



全身与四肢瘦体重3种测量方法结果间的一致性评价

——以生存分析与一致性图谱法为例

薛永泰¹, 徐红旗^{1*}, 史冀鹏¹, 张欣², 刘静民³, 陈伟⁴

摘要:目的:通过对18~56岁成年人使用生物电阻抗法(BCA I、BCA II)与双能X线吸收测定法(DEXA)测量全身瘦体重(LM)与四肢瘦体重(ALM),明确不同身体成分测量仪测量国人瘦体重分布特征时的差异,详述一致性界限与生存分析法在评价两种或多种方法测量结果间的一致性应用过程。方法:采用BCA I、BCA II与DEXA 3种设备测量163名成年人的身体成分,采用一致性界限与生存分析法评价3种设备测量LM与ALM结果的一致性。结果:男女受试者LM、ALM测量结果在3种测试方法中均具有较高的相关性($P < 0.01$),BCA I测量结果显著高于BCA II和DEXA,且都具有统计学意义($P < 0.05$),BCA II与DEXA的一致性程度较好。结论:生存分析与一致性图谱法可用于两种或多种方法测量结果间的一致性评价,两者可结合使用。相对于BCA I,BCA II与DEXA测量值一致性程度更好。

关键词:全身瘦体重;四肢瘦体重;一致性分析;生存分析;生物电阻抗法;双能X线吸收测定法

中图分类号:G804.49 文献标志码:A 文章编号:1006-1207(2020)01-0090-10
DOI:10.12064/ssr.20200112

Consistency Evaluation of Multiple Measurements Results of Lean Body and Appendicular Lean Mass: Based on Survival Analysis and Consistency Mapping

XUE Yongtai¹, XU Hongqi^{1*}, SHI Jipeng¹, ZHANG Xin², LIU Jingmin³, CHEN Wei⁴

(1. Research Center of Sports and Health Science, School of Physical Education, Northeast Normal University, Changchun 130024, China; 2. Ergonomics Standardization Research Field, China National Institute of Standardization, Beijing 100088, China; 3. Research Center of Sports and Health Science, Division of Sports Science and Physical Education, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 4. Department of Parenteral and Enteral Nutrition, PUMC Hospital, CAMS and PUMC, Beijing 100730, China)

Abstract: To evaluate the consistency between bioelectrical impedance (BCA I, BCA II) and dual energy X-ray absorptiometry (DEXA), clarify the differential distributions of lean body mass (LM) by different methods, and show the application of the consistency limit method and survival analysis in estimating the consistency between two or more test methods, lean body mass and appendicular lean mass (ALM) were measured by three methods above among adults aged 18-56 years. Methods: Body composition of 163 adults were measured by DEXA, BCA I and BCA II and lean weight of the whole body and each ring segment were therefore obtained, and then the consistency limit

收稿日期:2019-10-22

基金项目:国家重点研发计划(2017YFF0206601);科技基础性工作专项(2013FY110200);企事业单位委托项目(1708015)。

第一作者简介:薛永泰,男,在读硕士研究生。主要研究方向:运动人体科学。E-mail:xueyt442@nenu.edu.cn。

* 通讯作者简介:徐红旗,男,博士,副教授,硕士生导师。主要研究方向:运动生物力学。E-mail:xuhq375@nenu.edu.cn。

作者单位:1.东北师范大学体育学院 运动与健康科学研究中心,吉林 长春 130024;2.中国标准化研究院 人类工效学标准化研究领域,北京 100088;3.清华大学体育部 运动与健康科学研究中心,北京 100084;4.中国医学科学院北京协和医院 北京协和医院肠外肠内营养中心,北京 100730。



method and survival analysis were used to evaluate the consistency in measuring LM and ALM by three methods. Results: The values of LM and ALM had high correlation ($P<0.01$) among the three test methods in both male and female subjects. The results of BCA I measurements were significantly higher than those of BCA II and DEXA, and they were all statistically significant ($P<0.05$), the consistency of LM and ALM values between the two or among the three test devices, and the results suggested that BCA II and DEXA had high consistency with each other. Conclusion: The survival analysis and the consistency mapping method can be used to evaluate the consistency between the measurements results of two or more methods, and the two can be used in combination. Compared with the BCA I, BCA II and DEXA have a better degree of consistency.

Key Words: lean body mass; appendicular lean mass; consistency analysis; survival analysis; BIA; DEXA

0 前言

在体育科学研究中大规模的科研合作越来越多,新技术新方法也不断出现,研究结果常是来自不同研究者与不同测量方法的综合体。因此,不同研究者或研究方法的测量结果是否准确可靠,直接关系到后续数据分析与结论推断。通常对于多研究者或方法间测量结果的准确性与可靠性研究,可通过一致性进行评价^[1]。一致性是度量测量值之间接近程度的指标,比准确性与精确性更为宽泛。当无金标准或标准方法时,一致性更多地反映多研究者或方法测量的精确性^[2];当有金标准或标准方法时,可以金标准或标准方法测量结果为参考,一致性可量化精确性与准确性。

常用于结果变量为定量变量的一致性评价方法有配对 T 检验、相关系数、线性回归、T 检验 + 线性回归、组内相关系数 (ICC) 法、一致性界限法,生存分析法目前用于一致性评价较少。配对 T 检验主要检验两研究者或方法的系统误差是否有差别,对系统误差敏感,但不能兼顾随机误差。相关系数与线性回归主要反映两定量资料线性相关关系的一致程度,对随机误差敏感,但不能兼顾系统误差^[3]。T 检验与线性回归两者结合使用可避免二者各自的缺点,但其统计结果需结合专业知识推断专业结论^[4]。ICC 法计算结果取决于研究者间与内部的变化性,受所评价受试对象特质的变异度的强烈影响,增大了正确应用的难度,且无法发现系统误差^[5]。一致性界限法通过观察测量结果间的差值与均值关系来考虑多研究者或方法的一致性,可用散点图展示差值与均值的关系,并构造一致性界限给出新测量值差值的参考范围^[6]。此法可避免单纯依靠统计结果推断专业结论的片面性,并给出有信度保证的界限值;当有偏倚存在时,还可利用回归分析考查差值与均值的关系以推断偏倚的变化规律。生存分析法将测量结果差值的绝对值作为发生终点事件的时间,以

差值的绝对值为横轴,以不一致比率为纵轴来构造生存曲线^[7],此法可量化不同差值时的一致率及一致率大小随差值的变化情况,有助于使用者做出专业判断。

身体成分是指组成人体各组织、器官的总成分,分为脂肪和非脂肪两种成分,其中后者称为去脂体重或瘦体重,瘦体重包括全部代谢活跃组织及部分代谢不活跃组织如细胞外液、骨骼无机盐等,它的组成具有相对恒定性。瘦体重含量的分布与变化对人的体质状况和健康水平有着重要的影响,是评价营养状况、肌肉功能的良好指征。由计算机 X 线体层扫描 (CT)、双能 X 线吸收测定法 (DEXA) 或核磁共振成像 (MRI) 等直接测量的人体瘦体重分布特征最为精确,但价格昂贵,不适于临床常规应用与大样本人群的筛查。在不能应用上述直接测定法进行瘦体重分布特征测量时,生物电阻抗法 (BIA) 可据人体电阻抗推测瘦体重与其他组织的比例,精度虽较直接测定法差,但易行且花费少,被广泛应用^[8]。本研究采用一致性界限与生存分析法评价 DEXA、BCA I 与 BCA II 3 种设备测量全身瘦体重 (LM) 与四肢瘦体重 (ALM) 的一致性,其一是明确不同身体成分测量仪测量国人瘦体重分布特征时的差异,其二是详述一致性界限法与生存分析法在评价 3 种测试方法测量结果间一致性的应用过程,为多研究者或方法定量测量结果的一致性评价提供参考依据。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

在知情、同意的基础上随机抽选 163 名身体健康的 18~56 岁成年人。经询问病史,排除各种重要脏器病史、身体发育缺陷、代谢性疾病等。应用 DEXA、BCA I 与 BCA II 3 种体成分测试仪测定其体成分,受试者基本情况见表 1。

表 1 受试者基本情况一览表 ($\bar{X} \pm S$)Table 1 Basic Information of Subjects ($\bar{X} \pm S$)

性别(样本量)	年龄/岁	身高/cm	体重/kg	BMI/(kg·m ²)
男(N=80)	27.86±7.31	173.99±6.42	67.81±11.21	22.41±3.62
女(N=83)	30.04±9.94	161.10±5.97**	56.25±9.19**	21.71±3.55

注:**表示男性与女性基本情况相比, $P < 0.01$

1.2 研究方法

1.2.1 身体形态与体成分测试

1.2.1.1 身体形态测量

受试者空腹、脱鞋、只穿轻薄的衣服,在身高体重测试仪(CSTF-5000,TFHT,中国)上测量身高与体重,每个指标测试两次,取相近两次测量值的均值作为测量结果,BMI(kg/m²)由体重除以身高的平方计算得到。

1.2.1.2 DEXA 体成分测量

DEXA 体成分测定在北京协和医院体检中心进行,测试在一周内完成。受试者空腹,身着纯棉内衣,呈仰卧位平躺在检查床上,扫描架从头向足侧运动进行扫描。DEXA (GE Medical System, Lunar Prodigy DF+14492,美国)测量采用标准模式扫描,X射线剂量 0.4 μ Gy,支持电流 0.15 A。扫描长度据受试者的身高差异而不同,扫描时间约为 5 min。

1.2.1.3 BIA 体成分测量

受试者分别先后赤足站在 BCA I 型和 BCA II 型体成分仪(清华同方,中国)底板两侧的电极片上,双手按要求握住两个手持电极,双臂张开约与躯干呈 30°。经触屏输入受试者的身高、年龄、性别、编号等信息,测试过程中保持安静,设备利用多频微弱交流电与八通道接触式电极通过人体,测量多个频率(5 kHz、50 kHz、100 kHz、250 kHz、500 kHz)下的人体整体及各部分的电阻抗值,据此推算出全身与各环段的瘦体重,测试时间约为 2 min。

1.2.2 数据的处理与分析

应用 SPSS25.0 统计软件进行数据处理,数据正态性检验应用单样本 K-S 检验,连续性变量以均数 $\pm$ 标准差($\bar{X} \pm S$)表示。应用 Pearson 相关分析、配对样本 T 检验、一致性图谱法与生存分析法,评价 DEXA、BCA I 与 BCA II 3 种测试设备两两之间及三者之间 LM 与 ALM 测量结果的一致性程度,统计学的显著性水平定为 $P < 0.05$ 。

1.2.2.1 一致性界限法

Bland-Altman 一致性分析法由 Bland J. M 和 Altman D. G 在 1986 年提出,该法以两种或多种方法测量结果的平均值为横坐标,以它们的差值为纵

坐标从而绘制出散点图,观察差值与均值的关系,并以差值的均值 $\bar{x}_d \pm 1.96$ 倍差值的标准差 S_d 为 95% 的一致性界限^[9]。身体成分测量结果两两之间的均值与差值间的相关性采用 Pearson 相关分析,当均值 $\bar{x}_d$ 与差值 d 无显著相关时,以差值的均值和差值的标准差计算两测量方法的一致性界限;当均值与差值有显著相关时,则不能简单地计算一致性限度,应以差值为因变量、均值为自变量的简单线性回归分析法确定两测量方法间的一致性界限,即检验回归方程的斜率是否与零有显著差异,如有显著差异则说明有过低或过高估计的趋势。它的基本思想是计算出两种或多种测量值的 95% 一致性界限,综合散点图散布趋势和一致性界限的宽度,然后分析该界限是否在临床实践中处于可接受的范围,如果是则认为这两种或多种测量方法具有较好的一致性,可以相互替代使用;反之则不能相互替代。通过 Bland-Altman 法通常可以对两测量方法间可能存在的系统误差(如新方法相对参照方法整体偏移程度)或相对误差(如新方法相对参照方法的误差随着测量值的变化趋势)进行评价^[10],因此使用 Bland-Altman 分析法可以有效地考虑相关分析不能解决的问题,是一种评价一致性程度科学、直观统计方法。

1.2.2.2 生存分析法

生存分析法是一种医学统计学中较为常见的统计方法,它是将事件的结果(即“死亡”或者删失)和出现这一结果所经历的时间(即生存时间)结合起来分析的一类统计分析方法。通过借用生存分析的方法,用于评价两种或多种方法间测量结果的一致性程度^[11]。以两种或多种方法的测量值与他们平均值差值的绝对值作为发生终点事件的时间,做出其生存曲线,此时横轴代表多种方法的测量值与均值 $\bar{x}_d$ 的绝对值 $|a_i - \bar{x}_d|$,其中均值 $\bar{x}_d = (a_1 + a_2 + \dots + a_n)/n$,纵轴表示某一差值绝对值的累积百分率,即不一致率。如果差值绝对值中较小的值占的比例越大,则一致性越好,否则一致性较差。借用生存分析方法可以从曲线中直观地看到一致性的大致情况,另外一致性不依赖差值的分布特征。通过一致性生存曲线图说明方法间差异的程度,可根据得出的小于某差值绝对值的累积比率对一致性作出判断,即根据实际需要的一致性作出评价。

2 研究结果

2.1 受试者基本情况

本研究受试者男性年龄在 18~47 岁之间,女性年龄在 18~56 岁之间。其中 15 名男性和 13 名女性



体重偏轻 ($BMI < 18.5 \text{ kg/m}^2$), 43 名男性和 54 名女性体重正常 ($18.5 \text{ kg/m}^2 \leq BMI < 24 \text{ kg/m}^2$), 16 名男性和 11 名女性体重超重 ($24 \text{ kg/m}^2 \leq BMI < 28 \text{ kg/m}^2$), 6 名男性和 5 名女性属于肥胖 ($BMI \geq 28 \text{ kg/m}^2$)。对受试者的年龄、身高、体重、BMI 进行独立样本 T 检验, 发现男性和女性的身高、体重均具有显著差异性 ($P < 0.01$)。

2.2 3 种方法测量结果的相关性与差异性

应用 BCA I、BCA II 和 DEXA 3 种方法测量身体全身瘦体重和四肢瘦体重结果见表 2。对 3 种方法测量男女受试者 LM、ALM 结果两两之间进行 Pearson 相关分析, 结果显示各方法间均具有较高的相关系数, 相关系数在 0.840~0.962 之间, 且均具有统计学意义 ($P < 0.01$)。其中 BCA I 与 DEXA 两种

测量结果之间的相关性相对其他两者最低, BCA I 与 BCA II 之间的相关系数最高。BCA I 与 DEXA、BCA II 与 DEXA 这两组在男女受试者 LM、ALM 间相关系数比较接近, 但后者相关性更好。

通过对 BCA I、BCA II 和 DEXA 3 种方法测量结果进行两两配对 T 检验, 发现在 BCA I 与 DEXA 两方法之间, BCA I 法测量结果大于 DEXA 法, 且均具有显著差异性 ($P < 0.05$); 在 BCA II 与 DEXA 两方法之间不管是在男性还是女性中, LM 的测量结果均不具有统计学差异, 但是在 ALM 的测量结果中 BCA II 法测量结果大于 DEXA 法, 且具有显著性差异 ($P < 0.01$); 在 BCA I 与 BCA II 两方法之间 LM、ALM 的测量结果中 BCA I 高于 BCA II, 具有显著性差异 ($P < 0.01$)。

表 2 BCA I、BCA II 和 DEXA 3 种方法身体成分测量结果

Table 2 Measurement Results of Body Composition by BCA I, BCA II and DEXA Methods

测量方法	男性(N=80)		女性(N=83)	
	全身瘦体重	四肢瘦体重	全身瘦体重	四肢瘦体重
BCA I/kg	52.12±6.56	24.29±3.27	37.43±4.35	17.18±2.17
BCA II/kg	51.32±4.40**	23.63±2.25**	36.50±3.66**	16.18±1.87**
DEXA/kg	51.18±5.32 ^Δ	23.05±2.85 ^{Δ##}	36.37±3.90 ^{ΔΔ}	15.61±1.98 ^{Δ##}
相关性(BCA I-DEXA)	0.841**	0.840**	0.841**	0.813**
相关性(BCA II-DEXA)	0.866**	0.850**	0.895**	0.866**
相关性(BCA I-BCA II)	0.960**	0.962**	0.945**	0.952**

注: ^Δ 表示 BCA I 与 DEXA 之间, 差异具有显著性, $P < 0.05$, ^{ΔΔ} 表示 $P < 0.01$; [#] 表示 BCA II 与 DEXA 之间, 差异具有显著性, $P < 0.05$, ^{##} 表示 $P < 0.01$; * 表示 BCA I 与 BCA II 之间, 差异具有显著性, $P < 0.05$, ** 表示 $P < 0.01$; * 表示相关性分析, 相关性具有显著性意义 $P < 0.05$, ** 表示 $P < 0.01$

2.3 3 种方法测量结果两两之间的一致性

2.3.1 两两之间的差值比较

男女受试者 3 种方法测量结果两两之间的差值均值见表 3。BCA II 与 DEXA 两方法之间测量结果差值的平均值最小, BCA I 与 BCA II 两方法之间测量结果差值的标准差最小。分别对同性别 LM 与 ALM 的差值均值进行配对 T 检验, 发现在 BCA I 与 DEXA 测量结果差值的均值中, 女性 ALM 高于 LM ($P < 0.01$); 在 BCA II 与 DEXA 测量结果差值的均值中, 男性 ALM 高于 LM ($P < 0.05$), 女性 ALM 高于 LM ($P < 0.01$); 在 BCA I 与 BCA II 测量结果差值的均值中, 同性别 LM 与 ALM 之间不具有差异性。分别对不同性别 LM 与 ALM 的差值均值进行独立样本 T 检验, 发现只有在 BCA I 与 BCA II 测量结果中女性 ALM 差值的均值大于男性 ($P < 0.05$)。

BCA I 法与 DEXA 法测量值之差占 DEXA 测量值的比例, 比例均大于 10% (除了女性 ALM), 其他均在 10% 以内; BCA II 法与 DEXA 法测量值之差占

DEXA 测量值的比例相对另外两组最低, 且都在 5% 以内; BCA I 法与 BCA II 法测量值之差占 BCA II 测量值的比例也在 10% 以内。

2.3.2 两两之间的 Bland-Altman 图

3 种方法测量结果两两之间的一致性图谱法见图 1。Bland-Altman 图横坐标表示两种方法测量每个对象的均值 $\bar{x}_d = (a_i + b_i)/2$, 纵坐标表示两者的差值 $d = (a_i - b_i)$, 图中上下两条水平实线分别表示男性 95% 一致性界限的上下限 ($\bar{x}_d \pm 1.96S_d$), 虚线表示女性 95% 一致性界限的上下限。由图 1 可知绝大部分测量值的差值均在 95% 的一致性界限范围内, 另外在 BCA II 法与 DEXA 法的 Bland-Altman 图中, 男女受试者 LM 与 ALM 测量值的差值均值最接近于 0, 且测量值的差值不会随着均值的扩大而变化 (均值与差值不具有显著相关性), 在散点图中均衡地分布在差值均值的上下两侧, 此时 BCA II 法与 DEXA 法的一致性程度较好。图中斜线表示当均值与差值具有显著相关性时, 差值随均值的变化趋势。在 BCA I 法与 BCA II 法

表3 3种方法测量结果两两之间的差值比较

Table 3 Comparison between Each Two Results Measured by the Three Methods

	男性(N=80)		女性(N=83)	
	全身瘦体重	四肢瘦体重	全身瘦体重	四肢瘦体重
BCA I-DEXA/kg	0.94±3.55	1.24±1.78	1.06±2.36	1.58±1.28**
(BCA I-DEXA)/DEXA/%	1.80±6.89	5.50±7.64	3.04±6.55	10.45±8.38
相关性	0.364**	0.248*	0.198	0.161
95%一致性界限	-6.02~7.91	-2.24~4.73	-3.57~5.70	-0.94~4.10
回归系数(P)	0.227(0.001)	0.150(0.027)	0.118(0.072)	0.105(0.145)
BCA II-DEXA/kg	0.14±2.67	0.58±1.51*	0.13±1.75	0.58±1.00**
(BCA II-DEXA)/DEXA/%	0.55±4.99	3.01±6.43	0.53±4.85	4.03±6.5
相关性	-0.160	-0.215	0.142	-0.113
95%一致性界限	-5.08~5.37	-2.38~3.54	-3.30~3.55	-1.39~2.54
回归系数(P)	-0.204(0.121)	-0.255(0.101)	-0.068(0.199)	-0.061(0.309)
BCA I-BCA II /kg	0.80±2.65	0.66±1.27	0.94±1.49	1.00±0.69#
(BCA I-BCA II)/BCA II/%	1.26±4.97	2.47±5.09	2.48±3.87	6.15±4.04
相关性	0.827**	0.815**	0.471**	0.448**
95%一致性界限	-4.39~5.99	-1.83~3.15	-1.99~3.86	-0.36~2.36
回归系数(P)	0.403(0.000)	0.378(0.000)	0.178(0.000)	0.155(0.000)

注:*表示LM与ALM之间,差异具有显著性, $P<0.05$,**表示 $P<0.01$;#表示男性与女性之间,差异具有显著性, $P<0.05$,##表示 $P<0.01$

的Bland-Altman图中,可以明显看到LM、ALM差值随着均值的扩大而增加,且发现均值 $\bar{x}_d$ 与差值d显著相关($P<0.01$),此时应使用回归分析考察差值与均值的关系,经检验斜率与零均有显著差异

($P<0.01$)。另外在BCA I与DEXA法的Bland-Altman图中,男性LM、ALM差值与均值具有显著相关($P<0.05$),经线性回归检验斜率与零具有显著差异性($P<0.05$)。

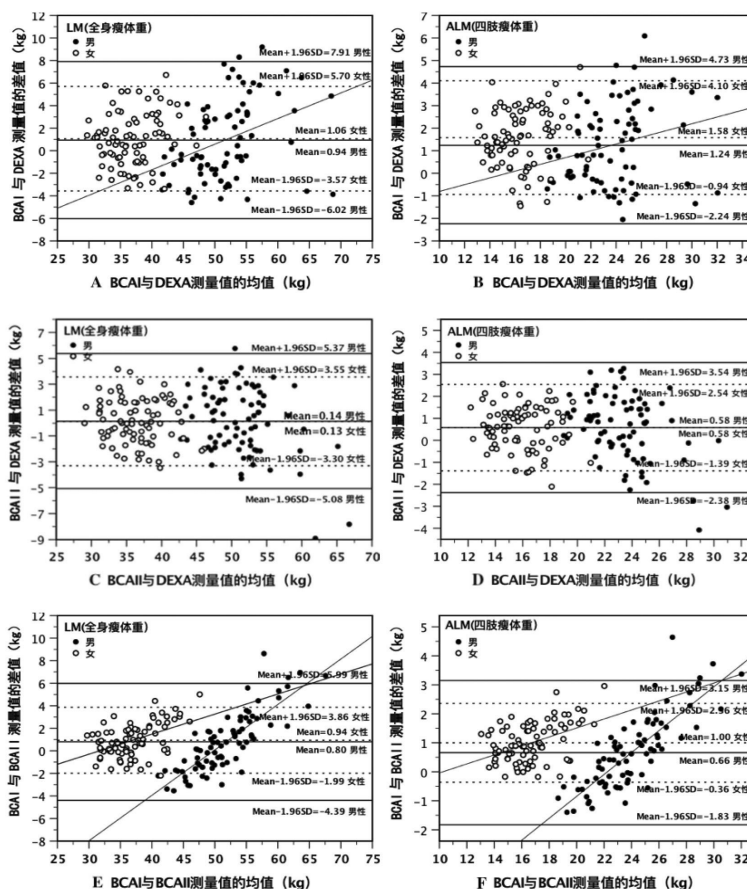


图1 BCA I、BCA II和DEXA 3种测量值两两比较的Bland-Altman图

Figure 1 Bland Altman Plot of BCA I, BCA II and DEXA



2.3.3 BCA I、BCA II 分别与 DEXA 测量结果的一致性生存曲线图

图 2 为男女受试者的 BCA I、BCA II 测量值分别与 DEXA 测量值比较的一致性生存曲线图。分别以 BCA I、BCA II 测量值与 DEXA 测量值差值的绝对值作为横坐标,把大于某界限值的差值绝对值占全部差值绝对值的比例称为不一致率,以不一致率作为纵坐

标。从图 2 可知,BCA II 法在 LM、ALM 的测量值与 DEXA 测量值的差值绝对值都要小于 BCA I 法,另外从图中可以直观地看到 BCA I 的一致性生存曲线较为平缓,不一致率下降速度较慢,BCA II 曲线在 BCA I 曲线下方,说明与 BCA I 法测量结果相比,BCA II 与 DEXA 具有更好的一致性,且 BCA I 和 BCA II 曲线的男性受试者的差值绝对值总体大于女性受试者。

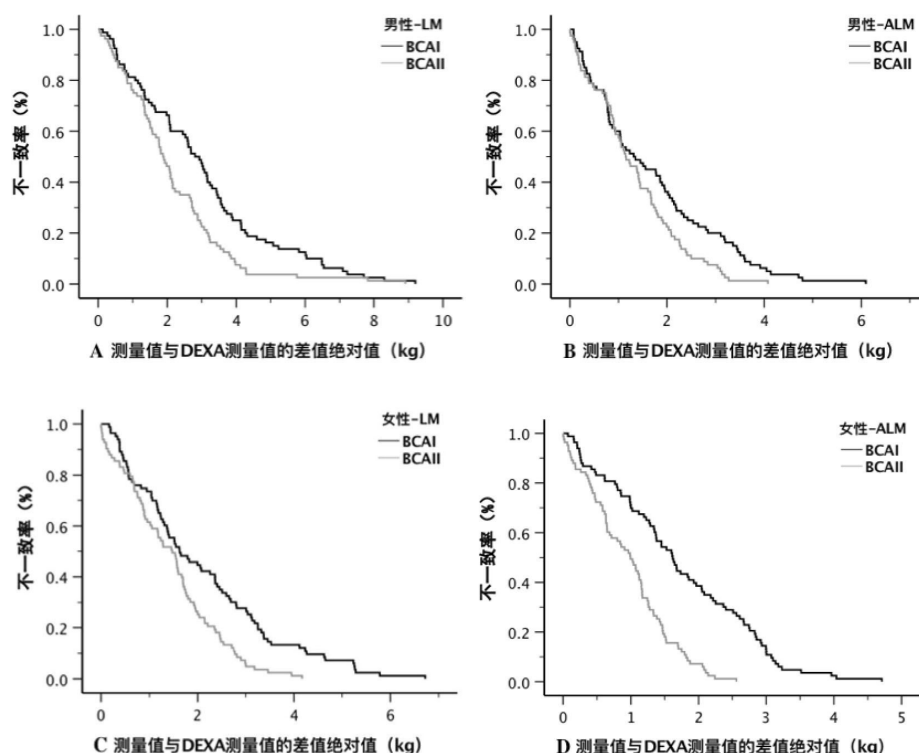


图 2 BCA I、BCA II 测量值分别与 DEXA 测量值比较的一致性生存曲线图

Figure 2 Consistency Survival Curves of BCA I and BCA II Values Compared with DEXA Values Respectively

2.4 3 种方法测量结果三者之间的一致性

2.4.1 3 种方法测量结果三者之间的差值比较

男女受试者 3 种方法测量结果三者之间的差值均值见表 4。BCA II 测量值与三者均值的差值平均值最接近于 0,且他们差值的标准差也最小。分别对男性、女性 LM 与 ALM 之间差值的均值进行配对 T 检验,发现在 BCA I 与三者均值中,女性 ALM 高于 LM ($P < 0.05$);在 BCA II 与三者均值中,男性 ALM 高于 LM ($P < 0.05$),女性 ALM 高于 LM ($P < 0.05$);在 DEXA 与三者均值中,女性 LM 高于 ALM ($P < 0.01$)。

2.4.2 三者之间的 Bland-Altman 图

运用一致性图谱法分析 3 种方法测量结果之间的一致性,Bland-Altman 图见图 3。此时横坐标表示 3 种方法测量每个对象的均值 $\bar{x}_d = (a_i + b_i + c_i) / 3$,纵坐标表示每种方法测试结果与均值的差 $d = (x - \bar{x}_d)$ 。图

中上下两条水平实线表示差值的 95% 分布范围 (LoA),即一致性界限的上下限(计算方法同上面两两之间)。从图 3 可以看出,在男性 LM 图中 BCA I 散点图 80 个点中有 6 个位于 LoA 范围以外,比例为 7.5%;BCA II 有 2 个位于 LoA 范围以外,比例为 2.5%;DEXA 有 5 个位于 LoA 范围以外,比例为 6.25%。在男性 ALM 图中 BCA I 散点图 80 个点有 7 个位于 LoA 范围以外,比例为 8.75%;BCA II 有 1 个位于 LoA 范围以外,比例为 1.25%;DEXA 有 7 个位于 LoA 范围以外,比例为 8.75%。在女性 LM 图中 BCA I 散点图 83 个点中有 11 个位于 LoA 范围以外,比例为 13.25%;BCA II 都在 LoA 范围内;DEXA 有 7 个位于 LoA 范围以外,比例为 8.4%。在女性 ALM 图中 BCA I 散点图 83 个点中有 5 个位于 LoA 范围以外,比例为 6.02%;BCA II 都在 LoA 范围内;DEXA 有 5 个位于 LoA 范围以外,比例为 6.02%。

表 4 3 种方法测量结果三者之间的差值比较

Table 4 Comparison of Differences among the Three Measurements Results

	男性(N=80)		女性(N=83)	
	全身瘦体重	四肢瘦体重	全身瘦体重	四肢瘦体重
三者均值	51.54±5.22	23.66±2.68	36.76±3.82	16.32±1.92
d ₁ =BCA I-M	0.58±1.89	0.64±0.90	0.67±1.18	0.86±0.60*
相关性(d ₁ &M)	0.620**	0.566**	0.320**	0.290**
回归系数(P)	0.224**	0.190**	0.099**	0.091**
d ₂ =BCA II-M	-0.22±1.32	-0.26±0.72*	-0.27±0.74	-0.14±0.38*
相关性(d ₂ &M)	-0.704**	-0.688**	-0.317**	-0.239*
回归系数(P)	-0.178**	-0.184**	-0.062**	-0.047*
d ₃ =DEXA-M	-0.36±1.90	-0.61±1.02	-0.40±1.29	-0.72±0.73**
相关性(d ₃ &M)	-0.129	-0.016	-0.110	-0.114
回归系数(P)	-0.047	-0.006	-0.037	-0.043
三者差值和	0.00±1.77	0.00±1.02	0.00±1.19	0.00±0.88
95%一致性界限	-3.46~3.46	-2.00~2.00	-2.34~2.34	-1.72~1.72

注: * 表示 LM 与 ALM 之间, 差异具有显著性, $P < 0.05$, ** 表示 $P < 0.01$

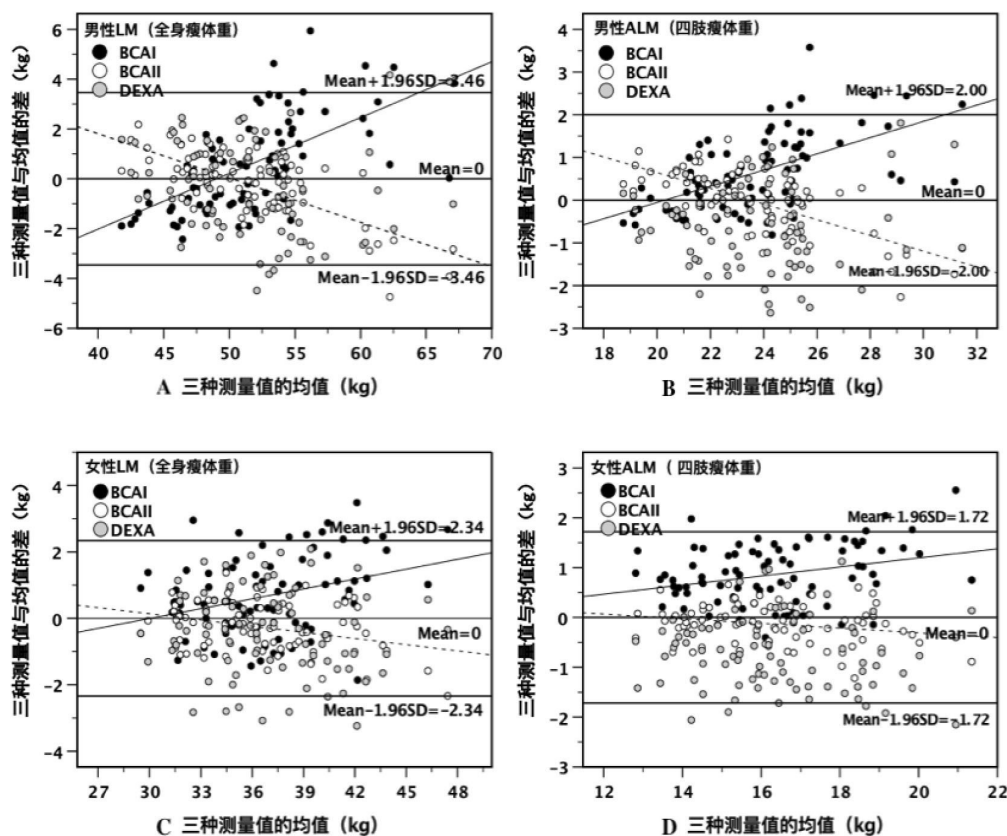


图 3 BCA I、BCA II 和 DEXA 3 种测量值的 Bland-Altman 图

Figure 3 Bland Altman Plot of BCA I, BCA II and DEXA

在男女受试者 LM 和 ALM 的 Bland-Altman 图中, BCA II 测量值的差值均在 95% 的一致性界限范围内。另外 BCA I 测量值与均值的差值在女性 LM 的一致性图谱中, 有 13.25% 位于一致性界限范围

外, 且超出程度最大。图中斜线表示当均值与差值具有显著相关性时, 差值随均值的变化趋势, 其中实线表示 BCA I 法, 虚线表示 BCA II 法。与三者均值进行比较, d₁、d₂ 与三者均值均具有显著相关性 ($P < 0.01$)。

2.4.3 BCA I、BCA II 和 DEXA 3 种测量值的一致性生存曲线图

将男性和女性受试者的 BCA I、BCA II 和 DEXA 测量结果与三者的均值进行对比,评价 3 种测量方法的一致性生存曲线,如图 4。图中可以直观地看到男女受试者 LM、ALM 指标的一致性生存曲线图显

示 BCA II 曲线下降速度最快,BCA I 和 DEXA 曲线不一致下降速度较慢,说明后者存在较多与三者均值不一致的情况。男性受试者 LM、ALM 的差值绝对值总体均大于女性受试者。BCA II 曲线在 BCA I 和 DEXA 曲线的下方,说明与其他两种测试方法相比,BCA II 具有更好的一致性。

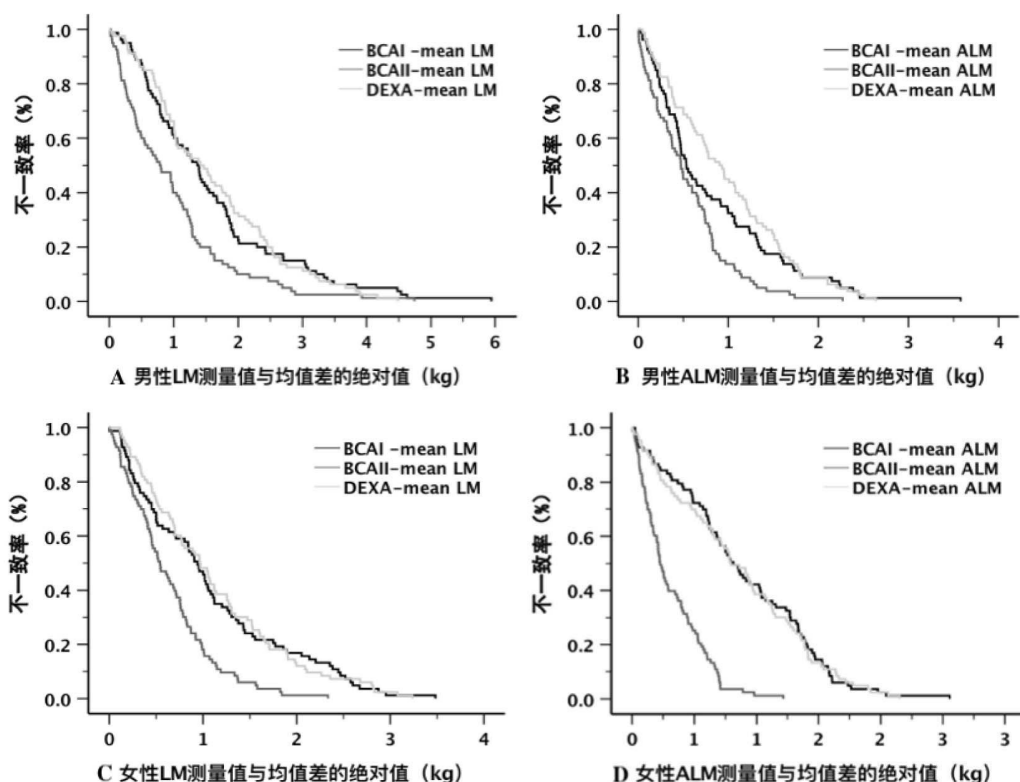


图 4 BCA I、BCA II 和 DEXA 3 种测量值的一致性生存曲线图

Figure 4 Consistency Survival Curves of BCA I, BCA II and DEXA

3 分析与讨论

3.1 Pearson 相关系数及配对样本 T 检验

生物电阻抗法以二成分模型为基础测量体脂与去脂体重,该测试方法受到测试仪器型号、受试者状态如体液电解质等的影响^[12]。DEXA 法以三成分模型为基础测量身体中的肌肉组织、脂肪组织和骨矿含量^[13],有研究表明 DEXA 法在不同年龄、性别、种族以及不同脂肪含量的群体中测量身体成分精确度高(变异系数为 0.8%~2.7%)^[14],因此一般以 DEXA 法测量结果作为标准^[15],本研究在两两之间一致性分析比较时以 DEXA 法为金标准进行对比研究。

相关系数可以说明两个具有线性关系的变量之间的关系密切程度及相关方向。相关系数绝对值在 0.8~1.0 之间表示具有极强相关,在 0.6~0.8 之间为强相关。通过表 2 可以看到相关系数在 0.840~0.962 之间,BCA II 与 DEXA 之间的相关系数高于 BCA I 与 DEXA。另外女性采用 BCA II 与 DEXA 两种方法

测量 LM、ALM 结果的相关系数略高于男性。有许多研究结果证实,生物电阻抗法与 DEXA 测量结果具有较强的相关性^[16-17]。然而相关系数主要反映两变量间相关关系的程度,对随机误差敏感,但对系统误差不敏感^[18],因此高相关系数可以表明 3 种方法测量结果具有较好的相关性,但还不能证明他们之间具有较好的一致性,所以还需进一步证明他们之间的一致性。

配对样本 T 检验对系统误差敏感,但对随机误差不敏感^[3]。Martin 等认为配对 T 检验是比较两测量结果均数的差别^[19]。从表 2 可以看到,BCA I 测量 LM、ALM 结果高于 DEXA,且具有统计学意义,提示这两种不同的身体成分测试方法存在一定的系统误差。有研究发现 BCA I 倾向于低估肥胖成年人的脂肪重量,高估消瘦成年人的脂肪重量^[20]。国外也有学者研究表明生物电阻抗法可高估体脂百分比^[21-22]。另外 BCA I 测量 LM、ALM 结果高于 BCA II ($P < 0.01$),



提示这两种不同型号的生物电阻抗设备也具有一定的系统误差,说明经过对 BCA I 身体成分参数的预测方程进行修正后的 BCA II 更接近 DEXA 的测量结果。

3.2 一致性分析

3.2.1 Bland-Altman 一致性分析法

使用 Bland-Altman 一致性分析法存在前提条件,即需要多方法两两之间的差值符合正态分布,否则通过差值均值与差值的标准差计算出的一致性界限不具有参考价值^[10]。但在实际应用中这些差值很可能服从正态分布,因为通过计算多方法两两之间的差值可以消除绝大部分被测对象间的变异,仅保留不同测量方法间的误差,所以通常采用两方法间的差值能够较好地符合正态分布。另外有研究发现在一致性研究中,即使差值不呈正态分布也没有其他统计分析时所引起的问题严重,因为非正态分布时仍大约有 95% 的差值会落在 $\bar{x}_d \pm 2S_d$ 范围内^[23]。采用 Bland-Altman 一致性分析法既考虑随机误差,又考虑系统误差对一致性的影响,并可结合专业意义进行判断,具有独特的优势^[1]。当两两之间进行比较时,在 BCA II 法与 DEXA 法的 Bland-Altman 图中,男女受试者 LM 与 ALM 测量值的差值均值最接近于 0,且测量值的差值不会随着均值的扩大而变化,在散点图中均衡地分布在差值均值的上下两侧,此时 BCA II 法与 DEXA 法的一致性程度较好。在 BCA I 与 DEXA 两法中男性测量结果以及 BCA I 与 BCA II 两法的测量结果中,发现差值与均值具有显著的相关性,此时经线性回归检验发现斜率与零也具有显著差异性($P < 0.05$),说明当受试者 LM、ALM 含量较低时,BCA I 趋向低估受试者 LM、ALM 含量;相反当受试者 LM、ALM 较高时,BCA I 又趋向高估受试者含量。

另外在三者之间进行 Bland-Altman 分析时,以三者的均值为标准进行对照,BCA II 测量值的差值均在 95% 的一致性界限范围内,表明相对于 BCA I 法而言 BCA II 的一致性程度更好。但对差值与均值进行相关性检验,发现 BCA I 法的差值与均值、BCA II 法的差值与均值均具有显著相关性,采用三者差值的均值与标准差计算一致性界限范围偏大,说明此时采用 Bland-Altman 法计算的结果准确性不如两者之间,但仍能在一定程度上比较各方法间的一致性。通过一般线性回归说明 BCA I 与 BCA II 测量结果的变化趋势,即在受试者 LM、ALM 含量较低时 BCA I 法的测量值与三者均值相比会偏低,而

BCA II 法测量结果则相反。王明献等人研究发现在对 18~49 岁中国成年人的身体成分进行分析时,BCA I 与 DEXA 两法不能代替使用,特别是在对体脂异常的受试者进行身体成分测量时,需对 BCA I 法身体成分参数的预测方程进行修正^[20]。

3.2.2 一致性生存曲线图

有统计学研究借助生存分析法评价两研究者或方法间的一致性,其最大的优点是能给出不同差值时的一致率以及一致率的大小随差值的变化情况,而且也不依赖差值的分布特征。在两两之间比较时,以 DEXA 为标准测量结果,分别对 3 种测试设备两两之间的一致性作出评价。另外有研究者在 Luiz 和 Costa 等人的基础上提出了多研究者或方法的一致性生存法,以 3 种方法的测量结果与三者平均值的差值绝对值作为事件发生终点的事件,做出生存曲线^[1]。通过对男女受试者 3 种测试设备的 LM 与 ALM 测量值的一致性生存曲线图可以看到,不仅是两两之间以 DEXA 测量结果为对照标准还是三者之间以三者测量结果的均值为对照标准的生存分析曲线图,BCA II 的曲线始终在 BCA I 的曲线下方,且 BCA II 的曲线比 BCA I 的曲线更陡。相对于 BCA I 法,BCA II 与 DEXA 之间的差值绝对值总体更小,说明 BCA II 的测试结果与 DEXA 之间具有更好的一致性,比 BCA I 法更适合用于中国成年人瘦体重指标测试。

在身体成分 LM 与 ALM 测量中,BCA I 与 DEXA 的差值均值较大,提示在人体各部分身体成分的分段分析中,BCA I 与 DEXA 两法有关躯体环段的划分方法可能不同^[24]。但是在 BCA II 与 DEXA 的 Bland-Altman 图中,两者的差值均值较小。另外有研究发现虽然 DEXA 法常用作身体成分测量的标准方案,但用于测量肥胖程度较高的受试者时测量结果也存在误差^[25]。3 种测试方法两者之间差值的标准差大于平均值(见表 3),可能是由于 3 种测试方法有一些测试值相同造成差值为零,从而使均值较小;或有些测试值可能生物电阻抗法测量值稍高,有些测试值 DEXA 法测量值稍高,从而出现两者差值为负值,标准差就可能变大甚至超过均值。BCA II 与 DEXA 测量值差值占 DEXA 测量值百分比分析表明,LM 与 ALM 指标差异约为 5%,表明 BCA II 法准确性好。

4 结论

在对多研究者或方法定量测量的结果进行一致性评价时,采用一致性图谱与生存分析法可避免单



纯依靠统计结果推断专业结论的片面性,是两种较好的一致性评价方法,可同时参考两种方法的结果。通过生存分析与一致性图谱法对 3 种方法测量 LM 与 ALM 结果间的一致性进行对比和评价后,相对于 BCA I 法,BCA II 与 DEXA 法测量值一致性程度更好,采用 BCA II 法测量成年人 LM 与 ALM 的可靠性较强。与 BCA I 相比,BCA II 型身体成分测量仪更适合用于成年人身体成分的测量。

参考文献:

- [1] 单彬.多研究者(或方法)间一致性评价方法的研究[D].北京:中国人民解放军军事医学科学院,2006.
- [2] 陈卉.Bland-Altman 分析在临床测量方法一致性评价中的应用[J].中国卫生统计,2007,24(3):308-309.
- [3] 李镒冲,李晓松.两种测量方法定量测量结果的一致性评价[J].现代预防医学,2007,34(17):3263-3266+3269.
- [4] Salerno D. F., Werner R. A., Albers J. W., et al. Reliability of nerve conduction studies among active workers. [J]. Muscle & Nerve, 2015, 22(10):1372-1379.
- [5] 蔡雪亚,金丕焕.用组内相关系数评价一致性的方法及其局限性[J].中华预防医学杂志,1999,33(3):175-176.
- [6] 周宇豪,许金芳,贺佳.诊断试验一致性评价中几种方法的比较及应用[J].中国卫生统计,2011,28(1):40-42+46.
- [7] Llorca J., Miguel D. R. Survival analytical techniques were used to assess agreement of a quantitative variable [J]. Journal of Clinical Epidemiology, 2005, 58(3):0-315.
- [8] 史冀鹏,徐红旗,郑秀媛,等.乡村居民肥胖诊断指标间的关系及增龄变化规律研究[J].西安体育学院学报,2014,31(3):355-363.
- [9] Bland J. M., Altman D. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement [J]. The Lancet, 1986, 327(8476):307-310.
- [10] 王杨,陈涛,徐涛,等.Bland-Altman 分析结果散点分布趋势与测量方法变异程度间的关联度分析[J].中华疾病控制杂志,2012,16(6):535-538.
- [11] Luiz R. R., Antonio José Leal C., Kale P. L., et al. Assessment of agreement of a quantitative variable: a new graphical approach[J]. Journal of Clinical Epidemiology, 2003, 56(10):963-967.
- [12] Johnstone A. M., Faber P., Gibney E. R., et al. Measurement of body composition changes during weight loss in obese men using multi-frequency bioelectrical impedance analysis and multi-compartment models[J]. Obesity Research & Clinical Practice, 2014, 8(1):e46-e54.
- [13] Nickerson B. S. Agreement between single-frequency bioimpedance analysis and dual energy x-ray absorptiometry varies based on sex and segmental mass[J]. Nutrition Research, 2018, 54:33-39.
- [14] Fuller N. J., Laskey M. A., Elia M. Assessment of the composition of major body regions by dual-energy X-ray absorptiometry (DEXA), with special reference to limb muscle mass[J]. Clinical Physiology, 1992, 12(3):253-266.
- [15] 武宝爱,王人卫,毕玉萍.欧姆龙生物电阻抗法与双能 X 线吸收法测量成年人人体脂率的比较[J].上海体育学院学报,2012,36(1):59-63.
- [16] Rech C. R., Cordeiro B. A., Petroski E. L., et al. Validation of bioelectrical impedance for the prediction of fat-free mass in Brazilian elderly subjects[J]. Arquivos brasileiros de endocrinologia e metabologia, 2008, 52(7): 1163-1171.
- [17] Goldfield G. S., Cloutier P., Mallory R., et al. Validity of foot-to-foot bioelectrical impedance analysis in overweight and obese children and parents[J]. The Journal of sports medicine and physical fitness, 2006, 46(3): 447-453.
- [18] 萨建,刘桂芬.定量测量结果的一致性评价及 Bland-Altman 法的应用[J].中国卫生统计,2011,28(4):409-411+413.
- [19] Bédard, Martin N. J., Krueg P., et al. Assessing Reproducibility of Data Obtained With Instruments Based on Continuous Measurements[J]. Experimental Aging Research, 2000, 26(4):353-365.
- [20] 王明献,岳新坡,徐红旗.18~49 岁成年人 BCA I 与 DEXA 两法身体成分测定结果的比对研究[J].西安体育学院学报,2014,31(5):595-600+612.
- [21] Ravaglia G., Forti P., Maioli F., et al. Measurement of Body Fat in Healthy Elderly Men: A Comparison of Methods[J]. The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences, 1999, 54(2):70-76.
- [22] Scragg R. K. R., Plank L. D., Sluyter J. D., et al. Prediction of Fatness by Standing 8-Electrode Bioimpedance: A Multiethnic Adolescent Population[J].2009, 18(1):183-189.
- [23] Bland J. M., Altman D. G. Measuring agreement in method comparison studies[J]. Stat. Methods Med. Res., 1999, 8(2): 135-60.
- [24] 侯少华,侯曼,龚也君,等.磁共振图像实现人体成分数字化的研究[J].北京师范大学学报(自然科学版),2005,(1):107-110.
- [25] 陈强谱,傅廷亮,欧琨,等.人体组成的活体测量技术及评价[J].生物医学工程学杂志,2007,(4):954-958.

(责任编辑:刘畅)