

doi:10.3969/j.issn.2095-4344.2012.42.034 [http://www.crter.org/crter-2012-qikanquanwen.html]
鹿琦, 朱晓梅. 能量代谢实验室的构建与特色[J]. 中国组织工程研究, 2012, 16(42): 7965-7971.

能量代谢实验室的构建与特色★

鹿琦, 朱晓梅

文章亮点: 目前国际上使用的测定人体能量消耗的方法主要有能量代谢实验室, 双标水, 加速度计以及便携式气体分析仪等。能量代谢实验室作为测定人体能耗的“金标准”, 可以快速、准确地评价体力活动。

关键词: 能量消耗; 间接测热法; 能量代谢实验室; 静息能量消耗; 基础代谢

摘要

背景: 由于问卷调查法等测定人体能量消耗的方法存在局限性以及易受到不确定因素的影响, 所以目前国际上又将能量代谢实验室作为测定人体能耗的“金标准”。

目的: 主要介绍国外能量代谢实验室的构建, 定标方法以及使用能量代谢实验室进行研究的情况与进展。

方法: 由第一作者检索 1900 至 2010 年 PubMed 数据有关能量代谢实验室方面的文献, 英文检索词为“metabolic chamber, energy consumption”。排除重复性研究。计算机初检得到 70 篇文献, 根据纳入标准保留 41 篇进一步归纳总结。

结果与结论: 目前国际上使用的测定人体能量消耗的方法主要有能量代谢实验室, 双标水, 加速度计以及便携式气体分析仪等。能量代谢实验室作为测定人体能耗的“金标准”, 可以快速、准确地评价体力活动。文章主要从能量代谢实验室的构建, 应用能量代谢实验室进行的研究(包括饮食、运动、人种的能量代谢、女性能量代谢、非体力活动和低温时能耗)等方面进行了相关叙述。

江苏省体育科学研究所竞技与运动科研服务 2 中心, 江苏省南京市 210033

鹿琦★, 男, 汉族, 1983 年生, 山西省运城市人, 2010 年武汉体育学院毕业, 硕士, 实习研究员, 主要从事运动生理与机能评定的研究。luqimnbv1983@yahoo.com.cn

通讯作者: 朱晓梅, 研究员, 江苏省体育科学研究所, 江苏省南京市 210033

中图分类号: R318
文献标识码: B
文章编号: 2095-4344
(2012)42-07965-07

收稿日期: 2012-02-21
修回日期: 2012-03-02
(20111221018/W · W)

Construction and characteristics of an energy metabolism laboratory

Lu Qi, Zhu Xiao-mei

Abstract

BACKGROUND: Many methods about the determination of energy consumption in human have limitations and are vulnerably affected by uncertainty factors, such as questionnaire investigation methods. Therefore, the energy metabolism laboratory acts as a “golden standard” for determining human energy consumption in the world recently.

OBJECTIVE: To introduce the construction of energy metabolism laboratory, scaling methods and research progresses by using energy metabolism at abroad.

METHODS: PubMed database was retrieved online by the first author for the papers concerning construction and application of the energy metabolism laboratory from 1900 to 2010. The key words for retrieve were “metabolic chamber, energy consumption” in English. Repetitive content was excluded, and totally 41 papers were included.

RESULTS AND CONCLUSION: At present, there are several methods for determining energy consumption in human, such as doubly labeled water, portable gas analyzer and accelerometer methods. As the “golden standard” of the determination of human energy consumption, energy metabolism laboratory can evaluate physical activity rapidly and correctly. This article has related the construction of energy metabolism laboratory and the researches applied by energy metabolism laboratory, including diet, sport, racial energy metabolism, female energy metabolism, non-manual activity and energy consumption at low temperature.

Lu Q, Zhu XM. Construction and characteristics of an energy metabolism laboratory. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2012;16(42): 7965-7971.

Second Center of
Athletics and
Scientific Research
Service, Jiangsu
Research Institute of
Sports Science,
Nanjing 210033,
Jiangsu Province,
China

Lu Qi★, Master,
Research intern,
Second Center of
Athletics and
Scientific Research
Service, Jiangsu
Research Institute of
Sports Science,
Nanjing 210033,
Jiangsu Province,
China
luqimnbv1983@
yahoo.com.cn

Corresponding
author: Zhu Xiao-mei,
Researcher, Second
Center of Athletics
and Scientific
Research Service,
Jiangsu Research
Institute of Sports
Science, Nanjing
210033, Jiangsu
Province, China

Supported by: Project
of Science and
Technology
Department, Jiangu
Province, No.
BM208153*

Received: 2012-02-21
Accepted: 2012-03-02

0 引言

人体的能量代谢能够通过测量热量的流失(直接测热法)或者通过测量耗氧量(VO_2)、 CO_2 生成量(VCO_2)以及尿中氮的流失(间接测热法)来计算。能量代谢的测定是制定体力活动推荐量表的重要依据。

常用的体力活动测量技术包括: 双标水法、便携式气体分析仪的间接测热法、体力活动问卷、心率表、运动传感器等。但是它们都有各自的一些缺点。

双标水法: 材料与仪器价格昂贵, 造成实验成本极高; 整个测试过程至少 3 d, 而获得的数据不够精细; 收集受试者的进食调查问卷, 依靠受试者本人的记忆, 会造成误差^[1-3]。便携式气体分析仪的间接测热法: 仪器价格昂贵, 在温度湿度变换的条件下需要长时间定标, 而且电池持久力有限。对于想要长时间测量人体的能量消耗, 便携式气体分析仪无法完成^[4]。体力活动问卷: 其结果不能代表长期的体力活动模式, 且受试者的记忆是主观的, 回忆时常有错误, 对体力活动的理解也不精确^[5-6]。心率表: 最为简单的测量方法。但是显得粗糙。在用心率评估体力活动时, 即便不运动, 只要外界环境发生变化, 就会使的 HR 增高, 出现评估错误。而且要求受试者长时间佩戴也是不现实的^[7-9]。运动传感器: 记录数据单一, 且不能记录特定时间内的数据; 当速度发生改变时, 准确度降低; 对于非垂直方向上的运动往往感知不够准确; 体力活动的多样性, 使得运动传感器的使用有局限性^[10-12]。

能量代谢实验室也属于间接测热法的一种。它是以一个近似密闭房间的形式来收集受试者呼吸出的气体, 通过计算房间内气体成分的改变, 推算受试者的能量消耗。它的优点在于, 与日常生活环境基本一致, 受试者可以在其中自由地生活和进行体力活动; 有着客观的定标系统; 整个房间几乎不受外界环境的影响, 可以提供一个稳定的测试环境。虽然在有一段时间内国际上流行过使用便携式气体分析仪测定体力活动的能量消

耗, 但是随着时间的推移和人们认识的不断加深, 发现便携式气体分析仪不能够提供准确的能耗测试数据, 而且在测试中经常发生不可预知的问题。所以国际上又重新将 Metabolic chamber 作为能量代谢测定的“金标准”^[13]。

当受试者进入到能量代谢实验室内, 不仅可以详细记录受试者的体力活动情况, 还可以提供准确度高达 98% 的关于耗氧量和 CO_2 产生量的测量结果^[14]。

本文将从能量代谢实验室的构建、定标以及国外研究做一介绍。

1 资料和方法

1.1 资料来源

检索人相关内容: 第一作者。

检索时间范围: 1900 年 1 月至 2011 年 10 月。

检索词: 英文检索词 “metabolic chamber, energy consumption”。

检索数据库: Pubmed 数据库, 网址: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/PubMed/>。

检索文献量: 共检索到 70 篇文献。

1.2 检索方法

纳入标准: ①文章所述内容需与能量代谢实验室、人体能量消耗的研究密切相关。②同一领域选择近期发表或在权威杂志上发表的文章。

排除标准: 重复性研究。

数据的提取: 排除因研究目的与本文无关及内容重复的研究, 共保留其中的 41 篇归纳总结。

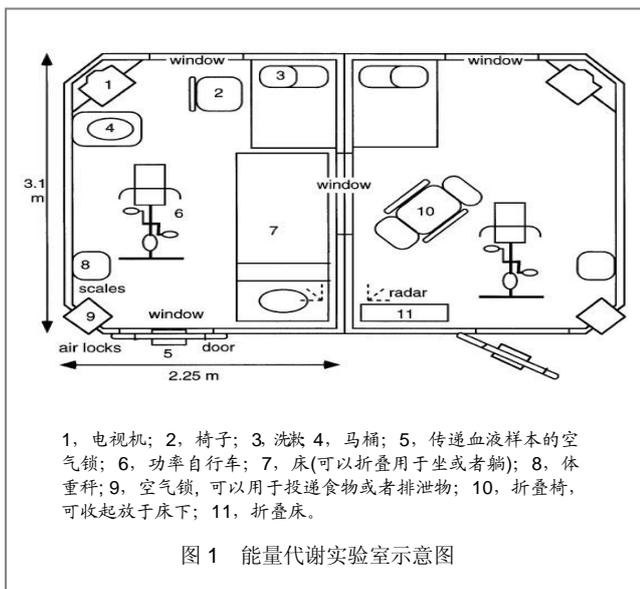
2 结果

2.1 能量代谢实验室的构建

2.1.1 Metabolic chamber 的内外部结构
1970 年 Jequier 及其同事在美国的亚利桑那州建造了一个体积为 19 000 L 的能量代谢实验室。实验室的墙体是双层铝板结构, 中间填充保温材料。加热和制冷系统始终将室内的温度控制在 $(24.0 \pm 0.5)^\circ C$ 。以此来保证实验室内

空气的均匀化, 使得氧气和CO₂的浓度始终保持稳定^[15]。

而Chen等^[16]和Schoffelen等^[17]则在之后的10年时间内分别建造了同样体积的能量代谢实验室, 但是后者所建实验室更具人性化, 见图1。Chamber在外观和内饰上与普通的房间并没有什么不同。受试者与研究人员都能通过门上的窗户看到对方。而受试者之间也可能通过墙上的窗户相互观望。窗户上装有窗帘保证了受试者隐私的不被泄露。除了基本生活设施外, 还有警报系统, 电话, 自动对讲机等。



受试者的排泄物利用超低温马桶用来收集; 而尿则被收集在一个特定的瓶子中。投递食物、排泄物以及血液样本的安全通道则是由三道空气锁来进行保障。受试者体力活动中的机械功率通过铺设在整个实验室底部的测力平板系统测量得到^[18]。体力活动可以用功率自行车或者跑台来进行, 并且整个房间的高度允许进行台阶测试。室温恒定, 电路系统每年检查1次。

2.1.2 能量代谢实验室通气系统、O₂-CO₂测定系统
 Chamber周围的空气是流通的, 每小时流动的空气量是整个chamber容积的5倍。新鲜空气由换气泵抽进chamber内, 并进行混合和温度控制。换气泵上的输出阀门调控进入chamber内的空气流速且流速可以被连续地测定。Chamber内的负压被调节至(250±125) Pa, 并且通过U形管持续监测。放射状安装的通气设备可以将气体收集并混合, 然后通过另一换气设备以3 300-1 000 L/min的设定速度排到Chamber的外部。Chamber内温度的变化在安静时为±0.1℃, 运动时为±0.4℃。一个装有滤过膜的低温泵使得进入与离开chamber的气体都是低温且干

燥的, 保证了所有进出chamber的气体都是纯净的而且是等压(±10Pa)、等温(±0.1℃)、等湿的。每年通过传感器测量得到的chamber内温度、气压和湿度等数据可以用来校正其体积和流量^[17]。

O₂的消耗通过氧气分析仪测定(Magnos 6G, Hartmann & Braun; OA184A, Servomex), 其测定范围是在0-22%。CO₂通过CO₂分析仪测定(Uras 3G, Hartmann & Braun), 其测定范围是在0-1%。开始正式实验前, 必须对整个系统进行稳定性测试。为了系统测量数据的可靠性, 每一气体样本都进行一式两份的测定, 以减小由于微小失误导致的数据丢失。样本气体被测定的同时, 定标气体也是被连续测定的, 实现了气体之间成分的实时对比, 消除了由于分析仪或者样本的差异所造成的误差, 这种方法可以将基线漂移降低至最小。由于此过程是全自动的操作, 所以就消除了气体来源以及手动因素所造成的误差^[19]。

2.2 Metabolic chamber的定标方法 将一定量浓度确定的气体通入到气体分析仪中去。注入气体的成分为CO₂0.8%, O₂18%, 其余为氮气^[17]。每次测试之前使用标准气体对整个测试系统进行通气冲洗及定标。所通入的气体被调整到类似人体正常呼吸的浓度范围^[20]。但是在实际情况中, 注入的气体需要进行精确的混合, 其过程相当复杂^[21]; 其次一般都是购买的标准气体, 价格昂贵且需要一些复杂的连接手段对注入气体时流速进行调控。所以在实行过程中有一些难度。

有学者使用燃烧高纯度的丙烷或乙醇等方式来对能量代谢实验室进行定标^[22,16]。当燃烧一段时间后燃烧物的消耗量确定时, 就可以根据公式计算出理论上的耗氧量(VO₂)和CO₂的生成量(VCO₂)。然后与实际测得耗氧量和CO₂生成量进行对比, 由此可以发现实际结果和理论结果之间的偏差。Jéquier^[23]及其同事在metabolic chamber中做了14次燃烧丁烷1h的测试, 所测得的耗氧量是理论计算值之间的(100.44±0.34)%; 而所测得的CO₂的生成量是理论值的(99.64±0.50)%。通过上述燃烧试验可以证明整个chamber的误差在±2%。

一些作者提出了噪声消除的方法^[24,16], 主要是通过应用某些确定的前置过滤装置, 但是并没有明确的考虑到测量时的噪声和一些不确定因素的作用。Heymsfield等^[25]第1次以动力系统理论在现实的软件操作环境下详细说明这一噪声问题, 介绍了随机模型的概念, 明确地考虑到测试噪声和加工处理过程中的噪声。然而基于那些理念并未提出有效的解决方法。

学者Jéquier在其试验中运用了新的数学模型用来说明目前系统中存在的许多不确定的因素以及最佳滤过方法的使用。提出了Kalman-Bucy数学模型来描述固定体积的气体交换。使用这一数学模型, 已经被证实可以改善数据的准确性^[16]。但是还要注意, 仪器的反应时间、整个实验室的容积、分析仪的准确性、O₂和CO₂产生的水平以及气体是否充分混匀等对于测试结果的准确性而言同样重要。

2.3 应用能量代谢实验室进行的研究 1993年Ainsworth等发表了一篇关于体力活动概要的文章, 综述了各种体力活动的能量消耗值, 将体力活动分为3级, 对体力活动类型进行系统的分类, 并给出代码。7年后, 他又对1993年的概要进行修订和补充。在1996年美国卫生部在其发表的体力活动与健康的报告中, 提出了日常体力活动的推荐量, 即为了保持健康, 所有人(2岁以上)都需要在1d内进行30min分以上的中等强度的体力活动或者每次10min以上, 累计达30min以上的中等强度体力活动, 每周至少5d。之后加拿大、英国和澳大利亚根据自己的国情相继提出了各自的国民体力活动推荐量。体力活动又被提升到了令人重视的高度。

能量代谢实验室最初适用于动植物的能耗研究^[26]。而中国国内尚无使用能量代谢实验室进行人类能量代谢研究的报道, 大多数采用心率表、计步器、加速度计以及气体分析仪等对人体能量消耗进行估算。

2.3.1 对于饮食的研究 Cooper等^[27]对8名18-45岁的非肥胖受试者随机分为4组进行饮食和运动的干预。高脂肪饮食组给予(脂肪占能量的50%)富含饱和脂肪酸的食物, 在结合运动或久坐的生活方式; 另一组则给予富含不饱和脂肪酸(脂肪占能量的30%)的食物再结合运动或久坐的生活方式。8名受试者在能量代谢实验室内生活5d, 安静时的能量代谢率每隔一天被测定。运动组的受试者每天以自身最大摄氧量的45%进行运动2h。受试者的呼吸气体和排出的尿液都被收集并且检测。结果发现, 4种组合的24h平均能耗并未有显著性差异, 但是血压和总胆固醇在高脂肪饮食结合运动和久坐组要高于给予富含不饱和脂肪酸的食物再结合运动和久坐组。

Sadie和Jonathan则对美国人的饮食做了分析研究, 结果发现经过加工过的食物会使人们在餐后的能耗减少, 这可能与人们的体质量增加有关^[28]。Swen Wolfram博士则对绿茶对于能量代谢的影响进行了研

究。发现饮用绿茶可以提高24h的能量消耗和脂肪的氧化^[29]。

Nicola对112名受试者的碳水化合物的氧化率做了测定, 以此来预测其在未来的能量摄入。结果发现, 体质量与随意的能量摄入显著相关, 而且还与每日随意摄入的脂肪、蛋白显著相关, 但是与碳水化合物的摄入无关。在chamber内的随意进食期间, 受试者的24h呼吸商和24h碳水化合物氧化率与每日的碳水化合物、脂肪以及蛋白质的摄入呈正相关。碳水化合物的氧化和平衡可以作为对人体未来的食物摄入和影响短暂的体质量变化的预测指标^[30]。

Rudelle等^[31]连续3d给予31名受试者含有咖啡因的饮料或者安慰剂, 并且对他们的24h能量消耗进行了测量。结果发现, 女性的24h能量消耗和24h脂肪氧化率显著低于男性。饮用了含有咖啡因饮料的受试者, 24h能量消耗增加了(443±130)J/24h, 等同于白天每小时增加(20.0±6.7)J, 夜间每小时增加(13.8±6.3)J。在测试过程中并未发现血液动力学方面的异常。在这个试验中, 尽管能耗的增加并不多, 但是对于大众健康而言, 饮用含有咖啡因的饮料加上适量的运动可以有效地阻止体质量的增加。

2.3.2 有关运动的研究 Margriet则利用chamber进行运动后人体进食不同的饮食对于糖异生的影响。10名健康男性受试者, 在踏车力竭运动后进入chamber内被给予高蛋白饮食或正常饮食。结果发现, 高蛋白饮食组的相对代谢率要显著高于正常饮食组, 24呼吸商则刚好相反。在高蛋白饮食后, 能耗增加的42%用于进行糖异生^[32]。

香港大学的学者对于儿童进行3种不同游戏时的能量消耗进行了专题研究, 发现虚拟游戏和模拟游戏之间, 模拟游戏可以带来更多的能量消耗^[33]。

Ohkawara^[34]让11名日本男性进行3次24h的能量代谢实验室的生活, 1d空白期, 1d高频率中等强度体力活动和1d高频率高强度的体力活动, 结果发现其能量消耗分别为(9.317±0.598)kJ、(11.776±0.824)kJ、(11.764±0.682)kJ。但是1d高频率中等强度体力活动和1d高频率高强度的体力活动的每日能耗并未有显著性差异。平均EPEEs在1d高频率中等强度体力活动和1d高频率高强度的体力活动并不能显著地增加24h能量消耗, 然而, EPEE/24-h能量消耗与最大摄氧量在1d高频率高强度的体力活动呈现负相关, 虽然在1d高频率中等强度体力活动并未表现出显著的相关性。这些结果说明了EPEE对于日

常生活的24 h能量消耗只有很小的作用,而在低体力活动水平的个体从事高强度体力活动时,能量消耗被提高。

2.3.3 有关人种的能量代谢研究 Weyer^[35]及其同事通过对38名非裔美国人和288名白人的对比研究发现,不同人种在能耗上的差异并找出了一些对于非裔美国人肥胖的危险因素。非裔美国人睡眠代谢率更低,24 h呼吸商比白人更高,24 h能量消耗则相近。而以性别为目的的分析,挑出38个白人(年龄、体质量与黑人相似),显示出非裔美国女性睡眠代谢率、24 h能量消耗都比白人女性低,但24 h呼吸商相仿。非裔男性的睡眠代谢率低,但24 h呼吸商要高于白人男性。这就说明了,非裔美国人不单单是能量代谢率比白人低,而且其脂肪氧化也要远远低于白人。这些可能就是基因导致的非洲裔人口的肥胖因素。

Rush^[36]则对在新西兰的欧洲裔和波西米亚年轻女性们的能量消耗和体成分之间的关系进行研究。除了测量身高体质量等基本的数据之外,还测量了她们的三围、皮褶厚度、相对代谢率、体力活动能量消耗、总耗能以及运动等级。结果发现,非肥胖的欧洲裔女性、非肥胖的波西米亚女性以及肥胖的欧洲裔女性,她们的总能耗和体重高度相关。肥胖的欧洲裔女性和波西米亚女性他们的运动能量消耗相似,但是非肥胖的波西米亚女性的能耗要显著高于欧洲裔女性。

Gallagher等^[37]通过对非裔美国人(34女,8男)和美国白人(30女,27男)的身体器官的核磁共振扫描并且在能量代谢实验室中测量其静息能量消耗后发现,被挑选出来的高代谢率的身体器官在经过年龄、性别及去脂组织等因素的调整后,非裔美国人要比白人显著的低。这与之前文献报道的非裔美国人的整体静息能量消耗低相吻合。去脂组织的差异可能是人种间相对代谢率差异的原因。

2.3.4 有关女性能量代谢的研究 Meijer等^[38]对24名女性体成分和月经周期对睡眠时能量代谢的影响做了研究。受试者在chamber内度过夜时禁止饮食。在早晨的3:00至6:00之间测量睡眠代谢率。结果发现,在排卵后期女性的睡眠代谢率要显著增高,达7.7%。同时通过逐步回归分析得出,去脂组织、脂肪组织以及月经循环周期对于睡眠代谢率有显著地作用。

Das及其团队^[39]对30名极端肥胖的美国妇女做了能量代谢方面的研究。根据她们的BMI将其进行分组,再测量了她们的总耗能、体力活动能量消耗、静

息能量消耗以及食物生热效应等指标。研究结果发现,极端肥胖个体的总耗能和静息能量消耗非常高,而且随体质量的增加而增加。高的能量摄入主要用于维持极度肥胖者多余的体质量。同时,通过和已经公布的数据比较发现,这30名极度肥胖者的总耗能和静息能量消耗要比已经公布的非肥胖者的值高出很多。

2.3.5 对于非体力活动和低温时能耗研究 Levine等^[20]对17名女子和7名男子的非体力活动(坐立不安)的能量消耗进行研究,结果显示,坐着不动、坐立不安、站着不动、站立不安这4种状态分别相对于静止时的能耗(5.4±1.5) kJ/min增加了(4±6)%、(54±29)%、(13±8)%和(94±38)%。这说明坐立不安的这种状态也很能有效地满足能量的平衡。

Westerterp-Plantenga等^[40]对9名健康男性在低温环境下(16 °C、22 °C)的能耗、能量摄入等做了研究。结果发现,能耗在16 °C时要高于22 °C。能耗的增加主要表现在睡眠代谢率和食物热效应。在16 °C时,直肠的、最靠近身体中央和最末端的皮肤温度都下降了。在2种环境温度下受试者的呼吸商并未有所不同,只是能量的摄入在16 °C时要多于22 °C。因此核心温度的下降趋势就有所缓解,而且与过度进食的程度相反。

然而,在对一些能量代谢基础值的测定比如睡眠代谢率、相对代谢率的测定,学者们在测试的时间也各不相同。在早晨的3-6点间当受试者还在睡觉时测试睡眠代谢率。在此之前,要求受试者距离最后一次进食的时间大于9 h^[38]。Margriet将睡眠代谢率定义为在0-6点间连续3 h的最低的平均能量消耗。Nicola认为睡眠代谢率是在23:00至05:00的1个15 min内的平均能量消耗,同时无意识的体力活动必须小于1.5%^[30]。Robin对儿童测试相对代谢率则是一个20 min的计划。其中前5 min为休息期,后15 min为测试期,之后再开始其他项目的测试^[33]。为了测定受试者的基础代谢,Lone等先让受试者在实验开始的前1 d开着门睡在实验室中,这样可以消除压抑的情绪。测试于第2天早上9点开始开始,22 h后结束。基础代谢的测定则在整个测试最后阶段完成,那时受试者还在安静的睡觉中^[41]。

3 讨论

能量代谢实验室的建造与应用对于更深一步的研究中国居民日常生活时的能量消耗、能耗与疾病之

间的关系以及运动时的能耗等有着重大的指导意义, 同时又可以快速、准确、有效地评价体力活动, 建立中国居民能量消耗模型, 制定体育锻炼指南, 促进体力活动量的增加, 增进大众健康, 预防众多慢性病发生, 减轻疾病造成的危害具有重要的现实意义。

4 参考文献

- [1] Dale A. Schoeller. Recent Advances from Application of Doubly Labeled Water to Measurement of Human Energy Expenditure. *Nutr.* 1999;129(10): 1765-1768.
- [2] Coward, W. A. Contributions of the doubly labeled water method to studies of energy balance in the Third World. *Am J Clin Nutr.* 1998;68(4): 962S-969S.
- [3] Ambler C, Eliakim A, Brasel JA, et al. Fitness and the effect of exercise training on the dietary intake of healthy adolescents. *Int J Obes.* 1998;22(4): 354-362.
- [4] Ainslie P, Reilly T, Westerterp K. Estimating human energy expenditure: a review of techniques with particular reference to doubly labeled water. *Sports med.* 2003;33(9): 683-698.
- [5] Bassett DR Jr. Validity and Reliability Issue in Objective Monitoring of Physical Activity. *ResQ Exe Sport.* 2000; 71(1): 30-36.
- [6] LaPorte RE, Montoye HJ, Caspersen CJ. Assessment of Physical Activity in Epidemiologic Research: Problems and Prospects. *Public Health Rep.* 1985;100 (2):131-146.
- [7] Rowlands AV, Eston RG, Ingledew DK. Measurement of Physical Activity in Children with Particular Reference to the Use of Heart Rate and Pedometry. *Sports Med.* 1997; 24(4): 258-272.
- [8] Melanson EL Jr, Freedson PS. Physical Activity Assessment: A Review of Methods. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 1996;36(5): 385-396
- [9] Montoye HJ, Washburn R, Servais S, et al. Measuring Physical Activity and Energy Expenditure. *Champaign: Human Kinetics.* 1996;7: 72-79.
- [10] Schneider PL, Crouter SE, Lukajic O, et al. Accuracy and Reliability of 10 Pedometers for Measuring Steps Over a 400m Walk. *Med Sci Sports Exe.* 2003;35(10): 1779-1784.
- [11] Swartz AM, Bassett DR Jr, Moore JB, et al. Effects of Body Mass Index on the Accuracy of an Electronic Pedometer. *Int J Sports Med.* 2003;24(8): 588-592.
- [12] Welk GJ, Blair SN, Wood K, et al. A Comparative Evaluation of Three Accelerometry-based Physical Activity Monitors. *Med Sci Sports Exe.* 2000;32(9): S4892-S497.
- [13] Brychta R, Wohlers E, Moon J, et al. Energy expenditure: measurement of human metabolism. *IEEE Eng Med Biol Mag.* 2010;29(1):42-47.
- [14] Sun M, Reed GW, Hill JO. Modification of a whole room indirect calorimeter for measurement of rapid changes in energy expenditure. *J Appl Physiol.* 1994; 76(6):2686-2691.
- [15] Ravussin E, Lillioja S, Anderson TE, et al. Determinants of 24-hour energy expenditure in man. Methods and results using a respiratory chamber. *J Clin Invest.* 1986;78(6): 1568-1578.
- [16] Chen KY, Acra SA, Donahue CL, et al. Efficiency of walking and stepping: relationship to body fatness. *Obes Res.* 2004;12(10):982-989.
- [17] Schoffelen PF, Westerterp KR, Saris WH, et al. A dual-respiration chamber system with automated calibration. *Appl Physiol.* 1997;83(6): 2064-2072.
- [18] Sun M, Hill JO. A method for measuring mechanical work and work efficiency during human activities. *Biomechanics.* 1993;26(3):229-241.
- [19] Murgatroyd PR, Davies HL, Prentice AM. Prentice. Intra-individual variability and measurement noise in estimates of energy expenditure by whole body indirect calorimetry. *Br J Nutr.* 1987;58(3): 347-356.
- [20] Levine JA, Schleusner SJ, Jensen MD. Energy expenditure of nonexercise activity. *Am J Clin Nutr.* 2000. 72(6):1451-1454.
- [21] Bate GC, D'Aoust A, Canvin DT. Canvin. Calibration of Infra-red CO₂ Gas Analyzers. *Plant Physiol.* 1969;44(8): 1122-1126.
- [22] Hill JO, Peters JC, Reed GW, et al. Nutrient balance in humans: effects of diet composition. *Am J Clin Nutr.* 1991; 54(1):10-17.
- [23] Jéquier E, Schutz Y. Long-term measurements of energy expenditure in humans using a respiration chamber. *Am J Clin Nutr.* 1983;38(6):989-998.
- [24] Brown D, Cole TJ, Dauncey MJ, et al. Analysis of gaseous exchange in open-circuit indirect calorimetry. *Med Biol Eng Comput.* 1984;22(4): 333-338.
- [25] Heymsfield SB, Allison DB, Pi-Sunyer FX, et al. Columbia respiratory-chamber indirect calorimeter: a new approach to air-flow modelling. *Med Biol Eng Comput.* 1994;32(4): 406-410.
- [26] Kolls AC, Loevenhart AS. A RESPIRATORY CHAMBER FOR SMALL ANIMALS [J]. *Am J Physiol-Legacy Content.* 1915;39(1):76-76.
- [27] Cooper JA, Watras AC, Adams AK, et al. Effects of dietary fatty acid composition on 24-h energy expenditure and chronic disease risk factors in men. *Am J Clin Nutr.* 2009; 89(5):1350-1356.
- [28] Barr SB, Wright JC. Postprandial energy expenditure in whole-food and processed-food meals: implications for daily energy expenditure. *Food Nutr Res.* 2010; 54(10): 5144.
- [29] Wolfram S. Effects of Green Tea and EGCG on Cardiovascular and Metabolic Health. *J Am Coll Nutr.* 2007;26 (4):373S-388S.
- [30] Pannaciuoli N, Salbe AD, Ortega E, et al. The 24-h carbohydrate oxidation rate in a human respiratory chamber predicts ad libitum food intake. *Am J Clin Nutr.* 2007;86(3): 625-632.
- [31] Rudelle S, Ferruzzi MG, Cristiani I, et al. Effect of a Thermogenic Beverage on 24-Hour Energy Metabolism in Humans. *Obesity.* 2007;15(2):349-355.
- [32] Veldhorst MA, Westerterp-Plantenga MS, Westerterp KR. Gluconeogenesis and energy expenditure after a high-protein carbohydrate-free diet. *Am J Clin Nutr.* 2009; 90(3):519-526.
- [33] Mellecker RR, McManus AM. McManus. Energy Expenditure and Cardiovascular Responses to Seated and Active Gaming in Children. *Arch Pediatr Adolesc Med.* 2008;162(9):886-891.

- [34] Ohkawara K, Tanaka S, Ishikawa-Takata K, et al. Twenty-four-hour analysis of elevated energy expenditure after physical activity in a metabolic chamber: models of daily total energy expenditure. *Am J Clin Nutr.*2008;87(5): 1268 -1276.
- [35] Weyer C, Snitker S, Bogardus C, et al. Energy metabolism in African Americans: potential risk factors for obesity. *Am J Clin Nutr.*1999;70(1):13-20.
- [36] Rush EC, Plank LD, Coward WA. Energy expenditure of young Polynesian and European women in New Zealand and relations to body composition. *Am J Clin Nutr.*1999; 69(1):43-48.
- [37] Gallagher D, Albu J, He Q, et al. Small organs with a high metabolic rate explain lower resting energy expenditure in African American than in white adults. *Am J Clin Nutr.* 2006; 83(5):1062-1067.
- [38] Meijer GA, Westerterp KR, Saris WH, et al. Sleeping metabolic rate in relation to body composition and the menstrual cycle. *Am J Clin Nutr.*1992;55(3):637-640.
- [39] Das SK, Saltzman E, McCrory MA, et al. Energy Expenditure Is Very High in Extremely Obese Women. *Nutr.*2004;134(6):1412-1416.
- [40] Westerterp-Plantenga MS, van Marken Lichtenbelt WD, Strobbe H, et al. Energy metabolism in humans at a lowered ambient temperature. *Eur J Clin Nutr.*2002; 56(4):288-296.
- [41] Rasmussen LG, Larsen TM, Mortensen PK, et al. Effect on 24-h energy expenditure of a moderate-fat diet high in monounsaturated fatty acids compared with that of a low-fat, carbohydrate-rich diet: a 6-mo controlled dietary intervention trial. *Am J Clin Nutr.*2007;85(4):1014-1022.

来自本文课题的更多信息—

基金声明: 江苏省科技厅项目(BM2008153), 项目名称: 江苏省体力活动与能量代谢公共技术服务中心(科技公共服务平台)。

作者贡献: 第一作者和通讯作者构思并设计本综述, 第一作者分析并解析数据, 经通讯作者审核, 第一作者对本文负责。

利益冲突: 课题未涉及任何厂家及相关雇主或其他经济组织直接或间接的经济或利益的赞助。

伦理要求: 未涉及伦理冲突的内容。

此问题的已知信息: 目前国际上将能量代谢实验室作为测定人体能耗的“金标准”。

本综述增加的新信息: 能量代谢实验室由于其测定原理简单, 实行简便, 准确度高使之越来越受到青睐, 而中国目前尚无能量代谢实验室应用于研究的报道。

临床应用的意义: 能量代谢实验室对于内分泌疾病的能耗以及药物的临床作用有着指导意义, 而对于人体的运动能耗以及日常生活能耗, 它也能给出准确极高的测量结果。

作者声明: 文章为原创作品, 数据准确, 内容不涉及泄密, 无一稿两投, 无抄袭, 无内容剽窃, 无作者署名争议, 无与他人课题以及专利技术的争执, 内容真实, 文责自负。



本期专题: 参与骨损伤修复的白细胞介素 6

- 木瓜蛋白酶诱导兔膝关节骨关节炎模型滑膜中白细胞介素1、白细胞介素6、白三烯浓度变化与药物注射时间的关系, 见16卷2012年33期6184-6188页。
- 黄精多糖干预骨质疏松性骨折大鼠白细胞介素1和白细胞介素6的表达, 见16卷2012年2期220-222页。
- α -玉米赤霉醇干预骨质疏松性骨折模型大鼠白细胞介素1、6的表达, 见15卷2011年33期6165-6167页。
- 金乌骨通胶囊对成骨细胞分泌白细胞介素1、6的影响, 见15卷2011年46期8595-8597页。
- 运动状态下白细胞介素6介导骨保护素相关因子信号通路对骨代谢的调节, 见16卷2012年37期6993-6997页。
- 骨量及骨代谢中胰岛素生长因子1、转化生长因子 β 和白细胞介素6在长期递增负荷运动状态下的变化, 见15卷2011年33期6157-6160页。

- 木瓜蛋白酶诱导兔膝关节骨关节炎模型滑膜中白细胞介素1、白细胞介素6、白三烯浓度变化与药物注射时间的关系
孙鲁宁(南京中医药大学附属医院, 江苏省南京市 210029)
推荐理由: 木瓜蛋白酶关节内注射可诱导狗、兔、豚鼠等动物髌关节或膝关节骨关节炎, 其特点是发病速度快、重复性好、与人类骨关节炎类似, 是目前常用的造模方式。早期骨性关节炎滑膜组织中出现单核细胞浸润和炎症因子过度表达, 而炎症组织、活化软骨细胞和炎症浸润细胞产生的炎症因子是该疾病进展的重要递质, 主要的促炎症因子有白细胞介素1、白细胞介素6、白三烯、肿瘤坏死因子等。因此, 目前有些与骨性关节炎治疗相关的实验研究侧重于观察治疗前后炎症因子的变化。实验发现木瓜蛋白酶诱导兔膝关节骨关节炎模型后滑膜中白细胞介素1、6、白三烯水平升高, 但随时间的延长逐渐恢复正常。见16卷2012年33期6184-6188页。

- 黄精多糖干预骨质疏松性骨折大鼠白细胞介素1和白细胞介素6的表达
曾高峰(广西医科大学公共卫生学院, 广西壮族

自治区南宁市 530021)

3 α -玉米赤霉醇干预骨质疏松性骨折模型大鼠白细胞介素1、6的表达

宗少晖(广西医科大学第一附属医院脊柱骨病外科, 广西壮族自治区南宁市 530021)

4 金乌骨通胶囊对成骨细胞分泌白细胞介素1、6的影响

刘春颖(河北大学医学部药理教研室, 河北省保定市 071000)

5 运动状态下白细胞介素6介导骨保护素相关因子信号通路对骨代谢的调节

尚长景(苏州大学体育学院, 江苏省苏州市 215021)

6 骨量及骨代谢中胰岛素生长因子1、转化生长因子 β 和白细胞介素6在长期递增负荷运动状态下的变化

郑陆(首都体育学院, 北京市 100088)

详见: www.CRTER.org