

生物人类学和人体组成学的渊源关系

陈 昭

*Mel and Enid Zuckerman College of Public Health, University of Arizona, Roy P. Drachman Hall/Bldg A202,
1295 N. Martin Ave., Rm A238, P.O. Box 245211, Tucson AZ 85724-5211*

摘 要: 随着人体组成学中文版的发行和人体组成测量培训班在中国的举行, 中国生物人类学家对人体组成测量方法在科研中的运用有了更大的兴趣。该文对人类学家, 如 Jindřich Matiegka 和 Stanley Marion Garn 在人体组成学发展中的历史贡献做了基本的介绍。此外, 作者还以 Garn 博士的工作为例, 去激励中国生物人类学家开展人体组成学的研究工作。文章讨论了人体组成成分的测量方法在生物人类学中的用途, 并介绍了人体组成学的基本理论和概念及近年来人体组成学的变化: 如影像技术的发展, 影像技术作为“金标准”对评估其他人体组成测量方法的用途, 双能量 x 线吸收法的优势, 生物电阻分析法的广泛运用, 和多种人体组成测量方法相辅相成的现象。作者对常用的人体组成测量方法的优缺点做了比较, 并指出人体组成成分测量是人体测量方法的自然延续, 人体组成学和生物人类学的关系渊源已久; 因此中国人类学家应当更多地利用人体组成测量方法对人体差异做更深入的研究, 并注重人体差异同健康疾病和生物医学的关系, 以便让生物人类学更好地为当今社会服务。

关键词: 人体组成学, 生物人类学, 人体测量

中图法分类号: Q983; 文献标识码: A; 文章编号: 1000-3193(2013)03-0264-10

1 生物人类学和人体组成学简介

生物人类学 (Biological anthropology), 又称体质人类学 (Physical anthropology) 是人类学的一个重要分支。生物人类学和体质人类学的叫法和应用都很普遍并可互换, 但这两个名称的含义还是略有不同。相对体质人类学, 我更偏爱生物人类学这一学科名称。这是因为体质人类学是较早的用名, 虽一直沿用, 但他同形态学关系更紧密, 和古人类的研究相关更多; 而生物人类学包含的研究层面比较多, 更好地反映了新的生物研究技术和手段——如人类遗传学和分子生物学等技术手段, 在人类学中, 特别是在研究现代人人体质差异中的应用。因而在美国大学里越来越多的人类学专业已用生物人类学取代了体质人类学。

生物人类学主要侧重于采用不同的研究方法和技术来研究人体体质的演变和差异。生物人类学与古人类学, 生物考古学, 和法医人类学等人类学专科领域有着不可分割的关系, 并在这些领域里起着重要的作用。广为人知的生物人类学技术和方法已经包括了

收稿日期: 2013-07-01; 定稿日期: 2013-07-12

基金项目: NIH/NIAMS 5R01AR049411

作者简介: 陈昭, 博士。Email: zchen@email.arizona.edu

人骨学 (Human osteology), 人类遗传学 (Human genetics) 和人体测量学 (Anthropometry) 等多种生物和解剖的技术手段。然而, 生物人类学家还在不断地吸收和借鉴分子生物学 (Molecular biology), 生态学 (Ecology), 环境卫生学 (Environmental health) 和流行病学 (Epidemiology) 等其他学科的现代研究方法, 来进一步丰富自己的研究领域。

人体组成学是人类生物学 (Human biology) 的一个分支, 以研究人体内诸多组成成分的含量和分布, 组成成分之间的数量规律, 组成成分测量方法及影响组成成分因素为核心的多学科交叉结合的一个学术领域。根据人体组成学五个层次模型 (元素层次, 分子层次, 细胞层次, 组织-器官层次和整体层次), 目前科学家可以测量和分析 40 多个人体组成成分。在已知的 100 多种化学元素中, 人体含有大约 50 种; 其中含量最丰富的 11 种宏量元素共占人体质量的 99.5%; 它们是氧、碳、氢、氮、钙、磷、硫、钾、钠、氯和镁。这 11 种宏量元素是人体组成元素层次模型中的主要组成成分。在分子层次上, 人体内的主要元素组成了十多万种化合物。人体组成学按其分子结构和性质, 将这些化合物分成五类: 水、蛋白质、脂肪、矿物质、糖类和其他。细胞层次的人体组成模型把身体质量定义为细胞, 细胞外液体和细胞外固体质量的总和。其中, 细胞一项包括所有的细胞。但由于脂肪细胞大部分空间为脂肪的储存, 学者们提出将脂肪细胞中具有代谢活性的部分与其代谢惰性的储存脂肪分开。组织-器官层次的人体组成模型可以有两种不同的表达。首先, 从组织层次上身体质量可以定义为是结缔组织, 上皮组织, 神经组织和肌肉组织质量之和。从器官层次上人体组成学把身体质量分成脂肪组织、骨骼、骨骼肌、内脏、皮肤、血液和其他所剩人体组成成分质量。整体层次的人体组成模型把人体质量定义为头, 颈, 躯干, 上肢与下肢质量之和。不同的测量方法可以同时或分别测定若干个不同层次中的组成^[1]。

因为人体组成成分受遗传, 营养, 和运动等多因素的影响, 并和人体功能和疾病发生有密切关系, 人体组成测量方法在营养学 (Nutrition) 和运动生理学 (Exercise physiology) 及医学 (Medicine) 等多个领域里的应用都很广泛。人体组成测量方法在生物人类学的应用中的出现也是日益增长, 已为研究人类体质差异和人体对环境的适应 (Human adaptation) 提供了另一个有效的技术手段。从某种意义上讲, 人体组成的活体测量方法是人体测量学的一种自然延伸和扩展, 但它在中国的人类学研究中的应用起步较晚。2010 年, 人体组成学被正式纳入第 2 版的“人体测量方法”一书^[2], 从而为中国生物人类学学家开启了应用现代人体组成学和测量技术研究人体差异的一个崭新的研究方向。

追踪寻源, 生物人类学和人体组成学关系密切, 人体组成学从诞生之时就被生物人类学家应用于研究人体的差异; 而更为重要的但却是鲜为人知的是生物人类学家们对人体组成学的形成的历史中的重要贡献和影响。在“人体组成的量化: 体质人类学的第四维” (Quantitative description of body composition: Physical anthropology's “fourth” dimension) 一文中, 现代人体组成学研究的领军人物之一, Josef Brozek^[3] 详细地回顾了捷克 (Czech) 人类学家, Jindřich Matiegka 早期有关量化人体组成的开拓性想法和努力; 描述了当代人类学家, 如我所非常尊敬的 Stanley Marion Garn 博士在人体组成学研究中的贡献; 并探讨了为什么体重和身高不能满足体质人类学研究的需要, 和为什么把人体组成学的量化称之为体质人类学的第四维等有关论题。对生物人类学家来说该文很值得一读。

2 人类学家对人体组成学的形成和发展的贡献

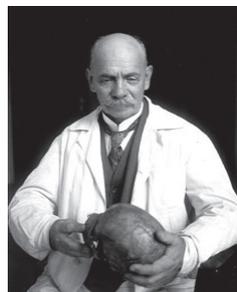
早在 1921 年，著名的捷克人类学家，Jindřich Matiegka (1862-1941) 就在美国体质人类学报 (*American Journal of Physical Anthropology*) 明确地指明了传统人体测量方法的局限性并提出了第一个利用人体测量数据来估测人体体重里组成成分的系统。从 1918 年到 1934 年 Matiegka 曾在捷克首都 布拉格大学 (*University of Prague*) 任教。他是当地人类学博物馆 (*A Hrdlička Museum of Anthropology*) 和人类学报 (*Journal Anthropologie*) 的奠基人，一生中发表了若干部具有影响的著作。Matiegka 对功能性的动态人体测量非常有兴趣；他的主要研究目的之一是建立一个可以定量分析人体体征的系统，从而为专业指导，选拔运动员，和人寿保险等目的提供体能分析数据。Matiegka 感到用一维人体的测量数据来作为评价人体体能的依据是非常错误的。比如，高个子的人不一定体能就好，因为他的肌肉可能不发达；而体重重的人可能是不健康的肥胖，并非健壮。他进而对人体测量方法里 二维或多维的测量，如胸围的测量，的用法也提出了质疑。Matiegka 认为胸围等的多维测量把尺寸和组织成分混杂在一起，对人体体能的研究没有帮助。Matiegka 非常希望能量化人体的各组成成分。因此他对人体组成学模型作了大量和长期的研究。其中他有关利用常规的人体测量数据来估测人的肌肉含量的模型的研究已被公认为是人体组成学 中的重要里程碑之一。Matiegka 对人体组成学的另一贡献是他早就将体重 (W) 分解成 4 个组分：

$$W = O + D + M + R$$

O = 骨骼 Bones (ossa), D = 皮肤和皮下脂肪 Skin (derma) plus subcutaneous adipose tissue, M = 骨骼肌 Skeletal muscles, R = 其他 Reminder

Matiegka 的这种组分系统的出现为后来人体组成学中多组分模型的发展以及人体组成学理论的建立奠定了重要基础。

Matiegka 非常重视把人体体征的分析和研究放在一个更广阔的理论和应用框架里来进行。他建议在人类学研究中加入临床的体检，人体功能测量和心理测定等项目。而他对人体组成学的研究正是他整个体质人类学研究理念的一个体现。在 Matiegka 这种开拓精神和应用性的研究理念的影响下，1963 年 Josef Brozek 在“人体组成的量化：体质人类学的第四维”一文中详细地讨论了把量化人体组成的方法纳入人类学家所用的传统方法可能带来的机遇和挑战。Brozek 指出人体组成学在人类学中的应用可以帮助我们拓宽体质人类学对现代人的研究，丰富人体测量技术，促进我们对人体构造的新理解，并增加人类学家对个体差异与健康，病理，和生物学之关系的研究的兴趣，最终为体质人类学开创新的研究方向。Brozek 艺术化地把人体组成的量化说成是体质人类学的第四维空间，以便强调分析人体组成成分在人类学中的关键地位并以此引起人类学家们对人体组成成分测量工作的重视。Brozek 是个心理学家，并非人类学家，但他 50 年前的这席话对今日中国生物人类学仍有深刻的指导意义。



Jindřich Matiegka
(1862-1941)

也是在 1963 年, Brozek 于纽约科学院组织了有关人体组成成分的第一个研讨会^[4]。这是一个具有特殊历史意义的科学研讨会, 众多的人体组成成分研究人员参加了会议并作了科学报告; 该会标志着现代人体组成成分研究的起步和人体组成学作为一个学科的正式出现。在此之前, 众多的人类学家已经在不懈地努力研究, 试图用多种方法更准确地测量人体成分。这些方法包括目测评估体形—即将体形分类成内、中、外胚三型 (Endomorphy, mesomorphy and ectomorphy), 计算体重指数, 测量四肢的围度和直径, 测量皮褶厚度 (Skinfold), 和利用不同常规的人体测量指标的组合来估测人体组成成分等等。除去用传统的人体测量方法来估测体成分, 科学家们还用 X- 光片中的影像来估测骨骼, 脂肪, 和肌肉, 用生物电阻抗分析法估测人体体液的含量, 利用阿基米德原理测定脂肪和非脂肪的比例, 和利用化学分析法测定体液含量或肌肉含量。此外, 人类学家和生物学家对人尸体的化学分析也为人体组成的分析提供了重要的参考值。由于化学分析在人类学中的广泛应用, 有人甚至建议采用化学人类学的名称。同时体质人类学家们还利用数学方法 (如 Factorial analysis) 来从众多的测量项目中挑选最有用的人体测量指标用于估测体成分。在近 50 年人体组成学的发展过程, 非常多的生物人类学家和人类生物学家都对人体组成学做了直接或间接的贡献: 如伦敦的 James Mouri Lyan Tanner, 加拿大的 William D “Bill” Ross, 在美 Fels 研究所 (Fels Research Institute, Antioch, Ohio) 工作的 Alex Roche, 在美得克萨斯大学任教的 Robert M Malina 和我的美国博士导师, 亚利桑那大学的人类学系主任 William A Stini 教授。而在众多从事人体组成研究的人类学家里, 我认为最有代表性的人物是 Stanley Marion Garn 教授。

Stanley Marion Garn (1922-2007) 是一位生物人类学家及人类生物学和营养学家。从 1968 年开始, 他一直在密歇根大学 (University of Michigan) 任教。在这之前, 他曾在 Fels 研究所 (Fels Research Institute, Antioch, Ohio) 从事生物人类学工作。他一生发表了近 800 篇著作和文章, 从遗传学到形态学和营养学, 从人发和骨骼的测量到人体组成成分的测定, 都有他的研究报告。他文章之多, 造诣之深, 和涉及面之广, 令其他人类学家大有望尘莫及的感觉。当时 Garn 教授出席了 Brozek 1963 年在纽约科学院组织的有关人体组成成分的第一个研讨会, 并在大会上发言和参加了后续的有关文献的出版。他在大会上尖锐地指出有关量化人体组成成分中的误区 (Some pitfalls in the quantification of body composition)^[5]: 如在计算体脂百分比 (Percent body fat) 时由于使用不同的分母——体重 (Total body weight) 或去脂瘦体 (Lean body weight) 可有不同结果, 从而同一人在一个计算式里可定为肥胖而在一个计算式里却被认为是在正常体脂百分比范围内。又如, 人体组成成分的比值没有任何生物意义, 是人为的, 可误导研究等等。至今, Garn 教授指出的一些问题不仅还屡有出现并且人们对这些问题的认识尚有争议。

Garn 教授是最早开始采用流行病学中的追踪研究 (Longitudinal study or cohort study) 方法的人类学科学家。象很多的研究人员一样, Garn 教授的初期体成分研究重点是在脂肪的测量和肥胖的评估, 但早在 1963 年时, 他对骨骼和肌肉研究的兴趣已非常明确。他在同年发表的人类生物学和人体体成分研究 (Human biology and research in body



Stanley Marion Garn
(1922-2007)

composition)^[6]一文中谈到对骨骼和肌肉研究的技术局限性。他总结了当时利用射线照片和射线照片测量技术对骨骼重量和变化的研究成果；指出白人和黑人在骨骼重量上的差异明显，骨骼的皮质层 (Cortical bone) 的厚度和骨髓腔 (Medullary cavity) 的大小都有性别差异，并随年龄而发生变化。对肌肉的量化分析，当时较为普遍的方法是测定尿液中 Creatinine 的含量和利用射线照片和射线照片测量技术来测定肌肉的厚度，各自都有很大的测量误差。Garn 教授对此很着急：“测量骨骼肌很重要。一方面骨骼肌特别发达的人容易得动脉粥样硬化；而另一方面骨骼肌发达的人却不容易有骨质疏松。”这种现象很值得研究。他还强调一个人的蛋白质的摄入量要根据骨骼肌含量而定，而有关蛋白质的摄入和骨骼肌增长之关系的研究也很有应用价值，但这些研究都需要用精确的方法来测量骨骼肌。这里我们可以感受到 Garn 教授对骨骼肌测量方法的发展很具期盼。之后，Garn 教授又在文章里详细地探讨了骨骼和骨骼肌的相关性，和遗传及后天因素对人体成分差异的影响。如此，仅在这一篇文章里，人们就可对 Garn 教授广博的人体组成学和生物人类学的学识有所认识。

从 Garn 教授 50 年代到 90 年代的众多研究论文中可以看出 (表 1)，他在采用不同 X-光射线照片测量技术如 Teleroentgenogram 来测量人体组成成分方面做了很多的工作。我在亚利桑那大学人类学系学习时的博士论文导师，William Stini 教授，1965 年就曾访问过 Garn 教授在 Fels 研究所的实验室，向 Garn 教授学习有关如何利用 X 光射线照片测量长骨端的骨皮质厚度和密度 (Cortical bone thickness and density) 的方法。当时 Stini 教授还是一名在校研究生。他和 Garn 教授先用赫利俄斯规 (Helio caliper) 测量射线照片中的长骨端的骨皮质厚度，再用 Ansel Adams 色谱板来估测组织密度。至今为止，一些矫形手术师还在采用该方法估测组织密度。Garn 教授很有技术创新的精神。当年，Stini 教授在哥伦比亚 (The Republic of Colombia) 作博士论文时，需用牙医的 X 光射线机测量儿童手腕骨以估测骨龄。Garn 教授得知特为他的项目设计了屏蔽系统，以使受测儿童除手腕之外不受到辐射的影响。Garn 教授这种不断技术创新的精神非常值得我们学习。

除去在人体组成成分测量方法学方面的研究，Garn 教授在人体组成成分差异，影响人体组成成分差异的因素，和人体组成成分差异同疾病健康之关系方面也做了大量工作。他早期主要研究儿童生长发育，而后来对老年人群的研究增多。他的研究既有人类生物学和营养学基础方面的课题也有公共卫生，和流行病学方面的应用项目。这就是为什么他的论文不仅在人类学和营养学杂志学报上发表，而且还在医学和公共卫生学杂志学报上发表的原因。Garn 教授的研究不受学科划分的约束，而是采用拿来主义的态度，取各学科之长，来达到研究目的。这是一个科学家，尤其是一位生物人类学家应该具有的研究态度。Garn 教授对问题思考得非常全面和深刻，并极具前瞻性。从某种角度来看，我们很多后来的研究人员象是不断地使用新的技术方法去证明 Garn 教授的一些假说和实现一些他当初的研究设想。Garn 教授在脂肪和骨骼等人体组成成分方面的研究很多。虽然他对骨骼肌非常感兴趣，但他在骨骼肌方面少有论文。这可能是与那时期测量骨骼肌的方法有限有关系。

在 Garn 教授的影响下，其他人类学家也纷纷加入了人体组成成分的研究中。我的博导，Stini 教授就曾带领我们研究室用单光子吸收法 (Single photo absorptiometry) 对老年骨质含量和密度进行了多年的追踪研究^[7,8]。而我的博士论文是采用了更先进的人体组成成分测量仪器：

表 1 斯坦利歌昂有关人体体成分的部分文章及其被引次数

Tab. 1 Selected publications on body composition by Stanley Marion Garn and their times cited (TC)

(See: http://scholar.google.com/citations?user=4X_B3SAAAAAJ&hl=en)

年代	文献 (Listed for more than 50 times cited until the summer of 2013)	TC
1954	SM Garn. Fat patterning and fat intercorrelations in the adult male. <i>Human biology</i> 26 (1), 59	77
1955	SM GARN. Relative fat patterning: an individual characteristic. <i>Human biology</i> 27 (2), 75	99
1955	SM GARN, RV Harper. Fat accumulation and weight gain in the adult male. <i>Human biology</i> 27 (1), 39	53
1956	SM GARN, EL GORMAN. Comparison of pinch-caliper and teleröntgenogram-metric measurements of subcutaneous fat. <i>Human biology</i> 28 (4), 407	70
1956	SM Garn. Comparison of pinch-caliper and X-ray measurements of skin plus subcutaneous fat. <i>Science</i> 124 (3213), 178-179	55
1957	SM Garn. Roentgenogrammetric determinations of body composition. <i>Human biology</i> 29 (4), 337	67
1959	SM Garn, JA Haskell. Fat and growth during childhood. <i>Science</i> 130 (3390), 1711-1712	56
1960	SM GARN, JA Haskell. Fat thickness and developmental status in childhood and adolescence. <i>Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine</i> 99 (6), 746	101
1964	SM Garn, EM Pao, ME Rihl. Compact bone in Chinese and Japanese. <i>Science</i> 143 (3613), 1439-1440	104
1964	SM Garn, CG Rohmann, M Behar, et al. Compact bone deficiency in protein-calorie malnutrition. <i>Science</i> 145 (3639), 1444-1445	73
1964	SM Garn, CG Rohmann, P Nolan Jr. The developmental nature of bone changes during aging. <i>Relations of development and aging</i> . Ayer, North Stratford, NH, 44-61	66
1966	SM Garn, CG Rohmann, B Wagner. Bone loss as a general phenomenon in man. <i>Federation Proceedings</i> 26 (6), 1729-1736	276
1967	SM Garn, CG Rohmann, B Wagner, W Ascoli. Continuing bone growth throughout life: a general phenomenon. <i>American journal of physical anthropology</i> 26 (3), 313-317	155
1970	SM Garn. The earlier gain and the later loss of cortical bone, in nutritional perspective. <i>Thomas</i>	601
1971	SM Garn, AK Poznanski, JM Nagy. Bone measurement in the differential diagnosis of osteopenia and osteoporosis. <i>Radiology</i> 100 (3), 509-518	129
1972	SM Garn. The course of bone gain and the phases of bone loss. <i>The Orthopedic Clinics of North America</i> 3 (3): 503-520	120
1975	SM Garn. Bone loss and aging. <i>Physiology and Pathology of Human Aging</i> . R. Goldman, editor. Academic Press ...	75
1976	SM Garn, DC Clark, CU Lowe, et al. Trends in fatness and the origins of obesity. <i>Pediatrics</i> 57 (4), 443-456	449
1977	SM Garn, SM Bailey, PE Cole, IT Higgins. Level of education, level of income, and level of fatness in adults. <i>The American journal of clinical nutrition</i> 30 (5), 721-725	99
1977	SM Garn, PE Cole, SM Bailey. Effect of parental fatness levels on the fatness of biological and adoptive children. <i>Ecology of Food and Nutrition</i> , 6 (2), 91-93	55
1981	SM Garn, SM Bailey, MA Solomon, PJ Hopkins. Effect of remaining family members on fatness prediction. <i>The American Journal of Clinical Nutrition</i> 34 (2), 148-153	53
1981	SM Garn, PJ Hopkins, AS Ryan. Differential fatness gain of low income boys and girls. <i>The American Journal of Clinical Nutrition</i> 34 (8), 1465-1468	52
1983	SM Garn, M LaVelle, JJ Pilkington. Comparisons of fatness in premenarcheal and postmenarcheal girls of the same age. <i>The Journal of pediatrics</i> 103 (2), 328-331	66
1983	SM Garn, VM Hawthorne, JJ Pilkington, SD Pesick. Fatness and mortality in the West of Scotland. <i>The American journal of clinical nutrition</i> 38 (2), 313-319	64
1985	SM Garn, M LaVelle. Two-decade follow-up of fatness in early childhood. <i>Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine</i> 139 (2), 181	173
1985	SM Garn. Continuities and changes in fatness from infancy through adulthood. <i>Current problems in pediatrics</i> 15 (2), 5-46	84
1986	SM Garn, WR Leonard, VM Hawthorne. Three limitations of the body mass index. <i>The American journal of clinical nutrition</i> 44 (6), 996-997	390
1986	SM Garn, M LaVelle, KR Rosenberg, VM Hawthorne. Maturational timing as a factor in female fatness and obesity. <i>The American journal of clinical nutrition</i> 43 (6), 879-883	211
1986	SM Garn. Family-line and socioeconomic factors in fatness and obesity. <i>Nutrition reviews</i> 44 (12), 381-386	56
1989	SM Garn, TV Sullivan, VM Hawthorne. Fatness and obesity of the parents of obese individuals. <i>The American journal of clinical nutrition</i> 50 (6), 1308-1313	75
1989	SM Garn, TV Sullivan, VM Hawthorne. Educational level, fatness, and fatness differences between husbands and wives. <i>The American journal of clinical nutrition</i> 50 (4), 740-745	52
1992	SM Garn, TV Sullivan, SA Decker, FA Larkin, VM Hawthorne. Continuing bone expansion and increasing bone loss over a two-decade period in men and women from a total community sample. <i>American Journal of Human Biology</i> 4 (1), 57-67	56

双能量 X 线吸收法 (Dual-energy X-ray absorptiometry) 来测量骨骼, 脂肪和瘦软组织 (Lean soft tissue), 并研究它们之间的关系^[9]。可以说正是人体组成成分测量技术的发展才给我们提供了宝贵的机会去进一步研究人的个体差异, 研究这些差异的影响因素, 和研究这些差异同人的功能和健康之关联。而 Garn 教授在这些方面的工作又给了我们新一代人类学家很多的启示。

3 人体组成学在未来中国生物人类学研究中的位置

人体组成学一书的中文版已于 2008 年在中国大陆和台湾同时出版，这为中国的研究人员对人体组成成分分析的研究提供了一本较全面的参考书。2010 年，第二版的“人体测量方法”一书增加了人体组成学的内容，希望以此对促进人体组成成分分析的广泛运用有所帮助。从 1963 年到现在，人体组成成分分析方法有很大变化。首先影像方法的发展，例如，CT(Computerized tomography) 和 MRI (核共振 /Magnetic resonance imaging)，对提高人体组成测量的准确性和精确性有很大的帮助，特别是对骨骼肌的测量方法的发展的帮助最为明显。用 CT 和 MRI 测量骨骼肌的方法同测量脂肪组织的方法大致相同。其测量推算公式为： $SM=0.00104\Sigma[d(S_i+S_{i+1})/2]$ 。

SM 是骨骼肌，0.00104 为骨骼肌的宽度 (kg/cm³)。S_i 与 S_{i+1} 表示相邻两个体层的骨骼肌横断面积 (cm²)；d 表示相邻两个体层横截面之间的距离。CT 和 MRI 能够探测到骨骼肌肉微小的变化和差异，如骨骼肌内的脂肪组织 (Intramuscular adipose tissue) 的含量，从而得知去脂肪组织的骨骼肌重量 (Adipose tissue-free muscle mass)，由此 CT 和 MRI 被视为检验和校正其它骨骼肌测量方法的“金标准”。但由于用 CT 和 MRI 测定人体组成成分造价高，因而不适于大样本调查。

值得一提的人体组成成分分析方法第二个变化是 X 线片的骨骼光密度 (Photodensity) 或 X 线测量 (Radiogrammatgy) 及后来的单光子吸收测量法 (Single photon absorptiometry, SPA) 和双光子吸收测量法 (Dual photon absorptiometry, DPA) 已逐渐被双能量 X 射线吸收仪 (Dual-energy X-ray absorptiometry, DXA) 取代。双能量 X 射线吸收仪不仅可以测定骨含量和骨密度，而且可以测量脂肪含量，去脂瘦体含量，和去脂瘦体软组织含量。除测定全身人体组成成分，双光子吸收测量法

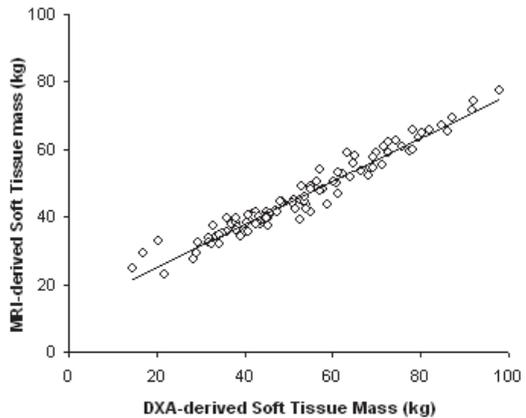


图 1 DXA 和 MRI 去脂瘦体软组织含量的相关性
Fig.1 The association between MRI-derived and DXA-derived Soft Tissue Mass

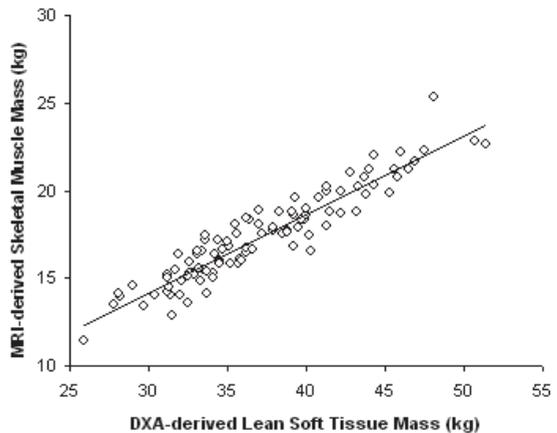


图 2 DXA- 去脂瘦体含量和 MRI- 骨骼肌含量的相关性
Fig2. The association between MRI-derived skeletal muscle mass and DXA-derived lean soft tissue mass

可以提供身体不同区域的组成成分, 以便进一步研究人体组成成分的分布。我们实验室曾用 MRI 作为“金标准”检测了 DXA 测量的准确性。结果显示, DXA 的去脂瘦体软组织含量 (图 1) 和去脂瘦体含量 (图 2) 的测定与 MRI 所测得的相对应的数据的相关性良好 (相关值 $r > 0.8$); 而 DXA 测定的脂肪值和 MRI 所测得的脂肪组织的相关则可高达 $r > 0.9$ (图 3)。这说明 DXA 对脂肪的测量的准确性很好。而用 DXA 去脂瘦体含量来估测骨骼肌重量的测量准确性虽良好, 但尚需改进和提高, 特别是

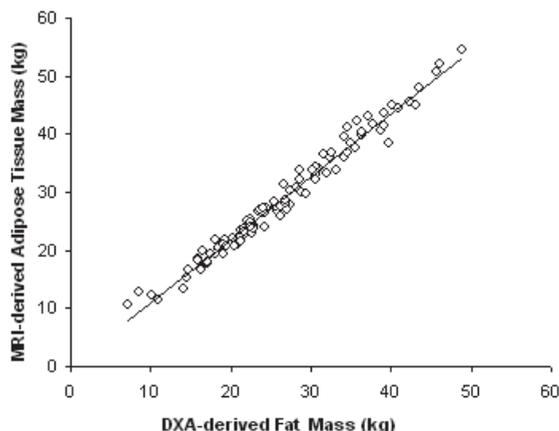


图 3 DXA 和 MRI 脂肪值的相关性

Fig. 3 The association between MRI-derived adipose tissue mass and DXA-derived fat mass

DXA 测定去脂瘦体含量的变化的准确性还待检验。用 DXA 测定人体组成成分的造价远远低于 CT 和 MRI 测量的造价。可是, DXA 体积大, 不便携带, 只适于在医院及固定的实验室和测量场所使用。但在美国也有多个移动 DXA 测量中心, 即把 DXA 按装在大型汽车上, 在不同地区流动测量。中国体育界已开始建立移动 DXA 测量中心。

人体组成成分分析方法的第三个大变化是生物电阻抗分析法 (Bioelectrical impedance analysis, BIA) 的快速发展。BIA 利用测量生物电阻和阻抗来估测人体内的水含量。脂肪和非脂肪组织的水含量有差异。骨骼肌含有大量水分和电解质其导电性最佳; 脂肪组织含有水分和电解质导电性就差。根据阻抗和去脂肪身体质量, 全身水含量和脂肪质量的关系, 脂肪和去脂肪组织含量可以被推算出来。

BIA 简易安全, 所用仪器携带方便, 造价较低, 是多点调查测量和随访测量的最佳选择之一。从 20 世纪 80 年代出现的第一个商业上使用的生物电阻抗分析仪开始, BIA 已被广泛地用于临床医学, 体育, 减肥, 流行病学调查和其它实验研究中。

BIA 阻抗与脂肪和去脂肪质量关系与人群的多种差异特性有关。BIA 对于脂肪的估测需要用“金标准”方法 (如 MRI, CT, DXA 或体积测量法) 来建立阻抗与脂肪和去脂肪组织的多组回归方程。已发表的回归方程很多, 但不同种族, 年龄, 性别和肥胖程度的人群应该建立自己的 BIA 回归方程, 以增加测量的准确性。这在生物人类学中尤为重要。

生物电阻抗分析仪有多种多样, 从简单的拇指对握式、两手握式、两足站立式测量至繁杂的双手双足大型仪器, 价格从几十美元到数万美元不等。这些分析仪的原理基本相同, 只是较复杂的分析仪运用了一些不同的频率的阻抗测量和回归推测公式, 因而可提供更多的身体组成测量结果, 如局部和整体脂肪质量, 细胞内或外的水含量等等。从测量的准确性, 简便性和花费等方面的综合分析来看, BIA 应是进行生物人类学研究的较好方法。

在近几年中人体组成成分分析方法的发展中还有不少其他的变化, 如传统的水中密度测定法 (Hydrodensitometry) 已被空气置换体积测定法 (Air displacement plethysmography) 所代替, 超声波测量方法 (Quantitative ultrasound, QUS) 的应用正在增加, 有更多的生化检测的方法可用于测定骨骼代谢和骨骼肌的含量等等。虽然传统的形态测量法在有些人体

表 2 人体组成成分测量方法的比较^[10]

Tab.2 A comparison of different body composition measurement methods

方法	可测组成	可测部位	准确度	精确度	其它特点
形态测量法	脂肪和骨骼肌	局部或全身 (BMI只测全身)	较差	较差	简便, 价廉, 无放射性
计算机断层摄影 (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
合磁共振(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
双能量x线吸收法 DXA	骨骼, 脂肪和骨骼肌	局部或全身	很好 (骨骼, 脂 肪)或较好(骨骼 肌)	很好 (骨骼, 脂 肪)或较好(骨骼 肌)	放射性弱, 适用人群广, 操 作较简单, 但无探测细节 (如骨松质和骨密质, 肌间 脂肪组织等)的功能
生物电阻分析法 (BIA)	脂肪和水(有的型号 可测骨骼和骨骼肌)	全身(有的型 号可测局部)	较好(脂肪和水)或 不确定(骨骼和骨 骼肌)	较好(脂肪和水)或 不确定 (骨骼和 骨骼肌)	简便, 价廉, 无放射性, 但 影响测量结果的因素较多
超声波法(QUS)	骨骼含量和强度 (有 的型号可测脂肪和骨 骼肌)	局部	较好(骨骼)或不确 定(脂肪和骨骼肌)	较好(骨骼)或不确 定 (脂肪和骨骼 肌)	简便, 价廉, 无放射性
生化检测	骨骼的变化或骨骼肌 含量	全身	好或不确定	好或不确定	无放射性, 需取血或尿样

组成成分研究项目里还有出现, 它的应用范围越来越小。表 2 展示了对不同人体组成成分分析方法的特性和造价的较的结果。很明显, 多种测量方法各有千秋。研究人员应根据自己研究的目的、人群和经费来选取最适合该研究项目的方法。

4 结束语

八十年代初, 著名人类学家吴新智先生把当时世界上最先进的人体测量方法带回中国并对许多研究人员进行了培训。在这之后, 人体测量方法被很快引入人类学研究的多个领域, 结出了可喜的研究成果。自 2008 年人体组成学的中文书籍的出版和由中国解剖学会人类学学术委员会组织的人体测量方法训练班的举行, 越来越多的人类学研究人员对人体组成学有了认识, 并且开展了不同规模的人体组成成分的测量工作。可以预见, 人体组成成分的测量方法会在人类学中进一步推广和应用。希望能如 Brozek 先生当年指出的一样: 中国的人类学家将会利用人体组成学去拓宽对现代人的研究, 丰富人体测量技术, 促进我们对人体构造的新理解, 增强人类学家对个体差异与健康, 病理, 和生物医学之关系方面的创新研究, 并使生物人类学的研究成果更有效地服务于当今社会。

参考文献

- [1] 王自勉. 人体组成学 [M]. 高等教育出版社, 2008
- [2] 席焕久, 陈昭. 人体测量方法 (第二版) [M]. 科学出版社, 2010, 233-246
- [3] Josef Brozek. Quantitative description of body composition: Physical anthropology's "fourth" dimension[J]. Current Anthropology, 1963, 4(1): 3-39
- [4] Stanley M Garn. Body Composition Part I & Part II[J]. Annals of the New York Academy of Sciences, 1961, 110: 7-424 & 429-1018

- [5] Stanley M Garn. Body composition part I: Some pitfalls in the quantification of body composition[J]. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1961, 110: 171-174
- [6] Stanley M Garn. Body composition part II: Human biology and research in body composition[J]. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1961,110: 429-445.
- [7] Stini WA, Stein P, Chen Z. Bone remodeling in old age: Longitudinal monitoring in Arizona[J]. *American Journal of Human Biology*, 1992, 4: 47-55.
- [8] Stini WA, Chen Z, Stein P. Aging, bone loss and body mass index in Arizona retirees[J]. *American Journal of Human Biology* 1994, 6(1): 43-50.
- [9] Chen Z, Lohman TG, Stini WA, et al. Fat or lean tissue, which one is the major determinant of bone mineral mass in healthy postmenopausal women? [J]. *Journal of Bone and Mineral Research* , 1997, 12: 144-151
- [10] 陈昭. 第五章——人体组成的活体测量方法与分析 [A]. 见: 席焕久, 陈昭 主编. 人体测量方法 (第二版)[M]. 科学出版社, 2010: 233-246

Historical Relationships Between Biological Anthropology and Body Composition

Zhao CHEN

*Mel and Enid Zuckerman College of Public Health, University of Arizona, Roy P. Drachman Hall/Bldg A202,
1295 N. Martin Ave., Rm A238, P.O. Box 245211, Tucson AZ 85724-5211*

Abstract: With recently published Chinese books and workshops on body composition methods, biological anthropologists in China are now increasingly interested in applying body composition methods in their research. This paper provided a brief review on the historical contributions by anthropologists, such as Jindřich Matiegka, and Stanley Marion Garn, to the development of body composition methods. In addition, Dr. Garn's work was used as an example to inspire body composition research by biological anthropologists in China. The author discussed the utility of body composition measurements in the research of biological anthropology, and described the basic theory and concept of body composition as well as the recent changes in body composition measurements: the advancement in imaging techniques, using imaging techniques as the "gold standard" to evaluate other body composition measurements, the advantage of Dual-energy X-ray Absorptiometry, the broad use of Bioelectrical Impedance Analysis, and the presence of different body composition methods. The author also compared the strengths and limitations of commonly used body composition methods, and pointed out that body composition measurement is a natural extension of anthropometry, and has a long history with biological anthropology. As such, Chinese biological anthropologists should increase the application of body composition methods in research in order to better understand human variation and the relationship of human variation to health, disease, and biomedicine. By doing so, biological anthropology may increase its contribution to today's society.

Keywords: Body Composition, Biological Anthropology, Anthropometry