

·运动人体科学·

人体总重心圆测量失真的理论与实验研究

李世明¹, 金季春²

(1. 烟台师范学院 体育学院, 山东 烟台 264025; 2. 北京体育大学 运动人体科学学院, 北京 100084)

摘要:根据二维平衡板上被测环节的移动与人体总重心的变化之间的联动关系,测得3个人体总重心点可以确定1个人体总重心圆。二维平衡板测量人体重心点的误差可造成人体总重心圆的严重失真。可以通过增加被测环节的移动幅度和对被测环节进行配重以增加人体总重心圆的圆心角和半径来减少失真。利用《人体总重心圆失真分析软件》通过调整总重心圆半径和圆心角的大小来控制人体总重心圆的失真程度,可根据计算结果来选择实验方案。

关键词:人体; 总重心圆; 测量失真

中图分类号:G804.64 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-7116(2004)04-0042-04

Study on the distortion of human body general gravity center circle

LI Shi-ming¹, JIN Ji-chun²

(1. School of Physical Education, Yantai Normal University, Yantai 264025, China;

2. College of Sports Science of Human Body, Beijing University of PE, Beijing 100084, China)

Abstract: Based on the linkage relation of measured segment and gravity center, the study obtained one circle of gravity center by measuring three locations of general gravity center. The error of measuring the location of general gravity center would result in the serious distortion of the general gravity center circle. It was settled by increasing the extent of moving segments and adding extra weight to increase central angle and the radius of the circle. Applying the software of analyzing distortion of circle of general gravity center, we might select the experimental project by adjusting the radius and central angle to control the distortion.

Key words: human body; general gravity center circle; distortion

利用二维平衡板根据力矩平衡方程来测量人体总重心的位置,历来就是运动生物力学教材^[1-4]中不可或缺的一个重要内容。在此基础上,我们根据运动环节重心与人体总重心之间的联动关系,也就是说人体总重心的位置会随着人体的某个环节的移动而相应移动的原理,可以进一步测得人体环节的重量矩,即环节重量与环节重心半径(重心位置)的乘积。其测量的方法是让人体的某个环节在平衡板上移动3个位置,人体总重心就会随之移动3个位置,也就是说二维平衡板可以测得3个总重心的位置,根据平面几何的3点确定一个圆的原理,已测得的3个总重心点可以确定一个圆,我们把它称之为人体的总重心圆。根据人体总重心圆可以求得人体移动环节的重量矩。人体总重心圆的理论是确凿无疑的,但是,在平衡板上进行实测时却会产生严重的人体总重心圆失真,以至于我们无法得到准确的人体移动环节的重量矩。为此,我们在深入分析人体总重心圆测量失真产生的原因的基础上,探讨了总重心圆测量失真的控制因素,通过开发《人体总重心失真分析软件》提出了减少失真的可行

方案,以便使人体总重心圆原理能够真正用于测量人体环节的重量矩。

1 人体总重心圆产生的基本原理^[5]

在一个二维平衡板上建立平面直角坐标系 $O-xy$ (如图1所示)。人体以不同的姿势躺在平衡板上。

图1中 B_1, B_2, B_3 分别为运动环节重心在平衡板上的3个不同位置; C_1, C_2, C_3 分别为人体总重心相应运动环节运动的3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。如图1所示运动环节重心 (B_1, B_2, B_3) 与人体总重心 (C_1, C_2, C_3) 之间存在着如下的联动关系: 当运动环节重心绕与所有不动环节相接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:

$$m_c \cdot r_c = m_b \cdot r_b \quad (1)$$

式(1)表明人体总质量 m_c 与人体总重心圆半径 r_c 的乘积等

收稿日期: 2003-11-07

作者简介: 李世明(1969-), 男, 副教授, 博士, 研究方向: 运动生物力学。

于运动环节重量 m_b 与运动环节重心半径 r_b 的乘积,即运动环节的重量矩 $m_b \cdot r_b$ 。这样,就可以通过测量式(1)的左侧而得到式(1)的右侧。式(1)左侧的人体总重量 m_c 可以通过体重计得到,人体总重心圆的半径 r_c 可以通过如图 1 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。

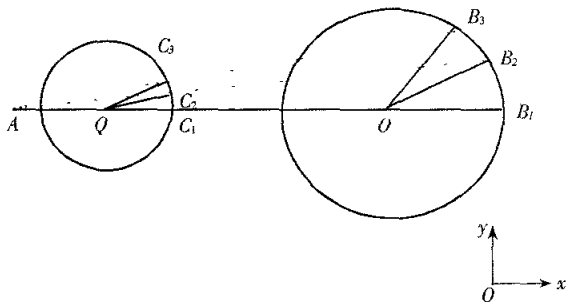


图 1 人体总重心与运动环节重心联动关系示意图

2 人体总重心圆测量失真的原因

测量是通过实验手段获得被测对象的量值的一个操作过程^[6]。在测量过程中必然有误差产生,因此需要判断误差的大小并采取相应的手段最大程度地减少误差,以避免测量结果达不到实验要求的精度。

二维平衡板测量的核心是确定 3 个总重心点的位置,并利用所测量的 3 个点来确定 1 个总重心圆。在反复的实验过程中发现,总重心点的测量对仪器的精度要求非常高,也就是说,测量误差能够造成实验数据的严重失真。因此,有必要对平衡板的测量误差及其规律进行分析,以采取相应的手段减少误差。

过 3 个点可以确定 1 个圆的数学规律是确定无疑的,在本研究中我们就是要利用 3 个重心点所确定的总重心圆的半径来计算被测环节的重量矩[见式(1)],但是,在测量 3 个重心点的位置时不可避免地会产生误差,这些误差对其所确定的总重心圆影响程度之大,是我们经历了多次失败后、不断地探究失败的原因才意识到的。而且,相同的绝对误差在不同的测量情况下对确定总重心圆的影响程度差异很大,如图 2 所示。

在图 2 中, l_0 、 l_1 分别为线段 C_0C_3 、 C_3C_1 的垂直平分线,因而, l_0 与 l_1 的交点 O_1 点就是 C_0 、 C_3 、 C_1 3 点所确定的圆的圆心;同理, l_2 是 C_3C_2 的垂直平分线, O_2 是 C_0 、 C_3 、 C_2 3 点所确定的圆的圆心。对上述两个不同的圆而言,如果有相同的误差产生,则对所确定的圆的影响是不同的。譬如在图 2 中,固定 2 个圆的共同点 C_0 、 C_3 位置不变,均按相同的方向和幅度移动第 3 点分别到 C_1' 、 C_2' 两点,即 C_1C_1' 和 C_2C_2' 平行且相等, l_1' 、 l_2' 分别为线段 C_3C_1' 、 C_3C_2' 的垂直平分线,由图示可见,由于第 3 点移动而改变的两个圆的圆心 O_1' 、 O_2' 均与原来的圆的圆心 O_1 、 O_2 发生了较大的偏离,且同样情况下原来的 3 点距离越近的新圆的圆心偏离原位

置越远,即 O_2O_2' 明显大于 O_1O_1' 。

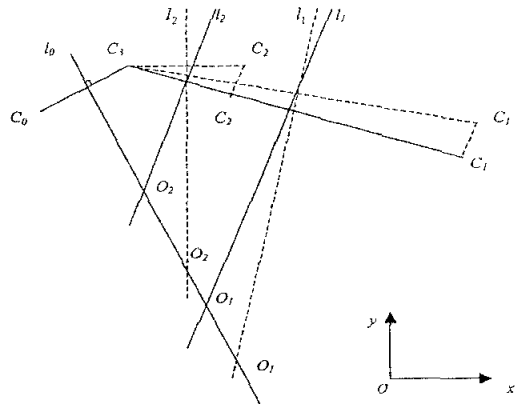


图 2 不同情况下相同误差对总重心圆影响程度不同的示意图

由此可知,为了最大程度地减少测量结果的失真现象,我们认为可以尽可能地增大二维平衡板所测的 3 个重心点之间的距离,以控制仪器的测量误差对总重心圆的影响程度,使计算结果真实可靠。

3 人体总重心圆测量失真的控制因素

如何增大 3 个重心点之间的距离是解决问题的核心,下面我们分析有哪些因素影响 3 个重心点之间的距离大小(见图 3)。

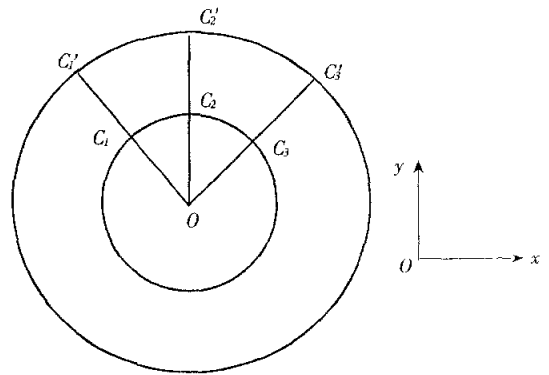


图 3 影响 3 个重心点之间距离的因素分析示意图

图 3 为 2 个同心圆,从图中可以看出,影响 3 个重心点之间直线距离的因素有 2 个:一是圆心角,二是半径。在半径恒定的情况下,3 个重心点对应的圆心角愈大则 3 点间距离愈大;反之,在圆心角恒定的情况下,圆的半径愈大则 3 点间的距离同样愈大。

那么,采取何种手段才能增大总重心圆的半径和 3 点所对应的圆心角呢?我们需要从人体总重心圆的测量原理及其测量过程中寻找解决问题的方案。

对增大圆心角的讨论:结合图 1 和式(1)可知,运动环节

重心圆的半径与总重心圆的半径始终是相互平行的,也就是说,3个重心点所对应的圆心角与运动环节上测量点的3个位置所对应的圆心角相等,因此,要增大3个重心点所对应的圆心角可以通过增大运动环节在平衡板上移动的距离来实现。

对增大半径的讨论:根据式(1)可知,要增大总重心圆的半径需要增大运动环节的重量矩与人体体重的比值。很显然,人体体重是固定的且人体环节的重量矩是无法增大的,因此,需要考虑给人体环节配重以增大实际运动部分的重量矩,事实上,如果假设正好把配重放在被测人体环节的重心点的话,增大总重心圆的半径就是通过增大运动部分的重量所占全部重量的比例。

为了能够控制运动环节需要移动的幅度和需要配重的大小,首先针对我们所使用的二维平衡板的精度进行测量,即测量二维平衡板测量的总重心点的偏差大小,而后,根据这个偏差大小研制《人体总重心圆失真分析软件》,可根据该平衡板测量的人体总重心圆的失真情况计算运动环节需要移动的幅度和需要配重的大小。

4 人体总重心测量失真的实验

为了获得所采用的二维平衡板在测量总重心点的位置时产生的偏差情况,我们对该平衡板进行了重心点测量偏差的实验,考虑到可能测试对象的体重大小,选择了50、60、70、80和90 kg 5个质量级别进行实验,每个级别测量20次,共计100次(见表1)。

表1 人体重心点测量偏差实验数据 mm

统计量	50 kg	60 kg	70 kg	80 kg	90 kg
\bar{x}	0.098 7	0.030 9	0.032 6	0.015 2	0.015 3
s	0.0452	0.018 7	0.023 1	0.008 3	0.007 7
s_x	0.010 1	0.004 2	0.005 2	0.001 9	0.001 7

选择重心点测量偏差最大的50 kg级别所进行的20次测量作为进行参数估计的样本,以尽可能地包括偏差最大的量值。所选50 kg级的样本的标准误 $s_x = 0.0101$ mm,选择总体参数区间估计的置信水平 $1 - \alpha = 99\%$,得平衡板测量重心点偏差均值的99%置信区间为(0.072 642 mm, 0.124 758 mm),我们选择置信区间的上限0.124 758 mm作为我们进行总重心圆失真分析的重心点偏差量值,以充分估计由于3个重心点中的1个产生测量偏差而造成的总重心圆计算的失真。

5 人体总重心圆失真分析软件的开发

我们在对所使用的二维平衡板测量重心点的偏差大小进行了实验研究之后,对3个重心点中的1个重心点发生移动而另外2个点位置不变的情况所引起的总重心圆失真程度进行分析,以便于确定配重的大小和人体环节移动的幅度(见图4)。

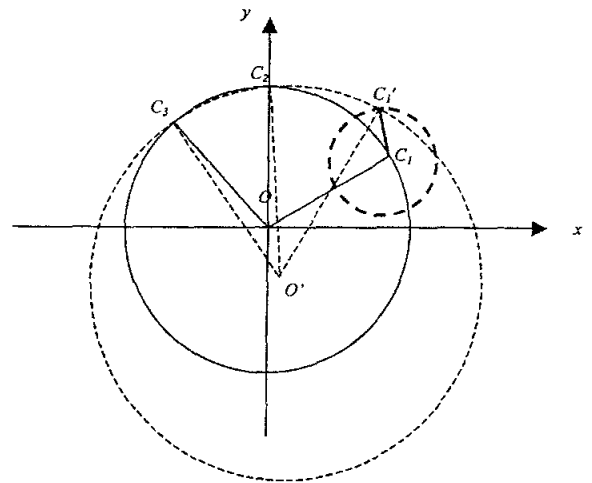


图4 平衡板1个重心点偏差所引起的总重心圆失真示意图

如图4所示, C_1 、 C_2 、 C_3 所确定的圆的圆心为O点, C_2 、 C_3 两点位置不变, C_1 可偏离到以 C_1 点为圆心、以 C_1C_1' 为半径的圆周内包括圆周上的任何一点(C_1C_1' 取最大偏离估计值0.124 758 mm)。 C_1' 、 C_2 、 C_3 所确定的失真圆的圆心为 O' 点,下面我们根据图4分析由于平衡板在测量过程中1个重心点产生偏差所造成的总重心圆的失真程度。 C_1' 点可以偏离到圆周内包括圆周上的任意一点上,也就是说这个偏离点可以与不动的 C_2 、 C_3 2点形成无数个失真圆,为了能够充分地估计到总重心圆的失真程度,需要寻找失真程度最大的失真总重心圆。经过反复研究本问题的特征和难点,为避开繁琐的数学推导和复杂的理论论证,我们编制了《总重心圆失真分析软件》,运用计算机以 l_0 为步长在偏差可能的最大圆周上搜索以求得最大失真总重心圆。我们采用 Visual Basic 6.0 语言^[7,8]开发这个软件。利用该软件可以通过控制人体总重心圆允许的失真大小来确定运动环节的移动幅度及配重大小。

6 结论

(1)在二维平衡板上被测环节的移动与人体总重心的变化之间存在一个联动关系。测得3个人体总重心点可以确定1个人体总重心圆,通过计算人体总重心圆的半径可以计算被测的运动环节的重量矩。

(2)二维平衡板测量人体总重心点的误差能够造成人体总重心圆的严重失真。其原因是所测3个总重心点之间的距离非常近,可以通过增加被测环节的移动幅度和对被测环节进行配重以增加人体总重心圆的圆心角和半径来增加3个点的距离。

(3)对所使用的二维平衡板进行测量误差实测可以通过参数估计确定重心点的偏差范围,并基于偏差最大值研制《人体总重心圆失真分析软件》,使该软件具有针对性和实效性。

(4)利用《人体总重心圆失真分析软件》可以通过控制人

体总重心圆允许的失真大小来确定运动环节的移动幅度及配重大小。

参考文献:

- [1] 李良标,吕秋平.运动生物力学[M].北京:北京体育学院出版社,1991:22-68.
- [2] 扎齐奥尔斯基 B M,阿鲁因 A C,谢鲁扬诺夫 B H[前苏联].人体运动器官生物力学[M].吴忠贯译.北京:人民体育出版社,1987:17-44.
- [3] 郑秀瑗,贾书惠,侯曼,等.运动生物力学进展[M].北京:国防工业出版社,1998:81-130.
- [4] David A. Winter. Biomechanics and Motor Control of Human Movement[M]. New York: A Wiley - Interscience Publication, John Wiley & Sons, Inc, 1990:51-74.
- [5] 金季春.利用平衡板测人体运动环节重量和重心位置方法的理论推导[J].北京体育大学学报,1998,21(2):1-7
- [6] 沙定国.实用误差理论与数据处理[M].北京:北京理工大学出版社,1993:26-32.
- [7] 蒋斌. Visual Basic 6.0 程序设计[M].北京:电子工业出版社,2001.
- [8] 刘炳文.精通 Visual Basic 6.0 中文版[M].北京:电子工业出版社,1999.

[编辑:周威]

参考文献的著录规则

所谓“参考文献”,是指“文后参考文献”。其概念是,为撰写文章而引用的有关图书资料。按国家标准规定,期刊中凡是引用他人(或前人)的观点、数据、方法和材料等,都要对它们在文中出现的地方予以标明,并在文末列出参考文献表。这项工作就叫做参考文献著录。

1 参考文献的著录原则

(1) 著录参考文献要精选,仅著录作者亲自阅读过并在论文中直接引用的文献,而且应是最新的文献(即近3年内的),无特殊需要不必罗列众所周知的教科书中的知识或陈旧资料;

(2) 只著录公开发表的文献(即通过正式出版社、具有CN号的期刊或报纸、网页、软件发表),未公开发表的文献,不宜列入文后参考文献表中;

(3) 著录参考文献要采用国家标准要求的格式。

2 参考文献著录方法和要求

国家标准 GB7714-87《文后参考文献著录规则》中规定采用“顺序编码制”和“著者-出版年制”2种。本刊采用科技期刊较普遍采用的“顺序编码制”格式。

(1) 文内标注格式:在引文处,对引用的文献,按它们在论文中出现的先后用阿拉伯数字连续排序,将序号置于方括号内,并视具体情况把序号作为上角标或作为语句的组成,例如:

……一种观点认为体育与政治密切相关。1954年前苏联专家凯里舍夫^[1]“体育的阶级性历史性”的观点。……上个世纪60年代我国学者提出“体育是文化教育的一部分,是和各个社会的经济基础相适应的一部分”^[2]……

……文献[11]中所提供的方法,可以作为高校体育教学改革的有效方法加以推广……

这里[1]、[2]等不是语句的组成,用上角标形式标示,[1]是出现文献作者时,标在作者姓名的右上角;[2]是不出现作者,标在引用部分末尾的右上角。[11]则是作为语句成分时的标示格式。

(2) 文后参考文献表的著录格式及示例:

① 专著

[顺序号](按在论文中出现先后排序)作者姓名(等于或少于3名时全部列出,多于3名时列出前3名,后加“等”字).书名[M].版本(初版除外).出版地:出版社,出版年:起止页码.

示例:

[2] 游伯龙,黄书德.知人与决策[M].北京:煤炭工业出版社,1987:5-8.

② 专著中析出的文献

[序号]作者姓名.文章题目[A].见:原文献责任者.书名[C].版本.出版地:出版社,出版年:起止页码.

(下转第58页)