

气体代谢法及其典型设备 K4b2 在能量代谢测量中的应用

孙 锐 杨晓光 朴建华

(中国疾病预防控制中心营养与食品安全所,北京 100050)

摘 要:综述了 3 种最基本的人体能量消耗量的测量方法,即直接测热法、双标水法和气体代谢法。重点介绍了现在最为常用的气体代谢法及其新型设备心肺功能测试仪 K4b2 (意大利、Cosmed 公司)。因 K4b2 具有实时性、便携性、准确性等优良特性,使其在能量消耗量测量这一领域具有广阔的应用前景。

关键词:能量代谢;研究技术;设备和供应

Method of gas metabolism and typical equipment K4b2 for measuring energy expenditure

SUN Rui, YANG Xiao-guang, PIAO Jian-hua

(National Institute for Nutrition and Food Safety, Chinese CDC, Beijing 100050, China)

Abstract: The three basic methods of measuring the energy expenditure of human body were reviewed. They are calorimetry, doubly-labelled water and gas metabolism methods. The most common gas metabolism method and its typical equipment K4b2 (Italy, Cosmed) were emphasized. K4b2 has a bright future because of its accuracy, portability and real time quality.

Key word: Energy Metabolism; Investigative Techniques; Equipment and Supplies

能量代谢是生命活动的基本特征。能量代谢中能量消耗量的测量一直以来就是生理学家、营养学家和医生研究的重点内容。1862 年,德国生理学家 Voit. C. Von 精确测量了哺乳动物机体总的新陈代谢,认为身体对脂肪和糖的需要量取决于机械功的数量。1892 年美国农业科学家阿特沃特 (Atwater, W. O.) 和物理学教授罗沙 (Rose, E. B.) 制成了一台 Atwater-Rose 热量计,用以证实能量守恒定律适用于人体,并计算不同食物的热值,得出了著名的 Atwater 能量转换系数。即每克糖类、脂肪、蛋白质在体内平均可产生代谢能量分别为 4、9、4 kcal。在 19 世纪的上半叶,食物和其它生物的化学成分测定技术有了长足的进步。19 世纪下半叶,随着有机化学和生物化学的发展,通过“弹式热量计”测定证明了营养物质氧化时的气体交换与产热有关^[1,2]。这时热量的测定,从动物扩展到人。

在二战前,测定人体能量代谢主要采用直接测热法特制的小室和热量计,即直接测定人体在某一时间内向外散失的热量。典型的测定能量代谢装置是设计的一个隔热的特制小室,被测定对象进行特定的活动,测定循环进入和流出小室的空气温差,计算特定时间内机体总能量的消耗量。因实验室建造昂贵,影响因素多,现存的实验室已很少,目前主要

用于肥胖和内分泌系统功能障碍等研究工作^[2,3]。

20 世纪 80 年代能量消耗研究的重要进步是“双标水法”技术的应用,首次可以测定人体在自由活动的条件下能量的消耗量,其精确度为 2%~8%,准确度 1%~3%,现被誉为能量消耗测量的“金标准”。但它只是对某几段时间以后尿液中的稳定同位素进行分析,只能测定人体总的能量消耗量,而且存在双标水价格和检测费用高,需要高灵敏度和精确度的同位素质谱仪和高素质的科研和检测人员等问题,故双标水法目前的使用仍有局限性^[4-7]。

现在国内外多采用间接代谢法进行能量的测定,其中气体代谢法是最为典型的方法。它是利用在化学反应中,反应物的量和生成物的量之间呈一定的比例关系,即定比关系来进行测定的。同一种化学反应,不论经过什么样的中间步骤,也不管反应条件差异有多大,这种定比关系不变。例如,在体内氧化 1 mol 葡萄糖与体外燃烧 1 mol 葡萄糖都要消耗 6 mol 氧气,产生 6 mol 二氧化碳和 6 mol 水,而且产生的能量也相等。这种基本规律也见于人体内营养物质氧化供能反应,这是间接法测定能量代谢的重要依据。由于各种营养物质无论在体外燃烧,还是在体内氧化,其二氧化碳的产量和氧气的消耗量都取决于各种营养物质的化学组成,所以在理论上,任何一种营养物质的呼吸商都可根据它氧化成的最

作者简介:孙锐 男 博士生

气体代谢法及其典型设备 K4b2 在能量代谢测量中的应用——孙 锐 杨晓光 朴建华

— 445 —

终产物二氧化碳和水的化学反应式计算出来。在实际计算中只需查出一定时间内人体中氧化分解的糖类、脂肪、蛋白质质量,3种产能营养素氧化量就可根据呼吸商得知。在人的日常生活中,营养物质不是单纯的,而是糖类、脂肪和蛋白质混合而成的(混合膳食),呼吸商常变动于0.71~1.00之间。人体在特定时间内的呼吸产热取决于哪种营养物质视当时

的主要能量来源而定。若能源主要是糖类,则呼吸商接近于1.00;若主要是脂肪,则呼吸商接近于0.71。在长期病理性饥饿情况下,能源主要来自机体本身的蛋白质和脂肪,则呼吸商接近于0.80。一般情况下,摄取混合食物时,呼吸商常在0.85左右^[1,2]。表1为糖类、脂肪和蛋白质3者的热价、氧热价及呼吸商等数据。

表1 3种营养物质氧化时的几种数据

营养物质	产热量(kJ/g)			耗氧量 (L/g)	CO ₂ 产量 (L/g)	氧热价 (kJ/J)	呼吸商 (RQ)
	物理热价 (用弹式热量计测得)	生物热价 (体内生物氧价)	营养学热价				
糖类	17.0	17.0	16.7	0.83	0.83	21.0	1.00
蛋白质	23.5	18.0	16.7	0.95	0.76	18.8	0.80
脂肪	39.8	39.8	37.7	2.03	1.43	19.7	0.71

气体代谢法又分为循环式间接法和开放式间接法^[2]。前法是一个闭合的气体流通循环装置,它由一个活门控制气体的定向流通,内部装有一个储存通路,人体在装置内进行一定时间的呼吸,可以测出其氧气的消耗量,从而计算能量消耗量。该试验因室内活动不便,难以反映实际情况,但可用于测定不同食物的热效应和制定心率-能量消耗多元回归方程,也曾用于验证双标记水法等。临床上为了简便,通常只使用肺量计来测量耗氧量。该装置的气体容器中装有氧气,受试者通过呼吸口瓣将氧气吸入呼吸器官,此时气体容器的上盖随吸气而下降,并由连于上盖的描笔记录在记录纸上。根据记录纸上的方格可读出潮气量值。受试者的呼出气通过吸收容器(呼出气中的二氧化碳和水可除掉)进入气体容器中,气体容器的上盖又复升高,描笔也随之升高。由于受试者摄取了一定量的氧气,呼出气中二氧化碳又被除掉,气体容器中的氧气量因而逐渐减少,描笔记录出曲线逐渐下降的过程,在一定时间内(通常为6 min),描笔的总下降高度,就是该时间内的耗氧量。

开放式间接法的经典方法是多氏(Douglas)装置法。它是在机体呼吸空气的条件下测定耗氧量和CO₂产量的方法,所以称为开放法。即通过装有呼吸活瓣的口鼻罩,将受试者一定活动时间内呼出的气体收集于多氏袋内,从袋内取少量气体测定其氧气和二氧化碳浓度,得出受试者单位时间内氧气的消耗量和二氧化碳的生成量,并可计算呼吸商和能量消耗量。本法可测定特定活动的能量消耗,也可测定基础代谢。^[8,9]但该设备体积大,难于携带,且短时间内气体在多氏袋内无法均匀混合,存在着较大的测量误差,所以现在已较少使用。

现在一种新型气体代谢测量设备的出现受到了国内外的广泛关注。它是由意大利 Cosmed 公司生

产的心肺功能测试仪(K4b2)。K4b2是一种便携式、利用先进遥感技术对受试者呼出的气体进行实时监测的设备。首先,它实时测量一定时间内受试者的呼气量,并同时测量现场空气中氧气和二氧化碳的浓度、气温和气压,计算标准状态下的呼气量,用呼出气与空气中氧气和二氧化碳的浓度乘以呼气量(标准状态),求出氧气的消耗量和二氧化碳的产生量,进而计算呼吸商,也可以同时收集受试者的尿量测定该时期的尿氮排出量,计算出非蛋白质呼吸商。查出氧气或二氧化碳的热当量,再乘以氧气消耗量或二氧化碳的产生量,可获知单位时间的能量消耗量。K4b2强调运动时心肺功能的相互作用和气体交换作用,综合反映心与肺在一定负荷下的通气量、摄氧量和二氧化碳排出量等代谢、通气指标及心电图变化。

Pinnington HC(2001年)用K4b2和新陈代谢车分别测量了氧气和二氧化碳的流量,有20个受试者做不同速率下的脚踏车运动。结果表明用K4b2测量出来的氧气和二氧化碳的流量与从新陈代谢车测量出来的值有很强的关联性^[10]。随后,Eisenmann JC(2003年)在极限运动下对Cosmed Quark b2新陈代谢车和K4b2气体分析系统进行了比较分析,有21个受试者参加这项试验。他们分别以3种不同的速率在脚踏车上运动,采用随机的方法分别用K4b2和Cosmed Quark b2新陈代谢车2次重复测量气体的流量和浓度。结果显示用K4b2测出的氧气消耗量要明显高于用Cosmed Quark b2新陈代谢车测出的,而在呼出气方面,用K4b2测出氧气的浓度要明显低。对于二氧化碳的流量用2种设备测出的差异没有显著性。尽管用K4b2测出的氧气值存在一定的偏差,但所有的人体测量值都在由Bland-Altman方法决定的范围之内(平均值±2标准差)^[11]。为了进一步研究K4b2测量值的准确性,Maiolol等分别

用 Cosmed K4 RQ 和 Airspec QP9000 mass spectrometer (四分质谱仪) 测量能量消耗量。9 个健康的男性足球运动员进行跑步测验, 始速度 8 km/h, 每次增加 2 km/h, 直到筋疲力尽。在休息时和每次活动时, 用这 2 种设备来测量氧气消耗量和二氧化碳的产量。结果这 2 种设备的测量值差别不显著^[12]。通过上述一系列的验证性研究, 得出的结论普遍认为 K4b2 与新陈代谢车^[13]、Douglas 袋、四分质谱仪相比, 测量结果差异没有显著性, 并且具有较高的重复性。

现在 K4b2 在中长跑^[14]、越野滑雪^[15]、休闲式运动减肥^[16]等体育活动方面得到了广泛的应用。它可以实时测量出运动员在运动过程中的能量消耗, 从而帮助运动员及时调整能量摄入水平, 提高运动过程中氧的摄入量; 它也可用于老年人进行单套阻力训练时的能量消耗量的测量, 从而评估由美国医药大学指导方针中推荐的适合老年人的单套阻力训练(single-set resistance training)的强度和能量消耗情况^[17]。也可对 SCI(脊髓损伤)病人从事自我护理、家务活动、职业活动、休闲娱乐或运动时的能量消耗量进行测量, 从而制定出 SCI 病人进行各种活动时能量消耗量纲要^[18]。

比较 3 次全国营养调查资料^[19,20], 我国居民的能量摄入按标准人(18 岁轻体力活动男子)计, 1982 年全国为 2 491 kcal, 城市为 2 450 kcal, 农村为 2 509 kcal; 1992 年全国为 2 328 kcal, 城市 2 395 kcal, 农村 2 294 kcal; 到 2002 年全国为 2 251 kcal, 城市为 2 135 kcal, 农村为 2 296 kcal。我国居民实际平均能量摄入比膳食能量推荐参考摄入量少 150 kcal, 在进行矿物质生物利用人体实验时也发现实测膳食能量要明显低于目前的 RNI, 能量过剩问题已十分突出^[21,22]。这也说明目前中国居民能量推荐量(RNI)已明显不适应目前我国居民的实际情况, 但要制定出符合我国居民生理特点和膳食结构的膳食能量参考摄入量又没有可靠的实验资料。对人体能量消耗量的研究可以说已迫在眉睫。而采用合适的方法将直接关系到研究的效果。从目前看, 直接测热法存在一定的不足, 虽然双标水法被誉为能量消耗测量的“金标准”, 但考虑到实验成本和其局限性(只能测定人体总的能量消耗量), 双标水法和其它测定能量消耗量方法的联用将是未来的发展趋势, 而气体代谢法的典型设备 K4b2 由于其具有优良的特性(实时性、便携性、准确性)将在这一领域具有广泛的应用前景。

参考文献

[1] 葛可佑, 主编. 中国居民膳食营养素参考摄入量[M].

北京: 中国轻工业出版社, 2000.

- [2] 葛可佑, 主编. 中国营养学科全书[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2004.
- [3] WHO. FAO/WHO/UNU Expert Consultation(1985): Energy and protein requirements[Z]. WHO Technical Report Series 724 Geneva: world health organization.
- [4] Durnin JVGA. Energy requirements: general principals[J]. European Journal of Clinical Nutrition, 1996, 50 (Suppl. 1):s2.
- [5] Black A E, Coward W A, Cole T J, et al. Human energy expenditure in affluent societies: analysis of 574 doubly-labelled water measurements[J]. Eur J Clin Nutr, 1996, 50: 72-92.
- [6] Schoeller D A, Van Santen E. Measurement of energy expenditure in humans by doubly labelled water method[J]. Am J Physical, 1982, 53:955-959.
- [7] Blaxter K. Energy metabolism in animals and man, Cambridge: Cambridge University Press[Z]. 1989.
- [8] Segal K R. Comparison of indirect calorimetric measurements of resting energy expenditure with a ventilated hood, face mask and mouthpiece [J]. Am J Clin Nutr, 1987, 45:1420-1423.
- [9] Durnin JVGA. Energy requirements: general principles[J]. European Journal of Clinical Nutrition, 1996, 50.
- [10] Pinnington H C, Wong P, Tay J, et al. The level of accuracy and agreement in measures of FEO₂, FECO₂ and VE between the Cosmed K4b2 portable, respiratory gas analysis system and a metabolic cart[J]. J Sci Med Sport, 2001, 4(3):324-335.
- [11] Eisenmann J C, Brisko N, Shadrick D, et al. Comparative analysis of the Cosmed Quark b2 and K4b2 gas analysis systems during submaximal exercise[J]. J Sports Med Phys Fitness, 2003, 43(2):150-155.
- [12] C Maiolo¹, G Melchiorri¹, L Iacopino¹, et al. Physical activity energy expenditure measured using a portable telemetric device in comparison with a mass spectrometer [J]. Br J Sports Med, 2003, 37:445-447.
- [13] Duffield R, Dawson B, Pinnington HC, et al. Accuracy and reliability of a Cosmed K4b2 portable gas analysis system[J]. J Sci Med Sport, 2004, 7(1):11-22.
- [14] Slawinski J S, Billat V L. Difference in mechanical and energy cost between highly, well, and nontrained runners [J]. Med Sci Sports Exerc, 2004, 36(8):1440-1446.
- [15] Doyon K H, Perrey S, Abe D, et al. Field testing of VO₂ peak in cross-country skiers with portable breath-by-breath system[J]. Can J Appl Physiol, 2001, 26(1):1-11.
- [16] Beth Morgan, Sarah J. Aerobic energy expenditure during recreational weight training in females and males 2002. The American College of Sports Medicine[Z].
- [17] Phillips W T, Zuraitis J R. Energy cost of single-set resistance training in older adults[J]. J Strength Cond Res,

2004,18(3):606-609.

[18] E Collins RN PhD, WE Langbein PhD, K Williams MS, et al. Energy cost of selected physical activities in persons with SCI[J]. Journal of sports and science,2003,2(3): 117-122.

[19] 葛可佑,主编. 90 年代中国人群的膳食与营养状况 (1992 年全国营养调查) 第一卷[M]. 北京:人民卫生出版社,1996.

[20] 中华人民共和国卫生部,中华人民共和国科学技术部,中华人民共和国国家统计局. 中国居民营养与健康状况[Z]. 中国国务院新闻办公室新闻发布会,北京:2004—10—12.

[21] 由悦,杨益良,张树海,等. 超重与肥胖者与正常成人脂肪组织中解偶联蛋白 2 基因表达水平的研究[J]. 卫生研究,2003,32(3): 201-204.

[22] 陈敏,由悦,赵文华,等. 膳食及营养因素对学龄前儿童肥胖的影响[J]. 卫生研究,2002,31(5): 370-372.

[收稿日期:2005-05-17]

中图分类号:R15;) 659 文献标识码:E 文章编号:1004-8456(2005)05-0445-04

卫生部文件

卫监督发[2005]127 号

卫生部关于干辣椒中二氧化硫残留量有关问题的批复

江西省卫生厅:

你厅《关于干辣椒中二氧化硫残留量有关问题的请示》(赣卫法监文[2005]1 号)收悉。经研究,现批复如下:

《食品添加剂使用卫生标准》(GB2760)中漂白剂的使用范围不包括干辣椒。使用漂白剂处理干辣椒的行为,违反了《中华人民共和国食品卫生法》第十一条规定,应按照国家第四十四条规定进行处罚。

此复。

中华人民共和国卫生部
二〇〇五年四月四日

卫生部文件

卫监督发[2005]185 号

卫生部关于保健食品监管职能有关问题的批复

海南省卫生厅:

你厅《关于我省拟调整保健食品监管职能有关问题的请示》(琼卫疾控[2005]49 号)收悉。经研究,现批复如下:

根据《食品卫生法》有关规定和《国务院关于加强食品安全工作的决定》(国发[2004]23 号)及《中央编办关于进一步明确食品安全监管部门职责分工有关问题的通知》(中央编办发[2004]35 号)的精神,卫生部门负责食品(包括保健食品)生产加工环节、流通环节和餐饮业、食堂等消费环节的卫生许可。保健食品生产企业是否符合《保健食品良好生产规范》(以下简称 GMP)的要求是卫生许可审查内容之一,你厅应继续承担保健食品生产企业的卫生许可及 GMP 审查工作。

此复。

中华人民共和国卫生部
二〇〇五年五月十三日