

RENTIYUNDONGFENXI



# 人体运动分析

人民体育出版社

# 人体运动分析

袁庆成 编著

人民体育出版社

此书改由本社发行

人体运动分析

袁庆成 编著

人民体育出版社出版

冶金工业印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 32开 130千字 5 24/32印张

1981年12月第1版 1981年12月第1次印刷

印数:1—6,000册

统一书号: 7015·1981 定价: 0.61元

封面设计: 鲍岳廷 责任编辑: 骆勤方

## 前 言

人们从事体育运动时需要做很多动作，有些动作难度较大，技术要求较高，只有通过分析才能了解运动规律和动作要领，更好地指导教学和训练工作，使运动员加快掌握动作的进程和提高动作质量。从这个意义上说，分析人体运动是体育科学研究工作的一个组成部分，是体育教师、教练员和运动员应当掌握的一项基本功。

人体是具有特定形态结构的活体，运动形式多样，动作结构不一，各器官协调共济，相当复杂。要想全面地揭示人体一系列运动现象的本质，需要应用多种学科知识进行分析和研究。这本《人体运动分析》，确切地说，是对人体所从事的体育动作进行解剖学和力学的分析。用解剖学知识分析人体运动，是把人体作为具体的研究对象，重点分析人体在运动过程中肌肉是怎么工作的。用力学知识分析人体运动，是把人体抽象为质点或刚体，研究质点或刚体受力而运动的一般规律。把这两方面的知识结合起来，分析人体运动的空间和时间特征、人体外力和内力的相互作用等等，有助于我们了解人体运动的力学规律。以此确定各项运动技术的一般原理，鉴定运动员从事某一动作时所表现的优点和缺点，探讨产生缺点的原因，寻求改正缺点的途径，促进运动成绩的提高。

本书是在一九六四年出版的《人体运动力学》的基础上改写和补充的，变动较大。书中介绍了人体运动的一些力学概念、人体各部运动器官的基本运动、分析人体运动的

简易方法和对人体某些运动的分析。中心是讨论如何分析人体运动的问题，供体育教师、教练员和运动员参考。

由于笔者的认识水平有限，书中缺点和错误一定不少，希望读者批评指正。

本书在写作过程中，得到辽宁省高教局的支持，得到北京体育学院苏品同志、江苏师范学院体育系叶永延同志、上海体育学院金季春同志和北京大学物理系龚镇雄等同志的帮助，在此表示感谢。

# 目 录

<b>第一章 人体运动的一些力学概念</b> .....	( 1 )
第一节 人体运动的分类.....	( 1 )
第二节 人体重心和平衡.....	( 3 )
第三节 人体运动的空间和时间.....	( 10 )
第四节 人体运动的速度和加速度.....	( 15 )
第五节 力和人体运动的关系.....	( 30 )
第六节 影响人体运动的外力和内力.....	( 41 )
<b>第二章 人体各部运动器官的基本运动</b> .....	( 49 )
第一节 人体的骨骼和关节.....	( 50 )
第二节 人体的肌肉.....	( 52 )
第三节 关节运动和肌肉工作的理论.....	( 55 )
第四节 上肢的基本运动.....	( 67 )
第五节 下肢的基本运动.....	( 77 )
第六节 躯干的基本运动.....	( 85 )
<b>第三章 分析人体运动的简易方法</b> .....	( 83 )
第一节 分析人体运动所涉及的内容.....	( 88 )
第二节 拍摄运动技术图片应注意的几个问题.....	( 89 )
第三节 描述人体运动的外部形态.....	( 92 )
第四节 求人体重心.....	( 95 )
第五节 分析人体平衡的条件.....	( 99 )
第六节 计算人体运动的速度.....	( 101 )
第七节 计算跳跃的腾起角和腾起初速度.....	( 106 )
第八节 检验投掷角和投掷初速度.....	( 108 )

第九节	测定踏蹬的力量和时间	(112)
第十节	分析肌肉的工作	(115)
第十一节	分析呼吸状况	(118)
第十二节	分析血液循环情况	(120)
<b>第四章</b>	<b>对人体某些运动的分析</b>	<b>(122)</b>
第一节	十字支撑	(122)
第二节	直角支撑	(124)
第三节	手倒立	(126)
第四节	直臂水平支撑	(129)
第五节	向前大回环	(132)
第六节	起 跑	(136)
第七节	途中跑	(142)
第八节	跳 高	(147)
第九节	背向掷铅球	(151)
第十节	原地单手投篮	(156)
第十一节	正面屈体扣球	(159)
第十二节	踢足球	(163)
第十三节	游 泳	(166)
<b>主要参考文献</b>		<b>(176)</b>

# 第一章 人体运动的一些力学概念

人体运动所涉及的力学问题是多方面的，这里仅就经常应用的一些力学基础知识，结合人体运动作一概述。

## 第一节 人体运动的分类

在体育运动中，已经把所有的运动分为田径、体操、球类、游泳、滑冰和武术等体育项目。这些项目中，有人体静止的平衡运动，也有位置发生变化的位移运动。从纯力学观点来说，除了平衡运动以外，对于位移运动，大致可以分为平动和转动两类。平动是人体由一个地方到另一个地方的运动，人体平动时，其内部所引的任何一条直线总是跟原来的方向平行的。转动是人体围绕着转动轴所做的运动。人体转动时，其内部各点都围绕同一个中心做圆周运动或转过一段弧线。人体平动可以分为直线运动和曲线运动。曲线运动可以分为一般曲线运动和圆周运动。圆周运动和转动是有联系的，但它们是两个不同的概念。把人体视为质点并研究其运动规律时，作为圆周运动来考虑，把人体视为刚体并研究其运动规律时，则作为转动来考虑。

当我们把解剖学和力学结合起来分析人体运动时，不仅要考虑到人体运动的力学特征，还要考虑到人体运动的解剖学特征，因此，我们把人体运动分为以维持平衡为主的静力



性运动和变化复杂的动力性运动。

静力性运动包括支点在人体重心上方的上支撑平衡运动,和支点在人体重心下方的下支撑平衡运动。各种悬垂动作,属于支点在人体重心上方的上支撑平衡运动;站立、手倒立、体操后桥等动作,属于支点在人体重心下方的下支撑平衡运动。

动力性运动包括以下三组:

第一组是前进运动。其中有走、跑、游泳和滑冰等项目。

第二组是旋转运动。其中有三种情况:第一种是围绕器械轴的转动,如在单杠上摆动、回环等;第二种是脚固定在支点上,围绕通过人体重心的垂直(上下)轴的转动,如花样滑冰的单腿支撑旋转等动作;第三种是腾空时围绕通过人体重心的额状(左右)轴、矢状(前后)轴和垂直(上下)轴的转动,如前空翻、侧空翻和纵跳转体等动作。

第三组是复杂运动。在完整的运动过程中既有前进运动,又有旋转运动,如俯卧式跳高、背越式跳高、投掷铅球、自由体操中的跑动接翻腾等。

这三组运动,特别是前进运动,其中有的是两侧肢体在同一时间内完成同一动作的对称运动,有的是两侧肢体在同一时间内完成不同动作的非对称运动。无论对称运动或是非对称运动,都包含有周期性运动和非周期性运动。周期性运动是由若干重复动作组成的,在每个周期内按一定的顺序循环这些动作。非周期性运动从开始到结束是一次完成的,运动中的每个动作并不重复。

## 第二节 人体重心和平衡

人体重心和人体平衡有密切的联系，和运动技术有很大的关系。分析人体运动时，特别是从静力学角度分析人体平衡运动时，离不开确定人体重心的位置，也就是说，只有了解人体重心的所在，才便于探讨人体平衡的问题。

### 一、人体重心

人体重心是人体运动力学中的一个基本概念。我们都知道，地球上任何一个物体都受地心吸引，因而物体有重力。从人体运动力学角度来说，人体是一个组合物体，它是由头、躯干、上臂、前臂、手、大腿、小腿和足等一系列环节组成的。这些环节的每一微小部分物质都受地心吸引，都有重力。地心吸引人体时，组成人体各环节的每一微小部分物质的重力都指向地心。例如，人的一只手上有  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 、…… $P_n$  等重力的作用，它们汇交于地心。严格来说，这是一个汇交力系。但由于地球的半径比手的尺寸大得多，因而可以把这些力看作是空间平行力系，此平行力系的合力就是手的重力  $P$ ，其作用点即手的重心（图 1）。人体各环节都有重心，所有环节的重心垂线或叫做重力作用线，也可以看作是平行力系，此平行力系的合力就是人体重心。

人体重心位置在哪里，文献上记载不一。一般认为，人体自然站立时，重心在接近人体中央的矢状面内，稍偏向右侧，与第三骶椎上缘平齐并位于其前方 7 厘米处。男子的重心比女子的稍高一些（图 2）。

几何形状不变的物体，其重心位置是固定的。无论物体怎样放置，重心都固定在一点上。例如，工业上用的均质

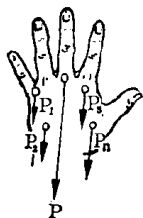


图 1 手的重心

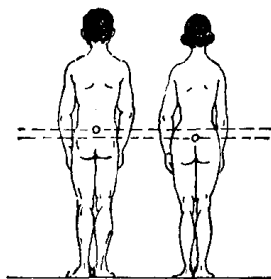


图 2 人体重心位置

旋转圆盘,当把它竖放时,各部分重力的合力 $P$ 向下通过圆盘的中心 $O$ 点;当把它平放时,各部分重力的合力 $P$ 仍然向下通过圆盘的中心 $O$ 点,圆盘的位置虽然变化了,但各部分重力的合力 $P$ 向下通过圆盘的中心 $O$ 点却不变,此中心 $O$ 点即圆盘的重心(图3)。人体各环节可以看作是几何形状不变的物体,它们的位置无论怎样变化,重力的方向永远竖直向下,永远通过环节内的一个固定点,即环节重心。例如,上臂由水平位下落的过程中,上臂的空间位置虽然不同,但上臂重力所通过的点亦即重心的位置是相同的,始终不变(图4)。其他环节当然也是这样。

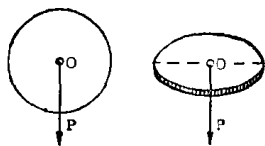


图 3 圆盘的重心

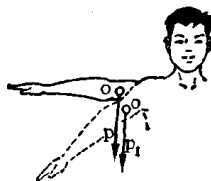


图 4 上臂的重心

整个人体由于受呼吸和血液循环等因素的影响，几何形状或多或少是有变化的，重心的位置也发生相应的移动，不可能固定在一点上。特别是在运动过程中，人体几何形状千变万化，重心的位置也随之千变万化。重心移动的方向跟环节运动的方向一致。重心移动的幅度取决于环节运动的幅度，环节运动的幅度大，重心移动的幅度也大。例如，人体大幅度前屈或背屈时，人体重心可以象半环形物体重心那样超出体外。

人体重心和运动技术的关系很大。例如，做手倒立时，人体重心投影在支撑面范围之内，就有利于维持平衡，否则就不能维持平衡。跑步时，后蹬的支撑反作用力集中地通过人体重心，对人体的推动力就大，获得的加速度也大。跳高时尽量提高重心，采取重心位置与横杆保持最小距离的姿势，就能有效地利用踏蹬力，跳出较好的成绩。打篮球时，进攻队员通过做假动作，可以诱使防守队员的重心发生移动，破坏其平衡姿势，从而赢得进攻的主动性。在体育运动中，不仅了解人体重心的所在有利于保持平衡和发挥运动技术，而且了解所使用器械的重心，也有利于发挥运动技术。例如，打排球、乒乓球和踢足球时，作用力通过球体重心，球就平动，作用力不通过球体重心，球就转动。我们知道了球的重心位置，就可以根据进攻的需要，对球施以中心力或非中心力。

## 二、人体平衡

平衡，就是物体暂时处于不动的状态。人体平衡和物体平衡有相同之处也有不同之点。

先说人体平衡和物体平衡的相同之处。

从平衡的条件来说，要使物体处于平衡状态，作用于物体

上的力必须符合平衡的条件。这就是说，如果物体受力的作用，作用于物体上的合力应当等于零；如果物体受力矩的作用，作用于物体上的合力矩应当等于零。换句话说，不应当有引起物体产生加速度的力，也不应当有引起物体产生转动的力矩。人体平衡的条件也是这样。

从重心和支点的相关位置来说，物体和人体都有支点在重心上方的上支撑平衡，和支点在重心下方的下支撑平衡。

从平衡的种类来说，根据物体和人体在外力的作用下失去原来的平衡位置以后继续保持平衡的情况，可以分为随遇平衡、稳定平衡和不稳定平衡。

随遇平衡的特点是，物体或人体处于任何位置，重力作用线都通过支撑面，由压力所引起的支撑反作用力都通过物体或人体重心，因而物体或人体处于任何位置都能保持平衡。对于物体来说，当它的位置改变时，重心既不升高，也不降低。例如，位于水平面上的规则的均质球体，是保持随遇平衡的典型物体。对人体来说，位置改变后重心既不升高也不降低的动作是很难找到的，仰卧滚动和做前滚翻动作可以看作是近似这类平衡（图5）。



图5 随遇平衡

稳定平衡的特点是，物体或人体从平衡位置开始无论怎样移动，重心都随之升高，同时产生使物体或人体恢复原来平衡状态的力矩。例如，悬挂着的摆体被外力推向一侧时，重心便升高，重力作用线 $P_1$ 离开支点，不与支点重合，产生了重力臂 $d$ 和重力矩 $M$ 。在重力矩的作用下，摆体能恢复到

原来的平衡位置。人体在单杠上悬垂时，被外力推动后，重心也随之升高，重力作用线 $P_1$ 离开支点，不与支点重合，产生了重力臂 $d$ 和重力矩 $M$ ，在此重力矩的作用下，人体能恢复到原来的平衡位置（图6）。

不稳定平衡的特点是，物体或人体从平衡位置开始发生倾斜时，重心随之下降，重力作用线超出支点，产生使物体或人体继续倾斜的力矩，进而破坏平衡，使物体或人体不能恢复到原来的平衡位置。例如，保持竖直平衡的杆子，在外力的作用下向一侧倾斜时，它的重心便下降，重力作用线 $P_1$ 超出支点，产生了重力臂 $d$ 和重力矩 $M$ ，在此重力矩的作用下，杆子继续倾斜，不能恢复到原来的平衡位置。人体做手倒立时，在外力的推动下人体便倾斜，重心随之下降，于是重力作用线超出支点，产生了重力臂 $d$ 和重力矩 $M$ ，在此重力矩的作用下，人体继续倾斜，使平衡遭到破坏（图7）。

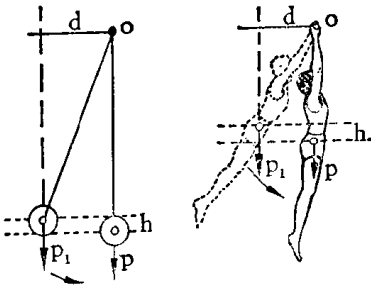


图6 稳定平衡  
( $M = P_1 d$ ——恢复平衡的力矩)

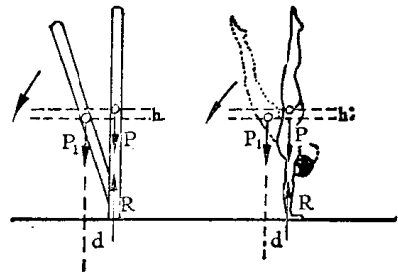


图7 不稳定平衡  
( $M = P_1 d$ ——破坏平衡的力矩)

无论物体或是人体，凡支点高于重心的上支撑平衡都是稳定平衡。而支点低于重心的下支撑平衡究竟是稳定平衡还是不稳定平衡，需要作具体分析。物体或人体在外力的推动下已经发生倾斜之后，当重力作用线仍然通过支撑面时，

有使物体或人体恢复平衡位置的力矩，是稳定平衡。当重力作用线超出支撑面时，就产生了破坏物体或人体平衡的力矩，是不稳定平衡。

从下支撑平衡的稳度来说，物体或人体平衡的稳度都跟以下因素有关。

第一，跟重心位置的高低有关。重心的高度是从重心到水平支撑面的竖直距离。重心位置高，稳度就小；重心位置低，稳度就大。

第二，跟支撑面的大小有关。支撑面是各支点的面积加各支点之间的面积。例如，双脚站立时，支撑面是两脚触地的面积加两脚之间的面积。支撑面大，稳度就大；支撑面小，稳度就小。

第三，跟稳定角的大小有关。稳定角是重力作用线与重心到支撑面边缘相应点连线的夹角。物体或人体在不同的方向上有不同的稳定角。重力作用线与重心到支撑面前缘的连线形成前稳定角；重力作用线与重心到支撑面后缘的连线形成后稳定角；重力作用线与重心到支撑面左缘的连线形成左稳定角；重力作用线与重心到支撑面右缘的连线形成右稳定角。前稳定角与后稳定角之和为前后方向的平衡角；左稳定角与右稳定角之和为左右方向的平衡角。稳定角的概念，既反映了重心的位置，又反映了支撑面的状况，是这两个因素的综合标志。稳定角大，平衡的稳度就大；稳定角小，平衡的稳度就小。做手倒立时，左稳定角和右稳定角比前稳定角和后稳定角大，也就是左右平衡角比前后平衡角大，因而在左右方向上容易保持平衡，在前后方向上则容易失去平衡。

稳定角决定平衡稳度的本质，是稳定力矩在起作用。人体在某一方向的稳定力矩 $M$ ，是人体的重力 $P$ 与重力作用线

到该方向支撑面边缘的垂直距离亦即重力臂 $d$ 的乘积。稳定力矩大，平衡的稳度就大；稳定力矩小，平衡的稳度就小。应用稳定力矩说明平衡的稳定更为科学（图8、图9）。

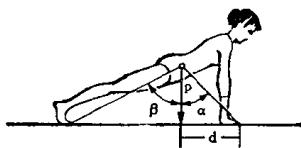


图8 俯卧撑的稳定角和稳定力矩

$\alpha$ —前稳定角； $\beta$ —后稳定角；  
 $Pd$ —稳定力矩。

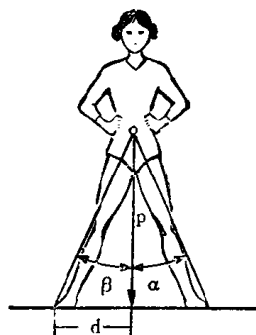


图9 分腿站立稳定角和稳定力矩

$\alpha$ —左稳定角； $\beta$ —右稳定角；  
 $Pd$ —稳定力矩。

再说人体平衡和物体平衡的不同点。

人体是由许多环节组成的活的杠杆系统，整个人体的平衡和各环节的平衡是有密切联系的。从事静力性运动时，各环节的平衡是整个人体平衡的组成部分，整个人体平衡是由各环节的平衡来保障，比一般简单物体实现平衡复杂。

人体呼吸和血液循环直接影响人体的几何形状，影响人体重心位置的固定，致使人体每时每刻都活动着。从事静力性运动时，要使活动着的人体保持平衡，显然是有困难的。但是，人体是受意识支配的，通过屏息、憋气或有节奏的呼吸可以尽量使人体静止下来，为平衡创造条件。

由于人体是受意识支配的，可以随意通过肌肉的工作降低重心的高度，扩大支撑面，增大稳定角和稳定力矩。有时



在重力作用线不通过支撑面时，如在肋木上做侧身平衡等动作，肌肉的拉力矩可以对抗重力矩，与其平衡。人体各环节处于水平姿势时，都是作用于环节的肌肉拉力矩与重力矩平衡的结果。

不仅如此，人体还有完善地调节平衡的自动器，即通过视觉、本体感觉，在大脑的控制下自动地调节平衡。例如，我们单手提重物时，为了不使重心向提重侧移动而失去平衡，便自觉不自觉地把对侧手臂张开，或向对侧倾斜上体，向与提重侧相反的方向移动重心，保持平衡。这种调节平衡的行为叫做补偿动作。运动员在平衡木上做动作时，经常通过补偿动作来调节平衡。此外，人体在位移运动中有失去平衡的趋势时能自觉不自觉地通过缓冲动作保持平衡。

如此等等，正因为人体区别于物体，在体育运动中才能做出单臂倒立、十字支撑等动作。至于在杂技表演中利用平衡原理所创造的尖端动作之多、之美，尤其使人感到神奇。

### 第三节 人体运动的空间和时间

空间和时间是物质存在的形式。人体的一切运动都是在空间和时间内进行的。了解人体运动的空间特征和时间特征，以及由此衍生的速度特征，是从运动学角度研究人体运动必须具备的基础知识。

#### 一、参照体和坐标系

宇宙间任何一个物体都在永恒不停地运动中。一个人静立在地面上似乎是不动的，但是地球有公转和自转，他自然也随着地球运动。这就是说静止是相对的，而运动则是绝对的。既然如此，那么在日常生活中，在体育运动中，我们怎