



双能 X 线骨密度仪身体成份测量在运动医学中的应用

周琦¹, 牛军¹, 刘欣²

摘要: 定期评估身体成分的变化, 对监控运动员的成长、提高训练效果、评估健康及营养状况等都至关重要。传统的 2C 模型常常因选择不恰当的参考模型, 造成测量误差。双能 X 线骨密度仪 (DEXA) 作为评估 2C 模型的金标准, 在准确测量骨密度的同时, 提供了更多全身和局部的肌肉和脂肪信息。由于它测量重复性好、快速简便、辐射量极低, 在运动医学的身体成分研究中得到越来越广泛应用, 是值得推荐的先进工具。

关键词: 双能 X 线骨密度仪 (DEXA); 身体成分; 运动医学

中图分类号: G804.49 文献标识码: A 文章编号: 1006-1207(2008)01-00012-05

Application of DXA to Body Composition Measurement in Sports Medicine

ZHOU Qi¹, NIU Jun¹, LIU Qin²

(GE Healthcare, Beijing 100176, China)

Abstract: To evaluate the changes of body composition regularly plays an important role in monitoring the growth of athletes, improving the training results, assessing the conditions of health and nutrition. The traditional 2C model often results in measurement errors owing to its inappropriate selection of reference models. DXA, as the golden standard in assessing 2C model, may measure the bone density accurately and provide more information on systemic and partial muscles and fat. It has been more and more widely used in body composition study of sports medicine due to its good measurement repeatability, quickness, simplicity and low radiation. Therefore, it is an advanced instrument worth recommending.

Key words: DEXA; body composition; sports medicine

1 前言

定期评估身体成分的变化, 对监控运动员的成长、提高训练效果、评估健康及营养状况等都至关重要。如体育运动对骨骼和肌肉的积极影响是增强肌力, 增加肌肉量和骨矿^[1, 2], 然而, 过长的超负荷运动却会导致骨矿流失。因此, 定期准确的测量身体成分, 可以早期了解和预防运动员由于营养不当、过度训练或疾病导致的身体成分的不利变化。

双能 X 线骨密度仪 (Dual Energy X-ray Absorptiometry, DEXA) 不但能测量骨量变化, 作为诊断骨质疏松的金指标, 而且能提供全身和局部肌肉量、脂肪量精确可靠的数据。具有重复性好^[3], 一般全身体成分的测量精密度在 0.7% ~ 1.2%^[4]; 辐射剂量小 (5~10 μ sv), 相当于数小时高空飞行时接受的辐射量; 检测速度快 (约 5min) 等优点, 正逐渐引起运动医学研究领域的重视。

2 DEXA 测量技术

2.1 DEXA 身体成分测量原理

真正的直接身体成分测量法是指对器官或尸体在化学、分子层面上评估其成分的量^[5], 对于活体只能运用无创的间接测量方法。间接测量法根据人类尸体和器官的分析数据建立参考模型, 由于不同的人有不同的身体成分比率, 参考模型也有所不同 (例如婴儿、青少年、男性、女性)。经典的 2C (2-

component) 模型^[6]将身体定义为由脂肪组织和非脂肪组织组成, 运用这个模型, 非脂肪组织可以由身体成分密度和水份等测量结果估算得到。为了得到准确的估算值, 必须选用适当的参考模型。通常我们用到的建立在 2C 模型基础上的方法有: 水下称重法 (UWW)、空气置换体积法 (Bod PodTM)、生物电阻抗法 (BIA) 等 (附表 1)。许多研究发现, 如果选择不适当的参考模型, 结果将会造成较大的误差。为了减少 2C 模型的误差, 只有直接测定其他的身体成分, 从而减少要估算的身体成分部分。随着技术的进步, 我们可以直接测量骨矿含量和水。这样, 3C 模型^[7] (骨矿含量、肌肉量和脂肪量) 和 4C^[8] 模型 (水、蛋白质、骨矿含量和脂肪量) 便建立起来, 被统一称为多 C 模型 (见图 1), 多 C 模型的建立大大提高了检测的精确度。DEXA 是建立在 3C 模型的基础上的, 通过全身扫描, 我们可以精确得到骨矿含量、肌肉量和脂肪量。由于 DEXA 是为测定骨矿含量的变异设计的, 因此相对不受非脂肪组织的变异影响, 如: 研究分析了成人^[9] 以及 0 到 10 岁的儿童^[10], 当非脂肪组织中含水量变异加大时, 对 DEXA 评估脂肪量的影响均小于 1%。另外, DEXA 还能提供精准的局部成分测量结果 (图 2), 因此, 重复性好^[4], 有利于随访。通常被作为验证其他方法的金标准^[11]。

2.2 DEXA 身体成份测量技术新进展

自上世纪 80 年代 DEXA 问世以来, 随着材料、计算机

收稿日期: 2007-12-14

第一作者简介: 周琦 (1974-), 女, 汉族, 骨密度亚洲区循证医学经理; 美国骨矿盐学会会员; 国际临床骨密度学会会员。

主要研究方向: 骨矿和体成分测量。E-mail: qiq.Zhou@med.Ge.Com, Tel: 8613817122259

作者单位: 1. 通用电气医疗系统, 北京 100176; 2. 上海体育科学研究所, 上海 200030

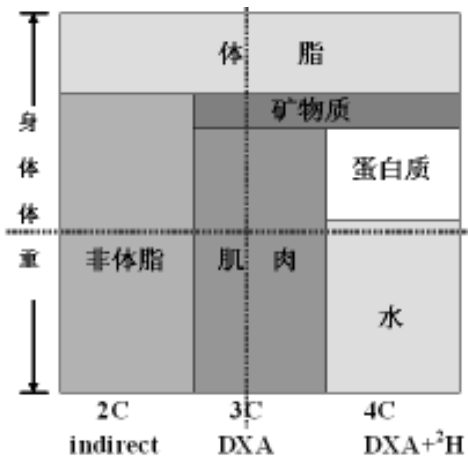


图1 人体成分模型

Figure1 Body Composition Model

测肥胖、消耗性疾病等应用上得到了FDA的认可，最近还被指定用于奥运会运动员的检测机型。Prodigy是GE-Lunar的高端产品，是一款建立在直接数字化探测器（镉锌碲化物，CZT）先进技术上的DEXA它在结合先进的窄角（4.5°）扇形X线束技术和CT的多视野图像重建技术（MVIR），在快速测量（全身扫描，<5min）的同时，可以判断出被测物体正确的平面，保证了BMC、面积和软组织测量结果的准确性。尤其在测量肥胖患者时比较其他传统的宽角扇形的DEXA，更能体现出其准确的优势^[12]。另外，进行肥胖研究的时候，经常遇到体形超大，超出扫描窗口的被测者，GE-Lunar通过新的方法，可使被测者宽度较过去增加一倍。经过多年研发，GE-Lunar最新推出的全新的iDEXA，为体成分研究提供了一个崭新的平台，它采用独一无二的错列式的直接数字化探测器，使DEXA扫描得到的信息更完全，图像质量几乎接近X光常规摄片。Prodigy体成份测量的精密程度已经最高（Fat CV = 1.93%），而iDEXA体成份的精密程度竟然是它的一倍（CV = 0.95%）^[13]，它的厚扫描模式可以对仰卧身体厚度大于35cm的肥胖患者仍能作精确测量^[14]。

GE-Lunar DEXA身体成分的检测报告是建立在中国人的参考数据库基础上的，随着国内越来越多的研究者对身体成分的测量的研究感兴趣，参考数据库也在不断完善之中，如最近Xu^[15]还报道了有关儿童的身体成分参考数据库。诊断报告提供了数字化彩色软组织分布图，使被测者的脂肪分布一目了然。另外，报告还提供检测者的基础代谢率值（RMR，跟据Harris-Benedict公式得到），以及骨骼肌肉相对指数（RSMI=（手臂的肌肉[kg] + 腿的肌肉[kg]）/ 身高[m]²）^[16]，可以帮助教练和医生更好地设定训练和营养方案。

3 DEXA在运动医学领域的应用

3.1 运动训练监控

通过DEXA身体成分测量技术，可以详细了解运动员的全身骨量、肌肉量和脂肪量分布数据^[17-19]。对运动员身体成分的研究表明，运动员组比对照组有明显较多的肌肉量、较高的骨密度，以及较少的脂肪量。大多数的竞技运动教练员认为，良好的训练状态指标之一是肌肉量的增加，并伴随脂肪量的减少。但是，脂肪过少也会导致健康和行为能力的下降。Friedl^[20]供给一群正常男性8星期的低能量并要求极限训练，探讨正常男性的最小体脂含量，结果发现脂肪含量不应小于体重的5%~6%。

运动健身领域的一些研究证明，经常运动锻炼的妇女与不常运动妇女在上肢和下肢的体脂分布存在明显不同。全身身体成分分析技术仅可获得脂肪含量、肌肉含量和骨矿含量等变化的数据，而局部身体成分分析技术可以得到更详细的信息，例如测量结果显示上肢有明显的脂肪量减少，而肌肉量和骨矿含量无变化，下肢表现为肌肉量和骨矿含量增加，并无脂肪量的减少等，从而为运动健身的指导提供更科学的依据。此外，经常运动锻炼的妇女随年龄增加可能

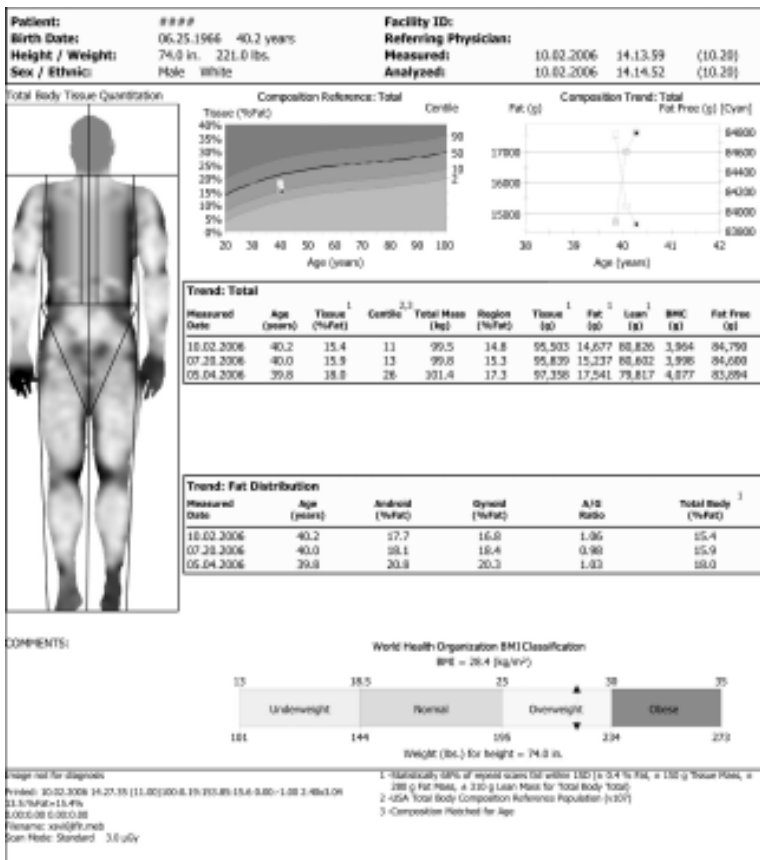


图2 DEXA 检测报告

Figure2 DEXA Measurement Report

等科学的发展，DEXA 诊断技术也取得了很大的进步，不但检测速度大为提高，测量精度也达到了新的水平，成为体成分分析研究极为有用的工具。在众多产品中，GE Healthcare Lunar (Madison, WI, USA) 生产的DEXA就是其中具代表性的产品。

GE Lunar DEXA 产品不仅在骨密度测量方面精密度高，身体成分测量的精密度也很高^[3,4]，它可以准确提供全身和局部骨骼、肌肉和脂肪测量所有信息，且在一次扫描中完成，其结果与实际测量值比R = 0.93，See = 2.6%，因此，在监



较少出现中心性肥胖，而久坐的妇女则与之相反^[21]。

3.2 营养和肥胖的评估

科学合理的膳食，对运动员非常重要。使用 DEXA 进行身体成分测量，通过观察骨矿含量、肌肉量和脂肪量的相对变化，获取营养供给对某些特定部位的影响程度的信息，从而为合理调节膳食营养提供帮助，实现对营养量和运动量是否合理的基本评价，这是简单的观察体重变化所不能实现的，这一技术已经得到验证^[22~25]。

饮食控制不当，常常还会导致厌食或贪食症。厌食患者主要引起非脂肪组织丢失，常可达体重的 15%~45%，且大多数丢失的非脂肪组织为肌肉组织，这对运动员成绩和健康都有很大影响。临床医生还使用 DEXA 进行身体成分分析来指导厌食症的治疗，其目的是通过测定非脂肪组织和脂肪组织的含量及变化，确定疾病的严重程度和营养干预治疗后的效果^[24, 25]。营养治疗不仅要增加非脂肪组织，而且要重新构建非脂肪组织和脂肪组织之间的平衡。

目前人们已经逐渐认识到脂肪分布是多种疾病的独立危险因素，因此关于超重人群中体脂分布与发生相应疾病相对危险度的增高已成为关注的重点。现在的观点认为：老龄化常伴随脂肪的重新分布，而腹部脂肪的增长率则超过其它部位。腹部的（上体）脂肪增多是最危险的，会增高冠心病发生的相对危险度。专业运动员退役后，比普通人更易骨矿丢失和脂肪沉积。脂肪沉积于躯干或腹部，尤其是沉积于内脏器官的人，有较高的可能性发展为胰岛素抵抗综合症，同时也是 II 型糖尿病和心血管疾病的主要病因之一^[26~34]。这些患者死于心肌梗死的机率也是正常人群的 2~3 倍。DEXA 提供了一套简单易行且价格低廉的局部脂肪分布测量方法，是预测腹腔内脂肪分布的较好工具^[26, 27, 29~33]，因此，DEXA 可应用于监测腹部脂肪的变化。如应用于临床上绝经后妇女脂肪变化及降低糖尿病和心血管疾病的发病率^[34]，肥胖患者减肥治疗中的脂肪与非脂肪组织变化评估等^[35]。

3.3 生长激素缺乏（GHD）症的治疗

无论在儿童还是成人，生长激素都是维持正常生长发育和影响骨矿盐代谢以及身体成分的必需物质，对生长激素缺乏症（GHD）患者使用合成的生长激素有极大的临床应用价值。但是，成人何时终止使用生长激素一般很难确定，而儿童线性生长速率则为治疗效果的提供了基本依据。因此，使用 DEXA 系统进行身体成分测量成为成人生长激素治疗效果判断的客观依据。成人生长激素缺乏可在身体成分测量上表现出明显的异常，包括脂肪含量增加，尤其是内脏脂肪含量增加，骨骼肌量和肌肉强度减少^[36~38]。此外，肌肉和肌强度的减少，加上伴随的骨量减少，构成了老年人跌倒和骨质疏松性骨折的危险因素。生长激素缺乏患者的心血管异常也伴有腹部脏器脂肪含量增加发生。因此，测量身体成分对临床观察治疗效果，评价生长激素剂量和是否停止使用都是非常有用的^[36]。尤其是出现非脂肪组织量的增加和脂肪组织量的减少的结果说明治疗效果良好。

3.4 脊髓损伤和高位截瘫患者的应用

竞技运动难免发生损伤。使用 DEXA 的身体成分测量方法对于脊髓损伤患者（SCI）及其伴随的高位截瘫患者进行

临床评价是非常有意义的。SCI 患者有较高的肥胖和患其它疾病的风险，包括心血管疾病和糖尿病，加上患肢的广泛性骨质疏松^[39]。SCI 患者死于心血管疾病的几率要高出正常人群的 200%。DEXA 常用于：（1）评估患者是否有肥胖症疾病患病的高风险率；（2）全程监控身体构成变化；（3）评价运动和营养治疗对于减少 SCI 相关疾病的疗效^[30]。

4 小结

定期评估身体成分，对监控运动员的成长、提高训练效果、评估健康及营养状况都至关重要。传统的 2C 模型常常因选择不恰当的参考模型，造成测量误差。在条件允许的情况下，建议采用多 C 模型测量。作为 3C 模型金标准，DEXA 准确测量骨密度的同时，提供了更多全身和局部的肌肉和脂肪信息，还可作 2C 模式评价，它在是运动医学身体成分研究中值得推荐的先进工具。

参考文献：

- [1] Birge SJ, Whedon GD. Hypodynamics and hypogravics. In: McCally M, editors. *The Physiology of Inactivity and Weightlessness*. New York, *Academic Press*, 1968:213.
- [2] Felsenberg D. (1981). *Demineralisation und Remineralisation im Fersenbein des Menschen nach Verletzungen im oberen Sprunggelenk. Dissertation, Freie Universitat Berlin*
- [3] Kiebzak G, Leamy L, Pierson L, et al. (2000). Measurement precision of body composition variables using the Lunar DPX-L densitometer. *J Clin Densitom*, 3:35~C41.
- [4] Chen R. (2007). Precision of the Measurement of Body Composition Using dual-energy x-ray Absorptiometry. *Chinese J Osteoporosis*, 13(4): 272-273.
- [5] Wang ZM, Pierson Jr RN, Heymsfield SB. (1992). The five-level model: A new approach to organizing body-composition research. *Am J Clin Nutr*, 56:19-28.
- [6] Siri WE. (1956) The gross composition of the body. In: C. A. Tobiasand J. H. Lawrence (eds.) *Advances in biological and medical physics*. New York: *Academic Press*, 239-280.
- [7] Ellis KJ. (2000). Human body composition: in vivo methods. *Physiol Rev*, 80(2):649-680.
- [8] Friedl KE, Westphal, KA, Marchitelli LJ, et al. (2001). Evaluation of anthropometric equations to assess body-composition changes in young women. *Am J Clin Nutr*, 73(2):268-75.
- [9] Pietrobelli A, Formica C, Wang Z, et al. (1996). Dual-energy x-ray absorptiometry body composition model: review of physical concepts. *Am. J. Physiol*, 271: E941-E951.
- [10] Testolin CG, Gore R, Rivkin T, et al. (2000). Dual-energy X-ray absorptiometry: analysis of pediatric fat estimate errors due to tissue hydration effects. *J Appl Physiol*, 89(6):2365-72.
- [11] Van Loan MD. (1998). Is dual-energy x-ray absorptiometry ready for prime time in the clinical evaluation of body composition? *Am J Clin Nutr*, 68:1155-6.
- [12] Genton L., et al. (2006). Comparison of body weight and composition measured by two different dual energy X-ray



- absorptiometry devices and three acquisition modes in obese women. *Clinical Nutrition*, 25: 428-437.
- [13] Krueger D, Checovich M, Vallarta-Ast N, Gemar D, Binkley N. (2006). Comparison of total body parameters as measured using GE Healthcare Lunar Prodigy and Lunar iDXA densitometers, *ASBMR Poster*.
- [14] O'Connor MK, et al, Effect of Abdominal Thickness on the Accuracy of Bone Densitometry Measurements using the Lunar iDXA Scanner, *Osteoporosis Int* 2006;(suppl 2):S289
- [15] Xu H, Chen JX, Gong J, Zhang TM, Wu QL.(2006). Normal reference for bone density in healthy Chinese children. *Journal of Clinical Densitometry*, 10 (3):266-275
- [16] Baumgartner RN, Koehler KM, Gallagher D, Romero L, Heymsfield SB, Ross RR, Garry PJ, Lindeman RD.(1998). Epidemiology of sarcopenia among the elderly in New Mexico. *Am J Epidemiol*, 147(8):755-763.
- [17] Fiori CE, Dieli M, Vintaloro G, et al.(1996). Body composition and bone mineral density in competitive athletes in different sports. *Int J Tiss Reac*, 18:121-124.
- [18] Taaffe DR, Pruitt L, Pyka G, et al.(1996). Comparative effects of high- and low-intensity resistance training on thigh muscle strength, fiber area, and tissue composition in elderly women. *Clin Physiol*, 16:381-392.
- [19] Nindl BC, Friedl KE, Marchitelli LJ, et al.(1996). Regional fat placement in physically fit males and changes with weight loss. *Med Sci Sports Exer*, 28:786-793
- [20] Friedl KE, Moore RJ, Martinez-Lopez LE, et al.(1994). Lower limit of body fat in healthy active men. *J Appl Physiol*, 77(2): 922-C940.
- [21] Van Pelt RE, Davy KP, Stevenson ET, et al.(1998). Smaller differences in total and regional adiposity with age in women who regularly perform endurance exercise. *Am J Physiol*, 275:E626-E634.
- [22] Kaats GR, Wise JA, Morin R, et al.(1998). Positive effects of nutritional supplementation on body composition biomarkers of aging during a weight loss program. *J Am Nutraceutical Assn*, 1(2):1-7.
- [23] Brown RC, Cox CM, Goulding A.(2000). High-carbohydrate versus high-fat diets: effect on body composition in trained cyclists. *Med Sci Sports Exer*, 32: 690-694.
- [24] Kaats GR, Wise JA, Morin R, et al.(1998). Reductions in DXA measurements of body fat with different levels of involvement in a weight loss program using dietary supplements. *J Am Nutraceutical Assn*, 1(1) :1-8.
- [25] De Lorenzo A, Petrone-De Luca P, Sasso GF, et al.(1999). Effects of weight loss on body composition and pulmonary function. *Respiration*, 66:407-412.
- [26] Kamel EG, McNeill G, Han TS, et al.(1999) Measurement of abdominal fat by magnetic resonance imaging, dual-energy x-ray absorptiometry and anthropometry in non-obese men and women. *Int J Obes*, 23: 686-692.
- [27] Carey DG, Jenkins AB, Campbell LV, Freund J, Chisholm DJ. (1996). Abdominal fat and insulin resistance in normal and over weight women-Direct measurements reveal strong relationship in subjects at both low and high risk of NIDDM Diabetes, 45: 633-638.
- [28] Marcus MA, Murphy L, Pi-Sunyer FX, Albu JB.(1999). Insulin sensitivity and serum triglyceride level in obese white and black women: relationship to visceral and truncal subcutaneous fat. *Metabolism*, 48:194-199.
- [29] Stern MP, Haffner SM.(1986). Body fat distribution and hyper insulinemia as risk factors for diabetes and cardiovascular disease. *Arteriosclerosis* 6:123-130.
- [30] Paradisi G, Smith L, Burtner C, Leaming R, Garvey WT, Hook G, Johnson A, Cronin J, Steinberg HO, Baron AD.(1999). Dual energy X-ray absorptiometry assessment of fat mass distribution and its association with the insulin resistance syndrome. *Diabetes Care*, 22: 1310-1317.
- [31] Taaffe DR, Lewis B, Marcus R.(1994). Regional fat distribution by dual-energy X-ray absorptiometry and application in a clinical trial of growth hormone and exercise. *Clin Sci*, 87: 851-856.
- [32] Walton C, Lees B, Crook D, Worthington M, Godsland IF, Stevenson JC.(1995). Body fat distribution, rather than overall adiposity, influences serum lipids and lipoproteins in healthy men independently of age. *Am J Med*, 99:459-464.
- [33] Williams MJ, Hunter GR, Kekes-Azabo T, Snyder S, Treuth MS Regional fat distribution in women and risk of cardiovascular disease. *Am J Clin Nutr* 65:855-860.
- [34] Sites CK, Calles-Escandon J, Brochu M, Butterfield M, Ashikaga T, Poehlman ET. (2000). Relation of regional fat distribution to insulin sensitivity in postmenopausal women. *Fertil Steril*, 73:61-65.
- [35] De Lorenzo A, Petrone-De Luca P, Sasso GF, Carbonelli MG, Rossi P, Brancati.(1997). A Effects of weight loss on body composition and pulmonary function. *Respiration* 1999, 66: 407-412.
- [36] Kochina P Body composition of spinal cord injured adults. *Sports Med*, 23: 48-60.
- [37] Bachrach LK, Marcus R, Ott SM, Rosenbloom AL, Vasconez O, Martinez V, Martinez AL, Rosenfeld RG, Guevara-Aguirre J Bone mineral, histomorphometry, and body composition in adults with growth hormone receptor deficiency. *J Bone Miner Res* 1998, 13:415-421.
- [38] Hoffman DM, O'Sullivan AJ, Freund J, Ho KKY.(1995). Adults with growth hormone deficiency have abnormal body composition but normal energy metabolism. *J Clin Endocrinol Metab*, 80:72-77.
- [39] Cuneo RC, Judd S, Wallace JD, Perry-Keene D, Burger H, Lim-Tio S, Strauss B, Stockigt J, Topliss D, Alford F, Hew L, Bode H, Conway A, Handelsman D, Dunn S, Boyages S, Wah Chung N, Hurley D.(1998). The Australian multicenter trial of growth hormone (GH) treatment in GH-deficient adults. *J Clin Endocrinol Metab*, 83:107-116.



附表 1 身体成分测试方法比较
Table 1 Comparison between the Methods of Body Composition Measurement

技术	精密度	时间	误差来源	优点	缺点
双能量 X 线分析	+ / - <1%	~5 min	全身扫描, 最精确	快速; 最精确; 全身局部脂肪均可检测	非便携式
双能量 X 线估计	R = 0.93 全身 DXA See = 2.6%	在测量正位脊柱和股骨骨密度时同时得到	局部扫描, 估计身体成份	快速; 与 DXA 全身扫描测量的结果符合	不可检测局部脂肪
水下称重系统	+ / - 1%	1h (可能包括灌肠时间)	美国黑人 (低估 Fat%); 健美运动员 (高估 Fat%); 肺脏和消化道气体; 使用的公式 (具有年龄、种群、性别和身体活动状态的特异性)	相对精确; 一致性很好 (测量体脂变化); 以前是金标准	不舒服; 需要下水; 设备庞大; 需要整套设备; 耗时; 昂贵; 骨密度假设可引起误差
BOD-POD 人体成分分析仪	+ / - 1%	5 - 8 min	同水下称重系统; 温度; 身体水饱和度	相对精确; 一致性极好 (测量 Fat%); 舒适性好; 速度快; 易于操作; 老年人也可使用	设备庞大 (但可以移动), 需要整套设备; 骨密度假设可引起误差
皮褶卡钳	+ / - 3.7% - 5%	10 - 15 min (包括重复检测时间和计算时间)	测量技术利用了脂肪可压缩性; 使用的计算公式 (具有年龄、种群、性别和身体活动状态的特异性)	便宜; 方便; 速度快; 便于携带; 适用于体脂百分含量检测	有待提高精密度和一致性技术; 对偏瘦或者肥胖患者精确性较差; 仅能估算皮下脂肪; 相比较水下称重结果, 不能精确对实际 Fat% 测量; 以水下称重结果为基础 (缺点如其)
身体围度测量	+ / - 3.7% - 5%	~5 min	屏气; 卷尺放置体位等	快速; 用卷尺测量不用花钱	不太精确
腰围与臀围比值	-	~5 min	屏气; 卷尺放置体位等	快速; 用卷尺测量不用花钱; 能够预测心脏脏病和糖尿病风险	不能给出体脂信息
生物电阻抗测定法	+ / - 3.7% - 4%	~1 min	脱水程度; 膀胱充盈状态; 温度; 脂肪分布不均 (便携设备仅能检测上肢); 手臂位置; 附近器具; 使用的公式 (具有年龄、种群、性别和身体活动状态的特异性)	便宜; 易于使用; 速度特别快; 如果加入身高、体重和其它变量, 能够对体内含水量进行精确估计	检测 Fat% 精确度较差 (读数浮动太大); 需要引入其它变量 (如身高、体重) 才能提高精确度; 以水下称重结果为估计基础 (缺点如其)
近红外电阻抗	>5%	~1 min	仅能在一个位置测量; 极不可靠	最快	仅能在一处测量 (不如皮褶卡钳方法); 缺点较多
身体质量指数 (BMI)	>5%	~5 min	体形 (身高); 身体水饱和度和是否空腹 (重量)	快速; 不用花钱; 能够预测寿命	对运动员进行体脂百分比进行估计时可靠度很低