

中文摘要

研究目的：本文通过测量杨氏二十四式太极拳练习者静息能量消耗和太极拳练习能量消耗，探讨和研究了太极拳能量消耗特点及相关因素，以期为制定运动处方提供合理活动的推荐量和评价标准，科学指导运动健身。

研究方法：利用间接能量测定法，测量 155 名太极拳练习者（男 72 名，女 83 名）的静息能量消耗和太极拳练习时的能量消耗，并根据性别、年龄、体重、体成分等相关因素，对静息能量消耗和运动能量消耗特点及相关特点进行分析。

研究结果与讨论：1、能量消耗受个体的性别、年龄、体重、体脂分数、去脂体重、BMI 等因素的影响，尤以去脂体重的影响较高。

2、杨氏二十四式太极拳运动是一种低强度有氧运动，运动心率范围在 90~115 次之间，20-39 岁组的最高心率（220-年龄）为 50~60%、40-59 岁组的最高心率为 55~65%，60 岁以上组的最高心率为 60~75%，故杨氏二十四式太极拳较适合老年人。

3、杨氏二十四式太极拳练习者的静息能量消耗为 1.1~1.5METs/min，运动时每分钟为 2.2~2.8METs。

4、太极拳运动后恢复时间大约为 3~5 分钟，此部分能量消耗占总能量消耗的 1/7~1/5。

关键词：太极拳；静息能量消耗；体力活动；代谢当量；运动生热效能

作者：徐中华

指导教师：盛蕾

Measurement and Evaluation of Energy Expenditure on Tai Chi Chuan

Abstract

Purpose: In this paper the characteristics and correlative factors of the energy expenditure of the simplified 24 forms of the Yang style Tai Chi Chuan were explored and studied by measuring the rest energy expenditure and that during training in practitioners of this kind of Tai Chi Chuan. The purpose is to provide the reasonable recommended training load and evaluation criteria for designing exercise prescriptions to guide the body-building of the mass scientifically.

Methods: By applying the indirect calorimetry the rest energy expenditure and that during training were measured in 155 Tai Chi Chuan practitioners (72 males and 83 females). According to such correlative factors as the sex, age, weight, body composition, the characteristics and correlative factors of the rest energy expenditure and that during training as well as the correlative factors were analyzed.

Conclusion:

1. The energy expenditure is influenced by sex, age, weight, body fat percentage, fat-free mass and BMI, especially the fat-free mass.
2. This simplified 24 forms of the Yang style Tai Chi Chuan is an aerobic exercise of low intensity. The range of the heart rate during exercise is 90 to 115 beats per minute. The HRmax in groups of 20 to 39, 40 to 59 and above 60 years of age are 50 ~ 60 %, 55 ~ 65% and 60~75%, respectively. Therefore, this kind of exercise is suitable to old men.
3. The rest energy expenditure of the Tai Chi Chuan practitioners was 1.1 to 1.5 METs per minute. But during exercise it was 2.2 to 2.8 METs per minute.
4. The duration of recovery after Tai Chi Chuan exercise was about 3 to 5 minutes, at

which the energy expenditure accounts for 1/7 to 1/5 of the total energy expenditure.

Key words: Tai Chi Chuan; rest energy expenditure; physical activity; metabolic equivalent; exercise calorogenesis

Written by Xu Zhonghua

Supervised by Sheng Lei

苏州大学学位论文独创性声明及使用授权声明

学位论文独创性声明

本人郑重声明：所提交的学位论文是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不含其他个人或集体已经发表或撰写过的研究成果，也不含为获得苏州大学或其它教育机构的学位证书而使用过的材料。对本文的研究作出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人承担本声明的法律责任。

研究生签名： 徐中华 日期： 2008.3.15

学位论文使用授权声明

苏州大学、中国科学技术信息研究所、国家图书馆、清华大学论文合作部、中国社科院文献信息情报中心有权保留本人所送交学位论文的复印件和电子文档，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文。本人电子文档的内容和纸质论文的内容相一致。除在保密期内的保密论文外，允许论文被查阅和借阅，可以公布（包括刊登）论文的全部或部分内容。论文的公布（包括刊登）授权苏州大学学位办办理。

研究生签名： 徐中华 日期： 2008.3.15

导师签名： 戚素 日期： 2008.3.15

1 前言

1.1 选题依据

近年来体力活动与健康问题越来越受到国内的关注,随着人们对体力活动的进一步认识,相关体力活动的研究主要集中在体力活动现状的调查、体力活动的种类的划分以及体力活动的健身作用等。而对于具体的体力活动的推荐量以及划分标准等相关的研究还比较滞后,尤其对体力活动的能量代谢特点和能量消耗的测量研究较少。

国外对能量消耗的研究,早在1950年 Berggren & Christensen 用心率监测来间接测量人总体的能量消耗(原理在于在大部分有氧工作范围内,心率和吸氧量成线性的关系,同时可以根据心率的变化估测吸氧量)。Schoeller (1986)用双标水法、能量平衡法和气体交换法来评价能量消耗^[1、2、3]。Ainsworth 等1993年首次发表了有关《体力活动概要》的文章^[4],给出了各种体力活动的代码;2000年 Ainsworth 等又发表了《体力活动概要》的更新版^[5],对1993年的概要进行了修订。

美国疾病预防控制中心(CDC)和美国运动医学(ACSM)在1995年发表了一篇里程碑式的文章,该文提出了这样的推荐量:成年人在一周的大多数天内应每天至少累计进行30min有规律的中等强度体力活动^[6];而这个中等强度体力活动的确定参考了《体力活动概要》中的数据。

Schutz等(2001)把体力活动测量方法分为三类:测量能量消耗和氧气,如活动的能量消耗,体力活动水平,体力活动比率,代谢产物,从事体力活动的兴趣指数,体力活动时间水平;通过心率监控测量能量,如总心率,体力活动率心率,体力活动水平心率,同等活动时间心率,体力活动时间水平的心率;监测整体的加速度来测量能量^[7]。

而我国最早是陈世蓉等(1994)应用7天体力活动回忆量表,对武汉市1033名55岁以上老年人体力活动容量进行了测量与评价;杨功焕等^[8](2002)对中国人群2002年饮食、体力活动和体重指数的现状调查;李洋等^[9](2004)以国际体力活动量表长卷进行量表访问来评价上海18-65岁中心城区居民其体力活动水平。前述的用体力活动量表来测量体力活动具有局限性,特别难于测量中等强度的体力活动强度差别,如其一部分人体力活动测量值与个体体力活动水平的比较,并适用于

人群的监测。而不适宜对较小样本的横断面研究,若要对各种特征的人群进行分组体力活动情况分析,需要进一步开展大规模人群研究^[10]。

体力活动对健康起到重要的作用,科学合理地安排体力活动才对健康有益。Michael^[11]研究讨论了肥胖儿童的体力活动、身体成分、脂肪分布特点以及食物摄入的关系;KLAAS R通过双标水法,加加速度计测量和问卷法研究讨论了体力活动与肥胖的关系^[12];姚崇华等分析体力活动强度、活动时间与代谢综合症的关系,结果显示低强度体力活动每周运动时间达到301~420min,中等强度体力活动90~300min,高强度体力活动每周150min以上均有助于降低代谢综合症的发生危险^[13]。狄玉峰等^[14]对北京市城区不同体重人群能量消耗和体力活动水平比较。体重正常者的体力活动水平和活动计数均高于肥胖者,说明体力活动是控制体重的关键因素。因此,在进行体力活动的评价中,要想准确的描述体力活动的量和强度,必须准确测量出每种体力活动的代谢当量以及其能量代谢特点。

太极拳是中国的传统体育运动项目,对于它的能量代谢研究才刚刚起步,因此,本文就杨式二十四式简化太极拳的能量代谢进行测量评价,以初步揭示不同年龄、不同性别、不同体脂含量等与能量代谢关系。

1.2 综述

1.2.1 体力活动的概要

体力活动(physical activity)是指由骨骼肌收缩产生的身体活动,也是指在基础代谢(BMR)的水平上,身体能量消耗增加的活动^[15]。研究发现,经常性、规律性的体力活动可以降低心血管疾病、糖尿病、结肠癌、乳腺癌、肥胖及精神性疾病发生的危险性,体力活动水平和疾病之间存在明显的剂量反应关系^[16]。体力活动不足使这些疾病发生的危险性增加。世界卫生组织2002年的报告指出,每年由于体力活动不足导致全球190万人死亡。12%的缺血性心脏病,11%的缺血性脑卒中,14%的糖尿病,16%的结肠癌及10%的乳腺癌由体力活动不足引起。疾病负担的增加必然导致经济的损失,如澳大利亚每年由于体力活动不足引起的疾病导致37亿美元的经济损失^[17]。因此,第57届世界卫生大会制定了膳食、体力活动与健康全球战略,以鼓励健康的膳食、体力活动模式,减少疾病,达到健康促进的目的。

1995年,美国疾病预防控制中心(CDC),美国运动医学会(ACSM)建议人们每天或在1周绝大多数天数里参加30min中等强度的体力活动^[18]。1996年,美国公共卫生局在其著名的《体力活动与健康》一书中总结了体力活动带来的很多健康收益,

并建议人们为了保持健康,每天要通过中等强度或大强度的活动消耗150 kcal热量^[15]。2000年,美国健康与大众服务部(HHS)制订了《2010年人类健康计划》,列举了促进健康的10大措施,其中增加体力活动位列第一^[19]。

体力活动一般包括职业劳动、交通中的体力活动、闲暇时间体力活动(包括锻炼)及家务劳动4个方面^[20]。不同国家、不同组织,针对不同健康促进目的制定的体力活动推荐量表达形式各异,包含的体力活动类型也不相同。

提倡体力活动已成为当今许多国家提高人民健康水平和预防慢性病的一个重要举措,其主要原因有两个方面:一是当前疾病谱中慢性病已成为危害人民健康的首要因素,研究证实:缺乏体力活动是引起慢性病的一个主要危险,会使遗传基因缺陷者容易在腹部脂肪过多情况下介导慢性病。二是大量科学实验确认:适量运动有益于各年龄组人群的健康、体能和减少慢性病危险因素。而且,适量运动和合理营养结合有促进儿童青少年生长发育、改善心肺功能、提高耐久力、减少身体脂肪和改进心理状态等显著的健康效益。这种非药物、经济、实用、有效又无副作用的措施对提高人民生活质量和健康水平具有重要作用。许多国家如美国、日本等在膳食指南中都增加了“体力活动维持和改善能量平衡”的内容。菲律宾和台湾的膳食指南也强调增加体力活动对能量平衡和保持合理体重的意义。不少机构如:美国的NIH, CDC(疾病控制中心), ACSM(美国运动医学会),美国心脏病学会和中国营养学会为提高人民的健康水平都制定了增加体力活动的策略和规划。

体力活动不足或过食可引起体重超重或肥胖。研究提出体力活动与体质指数(BMI)存在负相关,采用稳定同位素双标水法的研究证实:能量消耗与肥胖负相关^[21]。体力活动水平越高,则体脂肪量越低,但现有数据尚不足以作出“低水平的体力活动就是肥胖原因”的结论。体力活动与神经系统功能尤其是大脑的功能,关系到人体各器官系统的功能,对于人的体质强弱起着决定的作用^[22]。目前公认运动可使对人体有利的各种功能(心肌功率、循环功能等)得到强化,并增加有利物质的含量,同时减少不利于机体健康的各种因素(降低血糖、稳定血压)^[23]。

体力活动是决定人体能量需要量及能量消耗的重要环节。人体能量需要量是指能长期保持良好的健康状况、体型、机体构成和活动水平的个体,并能满足从事生产劳动和社会活动达到能量平衡所必需的能量摄入。人体能量消耗主要用于维持基础代谢、体力活动和食物生热作用。除基础代谢外,体力活动消耗的能量

是构成人体总能量消耗的重要部分,人体能量需要量的不同主要是由于体力活动的差别。经常性的锻炼可以预防疾病发生,延缓疾病进程。慢性病已经成为人群死亡的主要原因,而且与人们的生活方式(包括体力活动)关系密切。科学的发展和技术的进步改变了大多数人的职业和生活方式,使人们在日常活动上消耗的能量大大减少;另外,人们对健康的重视使得部分人开始有意识的运动,如步行、慢跑和参加体育运动等,这使得相同职业的个体间能量消耗差别大大增加,体力活动与健康的关系越来越受到重视。

现在大多数研究都在探讨体力活动与健康的关系。抛开能量平衡问题,体力活动与健康的关系越来越受到重视。在该研究领域需要更为精确、可靠的估计体力活动(physical activity, PA)和能量消耗(energy expenditure, EE)的方法。传统的单纯根据职业估计能量需要量的方法受到挑战。如何对PA和EE进行评估是目前有待解决的一个重要的营养学和运动科学问题。

1.2.2 体力活动推荐量与评价标准

早期的体力活动研究主要在发达国家开展。随着科学技术的发展,新技术、新设备的应用,机动车辆使用的增加和家务劳动的减少,职业劳动的强度降低,锻炼(或运动)逐步成为人们增加体力活动、改善健康状况的重要手段,也成为体力活动研究的焦点。20世纪70年代,一些国家为增加人们体力活动,改善健康状况,提出了锻炼(或运动)的推荐量。代表性较强、应用广泛的是美国运动医学协会推荐的“为了拥有、维持健康的心血管功能和理想的体成分,成年人应该进行每周3-5次,每次15-60分钟,运动强度达到60%-90%最大心率(相当于50%-85%最大耗氧量),节奏较强的大肌群有氧运动,如跑步、游泳、滑冰等耐力型运动”^[24]。此推荐量从运动的频率、持续时间、强度、性质及特点等几个方面描述了如何判断体力活动是否充分,体力活动应达到什么水平。但是,ACSM推荐的体力活动仅限于强度较大的耐力型运动,对于强度的判断需要较强的专业性,因此,使用和推广受到一定的限制。

经过不断探索和研究,ACSM在1990年和1998年对此推荐量作了两次修订。1990年,推荐量中的锻炼持续时间增加到“20-60分钟”,补充了“每周至少2次,每组重复8-10次的中等强度阻力型运动”^[25],1998年再次修订时,锻炼的时间修改为“每次20-60分钟,或者每次至少10分钟累积达到每天20-60分钟”^[26]。

经过两次修订,锻炼推荐量的运动类型增加,强度降低,增加了实用性。但

锻炼（或运动）需要特定的时间，通常需达到较高的强度，而缺少时间锻炼身体正是现代人体力活动降低的主要原因之一。因此，这种形式的推荐量在久坐少动生活方式人群中难以推广。

在发展中国家，社会快速发展、城市化进程加快，久坐少动的时间增加，慢性病也逐渐成为影响人们健康的主要因素。体力活动与健康关系的研究渐渐为人们所重视。但是，发展中国家职业劳动强度仍然较高，交通方式以步行及骑车为主，家务劳动较多，而且各种体力活动的时间在全天体力活动时间中的分配与发达国家存在明显差异，因此，研究发展中国家人群的体力活动，将职业劳动、交通中的体力活动及家务劳动包括在内十分必要^[27]。在我国这样一个地域广阔，某些职业人群劳动强度仍较大的发展中国家，仅以锻炼或闲暇时间体力活动为基础制定推荐量和评价体力活动水平显然是不合适的。

劳动并不等于锻炼，职业劳动或家务劳动能够增加体力活动水平，但是许多劳动为局部肌群的单调、重复运动，容易造成疲劳或损伤，而锻炼为全身协调性运动，使人有愉悦兴奋、健康向上的情绪，更有利于健康。因此，在探索研究国外体力活动推荐量及评价标准在中国这样的发展中国家应用的同时，亦应寻求其它评估体力活动的方法。

Kyle^[28]研究结果显示，对于肥胖患者来说，每次运动尽量多运动3-5分钟，对于他们身体健康是非常有益处的，同时在医生的指导下长期坚持有规律的运动，更可以改善体质。

每个星期能量消耗达到4200KJ（相当于5天/周，每天步行1小时）可以获得更好的健康水平。只要每个周的每一天都坚持，就算是短短的十分钟/每次，健康益处可以从有组织的体力活动和一般的体力活动获得^[29]。

Darren等人在2006年制定出了各种体力活动的代谢当量的推荐量，也是目前国内外最全面最系统的推荐量表^[30]，这个量表可以作为评价体力活动的最新标准，依此可以推算一个人一天内进行的不同体力活动的能量消耗总量。

1.2.3 体力活动的测量方法

研究体力活动的首要内容是寻找客观、精确、重复性高的体力活动测量方法，这些方法具有以下几方面的重要意义：1）确定体力活动和健康之间的量效关系（dose-response relationships）；2）评价不同人群的体力活动水平；3）反映各种活动的能量消耗水平；4）评价增加人群体力活动的干预措施实施的有效性。测量

体力活动的技术在过去几年中已经取得长足进步。目前,常用的体力活动测量技术包括:双标水法(doubly labeled water)、间接热量测定法(indirect calorimetry)、体力活动问卷(physical activity questionnaires)、心率表(heart rate monitors)、运动传感器(motion sensors)等。

对于体力活动状态的评价最为重要的是测量体力活动的能量消耗。直接测试的方法是让受试者处于一个完全隔热的房间内,精确测量和记录他们产生的热量(包括蒸发,辐射,对流和传导)^[31]。直接的能量消耗测量是最为精确的方法,但是这种方法只限在实验室中进行,在体力活动研究中很难进行,因此体力活动能量消耗测量都采用多是间接方法^[32]。

1.2.3.1 DLW 法

将DLW方法应用与人体能量消耗测试最早由Schoeller DA等人倡导^[33-34]。DLW的原理很简单,该方法是服用经非放射性同位素²H、¹⁸O双重标记的水,经代谢,²H以水的形式排出体外,¹⁸O以水和CO₂的形式排出体外,用¹⁸O的代谢速率减去²H的代谢速率即可得到CO₂的生成率,通过呼吸商计算出氧消耗量,代入公式计算出单位时间的能量消耗。该法的好处是不必收集排出的CO₂,仅通过尿液来计算体内同位素的残留量。双标水法精度高,它和间接热量测定法被认为是能量消耗测定的“金标准”^[35],其他方法往往以双标水法为参照^[36-39],才能确定其测量体力活动的有效性和可靠性。DLW测试方法适用于多种人群,如早产儿、病人、儿童、肥胖人群、孕妇、哺乳期妇女、老人等几乎所有年龄的人群^[40]。此外,该方法还用于各种生理条件下的人群,如环法自行车赛运动员、南极探险运动员、珠穆朗玛峰登山运动员等^[41]。

双标水法具有适用范围广、测量精确、无毒副作用、不影响受试者活动等优点。但是此方法的一些不足之处限制了它的使用:1)双标水价格昂贵,分析设备价格也很高,因此DLW不适合于在大规模人群中使用^[42]。2)DLW可以测试一段时间内总的能量消耗,但是不能反应出AEE, RMR和DEE的比例^[43]。如果将DLW和间接热量测试相结合可能会更加理想。3)DLW的测试至少要三天以上,因此测试结果只能得到TEE,却不能分析能量消耗的时间模式。4)DLW在实验室和场地测试中都可以使用,但有研究指出,在场地测试中其准确度会有一定的下降,大约是5%^[44]。

1.2.3.2 间接热量测定法

间接热量测定法是让受试者佩戴呼吸面罩,通过气体代谢装置分析受试者 VO_2 和 CO_2 产生量,从而计算能量消耗。该方法被广泛应用于安静和运动过程中的能量代谢测定,并且也被视为精确的短时热量测定方法^[15]。由于传统的气体代谢装置体积庞大,因此往往只能在实验室里借助跑台测量步行或跑步的能量消耗。许多验证运动传感器测量步行或跑步有效性及可靠性的研究就是以这种方法做参照^[45-49]。随着技术的进步,更为先进的便携式的气体代谢装置以广泛应用于现场环境研究, Metamax TM (Borsdorf, Germany)以及Comsed K4b2 TM (Rome, Italy) 都是目前市场上比较常见的此类设备^[35]。这些便携式的装置可以精确地分析每一次呼吸的气体交换情况,体积小,重量轻,佩戴起来也很舒适,非常适合现场环境的体力活动如工作、家务劳动、园艺、体育锻炼以及娱乐活动的能量消耗测量。

由于该类仪器价格昂贵,只适合对小样本进行研究,又由于采用电池供电,便携式气体分析装置往往只能连续工作1~5h^[35]。因此,难以对人们日常体力活动进行长时间不间断测量。总的来说,间接热量测定法,常常被用于测量不同活动的能量代谢状况,或用于评价心率监测器、运动传感器的有效性,而在调查一般性日常活动或每周活动方面实用性不强。

1.2.3.3 HR测试法

心率是一个简单的测试指标,在一定强度范围内,特别是HR在110~150次/min的范围内,HR与耗氧量(VO_2)呈现线性关系^[50]。这是用HR评价体力活动的理论依据。现在的心率记录设备多数是由一个监测传输胸带和一个接受器组成^[54],体积很小,受试者在佩戴后不会有不适感,也不会影响受试者的活动。这些设备可以记录每15秒至一分钟的心率,可以记录几个小时,甚至几天时间,通过将数据传入计算机后,就可以对体力活动的时间、频率、强度和总的能量消耗进行分析^[43,51]。芬兰产Polar心率监测器是其中代表性产品。心率监测器的成本从200~500美元不等^[50]。

运用HR评价体力活动的方法有多种,这些方法包括:平均HR; HR差值(HR差值=活动时HR-安静HR); HR不同变化范围所持续的时间; HR储备%(%HRR, HR储备%=[(活动时HR-安静HR)/(最大HR-安静HR)]×100%)不同变化范围所持续的时间; 曲线HR(FLEX2HR)及HR2运动传感器(HR2 motion sensor)技术等。

平均HR是最简单的评价方法,但这样的方法略显粗糙。HR差值可以使不同体

质水平的人相互比较。Janz等HR差值分析体力活动后发现心率差值与两种体力活动问卷呈现中度相关($r=0.50$)^[52]。HR不同变化范围所持续的时间,%HRR不同变化范围所持续的时间对于评价活动强度、时间、频率以及活动模式是有意义的,但情绪紧张、环境因素会显著地影响HR。研究表明,用%VO₂R预测活动时VO₂与实际VO₂高度相关,其相关程度超过HR与VO₂的相关性,说明采用这种HR分析方法能够很精确地测量能量消耗。Janz^[52]等曾经尝试用高于60%储备心率(Heart Rate Reserve,HRR)的时间总和估算儿童有氧阈以上的活动量,但是结果发现时间总和与摄氧量峰值呈低度的副相关。

另外一种方法是计算净心率值(活动心率-基础心率)。净心率值可以让不同体质水平的个体进行比较,Janz^[53]等研究发现净心率值与问卷调查的结果呈中度相关($r=0.05$),但这种方法不能计算能量消耗。

另一种分析HR的常用方法被称为“曲线HR法”,该方法通常被用于预测能量消耗或代谢当量(METs)。该方法测试程序比较繁琐,需要连续监测每一名受试者平卧、坐位、站位、以不同强度运动时的HR和VO₂。Spurr等比较了根据曲线HR法计算的能量消耗与间接热量测定法测定的能量消耗之间没有明显差异^[54]。

Livingstone等研究发现,根据曲线HR预测个人能量消耗与双标水法测定的能量消耗比较起来误差范围在-16.7%~18.8%范围内^[55]。

心率测试可能还有如下一些问题:影响心率的因素很多,1)环境、情绪、生活习惯等,2)训练水平、年龄不同,HR-EE的关系不同,3)年龄、性别、体质水平不同等,这些干扰因素将会影响到测试的结果的准确性。

1.2.3.4 体力活动问卷(physical activity questionnaires)

问卷法易于在大样本调查中使用,且其研究成本较低,因此此方法最常用于流行病学研究。体力活动问卷的形式包括:日记、日志、活动回忆、定量化回顾、访谈等。目前文献报导了多种问卷用于体力活动研究,从调查对象而言,大多数问卷适用于成年人或所有人群,也有专门针对儿童、学生、老年人的问卷;从回忆的时间期限来看,包括回忆1天、3天、1周、1月至数月,过去一年或不设时间限制,问卷调查涉及的内容主要包括工作、家务、庭院活动、闲暇时间、身体锻炼、交通等等,各种方法调查内容不一样,有的只涉及某一方面,有的涉及多个方面^[56]。毫无疑问,对于评估大样本人群的体力活动状况,问卷调查因其成本较低,便于管理,一般也容易被调查对象所接受^[57],是一种实用方法。从问卷表格中获得的数据

通常要被转化为能量消耗预测(kcal、kJ、梅脱)或者把结果按体力活动水平进行分类或分级。

当进行大样本人群或流行病学研究时, 问卷和活动回忆的方法有不少优点。不少问卷均报道可以客观反映受试者体力活动状况, 有的问卷还证实了与双标水法相关程度很高^[58]。但在体力活动的强度、频率和持续时间三者之中, 强度调查的可靠性最低, 原因在于不同的个体对相对和绝对强度认知的不同, 被调查者缺少对不同强度(激烈、中等、轻微)活动MET值的认知^[59]。问卷从本质上讲是主观测量, 回忆时常有错误, 且个人对体力活动的理解也不甚准确。因此, 需要用客观的方法来定量化体力活动。除了被调查对象个体的原因外, 问卷设计的复杂程度对可靠性也有很大影响, 根据调查者目的不同, 问卷的内容也有很大差别。

1.2.3.5 运动传感器(motion sensors)

运动传感器是一种机械或电子装置, 分为计步器(Pedometers)和加速度计(Accelerometers)两种。放置在身体的某个部位, 它能够感应到肢体或躯干的运动或加速度状况。目前, 有多种不同类型的运动传感器, 从计步器到加速度传感器, 其构造的复杂性和价格各不相同。

计步器提供的数据很简单, 就是一段时间步数的累加, 因此不能根据这些资料分析受试者的运动类型和运动间歇。但是对于大部分活动以步行为主的受试者, 结合步幅可以计算出每天的运动距离, 这样计算出的EE还是相当准确的^[60]。计步器可能不太适合测量行走缓慢或步态失调老年人的体力活动^[61]。当步行速度加快或慢跑时, 由于步幅加大, 计步器计数反而可能减少, 因此, 在步行相同距离情况下, 跑步计数比步行少^[62]。

计步器虽然使用简便, 且不会干扰受试者的正常活动, 但在测量日常体力活动方面尚有不少受限之处。一般认为用计步器测量复杂人群的体力活动是不合适的, 计步器有一些明显的缺陷限制了它的使用。首先, 计步器不能记录运动相关的环境情况以及运动类型和间歇; 其次, 计步器不能记录肌肉等长运动, 也不能记录上肢运动, 对于自行车、游泳、负重以及软地和斜坡环境运动也不能准确记录^[23]。但是, 对于以步行为主要活动方式的人群, 计步器可以为他们提供费用低廉的自我监控方法, 以协助他们达到指定的运动目标。

加速度传感器(accelerometers)是更为复杂的运动传感器, 它能够测量身体活动时的加速度。加速度传感器同计步器一样通常固定在腰间或皮带上, 其输出结果

——“记数”实际上记录的是以一定时间间隔采样的活动的频率和强度。它的优点是可以把数据下载到电脑,借助软件分析活动强度、持续时间、频率方面的信息。同时根据年龄、性别、身高、体重这些个人特征,还可以预测能量消耗^[63]。Basset等采用CSA、Caltrac、Kenz加速度传感器测量了6种类型体力活动包括园艺、家务、负重步行、家庭护理、体育锻炼、娱乐的能量消耗,发现加速度传感器在测量步行时可能高估能量消耗,而往往低估其他活动的能量消耗,因为,加速度传感器不能感应上肢活动^[64]。Bouten等^[65],Eston等^[66]报道3维加速度传感器显示了与体力活动相关性更高。

与计步器相比,加速度传感器的优点主要体现在它可以反映活动强度、频率等与体力活动模式有关的信息。然而,其价格比计步器更昂贵,因而也限制了加速度计在大规模流行病学研究中的应用。对于自行车运动、在倾斜面上运动、搬运物体或其他非全身性运动,如擦窗户,加速度传感器使用起来还有限制。

以上是几种最常见的测量评价体力活动的方法。要为实验选择一个合理的评价方法,既要考虑实验的经费、样本数量、实验的要求等因素,最主要的是分清不同实验方法的优缺点,才能以最小的代价获得最好的结果。在选择测量方法时,要考虑到这些因素:调查目的、样本量、项目预算、文化和社会环境因素、目标人群的活动度、统计因素(精度和准确度)。从现有情况来看,没有一种单一的测试方法可以达到测试的所有要求,一般情况下都需要多种方法综合进行。

对于不同测量方法,Schultz^[67]认为日记记录法准确性要低于双标水法,但是Lichtman^[68]和Racette^[69]却认为恰恰相反。目前对绝经期妇女和肥胖妇女的研究来检验用几种评价每日能量消耗方法与双标水法准确程度。个人日记记录相对误差和总体误差较小(和双标水误差仅为8%),这种方法对于个体的评价比较准确。因为日记记录的方法由个人活动评价和记录的准确性的影响,这种方法比心率检测或者加速度计检测更加主观。心率监测和双标的误差为59%,显然不准确,而日记记录不存在这样显著的误差。而对于大样本量活动和能量评价来说,日记记录的准确性相对下降,其他的研究报道,可能大量样本误差(个别误差累计)造成的原因^[68, 69]。

基于体力活动是身体多部位的运动而导致能量的消耗,直接观测个体运动的方法应该作为评价体力活动实验的金标准。双标水技术和间接热能测定作为评价体力活动实验的标准测量方法,因为用这两重方法测量能耗,更能体现体力活动

和生理规律的紧密联系^[70]。

小结

从国内外的研究可以看出，我国对体力活动的研究还处在起步阶段，还没有把握我们的实际情况，研究和建立适合我们的体力活动评价方法和评价标准。如何根据我国国民体质状况，准确划分和界定体力活动，制定准确的体力活动推荐量，以及对体力活动科学合理评价，是今后研究者亟待解决的问题。合理的体力活动对于提高国民体适能是非常重要的。但是，对于多种多样的体力活动，要选择适合自己的锻炼方式，科学推广我国的民间传统健身活动方式，如太极拳、五禽戏、气功、石锁练习等，有待进一步的研究。本文将对我国传统健身活动方式—太极拳进行运动能量的研究，为锻炼人群提供科学的指导和评价。

2 实验对象与方法

2.1 实验对象

太极拳有多家拳种，每种拳种有不同的招式（二十四式、四十八式等），不同训练年限动作的熟化程度不一。从难易程度的角度来说，可以分为（高、中、低势）。在对象的选择过程中，根据实际情况，以及现在练习太极拳的年龄结构特点和拳种的普及特点，最终选择杨氏二十四式太极拳，要求练习者训练年限在 1 年以上，以中势为主。

实验对象主要包括学生、教师、离退休工人等。

2.2 实验方法

2.2.1对象筛选

通过调查问卷了解调查对象的性别、年龄、生活习惯，疾病史等对实验效果有影响的因素。

受试对象的选择条件：测试条件为近一月无明显体重减轻，饮食正常，无心，肺、脑、肝、肾及内分泌等系统疾病，无高血压或有高血压但在药物控制中，不服用有明确影响代谢作用的药物(如激素)，没有代谢性疾病。

2.2.2对象分组

招募250名志愿者，发放健康调查问卷，并进行心血管系统测量，最终选取155名志愿者为研究对象，其身体指数(body mass index BMI)为18.5-30。按照年龄分为三组，如表0

表 0 受试对象的分组

	20-39 岁	40-59	60 岁以上	总计
	(n=49)	(n=52)	(n=54)	(n=155)
男	24	24	24	72
女	25	28	30	83

2.2.3 正式实验

分组完成后，按照年龄分组进行实验测试，每天测试时间为上午8:30-11:30，

下午1:30-4:30。主要测试项目：身高、体重、心血管系统、身体成分、心肺功能。

2.2.3.1 一般项目：受试者测试时首先填写能量代谢测试登记表，填写其姓名、性别、年龄、身高、体重、职业、住址、生活经历等，然后询问近一月身体状况，测血压、心率、血脂等指标，剔除明显异常者。

2.2.3.2 心血管系统测量：用日本产(BP-203RPE II VP-1000/2000)心血管测试仪，主要测试指标包括心电、心率、血压、血管弹性及血管的通透性，剔除血压明显异常者。

2.2.3.3 身体成分的测量：用韩国BIOSPACE生产的Inbody3.0体成分分析仪进行测量，主要的测量指标包括体脂百分比、去脂体重（FFM）、肌肉含量等。

2.2.3.4 静息能量消耗的测定：受试者于饭后 2-4 小时到实验室进行测试。要求受试者平静仰卧或安坐 30 分钟后用德国 CORTEX-3B 运动心肺功能测试仪测量，室为空调房间，温度 20℃~25℃，湿度 30%~50%，气压为 1 个标准大气压。测试前询问受试者的每周运动状况，选择相应的呼吸面罩，然后进行周围气体的校正。校正通过后，给受试者佩带仪器准备测试。

测试时间：在饭后2-4小时内进行测量，静坐测量15分钟，取中间10分钟平稳阶段数据作为静息能量代谢。

2.2.3.5 太极拳（杨氏二十四式）练习能量消耗的测量：研究对象佩带 CORTEX-3B运动心肺功能测试仪及心率带，跟随太极拳套路音乐，打一套完整太极拳。文中实验数据均取太极拳练习过程中较平稳阶段的平均数值。

测试场地情况：为水泥地板；场地大小为6*6=36平方；温度20℃~25℃。

实验要求：实验对象静息能量测试结束后，直接进入太极拳练习场地进行测试。

2.2.4 主要仪器及使用方法

德国 CORTEX-3B 运动心肺功能测试仪

型 号：MetaMax 3B 主要通过对代谢气体的分析来评价心肺功能和能量代谢。

使用过程中要每月对仪器进行校正一次(气压校正、气体容量校正、标准气体校正)。每次开机前要对机器预热，预热时间大约 20 分钟。在测试每个受试对象前，都要进行周围气体校正，大约时间 1-3 分钟，根据实验对象的脸型选择呼吸面罩，在面罩佩戴时，防止漏气。在测试前调整好采样线和氧传感线的位置。

日本产 BP-203RPE II VP-1000/2000 心血管功能测试仪，同时测定四肢动脉，颈动脉-股动脉脉搏传导速度，和阻塞指标 ABI,通过其测值了解动脉弹性状况和阻

塞状况。要求受试者平躺，保持安静，测试时间大约 3 分钟。

韩国 BIOSPACE 生产的 Inbody3.0 体成分分析仪，主要是通过生物阻抗法对身体成分进行分析，测定机体各组分参数和通过公式推算体表面积和基础代谢。测试前预热机器 8-10 分钟

国民体质测试系统，进行国民体质测试。

2.2.5 实验检测指标

①能量代谢当量指标：METs：梅脱

②心肺功能指标：HR：心率(1/min)

RR：呼吸率(1/min)

RQ：呼吸交换率（呼吸商） VCO_2/VO_2

VO_2/HR ：氧脉搏(ml)

VO_2 ：BTPS 摄氧量(ml)

VO_2/kg ：相对摄氧量(ml/kg.min)。

③身体成分指标:体脂百分比(%)、

FFM：去脂体重（kg）

FM：脂肪含量(kg)

④身体形态指标：身高(cm)、体重(kg)

2.3 数据的统计学处理

把 MetaMax 3B 数据存储器内的实验测量的数据导入电脑，利用 MetaMax 3B 软件进行处理，筛选出对实验有用的数据，所有测量数据均输入本实验数据库，用 SPSS11.5 统计学软件处理，分组数据使用 Kolmogorov-Smirnow 法进行正态性检验，并进行方差齐性检验。

正态分布且方差齐的数据，不同性别的数据采用 two-tail 独立样本 T 检验进行对比分析，同一性别组间比较采用方差分析。

数据间进行曲线拟和，存在线性关系的两个参数，符合正态分布计算 Person 相关系数，不符合正态分布的数据，两参数间相关采用 Spearman 秩相关分析。

实验数据以平均数±标准差表示，显著水平为 $P < 0.05$ ，非常显著水平为 $P < 0.01$ 。

一元回归与多元回归建立健康人静息能量消耗公式。

3 实验结果

3.1 太极拳练习者静息能量代谢（REE）特点

经正态检验与方差齐检验，以下分析指标符合正态分布且方差齐。

3.1.1 人体测量学指标(表 1)

由表中可见三个年龄组中，20-39 岁组和 60 岁以上组男女的年龄和 BMI 指数相接近，没有显著性差异，而 40-59 岁组男女的年龄差距较大同时有显著性差异（ $P<0.05$ ）。但是各组中男性的身高、体重、去脂体重（fat-free mass FFM）、均多于女性，且有显著性差异（ $P<0.05$ ），而女性的体脂百分比均高于男性，且有显著性差异（ $P<0.05$ ）。

表1 三个年龄组人体测量学指标的特点（ $\bar{x} \pm SD$ ）

	20-39 岁		40-59 岁		60 岁以上	
	男 (n=24)	女 (n=25)	男 (n=24)	女 (n=28)	男 (n=24)	女 (n=30)
年龄(yr)	24.9±4.85	26.9±6.36	48.8±5.41	55.6±3.52*	69.8±4.84	68±3.48
身高(cm)	173±4.68	163.7±8.36*	171.6±6.72	156.4±5.91*	164.6±5.42	155.1±4.68*
体重(kg)	67.5±6.3	59.8±8.9*	74.5±9.41	58.2±6.22*	64.5±8.99	57.6±7.15*
体脂比(%)	17.3±3.29	27.2±5.77*	22.5±4.74	30.6±4.91*	26.4±5.46	32.5±4.89*
BMI (kg/m ²)	22.5±1.98	22.3±2.85	25.3±2.59	23.8±2.21	23.8±3.02	23.9±2.52
FFM(kg)	55.2±4.58	43.4±6.87*	57.5±5.9	40.2±3.54*	47.3±6.08	38.8±3.87*

注：*与同组男性进行比较， $P<0.05$

3.1.2 不同年龄、性别的静息能量代谢(resting energy expenditure REE)的比较

对于实验总体来说，年龄与 REE 的关系经相关性分析，相关系数 $R=-0.658$ ， $P<0.01$ 。男性年龄与 REE 的相关系数为 $R=-0.782$ ， $P<0.01$ ；女性年龄与 REE 的相关系数 $R=-0.505$ ， $P<0.01$ 。

由图 1 可以看出，无论是男性或者女性，随着年龄的增大，REE 都呈现下降的趋势，同时男性的 REE 的水平总是高于女性。

如表 2，组内男女差异性比较，经 T 检验，REE 只有 60 岁以上组男女间不存在非常显著性差异（ $P>0.01$ ）。组间差异性比较，经方差分析，男性 20-39 岁组与 40-59 岁组、60 岁以上组都具有非常显著性差异，40-59 岁组和 60 岁以上组也具有

非常显著性差异 ($P<0.01$); 而女性各组间差异不具显著性。

表2 不同年龄REE比较 (单位: METs/min)

	组别		
	20-39 岁	40-59 岁	60 岁以上
男(n=72)	1.44±0.15	1.33±0.12 ##	1.25±0.18 ## **
女(n=83)	1.34±0.24**	1.29±0.17**	1.24±0.23

注: 同一年龄组男女间比较, * $P<0.05$; ** $P<0.01$,

同性别间比较: # 与 20-39 岁进行比较, # $P<0.05$; ## $P<0.01$, * 与 40-59 岁进行比较, * $P<0.05$; ** $P<0.01$

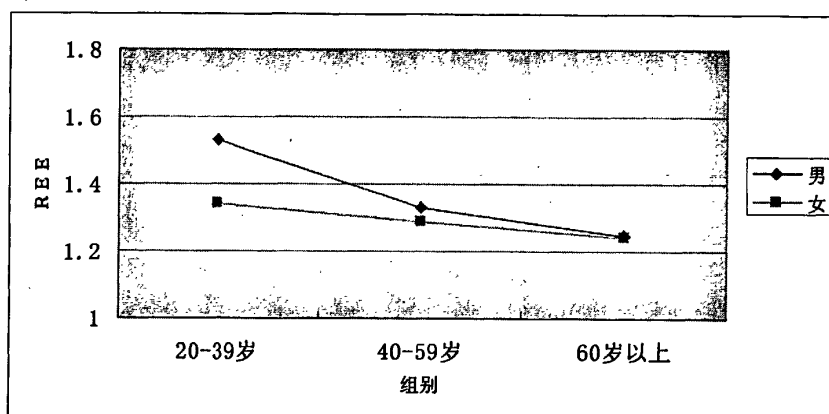


图1REE随年龄增长的变化趋势

3.1.3 体重、身体指数(体重/身高²)BMI 与 REE 的关系

表3可以看出, 只有男性存在中度相关, $R=0.541, P<0.01$, 总体和女性组相关性较差。

而对于 BMI 与 REE, 从4来看, BMI 与 REE 的相关性较差。

表3 体重与 REE 的相关性

	体重(kg)	REE(METs/min)	相关系数	P 值
总体(n=155)	63.3±9.79	1.31±0.21	0.440**	0.000
男性(n=72)	68.9±9.25	1.33±0.20	0.541**	0.000
女性(n=83)	58.5±7.42	1.29±0.21	0.109	0.325

相关的显著水平在 $P < 0.01$ (2-tailed), ** $P<0.01$

表 4 BMI 与 REE 的相关性

	BMI (kg/m2)	REE(METs/min)	相关系数	P 值
总体(n=155)	23.7±2.76	1.31±0.21	0.261**	0.001
男性(n=72)	23.9±2.83	1.33±0.20	0.373**	0.002
女性(n=83)	23.4±2.69	1.29±0.21	0.214	0.053

相关的显著水平在 $P < 0.01$ (2-tialed), ** $P < 0.01$

3.1.4 体脂百分比（脂肪重量/体重）与 REE 的关系

从表 5 可以看出，体脂含量与 REE 存在相关，从总体水平来看，体脂含量与 REE 存在较高的相关，而对于不同性别来说，女性的相关性要高于男性，都呈现负相关，即体脂百分比越高，其 REE 的值越小（ $P < 0.01$ ）。

表 5 体脂百分比与 REE 的相关性

	体脂百分比(%)	REE(METs/min)	相关系数	P 值
总体(n=155)	26.4±6.85	1.31±0.21	-0.676**	0.000
男性(n=72)	22±5.85	1.33±0.20	-0.463	0.026
女性(n=83)	30.2±5.18	1.29±0.21	-0.530**	0.002

注：相关的显著水平在 $P < 0.01$ (2-tialed), ** $P < 0.01$

3.1.5 去脂体重与 REE 的关系

从表 6 可以看出，去脂体重与 REE 有非常显著性相关，去脂体重质量越高，其 REE 的值越大， $P < 0.01$ 。

表 6 去脂体重与 REE 的相关性

	去脂体重 (kg)	REE (METs/min)	相关系数	P 值
总体(n=155)	46.8±8.76	1.31±0.21	0.754**	0.000
男性(n=72)	53.7±6.73	1.33±0.20	0.824**	0.000
女性(n=83)	40.8±8.76	1.29±0.21	0.751**	0.000

注：相关的显著水平在 $P < 0.01$ (2-tialed), ** $P < 0.01$

推测 REE 的值，可以通过去脂体重建立一元方程来实现。男性的 REE 水平较同年龄的女性要高。本实验人群男性 FFM 趋于 40~65 之间；女性的 FFM 趋于 30~50 之间。总体来说，男性 FFM 为 53.7±6.73，而女性为 40.8±5.24，男女 FFM 之

间存在显著性差异 ($p<0.01$)。

对于总体水平来说,通过相关与回归分析可以得出 REE 与 FFM 的关系方程,如下:

$$\text{REE}=0.012\text{FFM}+0.704 \tag{1}$$

从图 2 来看,REE 和 FFM 有非常显著的相关性($R^2=0.569$ $p<0.01$)。

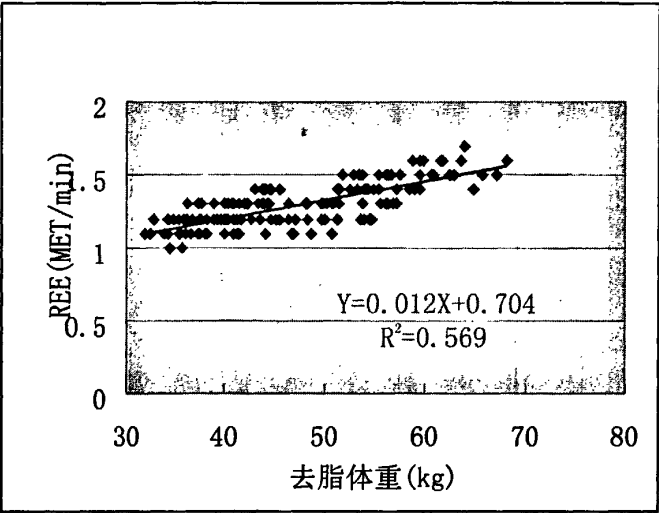


图 2 REE 与 FFM 的线性关系 ($P<0.01$)。

从图 3 来看,男性的 REE 与 FFM 有非常显著的相关性($R^2=0.679$ $p<0.01$)。

通过相关与回归分析可以得出男性的 REE 与 FFM 的关系方程如下:

$$\text{REE}=0.020\text{FFM}+0.275 \tag{2}$$

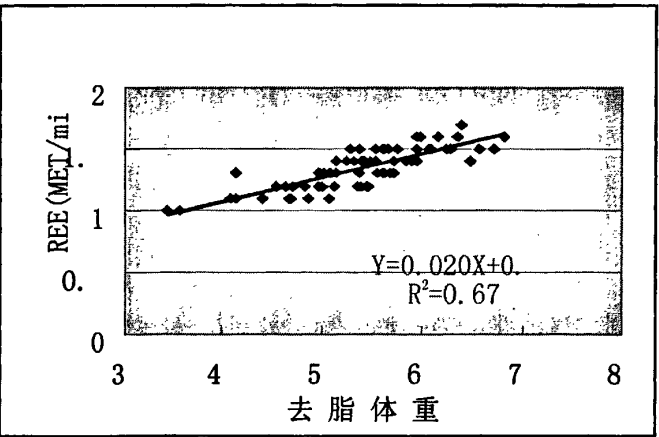


图 3 男性的 REE 与 FFM 的线性关系 ($P<0.01$)

而对于女性来说,由于 FFM 较低,其整体 REE 的水平要低于男性。但是,从

图 4 来看，女性的 REE 与 FFM 同样具有非常显著的相关性($R^2=0.626$ $p<0.01$)。

通过相关与回归分析可以得出女性的 REE 与 FFM 的关系方程如下：

$$REE=0.017FFM+0.543$$

(3)

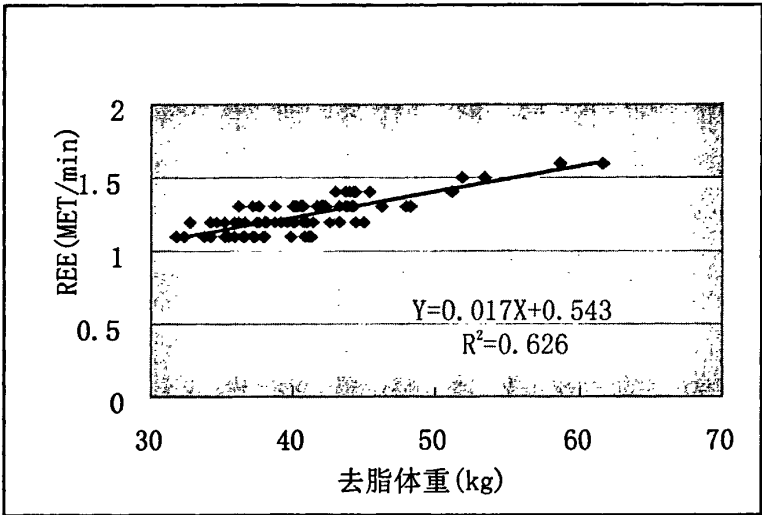


图 4 女性的 REE 与 FFM 的线性关系 ($P<0.01$)。

3.1.6 各成分指标与 REE 的线性关系

性别、年龄、体重、体脂分数、去脂体重、BMI 与 REE 存在一定的相关性，经回归分析，建立回归方程。

通过对人体形态指标、体成分指标与 REE 进行相关系数检验和方差分析，得到如下方程：

$$Y=0.349+0.127a-0.001b+0.001c+0.016d$$

(4)

(Y 为静息能量、a 为性别、b 为年龄、c 体重、d 为去脂体重, $R^2=0.712$ $P<0.01$)

3.2 太极拳运动能量消耗特点

3.2.1 太极拳能量代谢的变化特点

如图 5，太极拳练习过程中，摄氧量、能量代谢、心率随时间的变化特点。如图所示，准备阶段，即第 30 秒至 1 分 30 秒，实验对象由静息状态转入站立状态，随即各指标发生变化；太极拳练习阶段，即第 1 分 30 秒至 6 分 30 秒，各指标随运动量度增加而增大；太极拳结束后，实验对象立即静坐休息，此时各指标值开始下降，大约经历 3~5 分钟，各指标值基本恢复到原来水平。从运动开始到恢复到运动前状态，这个过程总时间大约为 8-10 分钟。由图可以看出，因太极拳的运

动效应而产生的能量包括两个部分，即运动部分能量和恢复部分能量，恢复部分大约占总能耗的 1/7-1/5。

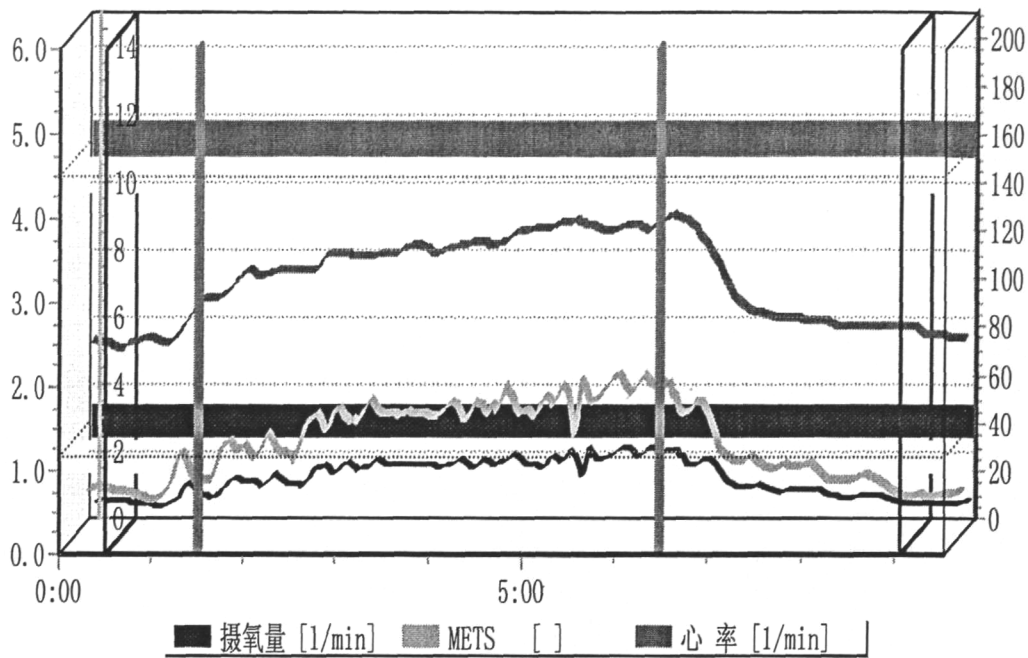


图 5 太极拳练习能量及相关指标的变化趋势

3.2.2 性别、年龄与太极拳运动能量消耗的关系

如表 7，组内男女差异性比较，经 T 检验，运动能量消耗只有 60 岁以上组男女间存在非常显著性差异 (P<0.01)。比较组间差异，经方差分析，对于运动能量消耗，男性 20-39 岁组分别与 40-59 岁和 60 岁以上组有非常显著性差异 (P<0.01)；女性 20-39 岁组与 60 岁以上组有非常显著性差异 (P<0.01)，而 40-59 岁组与 60 岁以上组有显著性差异(P<0.05)。

表 7 运动能量代谢性别、年龄间的比较

	组别		
	20-39 岁	40-59 岁	60 岁以上
男性(n=72)	4.22±0.32	4.08±0.35 # #	3.90±0.40 # #
女性(n=83)	3.66±0.43	3.52±0.28	3.40±0.21 # # * **

注：同一年龄组男女间比较，* P<0.05；**P<0.01
同性别间比较，# 与20-39岁进行比较，# P<0.05；# # P<0.01，* 与40-59岁进行比较，* P<0.05；* * P<0.01

由图6可以看出,男女随着年龄的增大，运动能耗都呈下降趋势。男性在20-39

岁和40-59岁下降趋势较大，随后变化趋势较小；女性在20-39岁和40-59岁下降趋势较小，随后下降趋势较大。男性运动能耗的水平始终高于女性，在40-59岁水平较接近。

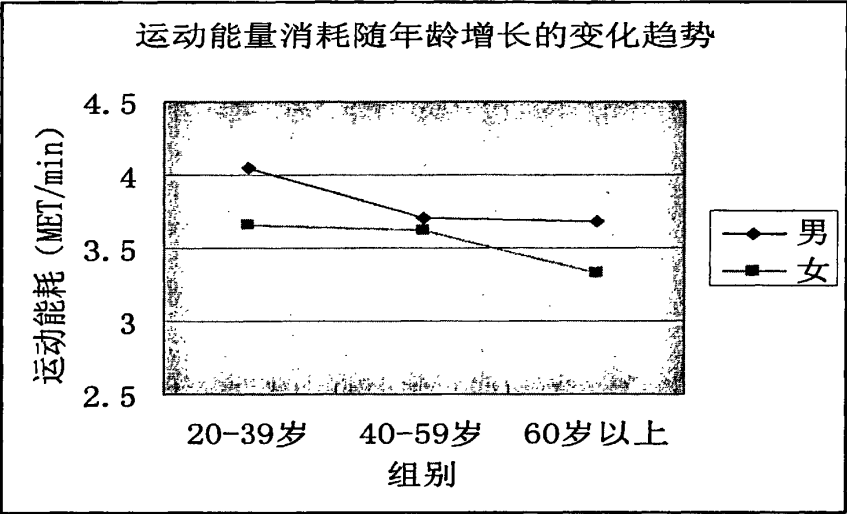


图 6 运动能耗随年龄增长的变化趋势

3.2.3 体重、身体指数(体重/身高²)BMI 与运动能量消耗的关系

从表 8 可以看出，总体体重水平与运动能量消耗存在中度相关 ($P<0.01$)，从男女组来看，其相关性较低。

表 8 体重与运动能量消耗的相关性

	体重(kg)	运动能量消耗(METs/min)	相关系数	P 值
总体(n=155)	63.3±9.79	3.80±0.47	0.504**	0.000
男性(n=72)	68.9±9.25	4.13±0.39	0.441**	0.000
女性(n=83)	58.5±7.42	3.51±0.32	0.445**	0.000

注：相关的显著水平在 $P < 0.01$ (2-tailed), ** $P < 0.01$

3.2.4 体脂百分比（脂肪重量/体重）与运动能量消耗的关系

经相关分析，从总体水平来看，体脂百分比与运动能量消耗存在一定的负相关, $R=-0.381, P<0.01$ 。男性相关水平为 $R=-0.214, P>0.01$ ；女性相关水平为 $R=-0.311, P<0.01$ 。

3.2.5 去脂体重与运动能量消耗的关系

从表 9 可以看出，去脂体重与运动能量消耗有非常显著性相关，去脂体重质

量越高，其运动能量消耗的值越大（ $P<0.01$ ）。

表 9 去脂体重与运动能量消耗的相关性

	去脂体重(kg)	运动能量消耗(METs/min)	相关系数	P 值
总体(n=155)	46.8±8.76	3.80±0.47	0.918**	0.000
男性(n=72)	53.7±6.73	4.13±0.39	0.865**	0.000
女性(n=83)	40.8±8.76	3.51±0.32	0.862**	0.000

注：相关的显著水平在 $P < 0.01$ (2-tailed), ** $P<0.01$

同样，推测运动能量消耗的值，可以通过去脂体重建立一元方程来实现。对于总体水平来说，通过相关与回归分析可以得出运动能量消耗与 FFM 的关系方程如下：

运动能量消耗=0.047FFM+1.58

(5)

从图 7 来看，运动能量消耗和 FFM 有高度的相关($R^2=0.743$ $p<0.01$)。

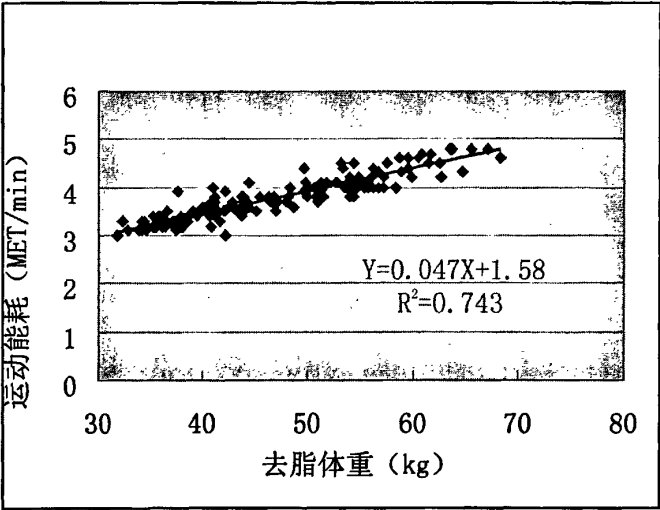


图 7 运动能量消耗与 FFM 的线性关系

从图 8 来看,男性的运动能量消耗与 FFM 有非常显著的相关性 ($R^2=0.747$ $p<0.01$) 。

通过相关与回归分析可以得出男性的运动能量消耗与 FFM 的关系方程如下：

运动能量消耗=0.047FFM+1.537

(6)

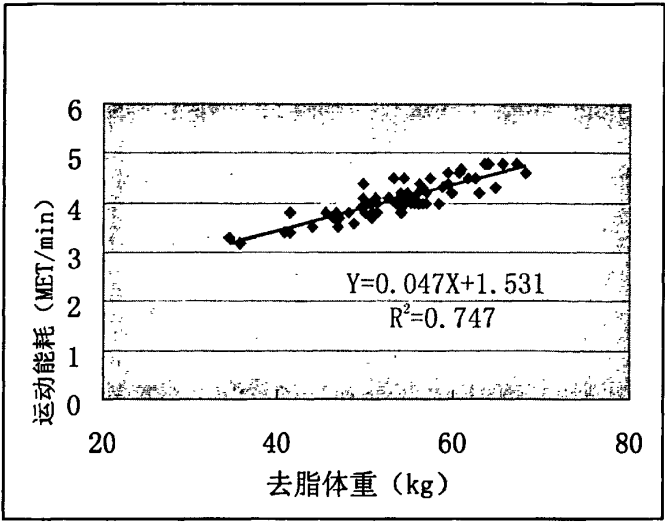


图 8 男性运动能量消耗与 FFM 的线性关系

而对于女性来说，由于 FFM 较低，其整体运动能量消耗的水平要低于男性。从图 9 来看，女性的运动能量消耗与 FFM 同样具有非常显著的相关性 ($R^2=0.743$ $p<0.01$)。

通过相关与回归分析可以得出女性的运动能量消耗与 FFM 的关系方程如下：
运动能量消耗=0.054FFM+1.315 (7)

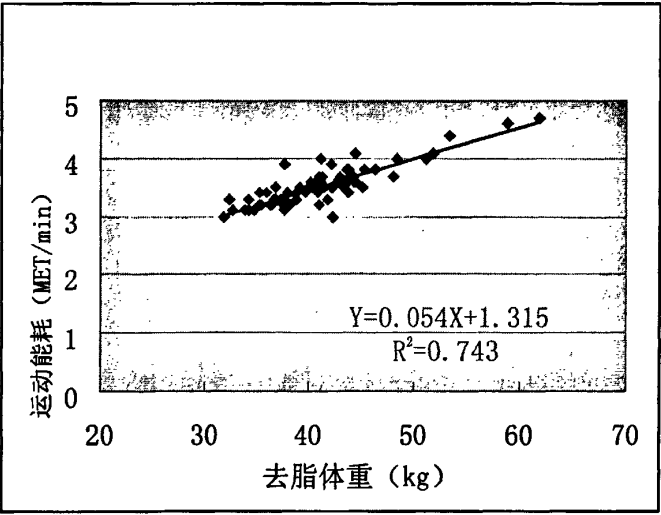


图 9 女性的运动能量消耗与 FFM 的线性关系 ($P<0.01$)。

3.2.6 运动能量消耗与相关影响因素的线形关系

性别、年龄、体重、体脂分数、去脂体重、BMI 与运动能量消耗存在一定的相关性。经回归分析，建立回归方程。

通过对人体形态指标、体成分指标与运动能量消耗进行相关系数检验和方差分析，得到如下方程：

$$Y=1.498+0.121a+0.001b+0.006c-0.011d+0.042e \tag{8}$$

(Y 为运动能量消耗、a 为性别、b 为年龄、c 为体重、d 为体脂分数 e 为去脂体重， $R^2=0.851$ $P<0.01$)

3.3 太极拳净能量消耗的特点

3.3.1 性别、年龄与太极拳净能量消耗的关系

太极拳净能量消耗=运动能量消耗-静息能量消耗，能量消耗均取运动平台期平均值。

如表 10，组内男女差异性比较，经 T 检验，只有 60 岁以上组男女间没有显著性差异 ($P<0.01$)。

比较组间差异，经方差分析，对于太极拳净能量消耗，男性 20-39 岁组和 40-59 岁分别与 60 岁以上组有非常显著性差异 ($P<0.01$)，女性组间不存在显著性差异。

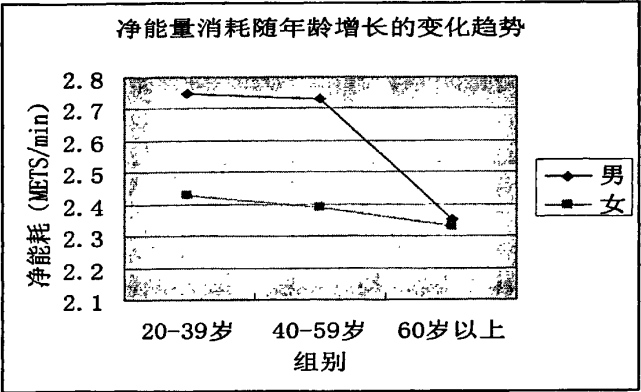
表 10 净能量消耗性别、年龄间的比较

	组别		
	20-39 岁	40-59 岁	60 岁以上
男性(n=72)	2.75±0.28	2.73±0.26	2.35±0.34#* **
女性(n=83)	2.43±0.34**	2.39±0.20**	2.33±0.19

注：同一年龄组男女间比较，* $P<0.05$ ；** $P<0.01$

同性别间比较，# 与 20-39 岁进行比较，# $P<0.05$ ；## $P<0.01$ ，* 与 40-59 岁进行比较，* $P<0.05$ ；** $P<0.01$

由图 10 可以看出，男女随着年龄的增大，净能耗都呈下降趋势，在 20-39 岁和 40-59 岁下降趋势较小，60 岁以上下降趋势较大。男性净能耗的水平始终高于女性，达 60 岁以上后水平较接近。



3.3.2 体重、身体指数(体重/身高²)BMI 与净能量消耗的关系

从表 11 可以看出，无论是从总体还是从男女组来看，体重与净能量消耗相关性较高，且都具有非常显著性， $P<0.01$ 。

而对于 BMI 与净能耗，经相关分析，总体 BMI 与净能量消耗的相关性较差 $R=0.283$, $P<0.01$ 。

表 11 体重与净能量消耗的相关性

	体重(kg)	净能量消耗(METs/min)	相关系数	P 值
总体(n=155)	63.3±9.79	2.49±0.32	0.714**	0.000
男性(n=72)	68.9±9.25	2.61±0.35	0.671**	0.000
女性(n=83)	58.5±7.42	2.38±0.25	0.665**	0.000

注：相关的显著水平在 $P < 0.01(2-tialed)$, ** $P<0.01$

3.3.3 体脂百分比（脂肪重量/体重）与净能量消耗的关系

经相关分析，从总体水平来看，体脂百分比与净能量消耗存在一定的负相关， $R=-0.387$, $P<0.01$ ；男性相关水平为 $R=-0.225$, $P>0.01$ ；女性相关水平为 $R=-0.257$, $P>0.01$ 。

3.3.4 去脂体重与净能量消耗的关系

而对于去脂体重与净能量消耗来说，从表 12 可以看出，去脂体重与净能量消耗有非常显著性相关，去脂体重质量越高，其净能量消耗的值越大（ $P < 0.01$ ）。

表 12 去脂体重与净能量消耗的相关性

	去脂体重(kg)	净能量消耗(METs/min)	相关系数	P 值
总体(n=155)	46.8±8.76	2.49±0.32	0.781**	0.000
男性(n=72)	53.7±6.73	2.61±0.35	0.837**	0.000
女性(n=83)	40.8±8.76	2.38±0.25	0.814**	0.000

注：相关的显著水平在 $P < 0.01(2-tialed)$, ** $P<0.01$

同样，推测净能量消耗的值，可以通过去脂体重建立一元方程来实现。对于总体水平来说，通过相关与回归分析可以得出净能量消耗与 FFM 的关系方程如下：

净能量消耗=0.028FFM+1.158 (9)

从图 11 来看，净能量消耗和 FFM 有非常显著的相关性($R^2=0.611$ $p<0.01$)。

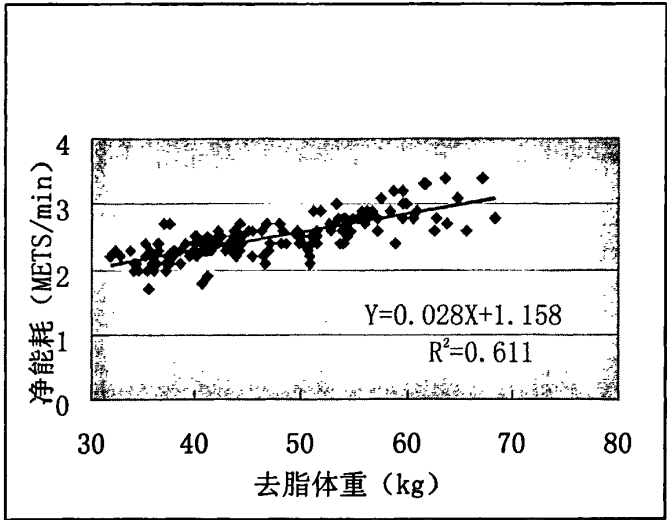


图 11 净能量消耗与 FFM 的线性关系

从图 12 来看,男性的净能量消耗与 FFM 有非常显著的相关性($R^2=0.668$ $p<0.01$)。

通过相关与回归分析可以得出男性的净能量消耗与 FFM 的关系方程如下:

$$\text{净能量消耗}=0.042\text{FFM}+0.337 \quad (10)$$

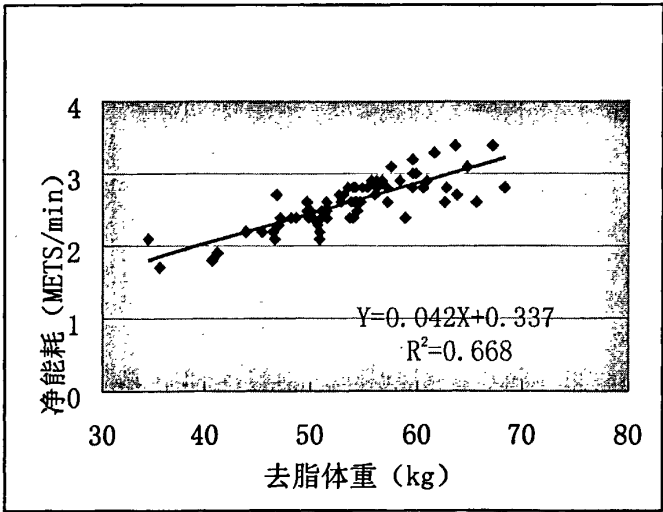


图 12 男性净能量消耗与 FFM 的线性关系

而对于女性来说,由于 FFM 较低,其整体净能量消耗的水平要低于男性,从图 13 来看,女性的净能量消耗与 FFM 同样具有非常显著的相关性($R^2=0.759$ $p<0.01$)。

通过相关与回归分析可以得出女性的净能量消耗与 FFM 的关系方程如下:

净能量消耗=0.040FFM+0.759

(11)

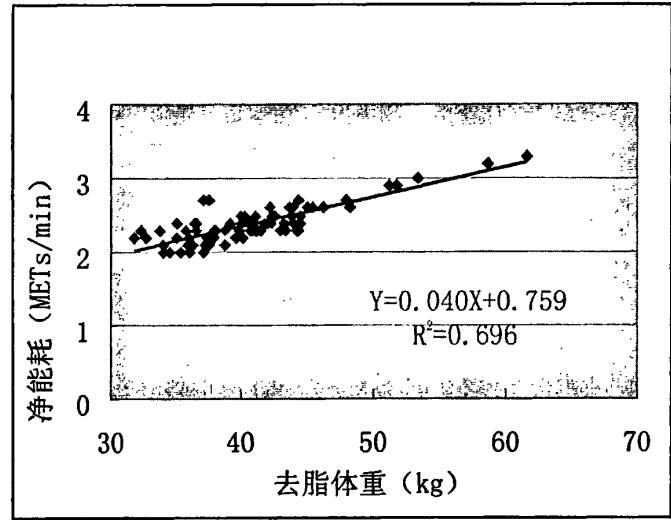


图 13 女性的净能量消耗与 FFM 的线性关系 (P<0.01)。

3.3.5 净能量消耗与相关影响因素的线形关系

性别、年龄、体重、体脂分数、去脂体重、BMI 与净能量消耗存在一定的相关性，经回归分析，建立回归方程。

通过对人体形态指标、体成分指标与净能量消耗进行相关系数检验和方差分析，得到如下方程：

$$Y=0.802+0.316a+0.001b+0.03c-0.028d$$

(12)

(Y 为净能量消耗、a 为性别、b 为年龄、c 为体重、d 为体脂分数 $R^2=0.70$ $P<0.01$)

3.4 心率与能量消耗的关系

运动心率为运动过程中心率变化相对较平稳阶段的稳态心率。

如表12，运动前与运动中心率变化特点，通过配对T检验，从三个组别来看，无论是男女，运动前后心率都有非常性显著差异（P<0.01）。经方差分析，对于运动前的安静心率来说，男性20-39岁组与40-59岁、60岁以上组有显著性差异（P<0.05）；女性40-59岁组和60岁以上组之间存在显著性差异（P<0.05）。而运动心率各组间没有显著性差异。

表13 运动前与运动时心率变化的比较

	男		女	
	安静心率	运动心率	安静心率	运动心率
20-39 岁 (n=49)	71.2±5.56	100.9±10.22**	71.3±8.21	100.5±13.95**
40-59 岁 (n=52)	76.8±8.8#	101.1±8.73**	73.9±8.06	103.4±13.03**
60 岁以上 (n=54)	77.2±11.1#	106.6±12.89**	77.1±11.29#	99.9±20.56**

注：运动前与运动中心率比较，* P<0.05；**P<0.01，

同性别间比较，# 与20-39岁进行比较，# P<0.05；## P<0.01，* 与40-59岁进行比较，* P<0.05；** P<0.01

净心率值=运动心率—静息心率，即运动心率增加量。

如表 14，净心率值无论是组内比较，还是组间比较，均无显著性差异。

表 14 心率变化量比较

	20-39 岁	40-59 岁	60 岁以上
男 (n=72)	29.7±9.80	25.4±7.93	29.4±8.44
女 (n=83)	29.2±9.48	29.5±8.54	26.4±8.63

注：组内男女比较，* P<0.05；**P<0.01

同性别间比较，# 与 20-39 岁进行比较，# P<0.05；## P<0.01
* 与 40-59 岁进行比较，* P<0.05；** P<0.01

经相关分析，无论是运动心率还是净心率与运动能量消耗的相关性较差，且双侧检验没有显著性差异。

对于净能量消耗来说，净心率值与太极拳净能量消耗的相关性也较差，双侧检验都不具有显著性，P>0.05。

3.5 二十四式简化太极拳练习的代谢当量

表 15，太极拳练习代谢当量指进行太极拳练习时每分钟每千克体重消耗氧气量与 3.5 毫升氧气的比值 (1MET=1 千卡/小时/公斤)。

太极拳练习总效能=每分钟运动生热效能*运动时间

如表 15 给出不同年龄组男女进行杨式二十四式太极拳时能量代谢当量与总的能量消耗。

表 15 太极拳练习代谢当量与总能耗

	性别	太极拳净代谢当量	总效能	运动代谢当量	总能耗
		(METs/min)	(千卡/小时/公斤)	(METs/min)	(千卡/小时/公斤)
20-39 岁 (n=49)	男	2.5~3.0	14~18	3.9~4.5	22~26
	女	2.1~2.8	12~16	3.4~4.1	20~23
40-59 岁 (n=52)	男	2.4~2.9	14~17	3.7~4.4	21~25
	女	2.2~2.6	13~15	3.2~3.8	19~22
60 岁以上(n=54)	男	2.1~2.7	12~16	3.5~4.3	20~24
	女	2.0~2.5	11~15	3.1~3.6	18~21

4 分析与讨论

4.1 静息能量消耗的相关因素分析

能量代谢是个复杂的过程，在机体能量消耗的过程中，影响能量代谢的因素很多，如所处的环境的温度、湿度；机体的活动状态，精神状态；病理因素；个体身高、体重、性别以及年龄的差别等。而对于静息能量代谢来说，机体是在静态下的能量消耗，要想准确测量其能量消耗，必须全面认识了解其影响因素。

4.1.1 性别、年龄对REE的影响

关于性别、年龄对REE的影响目前尚无统一定论。Fu ka等^[71]的研究结果显示在男性中,年老者静息代谢率(resting metabolic rate RMR)较年轻者降低，在矫正了去脂体重后这种差异仍然存在，女性RMR较男性较低，但在老年人中矫正去脂体重后男性和女性间RMR没有差异。

从本研究得出，随着年龄的增长FFM减少，FM增加，同时REE也减少。因为随着年龄的变化，身体不同部位的FFM和FM发生变化^[72]。研究表明REE的下降和FFM下降和FM的增加有关系。

表16经协方差分析，本研究中用FFM、FFM和FM对REE进行校正。结果表明，性别对REE有独立的影响，女性的REE低于男性，即使在校正了FFM和FM后女性与男性的差异依然存在。年龄对REE有独立的影响，中老年的REE减少，且这种能量消耗的改变是独立于FM变化而存在的。总的来说，校正后性别间和年龄间的差异依然存在。

表 16 用 FFM、FFM 和 FM 对 REE 进行校正

	性别	REE(METs/min)a	REE(METs/min)b
20-39 岁 (n=49)	男	1.402±0.016	1.412±0.023
	女	1.244±0.015 #	1.247±0.016 #
40-59 岁 (n=52)	男	1.270±0.018 *	1.267±0.017 *
	女	1.245±0.013 #	1.245±0.014 #
60 岁以上 (n=54)	男	1.302±0.02**	1.305±0.019**
	女	1.241±0.015 #	1.237±0.015 #

注：同性别间比较：*与 20-39 岁进行比较 P<0.05，* 与 40-59 岁进行比较 P<0.05，

同组男女进行比较 P<0.05

a表示用FFM作为协变量对REE进行校正，b表示用FFM和FM作为协变量对REE进行校正

Klausen等^[73]研究发现,用体成分校正(FFM、FM)后性别对能量消耗没有影响,而年龄对REE存在影响,即年龄大者REE降低。杨明等^[74]研究显示中国人中性别、年龄对REE/kg的影响均是独立于其体脂成分的变化而存在的。其差异可能与男性、女性间以及不同年龄个体间组织能量代谢的不同有关,其机制尚进一步的深入研究。

过去的许多研究认为,REE的下降主要是因为FFM的下降导致的^[75]。而对于绝经期的女性来说,随着经期的停止,他们的REE降低^[76]。另外,其他的研究认为,尽管用FM和FFM进行矫正,REE在老年人中显著低于年轻人^[77]。FFM并不是最活跃的影响因素,其余像大脑、心脏、肝脏等器官的代谢率是骨骼肌的15-28倍^[78]。

4.1.2 身体组份对REE的影响

REE在很大程度上由体内瘦体组织决定,它们在组织和器官中有不同的细胞内代谢率,因此人体器官可分为高代谢率器官和低代谢率器官两种。前者如脑、肝、心、肾等,耗能超过REE的60%,肌肉组织属后者,耗能占REE的30%。单位体重中高代谢率器官比重增大则REE升高^[79]。在肥胖状态下因脂肪组织代谢活性下降导致能耗下降。因此体重的增加并不完全意味着代谢细胞的增加,也不表示REE增加^[80]。

本实验中,体脂含量与REE呈中度负相关,女性的体脂含量水平高于男性;男性的FFM高于女性,且男女间存在显著性差异。FFM与REE有非常显著性正相关,即去脂体重质量越高,其REE的值越大。不论是从总体看,还是男女组来看,FFM与REE都存在高度相关的线性关系。因此,根据FFM与REE的高度相关的特点,利用相关与回归,得出FFM与REE的一元方程,用以推测REE的值。

有研究报道去除年龄因素后总体脂含量的增加与REE的减少有相关性,表现为反映总体脂的各参数(BMI、FM)与REE呈显著负相关。从本实验可以得出,年龄、BMI等均是与REE独立相关的因素,此外女性可能受腹部皮下脂肪的影响。对于局部体脂与REE之间关系存在的性别间的不一致性,可能与性别间体脂分布的差异有关。以往的研究见到女性体脂分布的特点为皮下脂肪(SA subcutaneous fat area、FA femoral fat area)多于男性,而腹内脂肪(VA)则少于男性,因此女性皮下脂肪的变化对总体脂(BMI)的影响较大;男性局部体脂的分布与女性相反,腹内脂肪较多而皮下脂肪较少,因而腹内脂肪的变化对总体脂的影响较大^[81]。因此可解释总体脂与REE的关系不存在性别差异,而局部体脂对REE的影响可因性别而有所不同的现象。

总之,REE与多种因素有关,如年龄、性别、能量调节相关激素水平及交感神

经系统活性、体脂参数等。另外尚受遗传因素影响，存在种族差异和个体间差异，其具体机制有待进一步研究。

4.2 太极拳练习能量消耗特点分析

4.2.1 太极拳运动能量消耗的相关因素分析

体力活动的能量消耗的多少直接反映运动的效果，能量消耗量的多少对人的体质起到至关重要的作用，要准确测量体力活动的能量消耗，必须充分认识其相关因素的影响作用。对于影响能量消耗的因素很多，包括性别、年龄、体重、体脂分数、去脂体重、BMI等。如何正确分析能量消耗的影响因素是能量测量与评价的关键。

从本研究得出，在同等运动刺激的条件下，性别、年龄对能量消耗存在一定的影响，即随着年龄的增长，太极拳练习者的能量消耗下降，男性的能量消耗始终高于女性。男性在中老年年龄段的能量消耗的随年龄的增加下降趋势较小，而女性在中年以后，下降趋势较明显。主要原因是随着年龄的增长FFM减少，FM增加，身体不同部位的FFM和FM发生变化^[75]，能量消耗与FFM和体重存在较强的相关性，因此运动能量消耗也减少。

从本文可以得出，FFM与静息能量消耗、运动能量消耗和净能量消耗都存在较高的相关性。在影响能量消耗的相关因素中，各指标与能量消耗的相关性相近，但体重的影响作用变化较大。体重与静息能量消耗的相关性不高，而与运动能量消耗的相关性较高，主要原因可能是运动需要克服重力做功，在完成相同动作时，体重较高，需要克服的阻力就大，因此做功较高，需要的能量消耗就高。

如表17、18经协方差分析，用FFM、FFM和FM对运动能量消耗和净能量消耗进行校正，即使在校正了FFM和FM后女性与男性的差异依然存在。总的来说，校正后性别间和年龄间的差异依然存在。

表 17 用 FFM、FFM 和 FM 对运动能量消耗进行校正

	性别	运动能耗(METs/min)a	运动能耗(METs/min)b
20-39 岁 (n=49)	男	4.31±0.27	4.33±0.29
	女	3.67±0.34 #	3.66±0.28 #
40-59 岁 (n=52)	男	4.12±0.25*	4.20±0.27*
	女	3.53±0.29 #	3.56±0.24 #
60 岁以上 (n=54)	男	3.90±0.34* *	3.99±0.39* *
	女	3.40±0.21 #	3.47±0.25 #

同性别间比较: *与 20-39 岁进行比较 P<0.05, * 与 40-59 岁进行比较 P<0.05,
同组男女进行比较 P<0.05

a表示用FFM作为协变量对REE进行校正, b表示用FFM和FM作为协变量对REE进行校正

表 18 用 FFM、FFM 和 FM 对净能量消耗进行校正

	性别	净能耗(METs/min)a	净能耗(METs/min)b
20-39 岁 (n=49)	男	2.75±0.28	2.76±0.29
	女	2.43±0.34 #	2.44±0.10 #
40-59 岁 (n=52)	男	2.72±0.25*	2.73±0.21*
	女	2.39±0.19 #	2.40±0.20 #
60 岁以上 (n=54)	男	2.34±0.34* *	3.36±0.31* *
	女	2.33±0.19 #	2.33±0.21 #

同性别间比较: *与 20-39 岁进行比较 P<0.05, * 与 40-59 岁进行比较 P<0.05,
同组男女进行比较 P<0.05

a表示用 FFM 作为协变量对 REE 进行校正, b表示用 FFM 和 FM 作为协变量对 REE 进行校正

4.2.2太极拳练习者心率特点分析

一般采用心率来评价体力活动的方法有两种,一种是计算净心率值(活动心率—基础心率)。净心率值可以比较不同体质水平的个体,但是这种方法不能计算能量消耗。另一种是“曲线HR法”,该方法通常被用于预测能量消耗或代谢当量(METs)。该方法测试程序比较繁琐,需要连续监测每一名受试者平卧、坐位、站位、以不同强度运动时的HR和VO₂。还有一种说法,在一定强度范围内,特别是HR在110~150次/min的范围内,HR与耗氧量(VO₂)呈现线性关系^[50]。从本实验来看,研究对象的心率90~110次/min,无论是运动心率还是净心率与运动能量消耗

或者净能量消耗相关性较差,不存在线性关系,即心率与耗氧量的相关性较差,在这种强度下不能用心率推测能量代谢。

同时,心率是确定和监控运动处强度的常用指标,主要有最大贮备心率(最高心率—安静心率)百分比法和靶心率(运动中能获得最佳效果并能确保安全的心率)范围法。邓树勋等《运动生理学》中提供资料显示,心率过低对机体无明显的影响;心率过高易产生疲劳与运动疾病。对于不同年龄段的人来说,最佳心率范围如下:21-40岁为140-160次/min;41-60岁为120-140次/min;61岁以上为100-120次/min。因此,我们可以利用心率来划分体力活动的强度,评价运动效果。根据《运动训练学》提供的数据资料,当人的心率达到120~160次/min时,心脏的每搏输出量最大。心率达到这个范围时,心脏的功能可被充分的调动,可有效地增加人的心血管功能。从本研究得出,练习杨氏二十四式太极拳一遍达到或接近这个心率水平,因此,对于杨氏二十四式太极拳锻炼者来说,进行多遍练习效果可能会更好。王玉林^[82]等让80名太极拳练习者连续进行二十四式简化太极拳3遍,并记录每遍前后即刻10秒的心率次数,结果显示要有效发挥太极拳的健身效果,就要保证一定的运动时间、运动量,每次至少保持重复练习3遍太极拳套路,运动时间不少于20min。与本实验结果一致。

同时,实验结果显示,练习一遍杨氏二十四式太极拳的运动心率组间没有差异。也就是说,实验对象完成太极拳练习的心率水平相近。20-39岁组、40-59岁组、60岁以上组其心率水平占最高心率(220-年龄)的比值分别为50~60%,55~65%和60~75%。相关研究资料显示在健身锻炼中最佳心率为最高心率的60~80%^[83, 84],由此得出,太极拳的练习强度最适合老年人。也就是说,同样进行太极拳的练习,老年人的运动效果可能要好于其他人群。

4.2.3 太极拳能量消耗评价

一些研究表明,太极拳属于中等强度的运动(根据Pate^[85]等提出的按MET强度对体力活动进行划分的模式--轻,<3METs;中,3~6METs;重,>6METs),因为它的强度小于55%的最大摄氧量^[86]。

本实验结果显示,进行太极拳练习时,男女间运动能量消耗有显著性差异。从总体看,太极拳练习的代谢当量大于3METs。按照以上MET强度的划分模式,本实验测得的太极拳练习属于中等强度的体力活动。但是能量消耗的实验结果中包括非运动产生的静息能量消耗,即体力活动的生热效应=总的能量消耗—静息代

谢率^[87-89]。

所以在计算太极拳能量消耗时,要减去静息能量消耗部分,即太极拳运动生热效能=运动能量消耗—静息能量消耗。得出由打太极拳而产生的能量效能,男性为 2.61 ± 0.35 METs, 女性为 2.38 ± 0.25 METs, 总体为 2.49 ± 0.32 METs, 总体水平小于3 METs (其中>3 METs的有3人(男2, 女1)占总数的1.7%, 均为大于55岁的老年人)。因此,从太极拳运动生热效能角度来划分,太极拳属于低强度有氧体力活动。

太极拳的强度取决于拳种、架势和持续的时间。以往研究发现,由于受练习者年龄、性别和练习水平等因素的影响,通常各种类型太极拳运动过程中心率介于80~140次/min;呼吸频率介于13~17次/min;能量消耗介于2.5 METs~5.7 METs之间,气体和能量代谢有较大的变化区间^[90]。由于太极拳练习者对套路的熟练水平、练习年限、年龄等不同,太极拳的练习架势被分为高、中、低势,不同的架势其能量代谢存在一定差异^[91]。

本实验研究中以中势为主,测得的摄氧量 0.78 ± 0.21 l/min,心率为 100.6 ± 12 次/min,净代谢当量为 2.5 ± 0.4 METs/min。龚兰生等对中老年太极拳练习者进行研究,发现太极拳练习2分钟后,HR上升到92次/min,然后维持在95~108次/min^[92]。本实验中,太极拳练习者运动1分钟后HR上升到90次/min以上,随后HR、摄氧量、METs值变化趋势较平稳,直至动作完成,随后要经历大约3-5分钟,机体回复到运动前状态。Zhou等对打108式太极拳健康人的心率测试表明,最大运动平均HR为134次/min左右^[93]。曹文元对健康青年人打108式太极拳的研究表明,最大HR为128次/min^[94]。此外,Chao等采用遥测气体代谢系统研究简化太极拳的能量代谢和心血管反应,发现太极拳的练习强度约为3 METs,相当于老年人最大吸氧量的50%(男性)和60%(女性),属于典型的有氧练习^[95]。柏晓玲根据太极拳运动员训练和比赛时的心率和血乳酸的反应,认为太极拳运动属于中等强度运动,供能系统介入糖酵解与有氧氧化之间^[96]。陈文鹤等^[90]利用ComsedK4b系统研究了30名50~65岁的太极拳练习者,练习年限从半年到20年,根据太极拳的拳式不同分为3组:陈式、杨式和简化24式。运动中通过收集呼出气和分析气样,对每人测量了能量消耗,并且每人分别进行高位、低位两种练习。

结果显示,杨式、陈式、简化24式太极拳平均耗时分别为17min、6min、5min,陈氏太极拳的能量消耗比杨式及简化24式明显增加,而且低位太极拳比高位太极

拳需消耗更多能量。高势陈式太极拳练习时的能耗为4.2METs, 低架势能耗为5.7METs; 而高势简化太极拳能耗为2.5METs, 低架势能耗为3.35METs。由以上实验方法得知, 以上研究中的能耗为运动能耗。从运动能量消耗角度来看, 本实验运动能量消耗与陈文鹤的高架陈式和低架简化太极拳能量代谢水平相近, 即同属于中等强度体力活动。

4.2.4 太极拳代谢当量划分

太极拳作为一种舒缓, 轻柔的动作运动节奏, 合理适宜的运动强度的体力活动形式, 与生活中的许多体力活动水平相近。根据^[30]2006年制定的体力活动推荐量表(主要通过心率法、运动传感器测得, 其代谢当量包含静息能量消耗部分), 依据太极拳的运动能量代谢水平和强度, 可以把太极拳和以下体力活动划分为一个强度水平。如表19

表 19, 与太极拳等运动强度的体力活动项目

	METs/min	EE(kcal/min)
投篮	4.5	0.08
柔韧练习	3.5	0.05
高尔夫(击球)	3.5	0.06
高尔夫(拿杆走动)	4.5	0.08
高尔夫(推杆)	4.3	0.07
滑雪橇	3.5	0.06
步行(5.6kph)	3.8	0.06
拖地	3.5	0.06
修剪花草	4.3	0.07
扫地或地毯	3.3	0.06
扫走道	4.0	0.07
除尘	3.5	0.06
花园除草	4.5	0.08
柔韧体操(低、中强度)	3.5	0.06
冰壶运动	4.0	0.07
交谊舞	4.5	0.08

5 结 论

5.1 静息能量消耗与个体的性别、年龄、体重、体脂分数、去脂体重有较高的相关性,尤以去脂体重的影响较高。由此建立与性别、年龄、体重、去脂体重高度相关的多元回归方程:

$$Y=0.349+0.127a-0.001b+0.001c+0.016d$$

(Y 为静息能量、a 为性别、b 为年龄(yr)、c 体重(kg),d 为去脂体重(kg), $R^2=0.712$ $P<0.01$)

5.2 运动能量消耗与个体的性别、年龄、去脂体重有较高的相关性,尤以去脂体重的影响较高,由此建立与性别、年龄、体重、体脂肪分数、去脂体重高度相关的多元回归方程:

$$Y=1.498+0.121a+0.001b+0.006c-0.011d+0.042e$$

(Y 为运动能量消耗、a 为性别、b 为年龄 (yr)、c 为体重(kg)、d 为体脂分数(%)、e 为去脂体重(kg), $R^2=0.851$ $P<0.01$)

5.3 净能量消耗受个体的性别、年龄、体重、去脂体重有较高的相关性,尤以去脂体重的影响较高,由此建立与性别、年龄、体重、体脂肪分数高度相关的多元回归方程:

$$Y=0.802+0.316a+0.001b+0.03c-0.028d$$

(Y 为净能量消耗、a 为性别、b 为年龄 (yr)、c 为体重(kg),d 为体脂分数(%) $R^2=0.70$ $P<0.01$)

5.4 杨氏二十四式太极拳运动心率在 105 左右,其运动心率与能量消耗的相关性较差,不能用于太极拳能量消耗的推算。

5.5 杨氏二十四式太极拳的净代谢当量为 2.2~2.8METs,总运动效能为 13~16kcal/h/kg,太极拳运动代谢当量为 3.5~4.3 METs,总能耗为 20~24 kcal/h/kg。

6 参考文献

[1] Schoeller, Dale A., Eric Ravussin, Yves Schutz, Kevin J. Acheson, Peter Baertschi, And, Eric Jequier. Energy expenditure by doubly labeled water: validation in humans and proposed calculation. *Am. J. Physical. 250 (Regulatory Integrative Comp. Physical, 1986 19: R823-R830.*

[2] Schoeller, D.A., And E. VAN Santen . Measurement of energy expenditure in humans by doubly labeled water method . *J. Appl. Physical. 1982, 53: 955-959.*

[3] Schoeller, D.A., And P . Webb. Five day comparison of the doubly labeled water method with respiratory gas exchange . *Am. J. Clin. Nutr. 1984, 40: 153-158,*

[4] Ainsworth BE, Haskell W L, Leon AS. et al Compendium of physical activities: classification of energy costs of human physical activities. *Med Sci Sports Exercise, 1993, 25(1): 71-80*

[5] Ainsworth BE, Haskell W L. Whitt MC . et al . Compendium of physical activities: all update of activity codes and MET intensities. *Med Sci Sports Exercise, 2000, 32(9 Suppl): 498-504*

[6] Gilman, MB Houle H, Firzell L, et al. Metabolic cost of traditional American Indian activities in women over 40 years of age (Abstract). *Med Sci Sports Exercise. 2000. 32: S53-S56*

[7] Schutz, Yves, Roland L. Weinsier, And Garyr. Hunter. Assessment of free-living physical activity in humans: an overview of currently available and proposed new measures. *Obes Res. 2001;9:368-379.*

[8] 陈世蓉、周江虹、程茂金、朱闽、吴宝芝, 城市老年人体力活动测量与评价, [J], 中国老年学杂志, 1994年, 第14卷, 第4期

[9] 杨功焕、马杰民、刘娜、陈爱平, 中国人群2002年饮食、体力活动和体重指数的现状调查, 中华流行病学杂志 2005年4月 第26卷 第4期, 246-251

[10] 李洋、李伟听、范本浩、傅华, 上海中心城区居民体力活动情况的调查, 中华劳动卫生职业病杂志, 2004年12月第22期第6卷, 458-460

[11] Michael I. Goran, PhD. Division of Physiology and Metabolism, Department

of Nutrition Sciences, University of Alabama at Birmingham, Birmingham, Alabama. Measurement Issues Related to Studies of Childhood Obesity: Assessment of Body Composition, Body Fat Distribution, Physical Activity, and Food Intake. *Pediatrics* 1998; 101:505-518;

[12] Westerterp, K. R. Assessment of physical activity level in relation to obesity: current evidence and research issues. *Med Sci Sports Exerc*, 1999, Vol. 31, No. 11, Suppl. pp. S522-S525.

[13] 姚崇华 左惠娟 孔灵芝 杨晓光 翟凤英, 不同强度体力活动与代谢综合征现状调查分析, *中华医学杂志*, 2006年8月15日第86卷第30期 2099-2104

[14] 狄玉峰等, 北京市城区不同体质量人群能量消耗和体力活动水平比较, [J], *中国临床康复*第10卷, 2006,第24期.

[15] U. S. Department of Health and Human Service. Physical Activity and Health: a Report of the Surgeon General [M]. Atlanta, GA: U. S. Department of Health and Human Service Center for Disease Control and Prevention, National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion, 1996. 20-144.

[16] US Department of Health and Human Services. Physical activity and health: a report of the Surgeon General[M]. Atlanta, Georgia: US DHHS, Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion, 1996. 146-148.

[17] Stephenson J, Bauman A, Armstrong T, et al. The costs of illness attributable to physical inactivity in Australia [M]. Canberra Commonwealth Department of Health and Aged Care, 2000.

[18] PATE RR, MPRATT, SNBLAIR, et al. Physical Activity and Public Health: a Recommendation from the Center for Disease Control and Prevention and American College of Sports Medicine[J]. *JAMA*, 1995, 273: 402-407.

[19] U. S. Department of Health and Human Service. Health People 2010: Understanding and Improving Health [M]. 2nd ed. Washington, DC: U. S. Government Printing Office, 2000: 24-27.

[20] World Health Organization. The world health report 2002[R]. Geneva: World Health Organization. 2002. 61-62.

[21] Michael I. Goran, PhD. Measurement Issues Related to Studies of Childhood Obesity: Assessment of Body Composition, Body Fat Distribution, Physical Activity, and Food Intake. *Pediatrics* 1998;101;505-518

[22] Robert Topp. Healthy aging: health promotion and disease prevention. *Nurs Clin N Am* 39 (2004) 411-422

[23] Harold W. Kohl III. Physical activity and cardiovascular disease: evidence for a dose response. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Vol. 33, No.6, Suppl., 2001, pp. S472-S483.

[24] American College of Sports Medicine. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining fitness in healthy adults [J]. *Med Sci Sport Exerc.* 1978;10: 7-10.

[25] American College of Sports Medicine. Position stand: the recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness in healthy adults [J]. *Med Sci Sport Exerc.* 1990;22: 265-274.

[26] American College of Sports Medicine. Position stand: the recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults [J]. *Med Sci Sport Exerc.* 1998;30(6): 975-991.

[27] Ezzati M, Lopez AD, Rodgers A, et al. Selected major risk factors and global and regional burden of disease [J]. *Lancet*, 2002;360(9343):1347-1360.

[28] KYLE J. MCINNIS, SC.D. Counseling for Physical Activity in Overweight and Obese Patients. *Am Fam Physician* 2003;67:1249-56,1266-8.

[29] Warburton DER, Nicol CW, Bredin SSD. Health benefits of physical activity: the evidence [review]. *CMAJ* 2006;174(6):801-9.

[30] Darren E.R. Warburton, Crystal Whitney Nicol, Shannon S.D. Bredin. Prescribing exercise as preventive therapy *CMAJ* 2006;174(7):961-974

[31] U.S. Department of Health and Human Services. Physical activity and health. A Report of the Surgeon General. 1996.

[32] Luc Vanhees, Johan Lefevre, Renaat Philippaerts, et al. How to assess physical activity? How to assess physical fitness? *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2005;12:102-114.

- [33] Schoeller DA, Ravussin E, Schutz Y, Acheson KJ, Baertschi P, Jequier E. Energy expenditure by doubly labelled water: validation in humans and proposed calculation. *Am J Physiol* 1986; 250(Suppl 5):R823-R830.
- [34] Schoeller DA, Webb P. Five-day comparison of the doubly labeled water method with respiratory gas exchange. *Am J Clin Nutr* 1984; 40: 153-8
- [35] Philip Nainislie, Thoma Sreilly, Klass Rweste Rterp. Estimating Human Energy Expenditure: a Review of Techniques with Particular Reference to Doubly Labeled Water [J]. *Sports Med*, 2003, 33 (9) : 683-698.
- [36] Slindef, Arvidsson D, Sjoberg A , et al. Minnesota Leisure Time Activity Questionnaire and Doubly Labeled Water in Adolescents [J]. *M ed Sci Sports Exe*, 2003, 35 (11) :1923-1928.
- [37] K Staten, Dougasl , Taren , et al. Validation of the Arizona Activity Frequency Questionnaire using Doubly Labeled Water [J]. *Med Sci Sports Exe*, 2001, 33 (11) : 1959 - 1967.
- [38] Ekelund U , Sjostrerom M , YN GV E A , et al. Physical Activity Assessed by Activity Monito rand Doubly Labeled Water in Children [J]. *M ed Sci Sports Exe*, 2001, 33 (2) : 275-281.
- [39] Ekelund U , Yngve A , Westertep K, et al. Energy Expenditure Assessed by Heart Rate and Doubly Labeled Water in Young Athletes [J]. *Med Sci Sports Exe*, 2002, 34(8) : 1360-1366.
- [40] Westertep KR. Body composition, water turnover and energy turnover assessment with labelled water. *Proc Nutr Soc* 1999; 58: 945-951
- [41] 冯建英. 一种测定能量消耗的新技术——双标水法[J]. *中国运动医学杂志*, 1996, 15 (3) 203 - 205.
- [42] Luc Vanheesa,d, Johan Lefvreb, Renaat Philippaertsc, et al. How to assess physical activity? How to assess physical fitness? *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2005;12:102-114.
- [43] KleinPD,JamesWPT,WongWW, et al. Calorimetric validation of the doubly-labelled water method for determination of energy expenditure in man. *Human Nutr Clin Nutr* 1984; 38:95-106

[44]Starling RD. Use of doubly labelled water and indirect calorimetry to assess physical activity. In: Welk GJ (editor): Physical activity assessments for health-related research, Champaign, IL: Human Kinetics Publisher, Inc.; 2002, pp. 197-209.

[45] Brages,W edder koppn, Franksp W , et al. Reexam ination of Validity and Reliability of the CSA Monitor in Walking and Running [J]. M ed Sci Sports Exe, 2002, 35 (8) :1447-1454.

[46] NicholsJ F,MorgancG, Chabotl E, et al. Assessment of Physical Activity with the Computer Science and Application, Inc. , Accelerometer: Laboratory Versus Field Validation [J]. Res Q Exe Sport, 2000, 71 (1) : 36-43.

[47] W elk G J , Almeida J ,Morss G. Laboratory Calibration and Validation of the Bio trainer and Actitrac Activity Monitors[J]. M ed Sci Sports Exe, 2003, 35 (6) : 1057-1064.

[48] Leendersn Y,N elsonte, Sherman W M. Ability of Different Physical Activity Monitors to Detect Movement During Treadmill Walking[J]. Int J Sports Med, 2003, 24 (1) :43-50.

[49] Levinej A , Baukol PA ,Westerterp K R, et al. Validation of the Tracmor Triaxial Accelerometer System for Walking[J]. M ed Sci Sports Exe, 2001, 33 (9) : 1593-1597

[50] Freedson P S,Miller K. Objective Monitoring of Physical Activity UsingMotion Sensors and Heart Rate [J]. Res Q Exe Sport, 2000, 71 (2) : 21-29.

[51]Freedson PS, Miller K.Objective monitoring of physical activity using motion sensors and heart rate. Res Q Exerc Sport.2000 Jun;71(2 Suppl):S21-9.

[52]Janz KF. Validation of the CSA accelerometer for assessing children's physical activity.Med Sci Sports Exerc.1994 Mar;26(3):369-75

[53]Janz KF, Golden JC, Hansen JR, Mahoney LT. Heart rate monitoring of physical activity in children and adolescents: the Muscatine Study. Pediatrics. 1992 Feb; 89(2): 56-61.

[54] Spurr gb, Prenticem ,Murgatroy P R, et al. Energy Expenditure from Minute by minute Heart rate Recording: Comparison with Indirect Calorimetry [J]. Am J Clin Nutr, 1988, 48 (3) : 552-559.

- [55] Livin G stone M B, Coward W A , Prent Ice A M , et al. Daily Energy Expenditure in F ree2living Children: Comparison of Heart2rateMonito ring with the Doubly Labeled Water Method[J]. Am J Clin N utr, 1992, 56 (2) : 343-352.
- [56] Montoye H.J., Kemper H.C.G., Saris W.H.M., Washburn R.A. Measuring physical activity and energy expenditure.[M].Human Kinetics, 1996.
- [57] Caspersen C J. Physical Activity Epidemiology: Concepts, Methods, and Applications to Exercise Science [J]. Exe Sport Sci Rev, 1989, 17: 423-473.
- [58] SL INDE F, ARV IDSSON D, SJOBERG A , et al. Minnesota Leisure Time Activity Questionnaire and Doubly Labeled Water in Adolescents [J]. Med Sci Sports Exe, 2003, 35 (11) :1923-1928.
- [59]R J Shephard.Limits to the measurement of habitual physical activity by questionnaires. [J].Sports Med.2003;37:197-206.
- [60]Freedson PS, Miller K.Objective monitoring of physical activity using motion sensors and heart rate.ResQ Exerc Sport. 2000 Jun;71(2 Suppl):S21-9.
- [61] Cyartoev ,Myersam , Tudorlocke C. Pedometer Accuracy in Nursing Home and Community2dwelling Older Adults[J]. Med Sci Sports Exe, 2004, 36 (2) : 205-209.
- [62]Haymesen , Byrnesw C. Walking and Running Energy Expenditure Estimated by Caltrac and Indirect Calorimetry [J].M ed Sci Sports Exe, 1993, 25 (12) : 1365-1369.
- [63] CA TR IN E E, TUDOR2LOCKE, AN ITA M. Myers. Challenge sand Opportunities for Measuring Physical Activity in Sedentary Adults [J]. Sports Med, 2001, 31 (2) : 91-100.
- [64] BA SSETT D R J R,A IN SWORTH B E, SWARTZA M , et al. Validity of Four Motion Sensors in Measuring Moderate Intensity Physical Activity [J]. M ed Sci Sports Exe, 2000, 32(9) : S457-S480.
- [65]Bouten C V ,Wester Terp K R, Verduinm , et al. Assessment of Energy Expenditure for Physical Activity Using a Triaxial Accelerometer[J]. M ed Sci Sports Exe, 1994,26 (12) : 1516-1523.
- [66] Esyon R G, Rowlandsav , Ingledew D K, et al. Validity of Heart Rate, Pedometry, and Accelerometry for Predicting the Energy Cost of Children's

Activities[J]. J Appl Physiol, 1998, 84 (1) : 3622371.

[67]Schultz, S., K. Westerterp, and K. Brück. Comparison of energy expenditure by the doubly labeled water technique with energy intake, heart rate, and activity recoding in man. Am. J. Clin. Nutr. 49:1146-1154, 1989

[68] Lichtman, S. W., K. Pisarska, E. R. Berman, et al. Discrepancy between self-reported and actual caloric intake and exercise in obese subjects. N. Engl. J. Med. 327:1893-188, 1992.

[69]Racette, S. B., D. A. Schoeller, and R. F. Kushner. Comparison of heart rate and physical activity recall with doubly labeled water in obese women. Med. Sci. Sports Exerc, 1995, 27:126-133.

[70] John R. Sirard and Russell R. Pate. Physical Activity Assessment in Children and Adolescents. Sports Med 2001; 31(6): 439-454

[71] Fukagawa NK, Bandini LG, Young JB, et al. Effect of age on body composition and resting metabolic rate[J]. Am J Physiol. 1990; 259(2 Pt 1):E233-238.

[72] Gary R Hunter, Roland L Weinsier, Barbara A Gower, and Carla Wetzstein. Age-related decrease in resting energy expenditure in sedentary white women: effects of regional differences in lean and fat mass[J]. Am J Clin Nutr, 2001, 73:333-337.

[73] Klausen B, Toubro S, Astrup A, et al. Age and sex effects on energy Expenditure [J]. Am J Clin Nutr, 1997, 65:895-907.

[74] 杨明, 贾伟平, 包玉倩, 陈蕾, 陆俊茜, 项坤三, 等. 性别、年龄及体脂参数与静息能量消耗的关系[J]. 中华内分泌代谢杂志, 2004, 1:20-22.

[75] Poehlman ET, Goran MI, Gardner AW, et al. Determinants of decline in resting metabolic rate in aging females[J]. Am J Physiol, 2003, 264:E450-E455.

[76] Danielle S. Day, Wendolyn S. Gozansky, Rachael E. Van Pelt, Robert S. Schwartz, and Wendy M. Kohrt. Sex Hormone Suppression Reduces Resting Energy Expenditure and Adrenergic Support of Resting Energy Expenditure[J]. J Clin Endocrinol Metab, 2005, 90:3312-3317.

[77] Visser M, Deurenberg P, van Staveren WA, Hautvast JGAJ. Resting metabolic rate and diet-induced thermogenesis in young and elderly subjects: relationship with body composition, fat distribution, and physical activity level[J]. Am J Clin Nutr,

2005,61: 772-778.

[78] Elia M.Organ and tissue contribution to metabolic rate,In: Kinney JM, Tucker HN,eds. Energy metabolism: tissue determinants and cellular corollaries[J].New York:Raven Press,2002:61-69.

[79] Sentongo TA,Tershakovec AM,Masearenhas MR,et al.Resting energy expenditure and prediction equations in young children with failure to thrive[J].J Pediatr,2000,136:345-350.

[80] Hill JR,Rahimtulla KA.Heat balance and the metabolic rate of newborn babies in relation to environmental temperatures, and the effect of age and weight on basal metabolic rate[J].J Physiol,2005,180:239-265.

[81] 贾伟平,项坤三,丁炜,等.301例人体脂分布测定及非胰岛素依赖型糖尿病患者的改变[J].中华医学杂志,1997,77:851-853.

[82]王玉林,周红萍 太极拳运动对心率的影响[J]中国体育科技,2000,36(2): 42-44

[83] Troiano RP, Macera CA, Ballard-Barbash R. Be physically active each day.How can we know? J Nutr. 2001;131:451S-60S.

[84]Castaneda TR, Jurgens H, Wiedmer P, P.uger P, Diano S, Horvath TL, Tang-Christensen M, Tschop MH. Obesity and the neuroendocrine control energy homeostasis: The role of spontaneous locomotor activity. J Nutr. 2005;135:1314-9.

[85] Pate RR, Pratt M , Blair SN, et al. Physical activity and public health: a recommendation from the Centers for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine. JAMA. 1995. 273: 402-407

[86]J X Li, Y Hong, K M Chan. Tai chi: physiological characteristics and beneficial effects on health, Br J Sports Med 2001;35:148-156

[87] Schoeller DA.Validation of habitual energy intake.Public Health Nutr. 2002; 5:883-8.

[88]Speakman JR. Doubly labelled water: Theory and Practice. London: Chapman & Hall; 1997.

[89] Speakman JR.The history and theory of the doubly labeled water technique.Am J Clin Nutr. 1998;68: 932S-8S.

- [90] 陈文鹤,赵釜生. 太极拳练习的能量消耗和甲皱微循环变化. 上海体育学院学报,1984,8(2):1 - 7.
- [91]周雷,王健,吴飞,林小美,太极拳3种高度架势的确定及控制,中国体育科技,2005年,41(3),103-104
- [92] 龚兰生,钱剑安,张继盛,等. 太极拳练习中心率和心电图的改变. 中华医学杂志,1981,94(9):589 - 592.
- [93] Zhou DH , Sheqhard RJ , PlyleyMj ,et al , Cardiorespiratory andmetabolic responses during Tai Chi Chuan exercise. Canadian Journal of Applied Sport Science,1984,9(1):7 - 10.
- [94] 曹文元. 太极拳练习的能量消耗,武术科学探秘. 北京:人民体育出版社,1990. 290 - 293.
- [95] Chao YF , Chen SY, Lan C , et al1 The cardiorespiratory response and energy expenditure of Tai - Chi - Qui - Gong1 Am J Chin Med ,2002 ,30(4) :451 - 611
- [96] 柏晓玲,贾金榜,刘柏,等. 我国优秀太极拳运动员最大有氧能力及个体通气阈的研究. 北京体育大学学报,1997,20(2):46 - 51.

7 攻读学位期间公开发表论文及参加科研项目

1、静息能量代谢在体力活动评价的应用——《科技信息》2008 年 3 月第九期
第一作者

2、参与《太极拳练习能量代谢的测量与评价》省体育局课题 2007 年 5 月-2008 年 5 月

3、参与《有氧运动和力量训练对中老年体适能状况的影响》省科技厅课题
2006 年 6 月-2008 年 6 月

4、参与《柔道项目运动员常见运动创伤的预防》省体育局课题 2007 年 9 月
-2008 年 7 月

5、参与《江苏省体质监测标准》的制定 2006-2007 年

8 致 谢

本研究及学位论文是在我的导师盛蕾教授的亲切关怀和悉心指导下完成的。她严肃的科学态度，严谨的治学精神，精益求精的工作作风，深深地感染和激励着我。从课题的选择到项目的最终完成，盛老师都始终给予我细心的指导和不懈的支持。两年多来，盛老师不仅在学业上给我以精心指导，同时还在思想、生活上给我以无微不至的关怀，在此谨向盛老师致以诚挚的谢意和崇高的敬意。

要特别感谢冯炜权老师在百忙之中给与我的论文指导和帮助。

在此，我还要感谢吴明方老师在生活和学习上对我的关心和照顾，以及刘兵、王翠霞同学对我的帮助和支持，我才能克服一个一个的困难和疑惑，直至本文的顺利完成。特别感谢我的师妹朱卫红同学，她对本课题做了不少工作，给予我不少的帮助。

在即将毕业之际，要感谢可敬的师长、同学、朋友给了我无言的帮助，在这里请接受我诚挚的谢意！

最后我还要感谢培养我长大含辛茹苦的爸爸妈妈，谢谢你们！