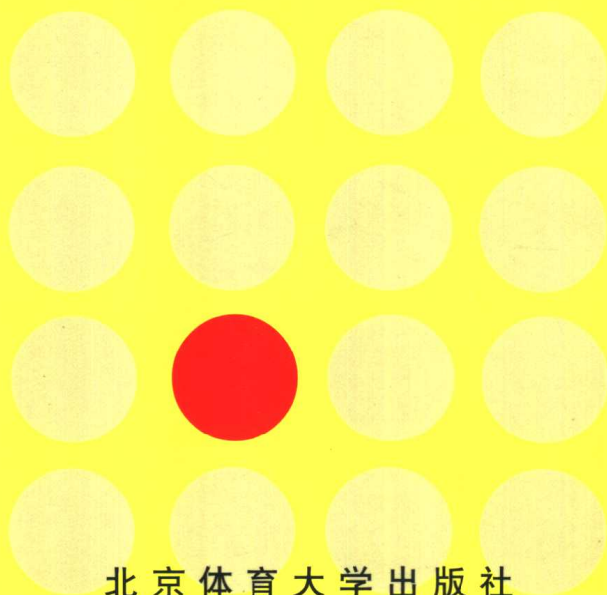


中国体育博士文丛

人体

运动环节重量参数 测量新思路

李世明 著



北京体育大学出版社

烟台师范学院科研基金资助项目

人体运动环节重量参数测量新思路

李世明 著

北京体育大学出版社

策划编辑 梁 林
责任编辑 梁 林
审稿编辑 李 飞
责任校对 巧 琴
责任印制 陈 莎

图书在版编目(CIP)数据

人体运动环节重量参数测量新思路/李世明著. - 北京:北京体育大学出版社,2004.7
ISBN 7-81100-172-1

I. 人… II. 李… III. ①运动生物力学-研究②运动人体测量学-研究 IV. G804.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 060043 号

人体运动环节重量参数测量新思路

李世明 著

出 版 北京体育大学出版社
地 址 北京海淀区中关村北大街
邮 编 100084
发 行 新华书店总店北京发行所经销
印 刷 北京市昌平阳坊精工印刷厂
开 本 850×1168 毫米 1/16
印 张 11

2004 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

ISBN 7-81100-172-1/G·150

定 价 28.00 元

(本书因装订质量不合格本社发行部负责调换)

作者简介



李世明 男,山东栖霞人,生于1969年5月,教育学博士,副教授。1988年9月~1992年7月,就读于山东省烟台师范学院物理系,毕业后留校任教,主讲运动生物力学、体育统计学、体育科研方法等课程。1997年9月考取北京体育大学研究生部运动人体科学专业硕士研究生,专业方向运动生物力学。2000年7月硕士研究生毕业,获教育学硕士学位。同年,考取北京体育大学研究生院运动人体科学专业博士研究生,专业方向运动生物力学。2003年6月博士研究生毕业,获教育学博士学位,同年破格晋升副教授。2003年7月至今,在烟台师范学院体育学院任教。近年来,先后在中文体育类核心期刊上共发表学术论文20余篇,出版专著1部,多次参加国际、国内重要的学术论文报告会,主持、参与研究课题5项。

序

李世明具有良好的数理基础、人体运动学知识和较强的计算机应用能力,善于独立思考,善于动手解决问题。在完成“基于平衡板测量人体运动环节重量参数的理论和实验研究”的论文过程中,体现了他严谨的治学态度。首先,不畏艰难。寻找无损伤的、快捷方便的、适于大样本量调查的确定活体运动环节重量和重心位置的方法并付诸实施,被业内人士称为“世界级的难题”。在这样一个难题面前,李世明没有畏惧和退缩,表现了一个学者的无畏精神。其次,在实验过程中,能发现问题、分析和解决问题。创新的过程是一个不断失败的过程。任何一项科学研究,只要有创新,就会不断遇到新问题,解决这些问题就是一个学者的任务,解决问题的过程则是学者能力提高的过程。在实验过程中,控制总重心位移精度的方法(二个圆心角对比法)就是李世明提出的。第三,有创业精神。人体环节参数实验室从基本空白的基础上,到初具规模,可以工作了,李世明事无巨细,点滴积累,表现了在一般博士生中少见的创业精神。这篇论文虽说是初步成果,样本少一点,精度差一点,但毕竟是在解决这个“世界级”难题中迈出了第一步。从这篇论文中我们可以学到不少东西。

“千里之行,始于足下”,开头很难,亦很可贵。不过,开头终究是开头,“行百步半九十”,要彻底解决这个难题,还需要在学业上更进一步,还要努力奋斗。希望能见到“大作”的问世。

金季春

北京体育大学博士生导师 金季春教授

2004年3月16日

中文摘要

人体环节惯性参数是建立人体模型、进行人体运动技术影像解析的基础数据,其准确程度直接影响着影像解析结果的精度,因而,对人体环节惯性参数的测量研究一直是运动生物力学学科中的一个重大的基础性课题,同时也是工效学、人类学及人体科学研究的重要组成部分,具有重要的学术价值和应用背景。人体运动环节的重量参数是惯性参数中的重要组成部分,包括环节重量、环节重心半径及本文增补的环节重量矩,是能够反映人体形态结构和质量分布特征的基本参量。

近一百多年来,从尸体解剖发展到活体测量,先后曾出现过多种活体测量方法,促进了人体环节测量研究的不断进步。然而,从目前的研究现状来看,人体环节参数模型还多为对称型,且数据多来源于对正常成年人的测量,不适于特殊群体;另外,精度高的人体环节参数模型均采用了带有放射性的射线法(Zatsiorsky 等采用 γ 射线扫描法,郑秀瑗等采用 CT 法),难以应用于对青少年的环节参数研究。

事实上,人体的形态结构和质量分布特征具有鲜明的个体性,尤其是特殊群体个性特征更加明显,比如运动员群体,不同竞技项目的运动员形体差异很大。因而,不论采用何种形式的人体环节惯性参数进行影像解析都无疑会在很大程度上抹杀受试者的个体特征。由此看来,提供更加个性化的人体环节惯性参数是人体运动分析精化与细化的首要条件。

我们在前人研究的基础上,从运动生物力学角度出发,以经典力学为基础、以人体解剖学为依据,1)对人体各环节重心与人体总重心的联动关系进行深入的探讨,首次提出了一种测量人体运动环节重量参数的创新理论——平衡板测量理论;2)并以该理论为指导,基于目前先进的传感器技术与计算机技术,首次研制了一组测量仪器(R-Ⅱ型、R-Ⅰ型平衡板)以探索创新理论框架下基本人体模型运动环节(链)重量参数的测量程序与方法;3)首次引入最优化原理与方法对细化人体模型细化环节的重量参数进行最优化计算。

概括起来,本研究的创新之处在于:提出了一个概念(人体运动环

节)、增补了一个参数(环节重量矩)、构建了一个理论(平衡板测量理论)、研制了一组仪器(两种相配套的平衡板)和探索了一种方法(平衡板测量法)。另外,本研究共开发了4个计算机软件进行数据采集与计算,并利用 Matlab 编写最优化计算程序以实现本研究的原创性构想。

本研究结论如下:

1. 本研究开拓了一个经济可行且保证一定精度的测量人体运动环节(链)重量参数的方法,对今后开展特体和青少年人体环节惯性参数的测量找到了一个安全可靠的途径。

2. 人体运动环节(链)概念的引入、重量矩参数的增补是提出平衡板测量理论的必然要求,前者体现了人体参与运动的客观存在的环节质量;后者是平衡板测量的直接参量,在某些应用中可以减少合成误差的引入。

3. 总重心圆原理高度概括了运动环节(链)重心与人体总重心之间存在的严格联动关系,是测量环节(链)重量矩的理论基础;稳定平衡状态、有限稳定平衡状态和不稳定状态3个顺次发生的阶段真实体现了合成重心位置测定的物理过程,提供了环节(链)重心半径的测量思路。环节(链)重量矩测量与环节(链)重心半径测量相结合,首次解决了平衡板实际测量人体运动环节重量、重心半径这个重大的基础理论问题,为人体运动环节重量参数的深入研究提供了理论平台。

4. R-II型平衡板的研制及《R-II型平衡板测量数据采集软件》的开发实现了人体运动环节(链)重量矩的测量,R-I型平衡板的研制及《R-I型平衡板测量数据采集软件》的开发实现了环节(链)重心半径的测量;对两种仪器的精度范围、重复性、线性度3个指标的检验说明了仪器测量的可靠程度,对两种仪器的测量原理进行验证表明了环节(链)重量矩测量和环节(链)重心半径测量的可行性;R-II型、R-I型平衡板为基本人体模型各运动环节(链)重量、重心半径的实测提供了实验基础,同时也为人体运动环节重量参数的深入研究提供了实验平台。

5. 最优化原理与方法的引入为细化人体模型细化环节重量参数的计算提供了有效途径。以郑秀瑗教授提供的3种中国人体数据模型为基础建立目标函数、以平衡板的实际测量为准则确定约束条件,首次解决了人体细化环节重量参数的最优化计算问题;MATLAB的优化工具箱为最优化算法的实现提供了计算基础,是环节参数最优化计算的有力工具。

6. 测量仪器的误差是R-II型平衡板测量人体总重心圆失真的根本原因,减少失真的途径有两条:一是增大总重心圆的圆心角,二是增大总

重心圆的半径,为此,可以在人体实验中进行有限制的增加运动环节在R-II型平衡板上的移动幅度和为运动环节(链)配加重量以在现有实验条件下最大程度地减少总重心圆的失真;《R-II型平衡板总重心圆失真分析》软件的编制作为总重心圆失真分析的手段为人体实验过程中各种措施的选择与采用提供了可靠的定量依据。

7. 静态图像采集系统的设置及《静态图像人体重心分析软件》的编制实现了各种数据模型合成人体总重心的计算,为比较各种数据对受试者的适用程度提供了实用的手段。

8. 在人体实验中,利用R-II型、R-I型平衡板实测及引入最优化理论计算,获得了一套细化人体模型环节重量参数;为检验人体运动环节重量参数平衡板测量理论(含最优化计算)的研究价值,我们对平衡板测量理论的有效性、特殊性、必要性以及引入最优化计算的合理性进行了分析,并对平衡板测量结果的环节(链)重量、重心半径的相对值进行了初步计算。

9. 平衡板测量理论的提出为环节(链)重量参数的测量开辟了一条有效的途径,R-II型、R-I型平衡板的研制为环节(链)重量参数朝着个体化方向迈进提供了有力的支持,理论与实践相结合、方法与应用相结合、软件与硬件相结合是深入研究人体运动环节重量参数的必由之路。

关键词:人体运动环节,重量参数,环节重量,环节重心位置,环节重量矩,平衡板测量理论,总重心圆原理,总重心圆失真,R-II型平衡板,R-I型平衡板,最优化计算

Theoretical and Experimental Study on Measuring the Weight Parameters of Moving Segments of Human Body Based on Balance Boards

(Abstract)

The weight parameters of segments of human body include segment weight, location of center of gravity of segment and the moment of gravity of segment, and they are the basic parameters of segment inertia parameters that can reflect the structure of configuration and character of mass distribution of human body. Because the weight parameters of segments are fundamental for building the model of human body and analyzing video recording of movement technique of human body, which are very essential to improve the accuracy of analyzing results, the study on measuring weight parameters of segments has been being one great basic task in sports biomechanics all the time, and simultaneously is the important part of subjects of work efficiency, humankind and human body science etc., which is of importance in both learning value and application.

Most past studies on segment inertia parameters of human body was based on symmetry model of human body, and most from the measurement on normal adults which is not fit for specific manhood; in addition, those studies of higher precision adopted methods which are of radioactivity, and it is not fit for juveniles. So it is necessary for us to search the method of measurement to provide more individual parameters of segments of human body.

In this paper we completed 3 parts: 1) we studied the relation between segment center of gravity and general gravity center of human body applying the knowledge of mechanics, anatomy and sports biomechanics, and advanced an innovation theory, i. e. the theory of measuring the weight parameters of moving segment of human body applying balance boards; 2) we developed 2 new types of balance boards to acquire the method and procedure of measuring based on the theory mentioned above; 3) in order to provide the weight parameters of small segments, e. g. forearm, hand, shank and foot, we introduced the theory of optimization to calculate them.

In order to check the accuracy of the theory of measuring segment weight pa-

rameters applying balance boards, precision of 2 types of instruments and efficiency of introducing the theory of optimization, we selected 9 male subjects randomly for measuring segment parameters, compared our measuring results to the other study before. To sum up, in this paper we accomplished 5 works in all, i. e. putting forward one new concept – moving segment of human body, subjoining one new parameter – the moment of segment weight, developing one new theory – the theory of measuring weight parameters of moving segments applying balance boards, making one set of instruments – two types of balance boards, i. e. R – II and R – I balance board, and searching one kind of measuring procedure – the procedure for measuring segment weight parameters in vivo. Our conclusions are as follows:

1. We carved out one method that could provide more individual weight parameters of segments of human body, and this method was more economical and convenient.

2. We put forward the concept of moving segment of human body and subjoined the moment of segment weight, and which were the foundations of the theory of measuring based on balance boards. The concept of moving segment could reflect all mass of segment that participated in movement, and the moment of segment weight could lessen errors when integrating parameters.

3. The principle of circle of general gravity center showed the relation between center of moving segment and general gravity center in accuracy, and was the foundation of the theory of measuring the moment of segment weight; balanced status, limited balanced status and non – balanced status are 3 sequential processes generated in measuring the location of center of moving segment, and which provided one method for measuring the location. We integrated measuring the moment of segment weight and measuring the location of center of segment to firstly overcome the difficulty of measuring the weight parameters of moving segment of human body in vivo applying balance boards.

4. We made R – II balance board and developed the computing program to measure weight moment of moving segment of human body, while we made R – I balance board and developed its computing program to measure the location of center of moving segment of human body. We tested the above two instruments in precision, repetition and linearity, and proved their testing principles using the

two types of balance boards.

5. The theory of optimization was introduced to calculate the weight parameters of small segments, e.g. forearm, hand, shank and foot, effectively. It was one part of the theory of measuring weight parameters of moving segment of human body, and we selected the data provided by professor Zhen Xiuyuan as foundation to build target function and used the data provided by two types of balance board's real measuring as restricted condition, to calculate them in optimization.

6. The errors of R - II balance board resulted in the distortion of circle of general gravity center, and there are two ways to reduce errors: to increase central angle and radius of circle of general gravity center. In experimentation of measuring subjects we limitedly increased the moving range of moving segments to increase central angel, and added mass to moving segment to increase radius of circle of general gravity center to reduce the distortion of it at the most. In addition, we made the computing program to analyze its distortion.

7. The system of videoing static image was set and its analyzing program for analyzing center of gravity of human body was developed to compare the computing center to measuring center of gravity. In addition, we compared various weight parameters of segment of human body provided by various presenters.

8. We measured the weight moments of head, upper limb, lower limb and shank - foot of subjects using R - II balance board, and their location of center of gravity applying R - I balance board; After that, we introduced the theory of optimization to calculate weight parameters of non - measured segments. Finally we acquired a set of more individual weight parameters of moving segments of human body, and we analyzed the efficiency of this method.

9. By the study mentioned above, we thought that the theory of measuring weight parameters of moving segments of human body is one significant way to acquire them in vivo.

Key Words: moving segment of human body, weight parameters, location of center of gravity of segment, moment of gravity of segment, the theory of measuring based on balance board, the principle of circle of general gravity center, distortion of circle of general gravity center, R - II balance board, R - I balance board, calculation of optimization

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 人体重量参数概述	(1)
一、重 量	(2)
二、重心位置	(2)
三、转动惯量	(3)
第二节 人体模型的建立	(4)
一、环节数量	(4)
二、环节形状	(5)
三、环节划分方法	(5)
第三节 人体环节重量参数的测量研究与统计模型	(7)
一、尸体解剖法	(7)
二、活体测量法	(9)
三、数学模型法	(12)
四、物理模拟法	(17)
第四节 人体整体重量参数的测量研究与统计模型	(17)
一、人体整体重量参数的测量方法	(17)
二、人体整体重量参数的统计模型	(18)
第五节 人体环节重量参数的应用现状	(19)
一、参数应用的一般原则	(19)
二、参数应用的现状分析	(20)
第六节 人体环节重量参数测量研究的发展趋势与不足方面	(21)
一、发展趋势	(21)
二、不足方面	(22)

第二章 选题依据与研究流程	(24)
第一节 选题依据	(24)
第二节 研究流程	(25)
第三章 基于平衡板人体运动环节重量参数测量理论的基本概念	(27)
第一节 平衡板测量理论的提出	(27)
一、平衡板测量概述	(27)
二、平衡板测量方案选择	(28)
第二节 人体运动环节(链)概念的引入	(31)
第三节 重量矩参数的增补	(32)
第四章 基于平衡板人体运动环节(链)重量参数的测量原理	(33)
第一节 环节(链)重量矩平衡板的测量原理	(33)
一、运动环节(链)重心与人体总重心之间的联动关系	(33)
二、总重心圆原理	(35)
三、总重心圆的物理意义	(35)
四、总重心圆原理的延拓	(39)
五、总重心圆半径的计算	(39)
第二节 环节(链)重心平衡板的测量原理	(41)
一、重心位置测量原理示意图	(41)
二、重心位置测量原理的生物力学分析	(42)
第五章 平衡板的研制与测量原理的验证	(46)
第一节 R-Ⅱ型平衡板的研制与测量原理的验证	(46)
一、R-Ⅱ型平衡板的研制	(46)
二、R-Ⅱ型平衡板仪器精度的检验	(55)

三、R-II型平衡板测量原理的验证	(61)
第二节 R-I型平衡板的研制与测量原理的验证	(62)
一、R-I型平衡板的研制	(62)
二、R-I型平衡板仪器精度的检验	(66)
三、R-I型平衡板测量原理的验证	(68)
第三节 R-II型、R-I型两种平衡板组合精度的检验	(70)
第六章 基本人体模型运动环节重量参数的理论推算	(73)
第一节 基本人体模型的构建	(73)
一、基本人体模型拓扑构型的描述	(73)
二、人体运动环节链的划分	(75)
第二节 基于平衡板人体运动环节链重量参数的理论推算	(76)
一、人体运动环节链重量矩的理论推算	(76)
二、人体运动环节链重量参数的理论推算	(77)
第三节 封闭环节重量参数的理论计算	(77)
第七章 细化人体模型环节重量参数的最优化计算	(80)
第一节 细化人体模型概述	(80)
第二节 最优化理论的引入	(81)
一、一般形式	(81)
二、算 法	(82)
第三节 细化人体模型环节重量参数的最优化计算	(83)
一、目标函数的建立	(84)
二、约束条件的确定	(86)
三、最优化算法的实现	(88)
第八章 基于R-II型平衡板人体总重心圆的测量失真 分析	(89)
第一节 基于R-II型平衡板人体总重心圆测量失真的理论 分析	(89)

一、人体总重心圆测量失真的原因分析·····	(89)
二、人体总重心圆测量失真的控制因素分析·····	(91)
第二节 R-II型平衡板重心点测量偏差的实验研究·····	(93)
第三节 R-II型平衡板重心点测量偏差所引起的总重心圆 失真分析·····	(95)

第九章 测量对象与方法····· (101)

第一节 测量对象·····	(101)
第二节 测量方案·····	(102)
一、测量内容·····	(102)
二、测量方法·····	(103)
三、测量现场布置·····	(107)
四、静态图像分析系统·····	(107)
第三节 测量程序·····	(111)
一、基于 R-II型平衡板测量人体环节(链)重量矩·····	(111)
二、基于 R-II型平衡板和图像采集系统测量人体总 重心·····	(111)
三、基于 R-I型平衡板测量人体环节(链)重心半径·····	(112)
四、人体形态参数测量·····	(112)

第十章 测量结果与分析····· (115)

第一节 图像解析与平衡板测量人体总重心的对比·····	(115)
第二节 平衡板测量与最优化计算环节(链)重量参数的对比 ·····	(118)
第三节 平衡板测量与模型计算环节(链)重量矩的对比·····	(119)
第四节 平衡板测量人体两侧环节(链)重量参数蹬对比·····	(121)
第五节 平衡板测量与模型计算环节(链)重量参数的对比 ·····	(125)

第十一章 结论与建议	(130)
第一节 结 论	(130)
一、平衡板测量理论的构建	(130)
二、测量仪器的研制	(131)
三、最优化原理的引入	(131)
四、人体环节参数的测量	(132)
第二节 建 议	(132)
一、对仪器改进的建议	(132)
二、对测量方法的建议	(133)
参考文献	(134)
附 录	(143)
后 记	(154)

第一章 绪 论

第一节 人体重量参数概述

一般来讲,人体的基本物理参数包括两类:一类是把人体整体及环节的质量、质心位置、转动惯量及转动半径等称为人体惯性参数;另一类是把人体整体及环节的长度、宽度和围度等称为人体形态参数。由于其在运动生物力学、工效学及相关学科的基础性地位,长期以来对人体基本物理参数的测量研究一直倍受人们的关注。其中,人体形态参数和人体整体的惯性参数均较易测量,前者可依据人体表面的骨性标志进行测量,Dempster(丹普斯特,1955,1959)^{[56][57]}曾确定过环节长度及关节重心位置与解剖标志点之间的关系;后者可采用一些经典的物理方法进行测量^[14]。

对人体环节的惯性参数进行测量,是一个既难解决而又非常重要的课题,Ackland(1988)^[32]就曾经指出:人体环节惯性参数是任何人体动力学分析的基石。近一百多年来各国的专家学者探索了多种多样的方法对人体环节的惯性参数进行测量,取得了丰硕的成果(Contini, 1972^[50]; Miller and Nelson, 1973^[99]; Hay, 1973, 1974^{[70][71]}; 李良标, 1991^[14]; 郑秀媛等, 1986, 1998^{[27][29]})。

人体的形态结构和质量分布具有鲜明的个体性,近一百多年来人们一直在探索能够真实地反映个体特征的环节惯性参数测量方法。虽历经百年,却进展缓慢,目前仍是一个极具研究价值且富挑战性的研究课题,具有重要的学术价值和应用背景。

为了突出本研究的主旨,我们把人体惯性参数的质量部分称为重量参数,即重量、重心位置,并包括后续要增补的环节重量矩。著名的加拿大生物力学专家 David A. Winter(戴维·温特,1990)在《人体运动的生物力