

体质测量在超重和肥胖研究中的应用

席焕久, 李文慧, 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 121001

摘要: 本文通过查阅文献, 对体质测量在评估超重、肥胖和预测健康风险中的应用进行了回顾性调查、总结和分析, 并对体质量指数、体脂肪指数和内脏脂肪指数等测量指标的优势和局限性进行了分析和讨论。由于预测结果受多种因素的影响, 因而预测评价时应根据不同地域的不同的研究对象和不同的预测风险, 选用不同的测量指标和不同的测量工具。为同行们今后应用提供参考, 对防治与肥胖相关疾病具有重要意义。

关键词: 肥胖; 人体测量; 健康; 体质量指数; 体脂肪指数

Application of anthropometry in study of overweight and obesity

XI Huanjiu, LI Wenhui, LIU Yingying

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

Abstract: By reviewing the literatures, the paper summarized the anthropometry application in assessment of overweight/obesity and the prediction of health risk, analyzed and reviewed the advantages and limitations of the body mass index(BMI), body adiposity index(BAI) and visceral adiposity index(VAI), and the like. It is suggested that the different indexes should be chosen with different objects of study and different risk targets predicted. It is important to provide related reference for colleagues and the prevention and treatment of obesity-related diseases in the future.

Keywords: Obesity; Anthropometry; Health; BMI; BAI

1 引言

按照世界卫生组织 (WHO) 的定义, 超重和肥胖是指脂肪异常或过多积累导致健康不良^[1], 目前, 超重和肥胖已成为全球的公共卫生问题。本文仅就肥胖的简便的体质测量方法加以介绍与分析, 落实吴新智院士关于开展体成分研究的倡议, 进一步推动全国的体成分研究, 预防肥胖相关疾病并降低其风险, 以提高人民的健康水平。

收稿日期: 2018-06-27; 定稿日期: 2019-09-04

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, Liu YY. Application of anthropometry in study of overweight and obesity[J]. Acta Anthropologica Sinica, 2021, 40(1): 328-345

2 肥胖与脂肪

肥胖主要是脂肪过多或分布异常, 脂肪是人体成分的重要组成部分, 是机体不可缺少的代谢物质, 但是, 脂肪过多不仅不利于身体健康, 还会带来很多害处。研究表明, 肥胖是心血管疾病、糖尿病、骨骼肌紊乱 (如骨关节炎)、某些癌症 (如乳腺癌、子宫内膜癌、前列腺癌、肝癌、胆囊癌和大肠癌等) 的主要风险因素, 涉及共病发病率和死亡率的增加, 使人的生活质量降低, 寿命减少^[1-2]。美国医学会把肥胖分类在疾病之中, 目前肥胖已成为全球死亡第 5 大危险因素^[3-5]。

脂肪按层次可分为脂肪细胞和脂肪组织。脂肪组织 (细胞) 分白色脂肪 (细胞) 与褐色脂肪 (细胞), 肥胖或是脂肪细胞数量的明显增加或 / 和细胞体积的增大所致。肥胖的健康后果可分二类: 1) 脂肪质量增加, 引起如骨关节炎, 阻塞性睡眠暂停等; 2) 细胞数量增加, 引起如糖尿病、癌、心血管病、非酒精性脂肪肝^[3]。

脂肪储存的燃料基地在脂肪组织, 控制着脂肪代谢和血糖, 除储存能量外, 还行使内分泌功能^[6]。脂肪细胞、脂肪驻留免疫细胞和内皮细胞产生很多活性物质, 调节代谢和炎症, 在发展肥胖代谢综合征时, 炎症和胰岛素抵抗起关键作用, 导致高死亡率^[7, 8]。血压、体质量指数 (Body mass index, BMI)、腹围、血糖、高甘油三酯血症和高密度脂蛋白被认为是代谢综合征的重要指标, 反映了脂肪的变化。慢性能量摄入过多会引起内脏组织扩张, 刺激巨噬细胞的生成, 巨噬细胞呈现炎症表型并产生细胞因子, 直接干扰胰岛素信号因子, 引起胰岛素抵抗。胰岛素抵抗在各种组织中会产生不同的表现^[9]。

肥胖个体不只是脂肪量的过多, 而且还有分布不均的问题^[3], 以中心性分布对人体的危害最重。从分布部位来说, 分皮下脂肪与内脏脂肪, 以内脏脂肪积累过多对健康影响最大。

目前, 引起超重和肥胖的人口数量在不断增加。据 WHO 报告, 自 1975 年以来世界范围内的肥胖翻了 3 倍 (表 1)。

这不仅是发达国家的问题, 也成为中、低等收入国家的社会问题。超重儿童中, 3000 万生活在发展中国家, 1000 万生活在发达国家, 世界范围内超重引起的死亡比体质量不足引起的死亡还多^[3]。肥胖与心血管病 (心绞痛和心梗) 有关^[11]。2002 年一些报

表 1 超重与肥胖趋势
Tab.1 Trends of overweight and obesity

时间/Time	国家或地区/Country or Area	年龄/Years	超重/Overweigh	肥胖/Obesity
2013	全球/All the World	18+	$n=12.5$ 亿	$n=6.5$ 亿
		<5	$n>4100$ 万	$n>4100$ 万
		5-19	$n>340$ 万	$n>340$ 万
2000-2016	非洲/Africa	<5	增近50%	
	亚洲/Asia	?	近1/2	近1/2
1975-2016	全球/All the World	5-19	4%-18%	
2017	中国大陆/Mainland China	?	Male 10.8%; Female 14.8%	
		20<	Male 23%; Female 14%	Male 23%; Female 14%

源自 WHO, 2017^[11]; Fedewa, 2018^[10]

告指出, 20% 缺血性心脏病是因肥胖所致, 而 2008 年欧洲人口普查时这个数字竟高达 35%, 肥胖增加了很多躯体与精神疾病。这些共病最普遍的表现是综合征, 包括 2 型糖尿病, 高血压, 高胆固醇, 高甘油三酯血症。肥胖与 2 型糖尿病关系最强烈, 64% 男和 27% 女糖尿病患者身体脂肪过多。体脂增加, 改变了身体对胰岛素的反应, 潜在性地导致胰岛素抵抗, 脂肪升高也产生炎症前的状态和血栓前状态^[3]。

肥胖是世界上可预防的死因之一, 与 BMI(I_m) 有正相关性。美欧大规模研究发现, $20 < I_m < 25 \text{ kg/m}^2$ 的不吸烟者死亡率最低; $24 < I_m < 27 \text{ kg/m}^2$ 的当前吸烟者, 其死因中任一个参数变化都会增加死亡率的风险。若 $I_m > 32 \text{ kg/m}^2$, 16 岁以下肥胖者, 平均减寿 6-7 年; 若 $30 < I_m < 35 \text{ kg/m}^2$, 减寿 2-4 年, 重度肥胖者 ($I_m > 40 \text{ kg/m}^2$) 减寿 10 年^[3, 12]。

肥胖的增加给各国带来沉重的经济负担。据报, 44% 的糖尿病负担, 23% 缺血性心脏病的负担, 7%-41% 某些癌症负担是超重和肥胖所致^[3]。不仅如此, 而且还带来严重的社会和健康问题。

肥胖是很多慢性疾病的危险因素, 体脂量 (特别是脂肪分布或肥胖) 成为健康的危险指征, 肥胖成为健康的重要问题, 有效地减少处于危险状态和相关慢性疾病患者的脂肪, 成为主要的预防策略^[4, 13]。目前有很多评价脂肪的方法^[14], 双能 X 线吸收法 (dual-energy X-ray absorptionmetry, DXA) 的测量最为准确和全面, 被称为“金标准”; 空气置换分析 (air displacement plethysmography, ADP) 与双能 X 线吸收法相比, 体脂率对瘦人高估而对较重者低估; CT 和磁共振可评价内脏脂肪或细胞内脂肪, 等等。以上设备价格都比较昂贵, 常规用于临床背景和 / 或实验室内, 技术复杂, 携带不便, 不适合大规模普查^[15]; 相反, 简便的体质测量方法——体质量指数 (BMI)、体脂肪指数 (Body adiposity index, BAI)、内脏脂肪指数 (Visceral adiposity index, VAI)、臀围、腰围、皮褶厚度等测量深受欢迎, 成为评价超重与肥胖以及预测健康风险的重要工具, 本文将重点介绍。

3 体质量指数

3.1 常用的肥胖分类方法

BMI 是身体质量与身高的比值, 单位是 kg/m^2 。1832 年, Adolphe Quetelet 首先提出^[16], 1972 年 Keys 发现 BMI 与体脂率的关系比其他体质测量指标的都强烈^[17], 1997 年 WHO 将其作为肥胖的分类工具。规定: $I_m \leq 17 \text{ kg/m}^2$, 轻、重度瘦; $I_m < 18.5$, 低体质量; $18.5 < I_m < 24.99 \text{ kg/m}^2$, 正常; $I_m \geq 25 \text{ kg/m}^2$, 超重; $25 < I_m < 29.99 \text{ kg/m}^2$, 肥胖前; $I_m \geq 30 \text{ kg/m}^2$, 肥胖; $I_m \leq 35 \text{ kg/m}^2$, I° 肥胖; $I_m < 40 \text{ kg/m}^2$, II° 肥胖; $I_m > 40 \text{ kg/m}^2$, III° 肥胖^[1]。亚洲的标准略低。BMI 用于评价身体肥胖几乎有近 200 年历史, 不仅适用于大规模的流行病学调查, 也应用于临床实践^[18]。

3.1.1 良好的测量工具

体质量测量低价、简便、应用广泛, 具有良好的有效性和准确性等特点^[19-20]。与 BAI、生物电阻抗分析 (Bioimpedence analysis, BIA) 相比, BMI 与双能 X 线吸收法的相

关性良好 ($r=0.67$)^[21]。BMI 的平均体脂率变化, 男 16-19 岁时为 22.9%, 60-79 岁时为 30.9%; 女则分别为 32.0% 和 42.4%^[22]。

在体脂代谢和风险预测方面 BMI 好于 BAI^[20], BMI 与体脂率的关系^[23]比 BAI 与体脂率的关系更强烈^[24], 与成人代谢病也有很好的相关关系^[19]。在剑桥大学做的 Meta 分析中, BMI 与全球的死亡率强烈正相关^[8]。

美国成人研究中, BMI 和腰围、皮褶厚度与冠心病风险的关系比 BAI 强烈, 测体质量困难时, 腰围应当是选择的指标, 而不是 BAI^[25]。在预测儿童体脂率时, BMI 是较可靠的指标^[26], 但也有不同意见^[19]。

3.1.2 评价体质量而不是脂肪

体质量测量有一定的局限性, 并非是一种准确测量健康个体和病人的方法^[18]。它并不直接评估脂肪, 不能分辨是脂肪变化还是肌肉的变化, 所以它不能作为诊断工具, 只能作为一种筛查手段^[27]。Gupta 等认为, BMI 主要是评价体质量是否过多, 而不是脂肪是否过多, 不能区分脂肪与瘦体质量, 不能区分肌重与脂肪重^[28], 有些学者也指出, BMI 没有考虑到脂肪分布, 也不能区分脂肪的部位^[29]。脂肪的增加还受性别、年龄、遗传、运动和种族/民族等多种因素影响, 不同性别、年龄、种族/民族的同一 BMI 却表现不同的体脂, 因而制约其应用。BMI 常常低估非白人(特别是亚洲人)的肥胖程度^[30], 即便是训练有素者也高估瘦组织的比例^[19], BMI 是评价脂肪相对弱的指标^[31]。在评价瘦体质量高的人(如运动员)特别不准, 在不同的民族中也不一致的^[32], 由于肌质量的差异, 可能发生对个体脂肪评价的错误, 某些明显的肥胖者却被忽略^[33]。按 BMI 标准会把高肌质量的个体, 归类于超重或肥胖, 使体脂率高的受试者可出现在正常范围内^[34]。

BMI 与总脂肪的关系可能不是唯一决定与心脏代谢风险关系的指标^[29], 在难于测量体质量的地方(如在发展中国家)也不能应用。在对 3822 名军队防火队员检查发现, BMI 与体脂率(皮褶厚度法)二者一致性达到 85.5%。尽管 BMI 低估了肥胖, 但特异性高($\geq 81.2\%$)和敏感性低($\leq 67.0\%$), $27.0 < I_m < 30.0 \text{ kg/m}^2$ 的 BMI 往往分类不当^[19]。

3.2 BMI 的差异探讨

BMI 在全球范围虽最广泛地用于测量肥胖, 但仍有争论, 主要集中在 BMI 是否适合于不同种族/民族人口的肥胖标准, 缺乏系统的理论分析。用 BMI 测肥胖, 为什么各种族/民族不同, 同一性别的体脂率也不同? 一般对这些问题的回答是, 因为相同的身高和体质量, 某些人比其他人有较多的瘦质量和较少的脂肪质量。但从另一个角度上看, 涉及 BMI 更加复杂的问题。Heymsfield 等提出了新的定量视角, 从种族和年龄角度回答这些问题。他根据 1999-2006 年美国国家健康和营养调查的资料, 用双能 X 线吸收法作对照, 对非西班牙裔美国白人, 非西班牙裔美国黑人和墨西哥裔美国人进行研究。他认为, 以前应用的都是小样本, 其准确性值得研究^[35]。

他们用 NHANES 中 30 岁者为对象, 以 25 kg/m^2 作为界限, 发现男女脂肪率的序列是非西班牙裔黑人 < 非西班牙裔白人 < 墨西哥裔美国人, 这表明 BMI 相同而种族/民族不同年青成人的脂肪率存在明显差异。

BMI 与脂肪关系的种族/民族差异问题受到数学公式结构和身体不同部位体质量的

影响^[35]。

3.2.1 数学公式结构

BMI 公式为 $I_m = m/h^{\alpha}$, 式中 $\alpha=2$; 若用体质量的自然对数对身高的自然对数做回归, 其公式可写成 $\ln m = \alpha \ln h + \ln k$, 这种体质量与身高之间的函数关系也可以写成 $m = kh^{\alpha}$, α 是 Quetelet 最初发现的约为 2 的值。实际上, α 不总是 2, 但其微小变化就会影响 BMI 的值。在非西班牙裔美国白人、黑人与墨西哥裔美国人中, 至少有二个因素可能使 α 发生偏差, 一是年龄较大的人常比年青人矮, α 水平可能受年龄的影响, 这些老年人较重, 有更多的脂肪; 二是儿童的肥胖与生长加速, 引起身高变化与肥胖, 这都影响 α 水平。在用年龄、脂肪率做协变量回归时发现种族/民族、人口的 α 值都非常接近于 2, 男略大于 2 ($2.02 < \alpha < 2.29$), 女略小于 2 ($1.94 < \alpha < 1.99$), 在这三个种族/民族的样本中, α 值是 2 左右, 按年龄、脂肪调正之后亦是如此^[35]。

3.2.2 局部体质量的影响

从解剖学上, 人的体质量可包括头、腿、手臂、躯干和其他 (非骨骼肌与血管等) 五部分重量。按局部分可得到不同部位的 α 值, 头部约为 1, 腿为 2.3-2.5, 手臂和躯干接近于 2。这意味着高身材者, 腿有较大比例的重量, 矮身材者, 头有较小比例的重量。成人瘦体质量在 1999-2006 年美国国家健康和营养调查样本中, α 值男略大于女。若把瘦体质量分为骨、骨骼肌和其他三部分 (非骨骼肌瘦组织和器官), 各性别、种族/民族组骨、骨骼肌质量 α 值接近 2.3-2.5, 其他部分为 1.7-2.0, 骨和骨骼肌保持相互稳定的关系。高身材者具有较大的瘦体质量和体质量, 矮者则相反。这些发现与以前观察都证实, 与 BMI 相同的矮者相比, 高身材者有较大比例的体质量 (双腿骨、骨骼肌)。这说明, 即使 2 个人可能都有理想的 BMI 和瘦体质量指数, 但他们仍有不同的局部性重量, 但这取决于身高。对年青成人 ($\geq 18-29$ 岁) 来说, 非西班牙裔黑人男女与非西班牙裔白人、墨西哥裔美国人相比, 具有相对大的体质量 (四肢)、躯干质量相对小, 非西班牙裔男女有较大的骨骼肌质量 (均差 3%-5% 单位), 而其他部分瘦质量少 (均差 1%-2% 单位), 这导致体成分组分差异 (3%-5%~1%-2%), 因而产生较大的瘦体质量和较少的均脂肪率。然而在男性: 瘦体质量 % 和脂肪率非西班牙裔黑人、白人的界限明显, 而在黑人男女中相近, 非西班牙裔黑人比非西班牙裔白人、墨西哥裔美国人骨骼肌质量有较大的瘦体质量, 这反映了较大骨骼肌质量与其他部分较小质量的主要明显差异。

非西班牙裔黑人与非西班牙裔白人、墨西哥裔美国人之间骨骼肌质量之间差异几乎是组间体脂率差异的 2 倍。非西班牙裔黑人男女的腰围, 比与 BMI 相近和较高的非西班牙裔白人、墨西哥裔美国人少 (均差 2-7 cm), 尽管非西班牙裔黑、白人女性之间无显著差异^[35]。在躯干的体质量方面, 墨西哥裔美国人更大 (墨西哥裔美国男人和非西班牙裔白人男性间无显著差异), 在附肢质量方面, 墨西哥裔美国人更小, 但显著性差异只在与非西班牙裔黑人比较时, 与非西班牙裔白人或黑人相比, 墨西哥裔美国男女都有小的骨骼肌质量, 有相同或少的其他部位质量。综合这些说明, 体成分产生差异 (为 2%-6% 和 0-1%), 导致墨西哥裔美国男女比非西班牙裔白人、黑人有较小的瘦体质量和较大的体脂率 (均差 3%-5%)。墨西哥裔美国男女与 BMI 相近、身高较大的非西班牙裔白人和墨西哥裔美国

人相比腰围也大(均差 2-7 cm)^[35]。

老年人与青年人相比,前者有较小的四肢骨骼肌质量和相对大的躯干、其他部分瘦质量,对相同身高和 BMI 的人,真正体成分的影响是较小的瘦体质量和较大的脂肪质量。尽管老年人和青年人有相同的 BMI,但实质上,老年人的骨骼肌和骨质量减少了。老年人有较大的躯干质量和腰围,说明腰围和 BMI 并不完全一致,二者常做健康风险指标而加以对比^[35]。

上述说明, BMI 的值受 α 值大小的影响,不同年龄、性别、种族/民族的人,身体各部质量不同,这些都影响 α 值大小,从而导致 BMI 的差异。

4 体脂肪指数

4.1 体脂肪指数的出现

体脂肪指数 BAI 为身体肥胖指数,是一种测量脂肪较好的工具,由 Bergman 等(2011)提出,其人口基础是墨西哥裔美国人,非洲裔美国人和美国黑人,该法是否适用于白人和亚洲人等当时尚未做出结论。BAI(I_{fat}) 公式为 $I_{\text{fat}}=C_{\text{hip}}/h^{1.5}-18$,可直接测体脂率^[5]。这是在分析当时的几种评估脂肪方法的基础上提出来的,以双能 X 线吸收法为代表的方法是最准确的定量的体脂测量方法,但不适合大样本的普查,特别在第三世界的国家,偏僻的农村很难应用,而生物电阻抗分析和皮褶厚度测量虽广泛应用,但不够准确^[2, 5, 28, 36]。此外, BMI 在个体水平上常用于研究肥胖特征,但存在一些局限性。儿童脂肪的测定也有困难^[33]。在不能获得体质量计算 BMI 情况下,一种不需要用测量体质量的方法,BAI 就可应运而生。

4.2 简便的测量工具

BAI 是新的、较好的测量脂肪的工具^[3, 36],其最突出之处在于,不需要用机械或电的方法测量人的体质量,只用简单的测量尺测腰围和身高就可以确定人的体脂率,在不发达地区或难以准确测量体质量的地方非常有用^[4, 5]。BAI 测得的体脂率可反映不同种族/民族成年男女的体脂率,无需做数字校正^[5],可用于人口筛查^[29]。

BAI 和 BMI 预测体脂肪的结果相近,在每个种族/民族、性别群体中,他们测得的体脂率和脂肪质量间的关系相近^[37]。在对 2-型糖尿病的研究中发现,与 BMI、腰围相比,BAI 是 2-型糖尿病男性最佳的风险预测指标,是预测男女混合组 2-型糖尿病有用的风险预测工具^[38],但也有学者认为 BAI 与糖尿病风险有微弱关系^[23]。在 10309 例预测高血压发病率的追踪分析中,BAI 被认为是传统体脂测量的替代指标;与其他测量方法相比,BAI 预测空腹血糖却是较差的,男女均如此;男性 BAI 与总胆固醇、空腹血糖、心肺适能相关最强烈,而女性与血压(收缩与舒张)相关性最强烈^[39]。BAI、BMI、臀围、腰围与体脂率的相关性良好($r=0.86; 0.74; 0.76; 0.55$),但以 BAI 最为明显^[4, 40]。在埃及妇女中, AUC 曲线最高的是生物电阻抗分析,接着是腰臀比(waist-hip ratio, WHR)、腰围身高比(Waist-to-height ratio, WHtR)、BMI,与代谢综合征有关的这些指标,以 BAI 的相关系数最密切^[41]。

在对美国白人、非洲裔美国人、菲律宾裔美国人绝经后妇女的研究中发现,BAI 与其他测量指标(如腰围、体脂率)相比虽不好于 BMI,但 BAI 似乎发现了特殊的民族差异,

BAI 与其他脂肪测量在白人中显著相关^[42]。

BAI 对预测妊娠高血压也有一定准确性^[43]。BAI 和 BMI 都可预测尿白蛋白代谢的变化^[44]。低的 BMI 和高的体脂各自独立地与死亡率升高有关^[45]。与内脏脂肪指数相比，BAI、腰臀比对具有肌弱肥胖（sarcopenic obesity）老人预测轻度炎症更好^[46]。

4.3 有效性

4.3.1 体脂肪指数参数比较

BAI 参数比较见表 2。可以看出，同样应用 BAI 这个指标，由于年龄、性别及样本不同，评价的结论不尽相同。

4.3.2 与体脂率（DAX）一致性

Bergman 等认为，BAI 测量的体脂率与 DAX 相关性好（ $R=0.85$; $P<0.01$ ）。BAI 与体脂具有较大的相关性，男女不分组时，这种关系好于 BMI，即 BAI 表现出的性差好于 BMI^[5]。

与双能 X 线吸收法相比，认为一致性不佳的结论多。从表 1 中看出，BAI 对体脂率预测一致的不多。Brodley 等用不同方法评价 BAI 对脂肪变化的监测作用就得出一致性不佳结论^[49]。BAI 与双能 X 线吸收法相比，在测体脂率时有较低的一致性、较低的准确性、较低的精密密度，特别是对肥胖患者的体脂率估计偏低，所以 Cerqueira 等不推荐用 BAI 预测体脂率^[50]。Robinson 等也发现成人肥胖者中 BAI 与双能 X 线吸收法测体脂率一致性低^[47]。

表 2 BAI 参数比较
Tab.1 BAI parameter comparison

作者/Author	样本男/ Male	样本女/ Female	年龄/Years	测定方法一致性偏差/Deviation	主要发现/Evaluation
Robinson et al	22	26	30-50	BAP 女5.0% 男6.0%	低估了体脂率
Thirel et al	58	61	12-16	3.4%	过高估体脂率
Bergman et al		1733	20-50	DXA-BAI 相关 $r=0.95$	适当、准确
Segheto et al	331	395	20-59	BAP女5.0%，男5.4%	高估体脂率
Carpio-Rivera	106	93	18.9±26	BAP女7.2%，男2.9%	女低估，男高估
Cerqueira et al	-	102	60.3±9.8	3.2%	高估
Esco et al	-	30（女运动员）	20.0±1.3	5.8%	高估
Chang et al	483	471	55-96	5.1%	高估
Lemacks et al	-	187（绝经后超重/肥胖）	55.8±3.3	相关系数 $r=0.39$	高估，与DXA一致性差
Vinknes et al		5193	47-72	—	低体脂率者高估（男），高估超重、肥胖体脂率
Robinson et al		903	21.4±3.3	BAP男9.5%，女3.2%，总6.4%	总BAI过高估，对超重者高估，肥胖者低估（男女）
Geliebter et al	-	19（超重、肥胖术前无糖尿病）	32.6±7.7	BAP 2.2%	低估
Bernhard et al	240（超重肥胖）		44.1±11.1	组内相关0.74, 95%可信间隔0.68-0.79	二法相近
Ezeukwu et al	-	30（肥胖）	22.8±3.3	BAP 15.0%	低估
David et al		1151	18-110	体脂率男偏高3.9%，女偏低2.5%	男高估，女低估

BAP=Bland-Altman_plots; DXA=Dual-energy X-ray Absorptionmetry. 在对 [40, 47, 48] 中样本、方法和可信度评估基础上修改

Segheto 等发现 BAI 与双能 X 线吸收法一致性只达 41% (Kaplan-Meter 分析)^[51]。Regi 等更明确的说, BAI 与脂肪率 (DXA) 的一致性相当差 (尤其在脂肪量低时)^[3]。很多研究认为, BAI 并不是 BMI 或其他测量方法恰当可靠的替代指标或方法^[25, 47, 49, 51, 52]。BAI 也不适用于预测女运动员的体脂率^[53]。

有些研究还出现相关性 with 散点图相互矛盾的情况。在美国白人绝经后女性的研究中, BAI 与体脂 (DXA) 相关性好 ($r=0.78$), 但散点图显示, BAI 低测体脂率 (DXA) 达 7.56%, 二者一致性系数为 0.39 (95% 的 $1-\alpha$ 为 0.33-0.46) ($1-\alpha$ 即 confidence interval), 说明一致性不良^[54]。

在欧洲地中海地区白人的研究中, BAI 与体脂率相关性虽好于 BMI, 然而接受者操作特性 (ROC) 曲线分析都是 BMI 的准确性好于 BAI。在体成分研究中, BAI 在测量脂肪过多者的敏感性为 88% (男) 和 47% (女), 特异性为 60% (男) 和 86% (女), 所以在白人中, 有很大比例的男性, 尽管有正常水平的脂肪, 却归类过量脂肪组中^[4]。

4.3.3. 与 BMI 比较

与 BMI 有密切的关系 (表 3)。

表 2 说明, BAI 与 BMI 相关关系比较密切。然而多数学者认为 BAI 并没有克服 BMI 的局限性, 也并不优于 BMI (表 4)。

从表中看出, 多数 BAI 差于 BMI。在本文收集的文献中, BAI 与体脂率相关系数在 0.885-0.380 之间不等^[49, 55], 而 BMI 与体脂率的相关系数 0.90-0.48 之间^[25, 52, 54], 个别低的为 0.192^[57], 总体上, BMI 好于 BAI。David 等认为 BAI 并不优于 BMI、腰臀比。他选择 1151 健康成人 (18-110 岁), 包括白人、黑人、西班牙裔、亚裔和其他五组种族 / 民族群体, 发现预测体脂率时, 双能 X 线吸收法与 BMI、腰围、臀围间关系接近。BAI 并不比 BMI 或腰围、臀围更准确地预测体脂率^[40]。

Gibson 等曾评估了手术治疗肥胖前后的时间点, BAI 与 BMI 明显相关, 它们与生物电阻抗分析与空气置换分析测体脂率也明显相关。BMI 与激素追踪性变化具有明显的相关性^[58]。BAI 与 BMI 都是很好的代表性工具, 但只有 BMI 对重度肥胖无糖尿病的女性是一个好的代表性工具。多变量分析指出, 若已经用 BMI 测量, BAI 对冠心病的风险因素提供很少的另外信息^[25]。体脂率差异与 BAI 弱相关 ($r=0.38-0.48$), 而与 BMI 不同 ($r=0.48-0.59$), 所以 BAI 在追踪中年妇女的肥胖变化时并不比 BMI 准确^[49]。在 19756 名男性的研究中也发现 BAI 预测的心血管病死亡风险不比 BMI、腰围或体脂率好^[57], 或无效或较差, BAI 不能作为衡量任何效用的标准^[26, 59-60]。

对临床重度肥胖妇女体脂率的 BAI 和 BMI 比较发现, 虽然生物电阻抗分析、BMI 与体脂率 (ADP 法) 的相关性有统计学意义但回归分析表明, BAI 标准误或残差大于 BMI, 一致性检验图也与此一致, BAI 的可信间隔 % 间隔比 BMI 宽^[52]。

表 3 BAI 与 BMI 的相关关系
Tab.3 Correlation between BAI and BMI

文献/Reference	相关系数/r	说明/Note
Moliner-Urdiales et al ⁽³⁹⁾	0.78	8050/2259*追踪个体
Angel et al ⁽⁸⁾	0.64	地中海白人
Lemacks et al ⁽⁵⁴⁾	0.90	美绝经后白人
Allan et al ⁽⁵²⁾	0.90	临床重度肥胖妇女
Robinson et al ⁽⁵⁵⁾	0.885	--
Regi et al ⁽³⁾	0.698	--
Seghetow et al ⁽⁵¹⁾	0.86	评价 DS

注: * = 男 / 女 DS=Down syndrome

Gupta 等 (2014) 对印度成人研究中, 比较了几种体质测量方法, 发现 BAI 预测高血压好于其他方法 (皮褶厚度、腰围、臀围), 但低于 BMI, 男性敏感性高于 BMI、腰围。AUC 曲线分析表明, BMI 与体脂的关系比 BAI 密切, 综合分析认为, 尽管 BMI 好于 BAI, 但敏感性与特殊性相近^[28]。BMI 测脂肪与体脂率有很好的相关关系, 但 BAI 并没有克服 BMI 的局限性^[58-61]。

BAI 和心脏代谢性状相关性与 BMI 相近或较弱, 与腰围、腰围身高比相比, 和心血管病及代谢的危险因素相关关系较差^[60], 与 BMI 相比, BAI 具有较低的诊断代谢综合征的判断能力^[62]。

与 BMI、腰围相比, BAI 也并不是体脂率、高血压、血脂异常代谢综合征、颈总动脉内膜中层厚度的较好预测指标^[63]。对 1891 例亚洲人 (新加坡的中国人、马来西亚、印度人) 分析中发现, BAI 预测脂肪过多的能力并不好于 BMI^[32]。Fels 也证明 BAI 并没有超过 BMI^[62]。

BAI 被提出后, 在不同民族 / 种族的有效性研究中一致认为, BAI 往往对低体脂率者脂肪评价偏高 (对哥伦比亚人预测体脂率时也有类似情况), 对较高体脂率者脂肪评价偏低。尽管 BAI 似乎与双能 X 线吸收法测体脂率好于 BMI (男和女), 但这些研究表明, 若按性别分组结果则并不如此^[36]。在白人中也并不是很好的预测代谢和心血管健康风险的工具, 在应用方面不如 BMI, 也不如腰围身高比, 腰臀比和腰围^[60]。

BAI 看来作为一个总的体脂率的标记很难支持其在临床应用^[64]。在智利肥胖病人研究中, BAI 并不能准确地提供体脂率, 明显地受人口影响, 特别是对 BMI>30 患者效果不良, 对重度肥胖病人并不是一种测体脂率好的方法^[65]。

BAI 对评价唐氏综合征 (Down syndrome) 男女的体脂率是有限的方法^[66]。BAI 与腰围 (体脂率) 相关性, 男 $r=0.77$, 女 $r=0.75$; 与皮褶厚度, $r=0.71$ (男 / 女); 与 DAX (%F), 男 $r=0.72$, 女 $r=0.78$ ^[51]。

BAI 和身体丰满或圆度指数 (body roundness index, BRI, I_{rou}), 对预测代谢综合征并不优于其他传统的肥胖指数, BAI 表现出最微弱的预测能力, 而 BRI 有能力用作一种替代肥胖测量的方法^[67], 公式为 $I_{rou}=364.2-365.5\times[1-(C_w/\pi h)^2]^2$ 。

表 4 BAI (体脂率) 与 BMI (体脂率) 对比
Tab.4 Comparison of the correlation between BAI and body fat percent, and the correlation between BMI and body fat percent

BAI	BMI	文献/Reference
0.68/0.81	0.80/0.84	[23]
0.86	0.74	[40]
0.74	0.64	[4]
0.75	0.78	[52]
0.42	0.65	[54]
0.51	0.78	[30]
0.66/0.58	0.83/0.71	[31]
0.70/0.79	0.79/0.86	[56] 皮褶厚度法
0.65	0.72	[57]

注: 只选择有两者比较的文献; /= 男 / 女

5 内脏脂肪与腹部肥胖

人体肥胖分向心性或中心性与外周性肥胖, 前者的脂肪组织主要集中在腹部, 可引起很多疾病^[68]。以往一般的人类学测量往往难以区分皮下脂肪与内脏脂肪, 所以, 内脏脂肪的测量研究成为一个新的热点。

5.1 内脏脂肪指数

内脏脂肪与心血管和代谢紊乱有关, 包括胰岛素抵抗、轻度慢性炎症、2 型糖尿病、脂类代谢病、女性多囊卵巢综合征^[69]、男性腺功能减退、非酒精性肝^[70]、高血压、某些癌^[71]等, 所以改善内脏脂肪对于防治这些疾病具有重要意义^[72]。

腹部肥胖往往反映内脏脂肪的特点, 它与日益增加脂肪细胞因子生成, 丙氨酸敏感性下降, 胰岛素敏感性恶化, 糖尿病风险增加, 高甘油三酯/低密度脂蛋白胆固醇异常, 高血压, 动脉粥样硬化和高死亡率有关^[73]。

内脏脂肪指数 (I_{va}) 是一种检测内脏脂肪的方法, 基于意大利的 1498 名初级保健病人的研究提出的, 其定义为: 男 $I_{va}=(C_w/(39.68+1.88\times I_m))\times T_g/1.03\times 1.31/d_h$; 女 $I_{va}=(C_w/(36.58+1.89I_m))\times T_g/0.81\times 1.52/d_h$ 。式中, C_w -- 腰围, T_g -- 甘油三酯, d_h -- 高密度脂蛋白。

若 $I_{va}=1$, 脂肪分布正常, 非肥胖者甘油三酯、高密度脂蛋白水平正常^[68]。

内脏脂肪组织与心血管病强烈相关^[65], 与代谢综合征明显相关, 与腹部脂肪增加、高糖血症、高甘油三酯血症和低的高密度脂蛋白 -C 风险相关, 是老年人代谢综合征风险的良好预测工具^[74]。内脏脂肪指数可能粗略预测 2 型糖尿病^[75]。内脏脂肪指数是女性 (不是男性) 预测特别肾病最佳指标^[76]。内脏脂肪指数显著地与所有的代谢综合征因子和心血管病相关。它独立地与心血管病相关, 而与事件发生的年龄、吸烟和男性无关, 而这在腰围测量时并未观察到, 这个发现可能包括了生理与代谢参数, 或许间接反映了非传统的风险因素, 如脂肪细胞因子产生, 脂解增加以及血浆游离脂肪酸, 这些都不能由 BMI、腰围、甘油三酯和高密度脂蛋白分别显示出来。内脏脂肪组织是脂肪分布和功能有价值的指标, 也是评价内脏脂肪异常的有价值的指标, 是每天临床工作和人口研究评价与内脏肥胖有关的心代谢风险的有用的工具^[68]。

有证据表明, 腹部肥胖比全身肥胖对男女食管癌、白血病、肝癌、胆管癌及女肾癌、膀胱癌、结肠癌的预测性更强, 而男性只有 BMI 是预测指标, BMI 似乎也是卵巢癌更强的预测因子, 是绝经后妇女患癌 (乳腺癌和子宫内膜癌) 风险的预测指标^[77]。

5.2. 腰围、腰围身高比、腰臀比

肥胖代谢综合征与内脏脂肪的关系比总脂肪更密切, 故提出了腰围、腰臀比 (腰围/臀围)、腰围身高比方法, 而腰围是最佳的预测指标, 它与腹部影像相关关系最佳, 也与心血管病、糖尿病风险高度相关, 但腰围并没有考虑到身高的影响, 在对不同身高者评估时, 有高者偏高, 低者偏低的危险, 所以有人用腰围身高比代替腰围^[34, 78-80]。腰围和腰围身高比都是成人主要的内脏脂肪的测量工具, 这两个指标在预测儿童心血管病风险时好于 BMI^[81]。

5.2.1 腰围

腰围是中心性肥胖的关键性指标, 也是用于临床评价内脏脂肪的主要参数^[64], 常用于评价肥胖者心脏代谢的风险^[58], 是间接评估内脏脂肪增长的指标, 但单一的腰围不能区分是皮下还是内脏脂肪, 因为心血管序列的遗传是在内脏脂肪组织而不是腹部皮下脂肪组织^[30, 82]。

腰围是腰部脂肪 (而不是臀部脂肪) 过多引起健康风险 (如 2 型糖尿病、心脏病和高血压等) 相关的指标, 国际心肺与血液研究所 (NHLBI) 把肥胖相关风险高危定义为: 男 $C_w\geq 102\text{ cm}$, 女 $C_w>88\text{ cm}$ 时^[3, 76]。

腰围是强烈的、最好的糖尿病预测指标^[23]。腰围与 BMI 一样,是与肥胖有关死亡率相关强烈的预测指标^[56, 83],普遍用于流行病学研究中的肥胖判定。系统回顾与 meta 分析结果显示,腰围与心血管病风险关系更为密切,故推荐腰围用于临床实践与研究中^[84]。

腰围和 BMI 与内脏脂肪(超声)有最强烈的相关关系。腰围和 BMI 不只是简单地获得资料,而是年青人较准确的预测指标,也是胰岛素抵抗很好的指征,有利的预测肝脂肪变性存在的指标^[85]。在中国, BMI 和腰围是比 BAI 更好的预测整体脂肪和中心部脂肪的工具^[86]。

希腊 12-17 岁学生的研究发现,随年龄增长,腰围、臀围和 BMI 逐渐加大,而腰臀比、腰围身高比逐渐减小,腰围在 17 岁中才表现出性差^[87]。腰围看来是最好的肥胖儿童的评估指标^[88]。

在体围中,腰围是最有用的评价指标(临床和研究背景下),用于测定体脂、内脏脂肪(作为代谢风险的标志)。从解剖学上说,腰围环绕脂肪组织、骨、骨骼肌和内脏器官。若腰围随身高等量增长,身高大者比实际观察有更大的腰围,实际上腰围在成人中的增长接近于身高的 0.5-0.7 次方^[89-90],所以 NHANES 样本中的 3 组男女有较大的身高,因而伴有相近的体型和身体组成变化,德国及亚洲人也类似^[31]。腰围、臀围与体脂率相关性很高^[91]。

5.2.2 腰臀比

腰臀比是评价健康的尺度,也是筛查与体质量相关疾病的工具^[81]。腰臀比的中心性脂肪测定,表现出与心血管病强烈相关,它是获得相关信息非常简单的方法^[61]。腰臀比与冠状动脉血管病有明显的正相关关系^[92]。腰围和腰臀比都可预测心血管病和冠心病(CHD)死亡率,但腰臀比表现出最强的预测风险能力,因为没有民族偏差,显得更好一些,但需要特殊的民族标准^[61, 93]。在欧洲人口中,发现与脂肪表型有关的 500 个基因位点(大部分)也是通过对 BMI,腰臀比大样本 meta 分析发现的^[94]。

5.2.3 腰围身高比

腰围身高比是腹部脂肪良好的评价指标,在某种程度上,腰围身高比在筛查中占优势^[91]。最近的系统回顾和 Meta 分析也支持,腰围身高比是心血管病风险较好的预测指标^[80]。腰围身高比评价脂肪分布,若其值高,意味着心血管病风险高,与腹部脂肪有关,它比 BMI 对评价心脏发作,中风或死亡更好^[3]。腰围身高比与代谢风险具有最好的相关性^[60],预测成人代谢心功能风险好于 BMI,而且方便(在测量与解释中),实践中有优点,能迅速确定儿童早期的心-代谢风险^[95]。

腰围和腰围身高比是成人主要的内脏脂肪测量工具,这两个指标在预测心血管病风险时好于 BMI^[81]。因为简便,Regi 等推荐腰围身高比或腰围作为评价心血管病的工具^[3]。

5.3 其他

5.3.1 皮褶厚度

皮褶厚度测量非常简单,与双能 X 线吸收法相关关系(非肥胖者)良好,但对肥胖者评估偏低,人口重复性差,差异大^[19]。皮褶厚度总值与 BMI 相关性男 $r=0.79$,女 $r=0.86$;与 BAI 男 $r=0.70$,女 $r=0.79$ ^[56]。冠心病的 7 个危险因素(按性别、种族/民族、年龄层次分析)都强烈地与腰围和 BMI 相关^[25]。

5.3.2 体质量、体型指数和肥胖表型

体质量与心代谢风险因子的关系比臀围明显^[30]。体型指数 (body shape index, ABSI, I_s)^[67] 似乎是临床上有用的预测死亡危险的方法, 该指数对预测绝经后妇女或许比 BAI 和 BMI 更好。体型指数计算公式为: $I_s = C_w / (I_m^{2/3} \times h^{1/2})$ ^[96]。

臀围身高比, 儿童 BAI ($I_a = C_w / h^{0.8} - 38$) 是比 BAI 更好的评价超重和肥胖指标, 但并不能用于预测代谢综合征。体脂 (DXA 法) 与 BMI、腰围身高比强烈相关, 后者在没有复杂设备时是有用的确定儿科肥胖的指标^[97], 与腰围可用于评价儿童青少年体脂^[98]。

肥胖表型如颈围等在高血压妇女是独立的与 2 型糖尿病相关, 在男性 BAI 与 2 型糖尿病相关^[99], 颈围可用作健康成人中心性肥胖的筛查工具^[100]。

BAI 与 BMI、腰围或体脂率相比, 与传统的心血管病危险因素 (如胆固醇、糖和血压等) 弱相关, 体脂率与 BMI ($r=0.72$)、与腰围 ($r=0.77$) 相关, 而与 BAI 相关性最小 ($r=0.65$)^[57]。BMI 与腰围身高比结合, 在鉴别新加坡患者心血管病危险因素时具有很高的临床应用价值^[31]。

几乎所有的研究都表明腰围、腰围身高比、BAI、内脏脂肪指数、BMI 都与内脏脂肪组织呈正相关 (BIA 法), 但只有内脏脂肪指数、腰围和腰围身高比与肥胖者的糖、脂代谢紊乱强烈相关, 是糖、脂代谢紊乱引起的内脏脂肪组织增加的有用的评价工具。BAI、BMI 与总的脂肪质量百分比有关, 而腰围、腰围身高比、内脏脂肪指数与总体质量相关。若 BAI 能按性别分组计算, 其对预测糖代谢还是有意义的^[64]。

在肥胖病人的代谢紊乱研究中, 腰围身高比与 BMI 明显相关 (男女亦如此), 内脏脂肪指数与脂肪质量百分比 (BIA 法) 不相关。男性: 腰臀比与内脏脂肪组织、脂肪质量百分比, BAI (腰围身高比) 与糖、胰岛素浓度正相关。腰围与体质量、内脏脂肪组织强烈相关, 内脏脂肪组织与甘油三脂正相关, 腰围身高比与腰围相关, 腰围身高比、BMI、腰围与低密度脂蛋白 C 负相关, BAI 与血脂的参数不相关; 女性: 腰臀比与甘油三脂、胰岛素正相关, 与高密度脂蛋白 C 负相关; 男和女的血糖、胰岛素与内脏脂肪指数、腰围身高比、腰围明显正相关。胰岛素抵抗程度由强至弱依次与内脏脂肪指数、腰围身高比、腰围和 BMI 正相关^[65]。

Ashwell 等对 18 国家不同研究的 meta 分析中指出, 在判定糖尿病、脂代谢紊乱、高血压、心血管病风险时, 与腰围相比腰围身高比是较好的指标, 这个结论是基于 300000 例的测试研究, 支持内脏脂肪指数作为替代指标评价内脏脂肪组织积累引起的代谢紊乱^[80]。

6 测量指标的选择

6.1 测量指标之间的关系

不同的指标预测同一疾病或综合征风险, 结果不同, 但这些测量指标间的相关关系是选择测量指标的重要参考。Allan 等 (2013) 列出的 BAI/BMI 与生物电阻抗分析、空气置换分析、双能 X 线吸收法间相关关系见表 5。

表 5 说明不同指标间相关关系不同, BAI/BMI 与双能 X 线吸收法相关系数都最低, 与生物电阻抗分析最高, 与空气置换分析中等。比较 BAI、BMI、体脂率 (皮褶厚度)、

腰围、腰围身高比、腰臀比、低密度脂蛋白、高密度脂蛋白甘油三酯间关系，发现：BAI 与体脂率（皮褶厚度）的关系（ $r=0.579$ ）比与 BMI 的（ $r=0.368$ ）更为强烈。BAI 与心血管病风险关系比其他指标（BMI、腰围、腰臀比、腰围身高比）弱，最佳相关关系是腰围、腰围身高比与心血管病风险^[23]。

几种体质测量方法间相关关系比较见表 6。从表 5 看出，腰围与腰围身高比相关系数最大（0.920），BMI 与腰臀比相关系数最小（-0.065），这些都是选择测量指标时的参考。BMI、腰围、BAI 与体脂率相关系数分别是 $r=0.192, 0.194, 0.668$ 。腰围和 BAI 可解释 43.3% 的体脂率变异。若按性别分组，男性（除腰围外）BAI 预测 % 脂肪有较大准确性，而女性不然，所以在年青人用 4C 模型时，与 BMI 相比，腰围和 BAI 与体脂率的相关性更强^[10]。

人体测量指标中对体脂分辨力较高的指标是 BMI、腰围、腰臀比（男女皆是）。BMI、腰围和腰围身高比可用于健康职业人员评价儿童青少年体脂^[101]。腹部肥胖及相关风险预测多选择与腰、腹相关的指标，如腰围、臀围、腰臀比、腰围身高比和内脏脂肪组织等。

6.2 同一指标预测风险能力

同一指标预测风险能力是不同的，表 2 列出 15 位作者的研究结果，都用 BAI 预测评估，其结果不尽一致。本文收集到的关于预测的健康风险包括心血管系统、内分泌与代谢、肿瘤与其他四类健康风险，不同的指标预测健康风险的适应性是不同的，应因健康问题而异选择不同的测量工具。

6.3 预测对象的背景

预测有效性受年龄、性别、种族 / 民族、生活方式等多种因素影响，不同的指标适应不同的研究对象。高龄老年人多有肌弱（sarcopenia），儿童情况不一，男女不同，健康情况各异，是否运动员，在预测时必须考虑这些影响因素。

6.4 测量技术

不同的测量指标其准确性、可靠性不同。除测量工具本身的问题外，应特别注意测量时要掌握好标准，最大限度地减少误差，提高测量精度，使数据可信，具有可比性。比如测量臀围时就要注意：应从最大臀突出点测，在仰卧位、脐水平上，要从侧面观察，在水平面上，非弹性尺记录到 0.1 cm，不能压缩皮肤^[61]。

表 5 BAI/BMI 与生物电阻抗、空气置换、双能 X 线吸收法的相关关系

Tab.5 Correlation between BAI/BMI and BIA, ADP, DXA			
体脂率测定方法/ Method	r	r^2	SEE
生物电阻抗/BIA	0.87**/0.90**	0.76/0.80	2.22/2.01
空气置换/ADP	0.73**/0.81**	0.53/0.65	3.99/3.45
双能X线吸收/DXA	0.42/0.65**	0.17/0.42	8.18/6.86

注：研究对象为临床重度肥胖妇女，逐步线性回归显示的结果^[52]。/=BAI/BMI ** $P<0.01$; SEE: 预测值的标准误

表 6 体质测量指标间相关性比较
Tab.6 Comparison of correlation between anthropometry indexes

	腰臀比/ WHR	腰围身高 比/WHtR	腰围/Waist circumference	体脂率
BMI	-0.065	0.624**	0.488**	0.368**
BAI	-0.303**	0.684**	0.428**	0.579**
腰臀比/WHR			0.632**	-0.300**
腰围身高比/WHtR			0.920**	0.296**

摘自 [3] 注：体脂率用皮褶测量总和 $\text{Log}(\text{sum})=\text{Triceps}+\text{Biceps}+\text{Suprailiac}+\text{subscapular}$, ** $p<0.01$

6.5 测量部位

在研究腹部脂肪时要考虑测量的部位, 是内脏脂肪还是皮下脂肪, 若皮下脂肪是浅层还是深层。David 等曾研究, 发现腹部皮下脂肪有两个功能层(浅层和深层), 深层的皮下脂肪组织与胰岛素抵抗的相关性更强^[102]。

体质测量在超重/肥胖的研究中得到了广泛的应用, 不同的方法, 无论是昂贵的、有临床和/或研究背景的设备还是体质人类学的简便的测量工具都随研究对象的背景, 预测的健康问题, 测量指标的敏感性、特异性不同而各异, 没有十全十美的方法(表 7), 就是本文中也有相互不一致的, 正如 Martin-Calvo 等对 2013-2015 出版物的 meta 分析指出, 哪一个指数都没有显示出独特的优越性^[97]。

随着研究不断深入, 会有新的测量工具被创造出来, 要不断总结, 对比, 分析, 针对不同目标, 正确的选择恰当的测量工具, 充分认识它们的优势和局限性, 以取得好的评估预测效果, 造福于人民健康。

表 7 人体组成成分活体测量方法比较与分析

Tab.7 Comparison and analysis of anthropometry in human vivo for body composition

方法/Method	内容/Item	部位/Position	准确度/Accuracy	精确度/Precise	特点/Features
BMI	脂肪和骨骼肌	全身	较差	较差	简便, 价廉, 无放射性, 可用于筛查, 但不能区分肌重与脂肪重, 评价儿童和运动员有局限性
BAI	脂肪和骨骼肌	全身	差	较差	不需要测体重, 适于人口筛查
VAI	脂肪	局部	良	一般	简便, 是评价内脏脂肪分布、功能有价值的指标, 适于代谢综合征等风险评估
腰围/Waist circumference	脂肪	局部	一般	一般	简便, 好于臀围, 是中心性肥胖关键指标, 但不能区分内脏与皮下脂肪
腰臀比/WHR	脂肪	局部	一般	一般	简便, 是评价健康尺度, 筛查与体重相关疾病的工具
皮褶厚度/Skinfold thickness	脂肪和骨骼肌	局部或全身	差	差	简便, 廉价, 反映脂肪组织分布特征, 但重复性差, 需要用DXA等校准
CT	骨骼, 脂肪和骨骼肌	局部或全身	很好	很好	探测细节好, 但价高, 放射性强
MRI	脂肪和骨骼肌 (骨骼)	局部或全身	很好	很好	探测细节较好, 无放射性 但价高
DXA	骨骼, 脂肪和骨骼肌	局部或全身	很好 (骨, 脂肪) 或较好 (骨骼肌)	很好 (骨, 脂肪) 或较好 (骨骼肌)	放射性弱, 适用人群广, 操作简单, 但无探测细节 (如骨松质和骨密质, 肌间脂肪组织等) 的功能
ADP	通过测量体积研究体成分	全身	较好	较好	设备价高, 不便携带, 但从婴儿到老人, 运动员, 高身材 (2m以上), 肥胖者 (>159kg) 皆适用, 可靠性、顺应性佳
BIA	脂肪和水 (有的可测骨和骨骼肌)	全身 (有的可测局部)	较好 (脂肪和水) 或不确定 (骨和骨骼肌)	较好 (脂肪和水) 或不确定 (骨和骨骼肌)	简便, 价廉, 无放射性, 但影响测量结果的因素较多
定量超声/Quantitative ultrasonic	骨含量和强度 (有的可测脂肪和骨骼肌)	局部	较好 (骨) 或不确定 (脂肪和骨骼肌)	较好 (骨) 或不确定 (脂肪和骨骼肌)	简便, 价廉, 无放射性, 但缺乏标准程序, 结果受主观影响较大
生化检测/Biochemical examination	骨的变化或骨骼肌含量	全身	好或不确定	好或不确定	无放射性, 需取血或尿样

源自陈昭 (2010)^[103];Parente et al(2016)^[19]; Bergman et al(2011)^[5]; Amato et al(2010)^[68]

参考文献

- [1] WHO. Obesity and overweight[EB/OL]. URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>. Accessed on: 2017-10-18
- [2] Going S, Hingle M, Farr J. Body Composition[A]. In: Ross C, Caballero B, Cousins R, et al (Eds.). *Modern Nutrition in Health and Disease Method*, 11th edition[M]. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins. 2013: 635
- [3] Regi M, N Sharma. Body Adiposity Index versus Body Mass Index and Other Anthropometric Traits as Correlates of Cardiovascular Disease[J]. *International Journal of Research and Scientific Innovation (IJRSI)*, 2016, 3(8): 2321-2705
- [4] López AA, Cespedes ML, Teofila V, et al. Body Adiposity Index Utilization in a Spanish Mediterranean Population: Comparison with the Body Mass Index[J]. *PLoS One*, 2012, 7(4): e35281
- [5] Bergman RN, Stefanovski D, Buchanan TA, et al. A Better Index of Body Adiposity[J]. *Obesity (Silver Spring, Md)*, 2011, 19(5): 1083-1089
- [6] Segheto W, Hallal PC, Marins JCB, et al. Factors associated with body adiposity index (BAI) in adults: population-based study[J]. *Ciencia & Saude Coletiva*, 2018, 23(3): 773-783
- [7] Hubert HB, Feinleib M, McNamara PM, et al. Obesity as an independent risk factor for cardiovascular disease: a 26-year follow-up of participants in the Framingham Heart Study[J]. *Circulation*, 1983, 67(5): 968-977
- [8] Angelantonio ED, Bhupathiraju SN, Wormser D, et al. Body-mass index and all-cause mortality: individual-participant-data meta-analysis of 239 prospective studies in four continents[J]. *Lancet*, 2016, 388(10046): 776-786
- [9] Lopes HF, Corrêa-Giannella ML, Consolim-Colombo FM. Visceral adiposity syndrome[J]. *Diabetol Metab Syndr*, 2016, 8(1): 40
- [10] Fedewa MV, Nickerson BS, Esco MR. Associations of body adiposity index, waist circumference, and body mass index in young adults[J]. *Clin Nutr*, 2018, pii: S0261-5614(18)30126-2
- [11] Poirier P, Giles TD, Bray GA, et al. Obesity and cardiovascular disease: pathophysiology, evaluation, and effect of weight loss[J]. *Circulation*, 2006, 113(6): 898-918
- [12] Whitlock G, Lewington S, Sherliker P, et al. Body mass index and cause-specific mortality in 900 000 adults: collaborative analyses of 57 prospective studies[J]. *Lancet*, 2009, 373(9669): 1083-1096
- [13] Andreyeva T, Sturm R, Ringel JS. Moderate and severe obesity have large differences in health care costs[J]. *Obes Res*, 2004, 12: 1936-1943
- [14] 席焕久, 李文慧, 温有锋, 等. 体成分研究概览——庆贺吴新智院士九十华诞[J]. *人类学学报*, 2018, 37(20): 241-252
- [15] Duren DL, Sherwood RJ, Czerwinski SA, et al. Body composition methods: comparisons and interpretation[J]. *J Diabetes Sci Technol*, 2008, 2(6): 1139-1146
- [16] Eknoyan G. Adolphe Quetelet (1796–1874)—the average man and indices of obesity[J]. *Nephrol Dial Transplant*, 2008, 23(1): 47-51
- [17] Keys A, Fidanza F, Karvonen MJ, et al. Indices of relative weight and obesity[J]. *Journal of Chronic Diseases*, 1972, 25(6): 329-343
- [18] McCarthy HD. Body fat measurements in children as predictors for the metabolic syndrome: focus on waist circumference[J]. *Proc Nutr Soc*, 2006, 65(4): 385-392
- [19] Parente EB. Is body mass index still a good tool for obesity evaluation?[J]. *Archives of Endocrinology & Metabolism*, 2016, 60(6): 507
- [20] Sung YA, Oh JY, Lee H. Comparison of the Body Adiposity Index to Body Mass Index in Korean Women[J]. *Yonsei Medical Journal*, 2014, 55(4): 1028-1035
- [21] da Silva BR, Mialich MS, de Paula FJA, et al. Comparison of new adiposity indices for the prediction of body fat in hospitalized patients[J]. *Nutrition*, 2017, 42:99-105
- [22] CDC -QuickStats. Mean Percentage Body Fat[EB/OL]. URL: <http://www.cdc.gov/Mmwr/preview/mmwrhtml/mm5751a4.htm>. Accessed on: 2016-11-21
- [23] Schulze MB, Thorand B, Fritsche A, et al. Body adiposity index, body fat content and incidence of type 2 diabetes[J]. *Diabetologia*, 2012, 55(6): 1660-1667
- [24] Hung CS, Yang CY, Hsieh HJ, et al. BMI correlates better to visceral fat and insulin sensitivity than BAI[J]. *Obesity (Silver Spring)*, 2012, 20(6): 1141
- [25] Freedman DS, Ogden CL, Goodman AB, et al. Skinfolts and Coronary Heart Disease Risk Factors are More Strongly Associated with BMI Than with the Body Adiposity Index[J]. *Obesity*, 2013, 21(1), E64-E70
- [26] Zhao D, Zhang Y. Body mass index (BMI) predicts percent body fat better than body adiposity index (BAI) in school children[J]. *Anthropol Anz*, 2015, 72(3): 257-262
- [27] Sochung Chung. Body mass index and body composition scaling to height in children and adolescent[J]. *Ann Pediatr Endocri &*

- Metab, 2015, 20:125-129
- [28] Gupta S, Kapoor S. Body Adiposity Index: Its Relevance and Validity in Assessing Body Fatness of Adults[J]. ISRN Obes, 2014: 243294
- [29] Chung S. Body mass index and body composition scaling to height in children and adolescent[J]. Annals of Pediatric Endocrinology & Metabolism, 2015, 20(3): 125-129
- [30] Lichtash CT, Cui J, Guo X, et al. Body Adiposity Index versus Body Mass Index and Other Anthropometric Traits as Correlates of Cardiometabolic Risk Factors[J]. PLoS One, 2013, 8(6): e65954
- [31] Lam BCC, Koh GCH, Chen C, et al. Comparison of Body Mass Index(BMI), Body Adiposity Index(BAI), Waist Circumference (WC), Waist-To-Hip Ratio(WHR)and Waist To-Height Ratio(WHtR) as Predictors of Cardiovascular Disease Risk Factors in an Adult Population in Singapore[J]. PLOS ONE, 2014, 8(4): 55-56
- [32] Garrido-Chamorro RP, Sirvent-Belando JE, Gonzalez-Lorenzo M, et al. Correlation between body mass index and body composition in elite athletes[J]. J Sports Med Phys Fitness, 2009, 49(3): 278-284
- [33] Duggan MB. Anthropometry as a tool for measuring malnutrition:impact of the new WHO growth standards and reference[J]. Ann Trop Paediatr, 2010, 30(1): 1-17
- [34] Camhi SM, Bray GA, Bouchard C, et al. The relationship of waist circumference and BMI to visceral, subcutaneous, and total body fat: sex and race differences[J]. Obesity (Silver Spring), 2011, 19(2): 402-408
- [35] Heymsfield SB, Peterson CM, Thomas DM, et al. Why are there race/ethnic differences in adult body mass index-adiposity relationships? A quantitative critical review[J]. Obes Rev, 2016, 17(3): 262-275
- [36] González-Ruiz K, Correa-Bautista JE, Ramírez-Vélez R. Evaluation of the body adiposity index in predicting percentage body fat among Colombian adults[J]. Nutr Hosp, 2015, 32(1): 55-60
- [37] Barreira TV, Harrington DM, Staiano AE, et al. Body Adiposity Index, Body Mass Index and Body Fat in White and Black Adults[J]. JAMA, 2011, 306(8): 828-830
- [38] Alvim Rde O, Mourao-Junior CA, de Oliveira CM, et al. Body Mass Index, Waist Circumference, Body Adiposity Index, and Risk for Type 2 Diabetes in Two Populations in Brazil: General and Amerindian[J]. PLoS One, 2014, 9(6): e100223
- [39] Moliner-Urdiales D, Artero EG, Sui X, et al. Body adiposity index and incident hypertension: The Aerobics Center Longitudinal Study[J]. Nutr Metab Cardiovasc Dis, 2014, 24(9): 969-975
- [40] David FS, Thornton JC, Pi-Sunyer FX, et al. The body adiposity index ($\text{hip circumference} \div \text{height}^{1.5}$) is not a more accurate measure of adiposity than is BMI, waist circumference, or hip circumference[J]. Obesity (Silver Spring). 2012, 20(12): 2438-2444
- [41] Zaki ME, Kamal S, Reyad H, et al. The Validity of Body Adiposity Indices in Predicting Metabolic Syndrome and Its Components among Egyptian Women[J]. Open Access Maced J Med Sci, 2016, 4(1): 25-30
- [42] Djibo DA, Araneta MR, Kritiz-Silverstein D, et al. Body Adiposity Index as a Risk Factor for the Metabolic Syndrome in Postmenopausal Caucasian, African American, and Filipina Women[J]. Diabetes Metab Syndr, 2015, 9(2): 108-113
- [43] Shao JT, Qi JQ. The relationship between body adiposity index and pregnancy- induced hypertension in third-trimester pregnant women[J]. Blood Press Monit, 2017, 22(5): 279-281
- [44] D'Elia L, Manfredi M, Sabino P, et al. The Olivetti Heart Study: Predictive value of a new adiposity index on risk of hypertension, blood pressure, and subclinical organ damage[J]. Nutr Metab Cardiovasc Dis, 2016, 26(7): 630-636
- [45] Padwal R, Leslie WD, Lix LM, et al. Relationship Among Body Fat Percentage, Body Mass Index, and All-Cause Mortality: A Cohort Study[J]. Ann Intern Med, 2016, 164(8): 532-541
- [46] Dutra MT, Gadelha AB, Nóbrega OT, et al. Body Adiposity Index, but not Visceral Adiposity Index, Correlates with Inflammatory Markers in Sarcopenic Obese Elderly Women[J]. Exp Aging Res, 2017, 43(3): 291-304
- [47] Ramírez-Vélez R, Correa-Bautista JE, González-Ruiz K, et al. Predictive Validity of the Body Adiposity Index in Overweight and Obese Adults Using Dual-Energy X-ray Absorptiometry[J]. Nutrients, 2016, 8(12): 737
- [48] Ramírez-Vélez R, Correa-Bautista JE, González-Ruiz K, et al. Body Adiposity Index Performance in Estimating Body Fat Percentage in Colombian College Students: Findings from the FUPRECOL—Adults Study[J]. Nutrients, 2017, 9(1): 40
- [49] Brodley AM, Kazlauskaitė R, Karavolos K, et al. How Well Does the Body Adiposity Index Capture Adiposity Change in Midlife Women? The SWAN Fat Patterning Study[J]. Am J Hum Biol, 2012, 24(6): 866-869
- [50] Cerqueira M, Amorim P, Magalhães F, et al. Validity of Body Adiposity Index in Predicting Body Fat in a Sample of Brazilian Women[J]. Obesity(Silver Spring), 2013, 21(12): 696-699
- [51] Segheto W, Coelho FA, Cristina Guimarães da Silva D, et al. Validity of body adiposity index in predicting body fat in Brazilians adults[J]. Am J Hum Biol, 2017, 29(1). doi:10.1002/ajhb.22901.
- [52] Allan Geliebter, Deniz Atalayer, Louis Flancbaum, et al. Comparison of Body Adiposity Index (BAI) and Body Mass Index (BMI)

- with Estimations of % Body Fat in Clinically Severe Obese Women[J]. *Obesity* (Silver Spring), 2013, 21(3): 493-498
- [53] Esco MR. The accuracy of the body adiposity index for predicting body fat percentage in collegiate female athletes[J]. *J Strength Cond Res*, 2013, 27(6): 1679-1683
- [54] Lemacks JL, Liu PY, Shin H, et al. Validation of body adiposity index as a measure of obesity in overweight and obese postmenopausal white women and its comparison with body mass index[J]. *Menopause*, 2012, 19(11): 1277-1279
- [55] Robinson R, Correa-Bautista JE, González-Ruiz K, et al. The Role of Body Adiposity Index in Determining Body Fat Percentage in Colombian Adults with Overweight or Obesity[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2017, 14(10): 1093
- [56] Huxley R, Mendis S, Zheleznyakov E, et al. Body mass index, waist circumference and waist:hip ratio as predictors of cardiovascular risk---a review of the literature[J]. *Eur J Clin Nutr*, 2010, 64(1): 16-22
- [57] Moliner-Urdiales D, Artero EG, Lee DC, et al. Body adiposity index and all-cause and cardiovascular disease mortality in men[J]. *Obesity* (Silver Spring), 2013, 21(9): 1870-1876
- [58] Gibson CD, Atalayer D, Flancbaum L, et al. Body adiposity index (BAI) correlates with BMI and body fat pre and post-bariatric surgery but is not an adequate substitute for BMI in severely obese women[J]. *Int J Body Compos Res*, 2012, 10(1): 9-14
- [59] Snijder MB, Nicolaou M, van Valkengoed IG, et al. Newly Proposed Body Adiposity Index (BAI) by Bergman et al. Is Not Strongly Related to Cardiovascular Health Risk[J]. *Obesity*, 2012, 20(6): 1138-1139
- [60] Bennasar-Veny M, Lopez-Gonzalez AA, Tauler P, et al. Body Adiposity Index and Cardiovascular Health Risk Factors in Caucasians: A Comparison with the Body Mass Index and Others[J]. *PLoS One*, 2013, 8(5): e63999
- [61] Dhaliwal SS, Welborn TA, Goh LG, et al. Obesity as Assessed by body adiposity index and multivariable cardiovascular disease risk[J]. *PLoS One*, 2014, 9(4): e94560
- [62] Silva BR, Mialich MS, Hoffman DJ, et al. BMI, BMIfat, BAI or BAIFels-Which is the best adiposity index for the detection of excess weight?[J]. *Nutr Hosp*, 2017, 34(2): 389-395
- [63] Zhang ZQ, Liu YH, Xu Y, et al. The validity of the body adiposity index in predicting percentage body fat and cardiovascular risk factors among Chinese[J]. *Clin Endocrinol(Oxf)*, 2014, 81(3): 356-362
- [64] Jabłonowska-Lietz B, Wrzosek M, Włodarczyk M, et al. New indexes of body fat distribution, visceral adiposity index, body adiposity index, waist-to-height ratio, and metabolic disturbances in the obese[J]. *Kardiol Pol*, 2017, 75(11): 1185-1191
- [65] Belarmino G, Horie LM, Sala PC, et al. Body adiposity index performance in estimating body fat in a sample of severely obese Brazilian patients[J]. *Nutr J*, 2015, 14:130
- [66] Rossato M, Dellagrana RA, de Souza Bezerra E, et al. Comparison of body adiposity index (BAI) and air displacement plethysmograph with estimations of % body fat in adults with Down's syndrome[J]. *Eur J Clin Nutr*, 2017, 71(11): 1341-1344
- [67] Liu PJ, Ma F, Lou HP, et al. Body roundness index and body adiposity index: two new anthropometric indices to identify metabolic syndrome among Chinese postmenopausal women[J]. *Climacteric*, 2016, 19(5): 433-439
- [68] Amato MC, Giordano C, Galia M, et al. Visceral Adiposity Index: A reliable indicator of visceral fat function associated with cardiometabolic risk[J]. *Diabetes Care*, 2010, 33(4): 920-922
- [69] Escobar-Morreale HF, San Millán JL. Abdominal adiposity and the polycystic ovary syndrome[J]. *Trends Endocrinol Metab*, 2007, 18(7): 266-272
- [70] Luyckx FH, Lefebvre PJ, Scheen AJ. Non-alcoholic steatohepatitis: association with obesity and insulin resistance, and influence of weight loss[J]. *Diabetes Metab*, 2000, 26(2): 98-106
- [71] Giovannucci E, Michaud D. The role of obesity and related metabolic disturbances in cancers of the colon, prostate, and pancreas[J]. *Gastroenterology*, 2007, 132(6): 2208-2225
- [72] Lee M, Aronne LJ. Weight management for type 2 diabetes mellitus: global cardiovascular risk reduction[J]. *Am J Cardiol*, 2007, 99(4A): 68B-79B
- [73] Rader DJ. Effect of insulin resistance, dyslipidemia, and intra-abdominal adiposity on the development of cardiovascular disease and diabetes mellitus[J]. *Am J Med*, 2007, 120:S12-S18
- [74] Goldani H, Adami FS, Antunes MT, et al. Applicability of the visceral adiposity index (VAI) in the prediction of the components of the metabolic syndrome in elderly[J]. *Nutr Hosp*, 2015, 32(4): 1609-1615
- [75] Janghorbani M, Amini M. The Visceral Adiposity Index in Comparison with Easily Measurable Anthropometric Markers Did Not Improve Prediction of Diabetes[J]. *Can J Diabetes*, 2016, 40(5): 393-398
- [76] Dai DX, Chang Y, Chen YT, et al. Visceral Adiposity Index and Lipid Accumulation Product Index: Two Alternate Body Indices to Identify Chronic Kidney Disease among the Rural Population in Northeast China[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2016, 13(12), 1231
- [77] Bell CG. The Epigenomic Analysis of Human Obesity[J]. *Obesity*, 2017, 25(9): 1471-1481

- [78] Cornier MA, Després JP, Davis N, et al. Assessing adiposity: a scientific statement from the American Heart Association[J]. *Circulation*, 2011, 124(18): 1996-2019
- [79] Browning LM, Hsieh SD, Ashwell M. A systematic review of waist-to-height ratio as a screening tool for the prediction of cardiovascular disease and diabetes: 0.5 could be a suitable global boundary value[J]. *Nutr Res Rev*, 2010, 23(2): 247-269
- [80] Ashwell M, Cole TJ, Dixon AK. Ratio of waist circumference to height is strong predictor of intraabdominal fat[J]. *BMJ*, 1996, 313(7056): 559-560
- [81] Savva SC, Tornaritis M, Savva ME, et al. Waist circumference and waist-to-height ratio are better predictors of cardiovascular disease risk factors in children than body mass index[J]. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 2000, 24(11): 1453-1458
- [82] Mathieu P, Pibarot P, Larose E, et al. Visceral obesity and the heart[J]. *Int J Biochem Cell Biol*, 2008, 40(5): 821-836
- [83] Berrington de Gonzalez A, Hartge P, Cerhan JR, et al. Body-mass index and mortality among 1.46 million white adults[J]. *N Engl J Med*, 2010, 363(23): 2211-2219
- [84] van Dijk SB, Takken T, Prinsen EC, et al. Different anthropometric adiposity measures and their association with cardiovascular disease risk factors: a meta-analysis[J]. *Neth Heart J*, 2012, 20(5): 208-218
- [85] Borrueal S, Moltò JF, Alpañés M, et al. Surrogate Markers of Visceral Adiposity in Young Adults: Waist Circumference and Body Mass Index Are More Accurate than Waist Hip Ratio, Model of Adipose Distribution and Visceral Adiposity Index[J]. *PLoS One*, 2014, 9(12): e114112
- [86] Yu Y, Wang L, Liu H, et al. Body mass index and waist circumference rather than body adiposity index are better surrogates for body adiposity in a Chinese population[J]. *Nutr Clin Pract*, 2015, 30(2): 274-282
- [87] Bacopoulou F, Efthymiou V, Landis G, et al. Waist circumference, waist- to-hip ratio and waist-to-height ratio reference percentiles for abdominal obesity among Greek adolescents[J]. *BMC Pediatr*, 2015, 15:50
- [88] Kazushige Dobashi, Kenichiro Takahashi, Keiko Nagahara, et al. Evaluation of Hip/HeightP Ratio as an Index for Adiposity and Metabolic Complications in Obese Children: Comparison with Waist-related Indices[J]. *J Atheroscler Thromb*, 2017, 24(1): 47-54
- [89] Schuna JM Jr, Peterson CM, Thomas DM, et al. Scaling of adult regional body mass and body composition as a whole to height: relevance to body shape and body mass index[J]. *Am J Hum Biol*, 2015, 27(3): 372-379
- [90] Heo M, Kabat GC, Gallagher D, et al. Optimal scaling of weight and waist circumference to height for maximal association with DXA-measured total body fat mass by sex, age and race/ethnicity[J]. *Int J Obes (Land)*, 2013, 37(8): 1154-1160
- [91] Mbanya VN, Kengne AP, Mbanya JC, et al. Body mass index, waist circumference, hip circumference, waist-hip-ratio and waist-height-ratio: which is the better discriminator of prevalent screen-detected diabetes in a Cameroonian population[J]? *Diabetes Res Clin Pract*, 2015, 108(1): 23-30
- [92] Rashiti P, Behluli I, Bytyqi AR. Assessment of the Correlation between Severity of Coronary Artery Disease and Waist-Hip Ratio[J]. *Open Access Maced J Med Sci*, 2017, 5(7): 929-933
- [93] Dhaliwal SS, Welborn TA. Measurement error and ethnic comparisons of measures of abdominal obesity[J]. *Prev Med*, 2009, 49(2-3): 148-152
- [94] Loos RJ. The genetics of adiposity[J]. *Curr Opin Genet Dev*, 2018, 50: 86-95
- [95] Lo K, Wong M, Khalechelvam P, et al. Waist-to-height ratio, body mass index and waist circumference for screening paediatric cardio-metabolic risk factors: a meta-analysis[J]. *Obes Rev*, 2016, 17(12): 1258-1275
- [96] Thomson CA, Garcia DO, Wertheim BC, et al. Body Shape, Adiposity Index, and Mortality in Postmenopausal Women: Findings from the Women's Health Initiative[J]. *Obesity (Silver Spring)*, 2016, 24(5): 1061-1069.
- [97] Martin-Calvo N, Moreno-Galarraga L, Martinez-Gonzalez MA. Association between Body Mass Index, Waist-to-Height Ratio and Adiposity in Children: A Systematic Review and Meta-Analysis[J]. *Nutrients*, 2016, 8(8): 512
- [98] Alves Junior CA, Mocellin MC, Gonçalves ECA, et al. Anthropometric Indicators as Body Fat Discriminators in Children and Adolescents: A Systematic Review and Meta-Analysis[J]. *Adv Nutr*, 2017, 8(5): 718-727
- [99] Marcadenti A, Fuchs FD, Moreira LB, et al. Adiposity phenotypes are associated with type-2 diabetes: LAP index, body adiposity index, and neck circumference[J]. *Atherosclerosis*, 2017, 266: 145-150
- [100] Zaciragic A, Elezovic M, Babic N, et al. Neck Circumference as an Indicator of Central Obesity in Healthy Young Bosnian Adults: Cross-sectional Study[J]. *Int J Prev Med*, 2018, 9:42
- [101] De Ridder J, Julián-Almárcegui C, Mullee A, et al. Comparison of anthropometric measurements of adiposity in relation to cancer risk: a systematic review of prospective studies[J]. *Cancer Causes Control*, 2016, 27(3): 291-300
- [102] David KE, Thaete FL, Troost F, et al. Subdivisions of subcutaneous abdominal adipose tissue and insulin resistance[J]. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 2000, 278:E941-948
- [103] 陈昭. 人体组成的活体测量方法与分析 [A]. 见: 席焕久, 陈昭. 人体测量方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2010