

运动生物力学

实验与习题

◎ 刘学贞 主编



北京体育大学出版社

运动生物力学实验与习题

主 编：刘学贞
副主编：刘 卉
编 委：李世明
王向东

北京体育大学出版社

责任编辑 秦德斌
审稿编辑 熊西北
责任校对 黄 强
责任印制 陈 莎

图书在版编目(CIP)数据

运动生物力学实验与习题/刘学贞等主编. - 北京:北京体育大学出版社,2009.7
ISBN 978-7-5644-0187-0

I. 运… II. 刘… III. 运动生物力学-实验-高等学校-教学参考资料 IV. G804.6-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 104300 号

运动生物力学实验与习题 刘学贞 等主编

出 版 北京体育大学出版社
地 址 北京海淀区信息路 48 号
邮 编 100084
邮 购 部 北京体育大学出版社读者服务部 010-62989432
发 行 部 010-62989320
网 址 www.bsup.cn
印 刷 北京市昌平阳坊精工印刷厂
开 本 850 × 1168 毫米 1/32
印 张 4.75

2009 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

定 价 10.00 元

(本书因装订质量不合格本社发行部负责调换)

前 言

运动生物力学课程主要由理论教学和实验教学两部分组成，理论教学主要是通过各种教学方法把理论知识传授给学生，但运动生物力学是力学，对基本概念、基本知识必须深刻理解、反复琢磨，最好的办法是配有一定量的习题，从不同角度加深对概念的理解，全面掌握知识。实验教学则是培养学生的实际操作能力，验证已学过的理论知识，掌握基本的科学研究方法，提高理论联系实际的能力，对学生学习运动生物力学以及今后的科学研究工作具有重要意义。

随着现代科学的发展，实验设备不断更新，价格也在提高，目前体育院校普遍存在着实验设备不足的问题。因此，在本书的编写过程中，在实验内容的安排上留有较大的可供选择的余地。对于基本传统的实验，要求每人亲自操作记录、分析数据，写出试验报告；对于大型的或我们不具有的仪器我们安排了演示实验，通过参观、图片幻灯介绍，使学生了解这些仪器的使用及实验的全过程，从而使所开设的实验课程更能符合时代发展的需要。

本书的实验部分共有 15 个实验，其中：1、3、4、8、11、12、13 等 7 个实验要求每人掌握操作过程，并能运用所学知识

分析结果。其他一部分需要集体观看教师操作；一部分需要通过幻灯、图片观看。

本书习题部分根据现用的统编教材，分为五章，每章先概括本章主要内容，再总结出每章的习题，习题类型有名词解释、填空、是非、简答和详答题。最后有3份模拟试题。

本书是统编教材《运动生物力学》的配套教材，希望通过使用本书使学生学习运动生物力学时，更感性，更直观，更扎实；对今后的教学、科研工作具有重要意义。

本书由北京体育大学、国家体育总局科研所联合完成。主编为刘学贞；副主编为刘卉；参加编写的有李世明、王向东。书中有不当之处，敬请读者批评指正。

编著者

2007年6月于北京

目 录

前 言	(1)
第一部分 运动生物力学实验	(1)
实验一 人体一维重心测量	(1)
实验二 平衡板测人体环节重量矩(演示)	(4)
实验三 绘制人体运动简图	(7)
实验四 照片上测算人体重心	(10)
实验五 平面定点拍摄	(13)
实验六 三维定点拍摄	(17)
实验七 平面跟踪拍摄	(20)
实验八 运动图像解析——跑步动作下肢关节坐标 及关节角度的测定	(23)
实验九 多功能运动图像快速反馈系统演示	(26)
实验十 动量矩守恒原理和人体转动惯量实验	(30)
实验十一 在测力台上测定人体平衡稳定性	(32)
实验十二 原地纵跳支撑反作用力的测定与分析	(35)
实验十三 肌肉力学实验	(38)
实验十四 关节肌力矩测量	(40)
实验十五 QUALISYS-D 高速红外光拍摄(演示) ...	(46)

第二部分 运动生物力学习题	(54)
第一章 绪论	(54)
第二章 运动生物力学实用力学基础	(56)
第三章 骨、肌肉的生物力学及人体基本活动形式 ...	(73)
第四章 运动数据的采集与处理	(98)
第五章 运动生物力学研究方法	(105)
第六章 动作技术的生物力学	(116)
 第三部分 模拟试题	 (126)
第一套模拟试题	(126)
第二套模拟试题	(133)
第三套模拟试题	(139)

第一部分 运动生物力学实验

实验一 人体一维重心测量

一、实验目的与任务

(一) 目的

1. 了解人体重心在运动生物力学研究中的意义。
2. 了解影响人体重心位置的因素。

(二) 任务

1. 掌握体重秤的使用。
2. 掌握利用一维重心测量板测定人体重心的方法。

二、实验仪器

- (一) 一维重心板。
- (二) 体重计。
- (三) 身高计等。

三、实验原理

重力是地球对物体的引力，人体整体所受的合重力的作用点就是人体重心的位置。在运动生物力学研究中，人体重心的轨迹、位移、速度以及加速度等是评价人体运动状况的重要指标，所以，掌握人体重心的测量方法是非常必要的。

依据静力学中的力矩平衡原理进行人体重心位置的测定（图1），设板重 W_B ，空板时秤的读数为 N_0 ，人的体重为 W_C ，人躺在板上后（两足紧贴抵足板，足背屈）体重秤读数为 N ，则根据力矩平衡原理有：

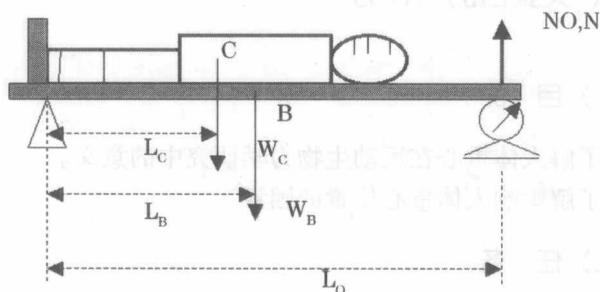


图1 人体一维重心实测示意图

$$\begin{aligned}
 \text{空板称量时:} & \quad W_B \cdot L_B = N_0 \cdot L_0 \\
 \text{人躺在板上时:} & \quad W_B \cdot L_B + W_C \cdot L_C = N \cdot L_0 \\
 \text{整理得:} & \quad L_C = \frac{N - N_0}{W_C} L_0
 \end{aligned}$$

为了便于比较，可计算人体总质心的相对高度，即质心绝对高度与身高的比值。

一般来说,人体重心的位置受人体体型、性别、年龄等因素的影响,长期从事运动训练也可引起人体重心位置的改变。

说明:也可在空板时将磅秤读数调为零,即 $N_0 = 0$, 则公式变为:

$$L_c = \frac{N \cdot L_0}{W_c}$$

四、实验步骤

- (一) 体重计、身高计赤足测量每人的体重、身高。
- (二) 安装好一维平衡板,并记录空板时磅秤的读数 N_0 。
- (三) 测量每人以下 4 种不同姿势的磅秤读数:

1. 仰面平躺;
2. 双臂前平举;
3. 双腿成直角;
4. 双臂前平举且一腿成直角。

(四) 据上述原理和测量结果,分别算出不同姿势的人体重心高度、相对重心高度。

(五) 据测量结果(表 1)并写出实验报告。

表 1 人体一维重心测量记录表

姓名_____, 身高_____厘米, 体重 W_c _____公斤, 空板时磅秤读数 N_0 _____公斤			
编号	磅秤读数	绝对重心高度	相对重心高度
1			
2			
3			
4			

五、注意事项

(一) 以上各种测量均应精确到各仪器的最小读数。计量时长度单位为厘米，重量单位为公斤。

(二) 在一维平衡板上所进行的各种姿势的称重测量，均应在人体保持静止不动的状态时进行测量。

实验二 平衡板测人体环节重量矩（演示）

一、实验目的

- (一) 了解人体环节重量矩的物理意义。
- (二) 了解人体环节重量矩的直接测量方法。

二、实验仪器

R-II 型平衡板（图 2，包括称重测量部分和坐标测量部分），计算机等。

三、实验原理

人体环节重量矩是指人体环节重量与环节重心半径的乘积，它在一定程度上反映了人体的形态结构和质量分布特征。利用二维平衡板可以方便地测量出人体环节的重量矩。

利用平衡板虽然无法直接测量人体环节重心的运动，但却可

— 4 —

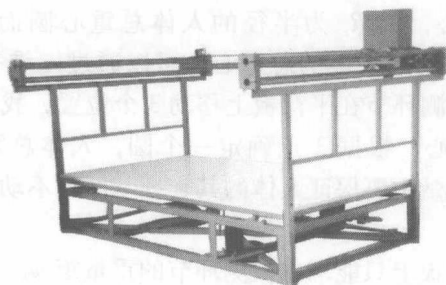


图2 R-II型平衡板实物图

以直接测量人体总重心的运动。鉴于此，我们首先推导环节重心与人体总重心之间的联动关系，然后通过二维平衡板上测量的人体总重心的运动来间接计算环节重心的运动。

设想在一个二维平衡板上建立平面直角坐标系 $O-xy$ ，如图3所示，人体以不同的姿势躺于平衡板上。我们在（图3）中讨论人体环节重心与人体总重心之间的联动关系。

如图3所示，被测环节重心（ B_1 、 B_2 、 B_3 为被测环节重心所处的三个不同位置）与人体总重心（ C_1 、 C_2 、 C_3 ）之间存在着如下的联动关系，即：当运动的人体环节重心绕关节的瞬时转动中心（ O ）运动的轨迹为圆（以 O 为圆心，以 r_b 为半径）时，则总重心的运动轨迹也是一个圆（以 Q 为圆心，以 R_c 为半径），前者称为运动环节重心圆，后者称为总重心圆。并且存在着如下的关系：

$$W_c \cdot R_c = w_b \cdot r_b$$

上式表明人体总重量 W_c 与人体总重心圆半径 R_c 的乘积等于运动环节重量 w_b 与运动环节重心半径 r_b 的乘积，即运动环节的重量矩 $w_b \cdot r_b$ 。这样，我们就可以通过测量上式的左侧而得到等式的右侧。上式左侧的人体总重量 W_c 可以通过体重计得到，人体总重心圆的半径 R_c 可以通过（图3）所示的 C_1 、 C_2 、 C_3 确定

的以 Q 为圆心, 以 R_c 为半径的人体总重心圆而求得。因为, C_1 、 C_2 、 C_3 三点是人体的总重心, 可以通过二维平衡板方便地测出。只要待测环节在平衡板上移动 3 个位置, 我们就可以得到 3 个人体总重心, 根据 3 点确定一个圆, 人体总重心圆即可求出。只是在测量中要保证人体的其它环节固定不动, 否则就测量不准确。

在该平衡板上只能求出被测环节的重量矩 $w_b \cdot r_b$, 无法从中分解出环节重量 w_b 和环节重心半径 r_b 。

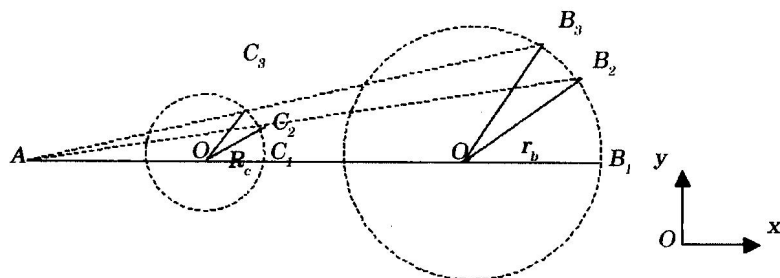


图3 基于平衡板环节重心与人体总重心联动关系示意图

注: B_1 、 B_2 、 B_3 分别为运动环节重心在平衡板上的三个不同位置;
 C_1 、 C_2 、 C_3 分别为人体总重心相应于运动环节运动的三个不同位置;
 A 为所有不动环节重心; Q 为人体总重心圆圆心

四、实验步骤

- (一) 调试好 R-II 型平衡板测量系统。
- (二) 用手摇把带动偏心轮机构升高平衡板板面, 使板面与下面的力传感器脱离。
- (三) 受试者上板, 以某一初始姿势躺于平衡板上; 并在受试者被测环节的纵轴的远侧点贴一个标志点。

(四) 再利用手摇把带动偏心轮机构降下平衡板板面, 使板面完全压在下面的力传感器上。

(五) 计算机进行两步操作: 一是称重测量, 可计算出人体总重心的坐标; 二是坐标测量, 可记录被测环节标志点坐标。

(六) 使受试者被测环节绕着关节转动到第二个位置, 重复(四)的操作。

(七) 使受试者被测环节绕着关节转动到第三个位置, 重复(四)的操作。

(八) 利用三个人体总重心坐标可以计算得到人体总重心圆, 并进一步计算得到被测环节的重量矩; 利用三个被测环节标志点的坐标可以计算得到被测环节的瞬时转动中心。

五、注意事项

(一) 在受试者转动被测环节时, 要注意保证其它不动环节的固定不动。

(二) 在每次测量时, 均需要在受试者被测环节转动停止、整个人体处于静止状态时才进行称重测量和坐标测量。

实验三 绘制人体运动简图

一、实验目的

(一) 学习利用电影图片确定人体关节中心点、绘制人体运动简图的方法。

(二) 学习根据人体运动简图对人体运动进行初步分析。

(三) 加深对运动技术进行运动学分析的理解。

二、实验原理

电影图片记录了人体运动的连续过程, 将电影图片上人体主要关节中心点标记出来, 填在(表2)中。并按人体的结构用单线连接相邻关节中心点, 构成人体运动简图。简图表明了运动中各瞬间人体的姿势, 根据简图可测量出人体各环节的相对位置和各主要关节的角度, 是初步分析运动学特征的重要依据。

表2 绘制人体运动简图关节中心坐标

测量点 名称	坐标		测量点 名称	坐标	
	X	Y		X	Y
头					
左肩			右肩		
左肘			右肘		
左腕			右腕		
左手			右手		
左髋			右髋		
左膝			右膝		
左踝			右踝		
左趾尖			右趾尖		
左足跟			右足跟		
躯干上 测量点			躯干下 测量点		

三、实验仪器

一组运动图片、细针、铅笔、直尺等。

四、实验步骤

(一) 每人拿到如下一组图片 (图 4)。

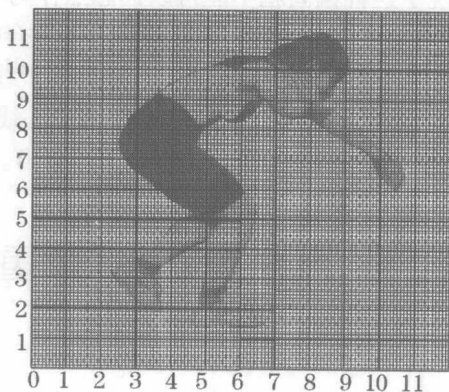


图 4 绘制人体运动简图关节中心坐标

(二) 用细针在人体各关节中心点上刺孔。

(三) 重复上述操作, 按图片顺序依次绘出人体运动过程中各姿势的单线图。

(四) 从上述坐标纸上读出人体各关节中心的坐标值, 并填入 (表 2) 中。

(五) 若要得到放大的人体运动简图, 可将人体各关节中心的坐标值按给定的比例放大 (即将各数据均乘以比例系数), 然后, 在另一坐标纸上建立坐标轴, 将放大后的坐标值依次在坐标纸上标出,

依据人体结构连接各关节中心就得到了放大的人体运动简图。

五、注意事项

(一) 实验前操作者应当熟悉人体各关节中心在电影图片上的体表位置,以便准确判断人体各关节中心点。

(二) 对于关节中心体表贴有标志点的图片,在判断关节中心时要注意发现标志点是否随人体姿势的变化而偏离了原来的投影面。如果发现了这种偏离就不能再以标志点作为关节中心点。

(三) 当左右肩或髋关节中心点在图片上不重合时,应将左右关节中心用直线相连,并以连接线的中点作为躯干线的两个端点。也可用颈部同躯干的交界点来替代上述肩关节中心线的中点。

(四) 当有关节点被遮挡时,只有靠估计点出。

实验四 照片上测算人体重心

一、实验目的

- (一) 学习利用照片测算人体重心的方法。
- (二) 加深对影像解析计算人体重心原理的理解。

二、实验原理

既然人体重心是人体各环节所受重力的合力作用点,那么知道了人体各环节的相对重量和重心位置,就可以利用下式计算出人体重心的坐标(因为每一张图片都是平面的,所以在一张图