

DXA 在体成分测定方面的应用进展

商敏

中图分类号: R443 文献标识码: A 文章编号: 1006-7108(2011)08-0736-05

摘要: 在代谢综合征等疾病状态下,体成分测定比体重更有意义。体成分包括体内脂肪组织和瘦组织分布及百分组成,其测定方法有二分法和三分法等。双能 X 线骨密度测定(DXA)属于三分法,精确度高完全可以替代 CT 测量腹部和内脏脂肪。

关键词: 体成分; 双能 X 线骨密度测定

Progress in the measurement of body composition with dual energy X-ray absorptiometry SHANG Min. Department of Obstetrics and Gynecology, Beijing Friendship Hospital, Capital Medical University, Beijing 100050, China

Corresponding author: SHANG Min, Email: shangmin917@126.com

Abstract: Measurement of body composition is more important than body weight in metabolic syndrome and some other diseases. The body composition includes the distribution and percentage composition of fat tissue and lean tissue. The techniques used to measure body composition include two- and three-compartment method, etc. Dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) is a three-compartment method. DXA is more precise than CT in the measurement of abdominal and visceral fat tissue.

Key words: Body composition; Dual-energy X-ray absorptiometry

双能 X 线骨密度测定 (Dual-energy X-ray absorptiometry, DXA) 技术最早是用来测定机体的骨密度,是明确骨质疏松的诊断、估计骨质疏松的程度、评价骨质疏松的疗效^[1]的基本手段,随着技术的进步,骨密度测量逐渐成为一项常规的检查项目,性能好、测量精度高的 DXA 已普遍应用。近年来国外对全身成分测定也是通过 DXA 的方法进行的,DXA 能客观地测定出身体脂肪组织、非脂肪组织和骨矿物质含量、骨矿密度等参数,成为人体脂肪测定的标准方法^[2]。

体成分与体重相关,但二者完全不同。体成分测定包括体内脂肪组织和瘦组织分布及百分组成。尽管许多研究发现一些疾病状态对应相应的极端体重,但目前越来越认识到在各种疾病状态下(如代谢综合征、腕骨和椎体骨质疏松性骨折^[3]、心血管疾病等),体成分比体重更重要。回顾其他测定体成分的技术有助于理解 DXA 测定体成分的特殊功能。

1 体重指数

体重指数(BMI)只是评价体成分的第一步,其计算公式被称为 Quetelet's 公式或指数, $BMI = \text{体重}(\text{kg}) / \text{身高}^2(\text{m}^2)$ 。1995 年 WHO 利用 BMI 定义成人肥胖,1998 年 WHO 还根据特定 BMI 对应的早熟的发生率进行了分类,见表 1。该标准同时适用于男性和女性。一些 DXA 体成分软件会计算患者的 BMI 并标记在 WHO 分类的指示图上。

表 1 WHO 肥胖诊断标准及 20 岁及以上成人基于 BMI 的早熟发生风险

分类	BMI(kg/m ²)	风险
体重过轻	<18.5	低(但其他疾病可能高)
正常	18.50 ~ 24.99	平均
超重	≥25.00	
肥胖前	25.00 ~ 29.99	增加
I 度肥胖	30.00 ~ 34.99	中度
II 度肥胖	35.00 ~ 39.99	重度
III 度肥胖	≥40.00	极重度

虽然 BMI 超越了单纯的体重测量,但它不能显示体内脂肪所占的百分比及分布情况。显然 BMI

作者单位: 100050 北京,北京友谊医院妇产科
通讯作者: 商敏, Email: shangmin917@126.com

无法鉴别体重是来源于脂肪组织还是瘦组织,所以有大量肌肉组织的人的 BMI 也可能提示超重或肥胖,但实际上他并不胖。因此需要一种更为复杂的方法来了解肥胖组织及瘦组织的百分比及分布情况。

2 测定体成分的方法

人体可以分为两部分:脂肪组织及非脂肪组织。没有脂肪的部分可以进一步分为水、蛋白质和矿物质。各种测定体成分的方法的区别在于能够测量的成分种类数目不同。二分法测量脂肪和非脂肪组织,三分或四分法测量脂肪及两种或三种非脂肪组织。传统的测量体成分的金标准为称为水下称重(UWW)的二分法。其他二分法包括测量皮褶厚度、生物电阻抗及空气移位体积描记术。近红外光谱技术(NIR)和 DXA 体成分测量为三分法。

2.1 二分体成分测量法

水下测量(UWW):UWW 是评价体成分最常用的方法,其原理是体脂含量与身体密度成负相关。UWW 假设体内脂肪和非脂肪组织的密度为常数,通常认为脂肪组织的密度为 0.9 g/cm^3 ,而非脂肪组织的密度有争议,过去认为非脂肪组织的密度为常数 1.1 g/cm^3 ,但事实并非如此,因为非脂肪组织包括水、蛋白质和矿物质,随着这些成分比例的变化非脂肪组织的密度也会变化。虽然骨矿物质只占非脂肪组织的很小一部分,但它对非脂肪组织的密度有很大贡献,骨矿含量很小的变化都会对非脂肪组织的密度产生很大的影响。由于 UWW 法中骨矿含量是被估计的而不是测得的,因此用这种方法测量体脂含量有可能不准确,如果由于骨矿含量下降而导致非脂肪组织量低于假定值,则会导致得出的体脂百分比高于实际值,反之亦然。这种方法要求被检者深呼气后屏住呼吸完全浸在贮水的容器中,理想状态下不应穿任何衣服,这一要求通常难以达到因此会对结果产生微小的影响。最大程度的深呼气后肺内仍会残留少量空气,即肺残气量,由于这部分气体会对人体的浮力产生一定的影响所以必须对其进行测量。在一些研究所,非残气量是通过由年龄、身高和性别相关的公式估算的而不是测得的。

根据阿基米德原理,水的浮力等于水中物体的水排开的水重量,因此人体在水中部分的重量等于人体体重减去人排开的水的重量,结合对肺残气量的理解,可以算出人体的体积及密度,经典的计算人体脂肪密度公式为: $F = 4.95 \times (1/D) - 4.50$ (公式

1),其中,F指脂肪组织的密度,D指人体密度。近年来已开发出计算年龄和性别特异的脂肪密度的公式。

测量皮肤皱褶:人体脂肪主要分布在皮下、大网膜、肠系膜等处,其中40%~60%的脂肪集中于皮下,因此通过测量皮褶厚度并寻找其与脂肪含量的关系,便可推算人体的总脂肪量。多种测量皮肤皱褶厚度的方法可以估计人体脂肪,这也是一种二分法,该方法假设皮下脂肪和内脏脂肪的分布相似,这个主要假设不一定正确,但是有公式可以分别计算男性和女性的脂肪比例。该方法要求测量多个部位的皮褶厚度,并有专用的卡钳如 Lange 皮褶卡钳和 Harpenden 皮褶卡钳。测量部位的数量从3个到7个不等,7个部位的方法要求测量胸部、三头肌、肩胛下区、腋窝、髌骨上区、腹部和大腿。更常用的3个部位的方法要求测量男性的胸部、腹部和大腿及女性的三头肌、大腿和髌骨上区。

测量皮褶厚度后将其带入相应的公式即可算出人体总密度。1974年 Durnin 和 Womersley (DW)^[4]、1978年 Jackson 和 Pollock^[5,6]研究出了测量人体密度的公式,后者还结合腰围一起计算人体密度。经典的由7部位皮褶厚度计算男性人体总密度的公式为:

$$D = 1.112 - 0.00043499X + 0.00000055X^2 - 0.00028826A$$

其中 D 为人体总密度,X 为3个部位皮褶厚度的总和(mm),A 为年龄(岁)。相应的女性的公式为: $D = 1.097 - 0.00046971X + 0.00000056X^2 - 0.00012828A$

对于3个部位方法男性的相应的公式为(其中 X 为3个部位皮褶厚度的总和):

$$D = 1.109380 - 0.0008267X + 0.0000016X^2 - 0.0002574A$$

相应的女性的公式为: $D = 1.099421 - 0.0009929X + 0.0000023X^2 - 0.0001392A$

但是以 DXA 测得的体脂百分比为标准,不同人种(高加索人、非裔美洲人、西班牙人及亚洲人)按照 1974 年 DW 公式根据皮褶厚度计算的人体密度并不统一,因此应当对不同的人种和性别进行进一步的特异更新^[7]。其他学者的公式较上有所变化。得出人体总密度后,可根据公式 1 计算脂肪所占的百分比。皮褶厚度测量的精确性和可重复性取决于测量者的技术。由于皮褶厚度法简便、经济,适合于大规模测试,因此在实践中,皮褶厚度推算体脂率的

方法有较强的实用性。测量皮褶厚度通过回归方程间接推算体脂率,是目前国内外在体成分研究中最常用的方法之一。由于不同学者研究的对象和方法不同,得出的回归方程也不同。以往的公式,多是采用水下称重法作为效标来建立皮褶厚度与体脂率之间的回归公式。由于由身体密度推算体脂率的公式都是只适用于成年人,在对青少年这一群体进行推算时就会有误差,有学者提出由于青少年正处于发育的敏感期,用骨龄做分组标准可以最大限度减小组内的差异,能充分保证抽样时的齐同性^[8]。

生物电阻抗分析:生物电阻抗分析(BIA)也是一种二分法。这种方法中,被测者赤足站在金属踏板上,极低压电流从一只脚经此踏板流到另一只脚。还可以让被测者平躺在桌子上,在两条腿上连接上电极片,察觉不到的低压电流从电极片流经身体。由于脂肪是电的不良导体而作为非脂肪组织的水是导体,因此可以通过电流阻抗计算体脂百分数。

BIA是一种很普及的方法,由于操作简单、精确度高^[9]而且测量时间短(不到1 min),经常可以在保健俱乐部见到。该方法经常高估瘦人的体脂含量而低估胖人的体脂含量。由于BIA的结果与体内水的含量高度相关,个体的水合状态会影响检测结果,因此建议被检者受检前禁食水4h,禁酒48h,12h内不要运动,并且在即将受检时排空膀胱。服用利尿剂也会对BIA结果产生影响。

空气移位体积描记术:空气移位体积描记术与UWW类似,只是移走的空气而不是水。利用该技术的一种仪器为BOD POD[®](生命测量仪器,Concord,CA),这是一种密闭的、蛋形的、密封舱样的结构。受检者在舱内静坐并平静呼吸5~8 min,通常需要戴泳帽和穿紧身衣。象UWW一样,也需要测定或估计肺残气量。由于设备比较昂贵从而限制了其使用,尽管目前已有稍便宜的仪器,但仍未广泛应用。BOD POD[®]测得的体脂与UWW高度相关。对1995年12月到2001年8月进行的文献综述发现BOD POD[®]与UWW测量儿童人体脂平均百分比的差异不到1%,BOD POD[®]与DXA测量体脂百分比的差异在成人不到1%,在儿童不到2%。

2.2 分法测量体成分

近红外光谱技术:近红外光谱技术(NIR)对体成分分析的原理为近红外光谱学,该方法需要用到计算机光谱测量仪。将发射红外线的探针置于人体表面,红外线穿过脂肪和肌肉后反射回探针,通过对反射光线的测定可以计算人体密度。该方法非常安

全、快速、方便而且便宜,它不需要患者作特殊的准备。NIR设备本身很小而且易于携带,其中的一种仪器商标为Futrex-5000[®](Futrex有限公司, Gaithersburg, MD)。以UWW为参照对NIR的准确性进行分析发现,通常皮褶厚度测量、BIA和NIR的测量结果与UWW高度相关;对于极端体重,皮褶厚度测量比BIA或NIR更准确;对于正常体重三者结果都很好。

2.3 双光能X线吸收仪(DXA);可以同时测量脂肪质量、骨矿和非脂肪组织质量,因此是一种三分法。大多数DXA光密度仪通过运行软件都可以有全身骨密度测定体成分。这项应用最初是由DXA的前身——双光子光度仪开发出来的,但是长达1h的扫描时间使其很难应用于临床,目前的DXA可以在几分钟内实现全身扫描,放射暴露也非常低,GE Lunar Prodigy[™](Madison, WI)为0.037mrem, Hologic Discovery[™](Bedford, MA)更低为0.01mGy。体成分测量软件通常作为DXA仪器主要部分的配件提供。尽管发生了如此巨大的进步,但DXA进行体成分测定仍未得到充分的利用。

与UWW或空气移位体积描记术不同,该方法可以直接测量骨矿所以不需要对骨矿含量作任何假设,测量值也不受肺残气量的影响,所以也不必测量或估计该指标。患者的水和状态对检测结果仍然很重要。与其他方法不同,DXA体成分测量还可以了解体内脂肪的分布。

用于体成分分析的软组织成像通常比骨成像更加丰满逼真,即使对苗条的人也是如此。身体的各个部位由技术员在图像上设置的分割点进行划分。身体各部分及总体的值表达为脂肪质量、瘦组织质量和骨矿量的克数,人体各部位以上三种成分相加的总和恰好精确的等于患者的体重。其中组织克数是指脂肪质量和瘦组织质量的总克数。脂肪的部位百分比指指定部位的脂肪组织占该部位脂肪、瘦组织和骨矿总质量的比例;而脂肪的组织百分比指指定部位的脂肪占该部位脂肪和瘦组织总量的比例。

Hologic Discovery的数据与GE Lunar Prodigy相似,只是多提高了一个除头部以外的骨密度和体成分的总量,由于头颅骨的密度非常高,因此进行分析时排除头部非常有用。

在进行标准的体成分研究时,除了以上标准的部位分区外,还可以自定义独特的分区以描述更加男性化或女性化的脂肪分布,这一用途多用于关于心血管疾病及脂肪分布对其影响方面的研究,这时

会要求技术员将感兴趣部位置于腹部和大腿。一些体成分分析软件提供这些高度特异的感兴趣部位。目前已有学者将其用于乳腺密度测定,发现其与传统测量乳腺密度的方法比有很好的相关性,而且放射暴露要低得多,不失为一种可以选择的方法^[10]。

DXA体成分测量对总体脂的分析结果与UWW和皮褶厚度测量的结果高度相关,相关系数分别为0.864和0.917。DXA体成分测量的精确度也非常高,整体BMD和总脂百分比的变异系数分别为0.62%和1.89%;总脂肪组织质量、瘦组织质量和骨矿含量的CV%分别为2.0、1.11和1.09%,各部位的精确度似乎不如总体测量的精确度好。不同的扫描模式可能会降低重复测量的精确度。

就像测量骨密度一样,在连续测量体成分时使用相同的仪器对获得好的精确度来说同样很重要。在Soriano等^[11]的研究中,尽管在GE Lunar DPX、GE Lunar DPX-L、GE Lunar Prodigy和Hologic Dephi上测得的78个成人的体成分的结果高度相关,但在不同仪器间脂肪和骨矿含量百分比有显著差异。尽管不同厂家生产的仪器对体成分的测量结果间高度相关,但由于校正方式不同结果仍存在差异,总体脂和躯干脂肪的差异分别为2.6~6.3%和13%。即使是同一生产商生产的不同仪器测量的结果也存在微小差异,从而可能影响精确度。

最后一个实际的问题是患者的身高和体重。检测需要包括患者的整个身体,因此可允许测量的最大高度取决于检查台的长度及扫描的最大长度,通常为1.83米。可容纳的最大体重通常取决于扫描台的结构功能,虽生产商不同而异。每个生产商都会提供可测量的最大身高及体重。2008年美国国建健康统计中心发布了一系列DXA的参考数据,并根据体重指数建立了配套的对肥胖进行分类的脂肪指数(FMI)标准^[12]。

3 DXA与代谢综合征

体脂测量,尤其是腹部脂肪,在评价及处理患有代谢综合征的患者是具有越来越重要的意义。目前代谢综合征的定义的一部分就是代表腹部脂肪的腰围而不是BMI^[13]。表2和3分别列出了国际糖尿病协会(IDF)标准和美国心脏病学会/国家胆固醇教育项目(AHA/NCEP)标准。腰围与身高无关,尽管它与BMI显著相关,但它却独立于BMI而与心血管疾病的危险因素相关。

除腰围外,腰臀围比(WHR)或更少用的矢状面

腹部直径(SAD)也用于代表腹部脂肪。由于腰围容易测量且与腹部内脏脂肪成强相关,而腹部或内脏脂肪增加与代谢性疾病、心血管疾病及各种慢性病强烈相关,所以IDF和AHA/NCEP的指南均根据将腰围评价风险。儿童和青少年的腹部脂肪与胰岛素和脂肪代谢异常显著相关^[14]。腹部内脏脂肪对抗脂肪溶解的刺激如胰岛素不如皮下脂肪敏感,因此更不容易释放游离脂肪酸进入循环^[15],但内脏脂肪释放的游离脂肪酸进入门静脉及肝脏,从而可导致肝脏清除胰岛素减少、增加葡萄糖的产生及脂代谢异常。皮下脂肪的胰岛素抵抗情况不完全清楚,可能与皮下脂肪的深浅有关,一些研究发现深部的皮下脂肪对胰岛素的抵抗更强。

表2 国际糖尿病协会(IDF)对代谢综合征的诊断标准

根据腰围定义的的向心性肥胖:白人男性≥94 cm,白人女性≥90 cm	
及以下四个标准中任何两个:	TGY(甘油三酯)150 mg/dl HDL(高密度脂蛋白) 男性<40 mg/dl 女性<50 mg/dl 血压 收缩压≥130 mmHg或舒张压 ≥85 mmHg FPG(空腹血糖)≥100 mg/dl

表3 美国心脏病学会/更新的国家胆固醇教育项目对代谢综合征的诊断标准

患者必须符合以下五条标准中的三条才能诊断。	
腰围	男性≥102 cm;女性≥88 cm
TGY≥150 mg/dl	
HDL	男性<40 mg/dl;女性<50 mg/dl
血压	收缩压≥130 mmHg或舒张压≥85 mmHg
FPG≥100 mg/dl	

可以定量测定腹部脂肪及腹部内脏脂肪组织的成像技术包括MRI、CT和DXA,其中MRI和CT是三维成像技术,可以鉴别内脏、深部及浅部脂肪,而DXA作为二维成像技术无法做到这一点。此外,CT和MRI检测的是脂肪组织,而DXA检测的是脂肪。尽管有以上不同,但进一步研究表明CT和MRI检测的腹部脂肪组织和DXA检测的腹部脂肪间具有很好的相关性,相关系数分别为0.96~0.967和0.818~0.852。与MRI相比,在DXA中肋骨、脊柱、骨盆对测量躯干的软组织的影响很小;DXA测得的腹部脂肪低于CT测得的值但与CT的测量结果显著相关,因此认为DXA完全可以替代CT测量腹部和内脏脂肪。Tsang TW等研究发现,DXA可以准确检测青少年的腹部脂肪,能够最准确测量体重正常者和肥胖者腹部脂肪的区域不同^[16]。

可见,DXA 可以准确的测量体成分,除了运动医学领域外,测量体成分尤其是用 DXA 测量体成分是临床医学中一项比较新的技术。体成分测量在评价和处理神经性厌食症、克隆病、腹腔疾病和囊性纤维症等疾病中发挥重要作用^[17]。而肥胖症和代谢综合征发病率增加也加速了 DXA 等技术在测量体成分和腹部脂肪方面的应用。

【参 考 文 献】

- [1] Ostlere SJ, Gold RH. Osteoporosis and bone density measurement methods. *Clin Orthop Relat Res*,1991, (271):149-163.
- [2] Sardinha LB, Going SB, Teixeira PJ, et al. Receiver operating characteristic analysis of body mass index, triceps skinfold thickness, and arm girth for obesity screening in children and adolescents. *Am J Clin Nutr*,1999,70(6):1090-1095.
- [3] Wyshak G. Percent body fat, fractures and risk of osteoporosis in women. *J Nutr Health Aging*,2010, 14(6):428-432.
- [4] Durmin JVGA, Womersley J. Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurement on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *Br J Nutr*, 1974, 32: 77-97.
- [5] Jackson AS, Pollock ML. Generalized equations for predicting body density of men. *Br J Nutr*, 1978,40:497-504.
- [6] Jackson AS, Pollock ML, Ward A. Generalized equations for predicting body density of women. *Med Sci Sports Exerc*, 1980, 12:175-182.
- [7] Davidson LE, Wang J, Thornton JC, et al. Predicting fat percent by skinfolds in racial groups; durmin and womersley revisited. *Med Sci Sports Exerc*,2010, 2. [Epub ahead of print]
- [8] Wu X, He H, Liu X, et al. A comparative study on method of teenagers'body fat percentage reasoning based on skin fold fat thickness measurement. *Journal of Beijing Sport University*, 2009,32(7):46-49.
- [9] Lim JS, Hwang JS, Lee JA, et al. Cross-calibration of multi-frequency bioelectrical impedance analysis with eight-point tactile electrodes and dual-energy X-ray absorptiometry for assessment of body composition in healthy children aged 6-18 years. *Pediatr Int*, 2009,51(2):263-268.
- [10] Maskarinec G, Morimoto Y, Daida Y, et al. Comparison of breast density measured by dual energy X-ray absorptiometry with mammographic density among adult women in Hawaii. *Cancer Epidemiol*,2010, 3. [Epub ahead of print]
- [11] Soriano JM, Ioannidou E, Wang J, et al. Pencil-beam vs fan-beam dual-energy X-ray absorptiometry comparison across four system: body composition and bone mineral. *J Clin Densitom*, 2004,7:281-289.
- [12] Kelly TL, Wilson KE, Heymsfield SB. Dual energy X-Ray absorptiometry body composition reference values from NHANES. *PLoS One*,2009, 15;4(9):e7038.
- [13] Alberti KG, Zimmet P, Shaw J. The metabolic syndrome-a new worldwide definition. *Lancet*, 2005, 366(9491):1059-1062.
- [14] Revenga-Frauca J, González-Gil EM, Bueno-Lozano G, et al. Abdominal fat and metabolic risk in obese children and adolescents. *J Physiol Biochem*,2009, 65(4):415-420.
- [15] Snijder MB, van Dam RM, Visser M, et al. What aspects of body fat are particularly hazardous and how do we measure them? *Int J Epidemiol*, 2006, 35(1):83-92.
- [16] Tsang TW, Briody J, Kohn M, et al. Abdominal fat assessment in adolescents using dual-energy X-ray absorptiometry. *J Pediatr Endocrinol Metab*,2009,22(9):781-794.
- [17] Albanese CV, Diessel E, Genant HK. Clinical application of body composition measurements using DXA. *J Clin Densitom*, 2003, 6:75-85.

(收稿日期:2011-02-09)

(上接第722页)

【参 考 文 献】

- [1] 刘忠厚,段云波,马海波,等. 骨质疏松症的诊断和筛选. *中国老年学杂志*,1995,15(1):53-57.
- [2] 沈自尹. 中医虚证辨证参考标准. *中西医结合杂志*,1983,3(2):117.
- [3] 王阶,姚魁武. 血瘀证诊断标准研究述要及思考. *中国中医药信息杂志*,2004,11(1):17-19.
- [4] 肖建德. 实用骨质疏松学. 北京:科学出版社,2004:5.
- [5] 戴如春,张丽,廖二元. 骨质疏松的诊治进展. *中国医刊*, 2008,43(4):4-6.
- [6] 唐海. 骨质疏松性骨折——教学中应重视的问题. *临床和实验医学杂志*,2004,3(4):247-248.
- [7] 白孟海,葛宝丰,刘建梅,等. 兰州地区定量超声测定结果分析. *中国骨质疏松杂志*,2002,8(3):242.
- [8] 金清,陈良,孙良,等. 昆山地区336例青年人胫骨定量超声骨量研究. *中国骨质疏松杂志*,2003,9(1):67-68.
- [9] 刘伯亮,潘万敏. 骨质疏松发生与年龄、性别的关系:5200例分析. *中国临床康复*,2004,8(33):7474-7475.
- [10] 程永耿,陈晓亮,于笑峰. 年龄、体重、体重指数对青岛市居民骨密度的影响. *中国骨质疏松杂志*,2007,13(2):112-115.

(收稿日期:2011-04-13)

DXA在体成分测定方面的应用进展

作者: [商敏, SHANG Min](#)
作者单位: [北京友谊医院妇产科, 北京, 100050](#)
刊名: [中国骨质疏松杂志](#) 
英文刊名: [CHINESE JOURNAL OF OSTEOPOROSIS](#)
年, 卷(期): 2011, 17 (8)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_zggzsszz201108021.aspx