

SPORT

人体运动动作测量 与分析实践指导

陆阿明 张秋霞 主编



苏州大学出版社
Soochow University Press

江苏省高校优势学科建设工程项目资助

江苏省高校品牌专业建设工程资助项目

人体运动动作测量与 分析实践指导

主 编 陆阿明 张秋霞

苏州大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

人体运动动作测量与分析实践指导 / 陆阿明, 张秋霞主编. —苏州: 苏州大学出版社, 2017. 7

江苏省高校优势学科建设工程项目资助 江苏省高校品牌专业建设工程资助项目

ISBN 978-7-5672-2170-3

I. ①人… II. ①陆… ②张… III. ①运动人体测量学—高等学校—教学参考资料 IV. ①G804.49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 169434 号

人体运动动作测量与分析实践指导

陆阿明 张秋霞 主编

责任编辑 倪 青

苏州大学出版社出版发行

(地址: 苏州市十梓街 1 号 邮编: 215006)

宜兴市盛世文化印刷有限公司印装

(地址: 宜兴市万石镇南漕河滨路 58 号 邮编: 214217)

开本 700 mm×1 000 mm 1/16 印张 8.25 字数 135 千

2017 年 7 月第 1 版 2017 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5672-2170-3 定价: 25.00 元

苏州大学版图书若有印装错误, 本社负责调换

苏州大学出版社营销部 电话: 0512-65225020

苏州大学出版社网址 <http://www.sudapress.com>

主编简介

陆阿明,男,江苏苏州人,博士,苏州大学体育学院教授,博士研究生导师。中国体育科学学会运动生物力学分会委员、体质研究会委员,江苏省体育科学学会常务理事、运动生物力学专业委员会主任委员,苏州市体育科学学会理事长。主要从事运动生物力学、运动技术诊断与评价、人体运动控制等领域的教学科研工作。

张秋霞,女,江苏泰州人,博士,苏州大学体育学院教授,硕士研究生导师。美国宾夕法尼亚州立大学生物力学实验室访问学者。江苏省体育科学学会运动生物力学专业委员会秘书长,中国残疾人康复协会康复教育专业委员会常务委员,中国智慧体育-体育系统仿真专业委员会委员。主要从事运动生物力学、体育测量与统计等领域的教学科研工作。



编写说明

本书是体育类本科专业的实践指导和教学实验参考书,由陆阿明、张秋霞担任主编。第一、三、四章由陆阿明编写,第二、六章由张秋霞编写,第五、八章由毛晓锟编写,第七章由王国栋编写。

本书主要围绕人体运动动作测量与分析有关的基础理论和人体惯性参数的测量方法、人体运动的运动学和动力学参数的测量与分析及其应用、人体稳定性与协调性的测量与分析及其应用,以及人体肌肉活动的测量与分析及其应用等内容组织编写,目的是为体育专业本科学生在校期间或毕业后从事运动动作和运动技术教学、训练时能正确地开展相关参数的测量与分析,从而提高教学与训练的效果。书中部分内容可作为运动生物力学、康复运动生物力学、运动技术诊断与评价等课程的实验教学参考书。

由于编写时间仓促,加上编者对相关参数测量、分析与应用理解的局限,书中疏漏与错误在所难免,希望得到使用者的批评与指正。

编者



目 录

第一章 人体运动动作测量与分析概述	001
第一节 人体运动动作测量与分析的内容	001
第二节 人体运动动作测量与分析的一般方法	011
第二章 人体运动动作测量的误差与数据处理	017
第一节 人体运动动作测量的误差	017
第二节 人体运动动作测量的数据处理	020
第三章 人体惯性参数的测量与评价	032
第一节 人体惯性参数测量概述	032
第二节 人体惯性参数的测量方法	040
第三节 图片测量人体二维重心	042
第四章 人体运动的运动学参数测量与分析	046
第一节 人体运动的运动学参数	046
第二节 人体运动的运动学参数测量方法	051
第三节 人体运动的运动学参数测量与分析的应用	062
第五章 人体运动的动力学参数测量与分析	071
第一节 人体运动的动力学参数	071
第二节 人体运动的动力学参数测量方法	074
第三节 人体运动的动力学参数测量与分析的应用	081
第六章 人体稳定性的测量与分析	085
第一节 人体稳定性概述	085
第二节 人体稳定性的测量方法	089
第三节 人体稳定性测量与分析的应用	097

第七章 人体肌肉活动的测量与分析	100
第一节 肌肉力量测量	100
第二节 肌电的测量与分析	106
第八章 人体运动协调性的测量与分析	112
第一节 人体运动协调性概述	112
第二节 人体运动协调性的测量方法	114
第三节 人体运动协调性测量与分析的应用	123
主要参考文献	126



第一章 人体运动动作测量与分析概述

人体运动行为的产生是在中枢神经系统的支配下,通过骨骼肌的收缩和舒张实现的。从简单的运动动作到复杂的运动技术,其外在表现均受制于个体状况、环境条件,以及运动任务本身的要求。人体运动动作的测量与分析是指对个体完成运动动作或运动技术行为过程中的相关参数进行观察与测量,并与运动技术原理、他人完成相同运动动作与运动技术进行比较与分析,从而为体育教师、教练员纠正运动动作、预防运动损伤、提高运动技术水平服务。



第一节 人体运动动作测量与分析的内容

一、运动动作与运动技术

(一) 运动动作结构及其特征

在体育运动实践中,通常对人体完成的完整的特定动作,根据其固有的特点以及与其他动作的联系与区别进行命名,这样就有了许多的运动动作的名称及其表现形式。这种一个动作区别于另一个动作的特征,称为该动作的动作结构。它是区别不同动作以及正确动作和错误动作的依据。因此,人体运动动作测量与分析的基本单元即为运动动作,每个动作的动作结构不同。对人体运动动作进行测量与分析是体育教师、教练员的重要能力。只有具备区分不同动作、判别正确与错误动作的能力,才能有效实施运动动作教学,纠正错误动作。

动作结构是组成动作的要素,不同动作之间与正误动作之间的差异主要表现在动作的运动学和动力学两大方面,分别称为运动动作的运动学特征和动力学特征。运动学特征是指完成动作时的时间、空间和时空方面表现出来的形式或外貌上的特征,即完成动作过程中人体各关节、各环节(头、躯干、四肢)随时间变化所表现出来的空间差异;动力学特征则是指决定动作形式的各种力(力矩)相互作用的情况和特点,包括力、惯性和能量特征三个方面的差异。

1. 运动学特征

(1) 时间特征。时间特征反映的是人体运动动作与时间的关系,不



同动作的开始时刻与结束时刻、动作的持续时间等不同。例如,半蹲起立和深蹲起立两个动作,一般来说完成半蹲动作的时间要比深蹲动作的短一些。在对运动动作的时间要素进行测量与分析中,除了最基本的时间长短外,还应该关注动作的一些关键时刻、动作出现的频率等。例如,立定跳远时上肢的前摆和蹬伸结束的时刻应该同步,否则就可以判定未能有效或正确完成立定跳远动作。

(2) 空间特征。空间特征是指人体完成运动动作时身体各环节随时间变化所产生的空间位置改变情况。不同动作身体各环节的运动轨迹不同。例如,侧平举与前平举,上肢环节的空间移动路线不相同,因而构成了两个不同的运动动作。如果在完成运动动作过程中,某个环节没有按照动作的要求在空间移动,即构成了错误动作。

(3) 时空特征。时空特征是指人体完成运动动作时人体位置变化的快慢情况,它全面展示了动作的时间和空间特征。不同动作的时空特征不同,也就决定了动作形式的快、慢差异。例如,腿的摆动有快速摆动和缓慢摆动之分,不仅形成了不同的动作名称与动作差异,而且还是判定动作完成正确与否的要点。

2. 动力学特征

(1) 力的特征。人体运动是通过人体与环境的相互作用实现的,力是人体运动的根本原因。人体动作的实现是内力与外力共同作用的结果,外力表现在外部环境对人体的作用,内力中的肌肉力接受大脑皮质的控制,保证正确的动作表现形式。肌肉力是人体完成动作时唯一可控的主动动力,没有肌肉的适时收缩和舒张,就不可能产生任何人体的主动动作。肌肉力的大小、用力的时机决定了运动动作其他特征的表现方式。

(2) 能量特征。人体运动的实现是体内储存的生物能转化成外在的机械能,表现为人体运动时完成的功、能、功率,以及机械效率等。运动员与一般人完成相同动作表现出的差异与能量的利用效率有密切关系。在一定程度上,运动时的能量利用效率是判定动作完成优劣的重要依据。

(3) 惯性特征。人体运动中人体整体、环节以及运动器械的质量、转动惯量对运动动作具有一定的影响。例如,投掷轻标枪要比重标枪容易得多,就是由于重标枪的惯性大的缘故。



(二) 运动技术

1. 运动技术的概念

大量单一动作按一定规律组成成套的动作体系,叫作动作系统,在体育运动中一般称为运动技术。运动技术构成了人体整体有目的的运动行为,运动技术的合理性与运动行为的目的性是一致的,这是运动技术测量与分析的重要和关键内容。只有明确运动技术的环节目标和终极目标,才能分析运动技术中各动作完成的合理性,才能分析每个动作与整体技术之间的关系。运动技术的运动动作组成方式根据运动技术项目的不同而有严格的规定,并遵循着一定的原则。田径运动技术的动作组成是按照最合理的原则加以选择的,追求的是更高、更快、更强。体操运动中技术的动作组成往往是按比赛要求、规则规定选择的,追求的是高、难、新。在具有对抗行为的球类运动中,运动技术往往是不固定的,但许多基本的动作又是固定的,追求的是变化与控制。

2. 运动技术的分类

运动技术中的大量动作之间有复杂的相互关系。一方面,动作之间有相互帮助和相互促进的作用,使整个运动技术更加协调和完善;另一方面,动作之间也存在一定的相互干扰,通过改进技术动作以减小这种干扰作用是推动运动技术形成和发展的内因。另外,改变运动技术中动作的形式或组合,是体操、跳水等运动项目中技术创新的主要途径。根据动作组成的特点对运动技术进行划分,可以将体育运动中的运动技术分为四类。对每一类运动技术特点的掌握和运动技术中关键动作的认识是运动技术分析的主要内容之一。

(1) 周期性运动技术。以周期循环的规律出现的动作组合被称为周期性运动技术。例如,竞走、赛跑、游泳及速度滑冰等运动项目都属于周期性运动动作。周期性运动动作的组成有以下特点:① 动作的反复性和连贯性。动作周而复始、多次反复进行,其中每个动作周期内所包括的动作数量、性质和排列顺序都是一样的,每个动作周期的空间特征相同。② 动作的节律性。运动技术中,每个动作周期所占的时间比较固定,同时每个动作周期中的各个动作阶段的时间比例也比较固定,是该运动技术的时间特征。③ 动作的交互性。交互性表现为对侧肢体动作互换或上下肢体动作互换,前者如赛跑、速度滑冰等,后者如蛙泳等。④ 动作的惯性作用。运动在获得一定速度后会保持一定的惯性运动,是运动技术中动作比较连贯而有节律的原因之一。



(2) 非周期性运动技术。由各不相同的单一动作组合成的成套连续动作被称为非周期性运动技术。例如,器械体操中的成套动作,田径中的推铅球、投掷铁饼等都属于非周期性运动动作。非周期性运动技术的结构特点如下:① 动作具有相对的独立性。动作系中的每一个动作都有明显的开始和终了,并且是在很短的时间内完成的。② 动作具有复杂性和稳定性。运动技术由许多性质不同的单一动作组成,体现了其复杂性;而运动技术中的动作数量以及动作阶段性质、排列顺序和相隔时间都是固定的,显示出其稳定性。③ 动作之间的联系是人为的。各单一动作之间的联系是人为的组合。因此,在单一动作的结合上容易出现错误。

(3) 混合性运动技术。运动动作既有周期性成分,又有非周期性成分,这样的动作组合被称为混合性运动技术。混合性运动技术的结构特点为:① 两类动作成分相互制约。例如跳高动作中,助跑为周期性动作,跳跃为非周期性动作,前者为前驱动作,为后者创造一定的动力条件,并直接影响和决定着跳跃动作的最大功能效率。为实现运动技术的总目标,两者密切联系在一起。② 两类动作的结合部是运动技术的关键。例如,跳高动作中的起跳是助跑和跳跃的结合部,完成起跳动作比较困难且容易出现错误。在跳高中,起跳不仅要保持前驱动作获得的速度,而且还要为跳跃动作的肌肉爆发式工作做准备。

(4) 不固定运动技术。不固定运动技术是指既包含周期性动作又包含非周期性动作的复杂组合。它与混合性运动技术不同的是,两种动作的组合是复杂多变的。不固定运动技术主要有以下特点:① 运动技术复杂多变。例如一些球类项目中,环境条件复杂多变,要求运动员在完成运动技术时随机应变。② 固定和不固定相结合。运动技术中的一些基本动作比较固定,而由基本动作组成的运动技术不固定。

上述四种运动技术的主要特点如表 1.1 所示。

3. 运动技术的形成与发展

运动技术是指人们在运动中有效掌握和完成专门技术动作的能力。其形成除了需要个体能够完成一定数量的运动动作外,还需要通过在学习过程中泛化、分化,才能达到巩固自动化。在这一过程中,体育教师和教练员应根据运动技术自身的特点、运动技术形成规律、影响运动技术形成的因素实施教学和训练,并应用运动动作测量与分析技术分析错误动作产生的原因,及时纠正错误动作。



表 1.1 不同运动技术的主要特点

运动技术类型	主要特点
周期性运动技术	① 动作的反复性和连贯性; ② 动作的节律性; ③ 动作的交互性; ④ 动作的惯性作用。
非周期性运动技术	① 动作具有相对的独立性; ② 动作具有复杂性和稳定性; ③ 动作之间的联系是人为的。
混合性运动技术	① 两类动作成分相互制约; ② 两类动作的结合部是运动技术的关键。
不固定运动技术	① 运动技术复杂多变; ② 固定和不固定相结合。

任何一个体育项目的运动技术结构都不是一成不变的,运动技术结构也经历着产生和发展的过程。运动技术的发展是提高运动技术和改善运动效果的需要。运动行为的目的性与运动技术的合理性应当是一致的,然而运动技术的合理性是相对的。运动技术中各个动作之间有着复杂的相互作用,动作之间的相互促进作用是主要的,但动作之间同时存在一定的相互干扰作用。提高技术、增强动作之间的相互促进作用、减少动作之间的相互干扰作用是运动技术结构发展的内在动力。当然,在运动技术结构的发展中,运动行为的目的性起着主导作用。

二、运动动作的影响因素

(一) 解剖学因素

人体运动动作是在内外因素的作用下,由神经系统协调全身各器官系统,通过运动系统(主要是骨、关节和骨骼肌)的活动直接完成的。人体通过神经系统控制骨骼肌的正、负反馈作用,使动作达到准确、精细的程度。人体的各个环节连接起来,构成了生物运动链,这是人体运动系统的基本结构,各种力作用在生物运动链上,引起各环节相对位置的改变,于是产生了人体姿位和运动状态的变化。

1. 环节与生物运动链

(1) 环节。相邻关节之间的部分称环节。人体运动系统是由若干可以相对运动的部分组合而成的整体。人体的运动系统就是由多个环节组成的多环节系统,这种多环节结构使得人体运动系统能够灵活而自如地

运动,也是人体能够完成复杂动作的前提。环节的质量与转动惯量、环节的长度均会对动作产生影响。

(2) 生物运动链。两个以上相邻环节串联式连接而成生物运动链。例如,上肢生物运动链由上臂、肘关节、前臂、腕关节和手构成,下肢生物运动链由大腿、膝关节、小腿、踝关节和脚构成。在完成运动动作过程中,生物运动链的活动有开放和闭合两种。末端为自由环节的生物运动链称开放链,无自由环节的生物运动链称封闭链。开放链的终末环节如果受到其他物体的约束即变成封闭链。开放链中各环节绕关节轴转动可使末端环节做圆弧运动或平动。平动是生物运动链中几个环节绕相应关节轴转动合成的结果。而封闭链中的环节不能单独运动,一个环节的运动必然伴随其他环节的运动。

(3) 环节自由度。环节自由度是环节运动能力的量度。在开放式生物运动链中,末端环节的自由度等于运动链中各关节自由度的叠加,如果叠加起来超过6个自由度,就相当于自由刚体。运动链环节的自由度决定了运动动作的多样性、协调性。自由度越多,运动动作越难控制。在要求精确性的运动动作中,控制自由度是技术目标实现的重要保证。

2. 骨杠杆

生物运动链中的骨杠杆同机械杠杆一样,也分为省力杠杆、平衡杠杆和速度杠杆。阻力点在支点和动力点之间的杠杆为省力杠杆,如提踵足尖站立时足构成的杠杆;支点在阻力点与动力点之间的杠杆为平衡杠杆,如篮球单手上手投篮前的持球以肘关节为支点所构成的杠杆;动力点在支点与阻力点之间的杠杆为速度杠杆,属于费力杠杆,这类杠杆在人体投掷动作和踢腿动作中常见,能够获得较大肢体末端速度,但需要较大肌力。在运动动作和运动技术的测量与分析中,通常会关注如何合理利用杠杆达到省力的目的或者利用杠杆发挥环节末端速度等方面的问题。

3. 骨骼肌的分工与协作

在完成一个动作时,不同的肌肉起着不同的作用,这是骨骼肌的分工。参与工作的肌肉所起的作用都不可能单独存在,而只能在互相配合中表现出来,这就是骨骼肌的协作。骨骼肌离开或缺乏这种分工与协作关系,体育动作将很难完成,或者极不协调。同时也应看到,在体育活动过程中,骨骼肌的分工和协作的关系不是固定不变的,而是会随着动作的改变而变化的。对每个运动动作中所参与骨骼肌作用的认识是运动动作与运动技术分析的主要内容。



(1) 原动肌。原动肌是以主动收缩直接完成动作的肌肉,又可分为主动肌和副动肌。例如,握哑铃弯举中的肱肌、肱二头肌为主动肌,肱桡肌、旋前圆肌为副动肌。

(2) 对抗肌。对抗肌是与原动肌作用相反的肌肉。例如,弯举动作中的肱三头肌为对抗肌。在主动肌收缩的时候,对抗肌的放松是动作协调性的重要体现。

(3) 固定肌。将原动肌定点骨加以固定的肌肉,称为固定肌。如上述动作中的三角肌、胸大肌、背阔肌等都是固定肌。固定肌在运动活动中通常以等长收缩的形式工作,固定肌的力量强弱是人体运动动作能否完成的重要基础。近几年备受重视的核心肌群力量训练,主要是指通过加强人体运动中固定肌的作用来提高主动肌的运动效率和防止运动损伤的出现。

(4) 中和肌。当原动肌对动点骨有两种以上的功能时,为了有效地发挥其中一种功能,须借助其他肌肉抑制另外的功能,这里的其他肌肉就叫中和肌,起着抵消(中和)某种功能的作用。例如,上述动作中的旋前圆肌“紧张”起着抵消肱二头肌屈肘的同时使前臂旋后的作用。

4. 骨骼肌的工作形式

(1) 动力性工作或等张收缩。动力性工作是指骨骼肌在收缩过程中长度有变化的工作形式,包括向心工作和离心工作。向心工作又叫克制工作,是指肌力矩大于阻力矩,环节朝肌拉力方向运动,肌肉变短、变粗(肌腹隆起)、变硬。离心工作又叫退让工作,是指肌力矩小于阻力矩,环节朝肌拉力相反方向运动,肌肉变长、变细、变硬。

(2) 静力性工作或等长收缩。静力性工作是指骨骼肌在收缩过程中长度不变的工作形式。在人体活动过程中其表现分为以下3种情况:

① 支持工作:指位于关节某一侧的肌肉持续收缩,以平衡阻力矩使环节保持一定姿势工作。例如肋木悬垂举腿动作中腹肌、髂腰肌所做的工作。

② 加固工作:指位于关节周围的肌肉同时持续收缩,以对抗关节由于外力牵拉作用而分离的工作。例如肋木悬垂时肩、肘、腕关节周围肌肉所做的工作。

③ 固定工作:指关节运动轴两侧相互对抗的肌肉同时持续收缩,使环节保持固定的工作。例如手倒立时,屈肘肌群和伸肘肌群所做的工作。

5. 多关节肌的工作特点

多关节肌是指肌肉的起点与止点之间跨过2个关节的肌肉。多关节

肌工作时常常会表现出“主动不足”和“被动不足”现象。多关节肌“主动不足”是指多关节肌在一个环节运动时已经缩短,在另一个环节运动时继续缩短困难的现象。例如,伸大腿以后再屈小腿感到费力的原因之一是股后肌群出现功能性“主动不足”。多关节肌“被动不足”是指多关节肌在一个环节运动时已经被拉长,在另一个环节运动时不能被继续拉长的现象。例如,伸直膝关节后再屈髋(直膝前摆),腿难以摆得高,这就是股后肌群“被动不足”现象。又如,充分屈腕后再屈指则会感到困难,这就是前臂的伸肌群作为对抗肌发生了“被动不足”现象。

6. 骨、关节、肌肉的相互作用

肌肉跨越关节收缩时肌力作用线不通过关节点,肌力可分解为沿着环节纵轴方向的法向分力和垂直于环节纵轴方向的切向分力,法向分力起着加固关节的作用,而切向分力对关节点产生力矩。环节的重力矩和外界的阻力也对关节产生力矩。一般跨越同一关节的有多块肌肉,这些肌肉收缩时的力矩与环节的重力矩和阻力矩的合力矩决定着关节的运动状态,使环节转动的角速度变化,或保持一定的关节角度。

生物运动链中,每块肌肉并非单独作用,肌肉总是以肌群的形式参与运动。在肌群内各块肌肉之间以及各肌群之间都存在着复杂的相互作用,这种相互作用既相互促进,也相互干扰。相互促进作用使生物运动链的运动更协调、更完善,而相互干扰则产生负面效应。生物运动链中关节周围的肌肉共同组成功能群而发挥功能作用。肌肉对关节的固定和解除固定使生物运动链中活动环节的数量发生变化。整个生物运动链有时可以固定成一个关节,有时运动可以发生于部分环节,乃至生物运动链的所有环节。肌群的协调工作可保证生物运动链中各环节的运动方向,控制运动速度,通过制动来限制运动幅度,并在这个过程中实现了力量的传递。

(二) 生理学因素

无论是人体运动动作的控制还是运动动作的实现,均依赖人体神经系统功能的完整性和能量供应系统的及时供能。其中任何功能的缺失与不足,或者达到了其能力的局限,则运动动作与运动技术将有不同的表现,这是人体运动动作测量与分析的重要内容,即运动动作与运动技术的生理学分析。

1. 神经系统功能的完整性

(1) 感觉功能。神经系统的感觉功能是运动行为产生的基础,按照



运动控制的反射理论,人体运动行为的产生就是对内外环境变化的应答性反应。与人体运动关系密切的感觉主要有视觉、听觉、位觉、皮肤感觉和本体感觉等,其中视觉、位觉和本体感觉与运动的关系最为密切。

(2) 运动功能。骨骼肌的收缩和舒张的信息源自于神经系统的兴奋与抑制。人体脊髓运动神经元池的 α 运动神经元通过其支配的肌纤维构成的运动单位参与人体肢体的随意运动;人体脑干通过各种姿势反射(状态反射、翻正反射、旋转运动反射、直线运动反射)来调节肢体的肌张力;小脑和基底神经节以及大脑皮质对运动进行较为精确的调控。运动任务的难易程度与动作要求的力量速度差异对神经系统运动功能的要求不同。

(3) 整合功能。人体完成运动的过程中,全身不同的肌肉担负着不同的功能,这就需要神经系统的整合。通过神经系统的整合,人体应该收缩的肌肉收缩,应该放松的肌肉放松,同时保持与环境之间的协调。可以说,有了神经系统的整合,才能正确地完成各项运动动作。除了运动控制系统自身的整合功能外,运动系统与自主神经系统的整合也在运动过程中起着重要作用。因为运动需要通过消耗氧气来氧化体内的能源物质,以供给肌肉的活动。

(4) 脑的高级功能。脑的学习和记忆功能本质上是建立条件反射的过程,条件反射的建立需要中枢神经系统参与,特别是高等动物具有对两个信号系统建立条件反射的能力,通过两个信号系统间的整合,条件反射的建立更加丰富。人体又通过学习与记忆建立起条件反射的抑制功能,使得人体的运动行为更加精确与多样化。

2. 能量连续统一体

(1) 人体的三个供能系统。由于人体骨骼肌活动的直接能源为三磷酸腺苷(ATP),而ATP在人体内的储量有限,人体通过3条途径合成ATP,由于不同的供能系统能量的合成速率存在差异,因而不同能量供应系统的输出功率不同,决定了骨骼肌收缩力和速度的大小。① 磷酸原系统是由ATP和磷酸肌酸(CP)构成的系统。人体中的磷酸原系统是一切高功率运动,如冲刺、投掷、跳跃、足球射门等活动的供能基础。② 乳酸能系统也称无氧糖酵解系统,是指肌糖原或葡萄糖在无氧分解过程中再合成ATP。它是机体处于氧供不足时的主要供能系统。乳酸能系统的重要意义是在氧供不足时仍能快速供能,以应对运动对能量的急需。③ 有氧氧化系统是指运动所需的ATP由糖和脂肪的有氧氧化过程再合成。

它是机体进行长时间耐力活动的主要供能系统。

(2) 能量连续统一体。在不同的运动项目中,由于强度、持续时间以及动作技术结构等的不同,3种能量系统在不同的项目中所占的比例也不相同,即每个能量系统再合成ATP的比例与进行的运动专项有关。例如,100m跑是高功率输出的活动,其ATP的再合成主要依靠磷酸原系统;而时间长、强度小的马拉松跑,其ATP的再合成几乎全部是由有氧系统实现的。400m、800m跑时ATP的再合成除了依靠磷酸原系统外,还要依靠乳酸能系统再合成ATP。这种不同类型运动项目的能量供应途径之间以及各能量系统之间相互联系形成的一个连续统一体,运动生理学中把它称为能量连续统一体。

3. 运动性疲劳

无论是神经系统本身活动的限制,还是供给人体运动的能源物质消耗过多,以及由于能量供应过程代谢产物的堆积等因素,人体在运动过程中会出现运动能力暂时下降的现象,称为运动性疲劳。运动性疲劳可以由中枢的保护性抑制引起,也可以由外周的代谢产物堆积、内环境失调或者肌糖原耗竭引起。运动性疲劳是长时间运动的正常生理现象,但疲劳会对运动技术产生一系列影响,在人体运动动作和运动技术的测量与分析中必须考虑到这一点。

(三) 力学因素

人体的运动动作归根到底是人体整体或环节,或是运动器械在一定时间内的空间位置变化,因而机械运动的本质特点决定了人体运动需要遵循基本的力学原理。凡是机械运动的力学原理基本都适用于人体的运动动作与运动技术,因此,掌握基本的力学原理及其在运动中的体现和作用,是运动动作与运动技术测量与分析的首要依据。这些原理包括牛顿运动定律、动量定理和动量守恒定律、动量矩定理和动量矩守恒定律、功能原理等。以下列举一些影响人体或器械运动的基本力学原理。

1. 力(力矩)是运动状态改变的原因

人体或物体如果不受到外力(力矩)作用,或者所受的合外力(力矩)等于零,则人体或物体将保持原有的运动状态。也就是说,力(力矩)是物体运动状态改变的原因,人体或物体所受的力(力矩)越大,则运动状态的改变越明显。

2. 延长或减少力(力矩)的作用时间

不仅力(力矩)的大小可以影响人体或物体的运动,而且力(力矩)的