

# 运 动 生 物 力 学

(运动技术分析与评价)

刘北湘 编著

四川出版集团·四川科学技术出版社

## 前 言

三十多年前,作者从大学数学专业毕业至今,一直在体育部门工作。开始是担任运动员的文化课教师,后改任专职篮球教练员,教练员一干就是 12 年。然后读运动生物力学专业的研究生,毕业后担任运动生物力学专职教师。作者与体育结下了不解之缘,一直想对自己的工作经验有所总结,这是作者决定编写这本教材的动力。

在讲授大学本科体育专业运动生物力学的初期,由于缺乏教学经验,加之受当时教材的误导,曾经有一段时间,将“运动生物力学”讲授成了单纯的“力学”,没有收到好的教学效果。直到有一天一个同学问:老师,运动生物力学是不是就是中学的物理(力学部分)?令我猛然醒悟,自己当时感到很悲哀,也促使自己开始思考运动生物力学应该“教什么,怎么教”这类问题。

体育运动的特点是需要做肢体动作,做动作必然会有错误,体育指导者的工作就是不断地去发现和纠正这类动作错误,这就是我们所说的“运动技术分析(或运动技术诊断)”。运动生物力学之所以能在体育领域立足,就是因为其能为运动技术分析提供基本理论、测量手段、分析方法,是一门与运动技术分析有关的专门学科。因此,围绕运动技术分析所需要的一切知识和技能展开教学工作,是一条贯穿运动生物力学教学的主线。否则,这门课程不会对体育专业的学生有太大的帮助。对这个教学思路的认识,不是头脑发热时想出来的,而是作者近二十年教学的切身体会,或者说是作者从自己“皮肉里熬出来的”经验。作者在大学本科体育专业“运动生物力学教学”这“一亩三分地”里虽然没有做出什么值得炫耀的成绩,但也算是勤勤恳恳的进行了“精耕细作”,有许多聊以自慰的小收获,愿意总结出来与大家分享。

本教材中的教学内容,最先并不是以书本作为载体进行表现的,而是以多媒体教学课件的形式在教学中使用。原因很简单:运动生物力学的教学内容和方式有待探索,不适合很快以书本的形式固化,而多媒体形式可以根据教学中发现的问题及时进行修改。从 2000 年开始,在对以前多年教学经验进行总结的基础上,又经过六年多的反复摸索,至今已基本形成成熟的方案,才开始进行“成书”的工作。

全书共分四章。第一章运动生物力学导论,对本书涉及的基本内容进行了勾画,教学目的是让学生从总体上了解运动生物力学的工作对象和任务。第二章运动技术数据,介绍常用的运动学数据、动力学数据的采集方法,教学目的是为分析运动技术解决数据来源和使用问题。第三章运动生物力学基本原理,介绍人体运动的基本规律,教学目的是为评

价运动技术解决理论依据问题。第四章运动技术分析,介绍运动技术分析评价的方法和步骤,并以常见运动项目中的主要技术为实例进行分析和评价,教学目的是通过实例为学生在进行所学专项的运动技术分析时提供一些参考。整个教学思路为:大学本科体育专业学习运动生物力学主要是用于运动技术分析和评价,分析运动技术是以采集到的运动技术数据为基础,评价运动技术是以人体运动基本原理为依据,同时以优秀运动员相关数据为参照。

此外,在长期的教学实践中,作者还根据教学的需要,自行研制和开发了多项辅助教学软件,逐步形成以教材为中心的“运动生物力学教学系统”。软件内容主要包括:

●第一,多媒体教学课件。采用专业制作系统 Authorware 进行制作。配合视频剪辑、矢量图、插图等多媒体元素对教学内容进行表现。教学基本单元以“页”为中心。页面上展示的是承上启下并相对独立的课程内容。同时配合在其上安排的按钮调用下一层与“页”上内容紧密结合的相关媒体资料,包括图片、声音、动画、数字视频、详细的文字说明等,共同完成该页面内容的讲授。控制方式采用非线性式,软件运行过程可以完全由教师根据教学的需要进行控制。在纵的方向上可以控制按层进入或返回;在横的方向上可以控制前进和后退;在时间上可以随时控制结束某个内容或开始另一个内容。此外,采用了多项编程技术手段以保证软件的运行方便,如:自动设置和恢复显示器分辨率,以保证页面内容占满整个屏幕;采用模块化设计以提高运行速度,特别是处理多媒体材料的速度;独立的媒体支持,不依赖计算机当前状况;自动标注页码,方便教学进度控制;动态按键、统一背景和美化界面等。

●第二,试题库及试题库管理、使用系统。◇试题库:对教材内容进行了仔细分析,筛选出 300 余处重点和难点,按其特点设计成相应形式的试题,并配有答案或答题要点提示,创建成试题数据库形式。◇试题库管理:除了可以对试题库进行一般的编辑管理以外,还可以根据考试出卷的需要,直接随机抽题成卷、打印、试卷存储备用等,非常方便实用。◇试题库使用:可以操控试题库内容的显示,以便在教学过程中将试题库作为要点复习使用。

●第三,录像解析教学实验软件。获取运动学数据的影像测量法是进行运动技术分析的重点内容。以前由于受软件的限制,这项教学内容一直只能做演示实验,即让学生“看稀奇”。本录像解析教学实验软件不设置任何限制,整个系统占用空间不到 10M,不需安装过程,可直接使用。除了可大面积复制到实验室的计算机中供学生在实验课中动手使用外,学生甚至还可以将其存储在“优盘”或 MP3 上,插入任何一台计算机上就可以使用,大大方便和满足了教学实验的需求。

●第四,对本课程需要做的一些教学实验,都配有相应的数字录像剪辑。在有条件做实验的学校可以利用它们作为实验前的指导和实验后的复习;在没有条件做实验的学校,可以利用它们弥补这方面的缺陷。

任课教师或学生,都可以充分利用它们,达到提高教学质量的目的。作者祝愿,通过本“运动生物力学教学系统”,使运动生物力学的教学过程成为一个愉快的学习过程,所学内容能够对从事的体育专业有所帮助。

由于作者水平有限,教材(含辅助软件)中难免存在错误和不妥之处,敬请读者批评指正,作者对此深表谢意。教材(含辅助软件)中引用了许多知名或不知名同行的相关资料,作者在此一并深表谢意,如有不敬之处也敬请谅解。各教学辅助软件在研制开发过程中,先后得到成都体育学院教学教改课题、院管课题、四川省体育局课题、中国体育科学学会(体育计算机应用分会)课题的立项资助,也在此向这些部门表示感谢。

刘北湘

2007 年 6 月

# 目 录

|                                                                             |   |
|-----------------------------------------------------------------------------|---|
| 第一章 运动生物力学导论 .....                                                          | 1 |
| ◆本章基本知识要点                                                                   |   |
| ◆本章内容教学导航                                                                   |   |
| ◆基本内容                                                                       |   |
| 第一节 运动生物力学在体育学科体系中的地位 .....                                                 | 1 |
| 一、体育行业的专业人员 .....                                                           | 2 |
| 二、体育工作目标 .....                                                              | 2 |
| 三、体育工作对象 .....                                                              | 2 |
| 四、体育学科体系中具有生物学属性的“三大基础理论课” .....                                            | 2 |
| 1. 由生物属性的“人”这个角度来讨论; 2. 由“从事体育运动”这个角度来讨论                                    |   |
| 五、小结 .....                                                                  | 4 |
| 第二节 运动生物力学涉及的基本概念 .....                                                     | 4 |
| 一、概念之一: 运动生物力学 .....                                                        | 4 |
| (一) 运动生物力学定义 (Sport Biomechanic)                                            |   |
| (二) 运动生物力学所隶属的学科体系                                                          |   |
| (三) 运动生物力学当前的热点领域表现在运动技术诊断方面                                                |   |
| 1. 运动技术诊断直接服务于竞技体育; 2. 竞技体育的需求带动了相关仪器设备和测量技术的发展; 3. 全民健身体育将为运动技术诊断提供更大的活动空间 |   |
| 二、概念之二: 运动技术原理 (又称动作技术原理) .....                                             | 5 |
| (一) 运动技术原理定义                                                                |   |
| (二) 体育领域在揭示人体运动基本规律方面的状况                                                    |   |
| (三) 正确理解运动技术原理                                                              |   |
| 1. 运动技术动作的目的是要获得最大的运动效果; 2. 不区分体育项目特点和个人特点                                  |   |
| 三、概念之三: 最佳运动技术 .....                                                        | 7 |
| (一) 最佳运动技术定义                                                                |   |
| (二) 运动技术形式与选择举例                                                             |   |
| 1. 举例一: 急行跳远起跳动作形式与选择; 2. 举例二: 举重挺举提铃动作形式与选择                                |   |
| (三) 正确理解最佳运动技术                                                              |   |
| 四、概念之四: 运动技术诊断 .....                                                        | 9 |
| (一) 运动技术诊断定义                                                                |   |
| (二) 运动技术诊断的基本过程                                                             |   |
| 1. 了解情况过程 (类似于医生的诊断过程); 2. 解决问题过程 (类似于医生的治疗过程)                              |   |

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| (三)正确理解运动技术诊断                                                |    |
| 1. 运动技术诊断的两个过程是有机的整体,都应该给予重视;2. 运动技术诊断不仅仅是针对竞技运动,还可推广到健身运动领域 |    |
| 第三节  运动生物力学的基本任务 .....                                       | 10 |
| 一、研究人体形态结构、机能的力学特性,为运动员选材提供依据 .....                          | 10 |
| (一)本项任务特点                                                    |    |
| (二)举例                                                        |    |
| 1. 肢体的长度对转动角速度、线速度的影响;2. 身高对于举起重物时所做功及耗费肌力的影响                |    |
| (三)小结                                                        |    |
| 二、揭示运动技术原理,为有意识的利用人体运动规律提供支持 .....                           | 12 |
| (一)本项任务特点                                                    |    |
| (二)举例                                                        |    |
| (三)小结                                                        |    |
| 三、进行运动技术诊断,为体育参加者制定最佳运动技术解决方案 .....                          | 13 |
| (一)本项任务特点                                                    |    |
| (二)举例                                                        |    |
| (三)小结                                                        |    |
| 四、对体育器械进行力学性能测试,为优化运动器械提供力学依据 .....                          | 14 |
| (一)本项任务特点                                                    |    |
| (二)举例                                                        |    |
| 1. 撑竿跳高所使用的撑竿;2. 射箭运动安装在弓上的减振器                               |    |
| (三)小结                                                        |    |
| 五、对动作结构进行受力分析,为预防运动创伤和促进康复提供辅助方案 .....                       | 15 |
| (一)本项任务特点                                                    |    |
| (二)举例                                                        |    |
| 1. 预防慢性创伤(以立姿射击、射箭等项目为例);2. 预防急性创伤举例(以田径短跑为例)                |    |
| (三)小结                                                        |    |
| 第四节  运动技术诊断专论 .....                                          | 16 |
| 一、进行“运动技术诊断”基本工作步骤 .....                                     | 16 |
| (一)步骤一:确定需要进行运动技术诊断的对象                                       |    |
| (二)步骤二:数据采集(即了解情况过程)                                         |    |
| 1. 通过肉眼观察,获取与运动技术相关的“定性数据”;2. 通过科学仪器测量,获取与运动技术相关的“定量数据”      |    |
| (三)步骤三:评价被诊断对象当前的运动技术、为其提出最佳运动技术设想                           |    |
| 1. 以体育指导者的专业经验作为依据;2. 以优秀运动员的数据作为参照依据;3. 以运动生物力学理论作为评价依据     |    |
| (四)步骤四:设计辅助训练手段(即提出解决问题办法)                                   |    |
| (五)步骤五:监控被诊断对象运动技术的变化情况,及时发现问题和修正辅助训练手段(即有效性监控)              |    |

|                                             |    |
|---------------------------------------------|----|
| 二、运动技术诊断一直是体育教学训练工作的重要组成部分 .....            | 19 |
| ◆复习思考 .....                                 | 20 |
| 第二章 运动技术数据 .....                            | 21 |
| ◆本章基本知识要点                                   |    |
| ◆本章内容教学导航                                   |    |
| ◆基本内容                                       |    |
| 第一节 运动技术数据的意义 .....                         | 21 |
| 一、运动学数据对运动技术的意义 .....                       | 21 |
| (一)关节位置和关节角度                                |    |
| 1. 关节位置;2. 关节角度                             |    |
| (二)位移和角位移                                   |    |
| 1. 位移;2. 角位移                                |    |
| (三)速度和角速度                                   |    |
| 1. 速度;2. 角速度                                |    |
| (四)加速度和角加速度                                 |    |
| (五)小结                                       |    |
| 二、动力学数据对运动技术分析的意义 .....                     | 27 |
| (一)动力曲线                                     |    |
| 1. 不同的动作会产生不同的动力曲线;2. 不同的人完成相同动作会产生不同的动力曲线; |    |
| 3. 相同的人完成相同动作其动力曲线会有一定差异                    |    |
| (二)冲量                                       |    |
| (三)小结                                       |    |
| 三、运动技术数据采集方式讨论 .....                        | 30 |
| 第二节 运动学数据的采集及应用 .....                       | 30 |
| 一、影像测量方法 .....                              | 30 |
| (一)影像测量原理                                   |    |
| (二)影像数字化基础                                  |    |
| 1. 人体影像数字化;2. 影像数字化的步骤;3. 手工计算影像图片运动学数据实验   |    |
| (三)摄影测量方法                                   |    |
| 1. 摄影测量的仪器设备;2. 摄影测量过程介绍                    |    |
| (四)摄像测量方法                                   |    |
| 1. 摄像测量的仪器设备;2. 摄像测量过程介绍                    |    |
| (五)影像测量相关问题讨论                               |    |
| 1. 影像测量注意事项;2. 影像测量中的几个计算问题                 |    |
| 二、运动学数据的其他测量方法 .....                        | 41 |
| (一)红外光点摄像测量方法(光电图像分析系统)                     |    |
| (二)电学测量方法                                   |    |
| 第三节 动力学数据的采集及应用 .....                       | 41 |

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 一、力学数据测量原理及其设备 .....                                                                       | 42 |
| (一)力传感器                                                                                    |    |
| 1. 压电晶体;2. 电阻应变片                                                                           |    |
| (二)测力台                                                                                     |    |
| (三)平衡台                                                                                     |    |
| (四)测力鞋垫                                                                                    |    |
| (五)电阻应变片的应用                                                                                |    |
| 二、动力曲线分析举例 .....                                                                           | 46 |
| (一)步态动力曲线                                                                                  |    |
| (二)跳跃动力曲线                                                                                  |    |
| (三)投掷铅球最后用力动作的动力曲线                                                                         |    |
| ◆实验与技能 .....                                                                               | 49 |
| 实验一:摄像机操作,视频数据转换操作 .....                                                                   | 49 |
| 实验二:运动技术图片手工测量计算基础 .....                                                                   | 49 |
| 实验三:运动技术录像解析系统(教学实验用软件) .....                                                              | 52 |
| 实验四*:运动技术录像解析系统(录像解析专用软件) .....                                                            | 53 |
| 实验五*:测力设备的使用(三维测力台) .....                                                                  | 53 |
| 实验六*:应变片粘贴技术与应变测力仪 .....                                                                   | 53 |
| 实验七*:平衡台测量重心位置 .....                                                                       | 54 |
| ◆复习思考 .....                                                                                | 54 |
| 第三章  运动生物力学基本原理 .....                                                                      | 55 |
| ◆本章基本知识要点                                                                                  |    |
| ◆本章内容教学导航                                                                                  |    |
| ◆基本内容                                                                                      |    |
| 第一节  运动学基本知识 .....                                                                         | 55 |
| 一、人体运动的基本形式 .....                                                                          | 56 |
| (一)人体的线运动                                                                                  |    |
| (二)人体的角运动                                                                                  |    |
| (三)复合运动                                                                                    |    |
| 二、匀变速直线运动公式 .....                                                                          | 57 |
| 三、斜抛运动 .....                                                                               | 58 |
| (一)抛点和落点在同一个水平面上时的斜抛运动                                                                     |    |
| 1. 初速度;2. 任意点的速度;3. 斜抛到达顶点的时间;4. 总时间;5. 最大远度(由总时间 $t$ 进行计算);6. 最大高度(由达到最大高度的时间 $t_1$ 进行计算) |    |
| (二)斜抛运动的其他情况                                                                               |    |
| 1. 当抛点高于落点时的斜抛运动;2. 当抛点低于落点时的斜抛运动;3. 竖直上抛运动;                                               |    |
| 4. 自由落体运动                                                                                  |    |
| 四、运动曲线 .....                                                                               | 63 |

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| (一)“运动轨迹”曲线                                                          |    |
| (二)“速度—时间”曲线                                                         |    |
| (三)“加速度—时间”曲线                                                        |    |
| 第二节 动量定理及其应用 .....                                                   | 64 |
| 一、动量定理 .....                                                         | 64 |
| (一)动量( $mv$ )                                                        |    |
| 1. 物体运动量影响因素分析;2. 动量的构成                                              |    |
| (二)冲量( $Ft$ )                                                        |    |
| 1. 力的作用效果影响因素分析;2. 冲量的构成                                             |    |
| (三)动量定理                                                              |    |
| (四)动量守恒定理                                                            |    |
| 二、动量定理在体育运动中的应用 .....                                                | 66 |
| (一)投掷类                                                               |    |
| (二)打击类                                                               |    |
| (三)蹬伸类                                                               |    |
| (四)缓冲类                                                               |    |
| (五)作业点评                                                              |    |
| 第三节 动量矩定理及其应用 .....                                                  | 69 |
| 一、动量矩定理 .....                                                        | 69 |
| (一)角运动的基础知识                                                          |    |
| 1. 力矩( $M$ );2. 转动惯量( $J$ );3. 转动惯量理论公式;4. 规则体转动惯量及计算公式;5. 非规则体的转动惯量 |    |
| (二)动量矩定理                                                             |    |
| 1. 动量矩;2. 冲量矩;3. 动量矩定理;4. 动量矩守恒定理                                    |    |
| 二、动量矩定理在体育运动中的应用 .....                                               | 74 |
| (一)动量矩定理应用中的问题                                                       |    |
| 1. 定轴转动;2. 定点转动;3. 腾空后转动的特点                                          |    |
| (二)适合于动量矩定理的常见体育技术动作                                                 |    |
| 1. 翻转类;2. 相向动作类;3. 扭转动作类;4. 局部肢体绕关节转动类                               |    |
| 第四节 稳定性原理及其应用 .....                                                  | 77 |
| (一)重心                                                                |    |
| (二)影响稳定性的因素                                                          |    |
| 1. 重心高低;2. 支撑面大小;3. 稳定角大小                                            |    |
| 第五节 流体力学原理及其应用 .....                                                 | 81 |
| (一)流体力学基本知识                                                          |    |
| 1. 压强;2. 流体的浮力;3. 比重;4. 浮心                                           |    |
| (二)伯努利定律                                                             |    |
| (三)马格努斯效应                                                            |    |
| 第六节 骨、肌肉力学特征及其应用 .....                                               | 84 |

|                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------|-----|
| 一、骨受力特征 .....                                                          | 84  |
| (一) 受力形式(载荷形式)                                                         |     |
| (二) 人体承受外力极限能力的比较                                                      |     |
| (三) 肌肉活动对骨受力形式的影响                                                      |     |
| (四) 机械应力对骨结构的影响                                                        |     |
| 二、肌肉力学特征 .....                                                         | 87  |
| (一) 肌肉力学模型                                                             |     |
| (二) 肌肉松弛                                                               |     |
| 第七节 运动技术原理 .....                                                       | 89  |
| 一、人体肢体基本运动形式 .....                                                     | 89  |
| (一) 上肢动作                                                               |     |
| (二) 下肢动作                                                               |     |
| (三) 全身动作                                                               |     |
| 二、运动技术原理 .....                                                         | 90  |
| (一) 杠杆原理                                                               |     |
| 1. 杠杆分类; 2. 人体关节杠杆类型举例                                                 |     |
| (二) 复杠杆原理                                                              |     |
| (三) 关节运动顺序性原理                                                          |     |
| (四) 鞭打动作原理                                                             |     |
| ◆实验与技能 .....                                                           | 94  |
| 实验八: 一维重心测量 .....                                                      | 94  |
| 实验九: 纵跳实验(肌肉松弛现象或惯性力现象) .....                                          | 95  |
| ◆复习思考 .....                                                            | 96  |
| 第四章 运动技术分析 .....                                                       | 97  |
| ◆本章基本知识要点                                                              |     |
| ◆本章内容教学导航                                                              |     |
| ◆基本内容                                                                  |     |
| 第一节 运动技术分析的方法和一般步骤 .....                                               | 98  |
| 一、运动技术分析的概念及作用 .....                                                   | 98  |
| 1. 运动技术分析(或运动技术诊断); 2. 运动技术分析的作用举例                                     |     |
| 二、运动技术要素及其意义 .....                                                     | 98  |
| (一) 运动技术的多样性和规律性                                                       |     |
| 1. 运动技术的多样性, 使运动技术分析难度加大; 2. 运动技术的规律性, 使运动技术分析有矩可循; 3. 运动技术要素          |     |
| (二) 运动技术要素的数据形式及其作用                                                    |     |
| 1. 动作姿位(姿势); 2. 动作幅度; 3. 动作变化率; 4. 用力方式; 5. 力的作用效果; 6. 动作协调性; 7. 肌电图数据 |     |
| 三、选用运动技术要素的要点 .....                                                    | 103 |

|                                              |     |
|----------------------------------------------|-----|
| (一)依据运动技术任务和特征选择要素                           |     |
| (二)突出主要运动技术要素                                |     |
| (三)各运动技术要素的优化组合                              |     |
| 四、运动技术分析一般步骤及方法 .....                        | 104 |
| (一)划分运动技术环节                                  |     |
| (二)确定运动技术环节中的关键技术环节和相互联系                     |     |
| 1. 关键技术环节;2. 相互联系                            |     |
| (三)确定运动技术分析的对象、地点和测量方法                       |     |
| 1. 运动技术分析的对象;2. 测试地点;3. 测量方法                 |     |
| (四)数据处理与数据分析                                 |     |
| 1. 数据处理;2. 数据分析                              |     |
| 五、运动技术分析中主要问题讨论 .....                        | 108 |
| (一)运动技术模式问题                                  |     |
| (二)运动技术诊断问题                                  |     |
| (三)技术训练的针对性问题                                |     |
| 第二节 跑的运动技术分析 .....                           | 109 |
| 一、分析跑的准备工作 .....                             | 109 |
| (一)跑的运动技术环节分析                                |     |
| (二)跑步的运动技术要素分析                               |     |
| 1. 步长(位移);2. 步频(速率);3. 步长和步频关系;4. 选用运动技术要素特点 |     |
| 二、途中跑技术的运动学分析 .....                          | 111 |
| (一)时间数据特征                                    |     |
| (二)位移数据特征                                    |     |
| (三)关节角度数据特征                                  |     |
| (四)协调性                                       |     |
| 三、途中跑技术的动力学分析 .....                          | 116 |
| (一)支撑力分析                                     |     |
| 1. 支撑反作用力与动作对应图;2. 动力曲线图(力—时间曲线)             |     |
| (二)力矩分析                                      |     |
| 1. 前蹬阶段力矩分析;2. 蹬伸阶段力矩分析                      |     |
| 第三节 跳的运动技术分析 .....                           | 120 |
| 一、跳的力学原理及主要技术环节分析 .....                      | 120 |
| (一)助跑                                        |     |
| (二)助跑与起跳的衔接                                  |     |
| (三)起跳                                        |     |
| 1. 增大重心上升的高度;2. 缩短起跳时间                       |     |
| (四)腾空和落地                                     |     |
| (五)选用运动技术要素特点                                |     |

|                                                         |     |
|---------------------------------------------------------|-----|
| 二、跳远 .....                                              | 124 |
| (一)影响跳远成绩的因素                                            |     |
| (二)助跑                                                   |     |
| (三)助跑与起跳的衔接                                             |     |
| (四)起跳                                                   |     |
| 1. 起跳脚着地(即着板);2. 缓冲;3. 蹬伸;4. 助跑、起跳与跳远成绩的关系;5. 起跳时各力学量分析 |     |
| (五)空中动作                                                 |     |
| (六)落地                                                   |     |
| 三、跳高 .....                                              | 129 |
| (一)影响跳高成绩的因素                                            |     |
| (二)助跑                                                   |     |
| 1. 内倾姿势对形成正确起跳的作用;2. 弧线助跑要考虑的问题                         |     |
| (三)助跑与起跳的衔接                                             |     |
| (四)起跳                                                   |     |
| 1. 技术要点;2. 起跳时间                                         |     |
| (五)过杆技术                                                 |     |
| (六)落坑技术                                                 |     |
| 第四节 投掷运动技术分析 .....                                      | 133 |
| 一、影响投掷距离的因素 .....                                       | 133 |
| ●选用运动技术要素特点                                             |     |
| 二、投掷标枪技术 .....                                          | 134 |
| (一)标枪技术分析                                               |     |
| 1. 握枪;2. 助跑+投掷步;3. 最后用力+缓冲                              |     |
| (二)标枪的空气动力分析                                            |     |
| 第五节 举重运动技术分析 .....                                      | 140 |
| 一、举重的基本知识 .....                                         | 140 |
| (一)举重技术形式                                               |     |
| 1. 挺举;2. 抓举                                             |     |
| (二)举重的技术原则                                              |     |
| 1. 近;2. 快;3. 低;4. “近、快、低”总结                             |     |
| (三)举重“双节奏”发力和“下蹲式”技术的发展过程                               |     |
| (四)选用运动技术要素特点                                           |     |
| 二、举重运动技术分析 .....                                        | 145 |
| (一)运动学数据在举重技术分析中的作用                                     |     |
| (二)动力学数据在举重技术分析中的作用                                     |     |
| 1. 蹬地力曲线;2. 几个重要数据的讨论                                   |     |
| (三)肌电图数据在举重技术分析中的作用                                     |     |
| 第六节 竞技体操运动技术分析 .....                                    | 148 |

|                                                       |     |
|-------------------------------------------------------|-----|
| 一、无支撑时的相向运动与制动 .....                                  | 149 |
| (一)动作形式描述                                             |     |
| 1. 相向运动;2. 制动                                         |     |
| (二)相向运动的力学特点                                          |     |
| 1. 转动惯量对相向运动的影响;2. 重力矩对相向运动的影响;3. 肌肉拉力矩对相向运动的影响;4. 举例 |     |
| (三)制动的力学特点                                            |     |
| 二、力的传递 .....                                          | 152 |
| 三、摆动反作用力 .....                                        | 153 |
| 四、“鞭打”动作 .....                                        | 155 |
| (一)惯性离心力                                              |     |
| (二)“鞭打”动作带来的惯性离心力                                     |     |
| 五、起跳与推手 .....                                         | 156 |
| (一)提高水平速度问题                                           |     |
| (二)提高垂直速度问题                                           |     |
| (三)提高翻转速度的问题                                          |     |
| 1. 支撑反作用力;2. 摩擦力;3. 摆臂的惯性力矩;4. 制动对翻转的影响               |     |
| 六、破坏平衡后的紧急处理 .....                                    | 158 |
| (一)身体向前倾倒时采取的措施                                       |     |
| 1. 动作措施;2. 人体维持平衡的动作特点                                |     |
| (二)向翻倒的方向做快速摇臂                                        |     |
| 七、滚翻动作的基本规律 .....                                     | 159 |
| 八、后手翻腱子的基本规律 .....                                    | 161 |
| (一)后手翻腱子技术动作                                          |     |
| (二)动作环节                                               |     |
| (三)后手翻腱子的三个任务                                         |     |
| 九、空翻转体类动作的基本规律 .....                                  | 162 |
| (一)提高腾空抛物线                                            |     |
| (二)提高绕横轴的翻转速度                                         |     |
| (三)获得绕纵轴的转体动量矩                                        |     |
| 第七节 游泳运动技术分析 .....                                    | 164 |
| 一、出发技术分析 .....                                        | 164 |
| (一)出发姿势                                               |     |
| (二)入水姿势                                               |     |
| 二、游泳划水的推进力 .....                                      | 166 |
| (一)手的受力及升阻系数                                          |     |
| 1. 划水时手受力分析;2. 手的姿势确定;3. 升阻系数                         |     |
| (二)划水力                                                |     |

|                                          |     |
|------------------------------------------|-----|
| 1. 划水路线;2. 划水推进力的类型;3. 合理的划水路线;4. 有关手的迎角 |     |
| (三)四种泳姿划水路线的分析                           |     |
| 1. 爬泳;2. 蝶泳;3. 仰泳;4. 蛙泳                  |     |
| 三、游泳中两腿动作的技术分析 .....                     | 172 |
| (一)打水、蹬水的力学分析                            |     |
| 1. 打水;2. 蹬水                              |     |
| (二)爬泳打腿频率的实验分析                           |     |
| ◆实验与技能.....                              | 174 |
| 实验十 设计制定“运动技术分析方案”.....                  | 174 |
| ◆复习思考.....                               | 176 |

注:标题中带有符号“\*”的部分,表示应依据教学条件选用的实验内容。

# 第一章 运动生物力学导论

## ◆本章基本知识要点

1. 运动生物力学在体育学科体系中的地位。
2. 运动生物力学涉及的基本概念:运动生物力学,运动技术原理,最佳运动技术,运动技术诊断。
3. 运动生物力学的五项基本任务:研究人体形态结构、机能的力学特性,为运动员选材提供依据;揭示运动技术原理,为有意识的利用人体运动规律提供支持;进行运动技术诊断,为体育参加者制定最佳运动技术解决方案;对体育器械进行力学性能测试,为优化运动器械提供力学依据;对动作结构进行受力分析,为预防运动创伤和促进康复提供辅助方案。
4. 进行“运动技术诊断”基本工作步骤;运动技术诊断一直是体育教学训练工作的重要组成部分。

## ◆本章内容教学导航

运动生物力学是一门交叉性的新兴学科,为了让学生深入了解这门学科的作用,本章首先以说理论证的方式,介绍了运动生物力学在体育学科中的地位。接着介绍了运动生物力学涉及的四个基本概念,通过这四个基本概念试图说明这样一个知识链:进行运动技术分析的专业学科是哪门学科?(运动生物力学);运动技术怎样做才算正确?(必须符合运动技术原理);正确的运动技术在什么情况才算最优?(最佳运动技术);如何分析评价运动技术?(运动技术诊断)。然后进一步系统论述了运动生物力学的五项基本任务,希望能使学生对运动生物力学的工作目标有一个全面的了解。最后对其中的主要任务“运动技术诊断”进行了专题讨论,以配合本书教学的主题思路。本章的教学应该贯彻上述思路,才能达到教学目的。

## ◆基本内容

### 第一节 运动生物力学在体育学科体系中的地位

运动生物力学在体育学科体系中具有重要的作用,这种作用表现为既与其他学科相辅相成、互相弥补,又具有自己独特的功能。运动生物力学的独特功能决定了运动生物力学在体育学科体系中的不可替代性。运动生物力学在体育学科体系中,被称为是生物学属性类基础课中的“三大基础课之一”。这种说法是否过于武断?我们可从以下的分析中得出结论。

## 一、体育行业的专业人员

各个行业都拥有自己的一支专业队伍,这支专业队伍中的每个成员都经过了严格的专业学习,国家目前对每个行业的从业人员实行资格认证制度,就是要保证从业人员的质量。体育这个行业也不例外,从事体育工作的专业工作人员必须接受专业学习。各个行业专业人员学习的内容是由各自行业要实现的工作目标和针对的工作对象来决定。

本段要点:体育专业人员需要经过专业学习,学习的内容是由体育工作目标和对象来决定。

## 二、体育工作目标

各行业都有自己追求的工作目标。工人追求产品的产量、质量;农民追求丰收;医生追求病人的康复等等。同样,体育行业追求的目标是要让参加体育运动的人获得身体健康。除此以外,由于体育所拥有的特殊竞赛属性,在参加体育运动的人中,某些特殊群体(如运动员)还需要追求优良的运动成绩。体育工作的目标可以概括为:是为了追求人体从事体育运动的最佳效果,包括健康效果、竞技运动效果。

本段要点:体育工作目标是追求人体从事体育运动的最佳效果,包括健康效果、竞技运动效果等。

## 三、体育工作对象

各个行业都有自己特定的工作对象。例如,工人的工作对象是原料、机器、产品;农民的工作对象是土地、肥料、农具、种子和农作物;医生的工作对象是病人等。任何一个行业的工作人员,要想把自己的工作做好,最基本的专业素质就是要懂得与自己工作对象有关的知识。工人如果不懂得原料、机器、产品,农民如果不懂得土地、肥料、农具、种子和农作物,医生如果不懂得病理和人体,很难想象他们能将工作做好。同样,体育行业是以“从事体育运动的人”为工作对象,体育工作人员必须懂得与“从事体育运动的人”相关的知识才能将工作做好。人的最基本属性是生物属性,其次是社会属性。人的生物属性决定了体育专业人员需要学习与人体有关的生物学类课程,同样人的社会属性决定了体育专业人员还需要学习人的社会学类课程。以下我们只讨论与生物学属性有关的课程。

本段要点:体育工作对象是“从事体育运动的人”,体育专业人员的学习内容必然与人有关、与体育运动技术动作的知识有关。

## 四、体育学科体系中具有生物学属性的“三大基础理论课”

体育工作对象是“从事体育运动的人”,这句话有两个要件:其一是“人”;其二是“从事体育运动”。

### (一)由生物属性的“人”这个角度来讨论

体育工作者需要掌握与“人”有关的生物学基本知识。首先,需要了解人体各系统器官的形态结构,因此运动解剖学成为第一门必须学习的基础课程。其次,需要了解人体各

系统器官的机能特征,因此运动生理学成为第二门必须学习的基础课程。体育专业(包括体育教育、社会体育、运动训练、民族传统体育等)的本科生在入学的前两年内,必然安排了这两门课程的学习。

为了深入认识这个问题,不妨比较一下体育专业与医学专业的学习内容。医学专业学生,将来是以“生了病的人”为工作对象,他们首先也涉及生物学属性“人”的问题,因此他们在入学的前两年内也要安排“人体解剖学”和“人体生理学”作为基础课。这是医学专业与体育专业具有共性的地方,其原因就是工作对象都涉及生物学属性“人”的问题。不同的只是各自在这两门课中侧重点不同而已,其中体育侧重的是人的运动功能,故称“运动解剖学”和“运动生理学”。在此之后,两个专业的学习内容便有了明显的差异,医学专业学生的学习内容与“病”有关,而体育专业学生的学习内容则与“体育运动”有关。

本段要点:因为体育专业培养的从业人员也是以“人”为工作对象,因此体育专业的学生必须将与“人”有关的、最基本的知识内容“运动解剖学”、“运动生理学”作为基础课。

## (二)由“从事体育运动”这个角度来讨论

人在从事体育运动过程中有一个明显的特点:肢体运动。不可想象有哪种不需要肢体运动的体育运动。体育运动就是通过一系列一定形式的肢体运动来实现增强体质或竞技成绩的。在体育学科体系中,运动生物力学是研究人的肢体运动基本规律的专门学科,具有不可替代的独特性,其独特性表现如下:

从科学原理方面说:人的肢体运动的基本形式是机械运动,人体运动器官完成的所有动作,如跑、跳、投、腾空、翻转、扭转等都属于机械运动,要想获得好的运动效果,这些动作必须符合力学规律。运动生物力学这门学科的基本任务,就是要研究人体运动系统器官的力学特征,研究人体肢体运动动作、运动技术、运动器材装备的合理性和有效性,揭示人体肢体运动的基本规律,从而为人体有意识的利用基本规律创造条件。运动生物力学为所有体育术科技术理论提供理论支持(如田径、体操、游泳、举重、球类等),体育术科中涉及的技术原理均为运动生物力学的研究成果。例如,铅球投掷技术要求从腿到腰再到臂依次发力,其依据是关节运动的顺序性原理。体育运动实践证明,有意识的利用力学规律和无意识的适应力学规律必然会产生完全不同的运动效果。它决定了体育锻炼效果的好坏,也决定了竞技运动成绩的优劣。

从技术手段方面说:研究人体肢体运动必须建立在科学的方法和先进技术装备的基础之上,才能客观的分析和评价人的肢体运动。运动生物力学另一项重要任务就是要研究测量人体肢体运动数据的技术装备,以及使用这些装备的方法和科学依据,为分析评价人体肢体运动提供技术条件和方法。体育运动项目对其运动技术的分析评价,都必须借助于运动生物力学的技术手段才能实现,否则就是一句空话。例如,田径技术理论中介绍说,决定投掷物飞行的远度有三个因素:投掷物出手速度、出手角度、出手点高度。但如果如果没有相应的测量技术手段,就不可能准确的知道具体某个运动员完成投掷动作时的这三个数据,因而不可能客观的分析评价他的技术状况。目前,运动生物力学拥有的影像测量方法、动力学测量方法,以及红外光点测量、肌电遥测等,已经率先在竞技运动领域发挥了重要作用,随着科学的普及还必然会在大众健康体育领域发挥作用。

本段要点:因为体育专业培养的从业人员,将来的工作对象不是“生了病的人”,也不是别的意义上所说的“人”,而是“从事体育运动的人”。从事体育运动就必然需要进行肢体运动,而肢体动作要达到良好的健康效果和竞技运动效果,就必然要求符合科学原理、符合机械运动规律。因此体育专业的学生必须将专门研究人体运动基本规律的“运动生物力学”作为基础课。

## 五、小结

综上所述,“运动解剖学”、“运动生理学”、“运动生物力学”在生物学属性类的课程中,被列为体育专业学生最主要的基础课是不容置疑的。

## 第二节 运动生物力学涉及的基本概念

像任何一门学科一样,运动生物力学也需要用许多专门的术语来表达特定的概念,本节只详细介绍四个最基本的概念,其他概念将会在以后各章中陆续介绍。

### 一、概念之一:运动生物力学

#### (一)运动生物力学定义(Sport Biomechanic)

运动生物力学是研究体育运动中人体(包括器械)机械运动规律及其应用的科学。

其中涉及两个要件:“体育运动中人体(包括器械)”是它要研究的对象;“机械运动规律及其应用”是它要研究的具体问题。这两个要件既决定了运动生物力学与其他学科的区别,也决定了运动生物力学与其他学科的联系。体育中的许多学科都以“体育运动中人”为研究对象,但是各自研究的具体问题不同。例如,运动心理学研究体育参加者的心理现象问题;运动训练学研究人在运动训练过程中的规律;各体育专业的术科研究各自运动项目中人体完成技术动作形式、教学训练方法、竞赛方法等。可以看出这些学科的研究对象是相同的,但是各自研究的具体问题是不相同的。

#### (二)运动生物力学所隶属的学科体系

运动生物力学是力学大家族中的一个新成员,直接从力学的主要分支“生物力学”派生而来。我们可以通过比较他们的研究对象看出它们的区别与联系。生物力学是研究活体系统机械运动规律及其应用的科学;而运动生物力学是研究体育运动中人体(包括器械)机械运动规律及其应用的科学。二者区别在于研究对象的差异,前者为“活体系统”,后者为“体育运动中人体”。“人体”自然是属于“活体系统”系统中的一部分,也就是说运动生物力学专门研究活体系统中的一个特定部分,即“体育运动中的人体”。二者的联系在于研究的问题是相同的,都是各自特定对象的机械运动规律及其应用。由此可见运动生物力学是生物力学的一个分支。

生物力学研究的内容:一方面是从宏观的角度对生物体整体、器官、组织的运动以及机械(力学)特性的研究,另一方面是从微观的角度对不同层次的生物组织结构内部的运动和变化进行研究。生物力学的研究范围和方法已超出了传统的学科界限,是一门力学

与生物学科相互结合和相互渗透的边缘学科,也是生命科学领域的一支重要力量。在生物力学体系中,由于研究具体对象和问题的不同,生物力学又可分为人类工程生物力学、医用生物力学、康复生物力学、农业生物力学,以及运动生物力学等。但在它的多个分支中,运动生物力学是近年来发展较为迅速的一个分支。

运动生物力学研究的内容:包括利用力学原理和各种科学技术手段对体育运动中人体的运动技术(体育动作)进行定量分析和描述,从力学和生物学的相互关系中得出人体运动的内在联系及基本规律,从而确定不同运动项目运动行为的不同特点;运动生物力学研究内容还包括研究和评价体育运动技术的合理性,运动技术与特定运动员的协调关系,为运动员解决技术缺陷设计辅助训练手段(包括身体素质训练),以及体育训练对人体有关器官系统结构及机能的影响等。由此可见,运动生物力学的研究目的主要是为提高竞技体育成绩和增强人类体质服务的,并从中丰富和完善自身的理论体系。

### (三)运动生物力学当前的热点领域表现在运动技术诊断方面

运动生物力学当前的热点表现在运动技术诊断方面。关于运动技术诊断的详细内容将在本章第四节介绍,以下先讨论这个热点产生的原因及其影响。

#### 1. 运动技术诊断直接服务于竞技体育

运动技术诊断就是通过测量和分析运动员当前的运动技术状况,为运动员改进或提高运动技术水平提供科学依据和解决方案。由于这项工作直接服务于竞技体育,为提高运动员的运动成绩提供了一个科学有效的手段,因而受到教练员和运动员的欢迎,也受到竞技体育管理部门的重视。在服务竞技体育的同时,运动技术诊断在测量技术、分析方法和服务水平等方面在近年来也得到了迅速的发展。

#### 2. 竞技体育的需求带动了相关仪器设备和测量技术的发展

竞技体育的特点是追求优异的运动成绩,而决定优异运动成绩除了运动员的体能、战术、心理等因素以外,运动技术是其中最重要的因素之一。随着竞技体育竞争的日趋激烈,以往单凭教练员个人经验为基础的训练体系已经难以满足新的需要。在评价运动技术方面,要求能够准确、迅速、有效地提供运动员当前的技术信息,为制定下一步的训练目标提供科学依据。由于这种需求的驱动,促使与运动技术相关的测量仪器、测量技术和分析方法的迅速发展,同时也成为高科技技术在体育领域应用的一个制高点。

#### 3. 全民健身体育为运动技术诊断提供了更大的活动空间

全民健身体育是体育运动的主要领域,全民健身采用的锻炼方法涉及的肢体动作为数众多,这中间有的对促进健康有益,有的运用不当会对健康有害,需要对这些肢体动作进行科学的测量和评价,以准确、客观、有效的数据指导全民健身运动向科学化的方向发展。因此,由运动技术诊断发展起来的一些测量仪器、测量技术和分析方法,将会大量应用到社会大众体育领域,为全民健身运动提供高质量的服务。

## 二、概念之二:运动技术原理(又称动作技术原理)

### (一)运动技术原理定义

运动技术原理是指体育运动技术应遵循的人体运动基本规律。

定义中隐含了两层意思:其一,不区分个人特点,即任何人所采用的运动技术都必须遵循这项技术所涉及的人体运动基本规律;其二,不区分体育项目特点,即任何体育项目的运动技术都必须遵循这些技术所涉及的人体运动基本规律。

这里所说的“人体运动基本规律”属于自然规律的范畴,是自然界基本法则在人体运动领域的表现。这表示人体运动的基本规律也是不以人的意志为转移的自然法则,不论我们知道它或者不知道它时,它都在对人体运动起作用,或者说都在制约人体的运动。人们对人体运动基本规律的认识过程符合认识论的基本原理:即当人们在体育运动实践中经过长期的经验积累,再经过科学研究对经验加以提炼和升华,逐渐揭示和认识到了人体运动中的一些基本规律,并用语言对这些规律加以描述,就成为我们所说的运动技术原理。它是指导运动技术训练的科学依据;当人们在体育教学训练中有意识的遵循人体运动基本规律时,可以收到事半功倍的效果;否则将受到它的制约。

## (二)体育领域在揭示人体运动基本规律方面的状况

运动生物力学是一门新兴学科,现代意义上的体育科学也是一门新兴学科,与一些经典学科比较,问世的时间短,研究的层面浅,因此所能揭示的人体运动基本规律很有限,目前已经揭示的一些人体运动基本规律仍然屈指可数。有关人体运动技术原理将在本书第三章中进行介绍。以下仅举其中一例,以帮助读者对运动技术原理概念的理解。

举例:关节运动的顺序性原理。

关节运动的顺序性原理认为:当一项运动技术动作有两个以上关节参与完成时,如果需要该动作产生最大的运动效果,那么必然表现为大关节先产生运动,小关节后产生运动。

以人体做“半蹲跳”动作为例。这个动作有至少三个大关节(髋、膝、踝)参与了运动,如果想要获得最大的腾空高度(即最大的运动效果),必然是髋关节先产生运动,其次是膝、踝等关节依次产生运动。参阅示意图 1-1。

再以人体做“推掷”动作为例。这个动作也有上肢的多个关节参与了运动,如果想要获得使被推掷物达到最大的远度(即最大的运动效果),上肢各关节的动作必然是依照肩、肘、腕的顺序进行运动。

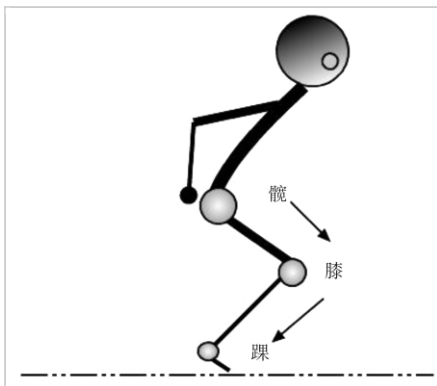


图 1-1 “半蹲跳”动作

### (三) 正确理解运动技术原理

关于运动技术原理有两个要点需要正确理解:

#### 1. 运动技术动作的目的是要获得最大的运动效果

运动技术动作是由骨骼肌完成的,骨骼肌又称为随意肌,人体可以随意支配自己的骨骼肌进行收缩完成任何想要完成的特定动作(相对于随意肌而言,人体分布于内脏、血管壁等部位的平滑肌,以及分布于心脏的心肌,称之为非随意肌。这些肌纤维的收缩是通过神经和体液自主调节,而不能由人通过主观意志进行调节)。

骨骼肌特性可以使人体按自己的意愿做动作。例如:在半蹲跳动作中,人体可以有意识的让踝关节先运动,膝关节、髌关节后运动;在推掷动作中人体也可以有意识的让腕关节先运动,肘关节、肩关节后运动。然而这种违反关节运动顺序性原理的动作虽然可以做出来,但必然不会获得良好的运动效果。

上述讨论说明,人体可以按自己的意愿做任何动作,但不能保证这些动作都能获得最大的运动效果。如果需要所做的运动技术动作获得最大的运动效果,就必然遵循运动技术原理的要求。

同时也说明,某项运动技术原理的应用是有限制条件的,如果人体的某些运动技术动作并不需要获得最大运动效果,而是要获得其他某种效果,例如动作的美观效果、动作的专项特殊要求等,那就未必都有相应的运动技术原理可以供我们有意识地去遵循,或者至少目前我们还没有认识到是何种原理,或者它应该遵循其他什么原理。

#### 2. 不区分体育项目特点和个人特点

仍然以关节运动顺序性原理为例进行讨论。

关节运动顺序性原理不会因为运动项目的不同而不适应。例如排球的跳跃、游泳运动出发时的跳跃、跳高运动的跳跃、足球运动的跳跃、篮球运动的跳跃……等等,尽管这些项目对跳跃动作在技术要求上可能会有很大的差异,但是如果这些项目中的跳跃动作需要获得最大的运动效果,那么就必须遵循关节运动顺序性的原理。

关节运动顺序性原理也不会因为个人身体素质状况的差异而不适应,也不会因为个人身材体形的高、矮、胖、瘦而不适应。只要他所做动作是为了追求最大运动效果,就必然需要遵循关节运动顺序性原理。

### 三、概念之三:最佳运动技术

#### (一) 最佳运动技术定义

最佳运动技术是指与个人特点相适应的运动技术。

在最佳运动技术的定义中暗含三层意思:其一,运动技术形式的多样性。即体育运动项目中的同一项运动技术,在动作形式上不是唯一的,往往会在动作的幅度、速度、发力方式等方面形成差异,表现出技术动作形式的多样性;其二,个人特点的多样性。即每个人在体形、肢体结构、各种身体素质,以及已经形成的技术习惯等方面的差异,构成了每个人的不同特点;其三,不同技术形式与个人特点之间存在相互配置问题。即只有选用与个人特点相适应的运动技术形式才是最佳运动技术。由此可见,最佳运动技术是因人而异的,

是相对的,没有绝对的最佳技术,在运动技术形式的选择上不应该盲目模仿。

## (二)运动技术形式与选择举例

### 1. 举例一:急行跳远起跳动作形式与选择

跳远的成绩主要由腾空的水平距离决定,水平距离等于水平分速度乘以腾空时间。跳远中踏跳起跳角 $\alpha$ 的作用可将助跑获得的水平速度 $v$ 分解为水平分速度 $v_x$ 和垂直分速度 $v_y$ 。其中,水平分速度 $v_x$ 是决定水平距离的因素之一,另一个因素是腾空时间,它由垂直分速度 $v_y$ 决定。由于二者是相互制约的,当 $\alpha$ 角大时则 $v_y$ 大而 $v_x$ 小;反之则 $v_y$ 小而 $v_x$ 大。应该有一个适当的分配才能保证后续的腾空能获得较大的水平飞行距离。

由以上分析可以看到, $v_x$ 和 $v_y$ 的分配关系是由起跳角 $\alpha$ 的大小来决定。这就要求运动员应根据自己的身材情况和身体素质情况来选择适合自己的起跳角度,从而形成了有差异的起跳动作。一般来讲:身材高大、肌肉力量强的运动员适合于采用大角度起跳动作,这是通过延长腾空时间获得较大的水平距离;而身材小、速度快、灵敏性好的运动员适合于采用小角度的起跳动作,这是通过保留较大的水平速度来获得较大的水平距离。参阅示意图1-2所示。

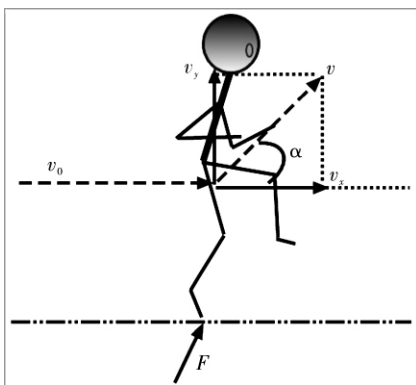


图 1-2 跳远“起跳角”示意图

### 2. 举例二:举重挺举提铃动作形式与选择

举重挺举的第一个动作阶段是“提铃至胸”动作。常见的动作形式:一种是所谓“高翻”提铃动作,这种动作表现为发力时将杠铃提起很高,然后微微弯曲下肢将杠铃接住,直接成直立支撑杠铃姿势;另一种是所谓“低翻”提铃动作,这种动作表现为发力时将杠铃提起较低,然后大幅度弯曲下肢接住杠铃成下蹲姿势支撑杠铃,最后再站起来成直立支撑杠铃姿势。

以上两种提铃动作形式也需要运动员根据自己的身材特点和身体素质情况进行合理的选择。一般来讲:腰背、肩、臂部位的肌肉力量较好,而下肢肌力相对较弱的运动员适合选择“高翻”提铃动作;而下肢肌力较强的运动员适合选择“低翻”提铃动作。因为前者有能力将杠铃提得较高,可以避免腿部力量的弱点;而后者可以利用其腿部的优势,弥补提铃不高的弱点。

### (三) 正确理解最佳运动技术

最佳运动技术强调的是要符合个人特点,但是前提条件必然是要符合运动技术原理。运动技术原理和最佳运动技术之间的关系是一般和特殊的关系,前者反映的是人体肢体运动的普遍规律,后者反映的是肢体运动的特殊规律。在遵循运动技术原理的基础上,由于个人的身体形态、身体素质、当前技术状况、甚至个人对技术的把握能力等方面的差异,要求在技术动作的形式上与个人的特点相协调。

## 四、概念之四:运动技术诊断

运动技术诊断又称为运动技术分析,二者名称不一样,基本内涵是一致的。本书中不加区分同时使用这两个名称。

### (一) 运动技术诊断定义

根据体育运动参加者的个人特点,研究他所应采用的最佳运动技术(或运动动作),并为其改进或优化运动技术提供解决方案。这一系列工作的总称即为“运动技术诊断”。

需要注意把握其中的两层意思:其一,了解个人特点。需要了解被诊断对象的身材条件、身体素质条件、现有技术状况等;其二,提供优化方案。需要根据被诊断对象的个人特点,设计适合他的最佳运动技术,并提供实现最佳运动技术的方法和途径。

### (二) 运动技术诊断的基本过程

“诊断”一词来源于医生为病人看病,医生治病包括诊断病情过程和治疗过程。运动技术诊断是为运动技术“看病”,同样也主要有两个基本过程:

#### 1. 了解情况过程(类似于医生的诊断过程)

在这一过程中需要了解体育运动参加者的个人特点,包括他的身体条件、身体素质条件、现有技术状况等。

医生采用的诊断方法有传统的方法和借助现代科学仪器的方法。如中医的传统方法有“望、闻、问、切”,西医的传统方法有听诊器、体温表、血压计以及按压患处等检查方法。当传统的方法不能准确发现问题时,可以借助现代科学仪器,包括使用X光透视或拍片、B超、验血、验尿、CT扫描等。不论何种方法,目的只有一个,就是要准确的了解病情。

运动技术的诊断方法也一样有传统的方法和借助科学仪器的方法。传统的方法就是采用皮尺、秒表测量运动员的身体情况和身体素质情况,以及教练员通过眼睛观察和凭借个人的专项知识、专项经验判定被诊断对象的技术状况。当传统方法不能准确了解情况时,可以借助现代科学仪器,包括影像测量、红外光点测量、测力装置、肌电遥测等。不论何种方法,目的也只有一个,就是要准确的了解运动员的个人特点,为后续优化技术工作提供足够多的信息。

#### 2. 解决问题过程(类似于医生的治疗过程)

医生在确诊病人病情的情况下,需要“对症下药”。对于简单的常见病,仅仅通过吃药打针就可以解决问题;而对于复杂的病情还需要制定一套合理有效的治疗方法。

与医生治病相类似,运动技术诊断在确认某运动员技术问题的情况下,需要设法解决所发现的技术问题。对于一些简单的技术缺陷,教练员可以通过语言提醒、常规辅助训练手段便可达到解决问题的目的;而对于较复杂的技术问题,就需要提出运动技术的优化方案,内容包括最佳运动技术应具有的形式、需要注意改进的问题、设计有效的技术训练方法和辅助训练方法等。

### (三)正确理解运动技术诊断

以下只讨论两个问题。

#### 1. 运动技术诊断的两个过程是有机的整体,都应该给予重视

在运动技术诊断的两个过程中,解决问题的过程要比发现问题更困难。在现代技术条件下,发现运动技术缺陷一般都比较容易做到,但是要很好的解决问题却并不那么容易。医生治病是这样,运动技术诊断也是这样。

在当前运动技术诊断的实践中,大多数工作往往集中在“发现问题过程”方面,而对于“解决问题过程”方面则明显工夫下得不够。这种情况可以从当前大多数运动技术诊断的研究文章中看到。这也是我们需要努力解决的薄弱环节。

#### 2. 运动技术诊断不仅仅是针对竞技运动,还可推广到健身运动领域

为了在概念上有所区分,常将竞技体育中的动作称之为“运动技术”,而将大众体育中的动作称之为“运动动作”或“体育动作”。

对于竞技体育:研究运动技术的合理性和有效性。其主要目的是让运动员使用这些运动技术获得较好的成绩效果。

对于大众体育:研究运动动作的合理性和有效性。其主要目的是让健身者练习这些运动动作获得身体健康的效果。

以上二者在追求的目的上有区别,但是本质上是一样的:都是通过合理的肢体动作达到各自的目的。因此,在竞技运动中发展起来的运动技术诊断的方法和技术手段,同样可以推广到健身运动领域。目前只是这方面的工作开展的还很不够而已,并不说明运动技术诊断只适用于竞技运动领域。

## 第三节 运动生物力学的基本任务

运动生物力学的基本任务描述了其主要的工作领域。划分工作领域主要是为了使工作目标更清晰,并不意味着它们是截然不同的,这些任务相互联系、相互促进,共同完成一个总目标,即为体育运动服务。基本任务主要可划分为五个方面:

### 一、研究人体形态结构、机能的力学特性,为运动员选材提供依据

#### (一)本项任务特点

人体结构是解剖学研究的内容,人体器官机能是生理学研究的内容,而运动生物力学主要研究的是人体结构、人体器官机能所表现出的生物力学特性。三门学科都是以人体为研究对象,但是各自研究的具体内容有所不同。

运动生物力学主要研究人体运动系统形态结构和机能的力学特性,常将其划分为两部分:外部形态结构的力学特性和内部形态结构的力学特性。在外部形态结构力学特性方面,主要研究肢体长度的力学特性、骨骼结构的力学特性、关节形状的力学特性、肌肉形状的力学特性、韧带形状的力学特性等;在内部形态结构力学特性方面,主要研究骨骼、肌肉、肌腱、韧带等组织的内部结构、材料元素等所具有的力学特性。

运动生物力学对上述问题的研究又表现在两方面:一方面研究人体形态结构机能的力学特性,为预测运动员的潜力服务;另一方面还研究体育运动对人体形态结构机能的影响,为评价体育运动对人体健康效果服务。

## (二)举例

“肢体长度”和“身体高度”是最简单的形态结构,以下通过分析其所具有的力学特性帮助我们加深对上述所提问题的认识。

### 1. 肢体的长度对转动角速度、线速度的影响

在肌肉拉力的作用下,使肢体产生角速度。在角速度相同的情况下,肢体长短对其末端线速度具有影响。肢体长的其末端线速度大,肢体短的其末端线速度小。对于投掷运动员而言,肌肉力量和肌肉收缩速度这两个因素中,往往肌肉收缩速度是关键因素,因此对于具有长臂结构的人从事投掷项目具有优势。参阅图 1—3。

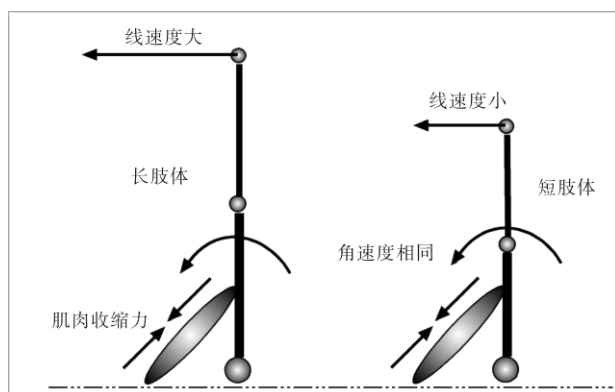


图 1—3 肢体长度对其末端线速度影响示意图

结论:选择身高,臂长的运动员从事投掷运动就具有先天的优势。

### 2. 身高对于举起重物时所做功及耗费肌力的影响

举重项目是要比谁举起重物的质量,而不是比谁举得高。在重物相同的情况下,举得高者做的功多,耗费的肌肉能量较大;而举得低者做的功少,耗费的肌肉能量较小。这样对于具有整体结构较矮的人从事举重项目具有优势。参阅示意图 1—4。

结论:选择肢体短而粗壮的人从事举重运动,具有省力省功的优势。

## (三)小结

人体个人肢体先天具备的某些形态特征,能为其后天从事某个方面的体育运动形成优势。有目的、有预见性的利用这种先天优势,可增大他在该项目上成功的可能性。这就

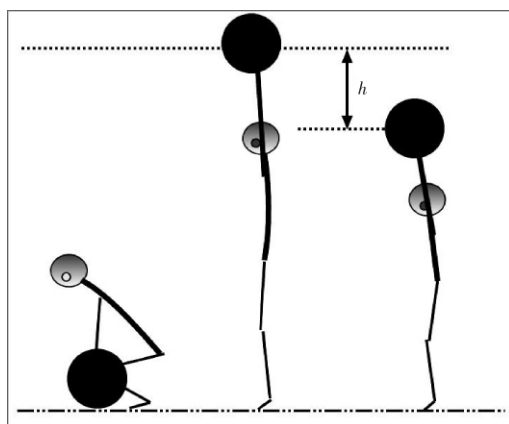


图 1-4 肢体长度对举起重物时做功影响示意图

是运动生物力学利用形态结构和机能的力学特性,为运动项目选材提供依据的基本思路。

人体其他一些更复杂的形态结构和机能的力学特性,以及体育运动对它们的影响,将在专门章节中介绍,此处不再赘述。

## 二、揭示运动技术原理,为有意识的利用人体运动规律提供支持

### (一) 本项任务特点

人体运动中的客观规律是不以人的意志而存在的,人们遵循这些规律的方式有两种:一是无意识的适应人体运动规律;另一种是有意识的利用人体运动规律。前者是被动的,后者是主动的,在体育运动技术的学习和运用过程中后者的效果要远远优于前者,后者可以使我们充分发挥人的主观能动性。而揭示人体运动的客观规律是为我们有意识的利用规律创造前提条件。

当我们对人体某方面的体育运动规律缺乏认识时,指导体育运动技术是凭借经验进行的。首先,经验具有一定的局限性,它还不能让我们完全认识这项运动技术。例如,在完成某项体育动作时,经验可以让我们知道乙方法比甲方法好,于是选择乙方法,但是乙方法可能并不是最好的方法,也许还有丙、丁等更好的方法。其次,经验还具有很大的盲目性,它还不能让我们充分认识这项运动技术的内在规律。例如,在指导学习运动技术动作时,经验可以让我们能够在动作形式上模仿的一模一样,但是并不能保证在技术动作内部的发力特点等方面也完全符合力学规律。

运动生物力学的重要任务就是要在经验积累的基础上,通过科学探索和研究,充分揭示人体运动的客观规律,保证我们在指导体育运动技术时能够有效地克服经验的局限性和盲目性,为有意识的利用客观规律指导运动技术的学习和训练提供条件。

### (二) 举例

以“关节运动顺序性原理”用于“铅球投掷技术”的学习和训练为例进行分析,加深对本问题的认识。

当我们已经认识到“关节运动顺序性原理”所描述的人体多关节运动规律,并且又愿

意在“铅球投掷技术”的学习和训练中有意识的利用这个原理,那么应该怎样做以及这样做有什么优势呢?在正确掌握投掷铅球技术动作形式的基础上,让运动员了解发力顺序是从腿开始、然后依次经过腰、肩、肘、腕、手,最后作用在铅球上。并且每次练习时都有意识的默想并遵循这个发力过程,以加深对正确动作和正确发力的体验。这样做的优势在于通过平时成千上万次训练的反复,使推铅球时应该做的正确动作和正确发力得到强化,牢固地建立了正确动作和正确发力的神经通路,这样便可以最大限度地预防在将来比赛时因比赛现场的紧张气氛而导致动作变形或失误。

相反,如果不是有意识的利用“关节运动顺序性原理”,而是通过“无意识适应”方式来满足关节运动顺序性规律的要求。这样做虽然也可能形成正确的运动技术,甚至也可能表现出较好的成绩,但是在这种方式下由于缺乏人的主观意识的参与,正确动作和正确发力的神经通道并没有得到足够的强化和巩固,当受外界较强干扰时就容易造成动作变形。经常看到一些运动员在平常训练时表现良好,而在比赛时则常常出现动作失常的现象。原因也许是多方面的,但动作变形必然应该检讨平时训练是否有意识利用规律来强化正确动作的问题。

### (三)小结

揭示人体运动规律是运动生物力学的重要工作之一,它为体育工作者在从事体育运动技术教学和训练工作中能有意识的利用运动技术原理提供前提条件。有意识的利用人体运动规律比无意识的适应规律,能取得更好的教学训练效果。

## 三、进行运动技术诊断,为体育参加者制定最佳运动技术解决方案

### (一)本项任务特点

对于竞技体育而言,结合运动员个人身体形态、机能、身体素质、现有技术状况等特点,研究适合个人特点的最佳运动技术形式,并为实现这个技术形式提供解决方案,这是运动生物力学在竞技体育运动中的重要任务。当前,运动生物力学已经具备了一套相对完善的测量手段和分析方法,利用这些方法诊断出运动员技术上的缺陷基本不存在什么技术难题。但是如何针对所发现的技术问题提出切实可行且有效的解决方案,仍然是一个薄弱环节。因此,在运动技术诊断工作中,提出解决方案是最具灵活性和挑战性的工作内容,它没有定式可以照搬,对教练员及体育专业人员能否综合运用体育教学训练方法是一种考验,也反映了运动技术指导水平的高低。

对于大众体育而言,全民健身同样需要体育专业人员根据从事体育锻炼者的实际情况,为他们设计出切实可行,且效果较好的体育锻炼动作和方式。因此,将运动技术诊断的方法应用到大众体育领域,是一项有待开拓的工作。

### (二)举例

为运动员成功进行运动技术诊断的实例很多,在此只举一例,加深读者对运动技术诊断作用的认识。

早在上世纪70年代蒙特利尔奥运会前几个月,铁饼运动员麦克·威尔金斯的成绩是

66 米,离当时的世界记录 69 米还相差 3 米之多。科学家(艾里尔)在对其进行运动技术诊断过程中,通过计算威尔金斯四肢用力状况和分析投掷动作的影像资料,发现他在铁饼出手之前膝关节存在习惯性晃动的技术缺陷,进一步计算出了因为这种晃动而耗散掉的本应传递到铁饼的能量,并确认这个缺陷是影响他运动成绩提高的主要因素(注:体重近百千克的运动员,身体一个很小的晃动所耗散掉的能量,若能完全传递到一个只有几千克重的铁饼上,其效果是显著的)。找到问题后,接下来便是寻找解决问题的办法。他们聪明的想出了一个办法,就是制作一个专用的矫形器固定在威尔金斯的膝关节上,限制住他晃动的膝关节,帮助他找到膝关节不晃动时应有的主观感觉,使他逐渐纠正了这个技术缺陷。结果威尔金斯以 70.86 米的成绩刷新了铁饼世界记录。

### (三)小结

运动技术诊断在竞技体育工作中已经成为非常重要的组成部分。当前在运动技术诊断工作中,为运动员优化运动技术提供解决方案还是一个有待加强的工作。将运动技术诊断的方法拓展到全民健身领域也是一项大有发展前途的工作。

## 四、对体育器械进行力学性能测试,为优化运动器械提供力学依据

### (一)本项任务特点

体育运动的目的是为了促进人体健康和提高运动成绩,体育器械作为体育运动的一种辅助工具同样需要适应这个目的。随着人们对体育器械认识的提高,以及制作体育器械新材料的出现,都需要不断改进和完善体育器械,使之更有利于实现体育的目的。

器械的力学性能直接影响体育运动效果,因此设计新型的运动器械,或改进旧的运动器械,可以提高运动成绩。对于竞技体育,在改进体育器械时还需要考虑符合竞赛规则对器械的规定。不论是哪种体育器械,在设计和改进时都需要遵循两个基本原则:即安全和有效。这两个原则有时是相互制约的,这就需要通过通过对器械力学性能的测量,在安全和有效二者之间找到一个很好的结合点。

当前,对运动器械的研究设计已经成为一个广泛的领域,除了传统意义上的器械以外,还拓展到适合各种运动项目的专用运动鞋、专用运动服装,以及相关的一些专用物品。并且这个领域有着广泛的应用前景,逐渐形成一个重要的体育产业。

### (二)举例

#### 1. 撑竿跳高所使用的撑竿

撑竿跳高所使用的撑竿就是一个典型例子。它从最早的竹竿、铝合金竿发展到现在的玻璃钢竿和碳素纤维竿,为优秀运动员不断创造新的世界纪录奠定了基础。

玻璃钢和碳素纤维是新材料,其力学性能具有轻巧、坚韧的特点,比天然竹材料、铝合金材料都要优秀,是适合用于制作新型撑竿的材料。设计人员在设计时如果单纯为了安全,无限制加大竿子的设计强度,这样会使竿子的重量增加,失去轻便的特点,给运动员的使用带来困难;反之,如果单纯为了轻便有效,不考虑竿子的承受强度,又会带来很大的安全问题。因此,研究设计人员要做的工作,就是通过科学测试,获得运动员体重、插竿时的

运动速度,模拟出撑竿跳运动在插竿瞬间对撑竿所产生的载荷,再以这些数据作为依据,计算出撑竿应该具备的力学强度。这样设计出来的撑竿才能在安全和有效之间获得最佳结合。

## 2. 射箭运动安装在弓上的减振器

射箭运动是利用弓的弹性力将箭射出,但弓在反弹时产生的振动又会影响箭的准确性,为了减少弓的振动对箭的影响,往往在弓柄上加装减振器(一根可以吸收多余振动的长杆)。然而,不同材料、不同结构形式的减振器,其吸收振动的能力不同,这就需要针对这些减振器进行研究和设计。

## (三)小结

在竞赛规则允许的范围内,从生物力学的观点出发,提出器械设计和改进的设想及要求,并为设计新的和改进旧的运动器械提供生物力学参数,能使体育器械更有效地增进人体健康和提高运动成绩。

# 五、对动作结构进行受力分析,为预防运动创伤和促进康复提供辅助方案

## (一)本项任务特点

运动创伤有急性创伤和慢性创伤两大类,急性创伤往往表现为骨折、软组织拉伤(断)等,慢性创伤往往表现为局部组织劳损等。不论是哪种情况,从力学角度看都是因为在受伤部位受力不当造成的。因此受力不当是造成创伤的直接原因。如果我们能在受伤之前就对专项技术动作引起人体各部位受力的状况有所了解,那么对于提前采取避免措施,有效防止创伤的发生是完全可能的。

运动生物力学专业人员不是医生,对治病疗伤并不见长,其长处在于对人体动作结构的受力分析。这一长处可以帮助我们事先了解运动员伤病可能发生的部位和伤病的形式,从而提示我们及早采取补救措施,减少伤病发生的几率或降低伤病的程度。

## (二)举例

### 1. 预防慢性创伤(以立姿射击、射箭等项目为例)

在立姿射击、射箭等项目中,影响准确性的重要因素之一是器械在三维空间的自由度,即器械在上下、左右、前后方向的晃动。如果减少器械的自由度,便可限制器械在某个方向的晃动,可达到提高准确度的目的。常见方法是通过将腰部扭转到极限位置,限制左右方向的晃动。但是这样的技术形式,使腰椎及其周围的软组织明显受到较大的侧向压力和扭转力。运动员在长年累月的训练中,很容易在腰部造成局部过重的负担而引起慢性损伤。

如果在运动员早期的训练中,预先考虑到了这个问题,可在每次训练后及时对负担过重部位进行恢复(局部按摩、热水浴、理疗等),并长期坚持,必然可以大大减少在十年八年后出现腰部病痛的发病几率。因为这类疲劳是一天天积累的,如果恢复补救措施也能一天天长期坚持,对于早期预防伤病必有好处,使很多晚期无法解决的问题通过早期预防却很容易避免。

这类问题在许多运动项目中都存在,只是发病部位不同而已,如篮球、排球运动员的膝关节、网球运动员的肘关节等,都可以采取类似的方法加以预防。

## 2. 预防急性创伤举例(以田径短跑为例)

在田径短跑运动中,肌肉、跟腱等软组织损伤是常见现象。

运动生物力学对生物材料的力学试验表明:软组织的力学性能受温度、湿度、炎症、病变的影响。当软组织的温度较低或存在炎症等状况时,其抗拉伸能力会大幅度下降,且温度越低、炎症越严重,抗拉伸能力也越低,甚至只有不到正常水平的 30%。此时,往往一个微不足道的外加载荷都可以造成软组织破坏或断裂。

在短跑运动的起跑、加速跑阶段,跟腱是受拉伸力最大的部位;而在途中跑阶段,腿部的后侧、前侧都是受拉伸力最大的部位。如果此时跟腱、腿部肌肉的温度不够(准备活动不充分引起),或这些部位存在炎症(疲劳恢复不充分引起),都极有可能造成这些部位的损伤甚至断裂。

因此,在准备活动不充分、肌肉和跟腱温度较低、疲劳恢复不充分、炎症(在炎症部位运动员往往有疼痛感)等情况时,应该避免让这些部位承受大强度的拉伸力。

## (三)小结

每个运动项目都拥有若干特定的技术动作,运动创伤的发生也会因这些技术动作的特点而形成一定的规律。因此,首先分析技术动作结构的受力状况,再有针对性的采取相应补救措施,是运动生物力学预防运动创伤的基本方式。

# 第四节 运动技术诊断专论

以上介绍了运动生物力学的五项任务,这五项任务中与运动技术联系最为紧密的是第 2 和第 3 项任务,即“揭示运动技术原理”和“进行运动技术诊断”。而其中“进行运动技术诊断”又是近年来在竞技体育运动实践中最为活跃的一项工作,它已经成为科学训练工作的重要组成部分,为我国的竞技运动获取优异成绩立下了汗马功劳,受到了广大运动员、教练员及运动训练管理部门的重视和欢迎。本节将“深入浅出”的介绍进行运动技术诊断的基本知识。

## 一、进行“运动技术诊断”基本工作步骤

进行“运动技术诊断”可以划分为五个基本工作步骤。

### (一)步骤一:确定需要进行运动技术诊断的对象

运动技术诊断是针对特定的目标进行的,即运动技术诊断是以特定的运动员个体为工作目标,属于个体研究而非群体研究。因此,首先应该确定进行运动技术诊断的对象。这个步骤要解决的问题是“我们应该研究谁?”,或者说“谁的运动技术需要被诊断?”。

一般来说,大致有两种情况:一是针对运动技术存在的缺陷而进行的运动技术诊断。这种情况往往是某运动员当前的运动技术存在某种缺陷,需要准确了解是什么缺陷,以及

缺陷的影响程度,以便有效的纠正缺陷使运动成绩得到提高。二是针对运动技术最佳化的需要而进行的运动技术诊断。这种情况往往是当前某运动员采用的运动技术虽然并无缺陷,但是与它所具备的基本条件不协调或不合理,需要改进技术以便充分发挥他的个人身体特点,进一步提高运动成绩。

## (二)步骤二:数据采集(即了解情况过程)

数据采集是通过某种方法获得与运动技术相关的一些数据,无疑这些数据包含有运动技术的信息,这些信息告诉我们被诊断对象当前运动技术的状况,它们是后续进行运动技术改进和训练的依据。采集数据的方法有以下两种:

### 1. 通过肉眼观察,获取与运动技术相关的“定性数据”

这些“定性数据”包括关节角度的大、小;动作速度的快、慢;动作幅度的高、低;肢体配合的协调、不协调;以及其他诸如多、少、长、短等形式的数据。这些“定性数据”同样包含运动技术的信息,是决定我们后续如何处理被诊断对象运动技术的依据。

### 2. 通过科学仪器测量,获取与运动技术相关的“定量数据”

这些“定量数据”主要有两大类:其一是运动学数据,包括关节的位置、角度、角位移、角速度等,它们包含了动作的姿态及其变化等运动技术信息;还包括人体环节重心(及人体总重心)的位置、位移、速度、加速度等,它们包含了动作的运动状况及其变化等运动技术信息。其二是动力学数据,包括动力曲线、冲量等,它们包含了动作完成过程中人体用力状况及其变化等运动技术信息。这些数据的最大特点是具有比较精确的数量,与定性数据比较,能更准确地描述运动技术信息。

## (三)步骤三:评价被诊断对象当前的运动技术、为其提出最佳运动技术设想

在获得运动员的运动技术数据以后,需要从这些数据中解读出运动技术的信息,然后根据所掌握的运动技术信息回答这样的问题:被诊断对象当前的运动技术怎么样?是否有缺陷?或者是否不合理?如果有缺陷,其缺陷的程度如何?如果不合理,其合理的技术又应该是什么样?

在运动技术诊断的实践中常综合使用以下三种评价依据。

### 1. 以体育指导者的专业经验作为依据

它是以体育指导者长期从事体育教学训练工作所积累的实践经验作为基础而提出的意见作为评价依据。这种实践经验虽然并不像某些数据那样能明确地进行准确描述,有时甚至只能意会而不能言传。但我们不能否认这样一个事实:许多优秀的教练员正是应用自己长期积累的训练经验及自己对所从事专项的敏锐感觉,非常正确的分析评价了所带运动员的技术状况,并解决了运动员当前的技术问题,从而带出了优秀运动员。体育指导者的专业经验是评价运动技术非常有用的依据。

### 2. 以优秀运动员的数据作为参照依据

医生治疗患者追求的是要让患者恢复正常。所以医生评价病人身体状况,是将从病人身上检测出的生理数据与正常人的数据进行比较,或者说正常人的生理数据是评价病人数据的依据。同样,竞技运动追求的是要让被训练者也达到优秀。因此,评价被训练者

的技术状况当然应该与优秀运动员的技术数据进行比较,或者说优秀运动员的技术数据可以作为被评价运动员的参照依据。

优秀运动员之所以优秀,是因为他在这个项目中创造了优异的成绩,说明他采用的运动技术具有一定的合理性,是一种被实践认可的了的运动技术,自然可以被用来作为参照和借鉴。首先从理论上说,优秀运动员的运动技术数据虽然可能还称不上是某种必然规律,还没有上升到理论高度,但这只能说明需要进一步探索完善,并不能说明不可以作为评价运动技术的参照数据。其次从进行运动技术分析评价的实践效果来看,这已经被大量事实证明是一种非常行之有效的方法。最后值得一提的是,许多优秀的教练员、体育教师和运动生物力学工作者在日常工作中,注意和坚持大量收集世界优秀运动员的运动技术资料和数据,用于自己的教学训练工作中,收到了极好的效果。这也给年轻的教练员、体育教师和运动生物力学工作者提了一个醒,应该注意长期积累这方面的资料和数据。

### 3. 以运动生物力学理论作为评价依据

人体的运动技术动作是一种机械运动,人体所有运动技术动作的最基本组成方式是“以骨骼为杠杆在肌肉收缩的牵拉下绕关节转动”。因此,要想获得较好的运动效果,就必然需要遵循机械运动规律。运动生物力学是“研究体育运动中的人体(包括器械)机械运动规律的专门的学科”,运动生物力学的基本理论和研究成果是分析评价运动技术优劣的最基本依据。认真学习运动生物力学,这不仅是运动生物力学专业工作者的需要,也是教练员和体育教师的需要。

### (四)步骤四:设计辅助训练手段(即提出解决问题办法)

医生治病是在确诊病情的基础上,结合病人的实际情况考虑治疗方法,或吃药打针、或外科手术等。解决运动技术方面的问题,采用的办法则是要结合运动员的具体情况,通过设计有针对性的辅助训练手段,提高运动员的能力或弥补运动员在某方面的缺陷,达到解决运动技术问题的目的。

运动员存在运动技术问题,无非是这样几种情况:一是某方面身体素质的薄弱,达不到该项运动技术对身体素质的要求;二是对该项运动技术的理解存在偏差,不能正确地把握这项技术。不论哪种情况,都可以通过设计有针对性的辅助训练手段进行弥补和引导,帮助运动员逐渐完善和优化自己的技术。

前面曾谈到,设计有针对性的辅助训练手段这一步是运动技术诊断中最具有挑战性的工作,也是当前运动技术诊断工作的薄弱环节。出现这种情况的原因,与当前这样一种现状有关:从事运动技术诊断的专业工作者大多是学习运动生物力学专业的学者,虽然对本专业的知识、技能,以及仪器设备有较强的功底,但是对具体运动项目的运动技术、训练手段,以及该项目的训练知识等却不一定在行,甚至很不在行,因此就很难提出有建设性的意见。往往只是把运动员存在的技术问题提出来,而让教练员自己去想办法解决。这种现象就好比医生把病人的病情确诊后,不能提出治疗办法,而让病人自己去寻找治病良方。另一方面,从事训练工作的教练员,虽然他们对自己所从事的运动项目有很高的专业知识和技能,但是他们并不一定很了解运动生物力学方面的知识,对运动技术诊断所使用的一些专业术语、指标体系等,在理解上往往也是似是而非,很难正确把握。面对运动生

物力学专业人员反馈来的技术数据,常常是一头雾水,不知所云。在这种状况下要他们去提出解决办法确实有困难。因此,解决运动生物力学工作者和教练员的协调配合是重要一环,这里所说的“协调配合”不应是简单地把二者通过所谓“攻关小组”放在一起就完事的问题,而应该在双方的知识层面进行协调。也就是说,运动生物力学专业人员应该努力掌握运动训练方面的知识,教练员应该努力掌握一些运动生物力学知识。在这中间,运动生物力学专业人员应该更为积极主动。

#### (五)步骤五:监控被诊断对象运动技术的改变情况,及时发现问题和修正辅助训练手段(即有效性监控)

与纯粹的机械运动不同,运动员完成运动技术是一个复杂的过程。纯粹的机械运动可以连续重复若干次完全相同的运动,而运动员则很难将同一个动作完全相同的连续重复若干次。运动员在完善运动技术的过程中,需要打破原有的技术平衡,重建新技术的神经通道。因此技术出现反复或引发其他问题是正常现象,教练员和运动生物力学工作人员既要制定对制定的解决方案有信心和耐心,又需要认真分析和处理出现的新问题。

在这个阶段需要特别注意以下问题:

其一,需要监控所选用的辅助训练手段是否有效,是否达到了预期的目的,并及时修正辅助训练方案在实施过程中表现出的不合理部分。

其二,需要综合考虑所解决的问题与其他技术之间的相互制约问题。因为一个技术问题的解决,可能会引发了其他技术问题。

### 二、运动技术诊断一直是体育教学训练工作的重要组成部分

在此值得一提的是:“运动技术诊断”这一术语虽然只是近年来才被提出,但它的基本内涵一直与体育竞技运动相伴始终。也就是说,在有体育竞技运动进行的地方,就必然伴随有“运动技术诊断”的工作在进行。

在我们还没有条件借助科学仪器帮助的时候,从事竞技运动训练同样需要进行运动技术的诊断工作。以下不妨分析一下体育指导者的工作过程:

1. 体育指导者在训练时总是不断地用眼睛观察某个运动员的技术动作状况。体育指导者的这项工作其实就包含了进行“运动技术诊断”前两个工作步骤的内容,即“确定了被诊断的对象”和“进行了数据采集”,只不过此时进行数据采集的方式是通过体育指导者的眼睛进行观察而已,采集到的数据是定性数据而已。但这并不能认为这项工作不在进行。

2. 体育指导者根据眼睛观察到的情况,会依情况进行相应处理:如果问题比较简单,体育指导者会用语言及时提醒运动员注意某某动作;如果问题比较复杂,体育指导者会设法采取一些辅助训练手段来帮助运动员纠正动作技术。例如:体育指导者观察到某运动员跑的动作有“坐着跑”的毛病(即后蹬不充分),这种毛病往往是由于运动员腿部后侧肌肉力量欠缺、或腿部前侧的柔韧性不够等原因造成的。于是体育指导者就会进一步根据具体情况为运动员安排相应的辅助练习,使运动员提高肌力或柔韧方面的能力,为纠正“后蹬不充分”技术缺陷创造条件。体育指导者的这项工作其实就包含了进行“运动技术诊断”第三和第四项工作步骤,即“评价被诊断对象当前的运动技术及其应具备的最佳动

作技术”和“设计辅助训练手段”,只不过此时体育指导者是依据自己的专业经验完成了这两项工作而已。

3.紧接着体育指导者还会进一步观察运动员技术的改变状况,发现和修正可能还存在的问题。这项工作当然就是属于进行“运动技术诊断”的第五个工作步骤,即“监控被诊断对象运动技术的改变情况,及时发现问题和修正训练手段(即有效性监控)”。

由以上分析可以看到,进行“运动技术诊断”并不是什么新鲜玩意,它伴随着体育竞技运动的始终,也伴随着体育指导者工作的始终。它的固有属性是“发现运动员的动作技术问题和设法纠正运动员的动作技术问题”,而发现问题和纠正问题的方法,以及从事这项工作的人并不是它的固有属性。当前,虽然出现了一群扛着“专用科学仪器”的“专业工作者”,但这并不代表“运动技术诊断”这项工作的必然属性,他们的出现只是表明“运动技术诊断”这项工作有了两个明显的变化:其一是方法有了变化,主要表现在数据采集的方式、分析评价方法等方面,不再仅仅是单凭体育指导者的专业经验,而是有了专门的测量仪器和更系统的更科学的方法,而且随着科学技术的进步其方法还会发生新的变化;其二是这项工作的专业分化更细,有了专门从事这项工作的专业人员,不再仅仅是体育指导者的个人行为,而是一个包括体育指导者在内的一个工作群体。

#### ◆复习思考

- 1.运动生物力学与体育运动技术有何关系?它在体育学科体系中处于一个什么地位?请对它的地位加以简单论述。
- 2.请举例说明你对运动技术原理和最佳运动技术的理解。
- 3.什么是运动技术诊断?请结合体育运动实际谈谈应如何进行运动技术诊断。
- 4.运动生物力学有五项基本任务,请选择其中一项谈谈你对它的认识。
- 5.进行“运动技术诊断”有哪几个基本工作步骤?为什么说运动技术诊断一直是体育教学训练工作的重要组成部分?

## 第二章 运动技术数据

### ◆本章基本知识要点

1. 运动技术数据主要包括运动学数据和动力学数据,这些数据包含了运动技术的信息,采集和分析这些数据对于准确的分析评价运动技术具有重要意义。
2. 运动学数据的采集主要是通过摄影、摄像机拍摄记录运动技术的影像资料,然后再通过对影像资料进行数字化(解析)处理,从中获得运动学的数据。
3. 动力学数据的采集主要是利用各种测力装置或测力设备,记录运动过程中人体对外界的作用力情况,动力学数据形式主要有动力曲线、冲量等。
4. 利用运动学数据、动力学数据分析评价运动技术的基本方法和基本技能。
5. 本章实验内容包括:摄像机的使用、手工解析一幅运动技术图片、影像资料数字化软件的使用、测力台、平衡台的使用、电阻应片的粘贴和应变测力仪的使用等。

### ◆本章内容教学导航

运动技术分析是依靠运动技术数据进行的。因此,本章首先介绍运动技术数据的意义,即要求了解运动技术数据对运动技术分析所具有的作用。然后,分类介绍运动学数据的测量采集方法、动力学数据的测量采集方法。要求学生从这些教学内容中了解运动技术数据的获取来源。由于运动学数据是通过影像测量方法采集,学生将来会有较多的接触机会,因此应该作为介绍的重点。本章还安排了四个运动学实验和三个动力学实验作为授课内容的辅助,应结合授课内容的进度适时进行安排。实验的目的不仅是要培养学生实际操作能力,而且还包括培养学生分析问题的能力和实际应用能力,在教学中应该予以充分重视。

### ◆基本内容

## 第一节 运动技术数据的意义

运动技术数据是指从人体运动过程中采集到的能够准确描述其运动状态的相关信息。人体运动与空间、时间相关的信息称之为运动学数据;人体运动与作用力、时间相关的信息称之为动力学数据。

### 一、运动学数据对运动技术的意义

运动学数据包括关节位置和关节角度、位移和角位移、速度和角速度、加速度和角加速度等。

### (一)关节位置和关节角度

人体关节位置和关节角度数据可以准确描述人体运动的姿态(姿势)。在体育运动实践中,评价运动技术优劣的一个重要信息就是动作姿态(姿势)。在体育专项书籍中,对其所属运动技术都是通过所谓“动作要领”用文字进行描述的,其中相当多的内容都与动作姿态有关。可见动作姿态是运动技术的一个重要因素。

#### 1. 关节位置

人体运动系统的支架是由骨骼和关节组成的一种“链状”结构,当这种链状结构的枢纽位置(关节位置)发生变化时,便会引起整个支架的形态发生变化。因此,人体运动时身体姿态(姿势)可以看成是由各个关节在空间的位置决定的。

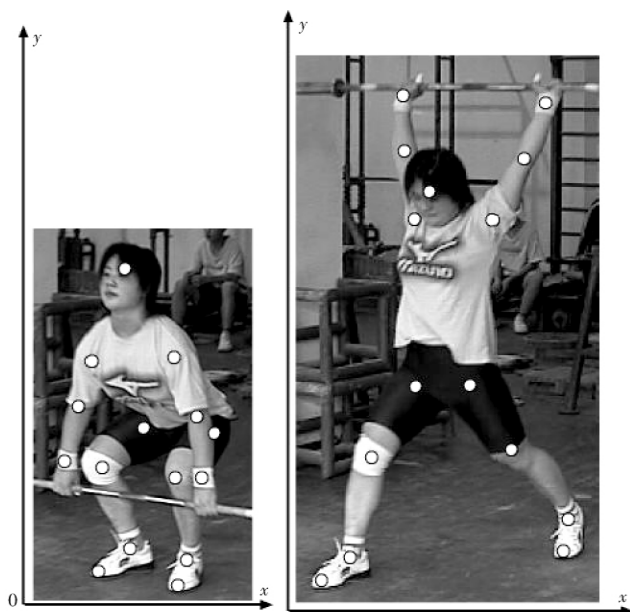


图 2-1 关节位置与运动姿态相关示意图

参阅图 2-1,图中显示了关节位置与动作姿态相关的情况。从图中可以看出,当人体任何一个关节的位置发生变化时,都必然会引起动作姿态发生变化;反之,当人体动作姿态发生变化时,也必然会伴随关节位置变化。可见关节位置与动作姿态之间具有对应关系,关节位置能够决定动作姿态,关节位置是准确描述动作姿态的重要信息,采集这个信息无疑可以利用它分析评价运动技术。

当我们需要用数据来准确描述人体在空间的身体姿态时,可以将人体放置在一个坐标系中,此时关节的位置就可以用坐标表示。身体的任何一个动作姿态都与一组关节坐标相对应,或者说每一组关节坐标都对应一个动作姿态,关节坐标便成为计算人体运动学数据的基础数据。我们在对运动技术图片进行数字化处理时的第一步工作,便是所谓“取关节点”工作,这项工作就是要获取每幅运动技术图片中各关节点坐标 $(x, y)$ 或 $(x, y, z)$ ,为后续计算其他运动学数据的工作奠定基础。

## 2. 关节角度

人体每个关节的角度决定相邻两个运动环节之间的相互关系,关节角度数据直接描述动作姿态中每个关节的伸展和弯曲状况。在分析评价运动技术动作的姿势时,关节角度也是一个重要的指标。因此,关节角度同样是定量描述运动技术的重要信息,采集这些信息无疑可以利用它分析评价运动技术。关节角度数据( $\alpha$ )可由关节位置坐标经过进一步演算获得。

参阅图 2—2,图中显示了关节角度在描述人体动作姿态时各环节之间的相互关系。

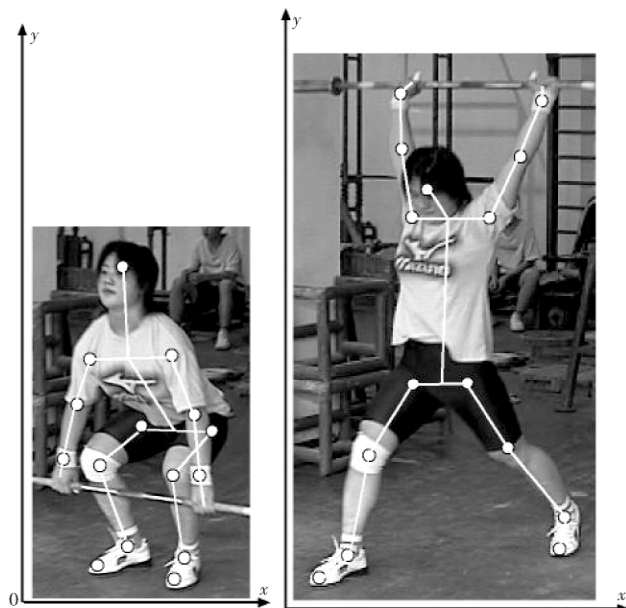


图 2—2 关节角度示意图

### (二)位移和角位移

人体动态运动过程可以看成是由一系列有序的静态姿势所组成。当人体从一个姿势连续变化到另一个姿势时,肢体各部位的位置也会发生一系列的连续变化,位置变化的距离称之为位移。与此同时,各个关节角度的大小也会发生相应变化,关节角度变化的幅度称之为角位移。位移和角位移同样是分析评价运动技术的重要指标。

以下用短跑运动为例,说明位移和角位移数据对于分析评价运动技术的作用。

#### 1. 位移

我们以 100 米途中跑时人体总重心的位移情况为例,看看总重心的移数据能否提供有用的运动技术信息。通过运动员途中跑的影像资料求出其在途中跑每个瞬时的总重心位置坐标,便可以在坐标系中作出该运动员在途中跑时总重心的运动轨迹。图 2—3 反映了运动员总重心在垂直方向的位移情况;图 2—4 反映了运动员总重心在左右方向的位移情况。

100 米途中跑时人体总重心在垂直方向、左右水平方向上的位移情况可以帮助人们了解运动员的技术情况,当垂直位移数据较大时说明运动员跑动时身体重心在垂直方向起伏较大;当左右位移数据较大时说明运动员跑动时身体重心在左右方向摇摆较大。

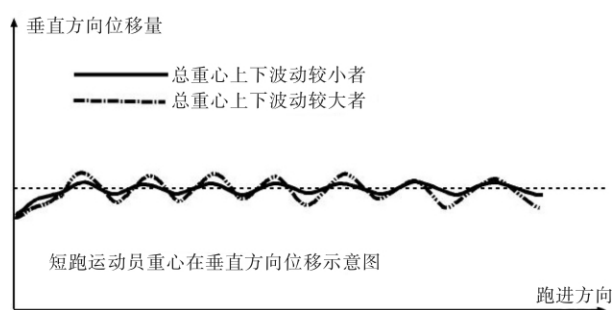


图 2-3 跑的过程中总重心在垂直方向上的位移示意图

短跑运动员在运动过程中总重心在垂直方向上的位移情况可以反映运动员的技术情况,上下位移太大的运动员无疑存在技术上的缺陷。

同样,短跑运动员在运动过程中左右方向的水平位移情况,也反映了运动员的技术状况。如果左右方向摆动太大,也肯定是需要改进的技术缺陷。

以上只是以人体总重心位移情况为例,来说明位移数据对于分析评价运动技术的作用。人体其他部位的位移数据都有相类似的作用。只要我们能够准确的获取人体运动过程中各部位的位移数据,就能为我们提供运动技术的信息,成为客观分析评价运动技术的依据。

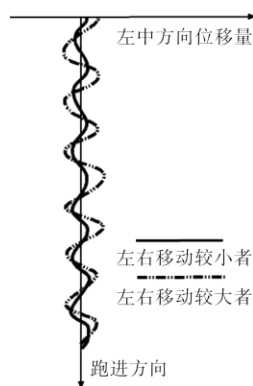


图 2-4 跑的过程中总重心在水平方向上的位移示意图

## 2. 角位移

髋关节角度是衡量短跑运动员大腿摆动时的重要技术指标。大腿前摆时髋关节角位移大小可以帮助我们了解运动员大腿摆动技术的情况。参阅图 2-5。

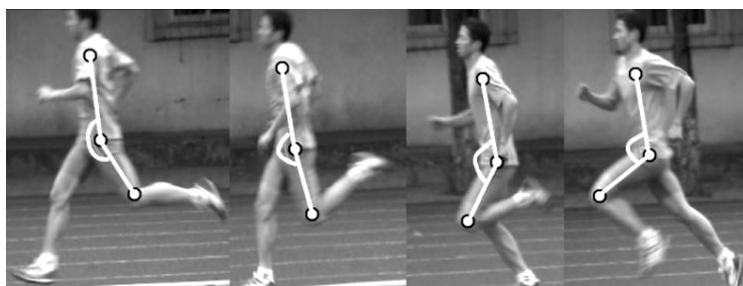


图 2-5 大腿前摆时髋关节“角位移”示意图

膝关节角度是衡量短跑运动员小腿折叠时的重要技术指标。小腿折叠时膝关节角位移大小可以帮助我们了解运动员小腿折叠技术的情况。参阅图 2—6。

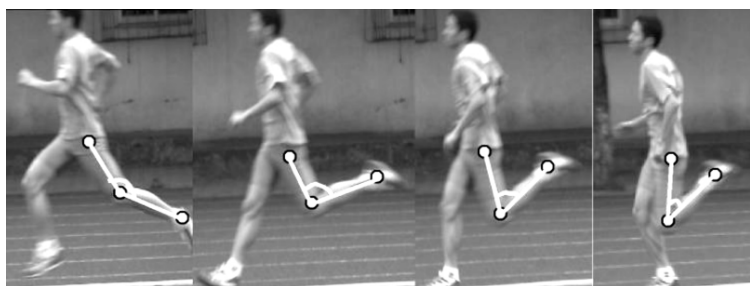


图 2—6 小腿折叠时膝关节“角位移”示意图

以上只是以途中跑时运动员髋关节和膝关节的角位移情况为例说明角位移数据对于分析评价运动技术的作用。在其他运动技术中,关节的角位移数据具有类似的作用。

### (三)速度和角速度

速度是指位移量与时间的比值。速度反映了在单位时间内肢体某点位置移动距离的大小;角速度是指角位移量与时间的比值。角速度反映了在单位时间内肢体转动幅度的大小。速度和角速度都是衡量运动员肢体动作快慢的指标。

#### 1. 速度

在日常生活中,我们习惯于使用平均速度,但是平均速度指标用于分析运动技术时,是远远不够的。以下通过对平均速度指标、瞬时速度指标的比较,加深对速度的认识。

以某运动员 100 米跑为例。假如其成绩为 10 秒,我们按平均速度的观点很容易认为该运动员的速度为 10 米/秒。如果将其在直角坐标上作出“速度—距离”曲线,如图 2—7 所示。

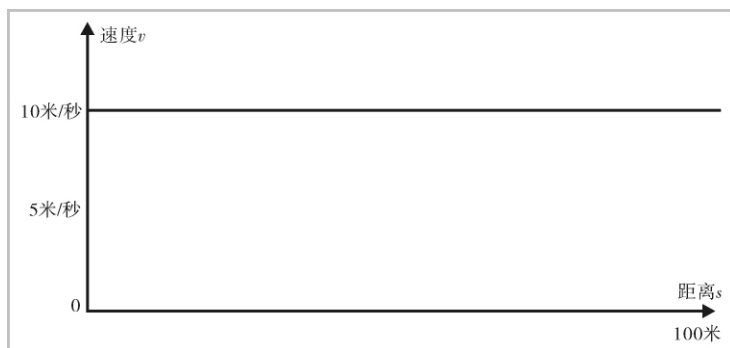


图 2—7 100 米跑平均速度的“速度—距离”曲线示意图

从图中可以看出,其“速度—距离”曲线是一条水平线,显然不符合实际情况。因为运动员不可能在发令枪一响的瞬间就能够将速度一下子提高到 10 米/秒。而在途中跑和终点冲刺阶段,其速度又有可能超过 10 米/秒。由此可见,平均速度数据虽然可用于度量运动成绩,但是对于分析运动技术就具有很大的局限性。

经验告诉我们:100 米跑的速度实际情况应该是非匀速的。在起跑阶段速度逐步加

大,途中跑和终点冲刺阶段速度较大,且会有一定变化。基本规律应该是:在起跑阶段速度是逐步增加的,在途中跑和终点冲刺阶段,其速度应该相对较大,应该超过其平均速度,而且有一定幅度的波动,如图 2-8 所示。从图中可以看出,三名运动员在起跑加速阶段、途中跑阶段、终点冲刺阶段的速度变化情况。相比之下,这种瞬时类型的“速度—距离”曲线数据就包含了较多的运动技术信息,它使我们可以了解每个运动员在 100 米跑时的速度分布情况,是分析运动技术和制定训练方案的重要依据。

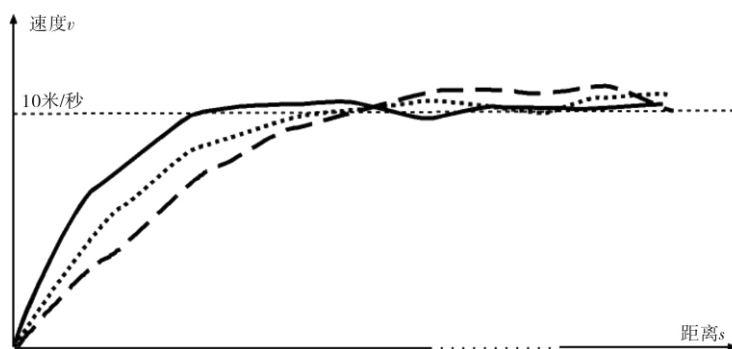


图 2-8 100 米跑瞬时速度的“速度—距离”曲线示意图

以上所举的 100 米跑瞬时速度“速度—距离”曲线只是讨论了一个基本变化规律,并不能说明特定运动员的具体情况。由于每个人在完成 100 米跑时的“速度—距离”曲线是互不相同的,具有自己的特点。因此,对于某个特定运动员而言,他的速度变化到底是一个什么情况?只有采集到他的速度数据才能将他的速度特点表现出来,才能有针对性地进行运动技术分析,才能对他的训练有指导意义。因此,如何准确采集到运动员的速度数据,是运动技术数据测量中需要解决的重要问题。

## 2. 角速度

关节角速度是衡量短跑运动员肢体摆动时的重要技术指标。这个指标可以用角位移的大小除以完成时间得到。

$$\text{角速度公式: } \omega = \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{t}$$

与速度数据的作用一样,角速度数据也可以描述运动技术动作的快慢。速度数据侧重于描述人体某个“点”的运动快慢;角速度侧重于描述人体某个“环节”的运动快慢。在运动技术分析中,这两类数据相辅相成,共同实现对运动速度的描述。

## (四)加速度和角加速度

在运动技术分析中还需要用到加速度( $a$ )和角加速度( $\epsilon$ )等数据,这些数据主要反映人体运动过程中某个点的速度变化快慢,或某个肢体的角速度变化快慢。

$$\text{加速度计算公式: } a = \frac{v_2 - v_1}{t}$$

$$\text{角加速度计算公式: } \epsilon = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t}$$

### (五)小结

其一,以上讨论可以看到,运动学数据对分析运动技术具有重要作用。运动学数据包含了大量的运动技术信息,是分析运动技术和制定训练目标的依据。而所涉及的运动学知识并不复杂高深,无外乎是位置、角度、位移、角位移、速度、角速度、加速度、角加速度等。

其二,如何采集运动学数据则是分析运动技术需要掌握的重要知识。运动生物力学的重要任务之一就是研究运动学数据的采集方法。同时也是运动生物力学在体育学科体系中占据重要地位的依据。

## 二、动力学数据对运动技术分析的意义

在使用动力学数据分析评价运动技术时,最常用的是动力曲线和冲量两种数据形式。

### (一)动力曲线

动力曲线又称为“力—时间”曲线,动力曲线是以时间数据和力值数据为坐标(时间,力值),在“力—时间”坐标系中描绘出的一条曲线,它是一种图形类数据的表现形式,反映了力值大小随时间变化的状况。

人体完成技术动作时,必然要对外界物体施力,在整个动作过程中,力的大小随时间而变化。在运动员做动作的时间范围内,如果能够连续采集到足够多力值数据,就可以得到足够多的(时间,力值)坐标,用于描绘出“力—时间”曲线。例如,一次跳高踏跳动作需要的时间大约在0.2秒左右,如果每间隔0.001秒采集一个力值数据,就可以采集到200个力值数据,与相对应的时间构成200个坐标,用这200个坐标可以在“力—时间”坐标系中描绘出200个点,再用光滑的曲线连接这200个点,就可得到一条反映该动作用力状况的动力曲线。

动力曲线能否为我们提供运动技术信息呢?如果动力曲线能随着不同的动作而变化,或者说如果不同的动作与不同的动力曲线具有对应关系,那么这条动力曲线就必然包含了它所对应技术动作的某些力学特点,这些力学特点就是该运动技术在力学方面的信息,对于分析评价运动技术肯定是有用途的。以下从三个方面进行讨论。

#### 1. 不同的动作会产生不同的动力曲线

以田径运动中三级跳远的第一跳和跳高中的踏跳为例,图2-9A和图2-9B表现的是这两种不同踏跳动作的“动力曲线”示意图。比较它们在垂直方向、前后水平方向的动力曲线,可以看出,虽然同样是跳跃动作,但是二者的动力曲线在形状、力值的大小、作用时间等方面都有很大的差异,动力曲线不完全相同,这反映了不同技术动作之间的差异。这说明,不同的动作会产生不同的动力曲线,通过动力曲线可以了解不同技术动作的用力特点。

#### 2. 不同的人完成相同动作会产生不同的动力曲线

以跳远的踏跳为例,分别测得甲、乙两个运动员的动力曲线图,如图2-10A所示。从图中可以看出,虽然两名运动员做的是同一个动作,但是二者的动力曲线也同样有很大的差异。这说明,动力曲线包含了每个运动员完成动作时自身的发力特点,可以反映不同运动员的技术特征。显然,通过动力曲线可以了解不同运动员的技术特点。

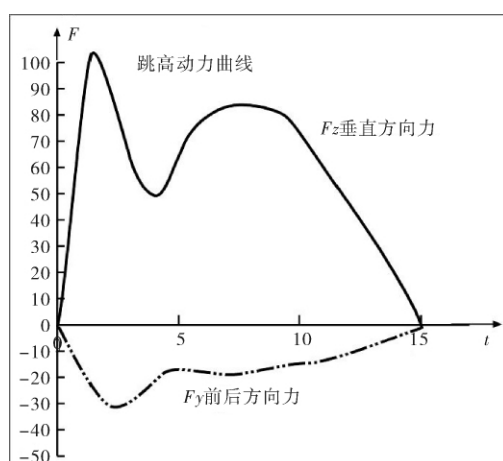


图 2-9A 跳高踏跳动作的“动力曲线”示意图

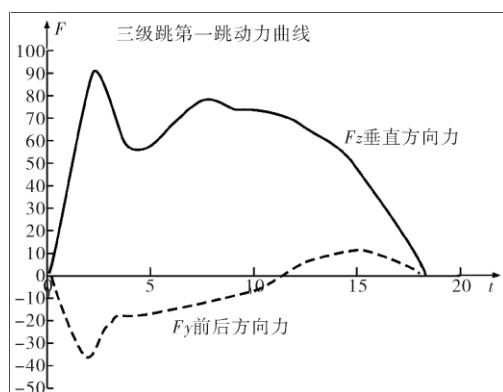


图 2-9B 三级跳第一跳踏跳动作的“动力曲线”示意图

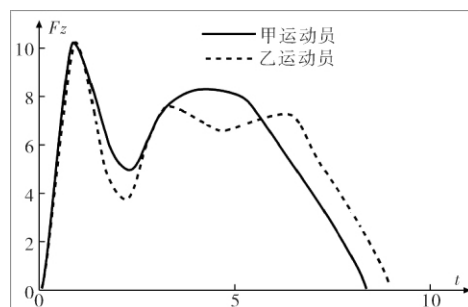


图 2-10A 不同的运动员做相同动作时的“动力曲线”示意图

在分析评价运动员的技术时,常常采用的方法是将训练对象的动力曲线与优秀运动员的动力曲线进行比较,可以获得一些对改进技术的有用信息。

### 3. 相同的人完成相同动作其动力曲线会有一定差异

以跳远踏跳为例,测量同一个运动员前后两次试跳的动力曲线,如图 2-10B 所示。从图中可以看出,虽然是同一个人做同一个动作,但两次踏跳所得动力曲线仍然存在差异。这说明动力曲线能准确反映运动员做动作时的用力过程,哪怕是一些细微的差别都

能准确表现出来。可见动力曲线能够完全表现出运动技术关于力学方面的一些信息,作为分析评价运动技术的依据。

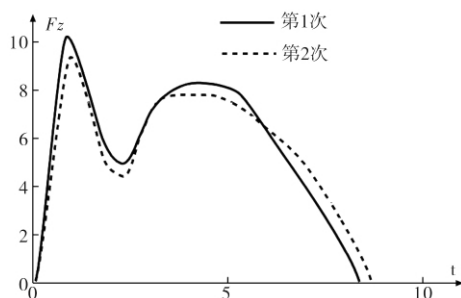


图 2-10B 同一个运动员做相同动作时的“动力曲线”示意图

人体运动过程中每次动作都会有一定的差异,这是人体运动不同于纯机械运动的特点。通过它可以了解运动员每次动作完成的情况,成功的百分数指标可以反映该运动员掌握该项技术的熟练程度。

从以上三种情况可以看出,技术动作完成的不同,则动力曲线就不同,动力曲线与运动技术的发力方式之间存在着对应关系。显然这种对应关系可以成为分析和评价运动技术发力特点的一项重要数据形式。

## (二)冲量

人体完成动作时对外界施力的目的是为了改变自身的运动状态(加速、减速、保持静止或匀速)。运动状况效果的大小是由施力的大小与时间的乘积(冲量)决定的。动力曲线下所围面积代表冲量的大小,如图 2-11 所示。

动力曲线下所围面积越大,受力物体运动速度的改变也就越大。运动效果的大小与冲量的大小有密切的关系。因此,冲量是分析评价运动技术效果的一个客观指标。

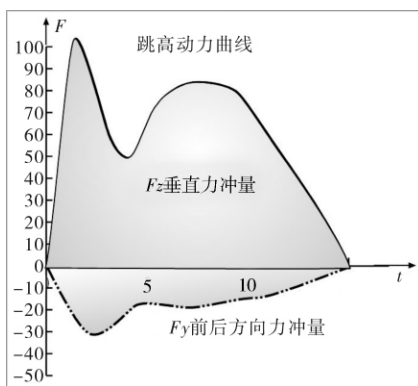


图 2-11 冲量—动力曲线下所围面积示意图

## (三)小结

动力学指标对了解运动技术产生的原因和效果具有重要作用。而所涉及的动力学知识无非是动力曲线、冲量等,这些知识只需要初中物理基础,并不复杂高深。而如何通过

科学技术手段获取这些数据,并通过它们解读其中包含的运动技术信息,才是为什么需要学习运动技术数据采集的重要原因。

### 三、运动技术数据采集方式讨论

以上我们看到是运动技术数据中常用的两大类五种,它们对于分析评价运动技术各有其用途。一般来讲:关节点的位置数据(包括关节角度)与动作姿态(姿势)有关;位移数据与动作幅度有关;速度数据与动作质量有关;动力曲线与完成动作过程中的发力特征有关;冲量数据与动作的效果大小有关。每一种数据都能从一个方面反映运动技术的状况,使用时可以根据研究的目的选择其中某几个数据进行采集。

运动技术数据的采集方式在实际中经常使用的有两种:

第一种:眼睛观察。具有专项知识和专业经验的体育教师、教练员都是通过眼睛观察的方式采集运动技术信息。所谓“内行看门道,外行看热闹”指的就是这个意思。内行所看的“门道”,其实就是与其专项运动技术相关的信息。这些信息用运动生物力学的术语来说,无非就是前面介绍的与动作姿态、动作幅度、动作速度、发力方式、发力效果相关的一些数据。用眼睛观察获取运动技术信息是一种最直接、最快速的获取运动技术信息的方法。体育教师、专项教练员在观察到问题以后,马上利用自己的专业经验,将这些信息与自己头脑中存储的标准动作信息进行对比后,再向学生或运动员发出纠正信息。当然,眼睛观察到的运动技术信息,其数据特点是定性的而非定量的数据,如大和小、高和低、快和慢等。

第二种:仪器测量。利用仪器测量,可以得到比较全面、精确的运动技术数据。但数据获取的时间周期要比眼睛观察长一些,而且需要有相关的仪器设备和专业人员等。

以上两种数据采集方式并无本质上的差异,只有方法上的区别。并且两种方法在实际应用过程中是相辅相成的关系,并无矛盾冲突。对于一些简单的动作和常见的动作错误,仅凭眼睛就能确认的时候,当然完全没有必要使用仪器来测量。只有当眼睛看不到的问题,或者对眼睛看到的问题不能完全确定、或需要更进一步精确的测量时,就可以使用仪器测量方式,使问题更精确。这就好比医生看病一样,当使用一般的诊断方法完全能确诊的病症,就没有必要使用医疗仪器进行辅助检测。只有在常规方法不能确诊时,才需要使用医疗仪器进行精确的检测。

关于使用眼睛观察的方法,不是本书介绍的范畴。以下将主要介绍如何使用仪器来测量运动技术的数据。分别介绍运动学、动力学两类数据的仪器测量方法。

## 第二节 运动学数据的采集及应用

### 一、影像测量方法

摄影、摄像测量方法是目前在运动技术分析领域中获取运动学数据的主要测量方法,而且是在实践中使用最广泛的一种方法,因此也是本章讨论的重点。

### (一) 影像测量原理

通过摄影、摄像的方法测量人体的运动学数据与一般运动学测量在道理上没有本质的区别。影像测量特点是先将人体运动影像记录下来,然后对影像图片上的人像进行测量,而不是直接对人体进行测量。

摄影摄像记录下来的影像资料是一组连续的动作图片。因此,在每两张图片之间人体各部位会产生位置变化,测量其长度就是位移数据。拍摄频率的倒数是每两张图片之间的时间间隔,即运动时间。位移除以时间即可得到两相邻图片上各点的运动速度。

为简化讨论假定运动物体只有一个点●。以下分别讨论该点在一维方向和二维方向运动时,它的运动学数据测量方法。

#### 1. 一维方向运动学数据测量

设点●沿水平方向运动,摄影机记录了其运动过程,任意选取影片中的连续三幅图片,如图 2—12 所示。

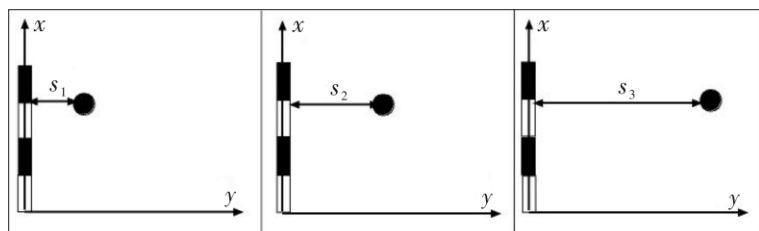


图 2—12 点在一维方向上运动时的位移与速度示意图

由于物体是处于运动状态的,因此图片上的点●相对于参考体(标尺)会发生位置移动。通过测量图片上各点的位置坐标( $s_n$ ),用相邻两图片坐标相减即可计算出位移;再以其拍摄频率  $f$  的倒数换算出间隔时间  $t$ ;便可以用速度计算公式计算出每两幅图片之间速度。设一维方向上的位移  $\Delta s$ 、时间  $t$ 、速度  $v_i$ ,拍摄频率  $f$ ,数据计算公式如下:

位移数据计算公式:  $\Delta s = s_n - s_{n-1}$

间隔时间计算公式:  $t = \frac{1}{f - 1}$

速度数据计算公式:  $v_i = \frac{\Delta s}{t}$

#### 2. 二维方向运动学数据测量

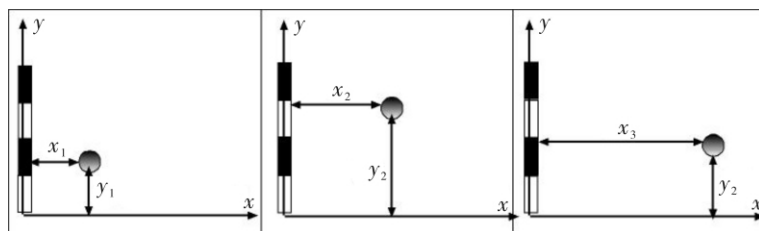


图 2—13 点在二维方向上运动时的位移与速度示意图

点在二维方向上运动时其位移与速度的计算,在道理上与一维方向的速度计算一样,

只是在两个方向上各分别计算了一次一维速度数据而已,参阅图 2-13。

从第 1 至第 2 幅图片的水平速度  $v_{x_1}$  和垂直速度  $v_{y_1}$  :

$$v_{x_1} = \frac{x_2 - x_1}{t} \quad v_{y_1} = \frac{y_2 - y_1}{t}$$

从第 2 至第 3 幅图片的水平速度  $v_{x_2}$  和垂直速度  $v_{y_2}$  :

$$v_{x_2} = \frac{x_3 - x_2}{t} \quad v_{y_2} = \frac{y_3 - y_2}{t}$$

高速摄影摄像机每一个间隔时间内拍摄到的运动技术画面,经测量计算后得到的仍然是平均速度,但它是若干分段距离内的平均速度。如果人体运动是一个变速运动,那么每一小段的平均速度就会不一样,因此在坐标系中描绘的“位移-速度”曲线就呈阶梯状,如图 2-14 所示。这种图形似乎不太好看,但与在大范围内计算一个平均值所得到的“位移-速度”曲线相比(参阅前面图 2-8),更接近运动的实际情况。

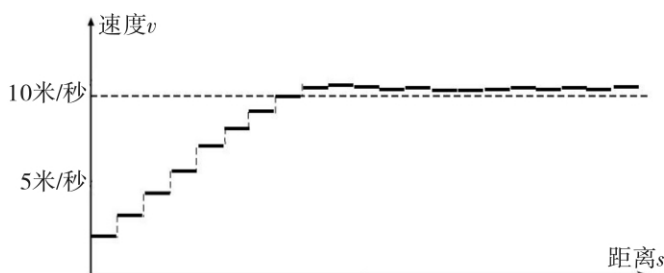


图 2-14 摄影摄像测量得到的速度数据示意图

如果研究需要更高的测量精度,可以通过提高拍摄频率,使每两幅画面之间的时间间隔更短,那么所计算的速度就更接近瞬时速度。以拍摄 100 米跑为例,如果拍摄频率为 100 帧/秒,大约可以在每 0.1 米左右距离记录一帧影像,即在每 0.1 米的范围内计算一次平均速度;如将拍摄频率增加到 200 帧/秒,则大约可在 0.05 米的间隔内计算一次平均速度。

由此可见,数据采集的精度随拍摄频率而提高,而且在每个极短的时间间隔内采集到的运动学数据系列,完全可以充分接近体育运动的实际情况。此外还可以通过数据平滑处理技术对采集到的原始数据进行处理,不但可以使各种运动学曲线更光滑,而且也更接近人体运动变化的真实情况(参阅前面图 2-8)。

以上是以位移和速度的计算为例进行的讨论。同样的道理,角位移、角速度等其他各项运动学数据都可以测量出来。

## (二)影像数字化基础

从影像资料中测量、计算运动学数据的过程称之为影像数字化(或影像解析)。前面已经介绍了测量计算一个运动点的运动学数据,对于整个人体的测量计算工作来说要相对复杂一些,但是基本原理仍然是一样的。基本过程是先将人体运动影像置于坐标系中,然后测量关节点及关键点的坐标数据,再以这些坐标数据为基础计算所需要的其他运动学数据。

### 1. 人体影像数字化

影像是由若干点组成的,这些点在放入坐标系之前就仅仅是点,跟数没有关系,并不能进行数学计算。但如果将影像图片放置坐标系中以后,影像上的点和坐标系中的数(坐标)便建立了一一对应关系。即影像上的点对应一对数(坐标),反之坐标系中的任何一对数(坐标)也对应影像图片中的一个点。这就为下一步用数进行的计算打下了基础。

需要取影像上的哪些点作为计算基础呢?前面提到人体是以关节为枢纽的连杆式机械结构,人体各关节在空间位置的不同组合就决定了人体的不同姿态(姿势)。因此只需要获取每帧影像图片上人体各个关节以及头、手等有限个点的坐标,利用这些点的坐标作为基础数据,可进一步计算出人体各种运动学数据(位置、速度、加速度等)。

运动学数据的计算,除了需要用到关节点的坐标数据以外,还需要用到人体的惯性参数(人体各环节的质量、质心、转动惯量等)。计算方法是解析几何的方法为基础。

计算工具可以是手工方式、光学机械方式、电子方式、计算机方式等,不论采用何种计算工具,但计算方法的基本原理总是一致的。由于影像图片解析计算的工作量非常大,现在大多采用后两种方式,前两种方式仅在一些特殊情况下使用。例如:在教学时为帮助初学者学习和掌握影像图片计算的基本方法,仍然采用人工方式直接在图片上测量和计算。而光学机械方式(如工具显微镜)基本被淘汰。因此本章以手工计算方式和计算机方式作为介绍重点。介绍前者是为了帮助学生掌握基本方法;介绍后者是为了帮助学生了解和掌握可用于运动技术分析实践的先进工具。

### 2. 影像数字化的步骤

第一步,将影像图片放置在一个坐标系中;

第二步,测量人体关节点以及特定点的坐标数据;

第三步,用解析几何方法结合人体惯性参数计算人体各部位的运动学数据。

### 3. 手工计算影像图片运动学数据实验

为加深大家对运动技术影像测量的理解,本节安排用手工的测量计算方式,在一张图片上测量关节点坐标数据,并以此为依据计算人体总重心的位置这一个运动学指标(同样的道理,其他的运动学指标也可以用关节点数据为依据,采用相关的计算方法求得,只是计算量太大,用手工计算方法难度太大而已)。

教学目的有两个:其一,破除从影像图片计算运动学数据的神秘性,深入了解这种计算的基本方法;其二,体会数据计算工作量的艰巨和繁琐,认识计算机对影像数据计算的重要性(配合本章“实验二:运动技术图片手工测量计算基础”)。

### (三)摄影测量方法

摄影测量方法是采用高速摄影机拍摄运动技术动作,影像资料以胶片为记录载体,胶片经过冲洗后用影片解析仪进行数据采集和计算,获得各个运动学参数。摄影测量法在20世纪末曾经是最普遍使用的方法,也是相对成功的方法。它记录动作过程相当准确,在先进的计量手段和数学处理的帮助下,可以达到毫米数量级的水平。它的缺点是时间周期长,不能及时反馈研究对象的信息,不利于适时对运动员的现场指导。目前摄影测量方法正在被摄像(录像)测量方法取代。

本节安排介绍摄影测量内容,其原因有三:其一,摄影得到的是电影胶片,胶片上的每幅图片形象直观,与手工计算时用得图片基本一致。而录像得到的是压缩在一个计算机文件中的一个图像系列(其实是电子信号),比较抽象,初学者不易理解;其二,摄影测量所用的数字化板,其取关节点的原理比较接近手工计算用的直角坐标系。而录像测量用的是计算机窗口坐标系,显得相对抽象;其三,摄影测量与录像测量在数据处理方法上基本一致,掌握其中一种都会对另一种的理解具有帮助作用。因此从介绍摄影测量入手,对于后面掌握摄像(录像)测量无疑是一个良好的前导。

### 1. 摄影测量的仪器设备

#### ●高速摄影机

用于拍摄运动技术影片。摄影机的正常拍摄速度一般在 24 帧/秒,专用的高速摄影机最快的可达数百帧/秒,有的甚至上千帧/秒。作为体育运动拍摄用的高速摄影机,根据技术动作的速度进行选择,动作速度慢的可采用较慢速度拍摄,动作速度快的要求拍摄速度快。一般而言,人体的运动动作拍摄频率在 50~150 帧/秒左右即可满足需要。

#### ●分析放映机

用于将运动技术影片上的影像投射放映到数字化板上。其功能特点是可以随意控制走片帧数、前进、倒退等,便于在每帧影片图像上依次取关节点坐标数据。

#### ●数字化板

是一个电子坐标系,一端与计算机相连接。当光电笔接触数字化板上的某个位置时,该位置的坐标数据会被传送到计算机中,由专用软件负责接收和处理。

#### ●计算机及其处理软件

负责接收数字化板传递来的关节点坐标数据,进行数据存储、读取、运动学的计算等工作,还可以进行绘图等数据再现工作。软件是整个系统的核心,它决定整个系统的功能大小和状况。

### 2. 摄影测量过程介绍

#### ●拍摄运动技术影像

确定需要分析研究的运动技术动作,将其拍摄记录在电影胶片上。胶片经冲洗晾干后作为后续数字化的基础。

#### ●数字化过程描述

运动技术影片上的图像经分析放映机投射到数字化板上(相当于将图片放置到坐标系中),再由人工使用光电笔点取人体关节点,关节点的坐标值被传送到计算机存储。参阅图 2-15。

影片解析软件以人体关节点数据为基础,分别计算出各运动学数据,包括人体总重心位置、各环节重心位置、各点的速度、加速度等线运动数据;以及各关节角度、角速度、角加速度等角运动数据等。软件对这些数据进行数据平滑处理后,可以数据表、曲线图等直观的形式进行表现,提供给实验人员、教练员和运动员作为运动技术分析评价的依据。

### (四)摄像测量方法

摄像测量方法与摄影测量方法在原理上是一样的,区别仅在于具体实现的技术上手

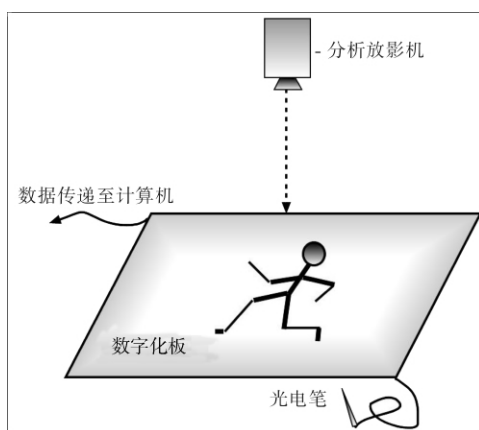


图 2-15 摄影测量取关节点坐标示意图

段上。摄像测量方法使用摄像机拍摄运动技术动作,记录影像资料的载体是磁带、硬盘、光盘等。影像资料再直接转换到计算机硬盘上以视频文件形式存储。影像资料数字化时是直接在计算机屏幕上获取关节点坐标。有了前面摄影测量的知识作为基础,很容易掌握摄像测量方法。

摄像测量方法较之摄影测量方法,其优势是明显的,主要表现有三:其一,数码摄像机记录运动技术影像不需要胶片,记录影像资料的磁带、硬盘等可以反复使用。因此,使用成本可以大大下降;其二,影像资料不需要冲印过程,使反馈运动技术信息的速度大大加快。特别是采用了关节点自动识别技术的分析软件,可以省去人工取关节点的辛苦,同时也大大加快了数据采集的速度;其三,反馈信息的方式多样,可以是数据、图、表,也可以是视频剪辑等。摄像测量方法对于训练的适时辅助效果非常明显,因此很受教练员和运动员的欢迎。

随着科学技术的进步,数码产品的价格一再下降,使得数码摄像机及其摄像测量方法迅速普及成为必然的发展趋势。仪器设备价格的下降和功能的完善及其实用性能增强,使得摄像测量方法广泛用于运动技术分析已经不再是神话,而是每个体育工作者应该了解和掌握的基本方法。

### 1. 摄像测量的仪器设备

● 摄像机(配合本章“实验一:摄像机操作,视频数据转换操作”)。

用于拍摄运动技术录像,目前使用最广的是数码摄像机。存储信息的载体目前较多见的仍然是使用磁带(DV带)存储影像的数字信号,也有的摄像机使用硬盘和光盘存储数字信号。在拍摄速度上,一般拍摄机的拍摄速度是每秒 25 帧,用于拍摄运动技术的摄像机应该具有每秒 50~120 帧或更高的拍摄频率。在使用摄像机的数量上,如果动作比较简单,而且主要在一个平面内表现的运动技术,如研究跑的运动技术,则只需要使用一台摄像机在与运动平面相垂直的位置拍摄,进行二维运动技术分析。如果是研究比较复杂的运动技术,如武术、体操、投掷等,则需要至少使用两台或多台摄像机在不同方向进行拍摄,这样可以进行三维运动技术分析。

● 计算机

计算机是用于进行运动技术录像分析的硬件设备。影像资料的一个最大特点就是信息量大,一段只有几分钟而未经压缩的影像资料,其占用的存储空间可达数百兆(M),因此在数据交换时要求有较快的传输设备。计算机需要有视频数据接口用于与摄像机相联接,以便与摄像机实现数据交换。目前较多使用的是 IEEE1394 接口,也有使用 USB 接口的。前者的传输速度高于后者,但它还不是 PC 机的通用配置,如果没有这个接口时需要插接专用的 IEEE1394 适配器;后者目前是 PC 机的通用标准配置而普遍使用,但速度相对较慢。摄像机磁带上的视频数字信号经这两种数据接口,可以传输到计算机的硬盘上以视频文件的形式存储。用户再通过专用处理软件可以实现对视频文件的播放、编辑,以及进行数字化处理,获得我们需要的运动学数据。

### ●处理软件

处理软件是整个摄像测量系统的核心,它决定摄像测量系统功能的大小多少、数据质量的优劣,以及实用性能的高低。其基本功能至少应具有下列部分:

◇播放功能。可以将运动技术视频文件在视频窗口进行播放,这种播放方式应具有可以控制的功能,如进帧、退帧、计数等。这项功能类似于前面介绍影片解析时谈到的分析放映机功能。

◇数字化功能。视频窗口同时应该是一个电子坐标系,当使用鼠标在其上点取关节点时,被点取的位置能被转换成坐标数据,并能被计算机记录。这项功能类似于前面介绍影片解析时谈到的数字化板功能。参阅图 2-16 所示。



图 2-16 摄像测量示意图

◇计算存储功能。能以关节点坐标数据为基础进行运动学量的计算,获得人体相关环节的位置、位移、角位移、速度、角速度、加速度、角加速度等指标。能对这些数据进行平滑处理、统计学处理等。并能将这些数据以数据文件的方式在计算机磁盘上存储,以备数据再现时使用。

◇数据再现功能。根据运动技术分析中的要求,能将处理过的数据以常用的表现形式进行表现,例如各种数据图表、绘制运动学曲线、动画、特征画面和特征数据等。再现功能除了可以在计算机屏幕上显示以外,还应该能够用打印机输出,以纸作为载体记录,便于论文报告使用。

◇其他特殊功能。由于体育运动项目是多种多样的,各个项目有许多特定的数据需

求,处理软件除了给出一般的运动学数据以外,还可以根据项目的特点有所侧重,安排相关的特殊功能。

#### ●附件设备

标尺(二维标尺、三维标尺)、拍摄同步器(当使用两台摄像机时)、灯光等。

#### 2. 摄像测量过程介绍

##### ●拍摄运动技术影像

这一步工作与摄影测量类似。所不同的是运动技术影像数据记录在录像磁带(或摄像机硬盘)上。然后再将磁带或硬盘上的影像数据传递到计算机硬盘上保存。通过专用软件对影像资料进行剪辑,保留需要数字化的部分并将其分别存放在各个视频文件中备用。

##### ●录像资料数字化过程

运动技术录像资料中的图像通过录像解析软件打开到其播放窗口,播放窗口是经过特殊设计的界面区域,同时兼有显示图像和电子坐标的功能(相当于影片解析中的数字板)。再由人工使用鼠标点取人体关节点,关节点的坐标值被计算机存储。在录像数字化界面上还有若干按钮,用于控制播放过程(相当于影片解析中的分析放映机)。参阅图 2-15、图 2-16。

录像解析软件也是以人体关节点坐标数据为基础,分别计算出各运动学数据。这些工作与影片解析软件类似,不再赘述。

##### ●处理软件中的数字化原理介绍

摄像测量系统中最重要是其处理软件,对处理软件的了解和掌握是最重要的知识,而其中数字化部分又是软件中最重要的内容。

摄像测量处理软件在实现的技术手段上,不同的软件有各自不同的解决方案,从教学的直观易懂方面考虑,本书介绍的是一种窗口重合方式。就是将播放视频的窗口和数字化窗口重合在一起。视频窗口放在下层,负责播放运动技术录像,播放过程由相关按钮控制;数字化窗口重合在播放窗口的上一层,由于数字化窗口设计为透明,因此不影响操作人员对视频窗口播放画面的观察。这两层之间的关系类似于办公桌上的玻璃板和玻璃板下面放置的图片,既可以在玻璃板上工作,又不影响对玻璃板下图片的观察。

数字化窗口是一个坐标系,可以监视鼠标在其上面的位置移动,当有鼠标被点击时,能将点击位置的坐标值记录。鼠标取关节点要求按一定的顺序进行,因此软件系统能够知道某一次的点击是对应某个关节点。参阅图 2-17 所示。

#### (五)影像测量相关问题讨论

##### 1. 影像测量注意事项

(1)拍摄频率 拍摄频率应根据测量对象的运动速度、测量数据精度及研究目标这些因素而定。一般而言,运动对象的运动速度越快、或对数据精度要求越高、或研究目标的个体特征越强,则要求有较高的拍摄频率。反之,运动对象的运动速度越慢、或对数据精度要求越低、或研究目标的群体特征越强,则拍摄频率可以相对较低。

●改变拍摄频率可以获得对数据精度的要求:可以通过提高拍摄频率来满足瞬时速

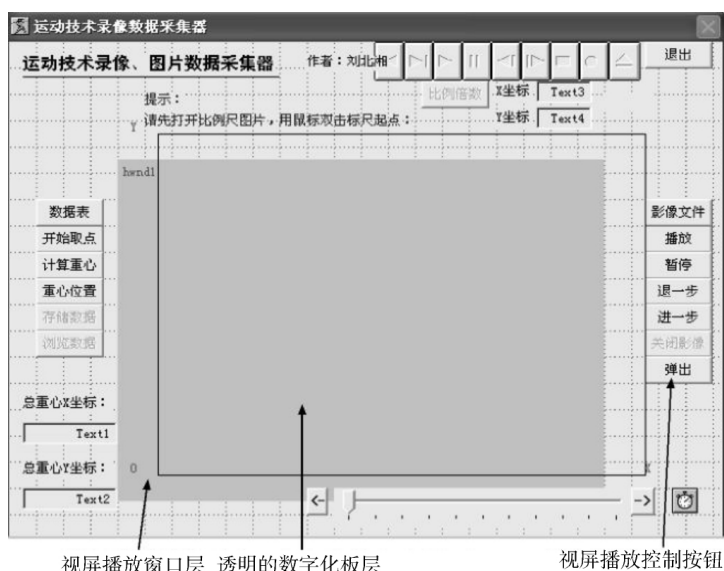


图 2-17 摄像测量处理软件数字化窗口设计示意图

配合本章“实验三:运动技术录像解析系统(教学实验用软件)”、“实验四:运动技术录像解析系统(录像解析专用软件)”。

度对精度的要求。以 100 米跑且运动员的成绩为 10 秒为例。当拍摄频率为每秒 100 帧图像时,解析获得的速度值精度约为 10 厘米段的平均速度;如果将频率提高到每秒 200 帧,则得到的精度为 5 厘米分段速度。一般而言:测量 100 米跑途中跑的支撑与腾空时间,需用 150~200 帧/秒的频率;测量举重运动的技术参数,只需要用 50 帧/秒频率;测量羽毛球离拍时的瞬时速度则需要达到高于 500 帧/秒的拍摄频率。

● 拍摄频率选用应该以实际需要而定:拍摄频率如果盲目过高,会使大量对研究目的无用的画面占用存储空间,更重要的是增加解析工作量,影响测量结果的反馈速度。

● 过低的拍摄频率会造成需要信息遗失:拍摄频率过低时,会使机器拍摄的间隔时间加长,可能会造成对研究有用的关键画面没有被拍摄下来。如:跑步中大腿最大前摆画面、跳高最高点画面、踏跳上板或离板瞬间画面、乒乓球上拍或离拍瞬间画面等。

在测量前应对拍摄频率进行推算,或查询相关资料,必要时应进行试测检验。

(2) 机器放置位置 从理论上讲,采用两台以上摄像机进行三维拍摄时不受机器位置影响。但是为了减少在数字化时判断关节点的误差以及提高主要研究部位数据的精度,仍然需要尽可能选择放置机器的理想位置。一般而言,机器应安放在人体主要运动环节一侧。例如跳远的起跳腿、标枪的投掷臂一侧。并且应避免逆光拍摄。

(3) 多机同步信号 当采用两台以上机器拍摄时,最重要的问题就是设置同步信号。当机器有内时标功能时(内时标即机器自带的时钟,拍摄时能将时间打印在每帧画面上),可以采用内时标作为同步信号。但是拍摄前应校正各台机器的时间为一致(时间应达到毫秒级水平)。也可以使用外信号作为同步信号,外信号最常使用的是灯光。即在各台机器都能看到的位置放置发光源,每次在受测动作开始时点亮发光源使每台机器都能拍摄到这个发光点。在影像剪辑时便可以最先拍摄到发光点被点亮瞬间的画面作为同步画面。

(4)拍摄画面 主要注意两点:其一,要保证画面清晰。其二,要在保证被拍摄技术动作有足够画面空间的前提下,尽量增大被拍摄对象的成像画面。这样可以在影像数字化时提高取关节节点的精度。如果成像画面太小或画面不清晰,都会使对关节节点的判断带来困难。通常做法是:机器架设稳固后,调整镜头方向对准拍摄目标(或让一个人站在将要动作的位置处),将镜头拉近到最大限度后,调整焦距使能够看清人的面部(此时表示清晰度正确);然后再将镜头推远,使镜头中的画面空间大小符合前述要求。最后采取措施将焦距旋钮、镜头远近旋钮加以固定,以避免不小心触动而引起变化。

(5)比例尺和坐标系 比例尺有二维和三维之分。平面拍摄时使用二维比例尺(保证比例尺上的控制点在拍摄平面上,并且至少要有三个以上);立体拍摄时使用三维比例尺(保证比例尺上的控制点不共面,并且至少要有六个以上)。进行运动技术测量多采用直角坐标系,因此比例尺的放置方向(主要涉及  $x$ 、 $y$  轴方向)应尽可能与需要研究的运动技术方向一致,且要求与地面平行。坐标原点位置的选择应保证使受测体在第一象限(以便使测量的数据为正值)。这些措施可以避免将来在进行数据分析讨论时的不便。

在机器架设稳固,调整好焦距、画面大小等拍摄准备工作完成后,就可以在比赛开始前拍摄比例尺,拍摄完后撤除比例尺。然后可开始实拍。如比赛前漏拍比例尺(或拍摄过程中出现机器拍摄条件的改变),则必须在保持机器拍摄条件与所拍摄动作一致的情况下,于比赛后补拍比例尺。

根据需要还应选择运动场上能摄入镜头并能确定坐标系的固定物体(或特意放置的实物标记)作为参考体,与受测体一起摄入镜头。

(6)拍摄记录 当拍摄内容较多时,为了不造成混淆,应做好拍摄记录。拍摄记录有两种形式要配合使用:其一,要在每个动作拍摄前,先拍摄一个写有号码的物体(如使用号码布、小写字板等)作为将要拍摄动作的编号;其二,要在事先准备好的表格内详细记录该编号动作的相关信息,如运动员编号、姓名、动作名称等。

## 2. 影像测量中的几个计算问题

### ●人体环节重心位置坐标计算

在计算机影像解析测量中,解析软件是以关节节点的坐标值为出发点,计算各环节重心位置、总重心位置,进而计算各重心点的速度、加速度等指标。其中环节重心的计算是第一个步骤。人体的一个环节由其两端的关节节点坐标决定,由这两个点的坐标值计算出环节重心的坐标值。这显然是一个定比分点计算问题,只要知道定比分点的参数,就可以按定比分点公式计算重心位置。如图 2-18 左图所示。在人体惯性参数中有各个环节重心的相对位置参数,可以换算出各环节的定比分点参数  $d$ 。定比分点公式如下:

$$\text{定比分点公式: } x = \frac{x_1 + d \cdot x_2}{1 + d}; y = \frac{y_1 + d \cdot y_2}{1 + d}$$

参阅本章“实验与技能◇2-2 实验二,运动技术图片手工测量计算基础”中介绍的“以关节节点坐标为依据手工计算人体总重心表”相关计算公式。

### ●关节角度计算

关节角度往往是指两相邻环节之间构成的夹角,这就涉及由三个关节节点构成的任意角三角形。利用三个关节节点坐标计算相应角度分两个步骤:先由两点间的距离公式,分别

取三个关节点坐标值计算三角形边长;再通过余弦定理求这个任意角三角形得到需要的角度。参阅图 2-18 右图。

两点间距离公式:  $a = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$ ; (其余  $b$ 、 $c$  计算与此类似)。

余弦定理:  $\cos r = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab}$ ; 再经过反余弦函数即可求得角度  $r$ 。

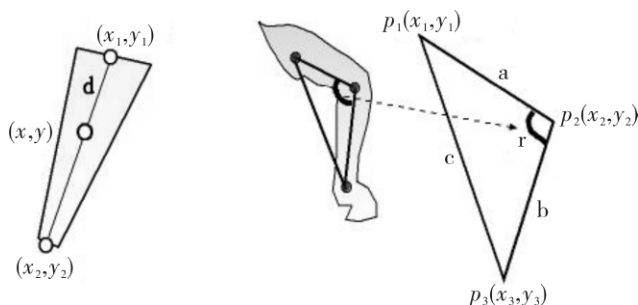


图 2-18 环节重心、关节角度计算示意图

### ●肩关节角度计算差异

肩关节角:在运动技术分析中往往是指上臂与躯干的夹角,有两种考虑方式。参阅图 2-19 左图所示。

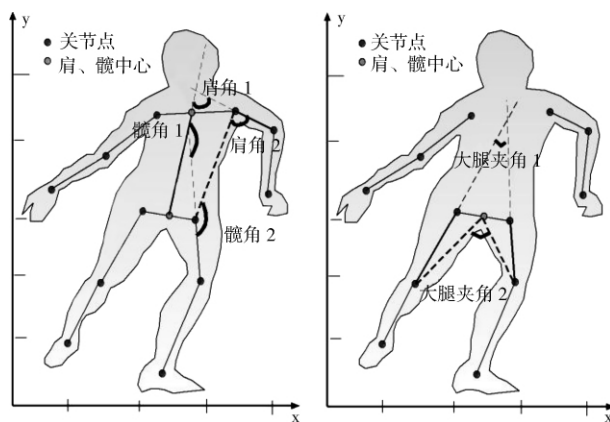


图 2-19 肩、髋角、大腿夹角计算示意图

其一,用躯干中心线(两肩中心与两髋中心之连线)和上臂线构成。由于上臂线与躯干中心线并不相交,在计算时必须考虑将其延长或平移其中一条线的问题。

其二,用同侧的肩、髋连线和上臂线构成。这样做计算和编程都可简化,但是否符合运动技术的分析要求,应该予以考虑。

### ●髋关节角度计算差异

髋关节角:髋关节角往往是大腿与躯干之间的夹角,它存在与上述肩关节角同样的问题。参阅图 2-19 左图所示。

### ●两大腿夹角计算差异

在运动技术分析中还经常用到两大腿夹角,该角在实际计算时也有两种考虑方式。参阅图 2-19 右图所示。

其一,用两条大腿线构成的夹角。由于这两条线不相交,这时也需要考虑将两条线延长或平移其中的一条线的问题。

其二,用两个膝关节分别与两髋中心点的连线构成。这样可以简化编程,但要考虑运动技术分析上的要求。

上述问题提示我们,由于计算考虑途径的不同,可能引起角度大小的差异。因此在使用某种解析软件提供的这三个关节的角度数据时,应该先了解其计算方式。上述角度计算中的问题如果没有统一的计算标准,那么在运动技术分析的讨论中就没有相互比较的基础。因为不同的录像解析软件在编程时可能会采用不同的计算方式,这样解析出的关节角度必然会存在差异,失去了相互间的可比性。

## 二、运动学数据的其他测量方法

人体运动学参数的其他测量方法包括电学法、光学法和光电技术等。

### (一)红外光点摄像测量方法(光电图像分析系统)

光电图像分析系统是 20 世纪 70 年代出现的一种先进的运动学测量手段,它具备电影摄影及录像测量难以实现的优点,比较典型的设备便是瑞典 Selcom 公司研制的 Sel-sport 红外摄影系统。这种系统要在待测点上放置红外光源,这些小光源连续闪烁,闪光源的  $x$ 、 $y$ 、 $z$  坐标位置可由专门摄像机直接测量,摄像机也是由标准镜头组成,它把红外点光源对焦在机内的光电半导体阵面上,在相应位置上发出  $x$ 、 $y$ 、 $z$  坐标的电信号。随着闪光源的连续进行,便可把一系列  $x$ 、 $y$ 、 $z$  坐标的电信号送到计算机中去。这种装置可在运动结束后立即进行各种运动学参数的计算并输出结果。

### (二)电学测量方法

电学测量方法是利用电测仪器将非电量的人体运动学特征量转换为电信号,然后加以处理、分析。经常采用的电测方法有两种:

#### ●角度传感器

角度传感器能将关节角度的变化转换成电信号。角度传感器的优点是测试周期短;缺点是它对动作的完成有一定影响,容易造成动作失真。

#### ●加速度传感器

顾名思义,加速度传感器是用于测试人体运动时某一部分的加速度,或者测试运动器械的加速度。加速度传感器的优点是测试周期短,可以实时测试和处理;缺点是只能测出相对运动的特征量。另外,由于加速度传感器必须与被测对象连接,因此它对被测对象的运动有干扰作用。若与器械连接,则给器械添加额外的重量;若与人体连接,则容易造成动作失真。

## 第三节 动力学数据的采集及应用

本节介绍动力学数据采集的基本方法和原理。包括测力原理和常用测力设备,以及

如何利用动力曲线和冲量数据解读有用的运动技术信息。

## 一、力学数据测量原理及其设备

### (一)力传感器

传感器是一种可以将能量形式进行转换的装置,又称换能器。由于传感器能将一种形式的能量转换成另一种形式的能量,因此,当某种能量形式不容易测量或控制时,可以利用特定的传感器将该种形式的能量转换成另一种容易测量或控制的能量形式,从而间接的实现对该种能量的测量和控制。一般而言,由于大多数非电学量不太容易测量和控制,而电学量比较容易测量和控制。因此,大多数传感器一般都是将一些非电学量转换为电学量加以利用。

在自然界中有许多神奇的物质具有各种各样有趣的物理特性,传感器的核心部件往往就是利用这些物质的特性达到人们需要的目的。传感器依据使用目的不同,有多种具有不同功能和特点的传感器。例如:冰箱中的温度传感器,可以将热学量转换成电学量;自动窗帘上的光敏传感器,可以将光学量转换成电学量等。在体育运动测力装置中常用的主要有两种传感器:压电晶体和电阻应变片。它们可以将力学量转换成电学量。

#### 1. 压电晶体

压电晶体即石英晶体,它的物理特性是具有压电效应。压电效应是指石英晶体在外部机械力的作用下,内部正离子和负离子会分别跑向石英晶体的两侧,使石英晶体表面出现电极化状态。压电晶体表面产生电荷量的大小与它所受到的作用力大小成正比。如图 2-20 左图所示。

利用压电晶体做力传感器测量作用力的基本原理为:力的作用量(不容易测量和控制)→让其作用在石英晶体上→使石英晶体表面产生电荷(容易测量和控制)→测量石英晶体表面电荷的变化量→间接了解力的作用量。

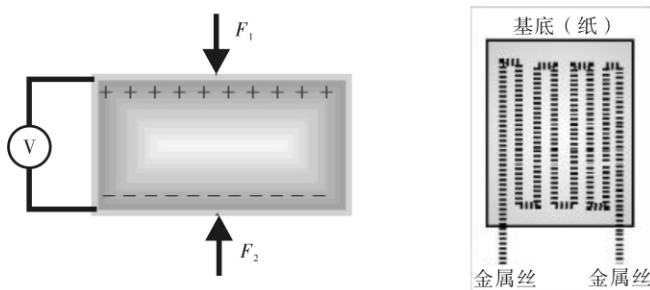


图 2-20 压电晶体(左)、电阻应变片(右)示意图

#### 2. 电阻应变片

根据电学原理可知,金属丝产生的电阻受其长度和横截面积影响。金属丝的导电特性可表达如下:

$$\text{金属丝电阻} = \text{电阻系数} \times \frac{\text{金属丝长度}}{\text{横截面积}}$$

如果金属丝受到外力的作用,金属丝在其弹性范围内产生形变,引起长度增加,横截面积减小,结果引起通过金属丝电流的电阻发生变化。而且作用力越大,金属丝形变量越

大,使金属丝产生的电阻量也越大,三者之间成比例变化。

利用上述原理,电阻应变片是将一根很细的金属丝固定在一块塑料片上而成的一种传感器。如图 2-20 右图所示。应变片上的金属丝很细,且做成螺旋状,以反复环绕的方式排列并粘固在塑料片上。这样可以使应变片很小的一点形变都可以引起金属丝长度产生较大的变化,增大电阻量的变化值,便于测量。

利用应变片做力传感器测量作用力的基本原理为:力的作用量(不容易测量和控制)→让其作用在金属丝上引起形状变化→应变片电阻丝长度、截面积变化→金属丝中电阻等电学量变化(容易测量和控制)→测量电阻等电学量→间接了解力的作用量。

应变片的基本用法:将应变片粘贴在体育器械的适当部位,并将应变片上的金属丝引线与测量仪器相联接。当器械在运动员的作用力下发生形状变化时,应变片中的金属丝随着器械的变形而发生长度和横截面积变化。测量仪器便记录应变片中金属丝的电阻变化量。并通过对受力大小和电阻量变化大小之间进行标定(对应),可以测出体育器械受力的大小。该力即是运动员对器械的作用力。由于应变片使用灵活,因此在体育领域有着广泛的应用。

## (二)测力台

测力台是将压电晶体或电阻应变片作为力传感器而制成的一种平台式装置。这种平台表面受到力的作用后,平台下面的力传感器将力学信号转换为电学信号,电学信号经放大后引导出来,间接的反映了平台受力过程时力值的变化情况。测力台下面一般都是安装了四个传感器。分别反应力在三个垂直方向上的变化情况,及力矩的变化情况。测力台如图 2-21 所示。



图 2-21 测力台实物图

### ●压电晶体测力台

用压电晶体做力传感器。这种测力台对外力的作用很敏感,比较适合用于测量动态力。测力台的质量对所测数据的可靠性具有决定作用。生产这类设备目前较有名的厂家如瑞士 Kistler 公司,他们生产的测力台是目前国际上比较优秀的测力台之一。

### ●电阻应变片测力台

用电阻应变片做力传感器。这种测力台比较适合用于测量静态力。

### ●测力台的使用简介

测力台往往是由专门的工厂以产品形式提供。测力台通过电缆与计算机相连接,人体在测力台上完成需要测量的动作,动作产生的动力信号经电缆传递到计算机中。计算机中安装有专用的软件系统,该软件系统负责接收数据信号,实现数据的存储、计算,以及

绘制动力曲线图形等数据再现工作。测力台的使用如图 2-22 所示。测力台软件界面如图 2-23 所示(配合本章“实验五:测力设备的使用三维测力台”)。

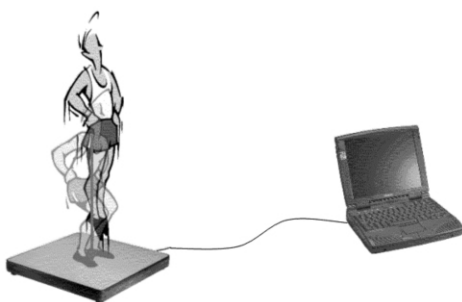


图 2-22 测力台使用示意图

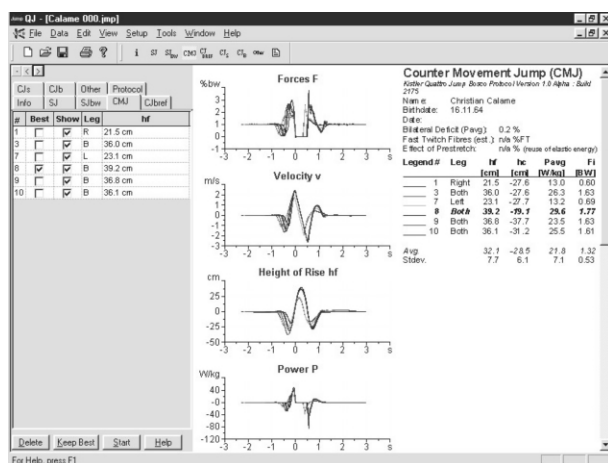


图 2-23 测力台软件界面示意图

在实际使用中为了不影响运动员完成技术动作,往往需要将测力台埋设在完成动作的地方,使台面与运动场地在同一个平面内。例如,埋设在跳高和跳远的踏跳点下。当技术动作的运动范围较大时,还需要将几个测力台进行拼装连接,以扩大台面的面积。

### (三)平衡台

平衡台是另一种形式的测力台。它主要用于测量人体总重心在水平面内的变化情况。如图 3-24 所示(配合本章“实验七:平衡台测量重心位置”)。

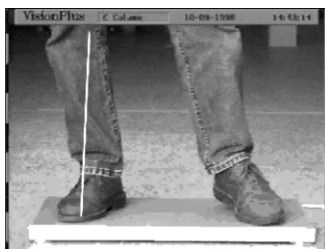


图 2-24 平衡台使用示意图

平衡台接收到的力值信号传递到计算机以后,经过相应软件的处理,便能以直观的曲线图方式进行表现。如图 3-25 所示。

图 3-25 上图:是人体重心位置在水平面内的变化情况。图中的曲线是人体重心垂点在变化过程中形成的运动轨迹。测量时往往取某个限定时间内重心轨迹所在的区域,量取该区域最大的直径作为评价指标,值越小表示受试者的稳定性越好,反之越差。

图 3-25 下图:是人体重心在  $x$  方向和  $y$  方向的变化情况。图中曲线是人体重心垂点位置分别在  $x$  和  $y$  两个方向的运动轨迹。在某个方向的变化幅度越小,表示受试者在该方向的稳定性越好,反之越差。

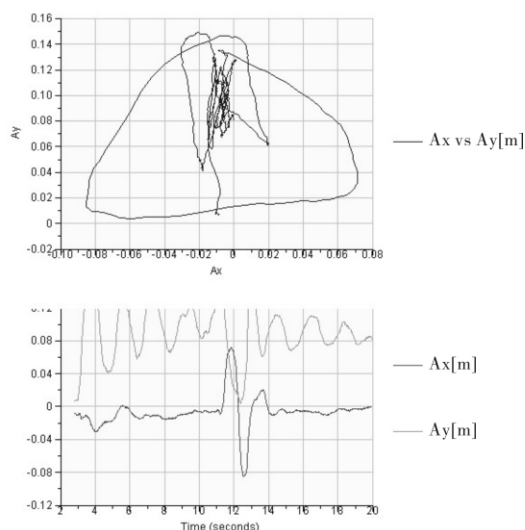


图 2-25 平衡台软件界面

#### (四)测力鞋垫

可将若干力传感器以阵形排列方式安装在鞋垫中做成测力鞋垫,如图 2-26 左图所示。测力鞋垫与信号发射器、信号接收器、计算机处理系统构成一个完整的遥测系统,如图 2-26 右图所示。

测量过程:运动员穿上装有测力鞋垫的鞋子,并将发射器固定在腰部,测力鞋垫与发射器之间有电缆相连。运动员在做动作的过程中足底受到的压力信号经发射器发送到接收器上,由计算机的专用软件系统对信号进行处理,转换成比较直观的曲线图、压力分布图,如图 2-27 所示。图 2-27 左图是足底的压力分布图,该图采用不同的颜色(红、粉红、黄、蓝、黑、白)表示足底不同区域压力的大小,能够适时观察运动员在做动作过程中足底不同区域压力的变化情况。图 2-27 右图是三维方向的动力曲线图。

测力鞋垫的应用:以测力鞋垫为核心构成的足底压力遥测系统,目前有着广泛的应用。除了可以用在运动技术分析的领域外,还可用于运动鞋的研究设计领域、足部损伤的康复领域等许多方面。

#### (五)电阻应变片的应用

电阻应变片除了可以作为力传感器用在测力台上以外,还有着更为灵活的用途。在



图 2-26 测力鞋垫及数据传递示意图

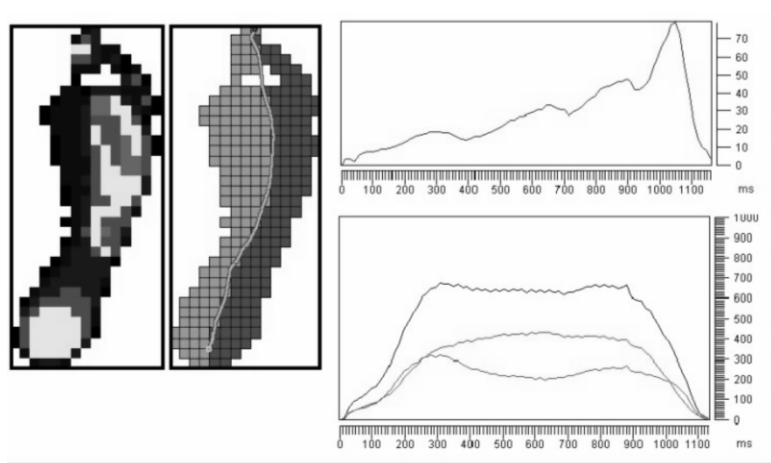


图 2-27 测力鞋垫软件界面示意图

体育领域,常常将电阻应变片粘贴在体育器械上,当运动员完成动作过程中对器械施力时,器械受力便会产生形状变化,应变片的形状也会跟着发生变化,引起应变片中电阻的变化,测量电阻等电量的变化可以得到运动员做动作过程中的动力曲线,或器械的力学性能等指标(配合本章“实验六:应变片粘贴技术与应变测力仪”)。

由于应变片粘贴方便、使用灵活,许多不能直接使用测力装置(如测力台等)的地方,都可以使用应变片的方法进行测量。举例如下:

例一,将应变片粘贴在单杠、双杠、起跳板等器械上,可以测量体操运动中相关的力学指标,用于对相应体操运动技术动作的分析评价。

例二,将应变片粘贴在射箭运动器械的弓片、减振器等部位,可以测量弓的弹性力指标,以及减振器的减振效果。

## 二、动力曲线分析举例

由测力设备得到的数据形式较多见的是动力曲线,即“力\_时间”曲线,从动力曲线中分析解读出我们需要的运动技术信息是使用测力设备的第二步工作,也是很重要的一步工作。以下通过几个实例进行介绍。

### (一)步态动力曲线

“步态动力曲线”是指人体在步行过程中测量到的动力曲线。它反映的是步行时脚对地面产生压力的情况。正常的步态动力曲线一般变化特点为:当脚触地瞬间对地面形成一个冲撞,此时对地面有较大的压力,动力曲线形成第一个小高峰;然后腿部关节开始弯曲形成缓冲动作,对地面压力变小,动力曲线形成凹陷;最后腿开始伸直蹬地,对地面压力变大,动力曲线再形成第二个小高峰。如图 2-28 中的实线所示。如果人的腿部有伤,步行时就不敢用力,既不敢用力触地,也不敢用力蹬地。于是在步态动力曲线上就不会有前、后两个正常的波峰。如图 2-28 中的虚线所示。人体行走时从外观动作反映出来的“跛行”动作,实际上就是受伤一侧肢体由于疼痛不能正常用力的表现。

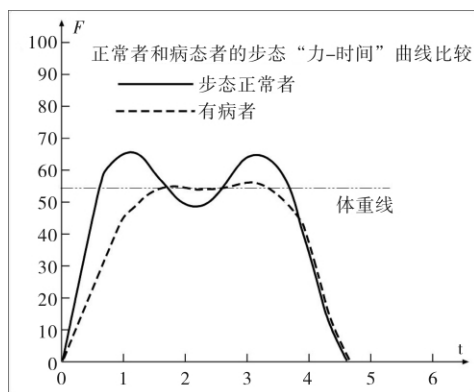


图 2-28 步态动力曲线示意图

步态动力曲线在运动医学中,对于客观评价腿伤的恢复程度有重要意义。因为腿伤的恢复仅用肉眼观察很难做出客观和细微的评价,此时可用测力台进行测试,就能够比较清楚的了解恢复程度与正常状态之间的差异情况。

### (二)跳跃动力曲线

以“上步跳”动作为例,参阅图 2-29 所示。跳跃动力曲线的基本形状特点一般表现为:一个尖锐的冲击波、一个较深的缓冲波谷和一个较宽大的蹬伸波。形成原因如下:运动员跳跃时先做上步落地动作,脚对地面产生一个冲撞,冲撞的时间短冲击力大,动力曲线形成一个较陡的上升支;紧接着下肢关节开始弯曲做缓冲动作,脚对地面的压力急剧减小,动力曲线形成一个较陡的下降支。上升支和下降支在动力曲线上形成一个尖锐的波峰即冲击波。缓冲动作后紧接着开始进行蹬伸动作,下肢各关节积极伸展蹬地,脚对地面产生的压力迅速增加,动力曲线又开始上升;缓冲动作的下降支与蹬伸动作的上升支形成动力曲线的波谷即缓冲波谷。蹬伸动作一直持续到脚离开地面力止,脚对地面的压力逐渐变为零,形成动力曲线上一个较缓和的下降支,蹬伸开始的上升支和蹬伸结束的下降支构成动力曲线上第二个较宽大的波形即蹬伸波。

跳跃动力曲线的形状会因为每次跳跃动作的不同而有差异,也会因为每个人跳跃动作的特点而会有较大的不同。作者研究了 100 余名排球运动员的上步跳动作,归纳出其

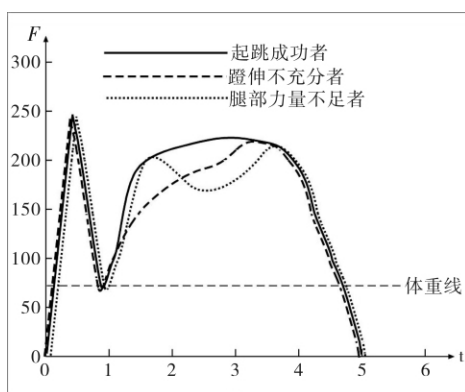


图 2-29 跳跃动力曲线示意图

中比较典型的三种跳跃动力曲线,如图 2-29 所示。图中有三条曲线,分别用实线、虚线、点线绘制。它们的蹬伸波所反映的跳跃技术状况分析如下:

实线部分:蹬伸波的曲线波动不大,所围面积饱满。常见于运动员蹬伸动作完成很好时的情况。

虚线部分:蹬伸波的曲线呈斜坡状。常发生在起跳动作蹬伸不充分时的情况。

点线部分:蹬伸波的曲线波动较大,常常形成较深的鞍状,所围面积也较小。常发生在肌肉力量不足的运动员。

### (三) 投掷铅球最后用力动作的动力曲线

投掷铅球最后用力动作是在后滑步动作之后的推掷动作,这个动作形成的动力曲线,其基本形状是:当后滑步结束两脚落地时,对地面形成一个较小的冲撞,在动力曲线上形成一个小的波峰;紧接着是推掷动作,发力顺序依次是两腿、腰、臂、腕,动作过程中对地面产生的压力在动力曲线上形成一个较宽大的投掷波。如图 2-30 所示。

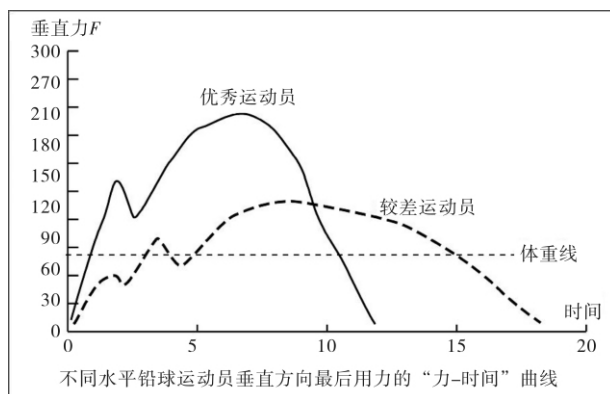


图 2-30 不同水平铅球运动员垂直方向最后用力的动力曲线示意图

投掷铅球最后用力的动力曲线在基本形状的基础上,会因运动员技术特点的不同而产生差异,分析这些差异可以了解运动员的技术状况。图 2-30 就是两名不同水平运动员投掷铅球最后用力的动力曲线,可从以下三个方面看出他们的区别:

其一,用力时间不同。优秀运动员推掷动作的作用力时间短,作用力集中,整个推掷动作一气呵成。而较差运动员动作的延续时间较长。

其二,力值大小不同。优秀运动员表现出的力值较大,加上动作持续时间短,因此就形成了较强的爆发力。而较差运动员力量不集中,力值较小。

其三,力曲线所围有效面积的大小不同。动力曲线下所围面积实际代表的是冲量值的大小,冲量值的大小往往与动作的效果有关。初看起来,两条曲线下所围的面积没有明显的大小区别,但是有效面积却有明显的不同。有效面积是指体重线以上与动力曲线以下所包围的部分。因为只有这一部分所代表的冲量才对铅球的掷出产生作用,它直接决定铅球掷出时初速度的大小,故称之为有效面积。而体重线以下面积代表的是无效冲量,它对铅球的掷出不起作用。从图中可以看出,优秀运动员的有效冲量要远远大于较差运动员,因此优秀运动员的投掷效果要好于较差运动员。

### ◆实验与技能

## 实验一 摄像机操作,视频数据转换操作

### 1. 实验目的

初步掌握摄像机的使用操作方法,了解使用摄像机拍摄运动技术录像资料基本要求。初步掌握将摄像机中的录像数据传递到计算机硬盘存储的操作过程。

### 2. 实验器材

摄像机、计算机、相关软件(推荐使用 Windows Movie Maker 或 Ulead VideoStudio 会声会影)。

### 3. 实验步骤和方法

在教师讲解摄像机使用方法的基础上,让学生进行实际操作,并拍摄运动技术录像资料,然后将拍摄的录像资料转换到计算机中存储。

摄像机使用操作方法参阅具体摄像机产品的用户使用手册。

Windows Movie Maker 是 Windows 操作系统自带的工具软件,具体用法参阅其自带的“帮助主题”。

Ulead VideoStudio(会声会影)需要另外安装,具体用法参阅其自带的用户手册。

## 实验二 运动技术图片手工测量计算基础

### 1. 实验目的

以手工方式在一张图片上解析(测量、计算)一个数据(总重心位置),引导学生深入了解从影像资料中解析运动学数据的基本方法。本实验提供两种方法。方法一要求以测量关节坐标数据为基础,计算出运动技术图片中人体的总重心位置(坐标)。方法二通过直接量取环节长度数据来计算图片中人体总重心位置(坐标)。

## 2. 实验器材

计算器,坐标纸,直尺,铅笔,运动技术图片一张。

## 3. 实验步骤和方法

●方法一实测步骤:共四步八项工作(对照图 2—31 和表 2—1 理解相关计算方法)。

第一步:准备工作。

(1)建立坐标系,并将图片放置在坐标系中固定;

(2)画好计算用表格,并将人体“环节参数  $d$ ”、人体“环节重量相对值  $P$ ”填入表中第④和第⑥列。

第二步:取关节点工作。

(3)依据解剖学相关知识,在图片上标出头、左右手、左右肩关节、左右肘关节、左右腕关节、左右髋关节、左右膝关节、左右踝关节、左右足尖中心位置、两肩中心和两髋中心,共 19 项基本数据。并量取其坐标值( $x, y$ )填入表内。其中头、左右手的坐标直接填入第⑤列,其余填入第③列(注:两肩中心和两髋中心点的坐标也可以通过公式计算。如果是直接观察取点,则第(4)步工作省略)。

注意:头、左右手的重心位置根据解剖学有关知识。头从正侧面看重心位置在眉心处,侧面看在耳郭上方;手从正、背面看手心处,从侧面看在虎口处。

第三步:计算环节重心位置工作。

(4)计算肩、髋中心坐标。用肩、髋中心坐标计算公式,分别计算两肩的中心点坐标和两髋的中心坐标,并将计算结果填入第③列的“肩中心”和“髋中心”处。

(5)计算环节重心坐标。分别用环节重心坐标计算公式,计算各环节的重心坐标,并将计算结果分别填入第⑤列的  $x_i$  和  $y_i$  两列中。

注意:计算时注意区分三个部分,上肢、下肢和躯干(表中已经用双实线分隔)。

上肢:由肩关节和肘关节坐标计算上臂重心坐标、由肘关节和腕关节坐标计算前臂重心坐标;

下肢:由髋关节和膝关节坐标计算大腿重心坐标、由膝关节和踝关节坐标计算小腿重心坐标、由踝关节和足尖坐标计算上臂重心坐标;

躯干:由肩中心和髋中心坐标计算躯干重心坐标。

第四步:求总重心位置坐标工作。

(6)用各“环节质心坐标( $x_i, y_i$ )”值分别乘以“环节重量相对值  $P$ ”,填入表中  $Px_i$  和  $Py_i$  两栏,即第⑦、⑧两列;

(7)将表中所有  $Px_i$  值相加,再将所有  $Py_i$  值相加,分别填入表中最下一行的总重心坐标  $\Sigma$  行中;

(8)用所得的两个和值作为坐标值,在坐标系中定出该点,便为所测图片技术动作的总重心位置。

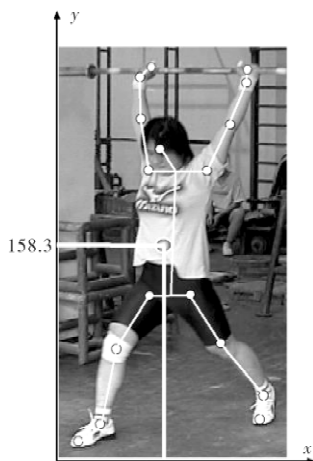


图 2—31 影像图片关节点数据采集和总重心计算示意图

表 2-1 以关节点坐标为依据手工计算人体总重心表(本表由刘北湘设计)

| 环节名称①          | 关节点②  | 关节坐标③ |     | 参数 $d$<br>④ | 环节重心⑤ |       | 环节相对重量 $P$ ⑥ | $P_{xi}$ ⑦ | $P_{yi}$ ⑧ |
|----------------|-------|-------|-----|-------------|-------|-------|--------------|------------|------------|
|                |       | $x$   | $y$ |             | $x_i$ | $y_i$ |              |            |            |
| 头              | 头     | —     | —   | —           | 76    | 232   | 0.0706       | 5.37       | 16.38      |
| 左手             | 左手    | —     | —   | —           | 141   | 297   | 0.0084       | 1.18       | 2.49       |
| 左上臂            | 左肩    | 108   | 217 | 0.89        | 117   | 234   | 0.0336       | 3.93       | 7.86       |
| 左前臂            | 左肘    | 128   | 254 |             | 0.72  | 134   | 269          | 0.0228     | 3.06       |
|                | 左腕    | 143   | 289 |             |       |       |              |            |            |
| 右上臂            | 右肩    | 69    | 220 | 0.89        | 65    | 236   | 0.0336       | 2.18       | 7.93       |
| 右前臂            | 右肘    | 62    | 254 |             | 0.72  | 60    | 268          | 0.0228     | 1.37       |
|                | 右腕    | 59    | 287 |             |       |       |              |            |            |
| 右手             | 右手    | —     | —   | —           | 65    | 293   | 0.0084       | 0.55       | 2.46       |
| 左大腿            | 左 髋   | 97    | 123 | 0.79        | 108   | 108   | 0.1158       | 12.51      | 12.51      |
| 左小腿            | 左 膝   | 122   | 88  | 0.72        | 135   | 71    | 0.0527       | 7.11       | 3.74       |
|                | 左 踝   | 154   | 48  |             |       |       |              |            |            |
| 左 足            | 左足尖   | 152   | 26  | 0.79        | 153   | 38    | 0.0179       | 2.74       | 0.68       |
| 右大腿            | 右 髋   | 72    | 126 | 0.79        | 60    | 110   | 0.1158       | 6.95       | 12.74      |
| 右小腿            | 右 膝   | 44    | 89  | 0.72        | 38    | 63    | 0.0527       | 2.00       | 3.32       |
|                | 右 踝   | 29    | 26  |             |       |       |              |            |            |
| 右 足            | 右足尖   | 11    | 11  | 0.79        | 21    | 19    | 0.0179       | 0.38       | 0.34       |
| 躯干             | 肩中心 * | 89    | 219 | 0.79        | 87    | 177   | 0.4270       | 37.15      | 75.58      |
|                | 髋中心 * | 85    | 125 |             |       |       |              |            |            |
| 总重心坐标 $\Sigma$ |       |       |     |             |       |       |              | 86.5       | 158.3      |

计算公式:

$$x_i = \frac{\text{近侧关节坐标 } x + d \times \text{远侧关节坐标 } x}{1 + d}$$

环节重心坐标计算公式:

$$y_i = \frac{\text{近侧关节坐标 } y + d \times \text{远侧关节坐标 } y}{1 + d}$$

$$\text{肩中心 } x = \frac{\text{左肩 } x + \text{右肩 } x}{2} \quad \text{髌中心 } x = \frac{\text{左髌 } x + \text{右髌 } x}{2}$$

附:(肩、髌中心坐标计算公式:

$$\text{肩中心 } y = \frac{\text{左肩 } y + \text{右肩 } y}{2} \quad \text{髌中心 } y = \frac{\text{左髌 } y + \text{右髌 } y}{2}$$

●方法二实测步骤:共有五个步骤(参阅图 2-31 和表 2-2)。

第一步:建立坐标系,并将图片放置在坐标系中固定;画好计算用表格,并将人体相对重心位置参数、人体环节相对重量参数填入表中。

第二步:在图片上标出关节点的中心位置;用线段连接相邻两关节点;取两肩关节连线中点,取两髌关节中点,连接这两个中点表示躯干中线;量取环节长度(即四肢为两关节点之间的距离,躯干为两肩、髌中点间的距离),并将数据填入表中的“环节长度”一栏。

第三步:用环节长度值乘以百分比值,得到实长值,填入“实长”一栏;以近侧关节点为起点,在环节连接线上用“实长”值量取该环节重心所在位置,并作上标记。注意:头、左右手重心位置不需要计算,根据解剖学有关知识直接标记。头从正侧面看重心位置在眉

心处,侧面看在耳郭上方;手从正、背面看在手心处,从侧面看在虎口处。

第四步:取各环节重心的坐标,填入表中的  $x_i$  和  $y_i$  栏中。注意:取时可用直尺进行量取,不要画辅助线,以免图片上线条太多,造成画面污染。

第五步:用各环节的坐标值分别乘以环节相对重量,填入表中  $P_ix_i$  和  $P_iy_i$  两栏;将表中所有  $P_ix_i$  值相加,将所有  $P_iy_i$  值相加,分别填入表中最下一行的合计栏中;用所得的两个和值作为坐标值,在坐标系中定出该点,便为所测图片技术动作的总重心位置。

表 2-2 通过手工量取环节长度的方式求人体总重心

| 环节名称 | 环节长度   | 环节重心至近侧端关节实长 |     | 环节重心坐标 |       | 环节相对重量 | $P_ix_i$ | $P_iy_i$ |
|------|--------|--------------|-----|--------|-------|--------|----------|----------|
|      |        | 百分比          | 实长  | $x_i$  | $y_i$ |        |          |          |
| 头    | —      | —            | —   | 41.0   | 48.0  | 0.0706 | 2.8946   | 3.3888   |
| 躯干   | 17     | 0.44         | 7.5 | 31.0   | 40.5  | 0.4270 | 13.237   | 17.294   |
| 上臂   | 左 10   | 0.47         | 4.7 | 47.0   | 36.5  | 0.0336 | 1.5792   | 1.2264   |
|      | 右 9    |              | 4.2 | 30.0   | 46.3  |        | 1.0080   | 1.5557   |
| 前臂   | 左 9    | 0.42         | 3.8 | 56.1   | 34.7  | 0.0228 | 1.2791   | 0.7912   |
|      | 右 10.5 |              | 4.4 | 21.1   | 50.2  |        | 0.4811   | 1.1446   |
| 手    | 左 —    | —            | —   | 64.0   | 33.5  | 0.0084 | 0.5376   | 0.2814   |
|      | 右 —    |              |     | 13.0   | 53.0  |        | 0.1092   | 0.4452   |
| 大腿   | 左 15   | 0.44         | 6.6 | 19.5   | 28.5  | 0.1158 | 2.2581   | 3.3003   |
|      | 右 14   |              | 6.2 | 18.5   | 47.0  |        | 2.1423   | 5.4226   |
| 小腿   | 左 14   | 0.42         | 5.9 | 21.0   | 16.0  | 0.0527 | 1.1067   | 0.8432   |
|      | 右 14.5 |              | 6.5 | 15.0   | 54.0  |        | 0.7905   | 2.8458   |
| 足    | 左 7    | 0.44         | 3.1 | 25.5   | 7.0   | 0.0179 | 0.4565   | 0.1253   |
|      | 右 7.6  |              | 3.3 | 9.0    | 72.0  |        | 0.1611   | 1.2888   |
| 合计   |        |              |     |        |       | 1.0000 | 28.041   | 39.973   |

### 实验三 运动技术录像解析系统(教学实验用软件)

#### 1. 实验目的

通过让学生实际动手操作使用录像解析软件,了解和掌握录像解析软件的基本使用方法。并鼓励学生利用该软件提供的功能作为实验手段去完成毕业论文。

#### 2. 实验器材

运动技术录像解析系统(教学实验用软件)、计算机(软件由随书光盘提供)。

#### 3. 实验步骤和方法

在教师进行软件操作演示的基础上,让学生动手操作。要求掌握软件调用;静态图片模式下关节取点、计算重心、数据存储;录像模式下录像画面的控制、取关节点坐标、计算重心、数据存储;关节角度、速度等数据的计算,以及数据的浏览和打印。

软件的详细操作方法,参阅该软件使用说明书。

## 实验四 运动技术录像解析系统(录像解析专用软件)

### 1. 实验目的

通过教师的演示实验,了解录像解析专用软件采集运动技术数据(运动学数据)的基本功能。

### 2. 实验器材

录像解析专用软件,计算机。

### 3. 实验步骤和方法

教师演示软件的调用、关节取点、数据的三维转换、数据的平滑处理。最后演示数据结果的再现,包括:点的位置曲线、速度曲线;关节角度变化曲线、角速度变化曲线等。

## 实验五 测力设备的使用(三维测力台)

### 1. 实验目的

通过教师的演示实验,了解利用三维测力台采集运动技术动力学数据的过程,以及动力学数据以动力曲线(“力—时间”曲线)的形式加以表现。

### 2. 实验器材

三维测力台、计算机及相关数据采集处理软件。

### 3. 实验步骤和方法

在测力台上做原地不摆臂纵跳、原地摆臂纵跳、助跑上步纵跳等动作,或由学生自行设计动作。采集这些动作的三维动力数据并以动力曲线形式表现。通过动力曲线分析对应动作的用力过程及特点。

## 实验六 应变片粘贴技术与应变测力仪

### 1. 实验目的

学习在体育器械上粘贴电阻应变片的技能。并利用应变测力仪观察了解电阻应变片在采集动力学数据中的作用。

### 2. 实验器材

电阻应变片、专用胶水、万用电表、体育器械(如体操跳板、起跑器或其他方便的体育器械等)、电烙铁、应变测力仪计算机。

### 3. 实验步骤和方法

第一次实验:在教师的指导下,将电阻应变片粘贴在体育器械上,并将电阻应片的金属引线与金属导线焊接牢固。

第二次实验:待电阻应变片完全干燥牢固以后,将连接电阻应变片的金属导线与应变测力仪相连接。对粘贴有电阻应变片的体育器械施加外力,通过计算机采集动力数据并用动力曲线形式进行表现。观察应变片的工作状况。

## 实验七 平衡台测量重心位置

### 1. 实验目的

通过平衡台采集和演示人体重心位置变化数据,观察人体在静止状态维持平衡的能力,并学会平衡台的使用方法。

### 2. 实验器材

平衡台、计算机及其相关数据采集演示软件。

### 3. 实验步骤和方法

(1)设计动作 双足直立动作、单足直立动作、双足屈膝动作、单足屈膝动作(注:这4个动作表现了支撑面大小、重心高低的区别);或由学生自行设计其他动作。

(2)测试过程 由学生若干人(至少2人以上)充当受试对象。每个受试者分别按设计动作各做一次。受试者做动作至基本稳定后开始测试,观察和记录每个受试动作在最后10秒钟范围内人体重心位置变化数据(注:重心位置变化数据可取重心变化轨迹区域内的最大直径,直径大者表示稳定性差,反之稳定性好)。

(3)分析讨论 根据重心位置数据的变化范围并结合对应的动作进行分析讨论。由各个不同动作重心变化数据分析影响稳定的因素;由各个受试者重心位置变化数据评价其维持平衡的能力。

(4)提炼结论 对实验所得结果进行简要叙述。

### ◆复习思考

1. 在进行运动技术分析时用到的运动学数据、动力学数据主要有哪些?举例说明这些数据对于分析评价运动技术的作用?

2. 运动学数据采集,为什么采用摄像及录像解析的方法是发展的主要方向?

3. 影像测量有哪些主要步骤?每个步骤分别完成什么主要任务?

4. 影片数字化的目的是什么?

5. 压电晶体和电阻应变片的物理特性是什么?测力台是如何利用这些特性进行力学测量的?

6. 利用“力—时间”曲线分析运动技术,你有何见解?

7. 利用教材上投掷铅球垂直力曲线图(图2—30),分析两种不同水平投掷铅球运动员的用力情况,以及对其技术发挥的影响。

## 第三章 运动生物力学基本原理

### ◆本章基本知识要点

1. 运动学基本知识:运动的基本形式,匀变速直线运动公式,描述运动状态的各种曲线,斜抛运动中最大远度、最大高度与初速度、抛射角之间的关系。
2. 动量定理,动量守恒定理及其在运动技术分析中的几种典型应用。
3. 动量矩定理、动量矩守恒定理及其在运动技术分析中的几种典型应用。
4. 稳定性原理及其应用,影响稳定性的因素。
5. 流体力学原理,伯努利定理、马格努斯效应及其应用。
6. 骨受力特征,肌肉力学特征及其应用。
7. 人体运动形式,杠杆原理,复杠杆原理,关节运动顺序性原理,鞭打动作原理。

### ◆本章内容教学导航

运动生物力学基本原理是运动技术应该遵循的基本规律,它决定和影响运动技术的正确与否。本章安排的教学内容可以分为两部分:◇第一部分从第1节到第6节,安排的是运动生物力学基本原理,这部分内容隶属于经典力学,是将经典力学规律在人体运动中的直接应用。但在教学形式上本章突出了两个特点,其一,原理的介绍采用通过实例直接引入的方式,而不是通常理论推导的方式,目的是想使数理知识并不占优势的学生能够容易理解;其二,配合一定量的常见体育技术动作实例进行深化,目的是要使学生能够将基本原理与体育动作很快地进行结合。◇第二部分为第7节,安排的是运动技术基本原理,这部分内容大多是运动生物力学自己发现和揭示的人体运动规律,它们与运动技术有密切关系。应该强调的是,运动生物力学基本原理在进行运动技术分析时只判定技术动作是否正确,并不判定是否最佳。技术动作的正确与最佳,二者并不矛盾,只是体现了层次上的差异。即:一个运动员采用的运动技术是否最佳,首先应该正确,这是最佳技术的前提条件。然后再看这项技术是否符合个人特点。如果其采用的运动技术既符合运动生物力学基本原理,又能结合和充分发挥个人特点,就是我们所称的最佳运动技术。在教学中应该从总体上把握上述基本思路和要点,才算达到本章教学目的。

### ◆基本内容

#### 第一节 运动学基本知识

运动学的知识在运动技术分析中具有重要意义,由于篇幅所限,本节只选择其中最常用的部分进行介绍,而不考虑其力学知识的体系是否完整。

## 一、人体运动的基本形式

人体运动系统是由骨骼、关节、肌肉、韧带等组织组成。在运动过程中,骨骼担负杠杆支撑任务,关节担负运动枢纽任务,肌肉提供运动动力,韧带起到支持加固的作用。整个结构是一个链状的复合杠杆式的机械结构,这种结构形式决定了人体每一个局部环节的运动其实都是转动运动(角运动)。但是当我们把研究目标集中在人体的某一个运动点时,这个运动点的运动轨迹又是一条线(直线或曲线),此时这个运动点所做的运动就是沿着线型轨迹进行的运动(线运动)。因此,人体运动的基本形式主要有两种,即线运动和角运动。

### (一)人体的线运动

线运动是指运动“点”在运动过程中其运动轨迹是一条线(直线或曲线)时的运动形式。运动点可以是人体身上的某个点,如关节点、环节重心、四肢端点等;运动点也可以是器械重心、或器械上的特征点等。参阅图 3-1 上图所示。线运动的数据指标有点的位置、运动距离(位移)、速度、加速度等。

注明:这里所说的运动点在力学上称为质点,即有一定质量但不可再分割的最小运动单位。

特点:做线运动的必然是单独的一个运动点,因为只有运动点才能实现使运动轨迹成为线,即“点动成线”。

### (二)人体的角运动

角运动是指运动“体”在运动过程中,其各点(若干点)的运动轨迹构成若干个同心圆(或圆弧)的运动形式。运动体可以是人体的某一个部分,如某一个环节,或某几个环节,或人体整体等;运动体也可以是器械。参阅图 3-1 下图所示。角运动的数据指标有运动体的角度、角位移、角速度、角加速度等。

注明:这里所说的运动体在力学上称为刚体,即由若干个质点组成(可分割),但各质点间位置不会发生变化的运动单位。

特点:做角运动的必然是运动体,因为只有运动体才可能被划分出若干个运动点,这些运动点才能形成若干个同心圆(或圆弧)的运动轨迹。

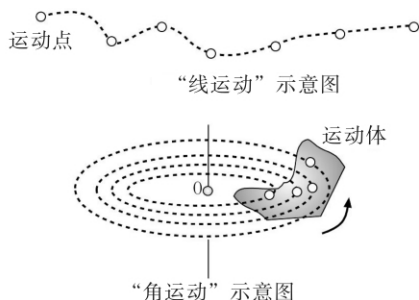


图 3-1 运动形式示意图

### (三) 复合运动

复合运动是指人体在完成某个运动动作的过程中,由线运动和角运动共同组成的一种复杂运动形式。事实上,运动技术动作很少有单独一种基本运动的形式,而大多数情况是复合运动。例如,人体在跑的过程中,上、下肢各环节都是绕相应关节做转动(角运动),而此时人体的总重心、各部位的特征点(关节点、头、手、脚等)则是在做线运动。在运动技术的分析过程中,为了分析的方便,常将复合运动分解成各种基本运动形式分别进行分析。

小结:线运动和角运动这两种运动形式是相辅相成的关系,不同之处在于各自研究的侧重点不同。以人体“屈肘动作”为例:当我们要了解前臂及手的整体运动状况时,屈肘动作可看成是前臂绕肘关节所做的角运动;当我们要了解前臂及手上的某个点的运动状况如运动轨迹、运动速度等内容时,该点在屈肘动作中所做的运动就是线运动。

## 二、匀变速直线运动公式

匀变速直线运动是指物体在某一条直线段上进行的运动,且速度的变化(加速或减速)是均匀的,即加速度是一个常数。

$$\text{匀变速直线运动公式:} \begin{cases} v = v_0 + at \\ s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \\ v^2 = v_0^2 + 2as \end{cases}$$

意义:反映物体在直线运动中速度、加速度、时间、路程之间的基本关系,如图 3-2 所示。公式中涉及了五个基本运动学量:初速度  $v_0$ 、末速度  $v$ 、加速度  $a$ 、运动距离  $s$ 、运动时间  $t$ 。

从运动规律的角度说,这五个运动学量是相互制约的,当其中某几个运动学量确定时,这个运动便被确定,即其他的运动学量不能再随意变动。从方程组的角度说,三个独立方程涉及五个未知量,当已知其中任意两个量时,便可以解出另外三个量,或者说此时另外三个量便是确定的。

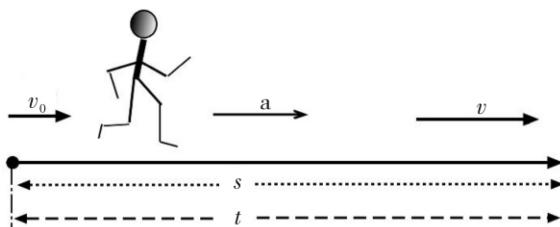


图 3-2 匀变速直线运动示意图

理解:匀变速运动有两个要点。其一,运动轨迹是一个直线段,即运动是在一个有起点和终点的范围内进行,也就是说,路程  $s$  必须是确定的;其二,速度变化是均匀的,即加速度是一个常数,而不是一个变量。

匀变速直线运动的规律是研究曲线运动的基础。以下在介绍斜抛运动时,将把斜抛运动分解成两个不同方向的直线运动,再以匀变速直线运动的规律对其进行分析。

### 三、斜抛运动

斜抛运动是抛射体以一定的初速度、抛射角度作为初始条件进行的腾空运动,运动的开始为腾空瞬间,运动结束为落地或与外界物体接触瞬间。斜抛运动是体育运动中最常见的运动形式。

体育运动中作为抛体的物体主要有两种;其一是运动器械,如铅球、铁饼、标枪、篮球、足球等,它们被抛向空中时是运动器械在做斜抛运动;其二是人体自身,如人体在跳远时、跳高时、跨栏时、跑步腾空时、从体操器械下落时等,此时是人体在做斜抛运动。

做斜抛运动的物体由于是在与地面相垂直的一个平面内运动,因此可将其分解成向前的水平运动和向上的垂直运动这样两个方向的分运动分别进行研究。这种分解方式可以利用前面介绍的匀变速直线运动公式,将曲线运动转化成直线运动进行分析。

#### (一) 抛点和落点在同一个水平面上时的斜抛运动

抛点和落点在同一个水平面上时的斜抛运动是最基本的斜抛运动,也是研究其他形式斜抛运动的基础。或者说其他形式斜抛运动是抛点和落点在同一个水平面上时斜抛运动的特例。

##### 1. 初速度

速度是有方向和大小的矢量,因此符合矢量运算法则。一个速度可以按平行四边形法则分解成两个与之等效的分速度,或两个速度亦可以按平行四边形法则合成为一个与之等效的合速度。

为了分析的方便,常将斜抛运动的初速度分解为两个正交方向(相互垂直)的分速度,参阅示意图 3—3。初速度  $v_0$  在水平方向的分速度  $v_{0x}$ ,在垂直方向的分速度  $v_{0y}$ ,计算公式如下:

$$\begin{cases} v_{0x} = v_0 \cos \alpha \\ v_{0y} = v_0 \sin \alpha \end{cases}$$

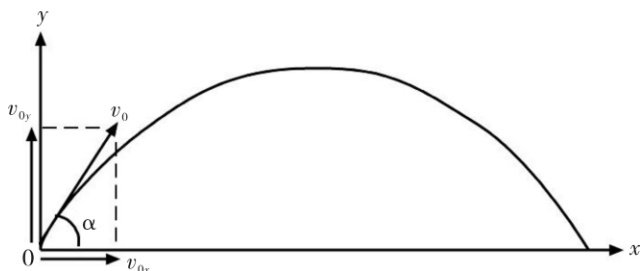


图 3—3 斜抛运动初速度示意图

意义:这样的分解,可将斜抛运动转变为沿  $x$  方向和  $y$  方向的两个与之等效的直线运动,然后可以利用前面介绍的匀变速直线运动公式来分析斜抛运动。

##### 2. 任意点的速度

任意点的速度是描述在整个斜抛运动过程中,物体在任意时间或任意点处的速度情况。物体在空中飞行过程中,其速度值的大小和方向角总是在变化的,参阅示意图 3—4。

此时在  $x$ 、 $y$  两个直线方向上,初速度分别为  $v_0 \cos \alpha$  和  $v_0 \sin \alpha$ 。 $x$  方向没有加速度, $y$  方向的加速度是方向朝下的重力加速度  $g$  (与  $y$  轴方向相反)。分别代入匀变速直线运动中的第一个公式  $v = v_0 + at$ ,可以得到任意点的速度公式如下:

$$\begin{cases} v_x = v_0 \cos \alpha \\ v_y = v_0 \sin \alpha - gt \end{cases}$$

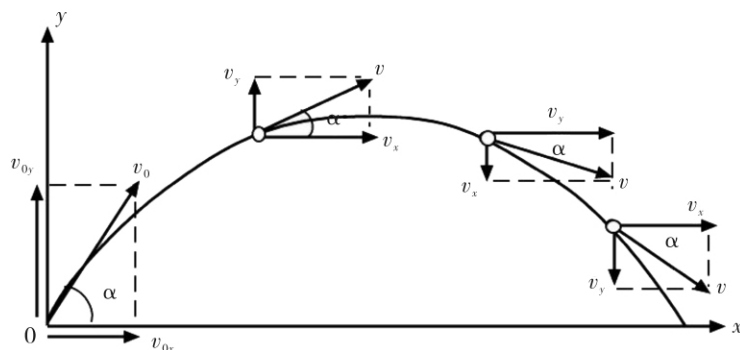


图 3-4 任意点速度示意图

### 3. 斜抛到达顶点的时间

物体达到顶点时,其垂直方向的速度正好为零,将此代入  $y$  方向的任意点速度公式  $v_y = v_0 \sin \alpha - gt$ ,此时时间正好是达到顶点的时间  $t_1$ ,参阅示意图 3-5。

即当  $v_y = 0$  时,公式  $v_y = v_0 \sin \alpha - gt$  中的时间  $t$  正好是抛体达到顶点的时间  $t_1$ ,将公式变形后即:

$$t_1 = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$$

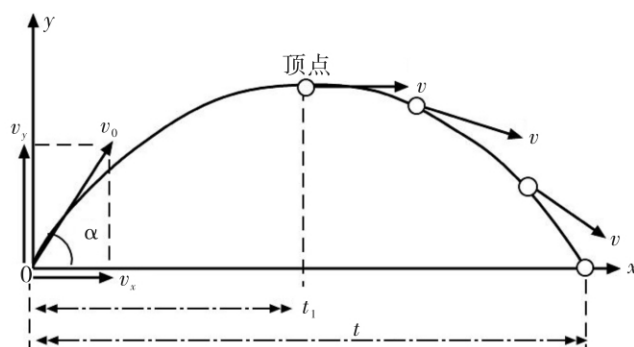


图 3-5 抛点时间示意图

### 4. 总时间

在抛点和落点在同一水平面上时,达到顶点的时间和从顶点落到地面的时间相等,参阅示意图 3-5。因此总时间  $t$  即达到顶点时间的 2 倍。公式如下:

$$t = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$$

### 5. 最大远度(由总时间 $t$ 进行计算)

最大远度即物体落地时水平方向的最大距离,参阅示意图 3-6。在忽略空气阻力的

情况下,水平方向的速度不会发生改变。因此只需要将物体水平初速度乘以最大飞行时间即得最大远度公式。

$$\begin{aligned}
 s &= v_{0x} \cdot t \\
 &= v_0 \cos \alpha \cdot \frac{2v_0 \sin \alpha}{g} \\
 &= \frac{v_0^2 (2 \sin \alpha \cos \alpha)}{g} \\
 &= \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}
 \end{aligned}$$

6. 最大高度(由达到最大高度的时间  $t_1$  进行计算)

最大高度即物体达到顶点时的垂直方向的距离,参阅示意图 3-6。

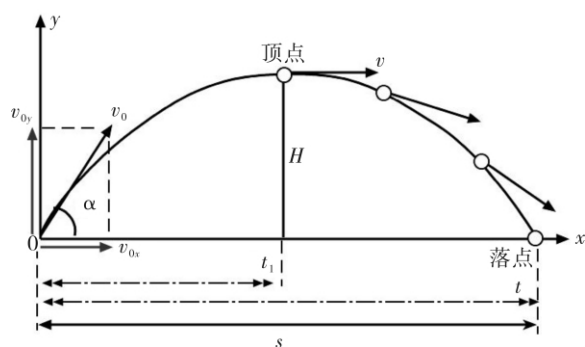


图 3-6 抛物体高度与远度示意图

在垂直方向上运动的物体由于是在重力加速度的影响下做匀变速直线运动,因此可以利用前面介绍过的匀变速直线运动的第二个公式  $s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$ , 然后取达到顶点的时间  $t_1$  代入即可推导出最大高度公式。

$$\begin{aligned}
 H &= v_{0y} t_1 - \frac{1}{2} g t_1^2 \\
 &= v_0 \sin \alpha \cdot \frac{v_0 \sin \alpha}{g} - \frac{1}{2} g \left( \frac{v_0 \sin \alpha}{g} \right)^2 \\
 &= \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{g} - \frac{1}{2} \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{g} \\
 &= \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}
 \end{aligned}$$

上述由分析推导所得各个公式,许多体育教科书在描述斜抛运动时都经常引用。

## (二)斜抛运动的其他情况

前面介绍了抛点和落点在同一水平面时的斜抛运动。当抛点和落点不在同一水平面时,以及抛射角取某一特征值时,会形成斜抛运动的一些特殊情况。以下介绍其四种特例。

### 1. 当抛点高于落点时的斜抛运动

特殊条件:斜抛运动时抛点高于落点。参阅图 3-7。

主要分析的问题:最大水平距离。

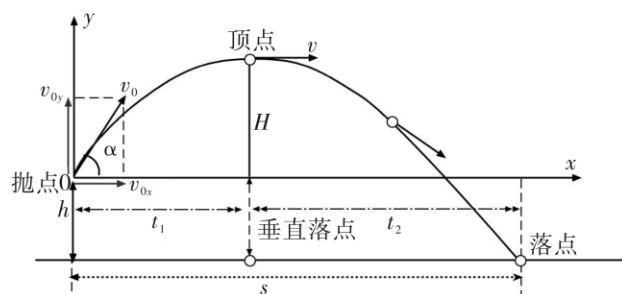


图 3-7 抛点高于落点时的斜抛运动示意图

主要差异表现在下落阶段的时间  $t_2$  不同。先求物体下落时间  $t_2$ , 物体从最高点下落到落点的时间与其做自由落体运动时到垂直落点的时间相同。而此时下落的高度是  $H+h$ 。因此可通过自由落体公式计算  $t_2$  :

$$t_2 = \sqrt{\frac{2(H+h)}{g}}; \text{其中: } H = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}。$$

最大远度公式为:

$$s = v_{0x} \cdot (t_1 + t_2); \text{其中: } v_{0x} = v_0 \cos \alpha; t_1 = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}。$$

讨论:进行最大远度计算时,采用上述公式进行分步计算可以使问题简洁清楚,而不要套用有些教材上使用的最大远度公式。

## 2. 当抛点低于落点时的斜抛运动

特殊条件:斜抛运动时抛点低于落点。参阅图 3-8。

主要分析的问题:最大水平距离。

主要差异仍然是在下落阶段的时间  $t_2$  不同。先求物体下落时间  $t_2$ , 方法与抛点高于落点时的情况类似,只是此时下落的高度是  $h_1 = H - h$ , 因此计算公式有:

$$t_2 = \sqrt{\frac{2(H-h)}{g}};$$

其余计算与抛点高于落点时的情况一致,此不赘述。

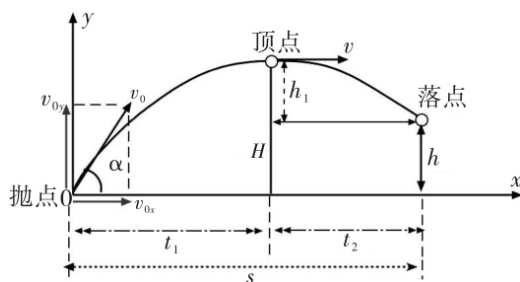


图 3-8 抛点低于落点时的斜抛运动示意图

## 3. 竖直上抛运动

特殊条件:抛点和落点在同一点,且抛射角为 90 度。参阅图 3-9 上半部分。

主要分析的问题:斜抛运动时上升段的运动公式。

物体做竖直上抛运动时,加速度  $a$  为重力加速度  $g$ ,由于与所设垂直坐标方向相反,所以应取负值。再将运动的距离  $s$  写成高度  $H$ 。然后代入匀变速直线运动公式即得竖直上抛运动公式:

$$\begin{cases} v = v_0 - gt \\ H = v_0 t - \frac{1}{2}gt^2 \\ v^2 = v_0^2 - 2gH \end{cases}$$

讨论:物体一开始是做上抛运动,随着时间的延长,上升的速度会越来越慢。当  $gt = v_0$  时,抛射物达到最高点,此时速度为零。而当  $gt > v_0$  后,物体的速度变为负值,此时上抛运动就改变为自由落体运动。

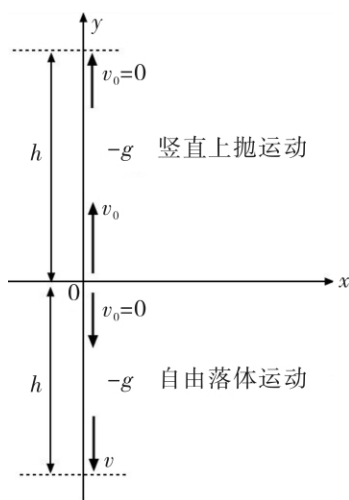


图 3-9 竖直上抛和自由落体示意图

#### 4. 自由落体运动

特殊条件:抛点大于落点,且初速度为零。参阅图 3-9 下半部分。

主要分析的问题:斜抛运动时下降段的运动公式。

物体做自由落体运动时,加速度  $a$  为重力加速度  $g$ ,由于与所设垂直坐标方向相反,所以应取负值。运动的初速度  $v_0 = 0$ 。运动的距离  $s$  写成高度  $H$ 。然后代入匀变速直线运动公式即得自由落体运动公式:(注:公式中的距离  $H$  应理解为位移,取负值)。

$$\begin{cases} v = -gt \\ H = -\frac{1}{2}gt^2 \\ v^2 = -2gH \end{cases}$$

讨论:自由落体运动会随着下落时间的延长,下落的速度和距离会越来越大。

### 四、运动曲线

(一)“运动轨迹”曲线

运动轨迹曲线用于描述运动物体在不同时间所在的位置情况,它是运动技术分析经常用到的一种表示方式。研究平面运动可以采用二维运动轨迹(如跑步等),它在平面坐标系中用一对数 $(x,y)$ 来表示运动点的位置。研究立体运动需要采用三维运动轨迹(如自由体操、武术等),它在立体坐标系中用三个数来表示运动点的位置。参阅图 3—10 所示。

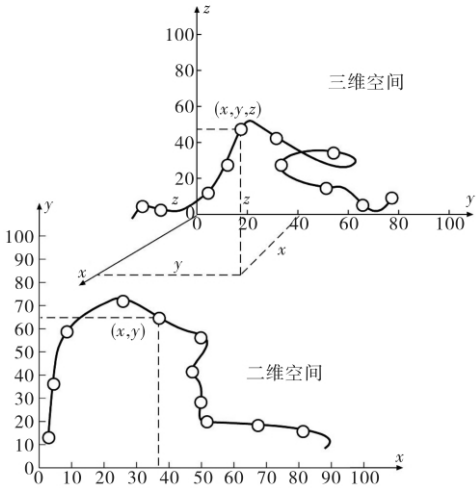


图 3—10 运动轨迹示意图

(二)“速度—时间”曲线

“速度—时间”曲线用于描述运动物体在不同时间其速度情况,它也是运动技术分析中常用的方式。根据速度状况的不同有多种不同形式的曲线,参阅图 3—11 所示。

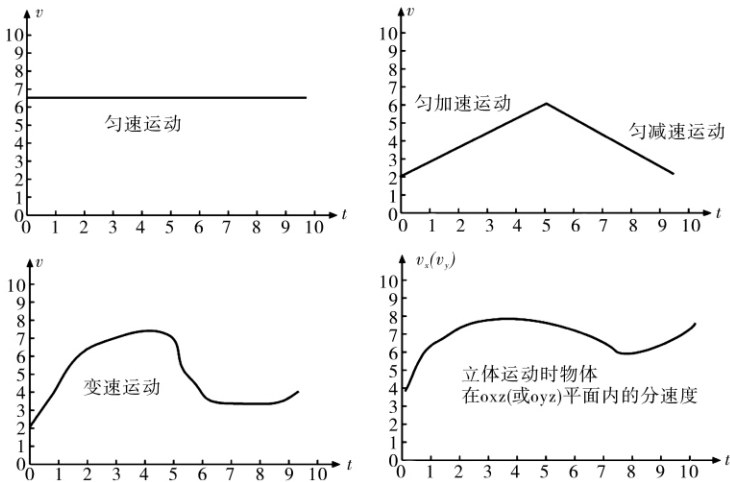


图 3—11 “速度—时间”曲线示意图

### (三)“加速度—时间”曲线

“加速度—时间”曲线用于描述物体在不同时间其加速度情况。参阅图 3—12、图 3—13 所示。

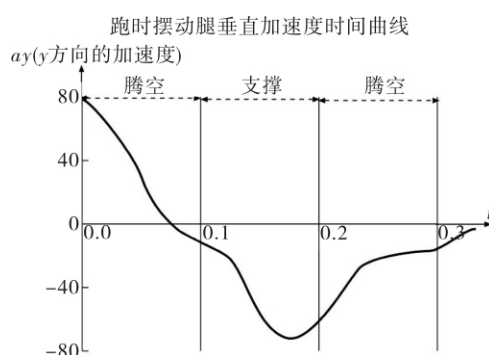


图 3—12 跑步时摆动腿重心加速度曲线示意图

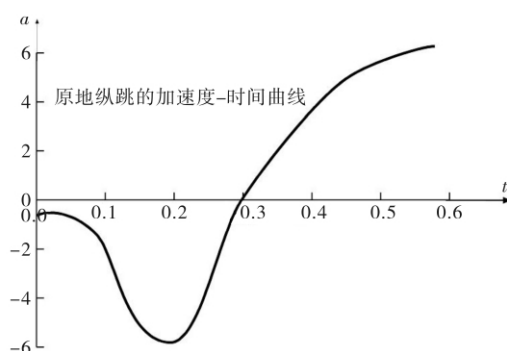


图 3—13 原地纵跳时人体重心加速度曲线示意图

## 第二节 动量定理及其应用

### 一、动量定理

在运动技术分析中,动量定理主要用于线运动形式的分析。

#### (一)动量 ( $mv$ )

动量:是物体运动量大小的度量。

##### 1. 物体运动量影响因素分析

(1)质量是影响物体运动量的因素 参阅图 3—14 左图:设有一篮球(质量  $m_1$ )和一铅球(质量  $m_2$ )以同样速度  $v$  来,不难知道接住铅球要比篮球困难,这表示质量大的物体产生的运动量也大。这也说明质量  $m$  的大小是影响物体运动量大小的一个因素。

(2)速度是影响物体运动量的另一因素 参阅图 3—14 右图:设有两个篮球(质量

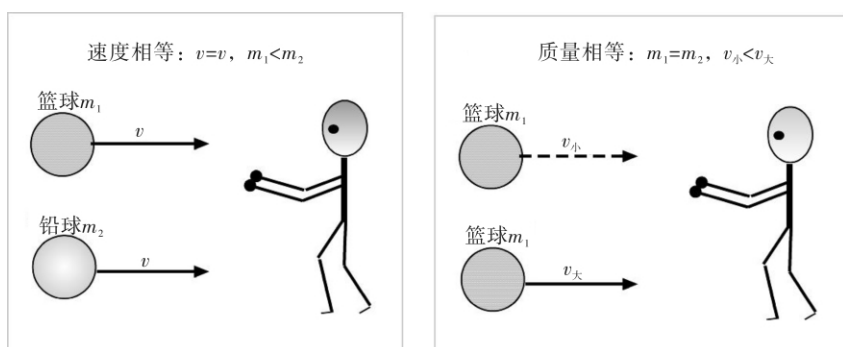


图 3-14 动量影响因素示意图

$m_1$ ) 以不同速度(分别为  $v_大$  和  $v_小$ ) 飞来, 不不知道要接住速度大的篮球更困难, 这表示速度大的物体产生的运动量也大。这也说明速度是影响物体运动量大小的另一个因素。

## 2. 动量的构成

从上面的分析中已经知道物体运动量的影响因素有质量和速度, 而且其影响都是呈正比形式, 即质量、速度越大, 物体运动量也越大。因此可以利用乘法的特点, 取两个影响因素的乘积这一综合量来表示物体运动量大小比较符合实际意义。因此物体运动量的大小可用  $m \cdot v$  表示, 称之为动量。它表示了物体在做线运动时运动量的大小。

思考: 加法、减法、除法的形式也可以将上述两个影响因素结合在一起, 想一想为什么不能用两个影响因素的加法、减法或除法的形式来构成物体运动量度量形式。

## (二) 冲量 ( $Ft$ )

冲量: 是力作用效应大小的度量。

### 1. 力的作用效果影响因素分析

(1) 力的大小是力作用效果的影响因素 参阅图 3-15 左图: 设有一个物体以动量  $m \cdot v$  飞来。在接住这个物体过程中, 所用力量越大, 物体停住越快。可见力量大小是力作用效果的一个影响因素。

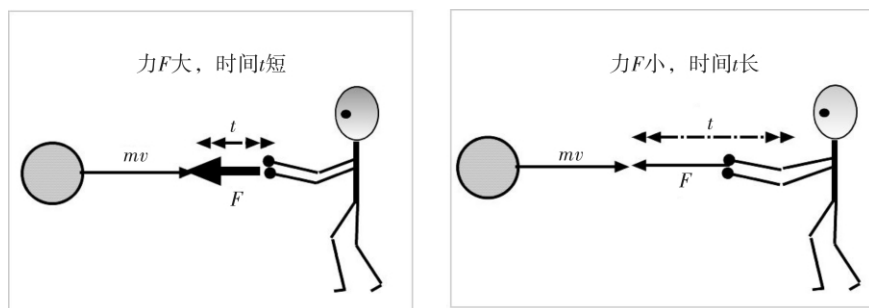


图 3-15 冲量影响因素示意图

(2) 力的作用时间是力作用效果的另一个影响因素 参阅图 3-15 右图: 设有一个物体以动量  $m \cdot v$  飞来。在接住这个物体过程中, 用力时间长一些, 可以使所用的力小一些。可见力作用时间是力作用效果的另一个影响因素。

## 2. 冲量的构成

同样利用乘法的特点,用这两个影响因素的乘积( $F \cdot t$ )构成力作用效果的度量,称之为冲量。它表示了力对物体做线运动时作用效果的大小。

### (三)动量定理

如图 3-16 所示。设某物体在初始状态时的动量为  $mv_1$ , 后来变为  $mv_2$ , 在这一过程中物体动量的改变量为  $mv_2 - mv_1$ 。是谁让物体的运动量发生了改变? 当然是受到了力的作用, 因为只有力才是物体运动状态改变的原因。而力的作用效果又是用冲量  $Ft$  来进行度量的。当物体受到力的冲量  $Ft$  越大, 其动量的改变量  $mv_2 - mv_1$  也越大, 二者之间存在相等的关系。即:

$$F \cdot t = mv_2 - mv_1$$

上式是动量定理的公式形式。动量定理用语言可以描述为: 物体动量的改变量等于物体所受到的冲量。

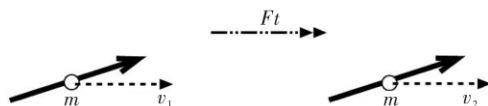
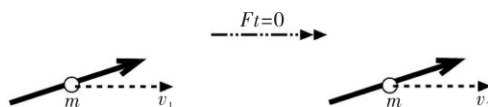


图 3-16 动量定理示意图

### (四)动量守恒定理

如图 3-17 所示。



当质量  $m$  不变时, 有  $v_1 = v_2$ , 即速度不变。

图 3-17 动量守恒定理示意图

当  $F \cdot t = 0$  时, 动量定理变为:

$$mv_2 - mv_1 = 0$$

$$\text{即: } mv_1 = mv_2$$

上式是动量守恒定理的公式形式。动量守恒定理用语言可以描述为: 当物体不受力, 或所受合外力为零时, 物体的动量不变。它是动量定理的一种特殊形式。

## 二、动量定理在体育运动中的应用

### (一)投掷类

特点: 投掷时肢体和器械同时运动, 肌肉力产生冲量, 使器械的动量发生变化。这类问题涉及肌肉作用力和时间的相互制约关系, 需要通过作用距离的改变达到增加作用时间的目的。参阅图 3-18。

投掷动作是通过肌肉力冲量的作用, 将器械的动量由  $mv_1$  改变为  $mv_2$ ,  $v_2$  是最后出手的速度, 这个速度越大, 对提高运动成绩的意义越大。这个过程遵循动量定理:

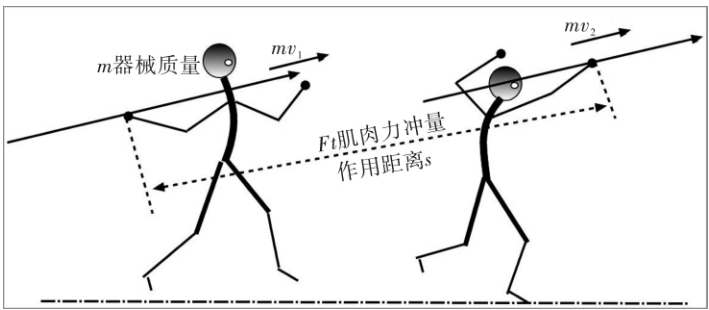


图 3-18 动量定理在投掷动作中的情况

$$F \cdot t = mv_2 - mv_1$$

从公式可以看出,  $F \cdot t$  越大对于器械动量的改变也就越大。由于人体肌肉的特点, 肌肉力  $F$  和作用时间  $t$  是一个矛盾的量, 也就是说不可能采用故意放慢动作速度来延长作用时间, 否则不能保证肌肉力量的发挥。

运动实践中一般都是采用在保证动作速度的情况下, 通过延长工作距离达到延长工作时间。这种方式就是常说的“超越器械”动作。

### (二) 打击类

特点: 打击类动作需要区分为两个阶段: 一是肢体挥动阶段, 肌肉力使肢体自身获得动量的改变; 其二是击打阶段, 肢体和器械发生碰撞, 碰撞力使器械发生动量的变化。参阅图 3-19。

打击类动作对运动器械施加打击力冲量  $F \cdot t$ , 使器械的动量由原来的  $mv_1$  改变为  $mv_2$ 。这个过程符合动量定理:  $F \cdot t = mv_2 + mv_1$  (注:  $mv_1$  方向与打击方向相反)。

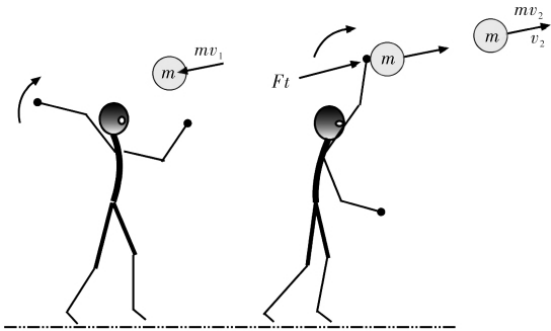


图 3-19 动量定理在打击类动作的情况

打击类动作的特点: 由于物体受力时间  $t$  很短, 因此产生的力  $F$  较大。运动器械动量改变以后, 按新的运动速度  $v_2$  沿冲量的方向飞出。

### (三) 蹬伸类

特点: 蹬伸力作用在地面, 引起地面的反作用力冲量, 从而使人体的动量发生变化。参阅图 3-20 所示。

人体跳跃通过蹬伸动作获得向上的动量。共分两个过程:

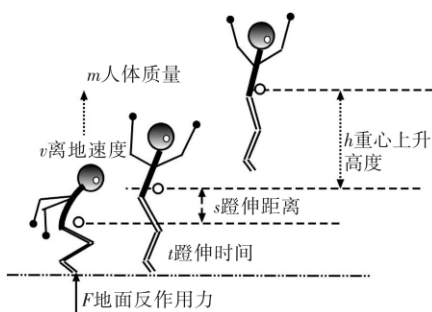


图 3-20 动量定理在跳跃动作中的情况

(1)蹬伸过程 蹬地时得到地面的反作用力冲量  $F \cdot t$ , 将人体动量从 0 改变为  $mv$ 。用动量定理可以计算冲量和动量的关系:

$$F \cdot t = mv - 0$$

(2)腾空过程 利用前面蹬伸获得的动量, 进入腾空过程。腾空过程是一个上抛运动, 重心上升的高度可由公式计算:

$$h = \frac{v^2}{2g}$$

#### (四)缓冲类

特点: 人体下落时产生一个确定的动量, 在触地瞬间被地面相同大小的阻碍力冲量改变。组成冲量的阻碍力和时间相互制约。参阅图 3-21 所示。

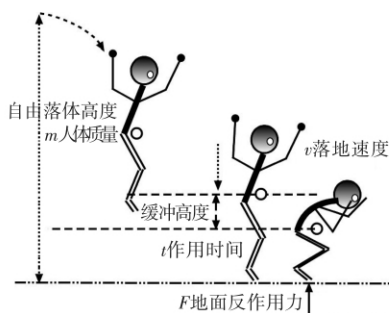


图 3-21 动量定理在落地缓冲动作中的情况

人体从高处下落, 在特定高度的情况下, 通过自由落体运动, 在着地瞬间获得了一个落地速度  $v$ , 由于下落高度一定, 落地动量  $mv$  也是一个相应确定的量。落地后在地面冲量  $F \cdot t$  的作用下, 使动量  $mv$  变为 0。在这个过程中有:

$$F \cdot t = 0 - mv$$

因此, 通过延长作用时间  $t$ , 减少作用力  $F$ , 达到避免受伤和维持身体稳定的作用。

#### (五)作业点评

题面: 选择一个合适的体育运动技术动作, 利用动量定量进行分析。(500 字以上)。

①不良答题现象举例, 分析如下:

答: 例如篮球投篮动作,  $F \cdot t = mv_2 - mv_1$ 。

评价:不能算错,但是“没有意思!”。

运动生物力学问答题的基本目的:是培养体育专业大学生分析运动技术问题、解决教学训练中有关问题的能力,同时也是大学生综合素质的培养。可以允许回答错误,但是不可以缺乏积极的思维。任何人都是从错误中,通过积极的思维,正确认识世界的。其中积极思维是获得进步的关键。

### ② 良好答题举例

答:以篮球投篮动作为例,分析如下:

确定动作性质:投篮动作属于投掷类动作,其特点是:以手臂完成动作的同时,肌肉力就已经作用在球体上,使球发生动量的变化。即肢体和器械是在一个动作阶段完成动作的(注:与打击类动作不同)。

选择适合的生物力学原理:如果将研究的对象选择为球,则球的运动过程显然是线性运动,它的运动状态的变化与质量、速度、作用力、作用时间有关。因此应有动量定理在起作用(注:选择研究对象是讨论问题的重要一环。本例如果选择研究对象为人的肢体,由于人结构决定了其肢体大多是绕关节转动,因此就应采用后面一节将要介绍的动量矩定理进行讨论比较适合)。

确定具体的投篮动作:现以单手肩上投篮为例。以投篮的距离为依据,可以大至划分为两种情况。其一为中近距离投篮:要求出手点高,动作时间短。其二为远距离投篮:要求能使球获得较远的抛射距离。

分析:

中近距离投篮:出手点高使得挥臂的距离  $s$  较小和作用时间  $t$  较短,这使得投掷臂对球产生的总冲量不可能很大,球获得的动量改变较小,球不可能被抛射很远。但由于投篮距离要求不大,因此仍完全可以达到动作的目的。

远距离投篮:为了获得较大的抛射距离,需要使球在投掷过程中获得较大的动量改变,这就需要产生较大的肌肉冲量。提高肌肉力冲量一是加大肌肉力  $F$ ,二是通过增大工作距离以延长工作时间  $t$ 。因此常表现为屈曲身体和掷手臂,这也必然伴随出手点相对较低。

教学训练要点建议:

中近距离投篮:提高单手控制球的能力,加强手腕、手指的爆发力。

远距离投篮:提高全身的协调能力,投篮时机的选择,并注意与其它技术的结合。

## 第三节 动量矩定理及其应用

### 一、动量矩定理

动量矩定理是用于分析转动运动(角运动)的基本原理。由于人体环节运动的基本形式是角运动,因此动量矩定理在运动技术分析中具有重要作用。

#### (一)角运动的基础知识

##### 1. 力矩( $M$ )

物体在进行角运动时,要改变角运动物体的运动状态,仅有力的作用是不够的。如图

3-22 所示,作用力  $F_1$  不能引起物体角运动状态的改变,而作用力  $F$  可以引起角运动状态的改变。其原因在于角运动不同于线运动,影响物体转动状态必须有力  $F$  和力臂  $d$  两个因素,因此将力  $F$  和力臂  $d$  的乘积作为引起物体角运动改变的量,称之为力矩,力矩通常用  $M$  表示,力矩计算公式为:

$$M = F \times d \quad (\text{即:力矩} = \text{力} \times \text{力臂})$$

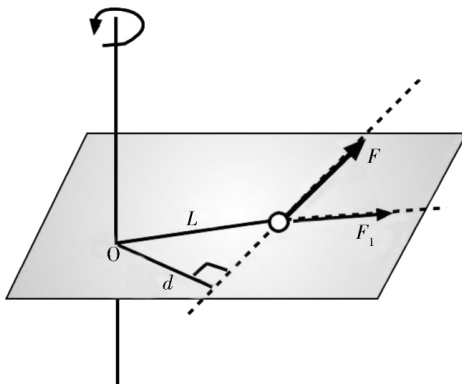


图 3-22 力矩示意图

图中字母说明:  $F$ 、 $F_1$  代表任意力;  $d$  为转动轴到力作用线的距离,称为力臂;  $O$  为物体转动中心;  $L$  是力的作用点到转动点之间的距离(注意不要将它与力臂混淆)。

图 3-22 中所示意情况:作用力  $F_1$  的作用线通过转动点  $O$ ,尽管有力的存在,但是力臂为零,所以力矩为零,故不能引起物体角运动状态的改变;而作用力  $F$  的作用线不通过转动点  $O$ ,从转动点  $O$  可以向力  $F$  的作用线作出一条垂线,垂线的长度即力臂  $d$  的大小,二者乘积即力矩,由于此时其大小不为零,故可以引起角运动状态的改变。

总结:只有当力  $F$  和力臂  $d$  都不为零时,二者的乘积才不会为零,即有力矩不为零,此时才会对物体的转动产生作用(引起物体角运动状态改变)。

## 2. 转动惯量( $J$ )

物体在做线运动时,物体惯性大小只与其质量  $m$  有关,但是物体在做转动时,其惯性大小不仅与质量  $m$  有关,而且与其形状(质量分布)和转轴的位置有关。如图 3-23 所示:现有质量为  $m$  的物体,如果将其做成两种形状。其一将物体做成梭子状,让其紧紧分布在转轴周围,如左侧图形所示;其二将物体用一根杆连接,让其质量集中在一起,并让它们远离转动轴,如右侧图所示。尽管二者的质量是相同的,但显然左侧的一种容易被转动,而右侧的一种不容易被转动。也就是说后一种情况(右侧图所示的情况)要使其运动状态发生改变会困难一些,即惯性要大一些。这说明物体转动时惯性的大小还受其质量分布的影响。

由上述分析可知,物体在转动时,影响物体惯性大小的因素有两个:

其一,物体的质量  $m$ ,这一点容易理解。

其二,物体质量对转动轴的分布情况。质量分布可用物体重心到转动轴的距离(转动半径  $r$ )表示。在有多个物体分布的情况下,为了避免正、负因素的影响,实际中又是取半径的平方  $r^2$  代表质量分布。

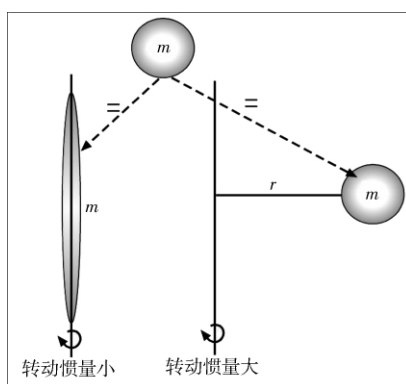


图 3-23 质量分布不同对转动惯量的影响示意图

利用乘法的性质,取上述两个因素的乘积作为物体转动时惯性大小的度量,称之为转动惯量(通常用字母  $J$  表示)。每个物体的转动惯量用公式表示为:

$$J = m \cdot r^2$$

### 3. 转动惯量理论公式

当一个物体由若干个不同部分组成时,其总体的转动惯量是由各部分转动惯量的代数和组成,其理论公式可以写成下式:

$$J = m_1 \cdot r_1^2 + m_2 \cdot r_2^2 + m_3 \cdot r_3^2 + \cdots = \sum m_i \cdot r_i^2$$

### 4. 规则体转动惯量及计算公式

以下规则体可以通过公式计算转动惯量,参阅图 3-24。

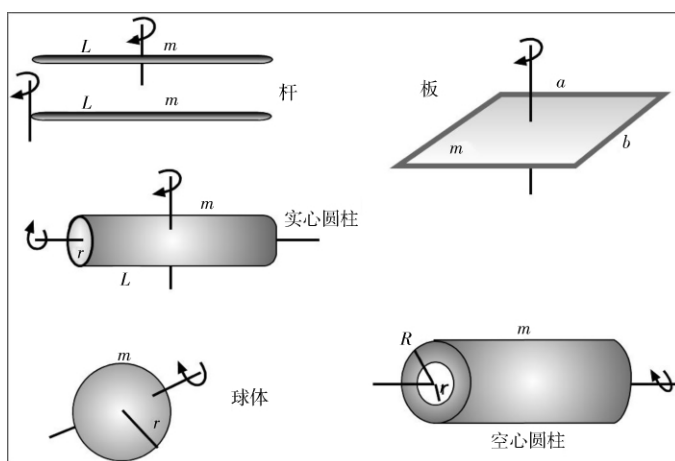


图 3-24 常见规则体的转动惯量示意图

图 3-24 中规则体转动惯量公式如下:

◆杆:  $\frac{1}{12}mL^2$  (轴在中间时);  $\frac{1}{3}mL^2$  (轴在两端时)。

◆实心圆柱:  $\frac{1}{2}mr^2$  (轴为圆柱中心线时);  $\frac{1}{12}m(L^2 + 3r^2)$  (轴与圆柱垂直且在中间时)。

◆球体： $\frac{2}{3}mr^2$ （空心球）； $\frac{2}{5}mr^2$ （实心球）。

◆板： $\frac{1}{12}m(a^2 + b^2)$

◆空心圆柱： $\frac{1}{2}m(R^2 + r^2)$

### 5. 非规则体的转动惯量

对于非规则体的转动惯量可以通过实验法、解剖测量法或 CT 扫描方式等获得，也可通过数学模型计算。人体是典型的由各个不同的非规则体组成的系统，因此人体的转动惯量必须通过这些方法获得。图 3—25 是人体各环节数学模型示意图。其思路是将人体各部位近似的抽象成规则体，如将头看成椭球、躯干看成是椭圆台等，目的是通过这样的近似以后，可以利用相关规则体转动惯量的公式进行计算。



图 3—25 人体各环节数学模型示意图

## (二) 动量矩定理

### 1. 动量矩

动量矩是物体做转动时其运动量大小的度量。以下分析其影响因素，以便得出动量矩的表达式，参阅图 3—26。

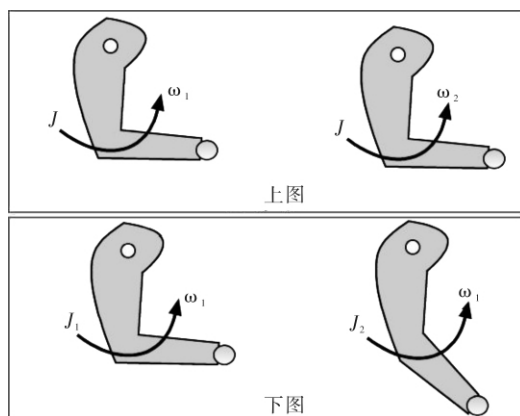


图 3—26 动量矩示意图

上图表示：当物体的转动惯量  $J$  没有发生变化，而转动角速度由  $\omega_1$  变化到  $\omega_2$  时，物体的转动运动量会发生变化。

下图表示:当物体的角速度  $\omega_1$  没有发生变化,而转动惯量由  $J_1$  变化到  $J_2$  时,物体的转动运动量也会发生变化。

可见影响物体转动运动量大小的因素有物体转动惯量  $J$  和转动角速度  $\omega$ ,取这两个影响因素的乘积所得复合量表示物体转动运动量的大小,称之为动量矩。表达式为:

$$J\omega$$

因此,物体的转动惯量  $J$  大一些而角速度小一些,或物体的转动惯量  $J$  小一些而角速度大一些,只要二者的乘积相同,都会具有一样的转动运动量。

## 2. 冲量矩

冲量矩是力矩作用效应大小的度量。力矩可以改变物体转动运动的状态。力矩作用效果的大小,除了受力矩大小影响外,同样还受其力矩作用时间长短的影响。因此取两个影响因素的乘积所得复合量表示力矩作用效应的大小,表达式为:

$$M \cdot t$$

因此,当力矩大些而时间短一些,或者力矩小一些而时间长一些时,只要二者的乘积相同,它对物体转动状态的影响都是一样的。

## 3. 动量矩定理

参阅图 3-27 所示。物体在做角运动过程中,初始时运动量为  $J_1\omega_1$ ,后来变为  $J_2\omega_2$ ,其转动运动量的改变量为  $J_2\omega_2 - J_1\omega_1$ ,谁让它发生改变的,当然是它受到的冲量矩  $M \cdot t$ ,且二者之间具有等量关系,写成公式形式为:

$$M \cdot t = J_2\omega_2 - J_1\omega_1$$

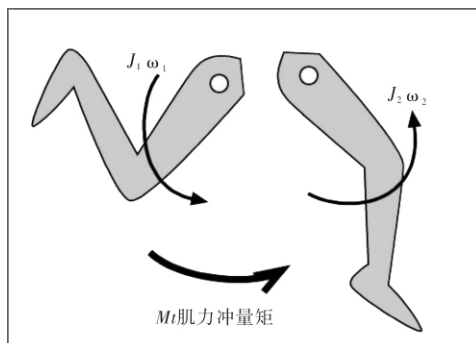


图 3-27 冲量矩示意图

上式是动量矩定理的公式形式,动量矩定理用语言可描述为:物体转动运动量的改变量等于它受到的冲量矩。

## 4. 动量矩守恒定理

当  $M \cdot t = 0$  时有:

$$J_2\omega_2 - J_1\omega_1 = 0 \quad \text{即: } J_2\omega_2 = J_1\omega_1$$

这是动量矩守恒定理的公式形式,用语言可描述为:当物体没有受到冲量矩的作用,或所受冲量矩之和为零时,物体的转动运动量不会发生改变。

特点:做角运动的物体在动量矩守恒情况下,如果物体的转动惯量发生改变,会自动引起转动角速度发生的相应变化,以便使二者的乘积保持不变。

## 二、动量矩定理在体育运动中的应用

### (一)动量矩定理应用中的问题

#### 1. 定轴转动

如单杠回环是定轴转动。参阅图 3—28。

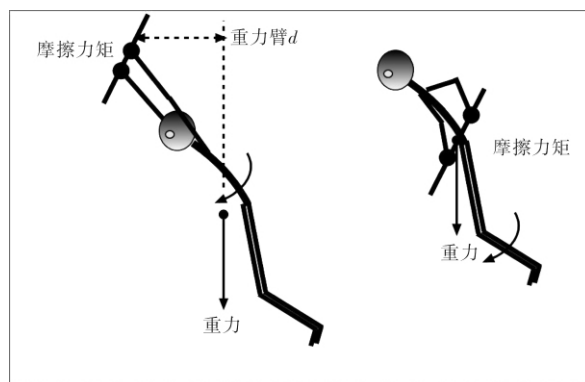


图 3—28 存在摩擦力矩的转动示意图

图 3—28 左图分析:分析定轴转动类动作应根据动量矩定理,而不应该是动量矩守恒定理,因为此时一般不会是动量矩守恒情况,理由如下:

其一,转动轴不在人体重心处时,存在重力矩的情况。

其二,人体与转动轴相接触的地方存在摩擦力矩,使得动量矩不为零。

图 3—28 右图分析:如果转动轴在人体重心处,且又可以忽略摩擦力矩时,才可以认为是近似于动量矩守恒。但仍然不是真正单纯的动量矩守恒情况。

#### 2. 定点转动

如掷铁饼时以脚为定点的转动。参阅图 3—29 所示。

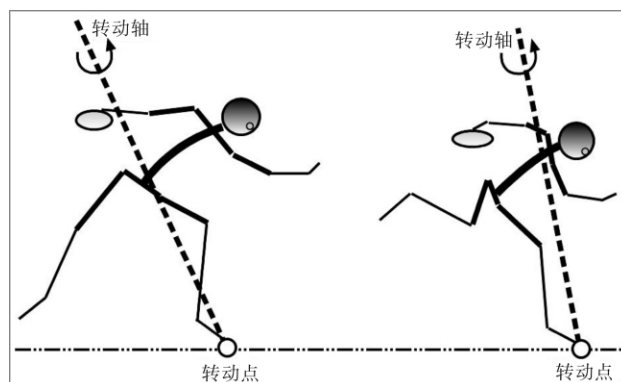


图 3—29 定点转动示意图

定点转动大多是指人体整体绕着某一点转动。这种类型的动作可以利用动量矩定理进行讨论。与定轴转动不同,定点转动的特点是转动方位不固定,或者说转动轴是变化的,它随着转动姿势的变化而不断改变。

### 3. 腾空后转动的特点

人体腾空后的转动是绕人体质心(重心)进行转动。此时必然是动量矩守恒情况。转动惯量的变化必然引起转动角速度的变化。参阅图 3—30 所示。

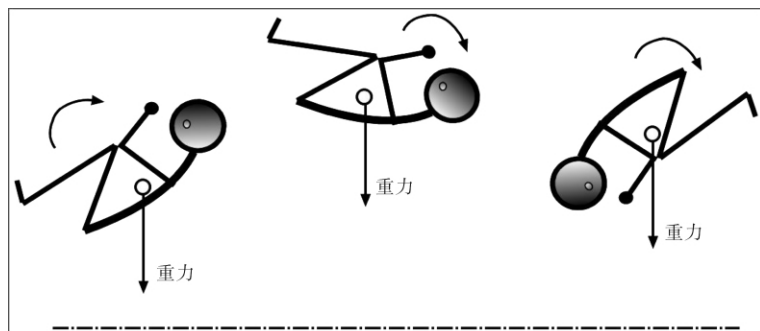


图 3—30 腾空翻转特点示意图

人体腾空后必然是动量矩守恒情况,其理由如下:

人体腾空后发生的转动运动,是绕着质心转动。由于在地球表面重力场范围内,人体的重心和质心是重合的,因此转动也就是绕着重心转动。在忽略空气阻力的情况下,人体腾空后只受到重力的作用,而重力是通过重心的。此时虽然有重力的存在,但是因为力臂为零,重力矩也为零,从而人体腾空后受到的总合外力矩为零,符合动量矩守恒条件。

### (二) 适合于动量矩定理的常见体育技术动作

#### 1. 翻转类

特点:腾空类翻转其动量矩必然守恒,且总动量矩不为零(否则不会转动),转动惯量和转动速度相互制约。参阅图 3—31 所示。

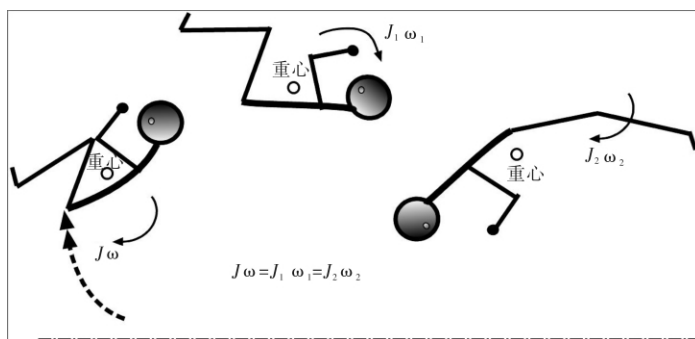


图 3—31 腾空翻转类动作动量矩变化示意图

人体在腾起瞬间获得一定的动量矩,然后保持这个动量矩直到落地为止。

当人体从屈体状态逐步变为直体时,由于转动惯量加大,为了维持总动量矩不变,会使转动角速度减小。

特点:腾空类翻转其动量矩必然守恒,且总动量矩不为零(否则不会转动),转动惯量和转动速度相互制约。转动惯量增大时,角速度自动减小;转动惯量减小时,其角速度自动增大。当人体在有限的腾空时间内想要完成更多翻转周数时,常采用减少转动惯量的

办法(即将身体尽量收紧)。

## 2. 相向动作类

特点:相向运动主要是指人体两部分绕横轴的反向转动。发生转动的各部分肢体动量矩相互抵消。相向运动符合动量矩定理,至于是否符合动量矩守恒定理,要视情况而定。如果相向运动是腾空状态则必然守恒;如果是非腾空状态,是否守恒则要看外界作用力是否通过转动点而定。参阅图 3—32 所示。

例如,挺身式跳远的腾空动作,符合动量矩守恒定理。其特点是在起跳瞬间并没有获得动量矩,即人体总动量矩为零,保持总体不发生转动。当上半身向一个方向转动时,形成一个动量矩,必然有下肢朝相反方向发生转动,获得一个反向的动量矩,从而维持总动量矩为零。

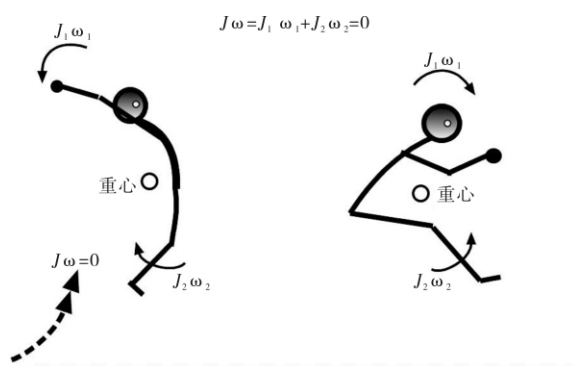


图 3—32 相向运动动量矩变化示意图

## 3. 扭转动作类

特点:扭转类动作主要指人的上体、下体之间绕纵轴进行的相反方向旋转动作。如果是腾空状态,则就是完全的动量矩守恒状态,参阅图 3—33 左图所示。如果与外界发生接触时只能认为其动量矩相对守恒,需要考虑是否忽略地面摩擦力矩的影响,参阅图 3—33 右图所示。人的行走、跑步、跨栏等动作都会发生上下体的反向旋转,扭转动作都至少符合动量矩定理。

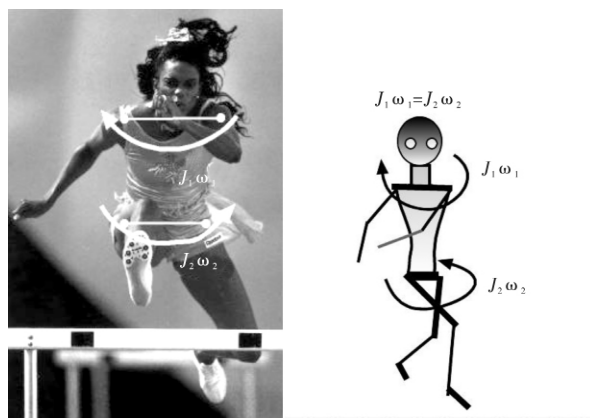


图 3—33 扭转类动作动量矩示意图

一般来讲,扭转动作是发生在人体整体不需要转动,而局部肢体需要进行转动动作的情况。此时当身体的上部部分发生转动并产生了一个动量矩时,在下体部分需要产生一个与上部相反的动量矩进行抵消。以便维持人体的总动量矩为零。

扭转动作在腾空时进行,则符合动量矩守恒定理无疑,如跨栏动作。如果此时上部不进行与下体的反向扭转,则下肢就不可能进行扭转,前跨腿就不可能伸出去。

扭转动作在非腾空时进行,则需要考虑地面摩擦力矩的影响,如行走动作。如果人体行走时上部不进行与下体的反向扭转,则会加大脚与地面的摩擦力矩以维持人体总动量矩为零,使人感到行走困难,不能顺利的迈出脚步。

#### 4. 局部肢体绕关节转动类

特点:动量矩不守恒。涉及肌肉力矩、作用时间、肢体转动部分的转动惯量和转动角速度。应从动量矩定量中的冲量矩和动量矩之间的关系进行讨论。参阅图 3-34 所示。



图 3-34 局部肢体摆动动量矩示意图

人体大多数的运动都是肢体绕着关节作旋转运动,在关节处会产生一定摩擦力矩,因此一般动量矩不守恒,考虑这类运动需要使用动量矩定理。

$$M \cdot t = J_2 \omega_2 - J_1 \omega_1$$

这里的  $M$  是肌力矩,牵拉骨杠杆产生转运。由于人的肢体由若干个环节组成的可以伸缩的运动链,因此会发生转动惯量的改变。当人体肢体缩短时转动惯量变小,这时肢体的摆动可以比较轻松省力。反之则转动惯量变大,肢体摆动费力。跑步时摆臂采用屈臂姿势、摆腿采用折小腿动作等,都是为了减少转动惯量,加快摆动速度。

### 第四节 稳定性原理及其应用

在体育运动许多项目中,动作的稳定性是一个重要的问题。以下介绍与稳定有关的知识(配合本章“实验八:一维重心测量”)。

#### (一)重心

重心是物体重力的作用点。

要点:

1. 重心不是一个固定点,它会随着人体姿势的不同而变化位置,朝着肢体运动的方向偏移。
2. 重心在判断稳定性中有重要的作用。

人体重心变化规律:重心的位置随着人体肢体的运动而改变,其改变规律是朝着肢体分布的方向而移动。在肢体弯曲较大时,重心可以移动到人体之外。参阅图 3—35 所示。

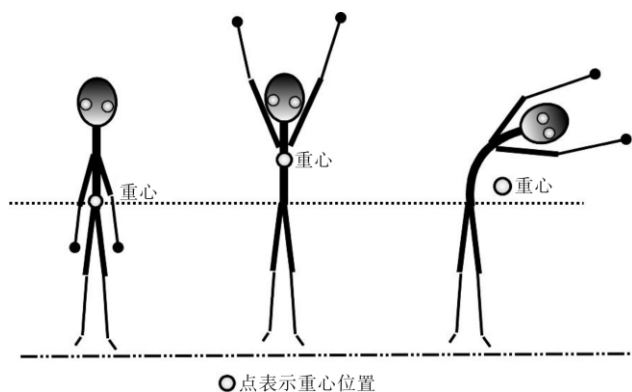


图 3—35 重心变化规律示意图

### 影响稳定性的因素

#### 1. 重心高低

重心高稳定性差,重心低稳定性好。参阅图 3—36,在推力  $F$  作用下前者易被推倒。

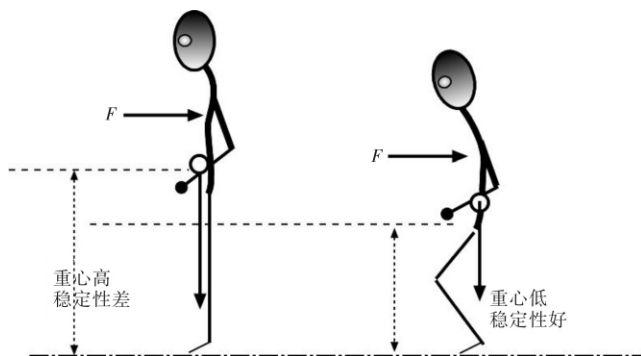


图 3—36 重心高低对稳定性影响示意图

举例:重心高容易摔倒,其稳定性较差。当人体将要摔倒时,会做出一系列自然反应,其中最重要的反应之一就是迅速降低重心。

#### 2. 支撑面大小

(1) 支撑面组成 支撑面由两部分面积组成:其一,是支撑部位与地面相接触的面积;其二,是支撑部位边缘所包围的面积。参阅图 3—37 所示。

(2) 规律 支撑面大稳定性好,反之稳定性差。人体重心垂线落在支持面内时,人体可以保持稳定(平衡),重心垂线超出支撑面必然会发生倾倒。参阅图 3—38 所示。

(3) 举例 举例一:两脚分开的站立姿势可使支撑面加大,从而可提高稳定性。一些高难度的动作,往往是支撑面小的原因,如平衡木、走钢丝等。

举例二:人体向前弯腰拾东西的情况,参阅图 3—39 所示。

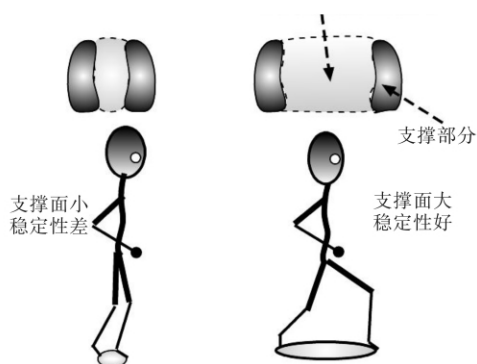


图 3—37 支撑面对稳定性影响示意图

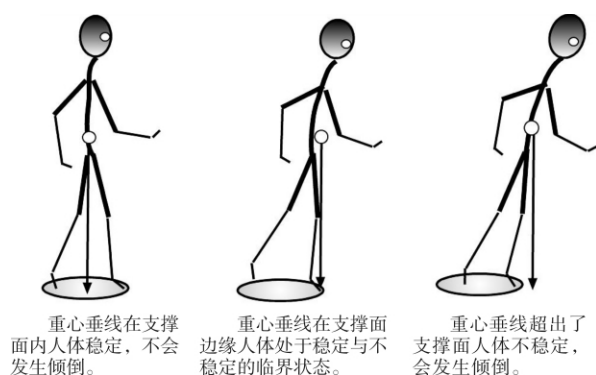


图 3—38 人体维持平衡基本条件示意图

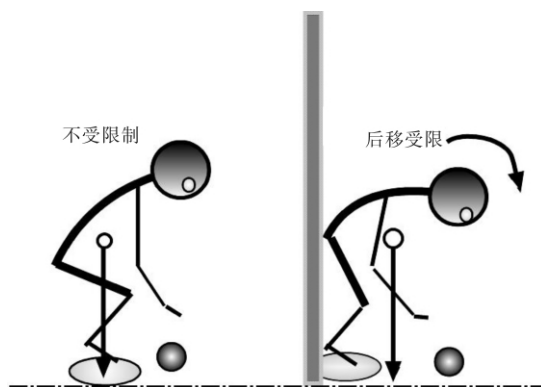


图 3—39 人体调节重心受限示意图

左侧图:重心垂线保持在支撑面内。人体弯腰拾东西时,在无限的情况下必然伴随臀部后移,从而保证人体的总重心垂线落在支撑面内。

右侧图:重心垂线超出了支撑面。如果臀部后移受到墙体的限制,弯腰的结果会使重心垂线超出支撑面,人体此时必然会发生倾倒。

### 3. 稳定角大小

稳定角的构成参阅图 3—40 左图所示。

构成角度涉及两条线:第一条线是重心垂线;第二条线是重心与支撑面边缘的连线。因此,稳定角是由重心垂线和重心到支撑面边缘的连线构成。

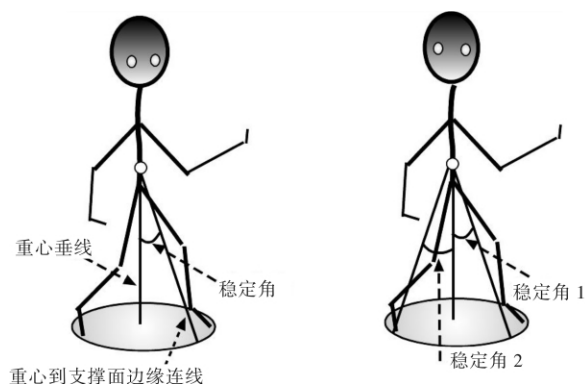


图 3-40 稳定角示意图

稳定角特点:参阅图 3-40 右图所示。由于边缘线是由无数个点组成的,边缘线上的每个点都可以与重心连接成线,因此会有无数条连线,从而就有无数个稳定角。但是各个方向上的稳定角一般是不相等的(除非支撑面为正圆,且重心垂线在圆心的情况)。

稳定角对稳定性的影响规律:稳定角大的方向,该方向的稳定性好;稳定角小的方向,该方向的稳定性差。

举例,中国式摔跤采用的站位方式,其各个方向的稳定性不一样。参阅图 3-41 所示。

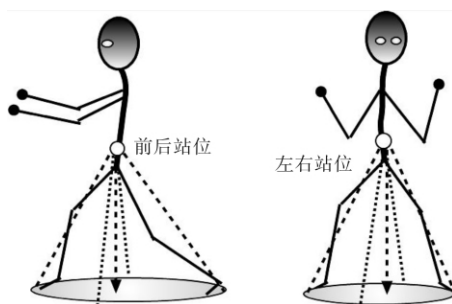


图 3-41 不同站立方式时稳定角示意图

前后站立姿势(如左图所示)。由于此时支撑面在前后方向呈长条形,因此前、后方向的稳定角较大,稳定性好,不容易被对手在前后方向拉动。但此时左右方向的平衡容易被对手破坏。

左右站立姿势(如右图所示)。此时是左、右方向的稳定角较大,稳定性好,不容易被对手在左右方向拉动;但此时前后方向的平衡容易被对手破坏。

举例二:蹲踞式起跑动作,要经过“各就位”和“预备”两个动作。参阅图 3-42 所示。

“各就位”姿势(如左图所示)。前、后方的稳定角都较大,这样稳定性较好,可以保持肌肉放松,静等“预备”口令。

“预备”姿势(如右图所示)。此时因为重心升高并前移,使的前稳定角要小于“各就位”姿势,这样便于能在前方较快的破坏平衡,有利于快速启动。

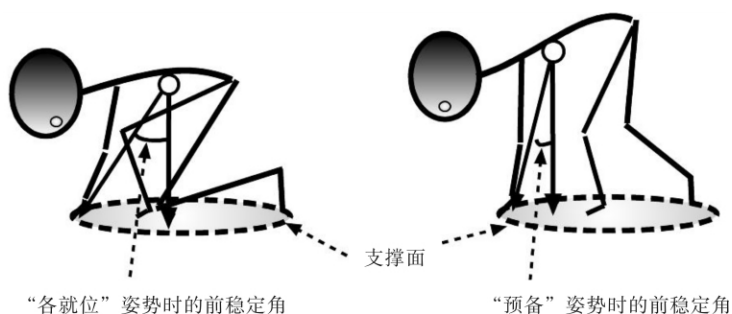


图 3-42 蹲踞式起跑姿势前稳定角变化示意图

## 第五节 流体力学原理及其应用

体育运动中常见的流体有水、空气两种。人体或器械在流体中运动,必然受流体的影响,以下介绍相关知识。

### (一)流体力学基本知识

#### 1. 压强

压强是指压力与受力面积的比值。公式如下:

$$P = \frac{F}{S}; \text{即: 压强} = \frac{\text{压力}}{\text{受力面积}}$$

在压力相同的情况下,如果面积不同,产生的作用效果也不同。例如在图钉的正、反两侧,其受到的压力是相同的,但是由于两侧的受力面积不一样,其压强不一样。参阅图 3-43 所示。

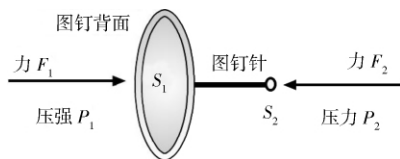


图 3-43 受力面积大小对压强的影响示意图

在图钉两侧施加的力是一样大的,即  $F_1 = F_2$ 。但由于两侧受力面积不一样,即  $S_1 > S_2$ 。因此两侧的压强是不相同的,即  $P_1 < P_2$ 。在图钉盖子一侧压强小,而在钉子一侧压强大。

流体压强的特点:人体在流体中时也同样受到流体压强的作用。压强的大小与流体密度、人体在流体中的深度影响。水的密度比空气要大,在条件相同的情况下,水的压强要比空气大的多。空气形成的大气压就是空气的压强,在海拔高度不一样的地方,其大气压是有差异的;水中的压强同样与深度有关,人体潜入水中的深度不一样,人体(耳膜等部位)可以明显感觉到压强的大小变化。

#### 2. 流体的浮力

浮力是指物体在流体中时受到向上的升力。

浮力大小:物体在流体受到的浮力=与物体相同体积的流体的重量。物体在水中受到的浮力等于排水量。

如图 3-44 所示。当人体完全沉浸在流体中时,浮力  $F$  的大小等于与人体相同体积流体的重量。人体分别在水或空气时,由于与人体同体积水的重量远远大于同体积空气的重量,因此水对人产生的浮力远远大于空气对人体的浮力。

举例:水的重量是每立方米是 1000 千克。假设某人的整个体积是 0.06 立方米,如果他将身体的 0.05 立方米沉在水中,则此时人受到的浮力就是 0.05 立方米水的重量约 50 千克。如果他将整个身体都沉入水中,则他就会受到 60 千克的浮力。

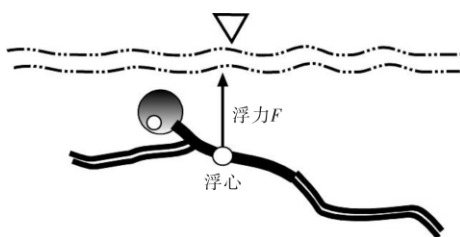


图 3-44 浮力示意图

### 3. 比重

比重是指物体与水之间的重量比。其计算公式如下:

$$\text{物体的比重} = \frac{\text{物体的重量}}{\text{同体积水的重量}}$$

意义:比重大于 1 的物体放在水中时会下沉;反之比重小于 1 的物体放在水中时则浮起。一般来说,人体的综合比重约大于 1,因此人体不划动肢体时会下沉。人体比重的大小受脂肪多少、体内空腔大小等因素的影响,肥胖的人、或人吸气使空腔增大时,比重会减小,此时容易上浮。

### 4. 浮心

浮心是指浮力的作用点。

一般而言,浮心偏向体积较大的部位(如人体的胸腔),而重心偏向质量较大的部分(如人体的下肢),因此在人体身上浮心与重心往往不是同一个点。参阅图 3-45 所示。

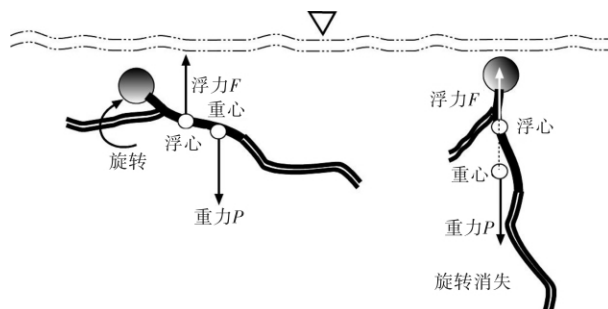


图 3-45 重心与浮心位置关系示意图

举例一:人体在水中因重心与浮心位置关系引起的运动。

图 3-45 左图:当人体平卧在水中不做划水动作时,由于浮心和重心不在同一条垂线

上,因此浮力和重力形成一个转动力矩,使人体发生旋转。

图 3-45 右图:当人体转动到浮心和重心位于同一条垂线时,力矩消失,转动便停止。

举例二:人溺水身亡后,因比重、重心和浮心的关系,会发生以下一些现象。参阅图 3-46 所示。

首先,由于人体的比重略大于水,刚开始时会沉入水底,待被水泡胀后,体积增大使比重减小,就会浮出水面。

其次,浮动的姿势有性别差异。男性四肢较发达,在波浪的作用下,会呈现俯卧状态;女性臀部较发达,会呈现仰坐姿势。两种姿势都保持重心和浮心在同一条垂线上。

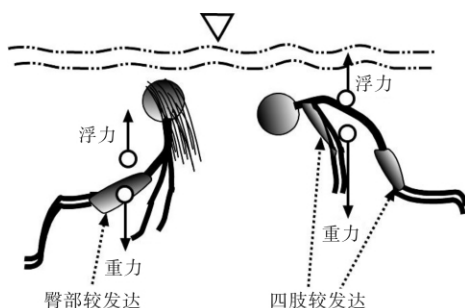


图 3-46 溺水后不同姿态示意图

## (二)伯努利定律

物体在流体中时,会受到流体对物体产生的压强。流体压强的大小除了受流体的密度、深度等因素的影响外,还受流体流动速度的影响。伯努利定律主要描述的是后一种因素的影响规律,即流速和压强的关系。

参阅图 3-47 所示。流体流过同一流管时,总流量守恒。因此,在管径大的地方流速小,管径小的地方流速大。在管径大小不同的两个地方插入透明管子观察发现,管径大的地方会将流体挤压得高一些,而在管径小的地方会将流体挤压得低一些,由此可见管径大的地方压强要大一些,管径小的地方压强要小一些。

伯努利定律:流动速度大的地方压强小,流动速度小的地方压强大。

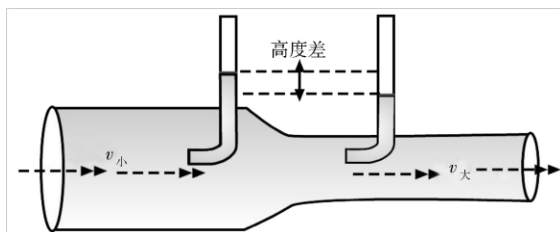


图 3-47 伯努利定律示意图

实验:将两张同样大小的纸垂直放置,然后在两张纸之间吹风。由于两纸之间气流速度较大,压强小;而两纸外侧气流速度较小,压强相对较大。此时会发生两纸向中间靠拢的现象,而不是被吹开的现象。

### (三) 马格努斯效应

马格努斯效应是伯努利定律在球体(或圆柱体)运动中的一种现象。参阅图 3-48 所示。球向前飞行时,从侧面观察当然是做斜抛运动。但是本例是从上面观察,即俯视图。如果球飞行时不旋转,则其俯视图看到的飞行轨迹应该是一条直线;但是如果球是旋转着飞行时,其飞行轨迹就变为一条弧线。

马格努斯效应:旋转飞行的球体,会不断改变其运动方向,使其轨迹呈现弧线形。这种现象称为马格努斯效应。

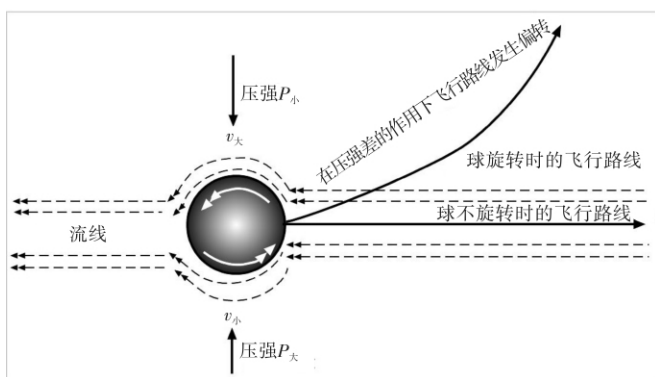


图 3-48 马格努斯效应示意图(俯视图)

原因:球旋转飞行时,球两侧的气流速度会不一样。旋转方向与气流方向相反一侧的气流速度较小;而旋转方向与气流方向相同一侧的气流速度较大。根据伯努利定律,气流速度较小一侧其压强较大,而气流速度较大一侧其压强较小。再因为球体两侧面积相等,压强大的一侧其压力大于压强小的一侧。因此,球体在飞行过程中在两侧压力差的作用下,便逐渐被推向压力小的一侧,形成弧线运动轨迹。

举例:足球中的“香蕉球”、乒乓球中的旋转球等,都会因球的旋转飞行而引起运动路线的改变。

## 第六节 骨、肌肉力学特征及其应用

本节介绍骨、肌肉力学的某些特征,这些特征对于分析运动技术,以及在体育运动中预防运动创伤有一定的帮助作用。

### 一、骨受力特征

#### (一) 受力形式(载荷形式)

骨在人体运动中起支撑作用,肌肉产生的拉力、外界作用在人体上的各种力,最终都会作用在骨骼上,对骨造成各种形式的力量载荷。这些力量载荷可以归纳为如下五种基本形式。参阅图 3-49 所示。

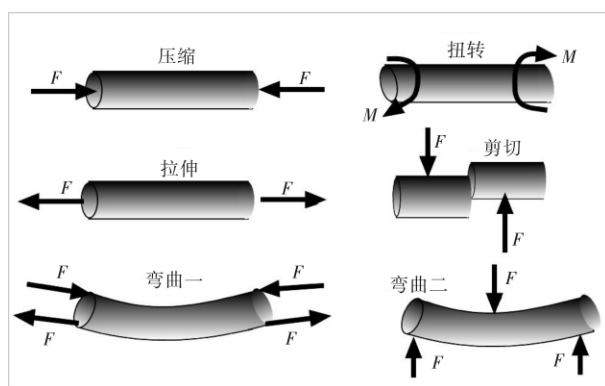


图 3-49 骨受力示意图

### 1. 压缩

骨骼受到两个相向且共线力的作用。压缩载荷常见于人体直立姿势时,重力沿支撑部位垂直向下,与地面的支撑反作用力形成相向作用。例如举重动作时腿部受到向下的重力和地面向上的支撑反作用力,形成对腿部骨骼的压缩载荷。

### 2. 拉伸

骨骼受到两个反向且共线力的作用。拉伸载荷常见于人体悬垂姿势时,人体的重力垂直向下,与悬挂点对人体产生向上的约束力形成反向作用。

### 3. 弯曲

骨骼的一侧受到两个相向力的作用,而另一侧受到两个反向力的作用。因此骨骼的弯曲可以看成是一侧受到压缩,另一侧受到拉伸的情况(如图中的“弯曲一”所示)。也可以是在骨的两端受到两个同向力的作用,而在骨的中端受到一个与两端所受力方向相反的力的作用(如图中的“弯曲二”所示)。例如手持重物做抬起前臂动作时,前臂在腕关节端受到重物向下重力的作用,在肘关节端受到肘关节向下的约束反力,而在前臂的中部受到肌肉向上的拉力作用,三力的同时作用对前臂形成弯曲载荷。

### 4. 扭转

骨骼的两端受到两个反向力矩的作用。常见于人体做旋转动作时。例如篮球运动中“屈膝后双膝内扣”动作,由于膝关节向内旋转会在小腿和大腿的膝关节端产生一个力矩;此时地面的摩擦力矩是作用在小腿的踝关节端的另一个反向力矩,二者共同作用会对小腿产生扭转载荷;同时大腿在髌关节端也会受到一个反向约束力矩,与其在膝关节处的力矩共同作用,使大腿也受到扭转载荷。再例如投掷动作时上臂的受力形式也是类似情况。

### 5. 剪切

骨骼受到垂直于骨长轴的两个反向且不共线力的作用。常见于肢体在固定的情况下,受到来自两侧反向力的作用。

## (二) 人体承受外力极限能力的比较

人体骨骼受力的五种基本形式如上所述。但是人体骨骼对这五种力量载荷的承受能力是各不相同的。通过对离体骨骼的破坏性实验发现以下两种情况:

### 1. 同一部位骨骼承受极限载荷能力比较

压缩>拉伸>弯曲、扭转、剪切

也就是说,人体骨骼承受压缩载荷的能力最强,其次是拉伸载荷,最不能承受的是弯曲、扭转、剪切三种载荷。由于人体骨骼承受载荷能力的特点,使得骨折经常容易发生在受到较大弯曲力、扭转力、剪切力的情况,这类受力形式最严重的情况常常是将整块骨骼破坏;其次是拉伸力,但拉伸力往往只是造成骨骼的局部破坏,如造成撕脱性骨折等,很少有将整块骨骼拉断的情况。骨骼承受压缩的能力最强,所以因压缩造成骨折的情况较少见。

### 2. 上、下肢承受极限载荷能力比较

承受压缩能力:上肢<下肢。

承受拉伸能力:上肢>下肢。

上、下肢承受载荷能力的状况,揭示了人体骨骼承受负荷的能力与人体骨骼主要担负的任务之间所具有的联系,这是长期进化的结果。

### (三)肌肉活动对骨受力形式的影响

人体运动过程中,由于肌肉活动的积极参与,会对骨骼受力的形式产生影响。这种影响主要表现为将人体骨骼承受能力较弱的受力形式改变为承受能力较强的受力形式。这种现象具有积极的自我保护意义。

重力对股骨颈的压力产生弯曲载荷

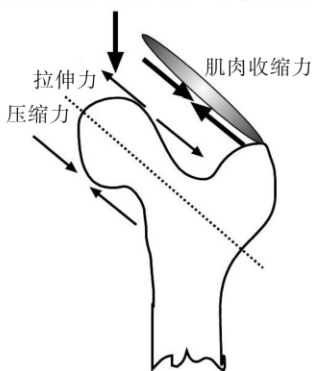


图 3—50 “股骨颈”受力形式改变示意图

以“股骨颈”处受力状况为例,介绍其受力形式因肌肉力而改变的情况,参阅图 3—50 所示。当重力传递到股骨头处,由于股骨头的斜向结构,使得它受到的是弯曲载荷。但由于附着在大转子处肌肉的收缩力,在股骨颈上侧增加了压缩力,抵抗了其上侧因重力造成的拉伸力,使得整个股骨颈处的载荷由原来的弯曲载荷改变为压缩载荷。而压缩载荷是人体承受能力最强的载荷,从而使“股骨颈”处的承载能力大大增强,从而有效避免该部位骨折的发生。

从经验中我们也可以体会到,当人体发生危险时,最本能的反应是在发生危险的部位将肌肉收紧。这种收紧肌肉的作用,对于骨骼来说就是通过肌肉的收缩力,对相关部位的骨骼尽可能的造成较大的压缩力,以抵抗可能出现的其他形式的外力。通常见到一些老

年人、反应较迟钝的人,在摔倒时由于没有及时收缩肌肉,而导致骨折发生的情况。

(四)机械应力对骨结构的影响

骨骼是一个活的器官,而外界的作用力是影响骨骼生长的一个重要原因。当骨受到机械应力增大时,会引起成骨细胞活跃,使骨的建造加强;反之破骨细胞活跃,使骨组织量下降。骨组织在机械应力的作用下保持一种动态平衡状态。

曾有人做过相关实验:将若干受试对象随机分成两组。两组在饮食上基本保持一致。而其中一组要求其每天卧床休息,另一组则不限制其活动。结果在尿液检测中发现,卧床休息组尿液中的钙质浓度远远大于正常活动组。这种现象只能解释为:由于卧床休息减少了对骨骼的纵向压力,使骨骼受到的机械应力减少,结果引起骨骼中大量的钙质被溶解入血液并排放到尿液中,结果造成尿液中钙质浓度的增高。同样的现象还发生在因病长期卧床的病人身上。

由此可见,积极的体育运动是促进骨骼健康的重要因素。

二、肌肉力学特征

(一)肌肉力学模型

1. 肌纤维结构

一根肌纤维是由肌原纤维、肌纤维外膜、两端连接部分组成。如图 3—51 所示。

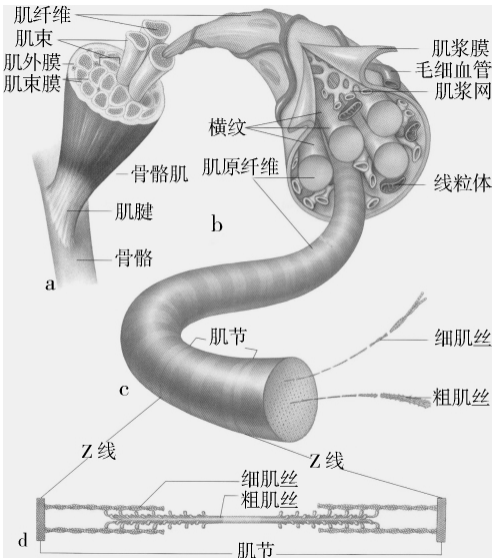


图 3—51 人体骨骼肌示意图

2. 肌纤维力学模型

力学模型是以肌纤维的组织结构为基础,抽象出来的一种力学单元。

这里有两点要注意:其一,力学模型是有肌纤维的形态结构作为基础的,不是凭空想象的;其二,力学模型可以使对肌肉力的研究更加直观。如图 3—52 所示,右图中展示的肌肉力学模型,三个构成部分都是与肌肉物质结构相对应的(左图所示)。

并联弹性元:相当于肌外膜处的结缔组织,这部分能产生弹性力直接参与构成肌肉力量。

串联弹性元:相当于肌纤维两端的联结部分及肌原纤维中的Z线部分,这部分也能产生弹性力,起到传递肌肉收缩力的作用。

收缩元:相当于肌纤维中肌原纤维的收缩成分(粗、细肌丝部分),产生肌肉的主动收缩力。

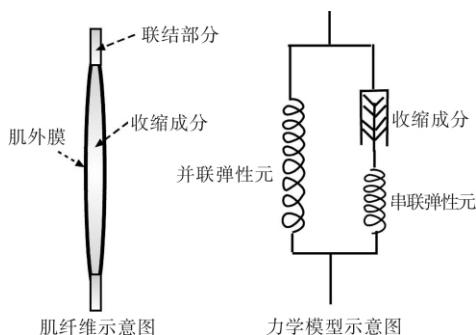


图 3—52 肌纤维与力学模型示意图

### 3. 肌力构成

根据肌纤维力学模型可以看到:每条肌纤维两端表现出的力,是由这三个部分相互作用而产生的。即肌肉纤维主动收缩力、肌外膜及连接部分的弹性力。

### 4. 实例

在肌力训练中,习惯上总是将注意力集中在肌肉的收缩成分上,而忽视了弹性元部分对肌力的影响。通过对肌力构成的分析,可知肌肉弹性成分所产生的弹性力对肌肉的总体力量有较大的影响。事实上也是如此,例如:

动物:山羊的腿部有较多的筋膜,而猪的腿部筋膜较少。前者肌肉体积虽然并不显得很粗大,但却有较强的腿力。

运动员:在弹跳力较强的运动员腿部,常有这样的形态特征,就是小腿部具有较长的跟腱和较发达的筋膜组织。

目前也有许多人将肌肉力量训练的注意力放在了发展肌肉弹性成分方面,如采用振动训练法、快速拉伸肌肉训练法等,目的都是想通过这样的训练方式加大对肌肉弹性成分的刺激作用。

## (二) 肌肉松弛

### 1. 概念

拉长的肌肉,其产生的张力会随着时间的延长而逐步下降,这种现象称之为肌肉松弛[配合本章“实验九:纵跳实验(肌肉松弛现象或惯性力现象)”]。

### 2. 原因

肌肉中串联和并联弹性元属于生物黏弹性体。这种弹性体的特点表现为:当它被拉长以后,其产生的弹性收缩力会随着时间的延长而逐步消失,其消失的速度远远大于普通的弹性体(如钢丝弹簧、橡皮条等)。由于肌肉力量中弹性收缩力占有很大的比例,如果



图 3—53 肌肉松弛示意图

这部分力量的减少,当然就会使整块肌肉的收缩力降低。

### 3. 举例

半蹲跳动作中采用以下两种动作方式起跳:

其一,下蹲后不停顿的马上起跳。

其二,下蹲后停顿几秒钟后再起跳。

尽管以上两种动作的幅度和主观用力相同,但前者的腾空高度要大于后者。就是因为后者腿部伸肌群在下蹲时被拉长时间过久,发生了肌肉松弛现象,使总的蹬伸力减小所至。参阅图 3—53 所示,在游泳出发动作中,大腿前侧肌群被拉长,如果动作时间过长则必然会造成跳跃力量的下降,影响跳出的效果。

## 第七节 运动技术原理

运动技术动作不论其复杂或是简单,无非都是各肢体部位的基本动作组合而成。本节先介绍人体肢体运动的基本形式,然后再介绍人体肢体运动所涉及的力学原理。

### 一、人体肢体基本运动形式

人体肢体的动作主要可按上肢、下肢、全身三个部分的动作划分其运动形式。

#### (一) 上肢动作

##### 1. 推

上肢克服阻力由屈曲变为伸展的动作过程。例如:举重的上挺动作、推铅球动作、胸前传球动作等,都是由上肢进行“推”的动作。

##### 2. 拉

上肢克服阻力由伸展变为屈曲的动作过程。例如:引体向上动作、划船的拉桨动作等,都是由上肢进行“拉”的动作。

##### 3. 鞭打

上肢各环节从近侧端到远侧端依次加速和制动,使末端环节产生较大速度的动作过

程。例如:投掷标枪的投掷臂动作、排球扣球的手臂动作等,都是上肢进行的“鞭打”动作。

## (二)下肢动作

### 1. 蹬伸

下肢由屈曲变为伸展的动作过程。例如:各种跳跃蹬地动作、蛙泳蹬腿动作等,都是由下肢进行的“蹬伸”动作。

### 2. 缓冲

下肢由伸展变为屈曲的动作过程。例如:各种落地动作、起跳前的准备动作等,都是由下肢进行的“缓冲”动作。

### 3. 鞭打

下肢各环节从近侧端到远侧端依次加速和制动,使末端环节产生较大速度的动作过程。例如:体操中摆动时的振浪动作、自由泳的两腿打水动作等,都是由下肢进行的“鞭打”动作。

## (三)全身动作

### 1. 躯干扭转

人体以躯干为中心,上、下肢体同时绕躯干纵轴进行反向角运动的动作形式。例如:走和跑的动作、自由泳动作、武术的出拳动作等,都是由人体全身进行的“扭转”动作。

### 2. 相向运动

人体以躯干为中心,上、下肢体两端同时绕躯干横轴进行反向角运动的动作形式。例如:排球中跳起扣球的全身动作、跳水运动中空中折体动作、仰卧“元宝”收腹动作等,都是人体全身进行的“相向运动”动作。

### 3. 摆动

身体某些环节为配合主要动作而进行的一些协调动作。例如:走和跑动作中的摆臂动作、起跳时的摆腿动作、投掷时非投掷臂的摆动动作等,都是部分肢体进行的“摆动”动作。

## 二、运动技术原理

### (一)杠杆原理

#### 1. 杠杆分类

人体关节的基本动作其实就是杠杆运动形式。杠杆运动涉及三个基本要素,即支点、力点、阻力点。由三个点的位置关系不同,可以将杠杆划分为三种不同的形式。参阅图 3-54 所示。

(1)平衡杠杆 支点位于力点和阻力点之间。特点是能使支点两侧的力矩与阻力矩相互抵消(或部分抵消),能较好的维持平衡。

(2)省力杠杆 阻力点位于支点和力点之间。特点是能使力点有较大的力臂,可以使用较小的力量克服较大的阻力。但它是增大力点的运动距离为代价的。

(3)速度杠杆 力点位于支点和阻力点之间。特点是能使阻力点有较大的力臂,可以

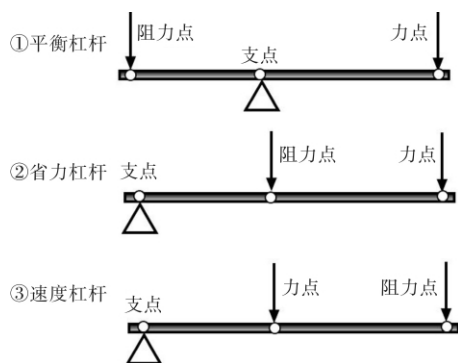


图 3—54 三种基本杠杆示意图

使阻力点产生较大的运动速度。但它是以耗费较大肌力为代价的。

2. 人体关节杠杆类型举例

(1)平衡杠杆举例 人体大脑底部的寰枕关节。大脑面颅部的重力  $F_1$ 、大脑后颈肌肉产生的拉力  $F_2$ ，以寰枕关节为杠杆支点，力矩相互抵消以维持平衡。如图 3—55 所示。

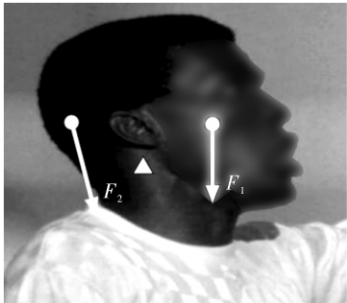


图 3—55 人体关节平衡杠杆示意图

(2)省力杠杆举例 脚部的提踵动作。小腿后侧肌群产生的收缩力在足后跟处形成力点，而人体产生的重力在踝关节中心处形成阻力点，支点在前脚掌处。参阅图 3—56 所示。

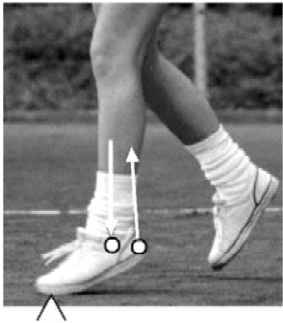


图 3—56 人体省力杠杆示意图

(3)速度杠杆举例 肘关节的屈前臂运动。上臂和前臂的屈肌群作用力在前臂的中部靠近肘关节处形成力点，重力作用在手掌处形成阻力点，支点在肘关节处。参阅图 3—57 所示。速度杠杆的形式在人体四肢分布最多，这与人体四肢动作需要产生较大的动作

速度有关。

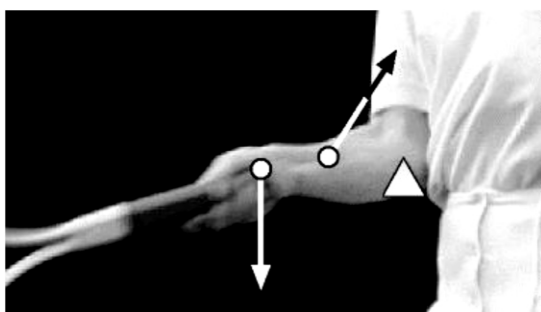


图 3—57 人体速度杠杆示意图

## (二)复杠杆原理

复杠杆是由两个以上环节(受力杆)组成的杠杆系统,其支点固定在两杆中的一端。复杠杆的特点是当两杆之间夹角很大时,在肌肉拉力  $P$  的作用下,其复杠杆末端能产生较大的伸展力(上举力) $F$ ,参阅图 3—58 所示。

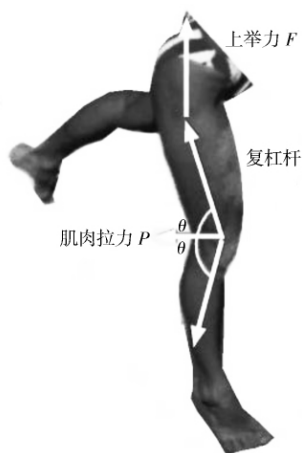


图 3—58 人体复杠杆示意图

上举力  $F$  的计算公式如下:

$$F = \frac{P}{2} \operatorname{tg} 2\theta$$

从公式可以,在人体有限肌肉拉力  $P$  的情况下,当角度  $\theta$  增大时,其正切值也迅速增大,从而使得复杠杆末端的上举力  $F$  的值迅速增大。

人体中的膝关节、肘关节属于复杠杆。人体在做下肢“蹬伸”动作、上肢“推”动作时,膝关节和肘关节越是接近伸直状态时,越能产生较大的伸展力(上举力)。

复杠杆应用实例:

### 1. 对于完成技术动作

应该尽可能利用人体的复杠杆原理,在有限肌肉力的情况下,使动作产生较大的伸展力。如运动员在自身下肢基础力量不足的情况下,做跳跃类的动作时,膝关节角度应该控

制不能太小(即弯曲幅度不能太大),否则会因为上举力不够造成跳不起来的情况。

## 2. 对于完成力量练习动作

应该有意识的造成较小的复杠杆角度,使肌肉必须付出较大的力量才能完成动作,从而加大对肌肉的刺激。如杠铃深蹲时应保持躯干伸直,使膝角维持在较小的水平。

## (三)关节运动顺序性原理

人体运动动作常常是在多个关节参与的情况下进行,为了产生好的运动效果,就会存在谁先产生运动,谁后产生运动的问题,即关节运动的先后顺序。

关节运动顺序性:人体在完成运动技术动作过程中,为了能使动作产生较好的效果,关节的运动过程总是表现为近侧端的大关节先产生运动,远侧端的小关节后产生运动。整个运动过程总是由大关节开始,整个关节链由大到小有顺序的逐级产生运动。

关节运动顺序性原理:人体在克服阻力过程中,由于大关节上配备的是大肌肉群,能产生较大的肌肉收缩力;而小关节上配备的是小肌肉群,产生的肌肉收缩力较小。在完成动作时,尽管各个关节都同时进入发力状态,但是由于大肌肉群产生的力量大,克服物体惯性状态(惯性力)的能力也大,因此大关节能先于其他关节产生运动。小关节只能在大关节作用的基础上,即当物体的惯性力逐渐变小的时候,才能开始产生运动。

意义:了解这个原理后,人可以有意识的控制自己动作的顺序,反复强化“动作意识”,使正确的技术动作在长期的训练中形成稳固的条件反射和动力定型。使在技术训练中收到较好的训练效果,不至于在比赛时因外界的干扰而导致动作变形和发挥失常。

## (四)鞭打动作原理

鞭子的结构及运动特征有三:其一是近侧端大,远侧端小;其二是运动时近侧端相对固定,远侧端处于游离状态;其三是在抽动时需要从近侧端发动,使运动逐级由近向远传递。当这三个特征同时具备时,抽打鞭子的动作可以使鞭子的远端产生极大的运动速度(注:鞭子远端速度达到很大时,会引起空气的快速振动,产生能够听到的声音。声音越尖锐,说明鞭子远端的速度越快)。

鞭打动作:人体四肢在运动过程中做类似于鞭子抽动的动作称为鞭打动作。该动作可以使角动量从肢体的近端环节逐级向远端环节传递,使远端环节产生较大的运动速度。

鞭打动作原理:人体四肢的近侧端质量较大,远侧端质量较小。由于鞭打动作的整个运动链是一端相对固定,另一端游离,动作是从近侧端向远侧端逐级传递,而且总是在上一环节制动后下一环节才产生运动。这就使得整个运动链存在一种近似于动量矩守恒的状态:近侧端环节制动后,近侧端的动量矩将向游离方向的远侧端传递,而远侧端环节的质量(转动惯量)要比近侧端小,要维持总动量矩大小基本不变,因此就必然表现为其角速度的增大。参阅图 3-59 所示。

意义:在实际应用中必须掌握好以下二点。

其一,做鞭打动作的肢体必须保持放松,这样可保证使其一端呈游离状态;

其二,从近侧端向远侧端逐级发力使各环节产生运动,并逐级使近侧端的环节制动。

认识到鞭打动作的形成原因,在实际工作中有意识的应用它,可以收到较好的教学训

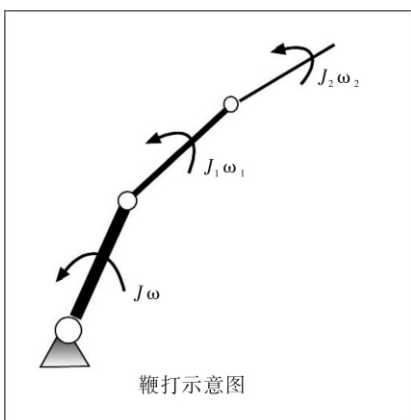


图 3—59 鞭打动作原理示意图

练效果。

### ◆实验与技能

## 实验八 一维重心测量

### 1. 实验目的

了解人体在不同姿势状态下,重心的变化情况。了解相对重心高度的意义。

### 2. 实验器材

人体一维重心测量板。仪器的架设和测量方式,参阅图 3—60 所示。

### 3. 实验步骤和方法

(1)受试动作设计 正常直立姿势、两臂上举直立姿势、两臂上举加提腿直立姿势(注:这些动作表现了人体肢体逐步向人体头部方向偏移);或由学生自行设计其他动作。

(2)测试过程 由学生若干人充当受试对象,每个受试者按设计动作规格各做一次受试动作。做动作时脚部一端应与测量板的隔条相接触。其他学生记录数据(板长  $L$ ,受试者体重  $W$ ,受试者身高  $h$ ,空板时秤读数  $R_1$ 、不同姿势测试时秤读数  $R$ )。

#### (3)计算重心位置和相对重心高度

A. 人体重心高度计算公式:  $d = \frac{L}{W}(R - R_1)$

其中:  $d$  为人体重心高度,  $L$  为板长,  $W$  为人的体重,  $R_1$  为空板时秤的读数,  $R$  为人躺在板上时秤读数。

B. 人体相对重心高度计算公式:  $H = \frac{d}{h}$

其中:  $H$  为人体重心相对高度,  $d$  为人体重心实际高度,  $h$  为人体身高。

注:人体重心相对高度  $H$  可用于在不同身高的人之间进行比较。

(4)分析讨论:通过测量和计算所得人体重心位置的数据,结合其对应的受测动作,分析重心位置数据的变化与动作间的关系。并通过相对重心高度数据,比较不同受试者的

重心位置情况。

(5)提炼结论:对实验所得结果进行简要叙述。

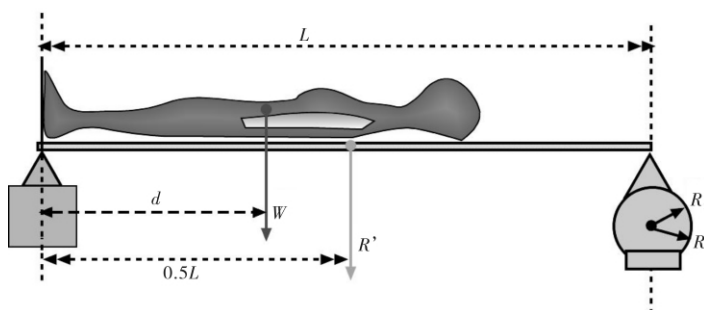


图 3-60 人体一维重心位置测量示意图

图中字母意义说明:  $L$  为板长;  $W$  为人体重;  $R'$  为板重;  $d$  为人体重心的位置, 是实验需要确定的量;  $R_1$  为空板时秤的读数;  $R$  为实验时秤的读数。

## 实验九 纵跳实验(肌肉松弛现象或惯性力现象)

### 1. 实验目的

了解肌肉松弛现象对运动效果的影响。或了解惯性力对纵跳效果的影响。

### 2. 实验器材

人体运动素质测量仪。

### 3. 实验步骤和方法

(1)受试动作设计 无停顿半蹲跳、半蹲状态停顿 30 秒后跳(这两个动作主要表现有无肌肉松弛);

无摆臂半蹲跳、加摆臂半蹲跳(这两个动作主要表现是否增加了惯性力);

或由学生自行设计其他动作。

(2)测试过程 由学生若干人充当受试对象, 每个受试者分别做受试动作各一次。做动作过程中应按动作规格全力进行, 在空中不得有屈体现象。其他学生记录数据(各个动作时人体的滞空时间  $t$ 。如果仪器能直接给出重心上升高度则记录高度数据, 此时省略第③步计算工作)。

#### (3)计算重心上升高度

$$\text{计算公式: } H = \frac{g \cdot t^2}{8}$$

其中:  $H$  为半蹲跳重心上升高度;  $t$  为滞空时间;  $g$  为重力加速度(取  $g = 9.8$ )。

(4)分析讨论 通过重心上升高度数据  $H$ , 结合其所对应的动作, 分析讨论肌肉松弛对运动效果的影响。

当两臂加速上摆时, 设  $m$  为两臂质量,  $a$  为两臂摆动加速度, 此时会产生惯性力  $F$ , 其大小为  $F = ma$ , 方向与摆臂方向相反, 这个惯性力加大了地面支撑反作用力。分析惯性力对运动效果的影响。

(4)提炼结论 对实验所得结果进行简要叙述。

### ◆复习思考

1. 线运动和角运动各有什么特点?试举人体进行线运动和角运动的动作实例各一个,并进行简单分析。
2. 匀变速直线运动公式涉及哪几个运动学量?并谈谈在分析斜抛运动时是如何利用匀变速直线运动公式的。
3. 在斜抛运动中,针对抛点和落点在同一水平线、抛点高于落点两种情况各举一体育运动实例,并分析该两种情况在最大远度计算时的区别。
4. 什么是动量、冲量?谈谈你是怎样理解动量定理的。
5. 选择一个合适的体育运动技术动作,利用动量定理进行分析(500字以上)。
6. 谈谈你对力矩、冲量矩、动量矩的理解。它们与力、冲量、动量有何区别。
7. 谈谈你对转动惯量的理解,它由哪些因素决定?规则体和非规则体的转动惯量在计算时有什么区别?
8. 结合你所从事或熟悉的运动项目,选择其中一个技术动作,运用动量矩定理或动量矩守恒定理进行分析(500字以上)。
9. 人体重心的变化规律是什么?
10. 人体的稳定性受哪些因素影响?举一体育实例并分析它的稳定情况。
11. 什么是压强?如何计算浮力?伯努利定律说明了一个什么问题?
12. 举体育运动中与马格努斯效应有关的一个实例,分析一下它的成因。
13. 举体育动作一个实例,分析其骨骼的主要受力形式。
14. 肌肉力在人体运动中能改变骨骼受力形式,这种改变对人体预防骨骼损伤有何作用?
15. 请举体育动作中的实例说明肌肉松弛的现象。
16. 了解人体运动形式的基本分类,你认为对运动技术的教学训练有何帮助?
17. 杠杆分类中的三种杠杆类型,它们的主要区别在何处?请举人体的一个关节为例,分析它的支点、力点、阻力点,并指明它是属于什么类型的杠杆。
18. 以人体膝关节或肘关节为例,分析复杠杆在不同关节角度时上举力的变化情况。
19. 举例谈谈你对关节顺序性原理的理解。它对于体育运动训练有何意义?
20. 请你做一个鞭打动作,细心体会一下做鞭打动作的特点,再结合鞭打动作原理总结出在运动训练中鞭打类动作的教学要点。
21. 在缓冲动作、蹬伸动作、摆动动作、扭转动作、相向运动动作中,结合你所从事或熟悉的运动项目,选择其中一个动作分析一下它的生物力学原理。

## 第四章 运动技术分析

### ◆本章基本知识要点

1. 运动技术分析的七项基本要素:动作姿位(姿势)、动作幅度、动作变化率、发力方式、力的作用效果、动作协调性、肌电图。它们对运动技术分析的作用、数据形式及采集方式。各技术要素的组合与匹配原则。运动技术分析一般步骤及方法。
2. 影响跑步速度的要素,跑的运动学分析和动力学分析。
3. 跳的一般原理,跳远的技术分析,跳高的技术分析。
4. 影响投掷距离的要素,标枪的技术分析,标枪飞行时空气动力的影响。
5. 举重技术“近、快、低”三个基本原则的力学意义,抓举、挺举的运动学分析和动力学分析。
6. 体操技术中无支撑时的相向运动与制动,力的传递,摆动反作用力,“鞭打”动作原理,起跳与推手,破坏平衡后的紧急处理,滚翻动作的基本规律,后手翻毽子的基本规律,空翻转体类动作的基本规律。
7. 游泳出发技术分析,游泳划水动力分析,四种泳姿划水的动作分析,两腿打水动作分析。

### ◆本章内容教学导航

在本章第一节中对运动技术分析的方法和一般步骤进行系统介绍。然后在此基础上选择了开展比较广泛的一些运动项目,包括跑、跳、投、举重、体操、游泳等作为运动技术分析实例安排在以后的各节中。它们的基本内容都是运用第一节中介绍的知识对这些项目中的部分典型动作进行运动技术分析尝试。目的是启发大家对第一节所介绍知识的实际应用能力。由于体育运动项目繁多,不可能在这本书中逐一涉及,因此需要读者将本章中介绍的基本知识创造性的运用到自己所从事的体育专项的运动技术分析中。这样才算达到了本章的教学目的。

### ◆基本内容

## 第一节 运动技术分析的方法和一般步骤

在学习了“运动技术数据”和“运动生物力学基本原理”的基础上,本章进一步学习运动生物力学对运动技术分析的方法,学习如何利用运动技术数据和基本理论知识解决运动实践中的问题。

## 一、运动技术分析的概念及作用

### (一)运动技术分析(或运动技术诊断)

运动技术(或动作技术)是人们完成体育运动时肢体动作的方法。运动技术是一个结构复杂的整体,它一般是由若干相互联系和相互影响的动作组成的。

运动技术分析(或称运动技术诊断)就是运用生物力学理论和方法对运动技术的结构组成、运动技术特征、运动效果及其影响因素进行研究,提出实现运动技术的正确方法,为运动训练、体育教学、指导大众体育健身提供科学依据。

### (二)运动技术分析的作用举例

体操的“特卡切夫腾越”技术,是在单杠大回环中做“前摆向后分腿腾越再握杠成悬垂摆”这一组动作的总称,是由苏联运动员特卡切夫在20世纪70年代首创的惊险性动作。当时,为了更好地掌握这一创新动作,研究人员采用影像测量的方法对这一动作进行了测量和分析研究,从中获得了动作全过程中重心的运动轨迹和有关动作阶段的速度、关节角度等特征数据。经分析研究,明确了“脱手腾空再握杠”是这一运动技术的关键环节。

为保证实现脱手腾空再握杠的可能性,要求“脱手后的腾空阶段,人体重心轨迹必须通过再握区”。具体需要掌握脱手时机和脱手瞬间运动员重心的速度,其水平速度和垂直速度大约分别为“2.4(米/秒)和2.8(米/秒)”,使脱手后能在“0.3秒到0.5秒”的时间范围内都有实现再握的可能性。

如果脱手过早、向前水平速度过大,会使运动员重心轨迹偏向前方,导致运动员向前飞出或下落时撞在杠上;如果脱手过迟、向后水平速度过大,会使运动员重心轨迹偏向后方,导致运动员向后飞出或下落时脱杠(无法再抓住杠)。

由此可见:运动技术分析的目的在于揭示运动技术的基本规律,提出完成运动技术的合理方法,为运动技术教学训练指明方向。

注:特卡切夫腾越动作目前已经有了更大的发展。不但在男子单杠项目中以它为基础创新了更多的高难动作,而且在女子高低杠项目中也广泛采用。

## 二、运动技术要素及其意义

### (一)运动技术的多样性和规律性

#### 1. 运动技术的多样性,使运动技术分析难度加大

运动技术动作丰富多样,仅奥运竞技项目就有数十大类上百个项目,每个项目又由若干个运动技术组成。而且,各体育项目的目的任务不同,使得其运动技术的生物力学原理也不尽相同,甚至具有截然不同的生物力学特征。这给运动技术分析(诊断)的工作带来一定的难度。

#### 2. 运动技术的规律性,使运动技术分析有矩可循

无论运动技术简单或复杂,都有一些代表运动技术特征的基本要素存在,人体运动的各种运动技术通常是由这些要素的合理组合或匹配体现出来的。因此,对运动技术的分析就可转化为对该项运动技术的基本要素、各要素间组合方式的分析,使运动技术分析工

作有据可循,从而达到对运动技术作全面、定量的分析。

### 3. 运动技术要素

运动技术要素定义:运动技术要素是指能够描述运动技术状况的基本数据元素。

运动技术要素筛选:运动技术动作是通过人体的肢体与外界相互作用而产生;器械的各种运动也是通过运动员肢体的运动对器械产生作用而引起的。因此,所有运动技术(包括器械)其实都是机械运动,必然遵循机械运动规律。同时,由于运动技术的完成又不完全等同于机械运动,还需要神经肌肉的参与,必须考虑其生物特性。综合这两方面特征,可以使用与机械运动和神经肌肉运动相关的一些数据作为分析评价运动技术状况的基本要素。

运动技术要素分类:在运动技术分析中通常采用运动学数据、动力学数据、神经肌肉学数据来描述运动技术状况。因此,运动技术要素可以归纳为以下三大类七种。

第一,运动学类:①动作姿位(姿势)要素;②动作幅度要素;③动作变化率要素;

第二,动力学类:④发力方式要素;⑤力的作用效果要素;

第三,神经肌肉学类:⑥动作协调性要素;⑦肌电信号要素。

目前,在运动技术分析的实践中,较多采用的是前两个方面的数据,本书也只侧重讨论这两类数据。

## (二)运动技术要素的数据形式及其作用

以下对上述运动技术要素涉及的数据形式分别进行介绍。

### 1. 动作姿位(姿势)

#### ●数据形式与采集方法

身体姿位是指运动中人体整体运动的姿态、环节运动姿态。由于人体肢体是一种以关节为枢纽的连杆结构,关节位置和关节角度的状况就决定了人体动作姿势的状况。因此,人体关节点位置数据、环节重心位置数据、人体总重心位置数据、关节角度数据等,基本上就能确定动作姿位的状况。这些数据主要通过影像测量的方法进行采集(如录像测量等)。其他还有关节角度的电测量法、红外光点摄影等测量法。

#### ●本要素对运动技术分析的作用

参加体育运动需要做动作,做动作是讲究姿势的,这不仅是美观的需要,更是决定能否实现动作目的的需要。因此动作姿位是评价体育运动技术优劣最基本的要素。以下举三个方面的实例说明其对运动技术状况的影响。

其一,人体姿位是影响运动技术是否规范、合理与有效的重要因素之一。

举例:跳高的过杆技术动作。从跨越式、剪式、滚式、俯卧式发展到背越式,过杆姿势的不同产生的运动效果不同。每一次技术的变化除了谋求更充分地利用人的弹跳能力外,另一个重要的因素就是通过身体在杆上的姿势谋求更有利的技术效果,以便越过更高的高度。其中,背越式跳高的过杆姿势动作效果最好,因为背越式过杆动作的特点可以使身体的各环节依次过杆,并在杆上形成后桥姿态,可以充分利用上下体的补偿作用,使过杆时人体重心更靠近横杆(甚至在横杆以下)。使得运动员在具有同样弹跳力的情况下,通过姿势的优势能够越过更高的高度。

其二,不同的身体姿态及不同的关节角度,对肌力的发挥有很大的差异。

举例:短跑在最大跑速时,脚掌着地瞬间,新手与高手的关节角度仅差 $4^{\circ}\sim 6^{\circ}$ ,这时肌肉的拉力臂在该瞬间却可相差1.3~1.4倍。

举例:原地纵跳动作。半蹲姿势起跳所达到的高度要比浅蹲或深蹲跳得更高,因为半蹲时,膝角为 $100^{\circ}\sim 110^{\circ}$ ,此时伸膝肌群产生的肌力矩最大。

其三,人体在水或空气中高速运动时,身体姿态不同会产生完全不同的流体动力学效果。

举例:速滑运动中,为了减小空气阻力的影响和充分发挥人体下肢蹬伸的作用,优秀运动员的滑行姿势一般是:上体呈基本水平位,膝角为 $90^{\circ}$ ,踝角保持在 $65^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 之间,这样可使滑行时始终保持着合理的流线型姿势。

举例:游泳的划水动作。手相对于水的姿态发生变化时,会使手与水之间的作用力以及手的升阻力系数受到很大的影响。划水时手相对于水保持合理的掠水角和迎角,可以产生较大的划水推进力。

## 2. 动作幅度

### ●数据形式与采集方法

动作幅度是指人体肢体某个特征点或某个环节在完成动作时移动的距离或角度。因此,可以用点位移数据、角位移数据来确定动作幅度的大小。数据采集的方式是在关节点位置数据、环节重心位置数据、人体总重心位置数据、关节角度数据的基础上进一步通过计算获得。即运动过程的每两个瞬时之间,其点的位置数据或关节角度数据之差,就是点位移数据或角位移数据。

### ●本要素对运动技术分析的作用

在完成运动技术过程中,动作幅度的大小是代表人体运动过程中空间特征的重要数据形式,也是分析评价运动技术优劣的基本技术要素。

举例:举重运动中的提铃动作。人体总重心、杠铃重心、人杠合重心在运动员垂直方向、前后方向、左右方向的运动幅度,常常用来分析评价提铃运动技术。提铃动作向上运动的幅度太小会造成接铃动作的困难,如果幅度太大时又会引起杠铃“下砸力”过大,也会造成接铃困难;提铃动作在向后运动幅度太小或太大,会造成杠铃不能准确提至合适位置,这是造成杠铃前掉或后掉的重要原因;提铃动作一般不应该在左右方向出现运动幅度,如果存在则是两侧肢体发力不均匀的错误动作。

举例:跳高起跳及各种跳跃动作时的肢体摆动动作。摆动部分的运动幅度、摆动方向对增大起跳力量、提高起跳效果和改善动作质量均有着重要影响。

## 3. 动作变化率

### ●数据形式与采集方法

动作变化率是指人体某个特征点或关节角度在动作过程中的变化快慢。因此,可以用点的速度数据、点的加速度数据、关节角速度数据、关节角加速度数据来描述动作变化率状况。数据的采集方式是在点位移数据、关节角位移数据的基础上进一步计算得到。其中速度或角速度数据用点位移数据或关节角位移数据除以两瞬时的间隔时间得到。加速度数据或角速度数据是将两瞬时的速度数据或角速度数据再除以二者之间的间隔时间

得到。其中用到的时间数据可以通过摄像机“拍摄频率-1”取倒数得到。

#### ●本要素对运动技术分析的作用

速度数据不仅是很多体育项目衡量运动成绩的依据,速度及加速度数据更是运动技术质量和运动效果的决定因素。

举例:投掷运动中器械出手动作的速度会直接影响投掷成绩。

举例:足球凌空射门动作的效果,与摆腿、转体的角速度有密切关系。

举例:排球空中击球动作的效果,与向前挥臂时肩、肘、腕、手依次加速的速度和节奏的控制有关。

有关速度在各运动项目中对运动技术效果的影响,是大家再熟悉不过的技术因素,其相关例子不胜枚举,此处不再赘述。

#### 4. 用力方式

##### ●数据形式与采集方法

用力方式是指完成运动技术过程中随着时间变化而表现出的用力大小状态。因此,可以采用动力曲线这种数据形式进行表现。习惯上采用横坐标表示动作时间,纵坐标表示力值大小,各个不同的时间与其对应的力值就构成坐标点,由各坐标点连接描画出动力曲线。动力曲线数据通常使用测力装置进行采集,如三维测力台、手工在体育器械上粘贴电阻应变片然后通过应变测力仪采集数据等。

此外,由动力曲线得到某个时间点处力值的大小,可以派生出许多其它数据形式:如根据其与支撑点的关系,可以派生出“力矩”数据;根据其与工作距离的关系,可以派生出“做功”数据等,这些数据对某些运动技术的分析具有重要用途。

#### ●本要素对运动技术分析的作用

动力曲线是分析运动技术发力方式的最常用数据指标。体育运动中人体和器械运动状态变化的原因是由人体通过内力与其他媒介相互作用引起的。完成运动技术时用力的方向、大小、力的变化速率、用力的稳定性等,是影响运动技术效果的基本要素。同时,发力方式的特点也是评价运动员技术特征的重要指标之一。

举例:短跑运动员蹬踏力。蹬地正压力的峰值可达体重的4倍,动力极值可达体重的5~8倍。蹬地正压力与运动技术密切相关,故通常用来作为短跑技术分析的一个指标。

举例:投掷标枪时,运动员凭借风向及风力大小决定最后用力的方向,以求获得合理的升阻力和飞行稳定性。

举例:射箭时肌肉用力的稳定性与最终的运动成绩直接相联系。因此是否能精细控制肌肉平稳用力对动作的质量有重要影响。

#### 5. 力的作用效果

##### ●数据形式与采集方法

力的作用效果是指完成运动技术过程中力引起肢体或器械产生的运动效果。由于力的作用效果是用其累积效应(即冲量)进行度量的,而且根据动量定理,冲量和动量存在对应关系。因此,常采用冲量数据指标来确定力的作用效果。冲量数据的采集可以在动力曲线数据的基础上通过进一步的计算得到,即动力曲线下所围的面积大小就是冲量的大小。

### ●本要素对运动技术分析的作用

在体育运动中许多运动技术的目的,就是需要通过肌肉用力将人体自身或器械抛得更高、更远。决定被抛射物远度或高度的重要影响因素是抛射初速度,但这只是表面因素。而决定抛射初速的实际因素却是被抛射物受到的力的冲量。在抛射物质量一定的情况下,受到的冲量越大,抛射物产生的速度改变量越大,抛射初速度也就越大。由此可见,力的冲量数据指标是运动技术分析中评价其效果的重要因素。

举例:田径跳高,以及篮、排球项目中的一些跳跃动作等,由于都是以起跳后的腾空高度来评价其动作效果,因此可以用垂直方向力的冲量大小作为起跳技术效果的评价指标。

举例:跳远动作,以及跨栏动作、跑的蹬伸动作等,由于是以人体腾空后合适的远度和高度来评价技术效果,因此可以用垂直方向力的冲量、前后方向力的冲量,以及二者之间的比值来评价运动技术效果。

举例:投掷铅球、标枪、铁饼等技术动作,是以器械的飞行远度来评定作用效果。在最后用力阶段,人体肌肉对器械的施力,会表现为地面的反作用力,因此可用其在垂直方向和前后方向的冲量大小,以及两种冲量的比值评价投掷动作的技术效果。

## 6. 动作协调性

### ●数据形式与采集方法

动作协调性是指在完成运动技术过程中人体各肢体在时间、空间、动作速度等方面的合理配合。评价动作协调性的数据比较灵活,一般需要结合完成动作过程中的时间因素,选择前面提到的身体姿态数据、位移数据、速度数据、动力数据等进行综合分析。也就是说,在某个动作瞬时,对本动作有重要影响的各肢体的位置是否准确到位、其位移大小和速度大小是否合适、发力过程是否平稳有效等。

### ●本要素对运动技术分析的作用

运动时尽管身体不同部位在一个整体动作中承担的任务不同,但合理的技术动作一定具有身体各部位相互协调配合的特点。因此各环节的相互配合状况是评价运动技术的重要因素。

分析研究表明,配合环节的活动,对运动技术的完成和效果起着重要作用。

举例:跳高运动中支撑腿做起跳动作时,两臂及摆动腿配合支撑腿的起跳做摆动动作。在这个动作组合中,起跳腿的动作是工作环节,而两臂和摆动腿的动作是配合环节。跳高摆动动作可使身体重心相对高度升高 18 厘米左右,占重心腾起高度的 25%~30%,摆动动作所增加的起跳力可达 48~117 千克。

在运动实践中,十分讲究身体各环节的配合形式及用力顺序。协调有序的运动技术是把身体各环节产生的力量与运动,集中传递到工作环节、器械或地面的基本保证。

举例:推铅球时,身体各环节的活动是按下肢、躯干、投掷臂的顺序依次加速的,全身各环节的协调配合保证在器械出手前的一瞬间,将前面各运动阶段所获得的能量全部转移到器械上,使之产生最好的运动效果,不至于因动作的不协调而造成能量耗散。

在一定的运动时期内,对某一个运动员来说,他所能产生的肌肉力及获得的外力的大小是相对固定的,但对于它们的利用率则可以有很大的不同。同样,也可以使阻力的作用效果发生一定的变化。合理的运动技术在于最大限度地增加动力利用率及减少阻力。

举例:跳跃技术。协调有力的摆动动作能够产生惯性力,可以增加地面的反作用力;连贯协调的起跳动作可以避免肌肉松弛,可促使起跳腿肌肉收缩力增加,从而增大起跳力。因此当下蹲到适宜位置时,不停顿地做蹬伸动作,所获得的起跳效果比停顿后再蹬伸要好。这是利用了肌肉的弹性力学特性,增大了肌肉收缩力的缘故。由此可见,运动实践中,增大动力利用率、减少阻力等,是与采用协调的运动技术、身体各环节的合理配合、利用肌肉力学性质等要素相联系。

### 7. 肌电图数据

#### ●数据形式与采集方法

肌电信号是指在完成运动技术过程中参与工作的肌肉(群)产生的生物电信号。采集方式是通过针电极和表面电极方式引导其生物电,再由肌电仪进行采集并绘制成肌电图等。由肌电图可以了解有关肌群用力的顺序、用力稳定性及肌群间的协调配合等状况,据此可以判定肌肉工作状况、肌肉工作特点等。

#### ●本要素对运动技术分析的作用

由于肌电图在目前是直接了解肌肉工作状况的唯一生物学信号,尽管目前在采集技术、定量分析等方面还受到很多限制,但是在有采集条件的研究项目中,对分析运动技术仍然是一项重要数据指标。

## 三、选用运动技术要素的要点

在不同的运动技术中,起主要作用的技术要素不尽相同,所以在运动技术分析中,认真分析与选择对运动技术有重要影响的要素,才能全面客观的评价运动技术,促进运动技术的优化提高。否则会影响分析结果的有效性。运动技术要素的选用应注意以下要点。

### (一)依据运动技术任务和特征选择要素

在分析运动技术时,前面所列各技术要素不必面面俱到,而是需要对这些技术要素进行筛选,选出与具体运动技术关系密切的技术要素作为分析重点。但是由于各个运动项目的任务、目的不同,采用的运动技术也具有各自不同的动作形式和特征,因此在筛选其技术要素时要区别考虑。

举例:短跑的任务是在尽可能短的时间内跑完规定的距离,技术动作特征是周期性的跑步动作。由此提出了步长(动作幅度)、步频(动作速率)这两个决定运动成绩的重要指标,这些指标显然属于运动学类的技术要素,包含了身体与肢体的位移、速度及加速度等数据。此外,还可采用后蹬角度、着地时足与地面的相对速度等指标,以判断运动员跑步技术对动力利用率和减少阻力情况。

举例:射箭的任务是使箭射向靶心,要求射箭运动技术要准确、一致。根据这一技术任务和特征,可以选择的技术要素是拉弓的动力曲线,来了解每射一支箭的用力状况是否高度一致,是否重复性强。又由于射箭是几乎在静态中完成动作,因此还可以选择肌电图指标,了解在瞄准阶段,尤其是撒放前,运动员肌电曲线的波动状况,通过它可以评价射箭用力的准确性、平稳性,以及各次射箭时的用力是否一致。

## (二)突出主要运动技术要素

每项运动技术的分析时,可能会筛选出若干相关的技术要素。在这些技术要素中应该分清哪些是对目的任务有决定性作用的主要技术要素,哪些是次要技术要素,以便在分析时进行合理考虑。

举例:竞技游泳技术动作包括入水、途中游及转身。以途中游技术为例,影响途中游技术水平的因素涉及游泳的推进力、推进效率、用力的方向与阻力等。在实际的游泳运动中,几乎不可能存在连续的推进力,所以,推进效率是影响途中游技术水平的主要因素。此外,由于阻力与速度的平方成正比,速度波动的大小对运动成绩影响较大,因此也可将速度视为另一个主要要素。

## (三)各运动技术要素的优化组合

运动技术的合理化与最佳化还取决于各要素之间的最佳组合。一方面各要素间的相互联系,共同形成相应的技术特征;另一方面,各要素间又不可避免地存在相互影响与制约。只有达到各要素之间的协调统一,并促使其完善,才可能取得最佳运动效果。

举例:在斜抛类运动中。初速度和角度是决定抛射远度的重要因素。如果不考虑空气阻力时,抛体的最佳理论抛射角是 $45^\circ$ ,这时可以达到最大的飞行远度。然而,优秀跳远运动员的起跳角均在 $21^\circ\sim 24^\circ$ 之间,数据分析表明这个范围内的起跳角可使助跑速度利用率达到90%以上,产生最大的起跳初速度实现较好的跳远成绩。能否通过起跳角的进一步加大来提高跳远成绩呢?这需要分析影响跳远成绩的两个主要因素是如何相互联系和制约的。人体跳远时必然遵循抛体的运动学规律,在不降低起跳初速度的前提下加大起跳角度从理论上讲是可以提高远度的。但是人体在起跳过程中,人体与地面的相互作用受到用力方向、用力效果及动力利用率这些因素的制约。也就是说,起跳角这一要素受着肌肉用力这个要素的制约。因为,人体起跳的动力来源于运动员快速助跑上板时肌肉的支撑力量和蹬伸力量,此时在总重心到支撑点连线与支撑点处垂线之间,前后夹角约 $15^\circ$ 范围内,如果肌肉力量小,就不会产生更大的起跳角。如果刻意追求起跳角的加大,在自身肌肉用力条件的限制下势必会以牺牲水平速度为代价,最终导致成绩的下降。所以各运动技术要素的组合应以求得最佳效果为目的。

## 四、运动技术分析一般步骤及方法

在掌握了分析评价运动技术的基本技术要素之后,还需要进一步了解运动技术分析的基本方法和基本步骤。

### (一)划分运动技术环节

运动技术环节是指一项运动技术中的各个基本动作阶段。体育运动各种项目的运动技术都是由一系列基本动作组成的。划分运动技术环节就是将一项完整的运动技术按其组成结构分解成简单的基本动作阶段。这样做有利于使运动技术分析工作的目标更清晰。

在划分运动技术时,应了解该项运动技术的任务、动作结构,使划分合理。划分的精细程度要根据研究任务的需要而定。

举例:跑是周期性运动形式。通常把跑的一个单步分为“腾空”和“支撑”两个技术环节。更精细的划分还可将其中支撑环节进一步区分为“前支撑”和“后支撑”两个更小的技术环节。划分运动技术环节后,可对跑步周期中各技术环节的位移、速率、角度、角速度,以及各技术环节的动作质量逐一加以分析评价。

举例:排球强攻扣球运动技术是综合性运动形式。其技术环节可划分为“助跑”、“起跳”、“空中击球”、“落地”等四个组成部分。更精细的划分还可将其中“空中击球”环节进一步划分为“空中背弓”、“向后引臂”、“向前屈体”、“向前挥臂”、“击球”等五个更小的技术环节。

## (二)确定运动技术环节中的关键技术环节和相互联系

### 1. 关键技术环节

关键技术环节是指对整个运动技术起重要作用、有决定影响的技术环节。确定关键环节要在对每个运动技术环节进行充分分析的基础上进行,这样有利于充分了解各技术环节的作用以及关键环节与其它环节间的相互关系。

举例:推铅球技术动作。可划分四个技术环节:持球准备(单手持铅球于肩上锁骨窝处)、滑步(或旋转)、推掷、结束动作。铅球是以投掷远度计算成绩,推铅球整体运动技术的目的在于使铅球获得最大水平位移。四个环节只有滑步(或旋转)、推掷两个环节可能成为关键环节。进一步分析可知,滑步(或旋转)动作的技术目的是使铅球获得预先的初速度,为最后的推掷动作创造良好的条件。而推掷动作是保证尽可能多的利用已经获得的速度,并进一步对铅球实施最后用力。因此,推掷动作是投掷铅球技术的关键环节。在推掷动作中提高左摆右蹬动作的速度、幅度、连贯性以及技术的合理配合,是影响铅球投掷成绩的重要因素。

### 2. 相互联系

虽然组成完整动作的不同技术环节有其各自的动作形式和要求,但它们都属于一个完整动作的有机组成部分,都是为完成整体运动技术服务的。因此,它们之间必然存在着内在的联系。

举例:排球的强攻扣球动作。该运动技术的四个组成部分中:①助跑的目的是使身体及时地移动到合适的起跳点并获得一定的水平速度;②起跳的目的在于通过合理的技术动作,有效地将水平助跑速度转变为垂直速度,使人体获得最大腾空高度,并做好空中击球前的准备动作;③空中击球的目的是集中助跑、起跳获得的运动能量,通过充分的背弓、快速有力的挥臂完成击球动作;④落地动作是扣球动作的结束,其任务是缓冲落地时受到的冲击力,防止损伤,并避免触网犯规,为下一个技术动作做好准备。强攻扣球总的目的是通过击球点高度、击球力量、击球速度及击球时间的变化,提高击球的威力。因此,排球的强攻扣球动作四个技术环节各自的分任务都是为这一总目的服务的,形成了四个技术环节的相互联系。

### (三)确定运动技术分析的对象、地点和测量方法

在搞清楚了运动技术环节的相关知识后,下面的工作就是依据运动技术分析的任务和目的,选择完成运动技术的运动员(被分析的对象)、运动技术数据的指标形式和测量地点,并据此确定具体的数据测量方法。具体包括如下内容:

#### 1. 运动技术分析的对象

确定运动技术分析的对象是以研究目的来进行考虑的。一般有两种情况:

其一,为优秀运动员提高运动成绩进行运动技术诊断服务。运动技术分析的对象就是运动员本人,同时可以取同一专项最优秀的运动员的运动技术数据进行对比。

其二,为了研究某项运动技术的基本特征和规律。则通常挑选运动技术规范、运动成绩较好的一些运动员作为运动技术分析的对象。通过对他们运动技术数据的分析,通常还需要运用统计学的方法进行处理,探索其中具有共性的技术特征和规律。

#### 2. 测试地点

测试地点有三种情况,每种都有各自的优势和局限,需要根据实际情况加以选择。

实验室:实验室测试的优势之处在于实验条件可控,便于实现重复测试。但是由于实验室受场地条件、环境、气氛与实际情况有一定差别的限制,会影响运动员完成运动技术的真实性。

训练场:在训练场的测试相对接近真实情况,运动员对环境熟悉,运动技术不容易变形走样。此外,很多项目不具备实验室条件,例如速滑、赛艇、球类、体操等的研究通常只能在训练场地进行。但在训练场进行的测试,实验条件(如气候、设备安装等)受到一定的限制,会在一定程度上影响测量数据的准确性。

比赛现场:为了获得国内外最优秀的运动员在真实比赛状态时的运动技术特征,测试要在比赛现场完成。比赛现场采集到的数据其真实性最强,虽然实验条件会大大受限,但是与其数据的真实性比较,仍然是最宝贵、最权威的运动技术数据。到目前为止,能在国际、国内重大比赛中进行现场测量的方法,唯一只有影像测量方法。

#### 3. 测量方法

当前在运动技术分析测量方法中常用的主要有三种测量方法。影像测量方法、动力测量方法、肌电测量方法。应用方式包括:单纯采用某一种测量方法,两种或三种测量方法同时使用形成的同步组合测量方法等。

选择测量方法需要依据运动技术分析的目的、运动技术数据的种类、运动技术对测试条件的限制等因素进行考虑。事实上,这三个因素中运动技术对测量条件的限制往往是选择测量方法的主要限制因素。

一般而言,影像测量方法是所有测量方法中最不受限制的方法,因此几乎任何形式的运动技术分析,都可以将影像测量方法加入其中。其次,动力学测量方法受设备安装和技术动作范围大小等因素的限制,只能在某些运动技术形式中使用。最后,肌电测量方法是受限制最多的测量方法,因为需要在运动员身上安装表面电极,并佩戴发射装置,因而会对运动员的动作造成影响。

举例:对在正规比赛中进行的测量,只能选择影像测量方法。此外,对在训练场进行、

而且运动范围较大、不适宜安装测力设备的一些运动技术,也只能采用影像测量方法。

举例:对运动范围不大,又是在非比赛状态、且又有安装测力装置条件的一些运动技术,如举重等,此时可以采用影像测量、动力测量形成同步组合测量方法,使得两种测量方法的数据能够相互佐证,更具有说服力。再如,射箭等,在采用前两种测量方法的同时,有条件时还可以增加肌电学的测量。

#### (四)数据处理与数据分析

在通过测量获得运动技术数据以后,下一步的工作就是对所测数据进行处理和分析,以便从中解读出分析评价运动技术所需要的运动技术信息。

##### 1. 数据处理

测量所得数据称为原始数据,它在包含运动技术信息的同时,也包含了各种各样的误差信息。因此需要对原始数据进行科学处理,以去除误差,保留真实信息。同时还需要将数据以一个直观形象的方式加以表现,以帮助后续的数据分析。运动技术分析中用到的数据处理形式主要有两种。

其一,运动生物力学数据处理。

运动生物力学数据处理的特点主要是可以针对特定的运动员或特定的运动技术进行分析研究,即个体研究。其数据处理包括三大类。

①运动学数据处理:影像测量的直接结果是运动技术的连续影片,数据处理工作包括在影像资料上测量关节坐标、三维转换、数据平滑处理、计算各运动学数据,最后可以得到人体运动中点的空间位置、位移、速度、加速度;关节的角度、角速度、角加速度等形式的数据。这些数据再结合完成运动技术的时间,以各种数据表、曲线图、动作结构棍图等形式加以再现,以便为运动技术分析提供直观形象的数据依据。

②动力学数据处理:动力测量的直接数据结果是在垂直方向、前后方向、左右方向的作用力数据。作用力数据经过平滑滤波去除随机误差,然后结合完成动作的时间数据,以动力曲线、冲量数据、特征点力值表等数据形式加以再现,进一步计算还可得出力做功等数据指标。这些数据形式可供运动技术分析时使用。

③肌电学数据处理:肌电测量的直接结果是肌电图,进一步对肌电图进行相关计算可得到肌电积分数据、频谱数据、功率谱数据等。用于运动技术分析时对肌肉工作状况的分析。

其二,统计学处理。

统计学处理的特点主要是针对某种具有共性的技术进行分析研究,即群体研究。它要求测量的对象有一定的数量,采用相同的方法进行测量。然后按性别、年龄或不同水平分为若干组,进行数理统计学处理。以便从中发现不同组群间运动技术的相关性或差异趋向,这种趋向可表明不同运动水平的技术特征,由此可以得到有益的启示。

举例:短跑的途中跑技术研究。有人通过测量途中跑阶段的步长,然后按照不同运动水平分组,对运动员的步长进行统计。结果表明运动成绩与步长具有显著相关性,据此提出了运动成绩的提高应加大步长的意见。再由人体测量数据表明,我国短跑运动员腿较短,提高步长受到一定限制。结合这两个方面的结果,有人提出可通过加强髌关节的灵活性来解决步长与腿短的矛盾。

举例:有人通过大样本的测量跳高、跳远、三级跳的最后三步、五步步长的变化,找出了步长变化的关系,据此总结出不同水平、不同成绩运动员的步长变化规律。

## 2. 数据分析

数据分析是指以运动生物力学的理论为指导,参考优秀运动员的相关数据和教练员的实践经验,对数据处理所得结果进行分析思考,从中解读出它们所包含的运动技术信息。这些信息包括:发现人体运动的某种规律、发现运动技术的某种特征等。对这些信息加以总结、提炼,可为体育教学、训练提供依据,并进一步提出完成运动技术的合理方法,以及相应配套的辅助训练方法等。

举例:有人对短跑的分析得出下列有意义的结论。

①步频、步长两个基本指标反映短跑成绩的优劣,欲达到世界高水平男子 100 米成绩,运动员的步长、身高、步频间应具有下列数据特征:

(步频 $\times$ 身高)指数应达到 8.14;

(步长/身高)指数应达到 1.14。

②支撑腿着地时,为了减少足着地时的阻力和速度损失,跑步技术特征之一要求着地时足与地面之间的相对速度要小。当跑速很大时,支撑腿膝关节缓冲程度应相应增大,后蹬角应相应减小。这种技术有利于提高跑速。

③塑胶跑道的弹性大大高于煤渣跑道,因此导致蹬地技术的变化,即在快速蹬伸时膝关节不必充分伸展的蹬地技术。具体在蹬离地面时,膝关节角度在  $165^{\circ}\pm 8^{\circ}$  角的范围内。采取这样的技术,可以提高步频,而同时又不影响蹬地效果。

## 五、运动技术分析中主要问题讨论

运动技术训练的目的,是要使运动员学习和掌握合理、先进的技术,充分发挥身体潜能,提高运动成绩。目前在运动技术分析(诊断)中有以下三个问题值得重视。

### (一)运动技术模式问题

所谓运动技术模式,其实就是某项运动技术的一种基本标准。它涉及的是运动技术的一种共性问题,即当某项运动技术形式经过实践检验被认为优秀时,它应该具备哪些基本特征。研究运动技术模式问题往往要结合运动实践需要,将运动员按不同水平、不同技术特点分组,选择若干运动技术要素,通过测量获取运动技术数据,经统计学处理,再利用运动生物力学原理进行分析,找到该项运动技术应该具有的一些基本特征,提出运动技术的基本标准和完成运动技术的合理方法,从而建立起所谓的运动技术模式。运动技术模式可以为运动训练和体育教学提供一个一般性的参考依据。

运动技术模式与运动技术诊断相互间并不矛盾。前者侧重的是运动技术的共性,后者侧重的是运动员个人的技术特点。

### (二)运动技术诊断问题

运动技术诊断工作目前在国际上开展的非常普及,许多体育强国都在他们的训练基地装备了生物力学测试仪器,对运动技术进行经常性的测试和改进,并取得了显著的成

绩。在我国这一工作正在开展,运动技术诊断逐渐成为教练员和运动员进行科学训练的有力工具。

运动技术诊断考虑较多的问题有以下三方面:

①首先,应了解和掌握国内外顶尖水平运动员的技术数据,从中得到某些技术指标的发展变化情况,明确哪些指标对该项技术最敏感,这是运动技术诊断的基础。

②其次,对诊断对象的身体形态及运动素质进行详细的测试,收集比赛中不同成绩时对应的各项运动技术指标,依据运动生物力学原理进行分析,结合影片的观察,进行技术数据的对比分析,找出差异与存在的问题,提出改进运动技术的建议。

③最后,针对发现的问题提出纠正办法。这些办法主要表现为结合专项训练特点,研究和设计一些辅助训练方法,帮助运动员提高某方面的能力、增强某方面的技能等,使技术问题能够逐步得到解决。这个问题最具实际意义,但也是目前在运动技术诊断中最易被忽视的问题。

### (三)技术训练的针对性问题

一项运动技术符合相关运动技术原理只能表明该运动技术是正确的,但并不能保证是最佳的。运动技术只有在正确的基础上,结合考虑个人特点进行有针对性的训练,使其符合最佳运动技术要求,才能保证是最理想、最有效的技术。因此在指导技术训练的过程中,应重视运动员的个人特点。运动技术的生物力学原理只是从生物力学角度反映了各项运动技术带有共性的普遍规律,而每个运动员的身体形态和身体素质不同,必然会在具体的动作形式上要求有能够符合这种不同特征的技术形式。因此在技术训练过程中,教练员应经过实践逐步摸索出符合运动员个人身体特点、身体素质特点、原有技术基础特点的合理技术,实施有针对性的训练,这是运动生物力学利用运动技术分析指导训练的基本原则。

举例:举重的提铃技术。虽然从一般技术原理来说臀位太低不利于发力,但又不是绝对的,而要视运动员的身体特点而定。腿短躯干长、腿部力量强者,就应采用臀位相对较低的提铃技术,这样才能扬长避短,充分发挥其腿部力量强的优势,避免腰部负担过重而造成失败或受伤。而腿长躯干短、腰部力量强、腿部力量弱者,则应采用臀位相对较高的提铃技术,这样才能充分发挥腰部伸肌的力量,避免腿部负担过重造成失败或损伤。

## 第二节 跑的运动技术分析

### 一、分析跑的准备工作的

#### (一)跑的运动技术环节分析

跑是人类活动的基本动作之一,也是很多体育项目的基础。体育运动的动作分为周期性和非周期性两大类,跑则属于周期性运动技术。周期性运动技术一般只需要分析其中的一个周期动作即可了解其全貌。跑步有单周期和双周期之分,跑的单周期动作是以一条为观察对象,从其触地开始经腾空到下一次触地为止的动作阶段。跑的双周期是以

两条腿为观察对象,两条腿各分别完成一次单周期动作的动作阶段。以下只讨论途中跑动作中的单周期动作。

为了分析运动技术的方便,一般把短跑途中跑的一个单步动作划分为三个运动技术环节,用三个时相(动作瞬间)来进行划分。参阅示意图4-1途中跑的一个单步动作。

- (1)缓冲环节:着地时相(摆动腿着地瞬间)到蹬伸时相(人体重心在支撑点垂线瞬间)。
- (2)蹬伸环节:蹬伸时相到离地时相(支撑腿离地瞬间)。
- (3)腾空环节:离地时相到着地时相。

下肢动作:两腿分别做蹬、摆运动。支撑腿从着地瞬间开始,对地面做缓冲及蹬伸动作,获得人体移动的动力;摆动腿同时做加速前摆动作,能够产生惯性反作用力增强支撑腿的蹬伸力。支撑腿离地后进入腾空环节,支撑腿做折叠前摆,摆动腿做下压着地动作。腾空结束后摆动腿着地交换为支撑腿,原支撑腿交换为摆动腿,然后接下一个单步动作。

上肢动作:配合下肢做屈臂前后摆动,维持人体平衡。

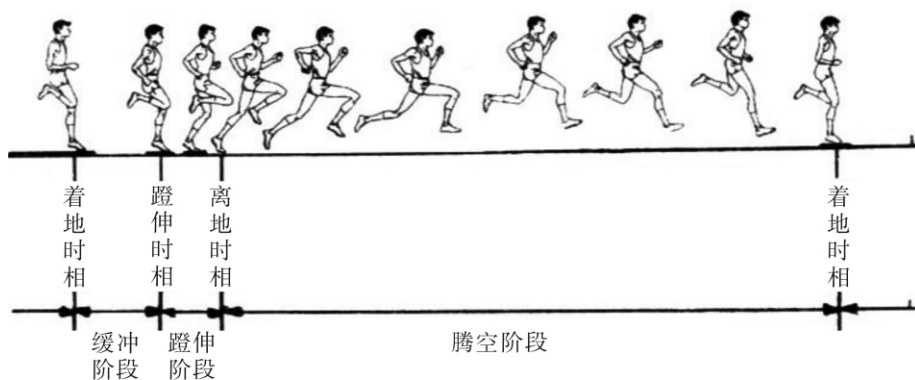


图4-1 途中跑的一个单步动作

## (二)跑步的运动技术要素分析

跑步的主要目的是使人体快速位移,因此速度就成为讨论问题的核心,而速度又是由步长和步频决定的。参阅示意图4-2影响跑步速度的技术要素,可以了解到构成跑速的技术要素及相互之间的关系。

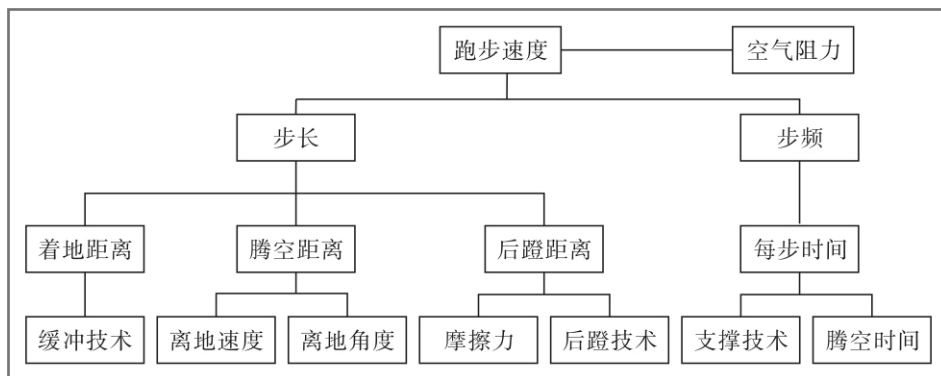


图4-2 影响跑步速度的技术要素

### 1. 步长(位移)

步长是由着地距离( $L_1$ )、后蹬距离( $L_2$ )和腾空距离( $L_3$ )三部分组成。参阅示意图4-3步长组成。其中,着地距离受缓冲技术的影响,后蹬距离受制于脚底摩擦力和后蹬技术,腾空距离由离地速度和角度决定。

有专家对这三个距离作过测试,所得数据参阅表4-1一个单步中各部分距离的组成(依黄宗成等)。由表中数据可以看到,不论男女运动员,都存在“着地距离最短,后蹬距离次之,腾空距离最长”这样的特征。

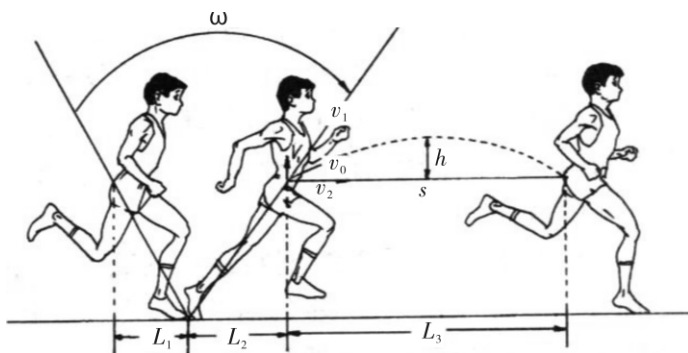


图4-3 步长组成

表4-1 一个单步中各部分距离的组成(依黄宗成等)

(单位:米)

| 性别 | 着地距离( $L_1$ )  | 后蹬距离( $L_2$ )  | 腾空距离( $L_3$ )  | 单步距离( $L$ ) |
|----|----------------|----------------|----------------|-------------|
| 男  | 0.351<br>16.3% | 0.690<br>32.1% | 1.112<br>51.6% | 2.153       |
| 女  | 0.308<br>16.1% | 0.618<br>32.2% | 0.991<br>51.7% | 1.917       |

### 2. 步频(速率)

一个单步占用时间的长短,是构成步频快慢的因素。在进行步频分析时,可将其划分为支撑时间和腾空时间两个部分。支撑时间还可进一步划分为缓冲时间和蹬伸时间。

### 3. 步长和步频关系

步长和步频关系是既统一又矛盾。其统一性在于步长和步频共同决定跑速;其矛盾性在于步长和步频相互制约,盲目追求提高步频,步长必然要缩短,反之亦然。所以应在适当步长的基础上加快步频。

### 4. 选用运动技术要素特点

从以上的分析中可以看到,跑的技术所涉及的运动技术要素,较多的是运动学类要素,其次是动力学类要素。由于跑是一项在大范围内进行的运动,受数据测量条件限制,因此在技术要素的选择上,大多是以运动学类技术要素为主,辅之动力学类的技术要素。

## 二、途中跑技术的运动学分析

### (一)时间数据特征

#### ●跑的三个环节占用时间比较

一般具有这样的特征:腾空时间>蹬伸时间>缓冲时间。参阅表 4-2,表中数据表现了腾空、蹬伸、缓冲的时间分配情况。男、女短跑运动员蹬伸阶段时间是缓冲阶段时间的两倍多一点,而腾空时间几乎是蹬伸阶段时间的两倍。男女运动员的步频相近,但单步重心水平位移距离和速度,男子比女子大,其余几项数据男女都相差无几。

表 4-2 途中跑的运动学参数(依黄宗成等)

|            | 男子 100 米 | 女子 100 米 | 男子 200 米 | 女子 400 米 |
|------------|----------|----------|----------|----------|
| 缓冲阶段时间(毫秒) | 29.8     | 31.3     | 34.5     | 52.8     |
| 蹬伸阶段时间(毫秒) | 69.2     | 74.0     | 78.4     | 100.6    |
| 腾空阶段时间(毫秒) | 124.0    | 122.0    | 139.3    | 128.4    |
| 步频(步/秒)    | 4.495    | 4.407    | 3.969    | 3.559    |

#### 相关资料讨论:

一个单步中二大动作环节的时间分配:我国高水平运动员一个单步时间为 0.216 秒,其中支撑时间为 0.088 秒,占单步总时间的 40.7%。腾空时间为 0.128 秒,占单步总时间的 59.3%。支撑与腾空时间之比为 1:1.46。

一个单步时间的变化:有学者研究报道,当跑步速度从最大速度的 40%(3.9 米/秒±0.7 米/秒)增到最大跑速(9.3 米/秒±0.3 米/秒)时,一个单步时间由 0.38 秒±0.01 秒降到 0.24 秒±0.01 秒,支撑时间和腾空时间都随跑速的提高而缩短,但并不按同一比例变化。一般多以支撑时间的缩短最为显著,即支撑时间缩短比例大于腾空时间。

#### ●延长缓冲阶段时间可提高蹬地效率

运动员脚着地后,适当延长缓冲阶段时间,可以增大膝关节活动幅度,减小后蹬角,提高蹬地效率。比较我国运动员与美国运动员的缓冲和蹬伸技术,在着地和蹬伸两个阶段中两国运动员在时间上的差异。参阅示意图 4-4。

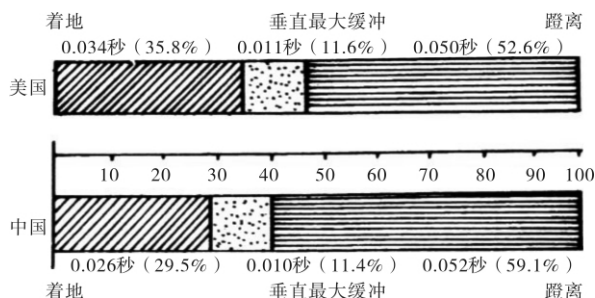


图 4-4 支撑腿各动作阶段的时间比例(依黄宗成等)

#### 图 4-4 讨论:

1. 我国短跑运动员着地缓冲时间较短(0.026 秒),占总支撑时间的百分比为 29.5%,美国短跑运动员着地缓冲时间较长(0.034 秒),占总支撑时期百分比为 35.8%。缓冲时间数据代表缓冲技术的好坏。

2. 我国短跑运动员蹬伸时间较长(0.052 秒),占总支撑时间的百分比为 59.1%,美国短跑运动员着地缓冲时间较短(0.050 秒),占总支撑时期百分比为 52.6%。蹬伸时间数据代表腿部的爆发力状况。

3. 以上数据说明:美国运动员具有较长的缓冲时间和较短的蹬伸时间,说明美国运动员具有较优秀的缓冲技术和良好的腿部爆发力。

#### ●腾空时间与支撑时间变化规律

跑的每一个周期中,各运动技术环节占用的时间受跑速的影响。一般而言,随着跑速的增加,各技术环节占用的时间逐步缩短。但是呈现这样一个特点:当跑速较慢时,支撑时间大于腾空时间;而当跑速较快时,支撑时间小于腾空时间。也就是说,随着跑速加快,支撑时间的缩短要快于腾空时间。参阅示意图 4—5,图中横坐标代表跑速,纵坐标代表跑的各技术环节占用的时间。

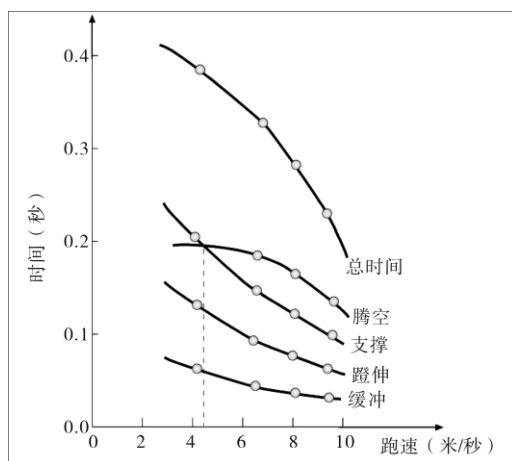


图 4—5 不同跑速时“步时”结构的变化

图 4—5 讨论:

1. 低速跑时,腾空时间比支撑时间短。
2. 随着跑速增加,则逐渐变为腾空时间比支撑时间长。相应曲线的交点在速度大小为 4.2 米/秒处。即当速度大于 4.2 米/秒后,支撑时间开始比腾空时间短。
3. 在支撑环节中,其缓冲环节和蹬伸环节占用的时间,随跑速的提高而缩短,但它们占支撑时间的比例基本维持稳定(约 1:3)。因此这两条曲线呈现平行下降状态。

#### (二)位移数据特征

##### ●缩短着地距离( $L_1$ )可减小阻力

运动员腾空着地时不可能没有阻力,但如果缩短了着地距离( $L_1$ )就可起到减小阻力的作用,有利于跑速的发挥。参阅表 4—2—3 比赛成绩与着地距离及着地速度的关系(依沃夫曼),该表格说明了优秀运动员在短跑比赛中着地距离与成绩之间的关系。

表 4—3 比赛成绩与着地距离及着地速度的关系(依沃夫曼)

|       | 第一名         | 第二名         | 第三名         |
|-------|-------------|-------------|-------------|
| 着地距离  | 0.217/0.276 | 0.284/0.286 | 0.327/0.309 |
| 脚着地速度 | -7.93/-7.18 | -5.34/-5.22 | -6.47/-7.20 |

表中数据讨论:

1. “着地距离”的缩短必然会影响步长的大小,这是一个矛盾。如果通过牺牲一定的步长所获得的动力,能给整个跑的技术带来更大的效益,自然就是值得的。

2. “脚着地速度”为负值,表示脚着地时是向后运动,与跑进的速度相反。

3. 表中数据显示,成绩优秀者的着地距离较短,而着地速度相对较高。其中“第三名”虽然脚着地速度较“第二名”大,但是由于其着地距离偏大,使着地产生的前阻力较大,致使其技术的综合效果降低。

### ●步长和步频

步长和步频变化规律:一般而言,步长、步频都随跑速的增大而提高,但增大的比例不是线性关系。在跑速增大的初始,步长的增大要比步频的增大更为显著;但是当跑速达到一定程度时,则转变为以步频的增大为主,而此时步长的增加逐渐趋缓,直到不再增加。参阅示意图4-6,图中横坐标代表跑速,纵坐标分别代表步频、步长(步幅)。

图4-6 讨论:

1. 当跑速初始增大时,步长增加的幅度要比步频大,此后随着速度的增加,步长增加幅度逐渐趋缓,而步频加快。

2. 当达到较高的速度时(约9米/秒),步长不再增大,并有减小趋势,步频还可加快。

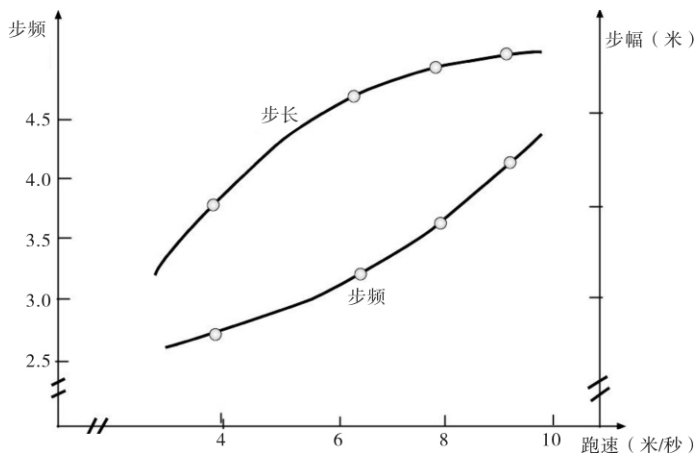


图4-6 不同跑速时步长、步频的变化

步长和步频匹配问题:实际对一个运动员来说,步长和步频存在着最佳搭配的问题。这里可以用步长和步频派生的数据进行说明。卡列尔·霍夫曼通过对国际重大比赛的实测材料研究指出,欲达到男子短跑世界水平,其步长与步频指数应有如下特点:

◎步长指数:  $(\text{平均步长}/\text{身高}) \geq 1.15$ ,  $(\text{最大步长}/\text{身高}) \geq 1.24$ ;  $(\text{平均步长}/\text{腿长}) \geq 2.16$ ,  $(\text{最大步长}/\text{腿长}) \geq 2.24$ ,  $(\text{身高} \times \text{腿长}) \geq 4.34$ 。

◎步频指数:  $(\text{身高} \times \text{步频}) \geq 8.1$ 。

中、美运动员步长、步频比较:中国高水平运动员平均步长 2.30 米、步频 4.63 步/秒;美国高水平运动员平均步长 2.48 米、步频 4.80 步/秒。这正是水平有差距的主要原因之一。

### (三)关节角度数据特征

#### ●支撑阶段下肢主要关节角度变化

### ①缓冲阶段

腾空后的着地缓冲,主要是由踝关节做负功完成的。踝关节角度变化幅度(角位移)为 $34^{\circ}\sim 38^{\circ}$ ,而膝关节只有 $4^{\circ}\sim 10^{\circ}$ ,髌关节基本未参与缓冲动作。短跑技术要求着地前摆动腿的髌、膝、踝关节做积极蹬伸,使人体保持较稳定的重心高度并前移。整个缓冲支撑时期在促进身体前移方面,各关节的活动所起的作用大致是相同的。

### ②蹬伸阶段

◎膝关节:目前比较一致的认识是,短跑运动员在完成蹬伸动作时,膝关节不必充分伸直。在蹬伸结束时,膝关节角在 $150^{\circ}\sim 165^{\circ}$ 之间。

蹬伸时膝关节不必充分伸直原因分析:

原因一,对蹬伸距离影响。当膝关节从 $165^{\circ}$ 角伸展到 $180^{\circ}$ 角时,膝关节与髌关节之间的水平距离非但没有增加,反而缩短了8毫米,这是由于胫骨关节面向股骨关节面曲率半径大的那一部分滑动的原因。

原因二,对后续动作影响。后蹬离地时膝关节过分蹬直,直接影响了后续的屈膝摆动动作(小腿折叠动作)。

原因三,对蹬地功率影响。较大的蹬伸动作虽然可以增大蹬地功率,但是蹬地功率与跑速之间的相关关系很小。甚至有研究发现国家级优秀短跑运动员发挥的蹬地功率比二级运动员还小。快速跑时不需要每次蹬地都产生很大蹬地力,而需要蹬地功率与步频的最佳配合,跑得放松。

◎踝关节:活动幅度虽然很大( $34^{\circ}\sim 38^{\circ}$ ),但小腿三头肌的收缩幅度却很小。小腿三头肌在缓冲时被拉长了3~4厘米,但进入蹬伸阶段其长度几乎不变。因此缓冲与蹬伸时,踝关节的活动是由小腿三头肌肌腱等的弹性变形与复原完成的,这是踝关节利用非代谢能工作。因此,就要求踝关节的肌腱有非常好的弹性和强度。弹性好在缓冲阶段可储存更多的能量,强度大在蹬伸阶段可支撑住髌、膝关节肌肉的蹬伸力。踝关节结构功能特点对于跑步能力具有重要意义。

## (四)协调性

●摆动腿和两臂的摆动,以及躯干的扭转

### ◎摆动动作的意义

①摆动动作的方向、幅度和速度直接影响跑步的步幅和步频。②着地前摆动腿积极主动向下的鞭打动作,可减小着地碰撞力,从而减小阻力。③蹬伸阶段摆动腿的动作,可产生惯性力增加支撑腿的负荷,提高蹬地效果。④上肢质量相对小,可以快节奏摆动,这对提高步频具有促进作用。⑤摆动动作可以维持人体的动态平衡。

### ◎摆动腿动作特点

参阅示意图图4-7。该图表现的是:①蹬伸腿离地后就成为摆动腿,在惯性作用下,摆动腿的大腿先做后摆,约占 $0.025\pm 0.007$ 秒,然后再迅速做前摆。摆动腿在支撑腿离地瞬间达到最大摆幅,约 $163.7\pm 10.6^{\circ}$ 。②大腿开始前摆后,小腿迅速向大腿做屈膝折叠,小腿折叠动作在蹬伸时相达到最大屈曲程度( $29.8\pm 2.8^{\circ}$ )。③摆动过程中膝关节的屈曲时间( $0.15\pm 0.004$ 秒)与伸展时间( $0.15\pm 0.01$ 秒)几乎相等。④大腿前摆时间

( $0.22 \pm 0.008$  秒)较后摆时间( $0.11 \pm 0.01$  秒)约长 1 倍。

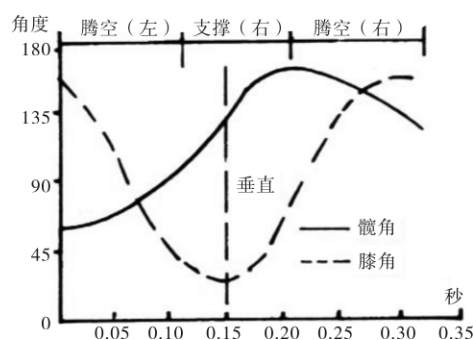


图 4-7 摆动腿角度随时间变化示意图(依李诚志)

### ◎上肢摆动动作特点

上肢的肩关节及肩带肌肉生理横断面与上肢质量之比为 16.60:1,而下肢的髋关节肌肉生理横断面与下肢质量之比为 8.94:1。上肢与下肢相比,质量较小,相对肌肉力量较强,上肢摆动时比下肢容易加速,且能维持高的摆动频率。因此,上肢的快速摆动可促进下肢步频的加快。

### ◎扭转动作特点

躯干协同上下肢的摆动而形成的扭转有利于提高上下肢的蹬摆效果。当右支撑腿蹬伸时,右肩和左髋向前形成了躯干的扭动,增大了上下肢的摆动幅度,并且实际形成了良好的“送髋”技术,增大了步幅。

## 三、途中跑技术的动力学分析

### (一)支撑力分析

运动员从着地时相到离地时相,经过了缓冲和蹬伸两个技术环节。用三维测力台可测得地面支撑反作用力数据,并制作相关力值曲线共分析使用。

#### 1. 支撑反作用力与动作对应图

力值曲线与缓冲、蹬伸两个技术环节进行对应分析,可知地面作用于人体的外力的大小、方向及性质,以及它们与人体(重心)的关系。一般用  $F_x$  分量代表跑步左右方向的力, $F_y$  分量代表跑步前后方向的力, $F_z$  分量代表垂直方向的力。

●参阅示意图 4-8,该图表现的是右腿在“前后( $F_y$ )左右( $F_x$ )”方向反作用力情况。

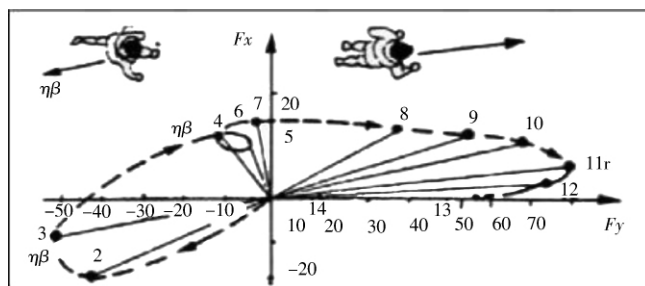


图 4-8 短跑运动员蹬地力在水平面内(xy 平面)的矢量图

图 4-8 分析说明:

图中力值曲线总体变化趋势:由于支撑腿在蹬地过程中,不可能完全只在前后方向用力( $F_y$ ),会不可避免的会产生左右方向的分力( $F_x$ ),因此在水平面内二力的合力就会表现为向左右方向的偏离。如图所示:脚在前蹬初期,蹬地力在水平面内的合力偏向支撑腿的外侧,然后又过渡到偏向支撑腿的内侧,直到快要蹬离地面时,才表现为完全向后的蹬地力。从理论上讲,支撑腿在左右方向产生的分力越小越好,因此,水平面内的力矢量图越“扁”,表示其在左右方向浪费掉的力量越小,技术特征也越好。

图中的左侧部分:代表的是前蹬阶段的地面反作用力。从理论上讲,这部分力是跑步产生的阻力,因此,其力矢量曲线图越小,表示其产生的阻力越小,技术特征也越好。

图中的右侧部分:代表的是后蹬阶段的地面反作用力。从理论上讲,这部分力是跑步产生的动力,因此,这部分力矢量曲线越大,前进的动力越大,技术特征也越好。

●参阅示意图 4-9,其左图表现的是右腿在“前后( $F_y$ )上下( $F_z$ )”方向反作用力的情况;其右图表现的是右腿在“左右( $F_x$ )上下( $F_z$ )”方向反作用力的情况。

图 4-9 分析说明:

◎图 4-9 左图:它是由蹬地力在前后方向、上下方向的合力矢量构成。由于人体在支撑过程需要有向上的蹬力,以抵消人体的重力维持平衡。显然,上下方向力和前后方向力之间的不同比例,决定了蹬地的角度。

纵坐标左侧部分是前蹬阶段的力矢量图,通过它可以了解缓冲环节的阻力情况,以及前蹬角度情况。一般而言,较大的前蹬角表示落地时产生的阻力较小。

纵坐标右侧部分是后蹬阶段的力矢量图,通过它可以了解蹬伸环节的动力情况,以及后蹬角度情况。一般而言,较小的后蹬角表示蹬伸时产生的动力较大。

◎图 4-9 右图:它是由蹬地力在左右方向、上下方向的合力矢量构成。

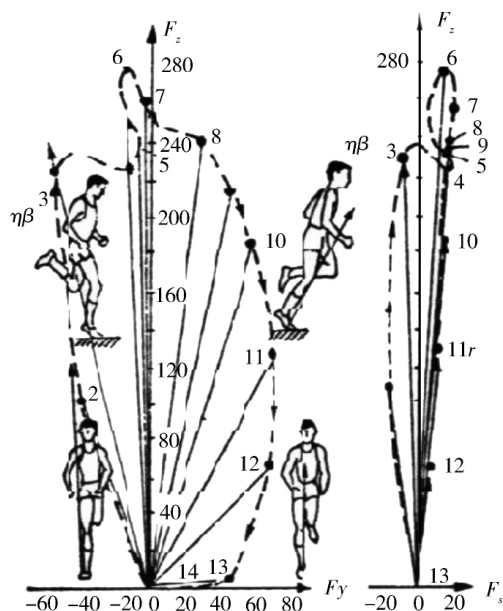


图 4-9 短跑运动员蹬地力在侧面(xy 平面)和正面(xz 平面)的力矢量图

## 2. 动力曲线图(力—时间曲线)

●参阅图 4—10 短跑运动员蹬地力曲线图,该图表示三个方向力值变化情况。

$F_z$  分量(垂直分量):不管是极值或冲量都是最大的。极值 278 千克,约为人体体重的四倍。 $F_z$  之所以最大是因为要抵抗人体的重力和腾空落下来的动能,使人体保持一定的高度,以维持肌肉工作条件和人体运动时总重心的平稳。

$F_y$  分量(前后分量):是影响速度的主要因素。它可以划分两个部分:负值部分代表缓冲环节产生的蹬地力,从理论上讲它应该越小越好,本例的最小极值约为负 51 千克;正值部分代表蹬伸环节产生的蹬地力,它是跑的过程中前进的动力,应该越大越好。

$F_x$  分量(左右分量):是人体支撑过程在左右方向产生力,主要起维持平衡的作用。它也有正负两部分,但是它的正、负只是代表向左、向右方向的分力情况。从理论上讲应越小越好,越小就越能减少人体的左右晃动。本例的极值只有正、负 17 千克。

短跑技术要求人体在腾空阶段摆动腿在未着地之前要积极伸髋,带动小腿做鞭打动作进入缓冲。据测试材料表明:这种技术动作可使着地时脚相对于跑道的速度在 1.5~0.5 米/秒的范围内。可增大人体着地角,减小水平阻力及作用时间,最终减小阻力冲量。另外,还有利于后续的伸展髋、膝关节动作,为蹬伸环节创造良好的条件。

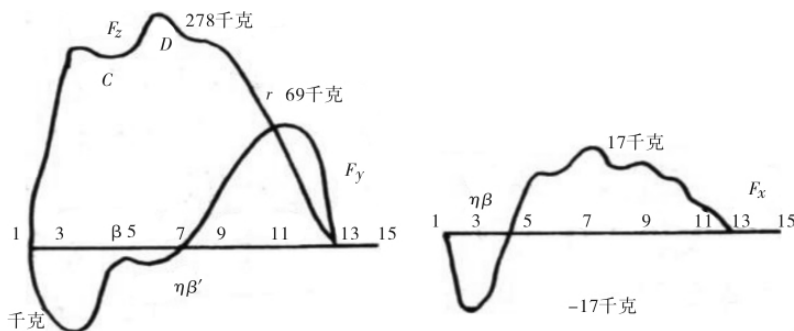


图 4—10 短跑运动员蹬地力曲线图

●参阅图 4—11。该图表现的是  $F_y$ (跑的前后方向)的动力曲线。

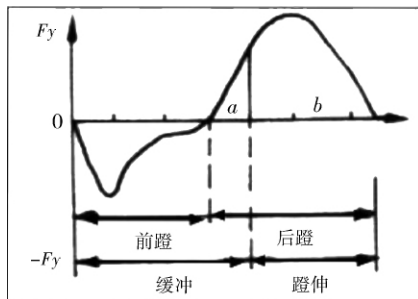


图 4—11 支撑阶段的前后蹬力( $y$  表示前后方向)

结合动作阶段进行分析讨论如下:

按照传统的观点:前蹬阶段即缓冲技术环节;后蹬阶段即蹬伸技术环节。二者在动力曲线上的分界点应在力值的正、负交界处。

但有资料认为:支撑腿还没有到达蹬伸时相时(即下肢关节角度还没有开始增大时),

其髌、膝、踝关节就已经在进行积极的伸展动作,此时各关节肌肉群的弹性势能已表现出超过人体体重,形成动力曲线包络的  $a$  面积(冲量);而只有  $b$  面积(冲量)才是支撑腿髌、膝、踝关节继续做蹬伸动作产生的。因此认为,缓冲技术环节除了包括前蹬阶段外,还应该包括后续形成冲量  $a$  的部分,以表明摆动腿着地不是被动缓冲,而是一个主动蹬伸过程。而蹬伸技术环节仅仅只是存在于冲量  $b$  的部分。

不论如何划分,在整个支撑阶段全身各部分动作的配合是很重要的。上肢的屈臂摆动要快,下肢摆动腿和蹬地腿做相向运动,以摆促蹬,蹬摆结合,最大限度地提高蹬伸幅度和速度,从而增大蹬地力的水平分力,使  $a$ 、 $b$  面积(冲量)增大。

## (二)力矩分析

人体在地面支撑时总是受到不同力矩作用,人体是通过一些动作来保持动态平衡的。

### 1. 前蹬阶段力矩分析

(1)比较  $F_y$  和  $F_z$  产生的力矩:参阅图 4-12 左图,它表现的是人体重心投影点位于支撑点后方时的情况。此时支撑反作用力的水平分力  $F_y$  (阻力)产生绕人体重心向前翻转的力矩( $M = F_y \cdot h$ );支撑反作用力的垂直分力  $F_z$  产生绕人体重心向后翻转的力矩( $M' = F_z \cdot L$ )。人体由缓冲阶段向蹬伸阶段的过渡,实际上是人体重心围绕足支点的向前转动,此时力矩  $M > M'$ 。同时人体又必须依靠上肢的摆臂、躯干的扭转以及摆腿动作,才能保持动态平衡和迅速位移。

(2)必要的水平阻力  $F_y$  可以维持人体平衡:参阅图 4-8 短跑运动员蹬地力在水平面内(xy 平面)的矢量图,可看到在缓冲阶段支撑反作用力的合力是从人体重心的后下方通过的。因此,在缓冲阶段人体受到的  $F_y$  水平分力(阻力)是必然的,否则人体在  $F_z$  分力产生力矩的作用下会向后倾倒,因此在理论上要求摆动腿的鞭打动作完全消除  $F_y$  水平阻力是不符合实际情况的。

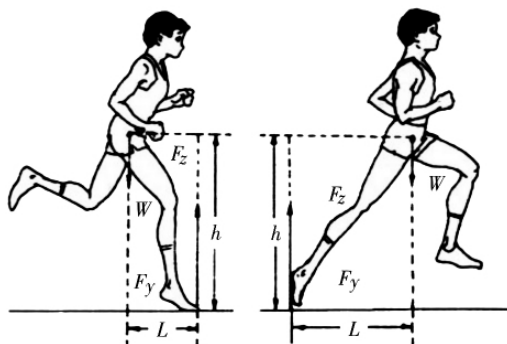


图 4-12 途中跑力矩示意图

图 4-12 字母说明:  $F_y$ 、 $F_z$  分别是地面支撑力在水平方向、垂直方向的分力;  $h$  为人体重心高度;  $L$  为人体重心垂线与着地点的水平距离;  $W$  为人体重力。

### 2. 蹬伸阶段力矩分析

参阅图 4-12 右图,它表现的是人体重心投影点位于支撑点前方时的情况。此时水平分力  $F_y$  是跑动的动力,垂直分力  $F_z$  使人体产生竖直方向的加速运动。同时水平分力

$F_y$  使人体产生向后翻转的力矩,垂直分力  $F_z$  使人体产生向前翻转的力矩,这两个力矩在躯干及上肢动作配合下,维持着人体动态平衡和向前运动。也就是说,在蹬伸阶段,支撑腿除了支撑人体维持平衡外,更重要的是能产生后蹬力,增加蹬地效果。

### 第三节 跳的运动技术分析

跳的目的是为了使身体在空间产生位移,但不同的项目追求位移的方式各有区别,其中:跳远、三级跳追求最大远度;跳高、撑竿跳高追求最大的高度;体操跳马同时追求远度及高度。

不同项目对位移的测量方式也有区别。依据竞赛规则:跳远测量起跳板前沿至运动员落地后最近触地点的距离。因此要求运动员的着地动作要在身体不后倒的情况下尽可能远地前伸两腿;跳高测量地面至横杆的高度,因此要求运动员使身体越过的横杆高度接近或超过身体重心所达到的最大高度;跳马要求的高度和远度,是为了保证有足够的腾空时间和空间以便完成空中动作,并给人以感官上的美感。

各项跳跃有其共同的规律与原理,本节先讨论跳跃动作中具有共性的力学原理及主要技术环节,再以田径中的跳远和跳高为例进行讨论。

#### 一、跳的力学原理及主要技术环节分析

跳跃动作属于典型的斜抛运动。运动员身体在助跑和起跳动作的作用下,使身体获得一定的抛射初速度和抛射角度,通过腾空动作使身体达到需要的水平远度( $s$ )或垂直高度( $H$ )。参阅图 4-13 斜抛运动示意图。

图中所示运动员身体总质心腾空远度  $S$  和高度  $H$  由下式确定:

$$s = \frac{v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha + v_0 \cos \alpha \sqrt{v_0^2 \sin^2 \alpha + 2gh}}{g}$$

$$H = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

字母意义说明:  $v_0$  为腾起的初速度,  $\alpha$  是腾起角(即起跳离地瞬间初速度方向与水平线的夹角),  $g$  为重力加速度,  $h$  为离地和落地时刻总质心的高度差。

由公式可知:

远度  $s$  取决于  $v_0$ 、 $\alpha$  和  $h$  三个因素,而其中  $v_0$  和  $\alpha$  的影响尤为显著;

高度  $H$  仅取决于  $v_0$  和  $\alpha$  两个因素;

总质心的初速度  $v_0$  产生于起跳前的准备动作和起跳动作。

通常把跳跃动作过程分为:起跳前的准备(包括助跑、助跑与起跳的衔接)、起跳、腾空和落地缓冲四个技术环节。

#### (一) 助跑

助跑的作用是在起跳前根据不同项目的目标给予人体适宜的水平速度。它对后续起跳动作产生影响。

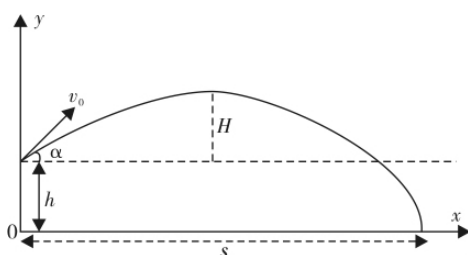


图 4—13 斜抛运动示意图

●对起跳初速的影响:助跑速度越快,起跳时腾起初速度就越大。

●对踏跳时间的影响:助跑速度越快,起跳时间就越短。例如:跳高的起跳时间平均约为 0.18 秒;跳远平均约为 0.12 秒;百米途中跑平均支撑时间约为 0.1 秒。运动员在这样短的起跳时间里完成缓冲和充分向上蹬伸的动作,因此,踏跳动作就要求运动员具备足够强的起跳能力,否则不可能获得较大的腾起角。

●对起跳角度的影响:助跑速度越快,腾起角就越小。为了保证有足够大有起跳角,运动员并不都是采用全速助跑。不同的项目有其特有的助跑速度范围的要求,例如跳高的起跳角要比跳远大,因此跳高的助跑速度就要比跳远小。

●对腿部肌力的影响:较大的助跑速度有利于在起跳的缓冲阶段更多地将一部分水平动能转化为肌肉的弹性势能,为增大蹬地力创造更好的条件。

小结:跳跃项目的助跑速度总比运动员本身所能达到的极限速度低,说明助跑速度存在很大的潜力可以挖掘。但是这种潜力的利用是以提高运动员起跳能力为前提条件的。也就是说,运动员的起跳能力越强,利用助跑速度的能力才越强,如果盲目地加大助跑速度,则会使运动员跳不起来(不能获得应有的起跳角)。

## (二)助跑与起跳的衔接

助跑与起跳的衔接是跳跃完整技术中十分重要的环节,它起着承前启后的作用,同时对正确地完成动作,提高跳跃效果具有直接影响。

### ●助跑与起跳衔接动作特征

◎步频加快:最后的二至四步,需要加快步频以便与踏跳动作的速度相适应。

◎重心降低:最后的二至四步,需要适当降低重心为踏跳的缓冲动作做准备。

### ●降低重心的作用

◎增大起跳垂直初速度和腾起角:降低重心可使起跳具有更大的向上蹬伸空间,有利于增大起跳力的垂直冲量,从而增大起跳垂直初速度和腾起角。

◎增大垂直运动距离:重心的下降可使起跳着地缓冲时人体重心处于较低位置,从而在起跳蹬伸阶段获得较大垂直距离,加大了工作距离。

## (三)起跳

起跳是跳跃技术中的关键环节,可进一步划分分为着地、缓冲和蹬伸三个更细的技术环节。

### ●起跳实现了速度重新分配

起跳时应充分利用助跑所获得的速度,在较短的时间里创造尽可能大的腾起角,以及获得适宜的动量矩。这里并没有强调创造尽可能大的腾起初速度,是因为腾起速度来源于助跑速度,而起跳过程是将部分水平速度转化为垂直速度的过程。

### ●起跳作用力使水平速度减少、垂直速度增加

参阅示意图 4—14 跳跃动力曲线。在起跳过程中,人体在水平方向受到的力大部分是向后的阻力(即与跳跃方向相反的力),这个力使人体水平运动速度降低;而在垂直方向受到的力则是向上的地面反作用力,这个力使人体向上的运动速度增加。因此,不论是跳高还是跳远的起跳动作,人体的运动速度均表现为:水平速度下降;垂直速度增加。

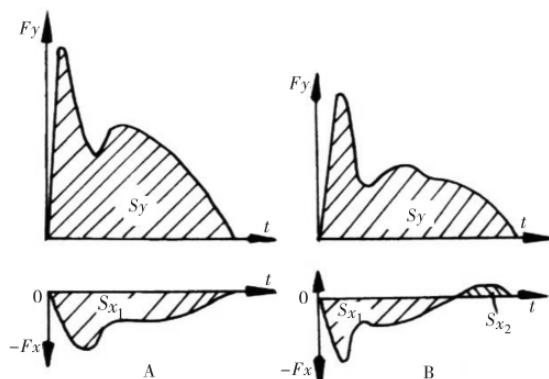


图 4—14 跳跃动力曲线

图 4—14 说明:左侧图(A)是跳高踏跳时的动力曲线;右侧图(B)是跳远踏跳时的动力曲线。上两图代表垂直力( $F_y$ );下两图代表水平力( $F_x$ )。横坐标是完成动作的时间( $t$ )。动力曲线图所围的虚线部分所表示的面积( $S_y$ 、 $S_x$ )分别代表相应力的冲量大小。

### ●提高起跳垂直速度的积极因素

在起跳这一短暂的时间里,如能将更多的水平速度有效地转化为垂直速度,那么所得到的利将大于弊。但不能消极的使用降低助跑速度的方法来换取腾起角的增大。

有研究表明:在起跳时加大质心向上升起的高度,或缩短起跳时间,均可增大质心向上腾起速度。前者“加大质心向上升起的高度”就是要加大腿部的缓冲幅度,这需要运动员有强大的腿部支撑力;后者“缩短起跳时间”需要运动员有强大的腿部爆发力。但是,这两个因素的提高,仍然是要以运动员腿部的起跳能力为前提条件。

#### 1. 增大重心上升的高度

参阅图 4—15 跳高时身体重心垂直位移示意图。有四个因素对增大重心上升高度产生影响:

(1)降低重心 在缓冲阶段起跳腿屈曲下蹲,使身体重心下降,或者在起跳前的几步助跑中使身体重心适度下降,从而增加了起跳过程中身体重心垂直位移的高度。

(2)摆动肢体 肢体的摆动可大幅度地提高身体重心高度,约为 12 厘米。

(3)伸展踝关节 起跳腿的提踵对身体重心升起高度也有重要作用。

(4)在人体重心超过垂直位置之前便开始蹬伸动作。因为当重心超过垂直位置时,由

蹬伸所引起的伸展幅度对于提高重心位置的作用,将随着重心的前移而下降。因此应在重心于垂直位置以前就开始蹬伸。这不仅在跳远是如此,跳高更是如此。

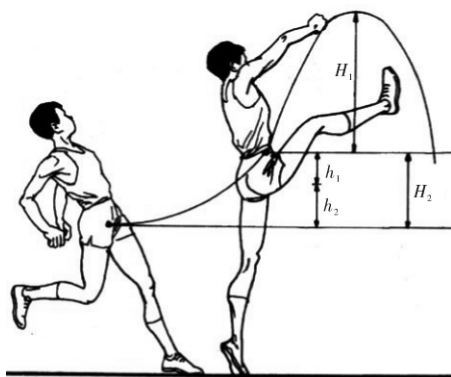


图 4-15 跳高时身体重心垂直位移示意图

图 4-15 字母意义说明:  $H_1$  表示起跳后人体重心腾空升起距离;  $H_2$  表示起跳中人体重心升起距离,它由  $h_1$  和  $h_2$  两部分组成,其中  $h_1$  表示由于肢体摆动使重心在体内相对位移的距离;  $h_2$  表示由于缓冲动作降低重心位置而在蹬伸时使重心升起的距离。

## 2. 缩短起跳时间

缩短起跳时间主要取决于运动员本身的起跳能力,即缓冲的能力和快速蹬伸的爆发力。起跳时间的缩短,增加了起跳力(当然加大了起跳腿的负荷),同时也增加了起跳力的垂直冲量,从而提高向上的垂直速度。

●举例:跳高。

◎李某两次试跳:

|      |        |        |
|------|--------|--------|
| 成绩   | 1.85 米 | 2.03 米 |
| 跳起时间 | 0.18 秒 | 0.15 秒 |

◎张某的四次试跳:

|      |        |        |        |        |
|------|--------|--------|--------|--------|
| 成绩   | 1.50 米 | 1.60 米 | 1.70 米 | 1.80 米 |
| 起跳时间 | 0.30 秒 | 0.28 秒 | 0.26 秒 | 0.22 秒 |

以上两例都具有随着起跳时间缩短,起跳高度增加的规律。但起跳时间缩短,是以提高助跑速度为前提条件的,而加大助跑速度又要求运动员必须有良好的起跳能力,否则就跳不起来。因此,提高跳跃时的起跳能力始终是被关注的根本问题。

## (四)腾空和落地

这两个技术环节对于不同的跳跃运动有不同的要求,属于各项目的特殊情况,因此这项内容放在具体项目的技术分析中讨论。

## (五)选用运动技术要素特点

从以上的分析中可以看到,跳跃运动技术所涉及的运动技术要素,较多的是运动学类

要素,其次是动力学类要素。跳跃运动虽然是一个在大范围内进行的运动,但是其主要技术环节(起跳)是在一个相对固定的位置处完成,使得动力学数据的测量具有相对方便之处。因此在技术要素的选择上,尽管仍然是以运动学类技术要素为主,但是针对起跳动作的分析,也常常将动力学类的技术要素作为另一项重要的数据。

## 二、跳远

### (一)影响跳远成绩的因素

影响跳远成绩的因素,参阅图 4-16 和图 4-17。

跳远成绩由三个分量组成:  $L = L_1 + L_2 + L_3$ 。每个分量分析如下:

◎起跳距离  $L_1$ : 身体腾起瞬间起跳板前沿与身体重心之间的水平距离。取决于运动员踏板的准确性,身材和腾起瞬间的身体姿势。

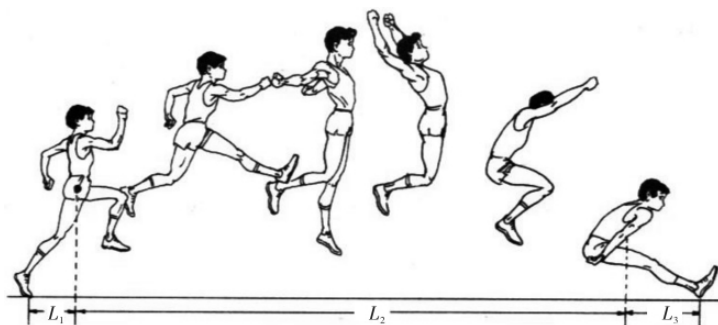


图 4-16 决定跳远成绩的基本因素示意图

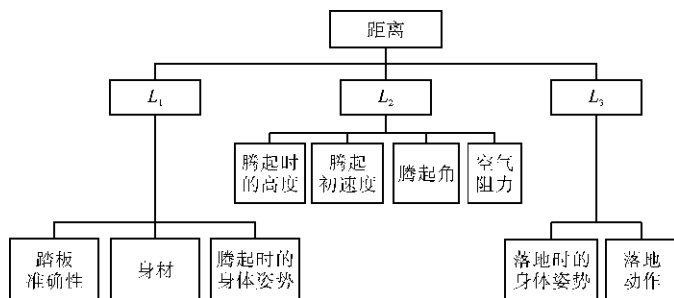


图 4-17 决定跳远成绩的基本因素分析

◎腾空距离  $L_2$ : 腾空阶段身体重心通过的水平距离。取决于腾起初速度、腾起角和空气阻力。腾起角由腾起时运动员身体质心的垂直速度与水平速度所决定。由于运动员在短暂的起跳瞬间内(0.11~0.13 秒)不可能产生很大的垂直速度,因此,腾起角远小于抛射体最大远度所要求的  $45^\circ$  理想角,而一般在  $20^\circ$  角左右。例如:比蒙的身体质心腾起角为  $24^\circ$ ,这是文献资料中所查到的最大的参数。

◎落地距离  $L_3$ : 足跟接触沙面瞬间身体重心与足迹最近点之间的水平距离。取决于着地时人体姿势及随后的落地缓冲动作。

## (二)助跑

### ●助跑速度

助跑速度与跳远成绩密切相关,但是不完全相关,还需要考虑技术上的差异。

对 1956 名男性和 1 240 名女性运动员测试材料分析说明:助跑速度是一个非常重要的因素,但随着成绩的提高,这个因素的重要性逐步减小。

对不同水平比赛约 700 次起跳的分析结果,支持上述意见。这意味着尽管助跑速度是一个决定性因素,但在同一水平级别中,成绩的差异必须解释为在技术上的差异。

苏·卡等人(1986 年)提出依据助跑速度(最后 5 米)对跳远成绩  $D$  的估计值,其中  $v$  是助跑速度。

男子关系式是: $1.3636v - 6.09 \leq D \leq 1.3636v - 5.71$ 。

女子关系式是: $1.227v - 4.93 \leq D \leq 1.227v - 4.73$ 。

### ●助跑距离

助跑距离与运动员所能达到的最高跑速有关,需要考虑运动员从静止起动到出现最高速度的位置。

运动员最高跑速大,最高速度会出现较晚,反之较早,由此决定其助跑距离的长度。统计资料表明:100 米成绩为 12 秒的女运动员的最高速度平均约在 35.5 米处出现,而优秀男运动员 100 米跑最高速度则约在 50 米左右处出现。

跳远运动员助跑的最高速度,由于受起跳、跳板等因素影响,很难达到本人 100 米最高速度,一般为本人最高速度的 95%左右。因此 100 米跑成绩约 12 秒的女运动员助跑距离为 35 米左右,优秀男运动员的助跑距离约为 40~50 米。

例如:鲍威尔的助跑距离为 50.64 米(22 步);刘易斯的助跑距离为 51.3 米(23 步)。

## (三)助跑与起跳的衔接

是整个助跑技术的关键环节,可从步频、步长、重心等三个要素的变化进行讨论。

### ●步频变化

最后几步的助跑技术,优秀运动员主要表现为两种技术特征:

其一,步长相对缩短,步频明显加快,形成一种快节奏进入起跳的助跑技术特征。

其二,步长相对稳定,加快步频,形成快速上板的技术特征。

目前,世界优秀运动员大都采用后一种,这种衔接技术有利于保持和发挥最高助跑速度,最后几步呈加速状态,使助跑和起跳的衔接更加紧密。鲍威尔和刘易斯在 1991 年东京第 3 届世界锦标赛上创造世界纪录和最高成绩时,均表现出最后几步加速上板的特点。参阅表 4-4 跳远在最后 10 米助跑速度变化(依伊藤)。

表 4-4 跳远在最后 10 米助跑速度变化 (依伊藤)

| 姓名  | 成绩     | 起跳前 1~6 米  | 起跳前 6~10 米 | 风速       |
|-----|--------|------------|------------|----------|
| 鲍威尔 | 8.95 米 | 10.94(米/秒) | 10.79(米/秒) | 0.3(米/秒) |
|     | 8.54 米 | 10.70(米/秒) | 10.57(米/秒) | 0.4(米/秒) |

| 姓名  | 成绩               | 起跳前 1~6 米                | 起跳前 6~10 米               | 风速                    |
|-----|------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|
| 刘易斯 | 8.91 米<br>8.81 米 | 11.26(米/秒)<br>11.21(米/秒) | 11.23(米/秒)<br>11.18(米/秒) | 2.6(米/秒)<br>-0.2(米/秒) |

### ●步长变化

传统理论认为,助跑最后三步步长应为“中、大、小”特征:最后第三步的步长为中,最后第二步为大,最后一步为小。

例 1:鲍威尔跳 8.95 米时,最后第三步至最后一步的步长分别为 2.42 米、2.52 米和 2.25 米;刘易斯跳 8.91 米时,最后三步步长分别为 2.50 米、2.67 米和 2.39 米。实践表明,优秀运动员助跑最后几步的步长,与运动员的身体机能特点和助跑技术特点有密切关系,并存在着明显的个体差异。

例 2:比蒙在创造 8.90 米的世界纪录时,其最后两步的步长分别为 2.40 米和 2.57 米,最后一步步长最大,而有些运动员的最后几步步长几乎没有变化。因此,最后几步的步长体现的是运动员的特点,不能强求用统一的模式去完成最后几步助跑。

### ●重心变化

助跑的最后几步为起跳的准备阶段,是进行快速起跳非常重要的阶段。为了完成理想的起跳技术,此时身体重心应适度地下降,以便为起跳作充分准备。如果把助跑最后第三步离地时身体重心高度作为 100%的话,那么最后第二步时重心下降约 7%,最后一步起跳脚着地时重心则下降了 10%。

## (四)起跳

起跳技术仍可划分为更细的三个技术环节:起跳脚的着地、缓冲、蹬伸。

### 1. 起跳脚着地(即着板)

●动作特征:起跳脚应积极主动着地。这既可减小着地时的冲撞力,又为着地时快速前移身体作准备。

●下肢关节角度:起跳脚着地时,足跟与足掌几乎同时接触地面。着地瞬间,上体与水平线角度为  $90^{\circ}\sim 107^{\circ}$ ,小腿与地面的夹角约为  $65^{\circ}$ ,膝关节为  $175^{\circ}\sim 178^{\circ}$ 。

### 2. 缓冲

起跳脚着地至膝关节的弯曲程度达到最大时,这一动作过程为缓冲阶段。

●缓冲的作用:主要在于减缓起跳的制动力,减小助跑速度的损失,积极前移身体,为蹬伸创造有利条件。同时,蹬伸肌群得以快速充分拉长,将部分水平动能转化为肌肉的弹性势能。

●膝关节:缓冲动作主要由膝关节完成,优秀运动员起跳最大缓冲时的膝关节角度为  $138^{\circ}\sim 145^{\circ}$ 。

研究表明,随着训练水平的提高和起跳技术的完善,着地缓冲时,膝关节的弯曲度趋于减小。由于膝关节的弯曲度越大,起跳时间也就越长,这不利于完成爆发式的蹬伸动作。因此,要提高起跳效果,增大腾起初速度,首先要提高运动员抗缓冲的能力。

### 3. 蹬伸

蹬伸阶段是由起跳腿膝关节最大弯曲时始,至起跳腿蹬离地面瞬间止。起跳蹬伸时

的技术特征表现如下:

●**身体姿态:**整个身体快速向上伸展,起跳腿的髋、膝、踝各关节要充分伸展。上体和头部保持正直,摆动腿大腿摆至水平或高于水平部位,小腿自然下垂。双臂由后向前摆起,肩、腰向上提起。优秀运动员的蹬地角为  $75^\circ$  左右。

●**肌力利用:**要充分利用肌肉弹性,发挥肌肉的收缩力,创造最大的起跳爆发力。

●**动作速度:**起跳蹬伸的速度和方向直接影响腾起初速度的大小和方向。蹬伸动作越快越充分,腾起初速度和腾起角度则越大,跳远成绩越好。

#### 4. 助跑、起跳与跳远成绩的关系

在起跳过程中产生的垂直速度,使身体质心的运动发生变化。根据跳远成绩与助跑速度方程:  $L = 0.021v^2 + 0.725v - 1.65 \pm 0.38$ , 单位(米)。例如:在助跑速度  $v$  为  $9 \sim 11$  米/秒时,跳远成绩  $L$  为  $6.56 \sim 8.84$  米,身体腾起角为  $21.6^\circ \pm 3.1^\circ$ 。

#### 5. 起跳时各力学量分析

在起跳的过程中,人体在起跳力、重力和肌张力等内外力的作用下,身体质心的动力学和运动学特征将发生一系列的变化。

##### ●起跳力冲量对速度的影响

参阅图 4-18 和图 4-19。

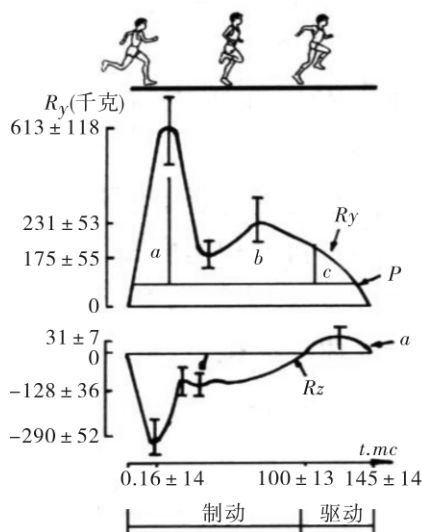


图 4-18 跳远起跳力及冲量示意图

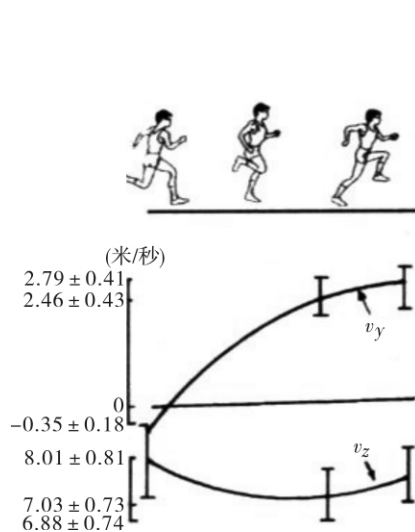


图 4-19 跳远起跳时重心速度变化

◎**垂直力冲量** ( $R_y = 117.0 \pm 44.7$  牛顿·秒),使身体重心垂直方向速度 ( $v_y$ ) 增加,达到起跳结束时腾起速度的  $87\%$ 。在该阶段身体重心升高  $10.4 \pm 2.5$  厘米,整个起跳阶段身体重心垂直位移为  $22.3 \pm 4.0$  厘米。

◎**水平力冲量** ( $R_x = 82.6 \pm 22.9$  牛顿·秒),使身体水平速度 ( $v_x$ ) 损失  $1.15 \pm 0.25$  米/秒,制动行程为  $73.7 \pm 10.7$  厘米(而起跳过程中身体总水平位移为  $105.6 \pm 11.8$  厘米)。

##### ●起跳过程能量变化

参阅图 4-20。动能损失  $398 \pm 150$  焦耳,势能增加了  $83 \pm 22$  焦耳。人体质心起跳前的机械能(几乎完全是水平动能)经过起跳以后,一部分转化为重力势能,但总的机械能

和动能是减少了。这说明起跳过程中伴随着能量的损失,腾起速度小于起跳前的助跑速度。研究表明,起跳后的速度损失将随腾起角的增大而增大。

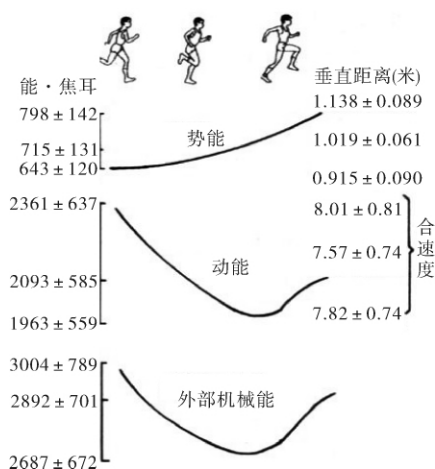


图 4-20 跳远起跳时身体能量变化

### ● 跳远效率

跳远效率是指“重心腾空远度/起跳前助跑速度”之比。有人研究跳远效率与起跳过程速度损失  $\Delta v$  (米/秒)、腾起角  $\alpha$  之间的关系,试图说明为了“增加腾起角而牺牲速度”是必要的举措。

魏文仪等(1997)利用国内外 21 名优秀跳远运动员有关起跳的运动学数据,分析了跳远效率  $\eta$  (运动员腾起离地至落地时身体重心所飞行的远度与起跳前助跑速度之比)、起跳时的速度损失  $\Delta v$  (米/秒)、腾起角  $\alpha$  三者之间的关系。

#### ◎ 跳远效率 $\eta$ 讨论

$$\textcircled{1} \eta = 0.7197 - 0.0252\Delta v \quad (r = 0.23, \text{方程无显著意义}, P < 0.10)$$

说明单纯的降低助跑速度(速度损失  $\Delta v$ )对跳远效率影响不大。

$$\textcircled{2} \eta = 0.4823 + 0.0107\alpha \quad (r = 0.65, \text{方程有显著意义}, P < 0.01)$$

说明在具有一定助跑速度的情况下,提高起跳角  $\alpha$  对提高跳远效率有影响。

$$\textcircled{3} \eta = 0.4468 - 0.0634\Delta v + 0.0153\alpha \quad (r = 0.86, \text{方程有显著意义}, P < 0.01)$$

腾起角增大:从  $18^\circ$  到  $24^\circ$ ,效率提高 0.092,能增加远度约 92 厘米;

速度损失:从 1.5 米/秒下降到 0.8 米/秒,效率提高 0.044,仅能增加远度约 44 厘米。

说明:增大起跳角和跑速都能提高跳远的效率。但是增大起跳角与增大跑速是互为矛盾的,如果要增大起跳角必然需要降低跑速为代价。跳远效率随速度损失增大而下降,随腾起角的增大而提高。但是上面数据表明,增大腾起角所获得的跳远效率大于因速度损失而失去的效率。

#### ◎ 小结

在起跳过程中,以损失一定的速度来换取腾起角的增大是“失少而得多”的举措。这也表明,提高运动员的起跳能力是提高跳远成绩至关重要的手段。

### (五)空中动作

空中动作阶段:起跳离地后,人体向空中腾起到触地为止,并在空中完成各种动作的过程为空中动作阶段。

跳远的空中动作主要需要考虑动量矩对空中动作的影响。跳远起跳,会产生使身体向前翻转的动量矩,因此空中动作就要设法减小身体向前翻转,保持身体在空中的平衡,最大限度地利用身体重心抛物线轨迹,把两腿充分地向前方伸出,为合理落地做好准备。

起跳后产生的身体向前翻转的动量矩,与起跳力对身体质心的力矩有密切关系,它的大小是由空中姿势所要求的起跳姿势决定的。据研究计算:

○蹲踞式:所对应的起跳姿势可产生动量矩约为  $0.44(\text{千克力} \cdot \text{米} \cdot \text{秒})$ ;

○挺身式:所对应的起跳姿势可产生动量矩约为  $1.20(\text{千克力} \cdot \text{米} \cdot \text{秒})$ ;

○走步式:所对应的起跳姿势可产生动量矩约为  $1.80(\text{千克力} \cdot \text{米} \cdot \text{秒})$ 。

动量矩越大,技术难度也越大,对运动员的身体素质要求也越高。因此,优秀男子跳远运动员大都采用走步式;女子运动员大都采用挺身式的空中动作;而蹲踞式仅在业余选手中可以看到。

### (六)落地

◎落点:从起跳脚离地后,运动员身体重心抛物线轨迹就已经决定。在足跟着地瞬间,人体重心此时虽然在足跟着地点的后上方,但是重心抛物线轨迹延长线与沙面的交点(称为抛物线落点),一般仍然会在足跟着地点的前面。因此,减小足跟落点与重心抛物线落点之间的距离是落地技术的主要任务之一。

◎良好的空中动作是合理落地的基础:落地前,双臂快速向下肢方向摆动(做相向运动),这有利于双腿向上抬起并向前方伸出,着地前尽量减小双腿与地面的夹角,以便于足的着地点更靠近抛物线落点,增加跳跃的距离。有些运动员(如鲍威尔)为了更好地前伸双腿,甚至采取了上体稍后仰的动作。

◎向身体的侧方向倒地:有运动员为了避免落地产生的前阻力造成后倒,而采用主动向身体一侧方向的倒地动作。

## 三、跳高

跳高经历过很多过杆姿势,不同的过杆姿势又带来完全不同的助跑姿势。先后有跨越式(斜面直线助跑)、剪式(正面直线助跑)、滚式(斜面直线助跑)、俯卧式(斜面直线助跑),直到今天广泛采用的背越式(斜面弧线助跑)。本节主要讨论背越式。

### (一)影响跳高成绩的因素

运动员的跳高成绩由三个分量组成:腾起瞬间身体重心高度( $H_1$ )、重心腾起高度( $H_2$ )、重心与横杆的距离( $H_3$ )。它们占跳高成绩的百分数情况: $H_1$  约为 67.5%、 $H_2$  约为 36.6%、 $H_3$  约为 4.1%。各分量的影响因素及它们之间的关系,参阅图 4-21、图 4-22。

过杆时,如果人体重心在横杆之上,则  $H_3$  为负值;如果人体重心在横杆之下时,则

$H_3$  为正值。跳高成绩计算公式为： $H = H_1 + H_2 \mp H_3$ 。

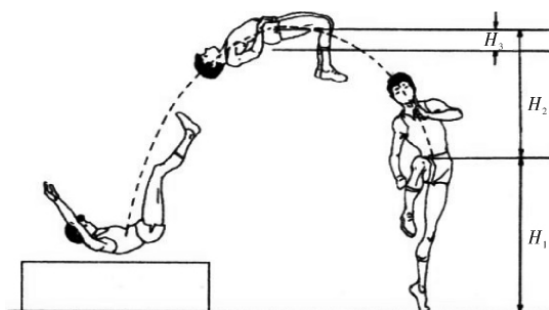


图 4-21 决定跳高成绩的因素示意图

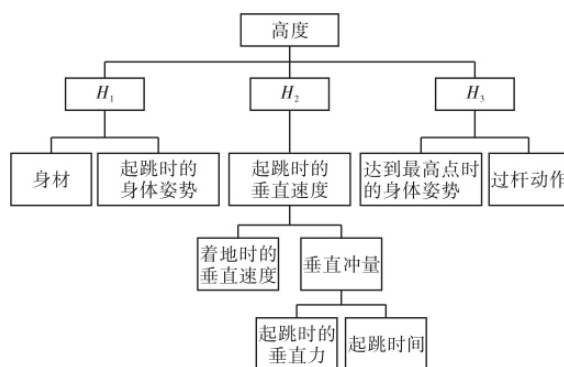


图 4-22 决定跳高成绩的因素示意图

## (二)助跑

背越式跳高采用弧线助跑。弧线助跑形成的身体内倾姿势对背越式跳高有着十分重要的意义。

### 1. 内倾姿势对形成正确起跳的作用

●有助于延长蹬伸距离:由助跑过渡到起跳阶段,如果运动员起跳腿支撑时的屈膝程度相同,那么内倾状态使身体重心下降的程度要比竖直状态时大。可以认为,在运动员用力相等的情况下,这有助于获得较大的起跳蹬伸工作距离。反言之,如工作距离相等,则在内倾状态下膝关节弯曲的程度就相对减小,它为缩短起跳时间创造了条件。

●有助于控制用力方向:从内倾状态进入起跳支撑,在地面支撑反作用力和离心力的作用下,能使身体自然竖直,这样可以把起跳的偏心推力控制在最小的范围内,有利于起跳时向垂直方向运动的效果。同时,也相应的获得了绕人体矢状轴(即大致与横杆方向相一致)的角动量。

●有助于获得身体动量矩:弧线助跑时,运动员的身体逐渐转向侧对横杆状态,最后从内倾姿势进入起跳,形成肩轴和髋轴的反向扭转。这不但充分伸展了摆动腿的屈髋肌群,使摆动更加有力,而且有利于产生人体围绕纵轴旋转。这样,在腾空后能使身体自然地转向形成背对横杆姿势。

### 2. 弧线助跑要考虑的问题

●注意弧线的合理性:弧线助跑是形成背向越杆的需要,也是产生高效率起跳的重要

条件。然而,为了更好地发挥弧线助跑的作用,还要注意助跑弧线的合理性,具体包括弧线的弯曲度、形状等。

●要考虑到个人的技术特点和助跑速度:速度快的运动员,弧线曲率则要大些,反之,要小一些。再结合考虑步长和步频等因素,每一个运动员都应该有各自合适的助跑曲线。助跑最后一步,两脚的连线与横杆约成 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 角。

●弧线的长度:背越式跳高的助跑大多采用8~12步或9~13步,距离最长的可达30米左右,目的是为了获得较大的水平速度。

### (三)助跑与起跳的衔接

●最后三步技术要点:背越式跳高应该从助跑的最后三步,甚至从进入弧线段开始就要有准备起跳的意识,这体现在助跑的积极加速和向起跳点的迅速跑进。到最后第二步,摆动腿着地时积极下压扒地,在脚内侧的牢固支撑下,迅速前移身体重心,当重心与支撑点的连线处于垂直状态时,身体内倾和膝关节弯曲达到最大限度。

●起跳的蹬摆技术要点:为了进一步加速前移身体重心,摆动腿应有力地蹬伸,并充分地伸展踝关节,推动髋部和躯干大幅度快速前移。在摆动腿蹬离地面瞬间,其膝关节约成 $150^{\circ}\sim 160^{\circ}$ ,蹬伸幅度约在 $50^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 范围。摆动腿这一积极主动的动作,对起跳腿迅速踏上起跳点和起跳时身体迅速地由内倾变为竖直,有着十分重要的意义。它能使身体在保持内倾状态下进入起跳,防止身体过早地竖直和倒向横杆,使身体快速大幅度前移,防止出现臀部下坐和摆动腿支撑无力的现象。

### (四)起跳

起跳是跳高技术的关键环节。

#### 1. 技术要点

●起跳的任务:迅速变更人体的运动方向,获得尽可能大的垂直速度,获得一定的动量矩,保证过杆动作的顺利完成。

●腿部运动技术要点:助跑最后一步,当摆动腿越过支撑点且身体成垂直状态瞬间,起跳腿积极踏向起跳点,此时要依靠摆动腿的有力蹬伸,保持身体内倾姿势向前送髋和前移躯干,并使起跳腿一侧的髋超越摆动腿一侧的髋,以及保持肩轴几乎与横杆垂直的位置,形成肩轴与髋轴的扭紧状态。接着,起跳腿以大腿带动小腿积极下压做向下的扒地动作。着地时以起跳脚的外侧跟部接触地面,继而通过脚外侧滚动至全脚掌,脚尖朝向弧线的切线方向,随着身体由内倾转为垂直,迅速地缓冲和蹬伸动作。蹬伸动作依次由髋、膝、踝顺序用力。蹬伸结束时,三关节充分蹬直。在这过程中,运动员具有一种顺势起跳的感觉。即借助于弧线助跑和身体由内倾转为竖直的作用,提高起跳的向上效果。

●摆动运动技术要点:在起跳过程中,摆动腿和两臂应协调配合。由于摆动会产生惯性力,其大小受摆动幅度和摆动速度的影响,因此应根据运动员起跳腿肌肉力量素质的状况选择合适的摆动方式。

#### 2. 起跳时间

●起跳时间与起跳姿势有关。

背越式 I 型:两臂依次摆动,摆动腿屈膝摆为 I 型。其起跳时间为 0.120~0.200 秒,时间较短。

背越式 II 型:两臂同时摆,摆动腿直腿摆为 II 型。其起跳时间为 0.170~0.230 秒,时间较长。

注:严格意义上的 I 型或 II 型在实际应用中很少见,大多数情况均为偏向 I 型或 II 型的混合方式。

●起跳时间与运动员的肌肉成分有关。

白肌纤维占优势的运动员起跳时间短,红肌纤维占优势的运动员起跳时间长。

●起跳时间与跳高成绩相关不明显。

也就是说起跳时间较短的运动员和起跳时间较长的运动员都有可能取得较好的成绩。

●依据肌肉类型选择起跳时间(姿势)。

依据运动员肌肉成分的不同特点而采用相应的起跳姿势,能够提高运动成绩。

实验证实:快肌多的运动员采用 I 型起跳技术,慢肌多的运动员采用 II 型起跳技术,其技术效果明显。实验组的成绩提高 12.3 厘米,而对照组的成绩只提高了 4 厘米。

#### (五)过杆技术

过杆是最终决定跳跃成败的重要环节。

●把握过杆的力学规律:人体在空中将遵循动量矩守恒定律,因此可以利用相向运动原理,有序、及时地产生各环节的相向运动,使身体各部依次顺利地越过横杆。采用合理的杆上姿势,使身体重心尽可能靠近横杆,甚至在横杆以下。要求躯干和肢体尽可能靠近身体重心的运动轨迹(即以重心为圆心,身体分布在圆心周围)。任何多余动作都会增加碰杆机会,导致过杆失败。

●上杆运动技术要点:上杆应连贯和富有节奏感,起跳离地以后,保持住较伸展的姿势向上腾起,并在摆动腿和同侧臂的带动下,加速围绕身体纵轴旋转。这时,采取较伸展的身体姿势,有助于减缓绕身体矢状轴转动的角速度,防止身体过早地倾向横杆。随后以摆动腿的同侧臂和肩为先导,顺着身体重心的运动方向攻上横杆。同时借助于摆动腿上摆的力量,提高髋部的位置。

●杆上运动技术要点:当头和肩越过横杆后,及时仰头、倒肩和展体,积极挺髋,两小腿稍后收,形成身体背弓姿势。这时两臂置于体侧,有助于缩短绕身体额状轴的转动惯量,加快身体在杆上的转动。当身体重心移过横杆时,及时地含胸收腹,控制上体继续下旋,并以髋部发力,带动大腿和小腿加速向后上方甩腿,使整个上体脱离横杆。

●动作速度与过杆姿势:运动员应根据自己助跑速度的快慢和起跳后相对于横杆位移的速度,确定适宜的背弓程度。通常背弓越大,完成动作的时间越长。过杆速度较快的运动员,就不宜采用大背弓的过杆方法,而应采用高摆腿和积极倒肩的方法,这样能取得更好的过杆效果。

#### (六)落坑技术

●避免头颈部受伤:向后上方甩腿之后,保持“伸膝屈髋”的姿势下落,以背部先落坑,

并做好缓冲。

●避免两腿撞击脸部受伤:不可做过大的“屈膝屈髋”动作,两腿应适当分开。

## 第四节 投掷运动技术分析

投掷动作在很多体育运动项目中都有表现。如田径项目中的投掷铅球、链球、铁饼、标枪等,球类项目里也有许多与投掷相关的动作。本节仅讨论田径中的投掷技术。

投掷的动作目的:以助跑(或滑步、旋转、上步)等动作开始,通过从下肢、躯干、手臂依序对器械施力,使器械获得最佳的抛射初始条件,达到将器械投得最远的目的。田径项目中投掷的器械大体可分为两类:

●受空气影响较小的项目:如铅球、链球等。这类项目的器械可简化为质点。

●不能忽略空气影响的项目:如标枪、铁饼等。这类项目的器械必须考虑器械的姿态及其空气动力特性。

### 一、影响投掷距离的因素

参阅图 4-23 和图 4-24。影响投掷距离的要素,是由器械出手前距离和出手后飞行距离构成的。

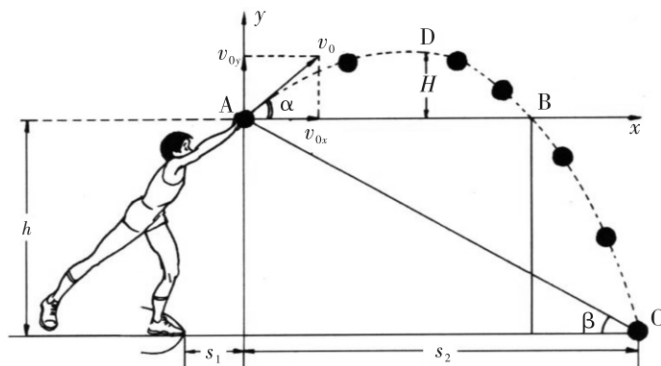


图 4-23 推铅球距离示意图

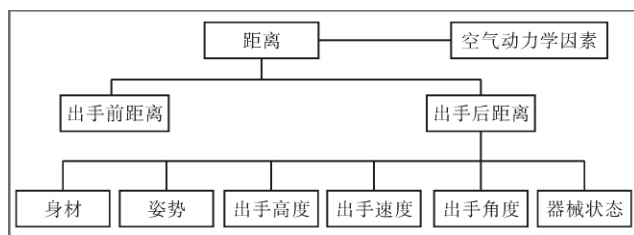


图 4-24 影响投掷距离的因素示意图

◎出手前距离:是由运动员身材和出手前的姿势决定的。

◎出手后距离:对于铅球、链球类,主要是由出手高度、出手速度和出手角度三个因素决定的。对于标枪、铁饼类,还需要增加考虑空气动力学因素。

●选用运动技术要素特点

从以上对影响投掷运动成绩因素的分析中可以看到,投掷运动技术所涉及的运动技术要素,主要是运动学类要素,其次是动力学类要素。从运动范围来看,投掷运动有在较大范围内完成的,如标枪;也有在较小范围内完成的,如铅球、铁饼等。对于后一种情况,动力学数据的测量具有相对方便之处。因此在技术要素的选择上,尽管仍然是以运动学类技术要素为主,也常常将动力学类的技术要素作为重要的辅助数据。

此外,由于标枪、铁饼等项目的运动成绩受空气动力学因素的影响较大,而投掷技术动作、器械的飞行姿态又决定了空气动力学因素影响状况。因此,投掷技术动作与器械飞行姿态、空气动力因素之间的关系,是这类项目需要重点考虑的技术要素。

本节主要以投掷标枪运动技术为例,介绍其运动技术特点。

## 二、投掷标枪技术

投掷标枪技术由握枪、助跑、投掷步、最后用力、缓冲五个技术环节组成。

预备知识:为了描述标枪在飞行过程中的姿态,专门定义了标枪在飞行过程中的三个角度:投掷角、迎角(又称攻角或冲击角)、姿态角。参阅图4-25。

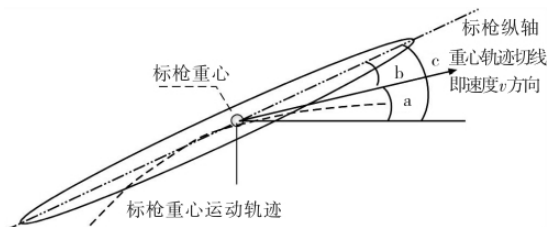


图4-25 标枪飞行中角度定义示意图

◎投掷角(a):标枪出手瞬间其重心运动轨迹切线和水平线的夹角。

◎迎角(b,攻角、冲击角):标枪重心运动轨迹切线和标枪纵轴的夹角。

◎姿态角(c):标枪纵轴和水平线夹角。姿态角=投掷角和迎角的代数和( $c=a+b$ )。当姿态角等于投掷角时,迎角就等于零;当姿态角小于投掷角时,迎角为负角。

本节重点介绍标枪技术分析、标枪空气动力分析这两部分内容。其中标枪技术分析的重点放在最后用力,并以右手投掷为例进行分析。

### (一)标枪技术分析

#### 1. 握枪

●研究资料:学者班克黑德和索尔森对标枪四种握法在最后用力阶段所产生的力和速度进行测试,没有发现具有统计学意义的差别。

●握枪依习惯而定:标枪的握枪有多种握法,各种握法都投出过好成绩,因此每种握持法都有一定的道理。所以,标枪的握枪方式主要是按个人习惯,本着自身感觉握得自然并能发挥出肌力为好。

#### 2. 助跑+投掷步

●“助跑+投掷步”影响运动成绩

原地投掷标枪的成绩为  $34.98 \pm 2.96$  米时,如改为用“助跑+投掷步”投掷标枪时,其

成绩可提高到  $59.30 \pm 6.07$  米,增加的远度占助跑投掷成绩的 41.02%。在所有的投掷项目中,无一例外都是助跑比不助跑的投掷成绩要好。

#### ●助跑的目的是获得较大初速度

助跑使人体和器械同时获得了一个初速度,这个初速度和投掷速度可以叠加,从而提高了投掷器械的出手速度。

#### ●投掷步的力学特点是延长工作距离

投掷步是指助跑后段采用的“交叉步并向后引枪”动作,即“超越器械”动作(运动员在最后用力前,人体在器械的前面的动作)。这个动作可以增大用力的工作距离,拉长肌肉积累弹性势能。在最后用力阶段使器械获得较大出手速度。

#### ●“助跑+投掷步”的速度

速度不是越快越好,而是采用可控速度。可控速度是指运动员投掷步接最后用力阶段时能够做到不紧张,动作轻松自然、协调有力。

从国际级的优秀标枪运动员的技术看,大多采用的是可控速度。所以提倡助跑投掷步阶段要用适合自己投掷能力的可控速度,不能单纯追求快速助跑。

#### 3. 最后用力+缓冲

投掷标枪的最后用力阶段是关键技术。以下结合我国女子标枪优秀运动员(成绩在 58.16~65.50 米之间)最后用力技术的运动学实验数据进行讨论。

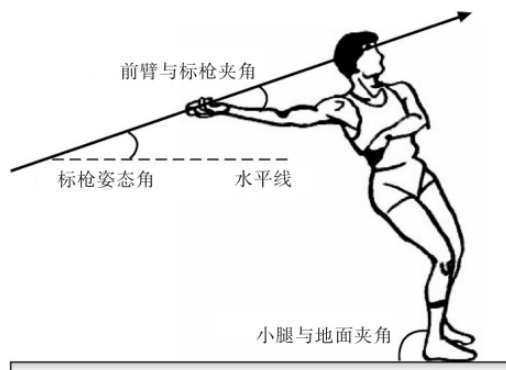


图 4-26 投掷标枪时有关角度示意图

#### ●关节角度讨论

为描述投掷时的动作姿态,特定义了人体在最后用力阶段几个重要角度,参阅图 4-26。

为了解这些角度的基本大小,通过实测得到运动员的四个主要角度供参考,参阅表 4-5 投掷标枪有关的角度。

表 4-5 投掷标枪有关的角度

|           | 进入最后用力阶段 |         |        |          | 出手时刻  |          |
|-----------|----------|---------|--------|----------|-------|----------|
|           | 标枪姿态角    | 前臂与标枪夹角 | 肘关节角   | 右小腿与地面夹角 | 投掷角   | 出手时标枪姿态角 |
| $\bar{X}$ | 36.47    | 28.43   | 157.71 | 80.87    | 37.86 | 35.71    |
| $S_x$     | 5.95     | 3.65    | 13.51  | 8.91     | 1.46  | 5.06     |

说明:出手时刻的投掷角略大于姿态角,此时标枪的迎角很小(甚至为负数),这说明标枪在出手时投掷角与姿态角基本上是相一致的,即顺着标枪长轴方向用力。

◎小腿与地面夹角:研究资料表明,右脚着地时小腿和地面的夹角一般在  $75^{\circ}\sim 85^{\circ}$ 。我国运动员实测值是  $80.87^{\circ}$ ,落在正常值范围内。

影响因素:投掷步的速度、右腿伸出的远度。①投掷步速度慢,伸得远,角度相对较小,此时制动大,动作停顿脱节,助跑前功尽弃;②投掷步速度快,伸得近,角度相对较大,此时如果超越器械动作不好,就会缩短最后用力距离。

◎肘关节角:由于持枪动作因人而异,故在持枪臂的肩、肘关节角度和标枪姿态角有所不同。一般注意持枪臂的肩、肘关节伸肌不可过分用力,以免给后面屈肘动作带来不必要的对抗,肘关节角度约为  $160^{\circ}$ 。

◎投掷角、姿态角、前臂与标枪夹角:研究表明,女子标枪出手投掷角约为  $39^{\circ}$ ;标枪的姿态角在  $30^{\circ}$ 左右;前臂和标枪的夹角在  $30^{\circ}$ 以下,如果此角过大会缩短最后用力距离。

我国运动员实测的投掷角  $37.86^{\circ}$ 、姿态角  $35.71^{\circ}$ 、前臂与标枪的夹角是  $28.43^{\circ}$ ,相比之下存在一定差异。

◎角度的控制:需要运动员在训练中去体会,逐步获得准确的本体感觉。

### ●投掷动作速度分析

◎投掷过程中人体重心速度、标枪速度的变化及时间指标

参阅图 4—27,图中内容说明:姿势优良者(S. T)、中等水平者(K. C)、较差者(I. I);示意图上方是标枪的三条速度曲线,包括水平速度  $v_x$ 、垂直速度  $v_y$ 、合速度  $v$ ;示意图下方的一条曲线是运动员身体重心速度曲线。图中数字代表时相标号:1 表示双足触地时刻,2 表示标枪开始加速时刻,3 表示出手时刻。

○优秀者重心速度下降快、时间短:图中技术优良者(S. T)从双足支撑开始到加速开始,重心速度曲线向下较陡,速度下降很快。而技术较差者(I. I)的重心速度较小,下降也平缓。在此动作过程中,技术优秀者只用了 59 毫秒,技术较差者用了 103 毫秒时间。

○指标的意义:人体重心速度下降状况反映了人体助跑获得的动能传递给器械的情况,下降越快表示传递越充分。此外,超越器械时肌肉所产生的弹性势能是否有效地转化为标枪的动能,取决于肌肉由退让性收缩转为克制性收缩的时间长短。时间间隔越短,势能的利用率越高。这一原理是依据肌肉被拉伸(做退让性收缩)后,其张力随时间的延长而下降的特性(肌肉松弛特性)所决定的。因此,在超越器械动作与投掷动作之间不应有时间上的延误。

◎投掷过程中速度的变化趋势:参阅表 4—6。

表 4—6 投掷标枪有关的速度

|    | 进入最后用力阶段<br>人体重心速度(米/秒) |       |      | 出手时刻<br>人体重心速度(米/秒) |       |      | 出手时刻<br>投掷手的速度(米/秒) |       |       |
|----|-------------------------|-------|------|---------------------|-------|------|---------------------|-------|-------|
|    | $v_x$                   | $v_y$ | $v$  | $v_x$               | $v_y$ | $v$  | $v_x$               | $v_y$ | $v$   |
| X  | 5.45                    | -0.68 | 5.49 | 3.63                | 0.50  | 3.66 | 19.11               | 6.77  | 20.27 |
| Sx | 0.34                    | 0.26  | 0.47 | 0.65                | 0.43  | 0.59 | 2.12                | 3.27  | 1.17  |

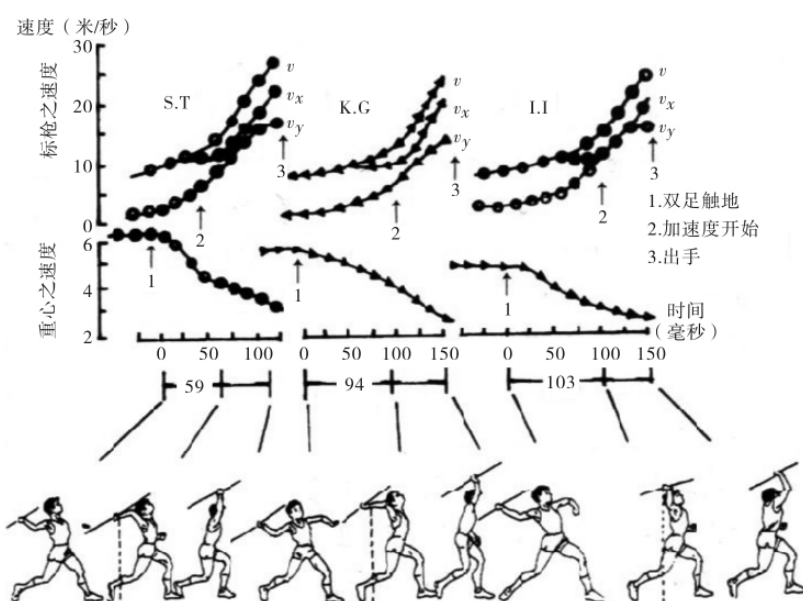


图 4-27 不同水平运动员投掷标枪时人、枪速度变化情况示意图

表 4-6 数据变化趋势:助跑使人体重心获得 5.49 米/秒的速度;由于投掷步使速度降低为 3.66 米/秒;再由于投掷用力动作使标枪运动速度增加到 20.27 米/秒。

○投掷动作对人体重心速度的影响:投掷动作会在一定程度上降低人体重心运动速度。测得我国女子标枪运动员进入最后用力时刻人体重心速度是 5.49 米/秒。标枪出手时刻人体重心速度降到 3.66 米/秒。人体重心速度的下降表示人体的动能传递给标枪的状况,下降得越多,标枪接收的动能越多。人体重心速度下降快慢也可用做运动员技术优劣的指标。

○投掷动作对出手速度的影响:投掷动作的效果对标枪最后出手速度产生重要影响,它可以使出手速度远远大于投掷步结束时标枪重心的速度。目前世界优秀运动员投掷标枪出手初速度男子达到 31 米/秒左右,女子达到 26 米/秒左右,而我国女子标枪运动员的出手初速度为 20.27 米/秒。

我国标枪运动员和世界优秀运动员相比,主要差距在标枪出手初速度上。这说明提高我国运动员的投掷运动技术是实现成绩提高的一个重要环节。

#### ●时间、位移讨论

参阅表 4-7 投掷标枪有关的时间、位移。

◎时间:投掷标枪最后用力动作应该在尽量短的时间内完成最长的工作距离,这样,传递给标枪的能量才大。我国女子标枪运动员的右腿单腿支撑时间为 0.21 秒,双腿支撑时间 0.14 秒,单、双腿支撑时间的比例为 1:1.5,最后用力总时间为 0.35 秒,显得稍长了一些。

◎位移:投掷标枪的最后用力是身体各环节依次加速和制动,出枪后人体惯性不是很大,缓冲距离约为 2 米。我国女子标枪运动员的缓冲距离均数为 2.26 米,稍偏大。

表 4-7 投掷标枪有关的时间、位移

|                | 时间(秒) |      |      | 位移(米)     |      |
|----------------|-------|------|------|-----------|------|
|                | 单腿支撑  | 双腿支撑 | 总时间  | 人体重心在水平方向 | 缓冲距离 |
| X              | 0.21  | 0.14 | 0.35 | 1.65      | 2.26 |
| S <sub>x</sub> | 0.04  | 0.03 | 0.05 | 0.23      | 0.46 |

### ● 标枪旋转和最后用力

标枪出手时,手指拨枪体,使标枪沿纵轴旋转。据测试,旋转速度可达每秒 30 转。为了使出手后标枪能够沿纵轴旋转,手握标枪就不能够完全沿纵轴用力。因为沿纵轴用力,标枪横截面(与纵轴垂直的截面)没有切向力作用,就不能沿纵轴旋转。

运动员投掷标枪手最后用力状况,参阅图 4-28。图中字符意义说明:在标枪前下方的  $F$  可分解为垂直标枪纵轴的分力  $F_1$  和沿标枪纵轴分力  $F_2$ 。由于手握标枪处离重心有一段距离  $d$ ,  $F_1$  除了使标枪沿纵轴旋转外,还产生逆时针方向使标枪绕横轴转动的力矩,使标枪抬头。所以,在最后用力开始时,标枪的姿态角要小,否则投出标枪的正迎角很大,发挥不出标枪的滑翔性能而影响成绩。

### ● 技术要点描述

最后用力阶段,左脚快速迈出,人体重心过右脚支撑点瞬间,右脚和左腿蹬摆结合,迈出步幅和助跑速度相适宜。切忌迈左腿时人体腾空,失去用力的支撑点。左腿迈出,脚跟先着地,脚尖向前,构成有力制动以及为最后蹬伸作准备。紧接着右脚继续蹬伸,送右髋,腰腹肌肉发力使右肩绕身体垂直轴转动,同时在左腿牢固支撑下绕矢状轴转动。被拉长的胸腹肌肉接着做强有力的收缩,依次带动上臂、前臂迅速向前做爆发式“鞭打”动作。在左腿蹬伸配合下,投出标枪,出手点在左脚支撑点的上方部位。

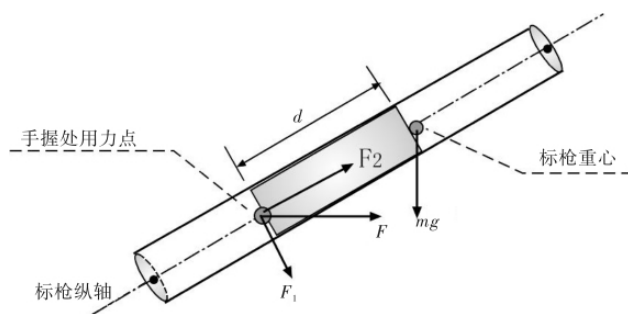


图 4-28 标枪出手瞬间手的作用力示意图

## (二) 标枪的空气动力分析

### ● 空气对标枪的影响与标枪自身的姿态有关

标枪特点是质量小,速度快,形状是“长/细”比值  $>86$  的特殊流线型旋转物体。因此,标枪在飞行中必然受到空气阻力较大的影响,同时,空气阻力影响的大小与标枪的姿态有关。

### ● 标枪飞行状态与受力分析

◎ 标枪出手以零迎角飞行:此时空气和标枪做相对运动流过,流线平滑,枪尾部基本

没有涡流。因此标枪只受到黏性摩擦阻力而没有受到压差阻力。这样标枪所受阻力相对最小,但不能获得升力。

◎标枪出手以正迎角飞行:此时标枪与空气流线夹一定角度前进,除了受黏性摩擦阻力作用外,还受到压力差和力矩的作用。参阅图 4-29 标枪受力示意图。

①形成压力差:在标枪飞行的前下方受到气流压力,背后方受到的压力小,形成一个压力差  $F$ ,  $F$  可分解成向后的阻力  $F_1$  和向上的升力  $F_2$ 。

②形成俯仰力矩:标枪在掷出初始阶段,由于投掷力产生的仰力矩,会使标枪向上抬头,如图 4-28 所示;但在标枪飞行中,受到空气合压力的作用点称为空气压力中心  $O'$ ,气压中心对重心  $O$  产生的力矩  $M$ 、作用效果使标枪低头,如图 4-29 所示。

◎标枪以负迎角飞行:空气对标枪的影响基本原理和正迎角飞行一样,只是升力和俯仰力矩值的符号相反。即负升力使标枪向下加速,负俯仰力矩使标枪向下低头(形成俯角,即俯力矩)。

#### ●标枪飞行水平距离分析

标枪飞行的距离仍然是水平距离与飞行时间的乘积。

阻力越大,肯定会使标枪飞行时的水平速度降低,从而影响标枪成绩。

升力越大,标枪获得的垂直上升速度也越大,滞空时间也越长。但是,升力增大的同时,会使阻力也增大。如何平衡这一对矛盾,是要考虑的重要问题。

综合阻力和升力两个因素,对于标枪飞行来说,就应该在损失较小水平速度(阻力较小)的前提下,获得较大的垂直速度(升力较大),从而使标枪滑翔飞行达到最大水平距离。这就需要标枪出手要有一个适宜的迎角,以获得最佳升阻比(升力和阻力的比值,也称空气动力效率)。

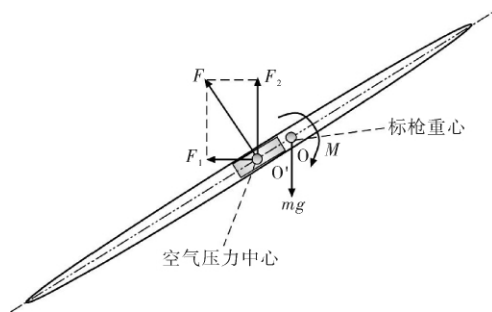


图 4-29 标枪受力示意图

#### ●标枪落地姿态分析

田径运动竞赛规则规定投掷标枪枪尖先着地,投掷成绩才有效。因此,选择出手迎角除了要想法获得适宜的升阻比,还要考虑与迎角密切相关的俯仰力矩使枪尖先着地。一般来说,压力中心在标枪重心后面,标枪具有良好的静稳定性,但力臂绝对值不能过大;如果力臂绝对值过大,在正迎角飞行中,低头力矩便增大,致使标枪在飞行中过早低头插地而降低成绩;在负迎角飞行中,抬头力矩增大又有可能形成枪尾着地没有成绩。

#### ●标枪绕纵轴旋转分析

标枪在空气中飞行,一直绕纵轴旋转着,产生马格努斯效应。由于标枪的直径很小

(男子标枪最大直径 3 厘米,女子标枪最大直径 2.5 厘米),马格努斯效应也很小,标枪基本没有侧向滑行现象。因此,标枪绕纵轴旋转主要起回转效应,使俯仰力矩作用不甚明显,即俯仰力矩不至于使标枪很快抬头和低头,以达到飞行稳定、延长滑翔距离的目的。

标枪讨论小结:

对标枪分析不能像铅球一样可简单作为质点分析,更不能用抛射体公式来计算成绩。要说明标枪飞行情况,必须把空气动力的影响因素考虑在内,而标枪获得空气动力效应的充分必要条件是迎角不为零。注意到了空气对标枪的影响,就不会片面讨论投掷角的问题,而是把投掷角、迎角、出手初速、运动员投掷动作等因素综合起来考虑,确定适宜投掷角和迎角。

## 第五节 举重运动技术分析

举重运动是开展较早、普及面较广的一项竞技运动,也是亚运会、奥运会的正式比赛项目。我国举重运动员在国际比赛中曾多次取得过优异成绩,举重项目一直是我国的重点项目和优势项目。我国体育科技工作者对举重技术的研究工作也一直处于世界领先地位,本节内容主要是依据国家体育科学研究所对举重技术的研究成果进行介绍。

### 一、举重的基本知识

#### (一)举重技术形式

##### 1. 挺举

挺举(全称为两手挺举),分两个动作阶段:

●提铃至胸:运动员先以两手连续将杠铃从举重台(场)向上提起,翻至胸前上方(规则规定,此时两腿可采用任何一种下蹲方式,通常采用两腿左右分开的下蹲式动作或前后分开的箭步式动作),然后起立站直,两足站在一横线位置上。

●上挺:用屈膝紧接蹬伸,伸髋、挺身、伸臂、提踵,将杠铃从胸前上方向上挺起(此时两腿可采用任何一种下蹲方式,通常采用前后分开的箭步式),两臂在头顶伸直,然后收腿起立,两足站在一横线位置上。杠铃和身体保持在一垂直面上静止。此时裁判员即可发出放下的信号,运动员按规则放下杠铃。

##### 2. 抓举

抓举(全称为两手抓举)。运动员需以连续动作,用两手将杠铃从举重台(场)向上提起过头(规则规定,此时两腿可采用任何一种下蹲方式,通常采用两腿左右分开的下蹲式动作或前后分开的箭步式动作)至两臂伸直,然后起立站直,两足站立在一横线位置上,杠铃和身体保持在一垂直面上静止。此时裁判员即可发出放下的信号,运动员按规则要求放下杠铃。

#### (二)举重的技术原则

合理的举重技术是力量得以充分发挥的基本保证。根据运动生物力学原理,结合举重动作结构与国内、外优秀运动员的实践经验,举重技术的基本原则可以归纳为“近、快、

低”。以下对这三原则进行分析。

### 1. 近

举重的“近”，是指在预备姿势与上举杠铃的过程中，杠铃重力的合力作用线应尽量接近支撑面中心。

其优点表现在以下三个方面：

●其一，有利于保持动作的平衡与稳定。

◎运动生物力学特点：物体重力的合力作用线离支撑面的中心越近，稳定性就越好，反之则越差。当重力合力作用线超出支撑面边沿时，物体就会失去平衡而倾倒。

◎实际应用：运动员在提铃时，支撑面的中心约在两脚掌中心连线的中间。当杠铃重力的合力作用线通过或接近支撑面的中心（横杠距直立时小腿胫骨约 5~10 厘米），提铃时稳定性好；若横杠离小腿过远，杠铃重力合力作用线超出了支撑面，即移到了足尖的前面，提铃时由于杠铃重力及惯性阻力的作用，身体产生转动动力矩，导致身体重心前移。这是造成在抓举与挺举提铃时杠铃前掉的一个重要原因。

●其二，有利于发挥人体的最大力量。

◎运动生物力学特点：在肌肉收缩过程中，不运动或运动相对小的那一端有稳定的支撑点时，就能较充分地发挥出肌肉力量。

◎实际应用：杠铃重力合力作用线通过或接近支撑面中心时，能使动作平衡和稳定，此时两脚能稳固地支撑在举重台上，从而较好发挥全身的最大力量。

◎避免发生有害的分力：横杠离身体近时，能有效地把人体的力量集中用到上举杠铃上。避免在水平方向产生分力。

参阅图 4—30，该图以提铃预备姿势为例，对“近”的力学特点进一步加以说明。

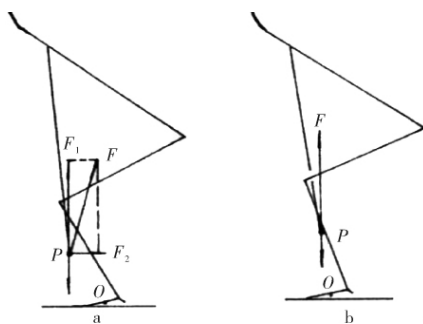


图 4—30 举重提铃预备姿势示意图

图 4—30 说明：

◎图 a 是错误动作示意图：提铃预备姿势中，如果杠铃重力合力作用线远离支撑面中心点 O 时，运动员为了防止提铃时身体重心前移，势必向后上方提拉杠铃，即提铃的力量 F 是向后上方，因而产生向后的水平分力  $F_2$ 。只有向上的垂直分力  $F_1$  的作用，才使杠铃向上运动。 $F_2$  产生的危害概括为两点：①减弱了上拉的力量；②导致杠铃在上升过程中过大地向后运动，破坏了正确的提铃动作结构，以及杠铃的运动轨迹与支撑杠铃时的平衡动作，这对试举大重量与极限重量是非常不利的。

◎图 b 是正确动作示意：当杠铃重力合力作用线通过或接近支撑面中心时，不发生或

少发生向后水平分力,使人体力量集中于向上提拉杠铃,这是技术动作合理性的一个重要标志。

●其三,有利于节能省力。

◎运动生物力学特点:阻力臂越小,需要的动力也越小。

◎实际应用:当杠铃横杠贴近身体时,才能缩短阻力臂,故省力;反之,阻力臂长则费力。举重技术要点是,在做提铃预备姿势时,两脚掌站在杠铃横杠下,“横杠与小腿间距离不得超过 3~5 指”,提拉杠铃要“贴身”,上拉发力要积极“耸肩、提肘”等,都包括了“近”的原则。

◎分析举例:参阅图 4-31。以提铃时臀大肌的工作为例。臀大肌位于髋关节的后面,起于骨盆的背面,止于股骨靠近上端的侧后面(臀肌粗隆和髂胫束),当臀大肌收缩时,其下端相对固定,上端牵拉骨盆带动躯干后伸,再带动上肢牵引杠铃向上运动。此时,骨盆、躯干与上肢主要起支撑悬挂作用。此时可视骨盆、躯干和上肢为一整体作为臀大肌的工作杠杆。

图 4-31 说明:动力,由臀大肌的收缩力  $F$  提供拉引杠杆运动的动力,  $A$  为臀大肌拉力点(在骨盆的背面)。阻力,杠铃重力  $P$  为杠杆的阻力,阻力点  $B$  在手上,杠铃的支点  $D$  在髋关节中心;阻力臂,支点  $D$  到  $P$  作用线的垂直距离  $CD$ 。

分析:  $P$  作用线通过支撑面中心  $O$  时,其阻力臂  $CD$  短,因而提拉同样重量时就比较省力。也就是说,  $CD$  较短时,相同的用力可以举起更大的重量。如果  $CD$  作用线远离  $O$  点,其阻力臂变长为  $GD(GD > CD)$ 。这样,在举同样重量时,势必需要用更大的力量,这是很不经济的。

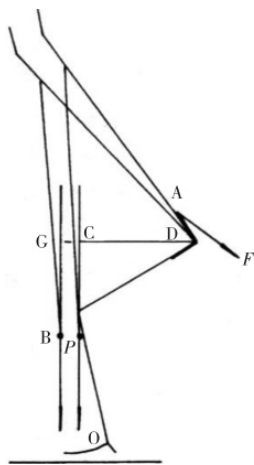


图 4-31 提铃动作受力示意图

## 2. 快

“快”是指在抓举提铃全过程和挺举的提铃至胸过程中,动作连贯,没有停顿。连续不断地快速用力,使杠铃从离开举重台开始就不断的加速上升。即提铃的动作要快,特别是发力动作要快。

●快是杠铃上升高度的前提:快可以使杠铃获得上升加速度,杠铃上升的加速度越

大,其上升的距离也越大。

●快是后续动作的条件:如果发力时动作幅度大,身体伸展充分,耸肩提肘动作做得好,发力的作用时间也就延长,这样上升的距离也就越大。但必须强调,只有在动作快速的前提下加大动作的幅度,时间的延长才有意义。

●快是后续发力的基础:由于杠铃在发力前获得了较大的初速度,杠铃才能获得更大的上升高度。也就是说,同样的力量可以举起更大的重量。已有大量实践经验证实了这一点。

### 3. 低

“低”是指在发力结束时应迅速降低身体重心。

下面以挺举中的“提铃至胸”动作为例,分析“低”原则对该技术动作的影响。

杠铃很轻时:运动员可以轻易地用直腿高立翻动作将杠铃提拉到肩的高度,使杠铃支撑于胸上。但随着杠铃重量增加,运动员将无法再继续用该动作将杠铃提拉到肩的高度,而必须屈膝蹲或半蹲,即改用下蹲翻或半蹲翻动作,才能使杠铃得以支撑于胸上。

杠铃很重时:运动员在发力时虽然用了最大力量、最快的速度向上提拉杠铃,也只能将杠铃拉至腰部位置。此时为使横杠支撑于胸上,就必须在发力结束时身体迅速做下蹲动作,积极降低身体重心,使胸部转入杠铃横杠之下接住杠铃(即下蹲翻),然后再凭借两腿和躯干的力量站起。

●“低”可以节省肌肉做功,保证利用有限肌力完成更大重量。

功的大小等于力量乘以工作距离(即:  $A = P \cdot h$ , 其中  $A$  代表功,  $P$  代表杠铃重力,  $h$  代表杠铃垂直运动距离)。

①从省功的角度讨论:在上举相同杠铃重量  $P$  时,接铃时身体重心越低,需要提铃的高度  $h$  也越低,因而所需要做的功  $A$  也越少,动作越经济越省力。

②从有限功完成最大重量讨论:在一次试举中,运动员所能发挥的最大功  $A$  是一个定值。如果发力后积极降低身体重心,这样就缩减了对杠铃的工作距离  $h$ ,可以举起更重的杠铃  $P$ 。

③在运动实践中,技术优秀的举重运动员,其下蹲翻、下蹲抓、架上挺的成绩往往比本人高立翻、高立抓、借力推,要高出 30~40 千克,甚至更多。这种现象正好说明,在上举杠铃过程中有效地利用降低身体重心这一原则可以产生更理想的效果。

### 4. “近、快、低”总结

“近、快、低”三项基本技术原则,是相互联系、相互制约、相互促进的一个整体。其中任意一项的状况都会促进或制约其他项,因此不能割裂开讨论。

◎近:是为了使杠铃与身体获得稳固的支撑,为最大限度地发挥全身肌群力量创造有利条件。

◎快:是在近的基础上,通过发力,充分施展人体的快速力量,使杠铃获得最大的加速度与上升高度,为降低身体重心、支撑杠铃提供时间上的保证。

◎低:是在快的前提下,利用杠铃获得的上升惯性,采用相应动作(如下蹲式提铃、上挺箭步式分腿)迅速降低身体重心,完成支撑杠铃的动作。

三个原则以快为主,相互依存:没有快速发力的保证,下蹲提铃动作是难以完成的,但

与此同时,降低身体重心也必须快速进行。因为杠铃在发力后的上升运动只是极短暂的一瞬间(约为0.2秒),任何犹豫和动作上的微小错误,都有可能导致接铃动作的失败。由此可见,快是三项基本技术原则中的主要原则,是最积极、最活跃、最关键的因素。没有快和迅猛的正确发力,近也就失去了意义,低也无从实现。

“近、低、快”三项基本技术原则是我国举重运动员、教练员长期实践经验的总结。

### (三)举重“双节奏”发力和“下蹲式”技术的发展过程

举重运动虽然开展的较早,但人们对举重技术的认识经过了漫长的过程。

#### ●“双节奏”发力方式

举重从1896年第1届奥运会被正式列为国际运动竞赛项目以来,在很长的一段时间里,人们不知道在抓、挺举标准动作中如何有效地发挥全身肌群力量。

20世纪40年代以前,各国举重运动员大多采用“单节奏”的提铃技术,即从举重台上提拉杠铃时就企图用出所有力量,结果事倍功半,往往只是用两臂的力量生拉硬端把杠铃举过头部,因而那时的纪录也是很低的。

直到20世纪40年代末50年代初,随着体育科学研究的发展,特别是新兴体育学科运动解剖学和运动生物力学的发展,并运用于举重技术中,才逐渐产生了先进的“双节奏”提铃技术和“发力”的概念。即在一次提铃过程中表现为两次发力动作。第一次发力表现在杠铃离开举重台瞬间(称为“上提发力”);第二次发力表现在杠铃上升到膝关节瞬间(称为“上拉发力”或简称“发力”)。使人体各个部分力量得以在“双节奏”提铃中获得有效的发挥。如“上拉发力”,通过充分的展体(伸髋)、伸膝、起踵、耸肩、提肘协同配合,使全身力量得到最大限度的快速发挥,大大地提高了杠铃上升的加速度。“双节奏”提铃技术的出现,加大了杠铃的上升速度,为“下蹲式”技术的运用创造了有利条件。

#### ●“下蹲式”提铃技术

20世纪50年代初普遍流行“箭步式”提铃技术,而“下蹲式”提铃技术当时虽然已经出现,但并未被人们重视,只是作为一种辅助训练方法加以采用。我国举重运动员根据自己灵活性好、腿力较大、关节柔韧性好的特点,大胆地把它运用到抓、挺标准动作中,并加以发展,很快就打破了挺举世界纪录。其中一个重要的技术因素就是“下蹲式”提铃技术比“箭步式”能更有效地降低身体重心,因而能比“箭步式”提拉起更重的杠铃。

20世纪60年代以后,中国举重运动员在“下蹲式”提铃技术上的成就,引起了外国运动员的重视和效仿,并且成效显著。70年代以后,采用“箭步式”的运动员已极为罕见了。目前,10个级别的抓、挺举和总成绩世界纪录全部为“下蹲式”提铃技术者所创造。

### (四)选用运动技术要素特点

从以上对举重技术动作结构的分析,以及对举重技术的三原则分析中,可以看出举重技术分析所需要的技术要素。首先,举重项目是在一个相对固定的范围内进行,因此摄影测量、动力学测量、肌电学测量三种测量方法都有条件使用。其次,举重运动是一个动作技术结构与用力方式结合的非常紧密的一项运动,因此,将运动学类技术要素和动力学类技术要素进行结合,两类数据相互印证,是深入分析举重技术非常有效的方式。第三,在

有条件时附加使用肌电学类指标,可以得到肌肉用力状况信息。

## 二、举重运动技术分析

举重技术可采用影像测量、动力测量、肌电测量三同步的方法采集数据,通过三类数据相互印证分析举重运动技术,可以比较全面的了解各种指标在运动过程中的变化规律、相互联系和相互影响的关系。再结合运动员的身体形态、机能和素质特点,全面地评价运动技术的优劣,所得结论比只用单一指标进行运动技术评价更全面。

### (一)运动学数据在举重技术分析中的作用

举例:参阅图 4—32。是某优秀运动员创抓举世界纪录时的影像测量分析结果。

●提铃第一阶段,动作特点是速度快,动作协调。

◎图中的第 11~25 幅为运动员“提铃→发力”动作阶段:杠铃重心升高了 43.5 厘米,用了 0.45 秒。在提铃第一阶段结束时,杠铃重心上升速度达到了 1.50 米/秒,属快速提铃型。

◎图中的关节角度变化曲线表明:在提铃离地、平膝位和二次发力开始,膝角由  $81^{\circ}$  伸至  $141^{\circ}$ ,然后回屈了  $7^{\circ}$ ,再到  $134^{\circ}$ ,恰至膝关节的最佳发力角范围。提铃第一阶段,髋关节的伸展主要在杠铃过膝后,其平均伸展速度约为过膝前的两倍。从图中可以看到运动员的膝、踝二关节的运动方向和速度比较一致,这是动作协调的表现。

◎图的“重心—时间”曲线表明:从提铃开始到提铃第一阶段结束,人、铃两重心间的水平距离迅速减小,到发力开始时杠铃已经贴近身体,减小了发力肌群的阻力臂,为发挥肌肉力量创造了有利的条件。

●提铃第二阶段,动作特点是发力方向接近垂直向上,蹬伸动作充分。

◎图中的第 25 和 30 分别为“发力→结束”时的身体姿势:发力结束时的躯干后倾角为  $14^{\circ}$ ,大腿后倾角为  $5^{\circ}$ 。可见,发力动作方向垂直向上,前后方向分力小,有利于把力量更多地集中到杠铃上,使杠铃获得更大的上升加速度。

◎发力阶段力量主要来源于运动员髋、膝、踝的蹬伸,蹬伸充分,蹬伸肌群的力量才得以充分发挥。在发力结束时,运动员的髋角伸到  $190^{\circ}$ ,膝角为  $178^{\circ}$ ,踝角为  $130^{\circ}$ (背曲)。蹬伸动作非常充分。

◎发力过程中杠铃贴近身体:杠铃重心到人体重心的水平距离在发力开始时为 2 厘米,发力结束时增至 15 厘米。这样,杠铃对人体肌肉作用的阻力臂短、阻力矩小,因而省力,在使用同样力量时可以举起更大的重量。

图 4—32 说明:上部图是运动技术影片;中部的曲线图分别是下肢三个主要关节角度变化曲线;下部是杠铃重心、人体重心、人铃合重心在前后方向位移变化曲线。

●下蹲撑铃阶段,动作特点是动作迅速。

图中第 35~43 幅是下蹲撑铃过程。下蹲撑铃是抓举技术中的关键之一,如果下蹲支撑做不好,将前功尽弃,造成失败。影响下蹲支撑成败的因素包括发力后杠铃的运动速度及路线,下蹲的时间和速度,支撑的准确性和稳定性等。

实测得出,运动员在发力结束瞬间,杠铃重心垂直上升速度为 1.56 米/秒,加之有力

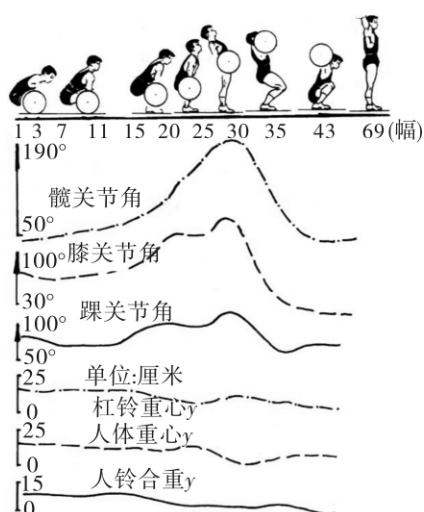


图 4-32 抓举下肢主要关节角度、重心等数据示意图

的提肘动作,给了杠铃较大的向上作用力,使杠铃上升时间增加到 0.2 秒,上升的总高度达到 118 厘米。测试表明运动员下蹲动作十分快,在发力刚一结束的快速下蹲阶段,人体重心下降速度竟超过了自由落体的速度。究其原因,一是自身积极主动下蹲,二是向上用力提肘,杠铃以等大、反向的作用力作用于人体,使人体下蹲更快。

## (二)动力学数据在举重技术分析中的作用

### 1. 蹬地力曲线

●抓举:参阅图 4-33,是抓举蹬地力曲线示意图。

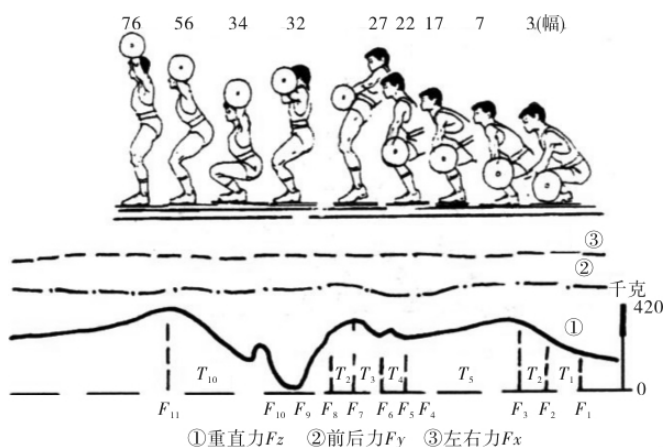


图 4-33 抓举蹬地力曲线示意图(横轴代表动作时间;纵轴代表蹬地力值)

●挺举提铃动作:参阅图 4-34,是挺举提铃阶段蹬地力曲线示意图。

●挺举上挺动作:参阅图 4-35,是挺举上挺阶段蹬地力曲线示意图。

### 2. 几个重要数据的讨论

结合图 4-33、图 4-34、图 4-35 动力曲线讨论四个方面的问题。

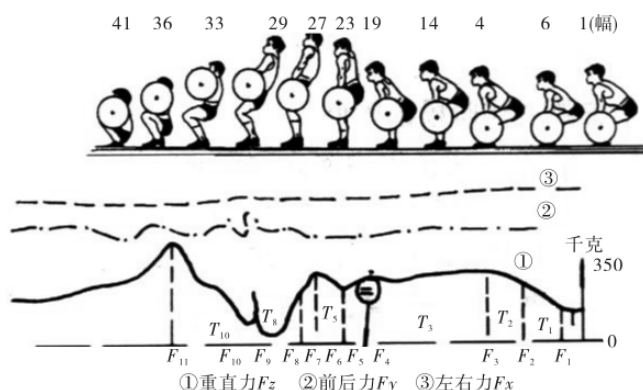


图 4-34 挺举提铃阶段蹬地力曲线示意图(横轴代表动作时间;纵轴代表蹬地力值)

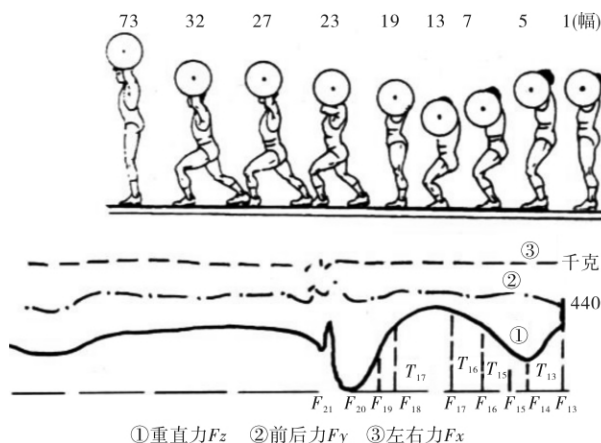


图 4-35 挺举上挺阶段蹬地力曲线示意图(横轴代表动作时间;纵轴代表蹬地力值)

### ●主要动作阶段的时间

从技术上看,在一定范围内完成动作的时间短比较好,“快”是举重技术的一个重要原则。优秀运动员从开始提铃到分腿后足着地的平均时间,抓举为 1.24 秒,挺举约为 1.26 秒。从发力开始到全身最大伸展时间为提铃发力时间,抓举约为 0.12 秒,挺举约为 0.11 秒。挺举从预蹲位发力开始到下肢和躯干最大伸直的时间为上挺发力时间,约为 0.23 秒。

### ●发力斜率

发力斜率:是指发力的峰值与发力时间之比称,它表示单位时间力的增长量。

发力斜率值越大,表明力量增长得越快,说明运动员的爆发力越大,因此可以用来评价举重运动员爆发力的强弱。优秀运动员的提铃发力斜率,抓举约为 1 257 千克/秒,挺举约为 1 293 千克/秒,上挺发力斜率约为 1 481 千克/秒。

发力斜率的大小,表示单位时间内力值增加的快慢。它能比较明确地描述运动员的力量素质,也是能否取得优异成绩最重要的条件之一。

### ●发力指数

发力指数:是指发力峰值与人铃合重量之比。发力指数分为提铃发力指数和上挺发力指数。

优秀运动员提铃发力指数的平均值约为:抓举为 1.53;挺举为 1.42,上挺为 1.75。

在人铃合重量相同的情况下,力量越大此值越高。在保证顺利完成动作的前提下,此比值小的说明消耗体能小,技术比较好。

### ●下砸力指数

下砸力:是指杠铃被“抛起”达到顶点后开始下落,由于重力加速度作用,下落时对人体产生的冲撞力。提铃发力后杠铃被“抛起”,杠铃上升一段距离之后,在重力的作用下加速下落,运动员要用很大的力量撑接杠铃。杠铃下落的距离越大,下砸力(也叫冲击力)也越大,运动员消耗的能量越多。

下砸力指数:是指下砸力与人铃合重量之比。优秀运动员的下砸力指数,抓举约为 1.38,挺举约为 1.60。

从理论上讲,下砸力指数为 1 时,消耗体能最少。但事实上,即使在杠铃上升的最高点撑接杠铃,由于从撑接点到撑住杠铃的过程中杠铃还要下降一段距离,所以运动员付出的力总要比杠铃的重量大很多。好的技术动作是“上抛”杠铃的高度适宜,在保证成功地完成接铃动作的前提下,尽量缩短回降距离。

### (三)肌电图数据在举重技术分析中的作用

运动员抓举时的肌电图。参阅图 4—36 某运动员抓举 95 千克时的肌电图。

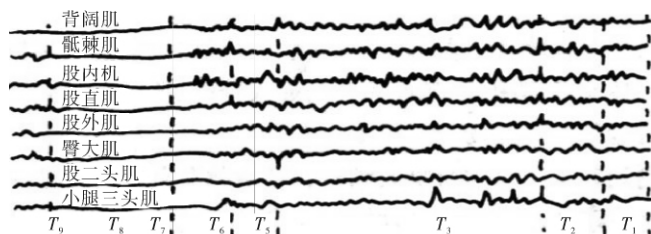


图 4—36 某运动员抓举 95 千克时的肌电图

图 4—36 说明:由图可以看出,提拉发力阶段( $T_2$ 至 $T_5$ ),各肌的振动频率最大;其中在提拉开始阶段( $T_2$ ),振幅最大;在人体失重( $T_8$ )和失重前( $T_7$ )阶段,各肌几乎都没有电活动。这表明优秀运动员在完成抓举动作过程中具有肌肉用力协调、有序、提拉开始时各肌肉发力集中的特点。

通过以上对摄影、测力、肌电三种类型的数据进行定量分析,可以得出被分析举重运动员的运动技术信息。在运动技术分析的实践中,通过这种方式获得举重运动员的运动技术信息,并及时反馈给教练员和运动员,能对举重运动技术训练起到良好的辅助作用。

## 第六节 竞技体操运动技术分析

竞技体操男女共有 10 个项目。其中男子 6 项:“吊环”、“双杠”、“单杠”、“鞍马”、“自由体操”、“跳马”;女子 4 项:“平衡木”、“高低杠”、“自由体操”、“跳马”。

其中有跳马、自由体操两项男女相同,其余各不相同。每个体操项目是由若干不同的基本技术动作编排而成,这些基本技术动作按其适用范围可划分为两大类:

一类是共用性较强的基本技术动作,它可在若干项目中反复出现,如相向运动、摆动

动作、鞭打动作等；

另一类是具有特定性的基本技术动作，它仅在特定的项目中出现，如吊环十字支撑、平衡木的提踵旋转动作等。

在运动技术分析教学中，总是先研究它们中具有共性的技术动作作为基础，进而再研究其各自具有特性的部分，以满足教学训练实践的需要。根据体操运动技术的这种构成特点，本节只对体操中常见的基本动作进行分析。

## 一、无支撑时的相向运动与制动

### (一) 动作形式描述

#### 1. 相向运动

相向运动是指人体在肌群收缩力的作用下使身体相应两部分同时相互接近的运动形式。

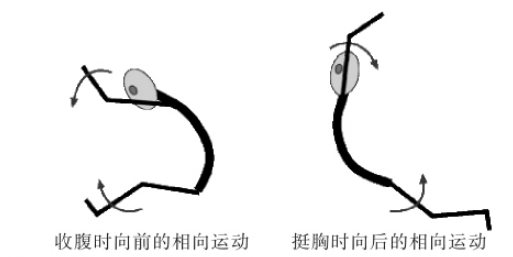


图 4—37 相向运动示意图

例如：人体腾空时做前挺动作、屈体动作等，就是以躯干上半部及上肢为一部分，以下肢为另一部分，二者同时在身体后侧、前侧做相互接近的运动。参阅图 4—37。

#### 2. 制动

制动是指在有关肌群收缩时，使身体某部分的转动速度突然显著下降的动作形式。

例如：跳马水平腾越推手后进入腾空过程中，整个人体处于向上的转动状态，即人体躯干绕髋轴向上翻转。此时如果加速抬上体就会使腿制动，使两腿由原来的转动状态变为基本上是平动的状态。参阅图 4—38 制动动作示意图。

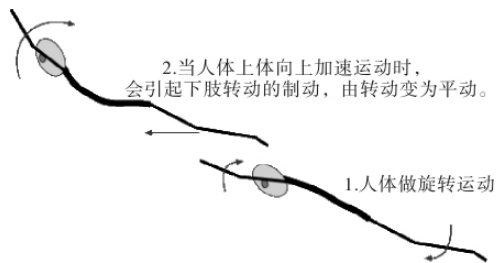


图 4—38 制动动作示意图

### (二) 相向运动的力学特点

相向运动在体操运动技术的编排序列中，有时需要加大相向运动，而有时则需要限制相向运动。要能够合理的利用相向运动，就必须了解相向运动的影响因素，有目的的实现

对相向运动的控制。

### 1. 转动惯量对相向运动的影响

相向运动的顺利完成,要求参与运动的两部分的转动惯量大致相等,才能顺利表现明显的相向运动,否则就会变成小的一部分绕大的一部分做转动运动。参阅图 4—39。

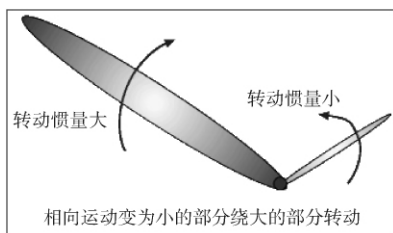


图 4—39 转动惯量大小对相向运动的影响示意图

转动惯量由质量和转动半径两个因素决定。虽然人体各部分的质量因素是相对不变的,但是可以通过改变肢体转动半径这一因素达到改变身体某部分转动惯量的目的。

人体的结构特点表现为:人体上半身(腰部以上躯干、头、上肢)的转动惯量及重力矩要大于下肢,因此运动实践中常常是通过改变人体上半身的转动惯量实现对相向运动的控制。

◎促进相向运动:可以通过低头、含胸、收腹,把两臂置于体侧,借此减小上体的重力矩和转动惯量,使上体的角加速度提高。这时上体与下肢的相向运动容易产生。

◎限制相向运动:通过两臂上举、同时固定头和躯干,能最大限度地增大上体的重力矩和转动惯量,使上体角加速度降低,从而达到限制相向运动的目的。

### 2. 重力矩对相向运动的影响

当重力矩与运动方向相同时可促进相向运动的产生;反之会阻碍相向运动的产生。参阅图 4—40 重力矩方向对相向运动的影响示意图。

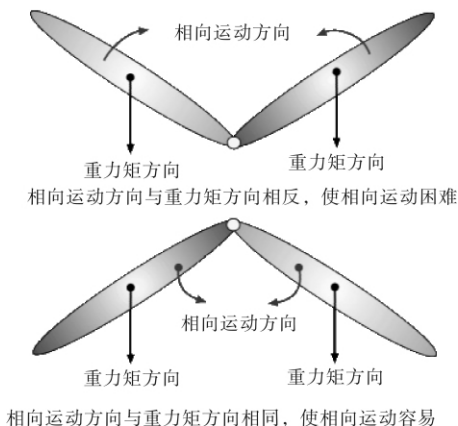


图 4—40 重力矩方向对相向运动的影响示意图

#### ◆当身体处于水平位置时

①向上的相向运动不易产生。此时上体和下肢的重力矩与运动方向相反,相向运动受到阻碍。如图 4—40 上图所示。

②向下的相向运动容易产生。此时上体和下肢的重力矩与运动方向相同,相向运动较容易完成。如图4-40下图所示。

#### ◆身体处于垂直位置时

简单实验:单杠手悬挂抬腿,要容易一些;单杠脚悬挂抬上体,要困难一些。参阅图4-41重力大小对相向运动的影响示意图。

##### ①人体的头朝上时,容易实现相向运动

因为下肢重力矩小于上体,此时上体、下肢重力矩之差的影响变小,上体和下肢产生加速度的条件比较接近,容易产生相向运动。如图4-41左图所示。

##### ②人体的头朝下时,实现相向运动相对困难

因为上体重力矩大于下肢,此时上体、下肢重力矩之差的影响变大,上体需要克服较大重力矩才能完成相向运动。如图4-41右图所示。

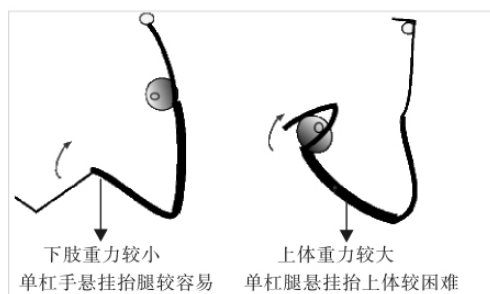


图4-41 重力大小对相向运动的影响示意图

### 3. 肌肉拉力矩对相向运动的影响

相向运动是一种转动运动,运动效果的大小取决于肌肉拉力矩。肌肉拉力矩由肌力和肌力臂两个因素决定,因此可以通过改变肌力大小、或肌肉拉力矩大小,达到控制相向运动的目的。参阅图4-42肌力矩大小对相向运动的影响示意图。

当肌肉拉力矩较大时,容易完成相向运动;反之就不容易完成相向运动。

在体操运动实践中:若想限制相向运动,可以通过伸直关节减小肌力臂达到减小肌力矩的作用;或者控制肌肉的收缩力,通过减小肌力也能达到减小肌力矩的作用。反之,若想促进相向运动,可以通过加大肌力或肌力臂实现。

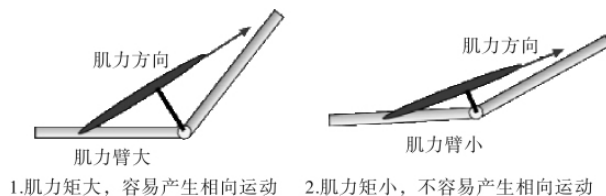


图4-42 肌力矩大小对相向运动的影响示意图

### 4. 举例

相向运动原理在跳马的两次腾空技术中表现得尤为突出。

例如:跳马时完成手翻类动作。参阅图4-43跳马的前翻动作示意图。

图 4-43 说明:手翻类动作要求运动员完成推手动作后,使人体产生向前翻转动作(如左图)。它要求在第一腾空提前做背腿动作(腿部向后运动),为后面实现向前翻转创造条件。

但此时如果身体相对垂直(如图 4-42 右图),常常会伴随出现“两头翘”的错误动作(即背腿的同时,引起上体也随之向背部做多余的转动,形成不需要的相向运动)。

要克服这个错误就应在身体处于水平位置时再做背腿的动作(如图 4-43 右图),这样可使上体向上运动的阻力加大(上体重力矩加大),同时通过两臂的前伸加大上体的转动惯量,可防止上体向背部的多余动作。

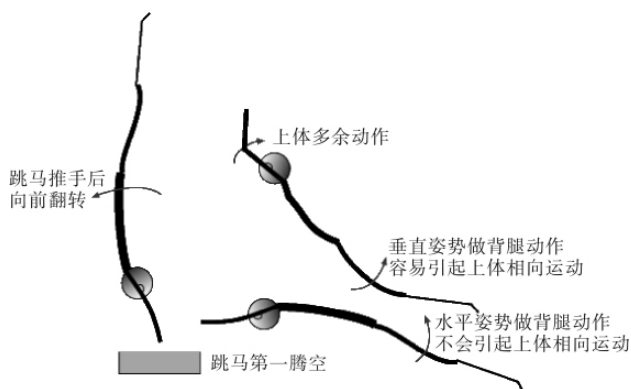


图 4-43 跳马的前翻动作示意图

### (三)制动的力学特点

通过上面对相向运动的讨论,制动问题就很好理解。只要使处于相向运动状态的一部分肢体加速运动,就必然会造成对另一部分肢体的制动;如果同时再设法加大需要制动部分肢体的重力矩和转动惯量,其制动效果就会表现更明显。

◎使下肢制动:可采用尽量减小上体的重力矩及转动惯量(通过适当屈臂等动作)使上体加速转动,同时加大下肢的重力矩及转动惯量(通过伸直下肢等动作)使其转动困难,就会表现出对下肢明显的制动效果。

◎使上体制动:可采用尽量减小下肢的重力矩及转动惯量(通过适当弯曲下肢等动作)使下肢加速转动,同时加大上体的重力矩及转动惯量(通过伸直手臂、伸直躯干等动作)使其转动困难,就会表现出对上体明显的制动效果。

综上所述,制动和相向运动是相辅相成的。在体操中,有时需要克服制动产生的相向运动,而有时又要克服相向运动使之转化为制动。二者在一定条件下可以互相转化。

## 二、力的传递

在竞技体操技术训练中,常提到“绷紧”一词。所谓“绷紧”,就是使身体保持一定的硬度,近似于力学中的刚体。刚体可保证力的传递,尽量减少因为身体的变形而使力在身体内部的耗散。

●举例:起跳的一瞬间,通常说需要“立腰、提气”,就是实现“绷紧”动作的具体措施。

立腰:是指提高腰背肌和腰腹肌紧张度,加大腹腔内压,使腹腔的内脏等软组织相对

固定,同时使腰椎固定。

提气:是指瞬间吸气后屏息,使胸腔固定,与躯干相对地成为一体。

“绷紧”动作在力的传递中很重要。在某些场合,是否能“绷紧”,使身体达到一定程度的“刚体化”,就成为动作成败的关键。

●举例:跳马起跳动作。摆臂的作用力和跳板对人体的反作用力通过“绷紧”的躯干进行传递。参阅图 4—44 人体“绷紧”后使得力能够通过身体进行传递示意图。

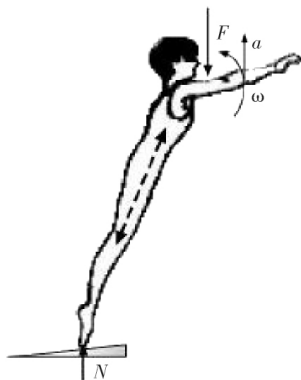


图 4—44 人体“绷紧”后使得力能够通过身体进行传递示意图

图 4—44 说明:摆臂惯性力  $F$  和跳板反作用力  $N$  都必须通过绷紧的躯干进行传递。

◎摆臂惯性力向跳板的传递过程:由于两臂的迅速上摆,可以产生向下的惯性力  $F$ 。此时惯性力  $F$  只是作用在肩胛骨上,它必须通过身体的许多中间环节传递到助跳板上,才能使板以大小相同、方向相反的力作用于身体,使人体获得上升的垂直动量。

◎跳板反作用力向人体的传递过程:膝、踝、髌等关节伸展时,获得跳板支撑反作用力  $N$ ,也必须通过若干环节再传递到全身。这就要求中间环节要尽量固定住,以减小因中间环节固定的不牢固而缓冲掉一部分力。

在体操动作中,力的传递是普遍现象,故中间环节的“绷紧”就十分重要。

### 三、摆动反作用力

摆动反作用力是由快速起摆和快速制动构成的。臂、腿的摆动(加速)或制动(减速),会产生相应的反作用力(惯性力),惯性力的方向与加速方向相反。惯性力的作用是有助于提高身体重心的腾空高度,同时也会引起惯性力矩使人体产生翻转效果。

◎起跳初手臂加速上摆时惯性力的作用。参阅图 4—45(左图)水平跳在起跳初两臂加速上摆动时的动作示意图。示意图说明:加速度  $a$  向上,产生向下的惯性力  $Q$ 。

摆臂惯性力:当运动员两臂加速上摆时,摆动部分的加速度向上,产生的惯性力  $Q$  向下,其大小可达体重的一倍多,大大地增加了蹬板的力量。

摆臂惯性力矩:加速上摆时的动作特点是手臂距身体总质心  $C$  点近,臂的惯性力对重心的力矩很小,不会引起太大的转动效应,保证人体在水平方向顺利跳出。

◎起跳末手臂制动时惯性力的作用。

参阅图 4—45(右图)运动员水平跳,在起跳结束前的动作示意图。示意图说明:手臂

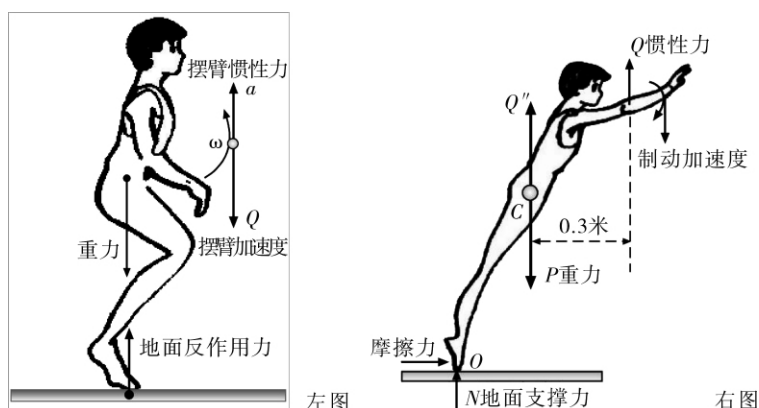


图 4-45

制动时,加速度  $a$  向下,产生的惯性力  $Q$  向上。

手臂惯性力:两臂的急剧制动,制动部分的加速度  $a$  向下,产生的惯性力  $Q$  向上,其大小也可达体重一倍多,显然这个惯性力有助于身体的上升。

手臂惯性力矩:制动时的动作特点是手臂距身体总质心  $C$  较远,力臂可达 0.3 米左右。而相对于蹬地点  $O$  的距离就更大,可产生较大的惯性力矩。这个力矩使身体产生向后翻转运动(与前翻相反),保证腾空后顺利完成挺腹动作。

重力矩:重力  $P$  相对于蹬地点  $O$  产生的重力矩可使人体产生向前翻转动作,即前翻力矩(使人体向前转动)。

◎不同的跳马动作,起跳时摆动动作的特点。

以下比较做水平跳动作时和做手翻动作时起跳动作的不同动作特点。参阅图 4-46 跳马起跳动作示意图。

图 4-46 说明:跳马起跳时,人体重心在脚支撑点的前面,重力会产生一个前翻力矩;而手臂摆动后的制动所引起的惯性力会产生一个向后的后翻力矩。

○做水平跳动作时(水平跳技术要求人体在扶马前身体水平运动,不产生转动)。

起跳末时手臂制动产生的惯性力矩与前翻力矩相反,可以抵消重力矩引起的前翻力矩,对维持人体平衡有利。因此要求起跳结束后摆到  $30^\circ$  左右时,就做手臂制动动作,以便与前翻力矩相适应,使之刚好维持人体不转动,达到水平跳的技术要求。

○做手翻动作时(手翻运动技术要求人体在扶马前身体事先有一定的前翻力矩)。

起跳末时手臂制动产生的惯性力矩与前翻力矩相反,对后续动作获得一定的前翻力矩不利。因此要求起跳结束后摆动动作要尽量高(即尽量向上摆而不是向后摆),这样可以使摆动臂在制动时加速度向下,而制动惯性力向上,减少惯性力矩对向前翻转的不利影响;同时要设法减小手臂制动时的惯性力矩。减小摆臂制动惯性力矩有两个途径:一是减小惯性力(手臂制动缓慢一些以减少加速度  $a$ ),二是减小力臂(使手臂尽量靠近身体垂线,往上摆动)。

#### 四、“鞭打”动作

在单杠的下法及摆越动作中,为了获得较大的腾空高度,广泛采用了“鞭打”运动技术。

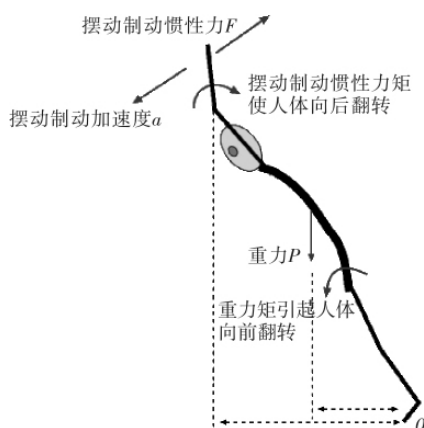


图 4-46 跳马起跳动作示意图

### (一) 惯性离心力

参阅图 4-47, 当物体做旋转运动时, 会产生惯性离心力。当物体是绕转轴运动时, 惯性离心力的反作用力会作用在转轴上, 其作用是限制物体脱离转轴。

反作用力与惯性力大小:  $F_n = Q_n = m \cdot r \cdot \omega^2$

其中:  $m$  是质量,  $r$  是转动半径,  $\omega$  是角速度。

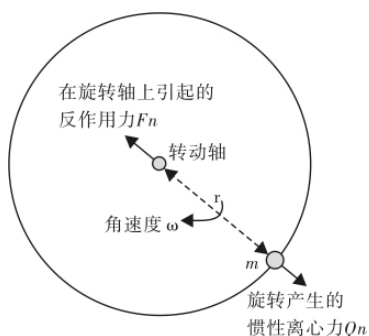


图 4-47 旋转运动时惯性离心力示意图

### (二) “鞭打”动作带来的惯性离心力

“鞭打”的作用主要是加快远端环节的摆动角速度, 使两腿产生一个较大的惯性离心力, 通过身体传至单杠, 加大对单杠的弹性变形, 并在恢复形变时利用单杠的弹性势能, 使身体获得更大的上升力。参阅图 4-48 “鞭打”动作产生惯性离心力示意图。

法向惯性力:  $Q_n = m_{\text{腿}} \times r_{\text{腿}} \times \omega_{\text{腿}}^2$

其中:  $m_{\text{腿}}$  是腿的质量,  $r_{\text{腿}}$  是腿的重心到杠的距离,  $\omega_{\text{腿}}$  是腿的角速度。

例如: 某运动员做单杠团身后空翻两周下之前的“鞭打”动作, 在通过杠下垂直部位的一瞬间, 两腿对躯干的摆动产生 13.4 弧度/秒的相对角速度, 该运动员体重为 60 千克, 该瞬间两腿重心距髋轴为 0.378 米, 这时两腿的惯性离心力计算如下:

$$Q_n = m a_n = m_{\text{腿}} \times r_{\text{腿}} \times \omega_{\text{腿}}^2$$

$$= \frac{60 \times 0.373}{9.8} \times 0.378 \times 1.34^2 = 155(\text{千克})$$

其中 0.373 是两腿的相对重量,该值与人体体重相乘就是两腿的质量  $m$ 。

该瞬间产生 155 千克的惯性离心力,是由两腿做“鞭打”动作时产生的,相当于该运动员体重的 2.6 倍。这对于提高脱手后的腾空高度起很大作用。

由于加速摆会引起躯干的制动,会使摆腿时躯干的角速度会明显下降,躯干对单杠的惯性离心力将会减小。但因为躯干重心距转轴的距离小,因此躯干惯性离心力下降的幅度要远远小于腿部所增长的幅度,所以整体上惯性离心力是增大的。

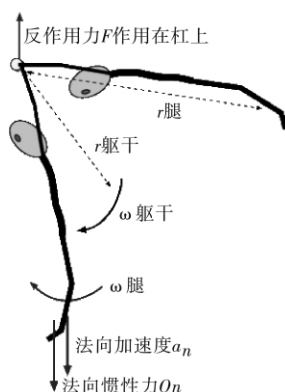


图 4—48 “鞭打”动作产生惯性离心力示意图

## 五、起跳与推手

“起跳”或“推手”虽然是两个不同动作,但都是为了使身体做抛射运动而做的准备动作。例如:跳马的起跳或推手。在起跳或推手后,要求身体重心获得足够的水平速度和垂直速度,使身体进入腾空后能够向前、向上运动,同时还要具有足够的翻转能量。这三项是评价起跳与推手优劣的基本指标。

### (一)提高水平速度问题

#### 1. 提高准备动作速度

起跳运动的水平速度来源于助跑;推手动作的水平速度来源于推手前的腾空动作。因此,提高准备动作速度,有助于提高起跳或推手的水平速度。

#### 2. 减小重心水平速度的损失

要求减小对水平速度的制动作用。起跳着地点或推手点要距重心垂直投影线近一些,可减小制动的作用,其水平速度损失也就小些。

#### 3. 腾空抛物线应低些

如跳马起跳前的上板,重心抛物线的高度应适宜。在技巧空翻的起跳中,当蹬子推手后(或是后手翻推手后)的重心抛物线不宜过高。

### (二)提高垂直速度问题

## 1. 肌肉力量

起跳动作涉及髋、膝、踝部位的肌肉,推手动作涉及肩带等有关肌群,这些部位的收缩力与收缩速度越大,重心垂直速度越大,重心轨迹上升的高度也越高。

## 2. 作用方向

起跳或推手时,获得垂直速度的大小与地面和器械的作用力方向有关,不同动作有不同的作用力方向,要作具体分析。

## 3. 缓冲“刚度”

起跳或推手时主动做积极的缓冲动作,可提高缓冲环节的“刚化”程度,使起跳或推手时相关肌群发挥更大的力量。

## 4. 水平速度对垂直速度的影响

垂直速度与起跳或推手时的水平速度有直接关系。在一定的范围内,水平速度越大,可促使垂直速度也加大。

## (三)提高翻转速度的问题

起跳或推手过程中,通过调整各力的关系,可使身体获得必要的转动动量。

## 1. 支撑反作用力

支撑反作用力不通过身体重心时,可产生外力矩,使身体翻转。参阅图 4—49。

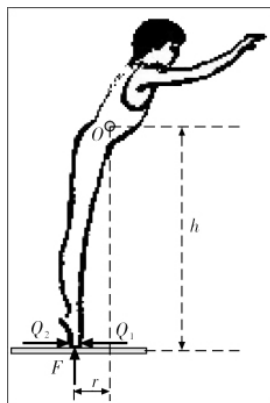


图 4—49 跳马起跳离板瞬间的受力状况示意图

支撑反作用力对翻转的影响:  $F$  是支撑反作用力,  $r$  是力  $F$  至重心  $O$  点的水平距离。这时外力矩  $M = F \times r$ , 此力矩可使身体沿向前翻转。

## 2. 摩擦力

摩擦力产生的力矩也可使身体翻转。但是摩擦力方向不同时,产生的翻转效果不同。参阅图 4—49。

摩擦力对翻转的影响:地面摩擦力的作用方向总与脚对地面用力方向相反。摩擦力如沿  $Q_1$  的方向时(向前蹬),摩擦力对重心  $O$  之矩为  $Q_1 \cdot h$  可使身体向前翻转;摩擦力沿  $Q_2$  的方向时(向后蹬),摩擦力矩  $Q_2 \cdot h$  可使身体向后翻转。因此,蹬地力方向不同时摩擦力方向也不同,产生转动的效果也不同。分析动作时应特别注意。

### 3. 摆臂的惯性力矩

起跳时,摆动臂的加速摆动或制动(减速摆动)会产生与摆动加速度方向相反的惯性力矩,这个惯性力矩有时能促进翻转,有时会限制翻转,应根据动作的具体要求加以利用。当它与需要的翻转方向相反时,为了减小它的影响,一般可通过减小惯性力或减小力臂来实现。

### 4. 制动对翻转的影响

起跳或推手时,整个身体绕着地点转动,这时因重心有水平速度,因此身体就有转动的能量。例如,快跑的人脚突然被绊住时,即当人体在支撑点突然制动时,人体就会绕通过制动点的轴转动。跳马推手后,第二腾空若想得到较大的翻转速度,就要求在推手过程中具有较大的制动。

由以上对水平速度、垂直速度、翻转速度的分析可见,在获得垂直速度的过程中,水平速度起着重要的作用。一方面要求水平速度大些,另一方面制动性的推手或起跳又要损耗部分水平速度。翻转速度也与水平速度有着密切的关系,水平速度越大,制动后产生的翻转速度越快。

## 六、破坏平衡后的紧急处理

人体的平衡动作受维持平衡的若干因素影响,当其中的某个平衡因素被破坏时,就会发生倾倒。因此,动作过程中一旦失去平衡就要及时提供与倾倒方向相反的力或力矩,其数值应稍大于破坏平衡的力或力矩,才可能把超出支撑面的重心拉回到支撑面之内。

### (一)身体向前倾倒时采取的措施

#### 1. 动作措施

身体向前倾倒时,一般应做体前屈、两臂前伸、重心降低等动作。参阅图 4—50。

降低重心动作的作用:重心的降低可加大稳定角,增加稳定性。但并不能提供一个反向力和力矩。

体前屈、两臂前伸动作的作用:当身体向前倾倒时,表示已经具有向前的翻转力矩  $M$ 。这时做体前屈动作,会使以臀部为主的部分肢体向后移动,躯干和两腿的质心  $A$  点将向后运动并超出支撑面,重力  $G$  对支撑点  $B$  点的力矩  $G \cdot d$ ,将使身体向后翻转。 $G \cdot d$  便是对抗破坏平衡力矩  $M$  的反向力矩。此时如果再把一条腿尽力后伸,可加大重力臂  $d$ ,则  $G \cdot d$  会更大。此外,两臂前伸动作,并充分放松两肩,使向前的动量瞬间与身体脱离,也可减少向前的翻转力矩。

同样的道理。当身体向后倾倒时,一般应做体后屈、两臂后伸的动作;当身体向侧翻倒时,应向反方向伸臂或伸腿,也可产生一个反向力矩,把重心拉回到支撑面的上方。

#### 2. 人体维持平衡的动作特点

人体不同于刚体,人体在失去平衡时,破坏平衡的动量往往集中到远端环节。此时如果让两臂(或小腿)向破坏平衡的方向运动,并保持这些运动环节相联的肌肉充分放松,就使这个破坏平衡的动量不影响其他大部分身体的平衡。这就好像这些环节瞬间脱离身体一样,这样做可为运动员采取其它相应措施争取到一定时间;另一方面,身体近端各环

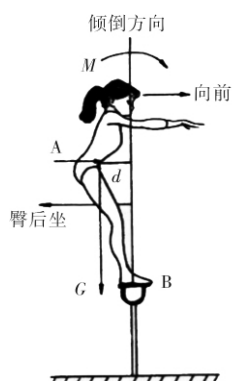


图 4-50 人体向前倾倒时动作示意图

节通过代偿地向破坏平衡的反方向移动(例如前倒时的臀部后坐动作),这瞬间便可提供一个反方向的力或力矩,把重心拉回到支撑面上方。

### (二)向翻倒的方向做快速摇臂

向翻倒方向快速摇臂动作可以给身体提供一个反向动量矩,使身体回到平衡位置。参阅图 4-51。当身体出现向前翻倒的力矩  $M$  时,两臂可迅速做向前的快速摇臂动作,产生一个动量矩 ( $I\omega$ ),此时身体的其他部分必然产生一个大小相等方向相反的动量矩 ( $I_1\omega_1$ ),它能够使身体向后翻转,以对抗破坏平衡的外力矩  $M$ 。

运动员的平衡能力是通过长期训练得到的,如前庭分析器及本体感受器的灵敏度、运动员对脚底受力后的分化感知能力等。运动员各种分析器的灵敏度越高,则对各种破坏平衡的力或力矩的判断也就越迅速准确,这是调整身体姿势维持平衡的前提条件。

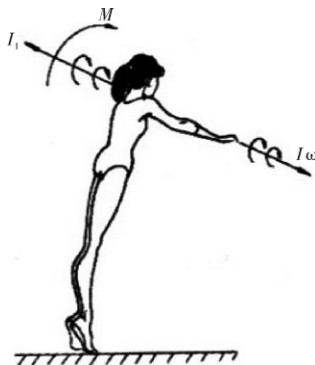


图 4-51 向翻倒方向快速摇臂示意图

## 七、滚翻动作的基本规律

滚翻动作类似于球体的滚动,参阅图 4-52。

当球受到推力  $F$  的作用时,  $F$  会使球产生绕支撑点  $O$  的转动力矩,它使球产生转动。 $F$  同时会使球的支撑点前移到  $O'$  处,偏移距离为  $h$ 。支撑点的地面反作用力  $N$  与  $h$  形成滚动摩擦力矩,它阻止球的滚动。

静止的球体,在水平方向上推一下,就会向前滚动一段距离,然后又静止不动,若连续

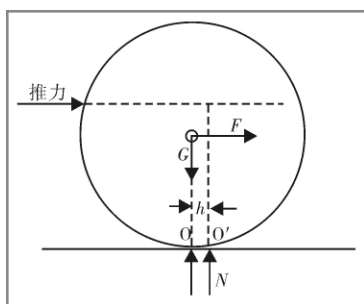


图 4-52 前滚翻受力示意图

给它向前的推动力,球就会不断地向前滚动。这个实例告诉我们:当推力对球体做功,球体便会获得动能,这个动能会使球体向前滚动一段距离。在滚动过程中,动能在不断克服滚动摩擦力矩的过程中而被消耗掉,直到球体停止运动。

球体滚动时的动能为:  $\frac{1}{2}I \cdot \omega^2$ , 其中  $I$  为球体转动惯量,  $\omega$  为转动角速度。动能与摩擦力矩对球体滚动的影响如下:

- ① 摩擦力矩所做的功小于动能时,继续滚动。
- ② 摩擦力矩所做的功等于动能时,物体静止。

人在垫子上的滚动虽然比球的滚动要复杂得多,但仍遵循上述规律。人在滚动时,必须先产生动能,然后在此动能的基础上,减少转动惯量(紧紧团身),加快翻转角速度,尽快完成滚动。人在完成滚翻动作的结束姿势时,重心的高度比滚动阶段重心的位置高,因此滚翻动作中还要有一部分动能转成屈体站立时所需的势能。人在滚动中,肩、背、腰、臀近似一圆弧。下面就讨论这一滚动。

由于头和脚解剖结构的限制,不可能团成理想的球形,因此头、脚超出球外的部分就要在滚动的前方形成附加支撑引起制动,对球体产生很大的阻力矩。头、脚超出球外部分越远,制动作用就越大。参阅图 4-53。其中:

图 A 是前滚翻:由于抱膝较紧,两腿团入球内,制动力矩  $G \cdot L_1$  较小。

图 B 是后滚翻:由于头不能完全低到胸前,因此向后滚动时会以头部位置形成支撑点,支撑点距重心垂直投影线的距离  $L_2$  较前滚翻的  $L_1$  要大,因此头的制动力矩  $G \cdot L_2$  要大于前滚翻的  $G \cdot L_1$ 。

图 C 是直腿前滚翻:由于动作本身姿态要求,两腿必须伸直着地,就造成支撑点远离了重心投影点,因此产生制动力矩  $G \cdot L_3$  较前两种都大,由此加大了动作的难度。

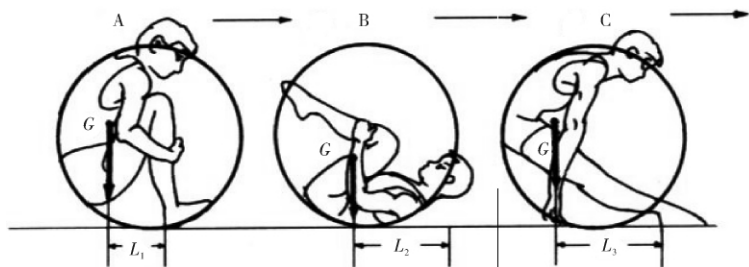


图 4-53 前滚翻、后滚翻及直腿前滚翻的制动力矩示意图

在有较大制动力矩出现的场合(如后滚翻、前滚翻直腿起等),人体原有动能难以克服

制动力矩,所以必须有补充能量的手段。例如,通过两脚在滚动开始时的蹬地动作及之后的推手动作来补充动能;或通过紧紧团身减小转动惯量实现加快滚动等。

综上所述,滚翻动作可由三个阶段组成:

- (1)产生动能阶段 包括平动和转动动能;
- (2)快速滚动阶段 充分利用动能和减小转动惯量,这阶段要克服摩擦力及制动力矩,能量被逐渐消耗;
- (3)补充能量阶段 通过推手动作、团身动作等。

由于滚翻类每个动作的技术结构的不同,在运用翻滚动作的基本规律时,还需要注意研究其特性。

## 八、后手翻腱子的基本规律

### (一)后手翻腱子技术动作

以左侧的后手翻腱子动作为例,参阅图 4—54。趋步后,右脚在接近重心的下方处着地,左脚很快超前着地,左脚蹬地,接着右腿用力上摆(注意:在右腿摆起之前左脚已经着地,两脚有一个短暂的共同蹬地时间),在脚蹬地结束前一瞬间,左手外展向下方撑地(略向左,注意:左脚和左手也有一个短暂的共同撑地时间)。左手撑地后,以左臂为轴,以肩和头带动身体向内转  $90^\circ$ ,紧接着右手下插撑地,经分腿倒立后,猛烈推手,两腿并拢,提腰屈髋,迅速向前插腿,进入短暂的腾空阶段,双脚在距重心投影线较近处落地,结束腱子动作。

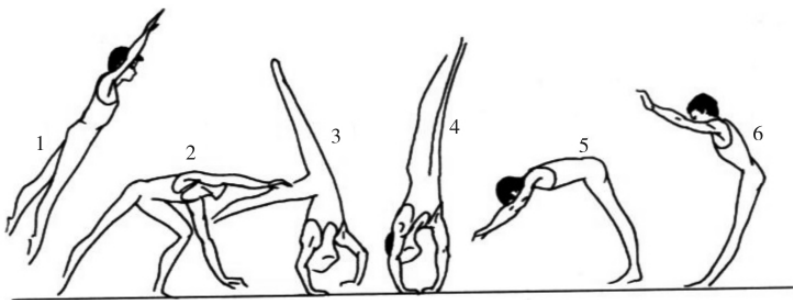


图 4—54 后手翻腱子示意图

### (二)动作环节

按力学分析的方法可将后手翻动作过程分为五个阶段:即趋步、蹬地、侧手翻内转  $90^\circ$ 、腾空、落地起跳。整个动作过程贯穿了制动和加速的矛盾。

后手翻腱子有两次制动:第一次是在趋步后,右脚和左脚前后着地对重心水平速度有一制动作用;第二次是在推手后的双脚落地时产生的制动。两次制动都会对翻转产生影响,特别是第二次的制动更大。

后手翻腱子有两次加速:第一次是在左手撑地后,由于两腿的蹬摆作用以及两手的推地作用可使重心水平速度显著加快;第二次是在腱子双脚着地缓冲制动后,向前用力蹬地动作时可产生加速作用。

只要把握住这两次制动和两次加速过程的规律,就可以不断改进后手翻腱子的运动

技术。

### (三)后手翻腱子的三个任务

第一,把向前的运动速度转化为向后的运动速度。

第二,把助跑的水平速度有效地转化为后手翻的水平速度。

第三,在蹬地推手阶段使身体重心获得更大的水平速度。

参阅图 4—55。

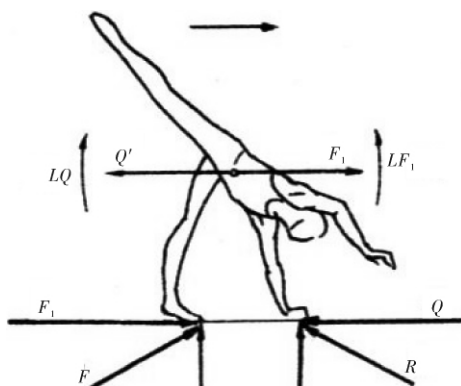


图 4—55 后手翻腱子受力分析示意图

第一个任务:在摆腿成倒立时完成  $90^\circ$  转体,倒立后又完成内转体  $90^\circ$ ,这样便完成了  $180^\circ$  的转体,实现了向前的速度转为向后的运动速度。

第二个任务:在右脚着地(左脚着地)撑左手(撑右手)时会有重心水平速度被制动的可能性,同样在双脚着地时也有制动作用。为了尽量减小对水平速度的制动作用,可运用两种手段:其一,着地时,使着地点接近重心投影线,这可减小支撑反作用力的制动作用。用左脚着地时,右脚还在用力蹬地,此时是左脚撑、右脚蹬,这样便把左脚着地时的制动作用减到最低程度。同样在撑左手时,左脚要用力蹬地,减小左手撑地时的制动作用。其二,如果左手撑地时,左脚已蹬地结束或蹬地无力,那么手撑地反作用力  $Q$  对重心就会产生很大的制动作用。反之,如果左脚及时蹬地,产生的水平推力  $F_1$  就能有效地削弱制动,当  $F_1 > Q'$  时,就可以推动身体重心加速向前。

第三个任务:在蹬地或推手时要充分发挥肌肉的爆发力,使重心产生较大的水平速度。这跟跑的后蹬动作类似,要求在蹬地角(或推撑角)较小的时候快速发力,可以产生尽可能大的重心水平速度。

接空翻的腱子与接后手翻的腱子主要区别是起跳的制动性。后手翻腱子要求尽量减少重心水平速度的损失,并在起跳(或推手)时加大推力,增大向后的水平力,提高向后的水平速度;而空翻腱子双脚着地时要强有力地制动水平速度,使它尽可能多地转为垂直速度,使重心抛物线更高。

## 九、空翻转体类动作的基本规律

要完成一个高质量的空翻转体动作,从力学角度看,必须具备三个条件:

第一,有一个高抛物线。

第二,有尽可能高的绕重心横轴的翻转速度。

第三,获得一定的转体动量矩以完成绕纵轴转体动作。

前两个条件和腾空前的运动技术有关,主要是与脱手、推手和起跳过程中的技术有关。因此,如何获得重心的最大垂直速度以便获得重心腾起的最大高度,以及如何获得绕重心横轴的最高翻转速度是重要的问题。

### (一)提高腾空抛物线

自由体操、跳马、平衡木和技巧等项目中,可通过有力的起跳、摆臂、推手等动作提高腾起的垂直速度,从而获得较高的腾空抛物线。器械上的腾越、再握、下法等动作,主要应提高振浪摆动效果,提高腾起时的重心垂直速度,从而获得较大的腾起高度。

### (二)提高绕横轴的翻转速度

不论是从起跳推手进入腾空,或者是从器械(单杠、高低杠、吊环)通过摆动旋转后脱手进入腾空,在进入腾空前,就应使身体获得尽可能大的绕身体横轴的动量矩。

推手及起跳类空翻动作的翻转动量矩,主要来源于制动阶段重心水平速度对支点形成动量矩。因此水平速度对提高翻转速度十分重要。在起跳蹬伸或推手的动作中,合力也可以形成力矩,使身体获得翻转能量。

从器械上脱手形成的空翻动作,在摆动动作中,脱手前应有尽可能大的摆动角速度,脱手瞬间身体绕重心横轴的动量矩就是腾空时翻转的动量矩  $I \cdot \omega$ 。

腾空阶段身体总动量矩守恒,因此减小身体绕横轴的转动惯量  $I$ ,便可增加角速度  $\omega$ 。为此可通过屈体抱紧双腿等团身方法减小转动惯量。

### (三)获得绕纵轴的转体动量矩

通过起跳动作获得转体动量矩。在起跳类空翻转体动作中,常采用靠支撑点的摩擦力矩获得转体的能量,这时应从支点的远端游离环节开始转体,这样才能获得初始转体动量矩。参阅图 4—56,该图代表扭臀转体的一个典型动作。

通过空中动作获得转体动量矩。空中有两种机制可产生转体。第一个是髋关节做屈伸绕环动作,可使身体其他部分(头、胸、两臂和两腿)产生反方向动量矩。根据动量矩守恒定律,腰髋绕环的动量矩和身体其他部位的反方向动量矩大小相等方向相反,身体总动量矩不变。第二个产生转体的机制是通过不对称摆臂动作,使总动量在人体纵轴上产生分量而引起的。如旋转类空翻转体动作,转体前绕重心横轴的动量矩就是总动量矩,通过两臂上下不对称的合理摆动引起身体质量分布发生变化,身体纵轴会离开原运动平面,这时原横轴动量矩会在倾斜的纵轴上产生动量矩分量,因此可产生转体动量矩。

据研究证明,靠扭臀做空翻转体动作,在直体转体或团身转体中,获得转体的动力是有限的。以直体空翻转体动作为例,如果不做摆臂动作,仅靠扭臀的作用可完成转体的约  $1/4$ ,这证明,在空翻转体时,不对称摆臂起着最重要的作用。

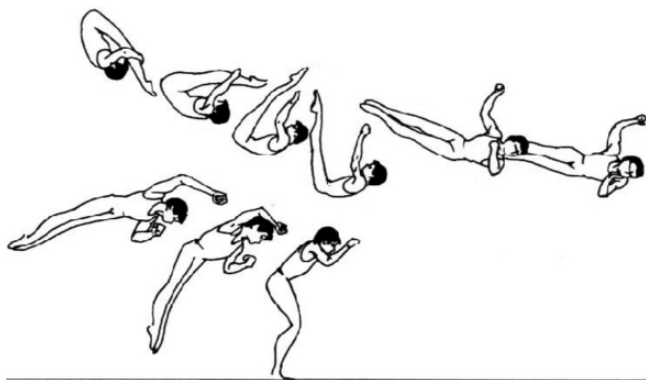


图 4—56 髋关节屈伸绕环完成 180°转体示意图

## 第七节 游泳运动技术分析

游泳有 4 种比赛姿势：“蝶泳”，“仰泳”，“蛙泳”，“自由泳”。游泳是比较复杂的周期性运动。身体除了在水中运动以外，部分身体还是在水和空气的共界面运动。因此，运动成绩受流体力学因素的影响较大。

### 一、出发技术分析

在四种比赛泳姿中，除了“仰泳”是直接从中出发以外，其他“蝶泳”，“蛙泳”，“自由泳”三种都是采用从游泳台上跳入水中的出发方式。本节所分析的出发技术仅针对从游泳台跳入水中的动作方式。

游泳借助蹬离出发台时反作用力的冲量，可在 3~3.5 秒内通过 8 米的距离，相当于 2.3~2.7 米/秒的平均速度游进。不论采用哪种出发姿势的运动员，从出发到 8~10 米的距离内，时间都基本相同，不存在显著性差异。

#### (一) 出发姿势

##### ● 出发动作姿势

摆臂式：动作特点是在出发时有加速摆动双臂动作。这种方式在起跳时能获得较大的动量，入水速度较快。由于摆臂动作，使得从听到信号到跳离台面的动作过程较长。

抓台式：动作特点是在出发时双手抓住游泳出发台的前沿。这种方式可使动作反应迅速，离开跳台快，在时间上所赢得的优势足以补偿因动量相对不足造成的损失。抓台式是目前较多采用的出发姿势。

##### ● 与出发姿势相关的指标分析

抓台式与摆臂式主要指标比较：其反应时、鸣枪到游至 9.14 米（10 码）的时间、蹬台冲量、入水点等项差异无显著意义；但出发时间、转动半径、转动惯量等项的差异有非常显著意义；腾空时间差异有显著意义。

肌肉用力：抓台式两臂紧抓出发台，髋、膝关节角度较小，为蹬伸做好较充分准备，下

肢肌群事先被拉长,保持一定的弹性紧张度。当听到鸣枪后能产生瞬间的牵张反射,有利于发挥蹬台的爆发力。摆臂式动作比较简单,借助摆臂的惯性力可以跳得较远,在接力比赛的出发中仍被广泛采用。

重心位置:抓台式能使重心的垂线更靠近池边,使身体向池内倾倒的稳定角最小,有利于起动。而且重心较低,保持平衡的稳定性较大。

## (二)入水姿势

蹬离出发台后,身体腾空姿势一般有两种。一种是身体平直;另一种是空中有屈体动作。相应的入水姿势也有平式入水和洞式入水两种。

入水的阻力与入水姿势有关。把身体重心看作斜抛运动,其入水阻力  $F = k \cdot S \cdot v^2$  (其中  $k$  为阻力系数,受身体姿势影响;  $S$  为入水截面积;  $v$  为入水速度),则入水阻力的水平分量  $F_x = F \cos \theta$ 。参阅图 4-57。

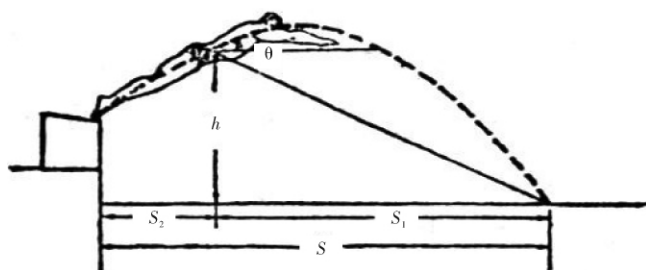


图 4-57 出发离台姿势示意图

平式入水时,身体纵轴入水角一般为  $10^\circ \sim 20^\circ$  角,重心轨迹与水平面的夹角为  $20^\circ \sim 40^\circ$  角,参阅图 4-58。入水的截面积较大,因而增加阻力。但平式入水可获得较大的水平分力。



图 4-58 平式入水示意图

洞式入水时,身体纵轴入水角一般为  $30^\circ \sim 40^\circ$  角,入水截面积最小,参阅图 4-59。因而阻力小,入水深,但水平分力较小。

评价:从出发动作结构结合水中滑行技术来看,“抓台洞式入水”是比较理想的出发技术。掌握抓台洞式入水技术比较复杂,它要求身体腾空到最高点后收腹、提臀,低头夹于两臂之间,上体下压,屈体成弓形。入水时两手上下重叠,以一点破水,然后展体,使手、头、躯干、腿依次从一个洞插入,可最大限度地减小兴波和碎波阻力。入水后双手适时翘腕,稍挺腹滑行。当滑行速度降低到接近游速时开始转入游泳动作。

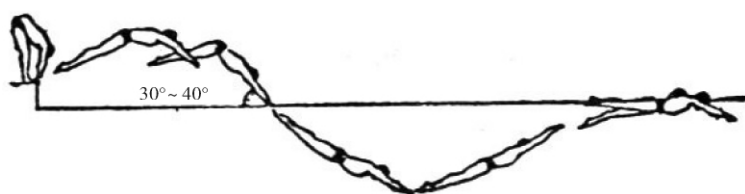


图 4-59 洞式入水示意图

## 二、游泳划水的推进力

游泳是依靠上肢的划水动作和下肢的打水或蹬水动作获得游泳的推进力,尤其是手的划水动作是推进力的主要来源。研究游泳推进力的任务就是要了解升力和阻力在推进力中所占的比例及其作用,以及合理的划水路线,从理论上为游泳的技术训练提供依据。

### (一)手的受力及升阻系数

#### 1. 划水时手受力分析

参阅图 4-60,手划水时的受力状况示意图。运动员沿  $Z$  方向游进,翼状图形表示手的横截面。当它沿  $v$  的方向划水时,手受到水的阻力  $D$ ,方向与划水方向相反;手还到水的升力  $L$ ,方向与划水方向垂直。阻力和升力的合力  $R$ ,是由手产生的推动力。

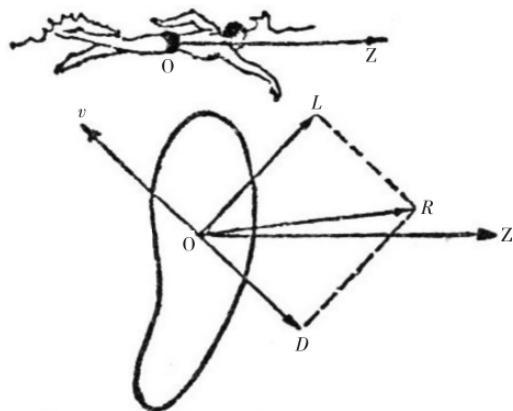


图 4-60 手划水时的受力状况示意图

由图上可见,升力  $L$  和阻力  $D$  在  $Z$  方向上的分量都可以成为游泳运动的推进力,即游泳推进力的本质就是靠肢体动作产生的升力和阻力,其大小可分别用下列两式表示:

$$L = \frac{1}{2} C_L \rho S v^2 ; D = \frac{1}{2} C_D \rho S v^2$$

式中  $C_L$  是升力系数;  $C_D$  是阻力系数;  $\rho$  是水的密度;  $v$  是手在水中划水速度;  $S$  是手的某个特征面积(它可以采用手的表面积,也可以采用手在划水速度方向上的投影面积等等),考虑到手划水时的姿势总在变化,因此采用手的表面积作为其特征面积最为方便,这样  $C_L$ 、 $C_D$  的值也是在以手的表面积为其特征面积的条件下测定的。

从上面两公式可知,升力和阻力与手的升、阻系数、手的表面积都成一次方的关系,而与手的划水速度成二次方的关系,也就是说,划水速度对推进力起着重要的作用。如果划

水速度是原来的二倍,则推进力是原来的四倍。这就使得我们在讨论合理的划水路线的时候,不能只考虑到单纯利用阻力的直线划水技术,而应该考虑到既利用阻力,又利用升力的曲线划水技术。

## 2. 手的姿势确定

在游泳划水动作的全过程中,手对水的姿势是不断变化的。为了确定手与水的关系,可以通过掠水角  $\varphi$  和迎水角  $\alpha$  来描述手对水的姿势。

●掠水角描述:参阅图 4—61。掠水角是指水流方向与手掌平面之间的运动关系。当手入水时,相当于水从手指尖流向手腕,这时手的掠水角定义为  $\varphi=90^\circ$ ;手向内侧划水时,相当于水从大拇指一侧流向小指一侧,手的掠水角定义为  $\varphi=0^\circ$ ;手向外侧划水时,相当于水从小指一侧流向大拇指一侧,手的掠水角定义为  $\varphi=180^\circ$ ,其它方向类似。不同掠水角,表示了手掌平面对水流方向的不同运动关系。

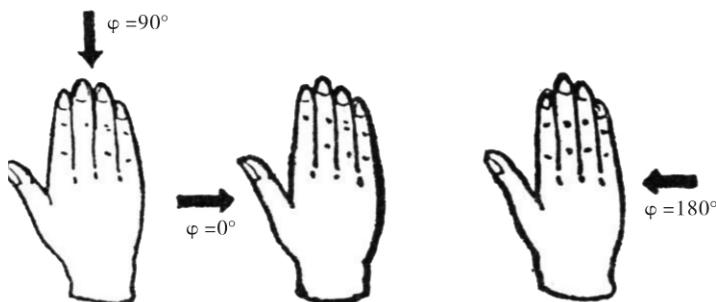


图 4—61 掠水角示意图

●迎水角描述:参阅图 4—62 迎水角示意图。迎水角是指水流方向与手掌掌面之间的姿势关系。当水流方向与手掌掌面平行时,迎水角定义为  $0^\circ$ ;当水流方向与手掌掌面垂直时,迎水角定义为  $90^\circ$ ;当水流方向与手掌掌面呈  $\alpha$  角时,迎水角定义为  $\alpha$ 。

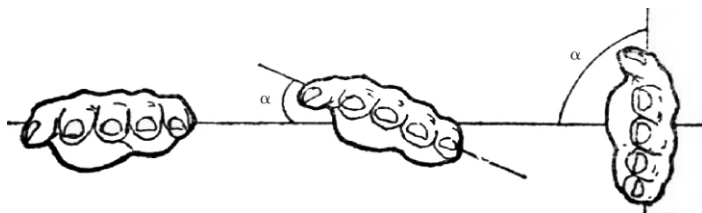


图 4—62 迎水角示意图

当掠水角固定时,手对水流的不同迎水角  $\alpha$ ,就会形成手对水的不同姿势。通过掠水角和迎水角,可基本确定手与水的关系。

## 3. 升阻系数

为了能计算游泳运动员划水时推进力的大小,首先应该测定游泳运动员手的升阻系数,当然直接测定是不可能的,只能通过模型手进行水动力学测定,然后将测定结果运用于特定设计的游泳划水实验,通过理论计算和实验观察相结合的方法进行实验验证。

检验模型手的测定结果是否适用于众多的游泳运动员,美国游泳运动生物力学专家罗伯特·施雷霍夫做了大量的测定和验证,认为其模型手升阻系数的测定结果是可用的,并测定得到升阻系数变化曲线。参阅图 4—63 和图 4—64,两图分别是掠水角  $\varphi=0^\circ$  和掠

水角  $\varphi=180^\circ$  时升阻系数随迎角  $\alpha$  的变化曲线。

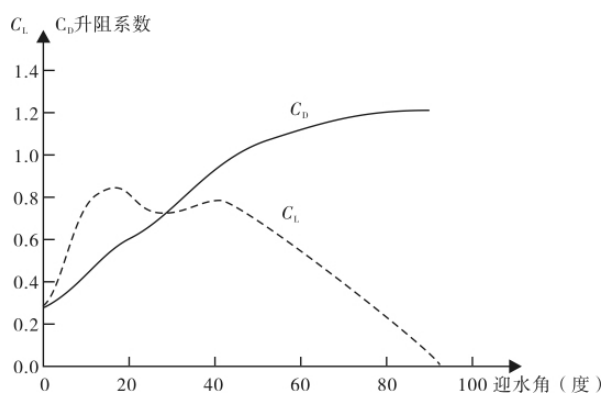


图 4-63 掠水角  $\varphi=0^\circ$  时的升阻系数变化示意图

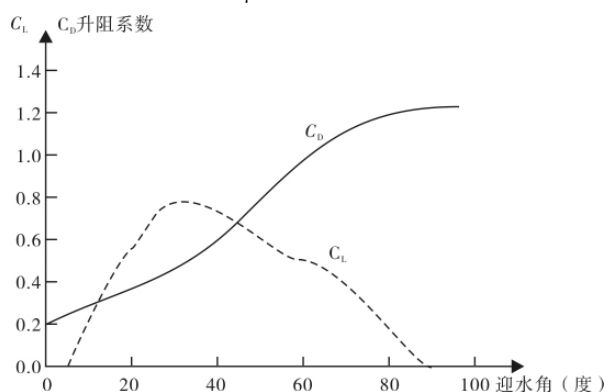


图 4-64 掠水角  $\varphi=180^\circ$  时的升阻系数变化示意图

## (二)划水力

在手的升阻系数基础上,可以讨论划水推进力的性质,即划水推进力中升力和阻力所占成分。还可以深入讨论合理的划水路线以及手的迎角问题。

### 1. 划水路线

游泳运动员的手在水下划水的路线是复杂的空间曲线。但不论如何复杂,划水运动总可以看成向里、向外、向上、向下、向前、向后六个方向的基本运动。前四个运动称为横向划水,后两个运动称为纵向划水。参阅图 4-65。

为了确定在划水的某个瞬时横向划水和纵向划水各占比例的大小,可用划水速度方向与人体横轴间的夹角  $\beta$  来描述。例如,  $\beta=90^\circ$  表示直线向后的全纵向划水;  $\beta=0^\circ$  表示全横向划水;  $\beta$  在  $0^\circ\sim90^\circ$  之间变化表示既有横向又有纵向的曲线划水。

由于在划水路线上,任意点的切线方向就是该点的瞬时速度方向,因此利用  $\beta$  角还可以间接了解划水路线的状况。当  $\beta$  角变化越大的地方,表示曲线弯曲度越大。

### 2. 划水推进力的类型

从力的方向看,  $\beta=90^\circ$  时全纵向直线向后划水是完全以阻力作为推进力;  $\beta=0^\circ$  时全横向划水是完全以升力作为推进力,  $\beta$  在  $0^\circ\sim90^\circ$  之间的曲线划水,是升力和阻力共同对

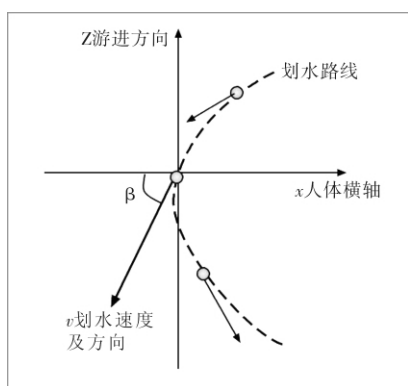


图 4-65 划水路线与速度、方向示意图

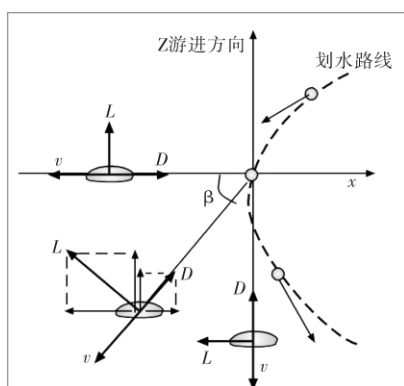


图 4-66 划水推进力示意图

推进力起作用。参阅图 4-66, 该图说明了在推进力中, 升、阻力的成分随  $\beta$  角而变化。在“水感”最佳的条件下, 理论分析表明:

- ① 当  $\beta$  角处在  $0^\circ \sim 25^\circ$  时, 推进力中升力成分占 60% 以上, 称为升力型推进力。
- ② 当  $\beta$  角处在  $25^\circ \sim 60^\circ$  时, 升力和阻力成分都在 40% ~ 60% 之内, 称为升阻型推进力。
- ③ 当  $\beta$  角处在  $60^\circ \sim 90^\circ$  时, 阻力成分占 60% 以上, 称为阻力型推进力。

### 3. 合理的划水路线

以上在讨论划水速度方向时,  $\beta$  角是按划水的实际速度进行的。然而, 在人体向前游进过程中, 当手进行划水时, 手还会同时随人体向前运动。也就是说人体向前的游进运动对手的划水运动产生影响, 二者之间是一个复合运动关系。在这个关系中, 人体向前的运动是牵连运动, 手的划水运动是相对运动, 手相对于水的运动才是绝对运动。因此, 按照复合运动原理, 手相对于水的实际划水速度  $v$  等于人体游进的牵连速度  $v_e$  与手划水的相对速度  $v_r$  的矢量和。参阅图 4-67, 图中  $v_r$  表示手相对人体的划动速度, 与人体纵轴成  $\varphi$  角;  $v_e$  表示人体游进速度;  $v$  表示手的实际划水速度。

一般情况,  $v$  总是小于  $v_r$ , 而且  $\varphi$  角越小,  $v$  越小, 这是很不利于获得推进力的。合理的划水路线除了受前面提到的手的升阻系数影响以外, 还受划水速度的影响。综合升阻系数和划水速度对划水路线分析结果表明: 当  $\phi$  角处在  $40^\circ \sim 60^\circ$  之间时, 能获得最大的推进力, 这时  $\beta$  角都会小于  $40^\circ$ , 推进力都属于升力型。也就是说升力型和升阻型的划水路线是合理的划水路线。

这个理论分析的结果可用于三种划水路线的实验作定性的检验, 参阅图 4-68 三种典型的划水路线示意图。大量实验的统计结果表明: S 型划水的速度最快, 问号型划水的速度其次, 直线型划水的速度最慢。

### 4. 有关手的迎角

理论分析表明: 不同的推进力类型, 手的迎角是不同的, 升力型的迎角大致  $45^\circ$ , 升阻型大致  $55^\circ$ , 阻力型迎角大致  $70^\circ$ 。在完整的一次划水路线中, 不仅路线要弯曲变化, 而且迎角也要随路线作适当调整, 像划船中的摇橹一样摆动。

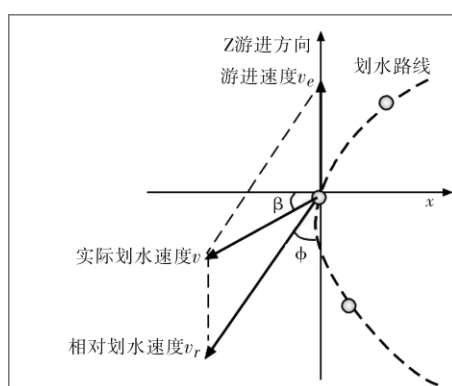


图 4-67 划水动作各速度关系示意图

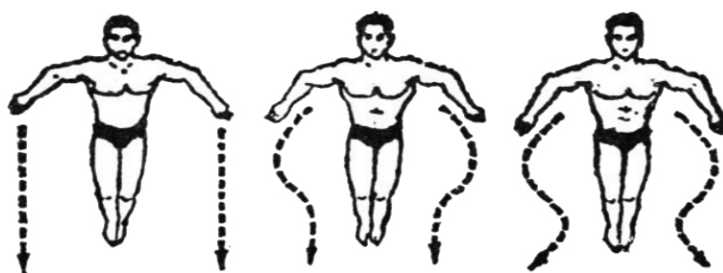


图 4-68 三种典型的划水路线示意图

### (三) 四种泳姿划水路线的分析

下面以世界优秀游泳运动员的划水为例,说明四种泳姿划水的推进力。根据划水时的运动学数据绘出划水路线,了解划水过程不同位置间隔上推进力中的升阻力成分。

#### 1. 爬泳

是自由泳中较多采用的姿势,因此又直接将其称为自由泳。

参阅图 4-69 爬泳划水动作过程轨迹俯视图。数字表示各个间隔段的序列(其他三种泳姿中,数字也代表序列)。

图 4-69 提示:俯视图,右手轨迹。

从 1 到 24 间隔段,是手入水阶段,手有向前运动分量,阻力对推进力起不利的作用,只有升力起有利的作用。25 间隔段之后,升力和阻力都对推进力起作用。从 25 间隔以后,可大致计算出升力在推进力中所占的平均比例为 51%,加之入水阶段升力的作用,可以说,在爬泳划水全过程中,升力在推进力中的作用略大于阻力。

#### 2. 蝶泳

参阅图 4-70 蝶泳划水路线的三维轨迹图。

从 1 到 5 的序列间隔段,对应着入水阶段,手有向前运动的速度分量,阻力对推进力不起作用,只有升力起作用。在 6 到 21 的各个间隔,升力和阻力对推进力都起作用。大致可以算出升力在 6 到 21 间隔段内平均成分为 46%,加入其他间隔段中升力的作用,可以说,在蝶泳划水推进力中,升力所占的比例略小于阻力所占的比例。从 22 到 24 是划水

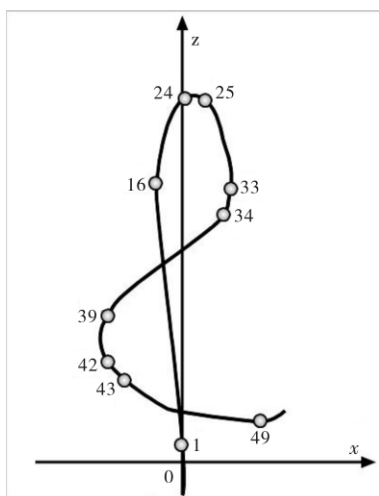


图 4—69 爬泳划水动作过程轨迹俯视图

结束阶段。

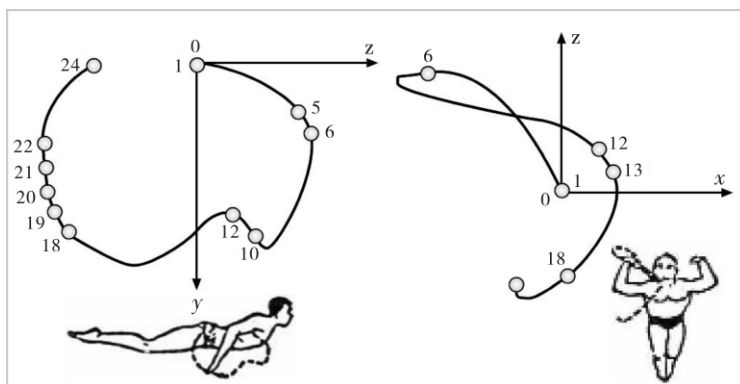


图 4—70 蝶泳划水路线的三维轨迹图

图 4—70 说明:左图:侧视图,右手轨迹。右图:仰视图,右手轨迹。

### 3. 仰泳

参阅图 4—71 仰泳划水路线的三维轨迹图。

图 4—71 提示:左图:右侧视图,右手轨迹。右图:俯视图,左手轨迹。

在 1 到 5 间隔的入水阶段和 21 到 23 间隔的向下压水结束阶段,手有向前运动分量,阻力对推进力不起作用,升力起着推进作用。在 6 到 20 间隔段,升力和阻力都起着推进作用。推进力中升力和阻力的成分大约各占 50%,如果将 1 到 5、21 到 23 间隔段上升力作用考虑进去,可以大致地说,在仰泳划水的推进力中,升力的作用等于或略大于阻力的作用。

### 4. 蛙泳

参阅图 4—72 蛙泳划水的三维轨迹图。

图 4—72 提示:左图是正视图,右手轨迹;右图是侧视图,z 指向游进反向。

在 1 到 3 和 14 以后的间隔段上,手有向前运动的速度分量,阻力不起推进作用,升力

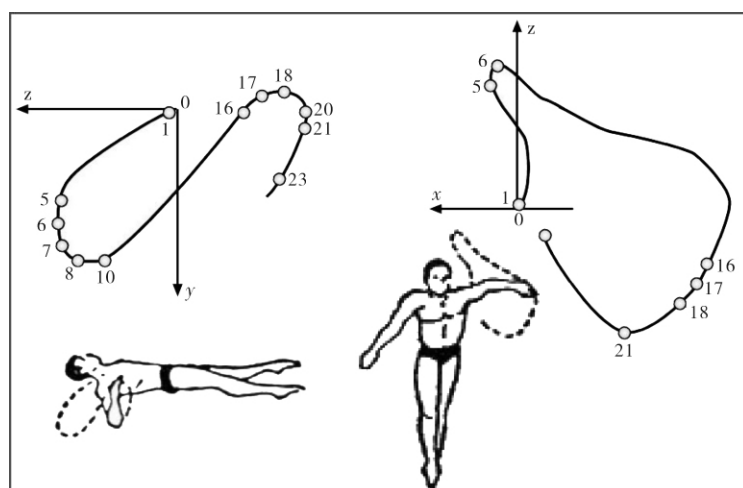


图 4-71 仰泳划水路线的三维轨迹图

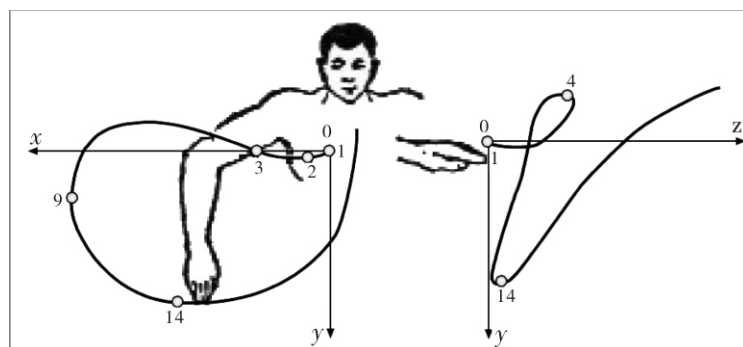


图 4-72 蛙泳划水的三维轨迹图

才能起推进作用。在 4 到 14 间隔段上,升力和阻力都起着推进作用,这些间隔段上,大都属于升力型推进力,在这些间隔上,在推进力中升力成分约占 74%,毫无疑问,升力在蛙泳划水的推进力中起了十分重要的作用。

世界优秀游泳运动员的划水技术都自觉或不自觉地采用曲线划水。在划水过程中推进力的类型虽然总是交替出现的,但在关键的划水阶段,如爬泳、仰泳的拉水和推水阶段,大都是升力型和升阻型的。而阻力型大都出现在不同划水阶段的转换处。之所以如此,应该说是他们具有良好的“水感”,并利用这种天生的“水感”,经过长期的训练逐步形成的结果。而曲线划水的理论作用就在于让教练员有意识地指导所有游泳运动员去尝试、去体会、去掌握这种技术,使更多的没有良好“水感”的运动员也能获得优异的成绩。

### 三、游泳中两腿动作的技术分析

#### (一)打水、蹬水的力学分析

由于脚的升阻系数至今未作水动力学的测试,因此无法定量地去分析打水蹬水的推进力,只能根据打水、蹬水时踝关节的运动轨迹对升力和阻力的作用进行简单的定性分析。

对脚部动作进行高速摄影的结果分析表明：爬泳和蝶泳脚部动作中，踝关节的轨迹十分相似。仰泳脚部动作的踝关节轨迹和爬泳脚部动作的踝关节轨迹翻转  $180^\circ$  的情况十分相似，所以，对于这三种泳式，只要分析爬泳就可以了。

### 1. 打水

参阅图 4—73 爬泳扶板打水动作时踝关节的轨迹侧视图。

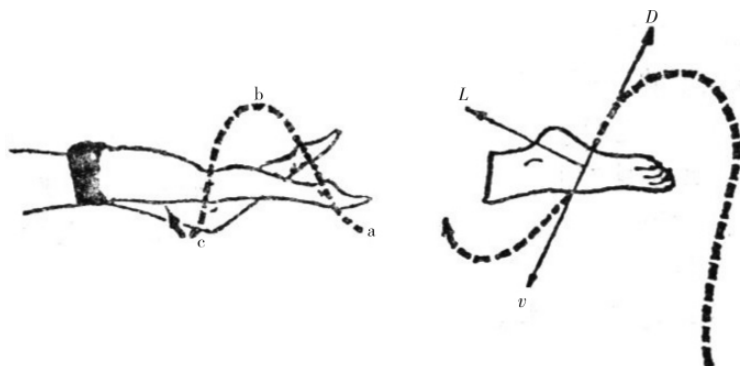


图 4—73 爬泳扶板打水动作时踝关节的侧视轨迹图

图中从 a 点到 b 点是爬泳的向上打水动作，脚没有向后的运动分量，阻力不能起到推进作用，从 b 点到 c 点是爬泳的向下打水动作，脚主要是向下的，向后的很少，所以，阻力朝上，起保持身体水平姿势的作用，升力朝前下方，起着推进力的主要作用。整个打水动作，向上打水对推进力起负作用，向下打水对推进力起正作用，因此，打水节奏、踝关节的柔韧性十分重要，使动作刚柔协调。

### 2. 蹬水

蛙泳蹬水时踝关节轨迹与其它三种泳式打水时踝关节轨迹有明显的差别。

参阅图 4—74 蛙泳蹬水动作时踝关节侧视轨迹图。

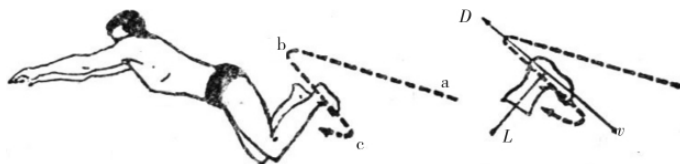


图 4—74 蛙泳蹬水动作时踝关节侧视轨迹图

从 a 到 b 是蛙泳收腿翻脚动作的踝关节轨迹，脚是向前运动的，收腿动作增加了游泳运动员的水阻力，不利于身体向前的运动；从 b 到 c 是蹬水动作的踝关节轨迹，脚作向后，向下的运动，向后和向下的幅度相当，升力和阻力都可成为蹬水的推进力。由于忽视了蹬水时向外和向内的两个横向运动，脚的升阻系数又不可知，所以，升力和阻力对推进力的贡献就无法定量地描述，有待于深入的研究解决。

### (二) 爬泳打腿频率的实验分析

游泳时两臂划水是向前游进的主要推进力。而对于打腿动作的作用，有专家提到：“打腿主要是起平衡作用，是保持腿部抬高，使身体成流线型的一种手段。”认为：“一些具有高水平的游泳运动员，当他们的游进速度超过 1.5 米/秒时，快速打腿不仅起不到增加

速度的作用,甚至会影响速度,增加前进阻力,有些甚至当游速达到 1.2 米/秒时,就已经出现这种现象。”

有人曾对爬泳打腿频率进行了实验研究,他们用不同的速度拖曳运动员在水中游进过程中测定其慢打腿和快打腿时的阻力。参阅图 4—75。

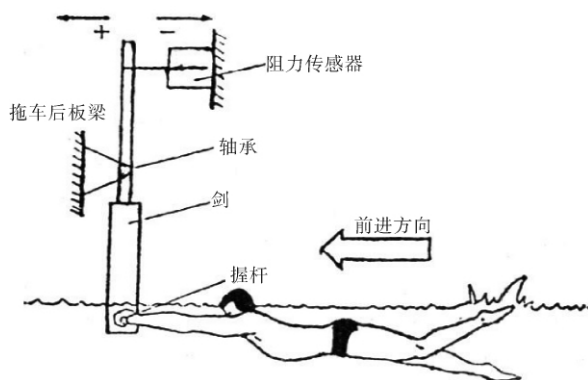


图 4—75 爬泳打腿频率的实验示意图

在静卧姿势拖曳所测定的力,是完全是游进阻力。在配合打腿动作时所测定的力称之为“推阻力”,即打腿所产生的推进力等于推阻力减去游进阻力。

快打腿时,当拖曳速度高于 1.7 米/秒(慢打腿时拖曳速度达 1.4 米/秒)以后,打腿的推阻力反而大于静卧拖曳的阻力。这就使一些人认为快打腿起不到增加速度的作用。

在较低游速时,加速打腿频率对推阻力的减少较为有利,但在高游速时,加速打腿频率对推阻力的减小并不大。这是因为在高游速情况下,加速打腿频率使推力增加的同时,阻力也相应的增加。总的来说仍可以获得一些推进力,所以运动员在水中平卧打腿可以向前游进。但从能量学观点来看,肌肉收缩的能量消耗与肌肉收缩的速度成立方比的关系,所以快打腿使人体的能量消耗大,受益小。当运动员在接近终点冲刺时,都会按自己的体力情况尽全力快速打腿,不遗余力地争取哪怕是很小的一点推进力。至于采用哪种打腿频率和手腿配合的比例,要根据游进距离的长短,运动员的体力等多种因素来决定。

## ◆ 实验与技能

### 实验十 设计制定“运动技术分析方案”

#### (一)实验目的

学生依个人的兴趣,查询和阅读相关运动技术文献资料,据此提出运动技术分析的目标。然后按本章介绍的运动技术分析相关知识,制定一项运动技术分析的方案。目的是通过本实验,将本章所介绍的知识,用于运动技术分析的实践。

#### (二)“运动技术分析方案”应包含的内容

##### 1. 选题依据

本运动技术分析方案的研究目标目前在国内外的研究现状,研究目标的实际意义。

包括:①与本分析方案相关的研究现状的主要内容综述;②本分析方案主要的现实意义分析;③主要参考文献(选择其中最主要的8篇列出)。

## 2. 研究内容

本方案的主要思路(包括目的、方法、指标体系、创新点),重要观点。包括:①研究目的(研究内容);②研究方法;③指标体系设计;④创新点和重要观点说明。

## 3. 研究基础

与本分析方案相关的成果;仪器设备条件;实验对象。包括:①个人已经具有的相关成果(或经验体会、观察结果、思考假说);②本分析方案所需要的仪器设备,以及这些仪器设备的拥有途径;③本分析方案所需要的实验对象。

## 4. 预期结果

本分析方案创新程度,理论意义,应用价值。

## 5. 经费预算

本分析方案经费需要的详细预算表。

“运动技术分析研究方案”评分表

| 评分项目及要求                | 优秀                                                   | 良好                  | 及格                    | 不及格                    | 得分                |
|------------------------|------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------|------------------------|-------------------|
| 一<br>(20分)<br>当前研究现状   | ①收集资料是否充足,特别是主流科技期刊中的重要文献资料;(8篇以上)。②对所收集资料的研究程度和把握程度 | 两项条件均完全符合要求(18~20分) | 两项条件具备,但是不太完整(15~17分) | 两项条件有1项不符合要求(12~14分)   | 两项条件均不符合要求(0~11分) |
| 二<br>(20分)<br>分析方案的科学性 | ①研究目标的明确程度;②研究问题的实际意义情况;③研究问题的创新点情况;④在现有实验条件下可否顺利实施  | 四项条件均完全符合要求(18~20分) | 四项条件具备,但是不太完整(15~17分) | 四项条件有1~2项不符合要求(12~14分) | 四项条件均不符合要求(0~11分) |
| 三<br>(20分)<br>研究方法的科学性 | ①研究思路是否清晰;②研究思路是否有独到之处;③技术动作阶段划分是否合理                 | 三项条件均完全符合要求(18~20分) | 三项条件具备,但是不太完整(15~17分) | 三项条件有1项不符合要求(12~14分)   | 三项条件均不符合要求(0~11分) |
| 四<br>(20分)<br>指标体系     | ①指标体系的设计是否可以满足研究目标的需求;②选用的仪器设备、实验对象是否可以保证指标体系的获取     | 两项条件均完全符合要求。18~20分  | 两项条件具备,但是不太完整(15~17分) | 两项条件有1项不符合要求(12~14分)   | 两项条件均不符合要求(0~11分) |
| 五<br>(10分)<br>经费预算     | ①经费预算项目是否完整、合理;②预算金额是否符合实际需要                         | 两项条件均完全符合要求(9~10分)  | 两项条件具备,但是不太完整(7~8分)   | 两项条件有1项不符合要求(6~7分)     | 两项条件均不符合要求(0~5分)  |
| 六<br>(10分)<br>语言文字     | ①分析方案撰写的条理性;②逻辑思维是否清晰;③语言是否通顺流畅;④错别字情况               | 四项条件均完全符合要求(9~10分)  | 四项条件具备,但是不太完整(7~8分)   | 四项条件有1~2项不符合要求(6~7分)   | 四项条件均不符合要求(0~5分)  |
| 合计                     |                                                      |                     |                       |                        |                   |

说明:优秀85分以上;良好74分以上;及格60分以上;不及格60分以下。不及格者要修改。担任评委的同学必须做到“公平、公正、严肃、认真”。

## ◆复习思考

### (一)“运动技术分析的方法和一般步骤”复习思考题

1. 运动技术要素主要有哪些？它们对运动技术有何意义？
2. 请任选一个运动技术要素，举例谈谈它对运动技术的作用。
3. 运动技术要素的获取方法有哪些？
4. 运动技术分析中，数据处理的主要目的是什么？它与数据分析有何联系与区别？
5. 请举例谈谈运动技术训练的针对性问题？
6. 简述运动技术分析的主要步骤及每个步骤的主要任务。
7. 运动技术与运动技术环节有什么区别？划分运动技术环节经常使用的依据是什么？
8. 什么是运动技术的关键环节？请举一实例并分析它的关键环节。

### (二)“跑”复习思考题

1. 短跑中后蹬腿伸的越直，产生的蹬地功率就越大，是否就能提高跑速？为什么？
2. 在短跑中，适当缩短着地距离和适当延长缓冲时间，会对短跑技术产生什么影响，试分析原因。
3. 谈谈在跑步技术中，上肢和摆动腿的摆动动作以及躯干的扭转动作对跑步技术有何意义。
4. 影响跑步速度的因素有哪些？
5. 请结合你掌握的理论知识或实践体会谈谈你对跑步中步长与步频的见解。

### (三)“跳”复习思考题

1. 在跳跃运动中，助跑的作用有哪些？起跳动作有何意义？
2. 请分析影响跳远运动成绩的因素。你认为如何做才能比较合理的提高跳远运动员的成绩？
3. 请分析影响跳高运动成绩的因素。并着重谈谈跨越式跳高技术与背越式跳高技术之间影响运动成绩最主要的差别。
4. 在跳高中，如何在起跳阶段增大重心上升的高度？

### (四)“投掷”复习思考题

1. 以标枪为例，请你分析投掷技术动作各环节的作用。
2. 请你谈谈影响投掷器械飞行远度的因素。为什么投掷标枪、铁饼的出手角比铅球、链球要小？
3. 什么是“超越器械”，它对投掷技术效果有何影响？标枪的超越器械主要表现在什么动作上？
4. 空气对标枪飞行有哪些影响？

(五)“举重”复习思考题

1. 举重原则中的“近”是指什么？它有哪些技术优点？
2. 举重原则中的“快”是指什么？它对举重技术的发挥有何作用？
3. 举重原则中的“低”是指什么？请以挺举中的“提铃至胸”动作为例，分析贯彻“低”原则有何意义？
4. 举重三原则之间有何联系？请谈谈你的见解。

(六)“体操”复习思考题

1. 体操运动中完成相向运动的影响因素有哪些？请分析这些因素是如何影响相向运动的？
2. 请谈谈体操运动中做“立腰”、“提气”、“绷紧”等动作的力学意义？
3. 分析体操中的摆动动作对完成跳跃动作的意义。
4. 体操中的三种滚翻动作(屈腿前滚翻、屈腿后滚翻、直腿前滚翻)，哪种动作难度最大？请从生物力学角度分析其主要原因。
5. 请分析后手翻腱子(以左侧动作为例)在蹬地动作阶段(左脚、左手同时触地瞬间)，使人体产生向运动方向翻转的动力来源，以及影响翻转的阻力因素。
6. 在腾空前没有获得绕纵轴力矩的情况下，在腾空过程中要实现绕纵轴转体动作，可以采用哪些方法？并简述其动作过程及力学特点。
7. 人体平衡被破坏的紧急处理措施有哪些？具体谈谈发生向前倾倒(或向后倾倒)时，可以采用什么补救动作？分析该补救动作的力学特点。
8. 体操运动中空翻转体类动作的基本规律有哪些？

(七)“游泳”复习思考题

1. 游泳出发技术主要有哪两种出发技术？试比较这两种出发技术的优缺点。
2. 请指出游泳中手的掠水角和迎水角分别表示什么意义。并指出掠水角  $\varphi=0^\circ$  和迎水角  $\alpha=60^\circ$  时手与水的方向关系。
3. 何谓划水阻力、升力、划水速度方向？三者有何关系？划水速度方向角  $\beta$  不同时，对划水推进力有什么影响？
4. 在直线型、问号型、S 型划水路线中，哪种划水路线最佳？简要分析其原因。
5. 看懂并熟悉四种游泳姿势的划水轨迹示意图。