

DOI: 10.16359/j.cnki.cn11-1963/q.2018.0007

# 人体成分研究概览

席焕久, 李文慧, 温有锋, 刘莹莹

锦州医科大学生物人类学研究所, 辽宁省人体质特征研究重点实验室, 锦州 121000

**摘要:** 近年来, 我国体成分的研究取得了可喜的进步。为了庆贺吴新智院士九十华诞并回应学者们在中国解剖学会人类学专业委员会(呼和浩特)召开的体成分会议上提出的问题, 推动我国体成分的研究, 本文搜集了国人 1985 年以来在国内外发表的 730 篇体成分方面的研究文献, 内容涵盖研究方法及其有效性、体成分的应用、人的体成分的差异以及理论等方面并与当前国际最新研究进展进行对照分析, 找出我们的差距并提出今后的建议。

**关键词:** 体成分; 测量方法; 差异

**中图法分类号:** Q981, Q983+.8; **文献标识码:** A; **文章编号:** 1000-3193(2018)02-0241-12

## Overview of body composition research

XI Huanjiu, LI Wenhui, WEN Youfeng, LIU Yingying

*Institute of Anthropology of Jinzhou Medical University, Key Laboratory of Research on Chinese Physical Characteristics of Liaoning Province, Jinzhou 121000, China*

**Abstract:** In recent years, the research of body composition in China has made encouraging progress. To celebrate the academician, Xinzhi Wu, ninetieth birthday, and respond to questions raised by scholars in Anthropological Professional Committee of Chinese Anatomy Association held in Hohhot, promote research of body composition in our country, this paper collected the 730 publications at home and abroad since 1985 covering many topics from the research methods, its application and effectiveness, variation among populations to theory of body composition, and the like. By comparing with the current international latest research progress and analyzing them, the disparities were found out and suggestions were put forward in the future.

**Key words:** body composition; measurement methods; variation

收稿日期: 2017-07-18; 定稿日期: 2018-04-19

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31171152)

作者简介: 席焕久 (1945-), 男, 硕士, 教授, 辽宁绥中人, 主要从事生物人类学研究, E-mail: huanjiuxi@163.com。

**Citation:** Xi HJ, Li WH, Wen YF, et al. Overview of body composition research[J]. Acta Anthropologica Sinica, 2018, 37(2): 241-252

体成分反映了人生命过程中营养的积累和从外部环境获得的营养物质从而建构了身体的质量与形态和功能。体成分的测定对于临床诊断、判断疾病的危险,评价治疗方法的有效性和改进临床治疗效果具有重要意义。

体成分研究是生命科学研究中的重要组成部分,过去往往注意人的形态与机能方面,忽视体成分方面的研究。随着科技的进步和人们健康水平的提高,体成分的研究越来越引起医学界的关注和人民群众的注意。近年来,我国体成分的研究取得了可喜的进步。

在庆贺吴新智院士九十华诞之际,我们不能不想到 2009 年吴新智院士提出了“开展体成分研究,迎接人类学的第二个春天”的建议,在他的号召与鼓舞下,中国解剖学会人类学专业委员会邀请美国亚利桑那大学陈昭教授主讲体成分,举办两期体成分培训班。浙江大学还承办国际体成分学术会议,大大推动了国内体成分研究工作,尽管取得很大成绩,与国外相比仍有很大差距。为进一步推动体成分的研究,本文根据文献和对国外体成分研究的考察,结合我们的研究体会,对国内体成分研究做了简短回顾与分析,提出展望与建议,与同道们共同分享,既是对去年呼和浩特体成分会议的回应,也是对吴新智院士九十年华诞的庆贺。

## 1 文献回顾与分析

### 1.1 文献收集

我们查阅了 1985 年 1 月 1 日~2015 年 12 月 31 日有关体成分研究的中文文献及国内作者以英文发表的文献共 730 篇(表 1)。非正式发表的文章及摘要和研究论文及有疑问的未收录。采用的关键词是:体成分,肥胖,脂肪,体质测量,皮褶厚度, BIA, DXA, MRI, CT, DXA, Bod Pod, 3-DPS, MRS, 稀释技术, 超声, 皮下脂肪, 内脏脂肪, 肌肉/肌, 水, 臀围, 腰围, BMI。数据库: Google, Pubmed, 重庆维普, 清华同方。

### 1.2 一般情况

在 730 篇文章中,中文发表的文章 649 篇(88.9%),英文发表的文章 81 篇(11.1%)。平均每篇文章 2.93 名作者。单一学科发表的 520 篇,2 个学科共同发表的 126 篇,3 个以上学科发表的 40 篇;来自院校的 492 篇,医院(含附属医院)174 篇,生产单位 3 篇,研究单位 36 篇,其他 25 篇。文章得到省部级基金资助的 122 篇,国家级资助 100 篇,国外和香港资助 19 篇,其他资助 7 篇。

研究对象:正常人 497 篇。年龄:婴幼儿 6 篇,儿童 56 篇,儿童青少年 33 篇,成人 309 篇,老年 20 篇,青年 22 篇,成+老 51 篇。肥胖者 72 篇,病人 93 篇,其他 68 篇。

研究类型:论著 684 篇,综述 45 篇,其他 1 篇。在论著中,包括调查类(130 篇),应用方面(364 篇)(其中,临床应用 202 篇,药物效果评价 6 篇,减重减肥健康评估 15 篇,体育应用 141 篇)。还有方法研究(41 篇),理论研究(模型等)(20 篇),仪器设备研究(15 篇)和其他(114 篇)。

测量手段:传统体质测量 95 篇,皮褶厚度测量 63 篇,DXA 78 篇,BIA 399 篇,稀释 3 篇,

表 1 1985~2015 关于体成分的论文概况  
 Tab.1 A survey to the paper on body composition in 1985-2015

时间	篇数	时间	篇数	时间	篇数	时间	篇数
1985	1	1986	0	1987	0	1988	0
1989	0	1990	0	1991	0	1992	1
1993	0	1994	2	1995	3	1996	6
1997	3	1998	6	1999	8	2000	8
2001	8	2002	9	2003	8	2004	16
2005	22	2006	27	2007	41	2008	36
2009	52	2010	44	2011	77	2012	67
2013	85	2014	99	2015	101		

Bod Pod 1 篇, 影像: CT 1 篇, MRI 8 篇, 超声 1 篇, 其他方法 3 篇。两种以上方法不多 (95 篇)。

体成分的文章刊登在 207 种中文杂志和 40 种英文杂志上, 中文杂志中院校学报 222 篇, 研究生论文 211 篇 (博士 9 篇, 硕士 102 篇)。刊登最多的杂志分别是中国学校卫生 (31 篇), 中国公共卫生 (16 篇), 中国骨质疏松杂志、中国运动医学杂志 (各 9 篇), 浙江体育科学 (8 篇), 体育科学、中国体育科技 (各 7 篇), 解放军预防医学杂志、中国医学物理学杂志 (各 6 篇)。

刊登最多的国外杂志是 PLOS ONE (26 篇), 其次是 BMC Public Health (7 篇) 以及 Diabetes Care, International journal of Obesity 和 Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition, Nutrients (各 3 篇)。

从内容上看, 在国内杂志, 体育方面内容最多 (88 篇), 其次是预防、公卫、流行病 (47 篇), 仪器设备 (17 篇), 营养、内分泌、代谢 (40 篇)。英文杂志上多为营养学方面内容 (8 篇), 其次是内分泌、代谢 (7 篇), 肥胖、流行病、预防医学、公卫 (3 篇)。

## 2 国外研究概况

### 2.1 测量方法

体成分的测量方法不断地发展, 最初是用同位素稀释技术测总水量、人体 K 总量、尿肌酐排泄、人体密度测量 (水下称重人体积仪)、人的形态测量 (皮褶围度等)<sup>[1]</sup> 来测定体成分, 后来的方法是生物电阻抗分析 (bioelectrical impedance analysis, BIA)、稀释技术 (dilution technique, DT), 空气置换体积测定 (air displacement plethysmography, ADP)、双能 X 线吸收 (dual energy X-ray absorptinmetry, DXA) 和 MRI 或磁共振波谱 (magnetic resonance spectroscopy, MRS)。新的进展主要表现在测量体积方面<sup>[2]</sup>。如三维光子扫描 (three-dimensional photonic scanning, 3-DPS) 和定量磁共振 (quantitative magnetic resonance, QMR), 这些技术的发展为测量体成分提供了新的手段和方法。

**ADP:** 可测身体体积, 因而代替了水下称重测量脂肪。1995 年第一次应用, 2000 年对 10-12 岁儿童测量体成分。20 世纪 90 年代到本世纪初, 应用于较宽的年龄范围, 从婴

儿（出生 -8kg）、儿童到老年人、运动员、身材高大（2m）和肥胖者（>159kg）均可，跨越整个生命周期，具有可靠性和顺应性<sup>[3]</sup>。

**DXA:** 一直被认为是体成分测量的金标准，主要用于测骨矿密度，评定骨折风险和诊断骨质疏松。目前该系统可扫描 1kg-205kg 体重范围，可分区测量（如臂、腿、躯干、头），还可低剂量检测乳房，对筛查年轻女性乳癌很有意义。DXA 方法重复性高，无放射性，无接触，对身体状态无特别要求<sup>[4]</sup>。

生物电光谱仪（**bioimpedence spectroscopy, BIS**）和多导生物电阻抗分析（**multifrequency BIA, MF-BIA**）：这是在 2 室模型基础上的测量，可测细胞内外水和总水量，用于临床评价营养状态。单导生物电阻抗分析（**single-frequency BIA, SF-BIA**）常评价全身水分（TBW）和去脂肪身体质量（FFM），但不能区分细胞内外的总脂肪量，而 BIS 和 MF-BIA 可区分出细胞内外水，对描述液体转移和平衡，探讨水化程度具有重要意义（Heymfield et al,1996）<sup>[5]</sup>。可用于透析病人和评价健康个体水量变化，但不能准确评价肥胖者的减重液体量<sup>[3]</sup>。

**QMR:** 对测啮齿类和人体的体成分都有效。2006 年开始应用于儿童和成人，是准确的方法之一。简单快捷，3 分钟可完成人体体成分测量。但测人脂肪量偏低，测瘦组织偏高<sup>[3]</sup>。

**MRI 和 MRS:** 普通的 MRI 不能区分骨骼肌中的水或脂类，而化学转移图像技术（**chemical shift imaging technique**）可把水和脂肪组织信号分开。这种图像技术包括质子磁共振扫描（**proton magnetic resonance spectroscopy**）<sup>1</sup>H-MRI 和 <sup>31</sup>P-MRI，他们可测特殊组织中的脂肪量，预测胰岛素抵抗的前兆。前者在疾病早期可定量测出有关成分，后者可用于比较运动过程中肝和脑脂肪含量及心肌细胞内脂肪变化<sup>[6, 7]</sup>。影像学方法被认为是活体定量体成分最准确的方法之一。MRI 可测人体有关体成分的体积，如脂肪组织，骨骼肌和骨等器官。研究提示，脂肪组织并非同质的沉积，而是不同的代谢活动有不同的脂肪成分。应用 MRI 断面进一步分析高代谢率器官（心，肝，脾，肾，胰和脑）的 FFM，研究静息状态下能量消耗，是一个好的诊断工具，可定量评价内脏，皮下，肌内脂肪分布。特别可测心表面脂肪组织，预测心血管的危险。可进行亚区定量分析（如网膜、肠系膜、腹膜外脂肪、肌间脂肪）<sup>[8-10]</sup>。MRS 是一种新的非接触性的测量方法，可测脂肪含量和分布，也可测骨骼肌的脂肪含量。而值局域磁共振波谱（**volume localized magnetic resonance spectroscopy, VLMRS**）是新发展的方法，可用于探讨肌肉内外脂肪与胰岛素抵抗之间的关系及对肌肉脂类含量的影响，误差 6%<sup>[3, 4]</sup>。

**多核 MRS (magnetic resonance spectroscopy)**：可测很多化学成分及脑、骨骼肌、肝的代谢，MRI 与 CT 都可准确测出肌内脂肪。但昂贵，对身材特高者（BMI>40kg/m<sup>2</sup>）和幽闭恐惧者不适用。

**正电子成像术 (positron emission tomography, PET)**：用 fluorodeoxyglucose position emission tomography(FDG-PET) 结合 CT 发现了锁骨上、颈区、脊柱旁、纵隔、主动脉旁、肾上方有褐色脂肪沉淀，否定了传统的一些看法<sup>[11]</sup>。

**定量 CT (quantitative computed tomography, QCT)**：它可真实测定体积性的骨矿密度，区别骨小梁与骨皮质，但比 DXA 的放射性高。外周性 -QCT 可测特殊区域的骨密度和皮质的几何参数<sup>[12]</sup>。最近 3 维高分辨率 P-QCT 可测骨质量的重要成分，包括骨矿密度，微观构筑和骨力学<sup>[13-15]</sup>。

**稀释技术:** 通过稀释  $^2\text{H}$ ,  $^3\text{H}$  和  $^{18}\text{O}$  水测定 TBW, 可评价脂肪和 FFM 示踪的溴化物, 也可用于测量细胞外水<sup>[3,16,17]</sup>, 对研究人, 特别对年纪小的孩子, 尤其是研究新生儿以及大批量研究很有意义。

**3-DPS:** 可准确测定身体体积和各维度的身体整体与局部, 是数字化可视的方法, 对测体积、外周长、长度及体脂肪 % 比水下称重、皮尺测量准确, 主要应用研究体型, 适合流行病学调查。Wang 曾评价 3DPS 与水下称重和皮尺测量方法, 发现用 3DPS 与皮尺测周长对比, 3DPS 略大于皮尺测的周长, 与水下称重测体脂 % 无明显差异<sup>[12,18]</sup>。

**超声 (US):** 用于测量皮下脂肪组织厚度、肌内和腹内脂肪, 比较简单, 但测不同部位的皮下脂肪组织可靠性不确定<sup>[19]</sup>。有人研究, 同一测量者的不同测量值的可靠性系数为 86%-97%, 不同测量者间为 81%-98%<sup>[20, 21]</sup>。超声测皮下脂肪厚度有近 50 年历史, 以前用 B- 超, 现在有几种 A- 超可测脂肪, 但目前缺乏标准程序, 测量结果很大程度取决于技术人员水平<sup>[22]</sup>。

**影像测量学 (photogrammetry):** 用三维激光成像系统测量人的体积, 适合穿衣服者, 15 秒内完成全身扫描, 几秒钟就处理完数据<sup>[2]</sup>。总之, 目前测量体成分的方法各有优缺点, 但没有哪一种方法可准确测身体所有的组织与器官, 也没有哪一种方法没有误差的。要根据实际情况选择合适的方法<sup>[3, 22]</sup>。

## 2.2 应用

**A. 老年问题:** 老年人体成分与其他年龄人不同, 骨骼肌质量下降, 脂肪总量进展性升高, 脂肪再分布, 肌间, 肌内, 内脏脂肪升高, 皮下脂肪进展性丧失, 这些变化看来都与负面健康和功能下降有关 (如胰岛素抵抗, 肌功能下降)。肌肉的质量与功能变弱 (sarcopenia), 这种肌肉力量不足, 功能受限, 是步速不良乃至死亡率的预测指标<sup>[16, 17]</sup>。

**B. 慢病与癌:** Vickie Baracos 的研究组对 1473 例肺、消化道进展性癌症患者进行了前瞻性队列研究, 用 CT (第三腰椎水平) 检查发现, 进展性癌的恶性质病人中, 不论是过重或肥胖者, BMI 的数值均惊人的高 ( $25.6\text{kg}/\text{m}^2$ ), 52% 的过重 / 肥胖病人中, 只有 7.5% BMI  $< 18.5\text{kg}/\text{m}^2$ 。重症肌衰 (depletional sarcopenia) 达 41%。无论是正常者还是过重者, 骨骼肌的废用都是肺癌最明显的特征<sup>[4,23]</sup>。

**C. 分解代谢性疾病:** 急性疾病常引起分解代谢。因为代谢压力和体力活动的减少导致主要肌、脂肪组织废用, 器官功能不良<sup>[4]</sup>。内脏和皮下脂肪 (超声法) 和代谢综合症及代谢综合症的相关成分的关系说明, 内脏脂肪与大部分代谢综合症有关, 腹部脂肪 (超声法) 至少对发生心脏肥大症起部分作用<sup>[24]</sup>。

用 B- 超测量腹部肌肉厚度评价肌的丢失状态比评价身体总肌丢失更能反映肥胖者代谢综合症的危险。B- 超是代替 DAX 评价肥胖者 Sarcopenia 的另一种简便方法<sup>[25]</sup>。

**D. 其他:** 目前研究表明, 心表面脂肪组织的厚度与阻塞性冠状动脉心脏病有关。左室间沟内的脂肪组织厚度是阻塞性冠状动脉心脏病的良好预测指标, 尤其是亚洲人更是如此。因此测量心表面脂肪很重要, 体成分的方法为其提供了有利的工具<sup>[26,27]</sup>。脂肪在肌肉和血管周围的沉积也与疾病的危险有关<sup>[28]</sup>。

为保证最佳的移植再生和捐赠者的安全, 在肝移植外科最重要的是评价肝脂肪变性

的程度。用 CT, 双回波和相对相位 (dual-echo in and opposed-phase), MRI 和 MRS 定量分析脂肪量并以肝组织病理分析作为参考标准。结果表明, CT, MRI 和 MRS 与组织病理相关性佳, 可以准确地确定肝脂肪变性的程度, 从而减少了肝穿和相关并发症。MR 与 CT 相比, MR 有更高的准确性和敏感性<sup>[29]</sup>。

评价实验(干细胞)、治疗效果和干预以及减重措施及体育训练的作用: 系统地评价体成分参数对决定病人总体状态, 改善饮食摄入或满足病人的特殊需要有重要意义。因而会明显地改善全球的保健质量和有效的消耗比例<sup>[4]</sup>。

Hung 等对经过干-C 移植后的癌症患者, 用 BIS 和 ADP 测量体成分变化的一致性, 探讨移植后的效果<sup>[30]</sup>。2013 年还用体成分, 生活质量, 体力活动等指标评价癌症患者经大剂量自身外周血干细胞移植后的变化<sup>[31]</sup>。Inaba 等用异源性造血干细胞移植后追踪体质, 体成分在存活的血液病儿童的变化<sup>[32]</sup>。

一些研究表明, HIV- 感染患者有明显的代谢危险, 包括脂肪代谢障碍和亚临床性的动脉粥样硬化, 胰岛素抵抗。以前各种抗病毒逆转录疗法引起了脂肪分布和糖脂平衡的改变。目前新的药物疗法是否还有上述影响, 专家们用 CT 和 BMI 来评估监测疗法的作用并应对患者出现的变化<sup>[33]</sup>。

Pilar 等用 BMI, BIA 和 DXA 方法, 评价调整营养, 体育活动和行为等干预对过重和肥胖儿童青少年体成分的变化<sup>[34]</sup>。此外, 还用体成分的方法在临床床边评价老年人营养状态<sup>[35]</sup>。

Lu 等做了运动队血清鸢尾素的影响的研究并观察高脂肪喂养的 Wistar rats 的体成分, 发现游泳运动可降低体脂肪量 (DXA 法)<sup>[36]</sup>。

用干预疗法(西布曲明 sibutramine 治疗和控制饮食)处理的肥胖的大鼠, 用 MRI 和 MRS 及血液化学方法检测肝、腹、骨骼肌的脂肪代谢变化, 发现 3 天内用西布曲明治疗的大鼠肝脂肪和肌细胞内脂类降低, 甘油三酸酯在 1-3 天内降低<sup>[37]</sup>。

用个体当前的体重与理想(或通常)体重之间差异与临床参数对照可评估死亡率和发病率的危险, 健康成人每天体重降低超过 0.5kg 表明能量或/和水负平衡。有临床意义的体重减少率是: 每周体重减少 1%-2%, 一个月减 5%, 三个月减 7.5% 或 6 个月减 10%, 绝对体重若为 75%-84% 通常体重或 80%-90% 理想体重表示轻度营养不良, 若 75%-84% 及 70%-79% 为中度营养不良。若  $\leq 75\%$  和  $\leq 69\%$  表示重度营养不良。绝对体重减至,  $< 55\%$ -60% 理想体重表明人处于饥饿的极限<sup>[38]</sup>。

进化: Zihlman 等做了倭黑猩猩与智人的体成分的比较, 发现从倭黑猩猩到智人体脂肪量在增加, 相对肌肉的重量下降, 肌肉再分配, 智人总的肌重量 1/2 在下肢, 14% 在上肢, 而倭黑猩猩 1/3 在上肢。反映了从黑猩猩到人的进化过程, 体成分提供了一个重要指标, 为人类进化提供一个新的证据<sup>[39]</sup>。

体成分的测定还应用于动物的检疫, 分类, 肉食动物的选择及价格等, 尤其是农场的肉食动物。要测量其组织深度、面积、体积、脂肪分布、肉、部分骨或骨矿。常用的测量方法是 CT, MRI, DXA 和 US, CT 是继 MRI, DXA 之后最准确的方法<sup>[40]</sup>。

### 2.3 方法有效性对比

用皮褶厚度, 腰围和 BMI 研究轮椅运动员的体成分状态, 提出预测体脂肪 % 的公式

并与 DXA 进行对比, 发现 BMI, 腰围和皮褶厚度都低估了脂肪含量<sup>[41]</sup>。用 A 超测皮下脂肪厚度和肌肉推算体成分和空气置换方法对比, 证明用 A 超测体脂肪 % 是可靠的<sup>[42]</sup>。

Eliane 等用 BIA1 (horizontal tetrapolar bioimpedance equipment; Biodynamics Model 450®) 和 BIA2 (vertical 8-electrode bioimpedance equipment; InBody 230®) 测量 500 名 10-19 岁巴西青少年的体成分并与 DXA (Lunar Prodigy Advance DXA System—analysis version: 13.31, GE Healthcare) 对比发现: 用 BIA2 与 DXA 测 % 体脂肪相关性好, 在过重组, 总误差  $\leq 2.5\%$ , 预测标准误小于  $3.5\%$ , 以 BIA2 的值最低。在过重组中, BIA1, BIA2 低估了体脂肪 %; 在正常组男性中, 高估了体脂肪 %。BIA2 更好一些<sup>[43]</sup>。Kriember 等还评价 333 名瑞士 6-13 岁儿童, 他们发现 BIA2 在评价瘦体重和分段体脂肪更准确<sup>[44]</sup>。Leahy 等评价 403 名 18-29 岁爱尔兰人时发现 BIA2 低估了体脂肪 % (男,  $24.6\%$ ; 女,  $32\%$ )<sup>[45]</sup>。2011 年 Verdich 等还做了 BIA 与 DXA 的对比分析<sup>[46]</sup>。

根据对 1006 例韩国人 19-87 ( $55.2 \pm 11.8$ ) 岁内脏脂肪面积测定, CT 与 BIA 测量结果相关性好 ( $r=0.605, p<0.0001$ ), 但  $BMI \geq 25 \text{ kg/m}^2$  或年龄  $\geq 50$  岁, 两种方法差异要大一些<sup>[47]</sup>。用皮褶钳子和超声测大腿皮褶厚度, 结果证明二者有强烈相关关系, 一致性宽度大, 但前者往往过高估计皮下脂肪厚度<sup>[48]</sup>。对牛皮癣病人与对照组的体成分分析中, DXA 比 BMI 和臀围在确定肥胖时更有优势<sup>[49]</sup>。MF-BIA (BIA-Tanita MC780) 与 DXA 对 7 天体育活动的健康成人的脂肪质量和非脂肪质量进行测量, 与 DXA 相比, 不论体育活动如何, BIA 提供了脂肪质量和瘦体重质量的满意结果<sup>[50]</sup>。

Wang 等对中国 255 名 9-19 岁儿童青少年的体成分用 4 种不同型号的 BIA (A: Biodynamics-310; B: Tanita TBF-543; C: Tanita BC-545; D: InBody520) 评价体脂肪 %, 以 DXA 作为对照标准。这 4 种 BIA 测量结果的相关性表明, A, B, C 与 DXA 的一致性较差, 中等一致的是 D 与 DXA, 但这种倾向与平均体脂肪 %, 在 BIA 与 DXA 之间有明显的正相关关系。用 BIA 评价中国儿童青少年的体脂肪 % 是有效的<sup>[51]</sup>。

按 BMI 把健康者分成低体重 (30 人), 正常体重 (15 人) 和过重 / 肥胖 (19 人) 三组, 比较 Bod Pod 和 DXA 的一致性。与 DXA 相比, 在低体重组, Bod Pod 过高估计了体脂肪 %, 低估超重者, 差异可达  $13\%$ 。在正常者和过重 / 肥胖者, Bod Pod 与 DXA 之间有较小的差异<sup>[52]</sup>。

## 2.4 体成分的差异

体成分的差异不仅表现在民族 / 人种上, 而且用不同的方法也会表现出测量偏差的民族 / 人种差异。BIA 比 DXA 低估体脂肪 %、脂肪质量和脂肪质量指数, 高估非脂肪质量和非脂肪质量指数, 在各民族 / 人种都如此。然而 BIA 与 DXA 之间的偏差在不同的民族 / 人种表现出不同的数值<sup>[53]</sup>。

WHO 成人数据库 BMI 资料表明: 平均说来, 女比男更胖, 男比女胖的早, 城市过重 / 肥胖发生率比偏僻地区高, 早胖提前, 胖的时间延长。生活在纽约的亚洲人与性别、年龄相匹配的白人比, 前者有低的 BMI 和高的脂肪 %。印度尼西亚、日本、波里尼西亚、新加坡、中国、马来西亚、印度与白人比, 上述 2 指标也不同。北京与荷兰人没有发现差异。肥胖流行最多的地区在大洋洲 (瑙鲁  $74.9\%$ , 汤加  $56.0\%$ , 库克群岛  $43\%$ , 法属波利尼西

亚 40.9%，北美（美国 30.9%，最低的 <5%），亚洲一部（印度 0.45%，老挝 1.1%，韩国 2.4%，日本 3.1，巴勒斯坦 3.4%），非洲（冈比亚 2.3%，加纳 3.1%）。性别差异：过重无明显差异。平均说来，女有更多脂肪，只发现 81% 国家男女差 +4.6%。女超过男肥胖最多的国家是非洲地区，南非 20.8%，埃及 20.4%，塞舌尔 19.7%。男大于女肥胖是在欧洲，克罗地亚、丹麦、爱托尼亚、爱尔兰、意大利、西班牙和瑞士。在 28 个国家男比女平均早肥胖 5.4%。目前，29 个国家中 22 国第二次调查，女肥胖在增加，平均 1.4%，男，在 29 个国家中 21 国增长。在过去 10 年中，美英两国早胖和肥胖明显增加<sup>[54]</sup>。

## 2.5 其他

从理论上讲， $R_{st}$  值应根据人体内每一个主要成分的质量来确定，但 DXA 的  $R_{st}$  值并不是这样得来的。Wang 等运用 DXA，中子活化分析， $^{40}\text{K}$  计数，水下称重， $^3\text{H}$  稀释分析方法评价了 11 种主要成分的总质量的 DXA 的  $R_{st}$  值及用 5 室模型得到 DXA 脂肪 %，结果支持用 DXA 方法测量脂肪的 %<sup>[55]</sup>。Heymsfield 等评价了多室分子水平体成分参考的方法。人体体成分测量模型有 2 室，3 室，4 室，6 室，应用不同的模型会有小的体脂肪测量差异，最近扩大了模型的应用，如测体内蛋白质总量<sup>[2,16,56]</sup>。二室模型往往对儿童、老人和患者不适用，但多室模型测量复杂，细分成分测量误差较大，宜慎重考虑。体细胞质量是活跃的代谢成分。脂肪组织遍布全身，其代谢特点取决于所处的位置<sup>[28]</sup>。

除了模型的研究之外，还对代谢理论进行了研究<sup>[4]</sup>。不同的器官消耗能量是不同的，脑，肝，心和肾的代谢率分别是骨骼肌的 18，15 和 33 倍，在用 FFM 做推测公式时，是假设一个匀质的组织，忽视了不同组织和器官有不同的代谢率。成人脑、肝、心、肾只占 REE 的 60%，但合在一起却小于 60% 或 70%FFM，而骨骼肌占 40%-50% 体重，却只占 18%-25%REE，人类按体重算 REE/ 体重 kg，新生儿最高，4 岁明显下降，以后继续下降至成人，年龄对这些器官有明显的影响<sup>[4]</sup>。

一般认为，能量平衡或维持体重是能量摄取与能量消耗相等，这时能量不会储存。宏观能量平衡<sup>[57]</sup>是在蛋白质、碳水化合物和脂肪的平衡都接近于 0 时发生，所以不仅有摄入能量与消耗能量的平衡，还有混合燃料氧化成分与食入燃料混合成分之间的相等。因为蛋白质的平衡以天为基础的，所以碳水化合物和脂肪提供了主要的能量摄取，体重的维持主要是碳水化合物和脂肪的功能。24 小时对正常体重男女的能量平衡研究表明，即使能量平衡与碳水化合物或蛋白质没有关系，能量平衡也与脂肪代谢正相关<sup>[58]</sup>。身体没有能力在整个时间里氧化更多的食入脂肪，就会导致脂肪储存，体重增加<sup>[59]</sup>。对 Pima 印第安人研究表明，自变量能量消耗与获得体重有关（正的脂肪平衡）<sup>[60]</sup>，体力活动可减少正的脂肪平衡<sup>[61]</sup>。

BMI 很简单，易于应用，但它在区分体脂肪和瘦体重方面有局限性。有时会影响对 BMI 的解释，如运动员有高的 BMI 值，这是因为肌质量增加，体重与年龄变化更加重了问题的复杂性。体脂肪相近时，女比男有较高的体脂肪 %。老年人比青年人有更多的脂肪。儿童与成人虽然计算 BMI 的方式相同，但解释不同，要结合年龄与性别。从出生 -2 岁 BMI 迅速增长，然后下降，5-6 岁上升以后直到整个儿童青少年。BMI 不直接评估脂肪，所以它不能作为诊断工具，只能作为一种筛查手段<sup>[62]</sup>。

新加坡学者对亚洲新生儿和 2 周龄婴儿的体成分的研究中，用 BIA 测量 FFM 并以 ADP



作为参考，还建立了预测公式，这个公式可以解释 88.9% 的变异，但没有超过 ADP<sup>[63]</sup>。

骨折，骨质，骨密度，骨微细结构力学，骨健康另有文章发表。

### 3 差距与未来

#### 3.1 我们的差距

传统方法多，新方法少：国内研究多限于传统的人体测量，如体质测量、皮褶厚度的测量、BMI 和 WHP 的计算，应用体成分的设备少，特别是用新的方法更少，新设备没有。这与我国体成分的研究起步较晚有关，除 1985 年、1992 年只查到一篇文章外，1994 年才开始每年有文章发表，2003 年以前，我们的文章每年发表的数量是一位数，从 2004 年开始是两位数，2015 年是三位数。应该说吴新智院士提出迎接人类学第二个春天以后，人类学专业委员会两次举办培训班以及浙江大学承办国际体成分学术会议之后，一些学校开始逐步购入体成分仪，应用 BIA 测量体成分。目前，国内研究很少应用 DXA，MRI，POD BOD(9.2% 的文章)或其他新的设备，但在国外发表的文章应用新的仪器较多(44.4% 文章)。

积累资料多，结合应用少：国内与国外发表的文章有着明显的不同，外文发表的文章绝大部分都是联系临床应用，如预测心血管病的危险因素、糖尿病的体成分变化、肾病、透析等等，国内的文章相当一部分为测量一下体成分得到数据就了事。有的方法相同，无新意，只起到资料积累的作用，体现不出研究的意义与价值。

一般性研究多，有特点的研究少：从年龄上看，多为成人，两头年龄少（如婴儿、老年人）。体成分对不同年龄的人是不同的，而且婴幼儿的测量公式也不同于成年人，未见国内文章关于这方面的研究。国内外体成分理论及设备研究少，国外研究部门和公司合作研究仪器。国内只研究现代人的体成分，没有古人及动物（特别是灵长类）、化石体成分方面的研究。国外把体成分看作一种工具，深入很多方面，如用体成分来观测干细胞移植效果评价，还有方法和模型方面的研究，国内几乎没有。

单一部门研究多，多单位合作少：国内文章（80.1%）多为单一学科发表，而国外发表的文章单一学科的只有 11.1%。从获得基金情况看，国内文章 11.0% 得到国家基金资助，还有一项国际合作项目，而国外发表的文章中，40.7% 有国家基金资助，17.3% 是国际合作项目，7.4% 是与香港合作项目。国外发表的文章，凡获得基金资助的都是两个单位以上的合作项目。单一的学科或部门很难获得大数据，只有合作才有可能得到基金资助。

#### 3.2 展望

WHO 确认，儿童肥胖是 21 世纪最严重的公共卫生挑战<sup>[64]</sup>。国际肥胖工作力 (International Obesity Task Force, IOTF) 报告，10 名 5-17 岁儿童中就有一名过重，5-17 岁儿童中 30-45 百万肥胖<sup>[65]</sup>。在中国儿童青少年中，在 1982-2000 年间，过重与肥胖为 1.4-5.9%（男）和 1.4-4.5%（女）<sup>[66]</sup>。

我们要广泛应用各种测量手段，把传统的方法和新的方法结合在一起去探讨体成分问题。要注意密切结合人民健康问题，结合临床应用，结合体育、营养、药物、减重的监

测, 解决人们健康等实际问题。同时要深入研究检测方法、监测模型、体成分理论方面。进一步扩大研究范围, 在婴幼儿、老年人, 在古人及化石, 动物等诸多领域开展研究。加强多单位、多学科的合作, 更多地申请基金资助, 把体成分的研究不断推向新的高峰。

### 参考文献

- [1] 亨利 C·卢卡斯基. 人体成分评估的传统方法和统计方法[J]. 四川体育科学, 1992, (04): 28-33
- [2] Steven B Heymsfield, Cara B Ebbeling, Jolene Zheng, et al. Multi-Component molecular-level body composition reference methods: evolving concepts and future directions[J]. *Obes Rev*, 2015, 16(4): 282-294
- [3] Seon Yeong Lee, Dymrna Gallagher. Assessment methods in human body composition[J]. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*, 2008, 11(5): 566-572
- [4] Vickie Baracos, Paolo Casserotti, Carrie P Earthnan, et al. Advances in the science and application of body composition measurement[J]. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*, 2012, 36(1): 96-107
- [5] Heymsfield SB, Wang Z, Visser M, et al. Techniques used in the measurement of body composition: an overview with emphasis on bioelectrical impedance analysis[J]. *Am J Clin Nutr*, 1996, 64:478S-484S
- [6] White LJ, Ferguson MA, McCoy SC, et al. Intramyocellular lipid changes in men and women during aerobic exercise: a (1)H-magnetic resonance spectroscopy study[J]. *J Clin Endocrinol Metab*, 2003, 88(12): 5638-5643
- [7] Nakagawa Y, Hattori M, Harada K, et al. Age-related changes in intramyocellular lipid in humans by in vivo H-MR spectroscopy[J]. *Gerontology*, 2007, 53(4): 218-223
- [8] Flüchter S, Haghi D, Dinter D, et al. Volumetric assessment of epicardial adipose tissue with cardiovascular magnetic resonance imaging[J]. *Obesity (Silver Spring)*, 2007, 15(4): 870-878
- [9] Fattori R, Tricoci P, Russo V, et al. Quantification of fatty tissue mass by magnetic resonance imaging in arrhythmogenic right ventricular dysplasia[J]. *J Cardiovasc Electrophysiol*, 2005, 16(3): 256-261
- [10] Gallagher D, Albu J, He Q, et al. Small organs with a high metabolic rate explain lower resting energy expenditure in African American than in white adults[J]. *Am J Clin Nutr*, 2006, 83(5): 1062-1067
- [11] Nedergaard J, Bengtsson T, Cannon B. Unexpected evidence for active brown adipose tissue in adult humans[J]. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 2007, 293(2): E444-452
- [12] Wang J, Gallagher D, Thornton JC, et al. Validation of a 3-dimensional photonic scanner for the measurement of body volumes, dimensions, and percentage body fat[J]. *Am J Clin Nutr*, 2006, 83(4): 809-816
- [13] Sawada K, Morishige K, Ohmichi M, et al. Peripheral quantitative computed tomography (pQCT) is useful for monitoring bone mineral density of the patients who receive hormone replacement therapy (HRT) [J]. *Maturitas*, 2007, 56(4): 343-349
- [14] MacNeil JA, Boyd SK. Accuracy of high-resolution peripheral quantitative computed tomography for measurement of bone quality[J]. *Med Eng Phys*, 2007, 29(10): 1096-1105
- [15] MacNeil JA, Boyd SK. Load distribution and the predictive power of morphological indices in the distal radius and tibia by high resolution peripheral quantitative computed tomography[J]. *Bone*, 2007, 41(1): 129-137
- [16] Heymsfield SB, Lohman TG, Wang Z, et al. *Human Body Composition*. 2nd ed. Human Kinetics, Champaign, IL: 2005
- [17] Chamney PW, Wabel P, Moissl UM, et al. A whole-body model to distinguish excess fluid from the hydration of major body tissues[J]. *Am J Clin Nutr*, 2007, 85(1): 80-89
- [18] Wells JC, Treleaven P, Cole TJ. BMI compared with 3-dimensional body shape: the UK National Sizing Survey[J]. *Am J Clin Nutr*, 2007, 85(2): 419-425
- [19] Selkow NM, Pietrosimone BG, Saliba SA. Subcutaneous thigh fat assessment: A comparison of skinfold calipers and ultrasound imaging[J]. *J Athl Train*, 2011, 46(1): 50-54
- [20] Bellisari A, Roche AF, Siervogel RM. Reliability of B-mode ultrasonic measurements of subcutaneous adipose tissue and intra-abdominal depth: comparison with skinfold thicknesses[J]. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 1993, 17(8): 475-480
- [21] Rossi AP, Harris TB, Fantin F, et al. The multidomain mobility lab in older persons: from bench to bedside. The assessment of body composition in older persons at risk of mobility limitations[J]. *Curr Pharm Des*, 2014, 20(19): 3245-3255

- [22] Dale R wanger. Ultrasound as a tool to assessment body fat[J]. *J Obes*,2013:280713
- [23] Baracos VE, Reiman T, Mourtzakis M, et al. Body composition in patients with non-small cell lung cancer: a contemporary view of cancer cachexia with the use of computed tomography image analysis[J]. *Am J Clin Nutr*, 2010, 91(4): 1133S-1137S
- [24] Simona Bertoli, Alessandro Leone, Laila Vignati, et al. Metabolic correlates of subcutaneous and visceral abdominal fat measured by ultrasonography: a comparison with waist circumference[J]. *Nutr J*,2015,15:2
- [25] Ayumi Ido, Yuki Nakayama, Kojiro Ishii, et al. Ultrasound-Derived Abdominal Muscle Thickness Better Detects Metabolic Syndrome Risk in Obese Patients than Skeletal Muscle Index Measured by Dual Energy X-Ray Absorptiometry[J]. *PLOS ONE*, 2015, 10(12): e0143858
- [26] Diana P Brostow, Alan T Hirsch, Tracie C Collins, et al. The role of nutrition and body composition in peripheral arterial disease[J]. *Nat Rev Cardiol*,2012,9(11): 634-643
- [27] Fu-Zong WU, Kang-Ju Chou, Yi-Luan Huang, et al. The relation of location-specific epicardial adipose tissue thickness and obstructive coronary artery disease; systemic review and meta-analysis of observational study[J]. *BMC Cardiovascular Disorders*, 2014, 14:62
- [28] Going Scott, Melanie Hingle, Joshua Farr. *Body composition in Modern Nutrition in Health and Disease Method*. 2017 by A Calharine Ross, Benjamin Caballero, Robgett J, et al Wolters Kluwer: Lippincott Williams & Wilkins. P635
- [29] Ruchi Rastogi, Subhash Gupta, Bhavya Garg, et al. Comparative accuracy of CT, dual-echo MRI and MR spectroscopy for preoperative liver fat quantification in living related liver donors[J]. *Indian J Radiol Imaging*, 2016,26(1): 5-14
- [30] Hung YC, Bauer JD, Horsely P, et al. Changes in nutritional status, body composition, quality of life, and physical activity level of cancer patients undergoing autologous peripheral blood stem cell transplantation[J]. *Support Care Cancer*, 2013, 21(6): 1579-1586
- [31] Hung YC, Bauer JD, Horsely P, et al. Body composition following stem cell transplant: comparison of bioimpedance and air-displacement plethysmography[J]. *Nutrition*, 2014, 30(9): 1000-1006
- [32] Inaba H, Yang J, Kaste SC, et al. Longitudinal changes in body mass and composition insurvivous of childhood hematologic malignancies after allogeneic hematopoietic stem-cell transplantation[J]. *J Clin Oncol*, 2012, 10(32): 3991-3997
- [33] Srinivasa S, Grinspoon SK. Metabolic and body composition effects of newer antiretrovirals in HIV-infected patients[J]. *European J of Endocrinology*, 2014,170(5): R185-202
- [34] Pilar de Miguel-Etayo, Luis A Moreno, Iris Iglesia, et al. Body composition changes during interventions to treat overweight and obesity in children and adolescents, a descriptive[J]. *Nutr Hosp*, 2013, 28(1): 52-62
- [35] Earthman CP. *Body Composition Tools for Assessment of Adult Malnutrition at the Bedside: A Tutorial on Research Considerations and Clinical Applications*[J]. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*. 2015, 39(7): 787-822
- [36] Lu Y, Li H, Shen SW, et al. Swimming exercise increases serum irisin level and reduces body fat mass in high fat-diet fed Wistar rats[J]. *Lipids in Health Dis*, 2016, 15(1): 93
- [37] Arunima Pola, Suresh Anand Sadananthan, Venkatesh Gopalan, et al. Investigation of Fat Metabolism during Antiobesity Interventions by Magnetic Resonance Imaging and Spectroscopy[J]. *Magn Reson Insights*, 2014, 7:33-40
- [38] Pietrobelli A, Allison DB, Heshka S. Sexual dimorphism in the energy content of weight change[J]. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 2002, 26(10): 1339-1348
- [39] Adrienne L Zihlmen, Debra R Bolter. Body composition in *Pan paniscus* compared with *Homo sapiens* has implications for changes during human evolution[J]. *PNAS*, 2015, 112(24): 7466-7471
- [40] AM Scholz, L Büniger, J Kongsro, et al. Non-invasive methods for the determination of body and carcass composition in livestock: dual-energy X-ray absorptiometry, computed tomography, magnetic resonance imaging and ultrasound: invited review[J]. *Animal*, 2015, 9(7): 1250-1264
- [41] Willems A, Paulson TA, Mhairi K, et al. Dual-Energy X-Ray Absorptiometry, Skinfold Thickness, and Waist Circumference for assessing body composition in ambulant and non-ambulant wheelchair games players[J]. *Front Physiol*, 2015, 6: 356
- [42] Bielemann RM, Gonzalez MC, Barbosa-Silva TG, et al. Estimation of body fat in adults using a portable A-mode ultrasound[J]. *Nutrition*, 2016, 32(4): 441-446
- [43] Eliane Rodrigues de Faria, Franciane Rocha de Faria, Vivian Siqueira Santos Gonçalves, et al. Prediction of body fat in adolescents: comparison of two electric bioimpedance devices with dual-energy X-ray absorptiometry[J]. *Nutr Hosp*, 2014, 30(6): 1270-1278
- [44] Kriemler S, Puder J, Zahner L, et al. Cross-validation of bioelectrical impedance analysis for the assessment of body composition

- in a representative sample of 6- to 13-year-old children[J]. *Eur J Clin Nutr*, 2009,63(5): 619-626
- [45] Leahy S, O'Neill C, Sohun R, et al. A comparison of dual energy X-ray absorptiometry and bioelectrical impedance analysis to measure total and segmental body composition in healthy young adults[J]. *Eur J Appl Physiol*, 2012, 112(2): 589-595
- [46] Verdich C, Barbe P, Petersen M, et al. Changes in body composition during weight loss in obese subjects in the NUGENOB study: comparison of bioelectrical impedance vs dual-energy X-ray absorptiometry[J]. *Diabetes Metab*, 2011, 37(3): 222-229
- [47] Dong-Hwa Lee, Kyeong Seon Park, Soyeon Ahn, et al. Comparison of Abdominal Visceral Adipose Tissue Area Measured by Computed Tomography with That Estimated by Bioelectrical Impedance Analysis Method in Korean Subjects[J]. *Nutrients*, 2015, 7(12): 10513-10524
- [48] Selkow NM, Pietrosimone BG, Saliba SA. Subcutaneous Thigh Fat Assessment: A Comparison of Skinfold Calipers and Ultrasound Imaging[J]. *J Athl Train*, 2011, 46(1): 50-54
- [49] Michelle dos Santos Diniz, Nádia Couto Bavoso, Adriana Maria Kakehasi, et al. Assessment of adiposity in psoriatic patients by dual energy X-ray absorptiometry compared to conventional methods[J]. *An Bras Dermatol*, 2016, 91(21): 150-155
- [50] Julien Verney, Chloé Schwartz, Saliha Amiche, et al. Comparisons of a Multi-Frequency Bioelectrical Impedance Analysis to the Dual-Energy X-Ray Absorptiometry Scan in Healthy Young Adults Depending on their Physical Activity Level[J]. *J Hum Kinet*, 2015, 47:73-80
- [51] Lin Wang, Stanley Sai-chuen Hui. Validity of Four Commercial Bioelectrical Impedance Scales in Measuring Body Fat among Chinese Children and Adolescents[J]. *BioMed Res Int*, 2015, 614858
- [52] David W. Lowry, A. Janet Tomiyama. Air displacement plethysmography versus dual-energy X-ray absorptiometry in underweight, normal-weight, and Overweight/Obese individuals [J]. *PLoS ONE*, 2015, 10(1): e0115086
- [53] Katie A Meyer, Sarah Friend, Peter J Hannan, et al. Ethnic variation in body composition assessment in a sample of adolescent girls[J]. *Int J Pediatr Obes*, 2011, 6(56): 481-490
- [54] Mascie-Taylor CG, Goto R. Human variation and Body Mass Index: A review of the universality of BMI cut-off, gender and urban-rural differences, and secular changes[J]. *J Physiol Anthropol*, 2007, 26(2): 109-112
- [55] Zimian Wang, Steven B Heymsfield, Zhao Chen, et al. Estimation of percentage body fat by dual-energy X-ray absorptiometry: evaluation by in vivo human elemental composition[J]. *Phys Med Biol*, 2010, 55(9): 2619-2635
- [56] Heymsfield SB, Wang Z, Baumgartner RN, et al. Human body composition: advances in models and methods[J]. *Annu Rev Nutr*, 1997, 17:527-558
- [57] Schrauwen P, van Marken Lichtenbelt WD, Saris WH, et al. Changes in fat oxidation in response to a high-fat diet[J]. *Am J Clin Nutr*, 1997, 66(2): 276-282
- [58] Abbott WG, Howard BV, Christin L, et al. Short-term energy balance: relationship with protein, carbohydrate, and fat balances[J]. *Am J Physiol*, 1988, 255(3 pt 1): E332-E337
- [59] Swinburn B, Ravussin E. Energy balance or fat balance[J]? *Am J Clin Nutr*, 1993, 57(5): 766S-770S
- [60] Zurlo F, Lillioja S, Esposito-Del Puente A, et al. Low ratio of fat to carbohydrate oxidation as predictor of weight gain: study of 24-h RQ[J]. *Am J Physiol*, 1990, 259(5 pt 1): E650-E657
- [61] Smith SR, de Jonge L, Zachwieja JJ, et al. Concurrent physical activity increases fat oxidation during the shift to a high-fat diet[J]. *Am J Clin Nutr*, 2000, 72(1): 131-138
- [62] Sochung Chung. Body mass index and body composition scaling to height in children and adolescent[J]. *Annals of Pediatric Endocrinology & Metabolism*, 2015, 20:125-129
- [63] Mya-Thway Tint, Leigh C Ward, Shu E Soh, et al. Estimation of fat-free mass in Asian neonates using bioelectrical impedance analysis[J]. *Br J Nutr*, 2016, 115(6): 1033-1042
- [64] World Health Organization, Obesity and overweight, Fact Sheet No. 311, 2011, <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/en/index.html>
- [65] Lobstein T, Baur L, Uauy R, et al. Obesity in children and young people: a crisis in public health[J]. *Obes Rev*, 2004, 5 Suppl 1:4-104
- [66] Li Y, Schouten EG, Hu X, et al. Obesity prevalence and time trend among youngsters in China, 1982-2002[J]. *Asia Pac J Clin Nutr*, 2008, 17(1): 131-137