用身体成分三间隔模型, 通过X线束滤过式脉冲技术获得2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, 是目前国际上推荐测量体成分的标准方法<sup>[8]</sup>。大量研究证实, 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法检测骨矿含量的精确度和准确性均很高<sup>[9-11]</sup>, 如FULLER等<sup>[11]</sup>最新的研究发现DXA测量长跑运动员骨密度的组内相关系数高于0.97, 变异系数小于1.5%。LEE等<sup>[12]</sup>的研究显示CT扫描第二腰椎的骨密度值与DXA测量值的相关系数 $r^2$ 为0.794。因此, DXA法测量值可以被用作参考方法来评定MF-BIA法测量我国超重、肥胖人群的

准确性问题。

研究发现, 与DXA法相比, MF-BIA法显著高估了我国超重肥胖人群的骨矿含量, 超重男性、肥胖男性、超重女性和肥胖女性的绝对高估值分别为0.28、0.38、0.24和0.36 kg, 同时也可以看出, BMI越大, 高估的幅度也越大。其原因可能有以下几点: (1) 生物电阻抗法的工作原理。因为BIA是测定人体水分含量的技术, 所以决定机器精密度的核心技术是准确地测定人体的水分含量。含有大量水分的肌肉组织由细胞构成, 细胞的细胞膜由双层脂质膜构成。MF-BIA技术是把人体中的水分分为细胞内液和细胞外液分别来测定<sup>[13]</sup>。使用高频电子信号测定的人体阻抗反映细胞内液和细胞外液, 低频电子信号只反映细胞外液。当BMI越大时, 体内脂肪的含量就越高<sup>[14]</sup>。而脂肪和骨骼均为低水分组织, 所需电流频率较为接近, 相互之间会有所影响。因此, 脂肪含量越高, 测量骨骼组织时受脂肪组织的影响也越大, 所以肥胖人群的高估值高于超重人群。(2) MF-BIA仪器内置预测模型适用于正常体重人群的体成分分析, 但不适用于我国超重肥胖人群。(3) 人种的

差异。本研究所用的 MF-BIA 仪器产自日本,测量结果以日本人群的测量数据为基础而开发,可能并不适用于中国人群。

鉴于 MF-BIA 法测量值存在较大的系统误差,本研究以 DXA 法测量值为因变量, MF-BIA 法的测量结果为自变量,进行线性回归,建立适用于我国成年超重肥胖人群的校正预测模型。校正模型评价结果显示,校正预测模型的残差绝对值显著小于 MF-BIA 法实测值与 DXA 法实测值之差,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。另外,在使用其他品牌 MF-BIA 仪器时注意修正仪器间的测量误差。

#### 参考文献

- [ 1 ] 中国老年学学会骨质疏松委员会手册编写专家组. 中国人群骨质疏松诊疗手册(2007年版) [J]. 中国骨质疏松杂志, 2007( S1): 1s-67s.
- [ 2 ] LUKASKI H C , JOHNSON P E , BOLONCHUK W W , 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.
- [ 3 ] 王政和,付连国,阳益德,等. 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 [J]. *中华流行病学杂志* ,2015 ,36( 7) : 701-704.
- [ 4 ] 马军,冯宁,阿布都艾尼·吾布力,等. 双能 X 线吸收法与生物电阻抗法测量儿童身体成分结果比较 [J]. *中国学校卫生* ,2007( 1) : 3-6.
- [ 5 ] 马军,冯宁,阿布都艾尼·吾布力,等. 双能 X 线吸收法与生物电阻抗法测量肥胖儿童身体成分结果比较 [J]. *中国学校卫生* ,2007( 6) : 484-487.
- [ 6 ] XI B , LIANG Y , HE T , et al. Secular trends in the prevalence of general and abdominal obesity among Chinese adults ,1993 -2009 [J]. *Obes Rev* ,2012 ,13( 3) : 287-296.
- [ 7 ] 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.
- [ 8 ] PRIOR B M , CURETON K J , MODLESKY C M , et al. *In vivo* validation of whole body composition estimates from dual-energy X-ray absorptiometry [J]. *J Appl Physiol* ,1997 ,83( 2) : 623-630.
- [ 9 ] SMALL R E. Uses and limitations of bone mineral density measurements in the management of osteoporosis [J]. *Med Gen Med* ,2005 ,7( 2) : 3.
- [ 10 ] CEFALU C A. Is bone mineral density predictive of fracture risk reduction [J]. *Curr Med Res Opin* ,2004 ,20( 3) : 341-349.
- [ 11 ] FULLER J T , ARCHER J , BUCKLEY J D , et al. The reliability of dual-energy X-ray absorptiometry measurements of bone mineral density in the metatarsals [J]. *Skelet Radiol* ,2016 ,45( 1) : 135-140.
- [ 12 ] LEE S J , CHUNG C K , OH S H , et al. Correlation between bone mineral density measured by dual-energy X-ray absorptiometry and hounsfield units measured by diagnostic CT in lumbar spine [J]. *J Korean Neurosurg Soc* ,2013 ,54( 5) : 384-389.
- [ 13 ] GUDIVAKA R , SCHOELLER D A , KUSHNER R F , et al. Single- and multifrequency models for bioelectrical impedance analysis of body water compartments. [J]. *J Appl Physiol* ,1999 ,87( 3) : 1087-1096.
- [ 14 ] ARNGRIMSSON S A , MCAULEY E , EVANS E M. Change in body mass index is a stronger predictor of change in fat mass than lean mass in elderly black and white women [J]. *Am J Hum Biol* ,2009 ,21( 1) : 124-126.

收稿日期:2015-10-23

## 关于不法分子冒用我刊名义征稿行骗的提醒说明

近期发现有不法分子冒充《卫生研究》建立虚假网站,并以编辑名义误导作者投稿,以快速刊出文章为诱饵收取版面费非法牟利。为此,我刊特发表声明,我刊目前未设立官网,编辑部也未与任何投稿机构合作。郑重提醒广大作者,投稿时,一定要登录《卫生研究》采编平台(<http://wsyj.cbpt.cnki.net>),点击“作者投稿系统”投稿,此为唯一路径。

假冒本编辑部发布的信息和活动均与本编辑部无关。特此声明。

编辑部通信地址:北京市西城区南纬路29号,邮编100050

编辑部电话:(010)83132376,83132329

《卫生研究》编辑部