

# 人体运动生物力学

A stylized sunburst graphic dominates the cover. It features a central white circle with radiating lines. The upper portion of the sunburst is purple, and the lower portion is blue. The lines are white and extend outwards from the center.

人民体育出版社

# 人体运动生物力学

〔加〕戴维·温特 著  
刘志诚 李诚志 译  
李诚志 校

人民体育出版社

## 人体运动生物力学

〔加〕戴维·温特 著

刘志诚 李诚志 译

李诚志 校

人民体育出版社出版

北京朝阳展望印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

\*

787×1092毫米 32开本 8.375印张 130千字

1990年9月第1版 1990年9月第1次印刷

印数：1—2,000册

\*

定价：4.50元

ISBN7-5009-0186-0/G·173

责任编辑：卢锋

## 原版说明

书名: BIOMECHANICS OF HUMAN MOVEMENT

作者: DAVIDA . WINTER

出版单位: JOHN WILEY & SONS

出版时间: 1979

# 序 言

作者编著本书的目的旨在填补人体运动生物力学领域的一个空白。本书的重点在于利用真实动作的实测数据讲述对各种动态下人体运动进行评定的方法。为此，我们对有关人体运动的测量与分析技术作了广泛的介绍，以期使读者对这些较高水平定量评定方法感兴趣。在内容安排上既考虑到了与优秀运动员及残疾人有关的实际工作者的需要，也兼顾了科研人员的兴趣。

本书的主要特点是把分析范例与读者练习规格化。我们以我们实验室对人行走步态研究的实测数据为例，对第二章到第五章所涉及的方法逐步地进行了示范与说明。各章节的安排方法是接力式的，即由前一章问题的答案引出下一章的问题来。本书还提供了电算结果，以便让读者能验证习题的每步运算，这样可避免把一开始出现的错误贯穿始终。

在后两章中我们没有提出读者习题。原因是想尽可能地向读者介绍这些领域的现状及其生物物理基础。本书在所有章节之后都引用了较重要的或具有代表性的文献。但应当承认，所列文献仍然有所遗漏，作者对此表示遗憾。本书作者的意图是着重介绍本学科当今的最新成果与水平，当然也适当地介绍了一些有争议或错误的观点。

本书读者应具备力学和解剖学的基础，如果他们学过计

算科学和基础电子学则更为有利。本书内容可供人体运动学、体育和职业病理疗及生物工程（康复工程）学领域的工作人员参考。

作者对在编写此书过程中给予很大帮助的同事约翰·凯斯（John·Cairns）和约翰·佩扎克（John·Pezak）表示感谢。他们在收集原始材料中做了大量工作。盖尔（Gayle）在打印、校对及修改书稿方面也做了细致的工作，在此也对他表示感谢。此外，还应对为本书提过有益建议的学生及同事们致以谢意！

戴维·温特

# 目 录

序言.....	1
第一章 做为—门边缘学科的生物力学.....	1
导言.....	1
一、测定、描述、分析和评定.....	1
(一) 测定和描述.....	3
(二) 分析.....	5
(三) 评定.....	6
二、本书的内容纲要.....	7
(一) 运动学.....	7
(二) 动力学.....	8
(三) 人体测量学.....	8
(四) 肌肉和关节生物力学.....	8
(五) 肌电图学.....	9
第二章 运动学.....	10
发展史和问题的复杂性.....	10
一、运动学惯例.....	11
(一) 绝对空间参照系.....	12
(二) 一个身体环节在空间的总描述.....	12
二、直接测定技术.....	13
(一) 角度计.....	13
(二) 加速度计.....	15
三、图象测量技术.....	18
(一) 光学镜头的基本知识简述.....	18

(二)	设置光圈和景深	20
(三)	电影摄影学	20
(四)	录象	22
(五)	频闪摄影	22
(六)	光电技术	24
(七)	各种运动学系统小结	24
四、	数据转换技术	26
(一)	模数转换	26
(二)	影片数字化技术	27
(三)	录像数字化	28
五、	运动学原始数据处理	28
(一)	原始数据的性质	28
(二)	谐波分析(富立叶)	29
(三)	采样理论	31
(四)	信号与噪声	32
(五)	数据平滑及逼近	35
(六)	几种平滑方法的比较	42
六、	平滑后数据的角度计算	44
(一)	肢体环节角度	44
(二)	关节角度	45
(三)	举例	46
七、	速度和加速度的计算	48
(一)	举例	49
八、	运动学习题	50
	参考文献	52



<b>第三章 人体测量学</b> .....	54
一、运动生物力学中人体测量学的范围.....	54
(一) 环节尺寸.....	54
二、密度、质量和转动惯量的特性.....	55
(一) 全身密度.....	55
(二) 环节密度.....	56
(三) 环节质量和质量中心.....	56
(四) 多环节系统的质心.....	59
(五) 转动惯量和转动半径.....	60
(六) 平行移轴原理.....	62
三、人体测量表及运动学数据的使用.....	63
(一) 各环节质量及质心的计算.....	63
(二) 身体总质心的计算.....	64
四、直接实验测量.....	67
(一) 身体质心的解剖学位置.....	67
(二) 远端环节的质量计算.....	68
(三) 远端环节的转动惯量.....	69
五、肌肉测量学.....	70
(一) 肌肉横截面积和长度.....	70
(二) 运动时肌长度的变化.....	71
(三) 单位横截面积的力(应力).....	71
(四) 多关节肌.....	71
(五) 肌肉的机械效益.....	72
六、习题.....	72
参考文献.....	73
<b>第四章 动力学</b> .....	76
分析途径.....	76

一、环节链模型·····	77
(一) 环节链模型的受力·····	78
(二) 关节反作用力及骨与骨之间的作用力·····	79
二、环节链基本方程——受力图·····	82
三、力传感器及测力台·····	87
(一) 多维力转感器·····	88
(二) 测力台·····	88
(三) 测力台与运动学数据的同步·····	92
(四) 测力台数据与运动学数据的结合·····	92
(五) 肌肉力矩曲线的讨论·····	93
四、动态情况下骨与骨之间力的计算·····	94
五、习题·····	95
参考文献·····	97
<b>第五章 机械功、能和功率</b> ·····	<b>99</b>
定义和理论·····	99
(一) 新陈代谢, 机械效率和总功率·····	99
(二) 净机械功——内功与外功·····	99
(三) 肌肉的正功·····	100
(四) 肌肉的负功·····	101
(五) 肌肉的机械功率·····	101
(六) 肌肉的机械功·····	102
(七) 对外负荷做的机械功·····	103
(八) 环节之间机械能的传递·····	106
一、无效运动的原因·····	107
(一) 多肌收缩·····	107
(二) 对抗重力的等长收缩·····	108
(三) 颤抖动作·····	108

(四) 一个关节上的能量产生及另一关节上的能量吸收	108
(五) 能量流程图	110
二、能量存储形式	111
(一) 体内一个环节的能量及在环节内的能量交换	113
(二) 环节内能量转换的确切公式	116
(三) 多环节系统的总能量	116
(四) 全身的正功和负功	117
(五) 身体的总功; 各环节之间的能量转换	119
三、人体运动的总效率	120
(一) 运动时做的内机械功	121
四、能量分析在训练、诊断及治疗中的应用	122
(一) 总机械功的监测	123
(二) 详细诊断	123
五、习题	123
参考文献	125
<b>第六章 肌肉力学</b>	127
运动单位	127
一、运动单位的募集	128
(一) 尺寸原理	130
(二) 运动单位的类型——快肌与慢肌	132
二、肌肉的力——长度特性	133
(一) 收缩元的力——长度曲线	133
(二) 并联结缔组织的影响	135
(三) 串联弹性组织	135
三、力——速度特性	138
(一) 向心收缩	138

(二) 离心收缩	140
(三) 长度和速度组合对力的影响	141
(四) 肌肉收缩的一个典型的时间特性	141
四、肌肉单收缩及肌肉模型	143
(一) 阶梯状收缩	144
(二) 肌肉模型化	146
参考文献	147
<b>第七章 人体运动学的肌电学</b>	150
一、肌肉收缩的电生理学	150
(一) 运动终板	150
(二) 由连续的化学因素刺激导致的单收缩	151
(三) 肌肉动作电位的产生	151
(四) 肌肉动作电位的持续时间	153
二、肌电记录法	154
(一) 放大器增益	155
(二) 输入阻抗	155
(三) 频率响应	157
(四) 共用模式衰减	161
三、肌电信号的处理	164
(一) 全波整流	165
(二) 包络线	166
(三) 真实的数学积分	167
四、肌电与生物力学参数之间的关系	168
(一) EMG与等长张力	168
(二) 肌肉缩短与伸长时的EMG	171
(三) 疲劳时肌电的变化	171
参考文献	173

附录A	人体测量学、运动学和测力台数据	177
表A—1	解剖标志点位置、单位和时间方面的信息	177
表A—2	人体测量学数据	180
表A—3	原始输入坐标数据	181
表A—4	四阶低通滤波 $F_c = 5 \text{ Hz}$	186
表A—5	脚质心的位移、速度和加速度	191
表A—6	小腿质心的位移、速度和加速度	196
表A—7	大腿质心的位移、速度和加速度	201
表A—8	躯干、头和手质心的位移、速度和加速度	206
表A—9	身体总质心的位移、速度和加速度	211
表A—10	测力台数据——力、力矩和压力中心	214
表A—11	关节角度、角速度和角加速度	215
附录B	动力学分析	220
表B—1	右踝的关节反作用力和肌肉净力矩	220
表B—2	右膝的关节反作用力和肌肉净力矩	225
表B—3	右髋的关节反作用力和肌肉净力矩	230
表B—4	右脚的动能、势能和总能量	235
表B—5	右小腿的动能、势能和总能量	240
表B—6	右大腿的动能、势能和总能量	245
表B—7	躯干、头和手的动能、势能和总能量	250
表B—8	身体总能量、绝对能量变化的总和	255

索引(略)

# 第一章 做为—门边缘学科的 生物力学

## 导 言

人体运动生物力学是一门描述、分析和评定人体运动的边缘科学。人体运动所涉及的范围是相当广泛而多样的，它包括从残疾人步态到高级运动员的所有动作。这些动作都是遵循物理学及生物学原理的。但完成特定动作的任务及动作细节标准，可因情况不同而有所改变。

矫形外科医生、教练员、康复工程师、理疗师、运动学专家、运动器械设计师等许多专业和半专业人员都与人体运动这一领域有关。就广义而言，研究人体运动的科学称为运动学。它综合了心理学、运动技能形成学、运动生理学及生物力学等学科的内容。而生物力学则是在物理学、化学、数学、生理学和解剖学的知识基础上发展起来的，同时又超出了生命科学及物理学的范围。从历史角度来看“生物力学”这个词最早可以追溯到达·芬奇、加利略、拉格朗日、伯努利、欧拉和杨等人，因为这些科学家对于将力学应用到生物学领域中是十分感兴趣的。

### 一、测定、描述、分析和评定

用于生物力学研究的方法是相当含糊的。有人把对人体运动的描绘当作评定；有的研究实际上只是涉及到了一些测定就误认为这是分析等等。因此，明确这些术语的含义是十分

重要的。对人体运动的任何定量评定都必须有测定和描述阶段，如果需要进行有意义的诊断的话，通常还必须进行生物力学的分析。本书大部分材料是由测定、描述和分析三个方面组成的，并辅以评定的实例来加以说明。

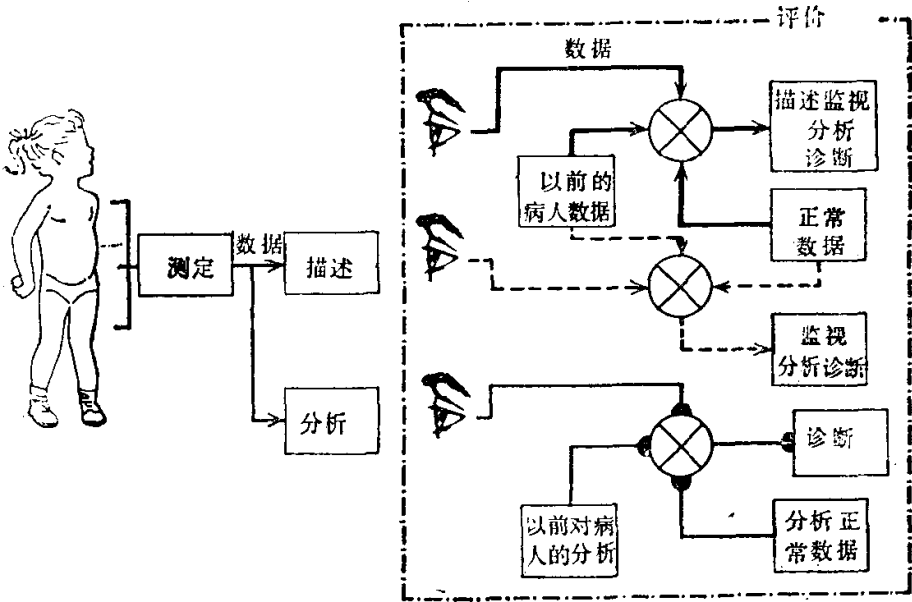


图 1—1 人体运动的三种水平评定图示

图 1—1 表示对残疾人评定时几种模式之间的关系。各种水平的评定都与某一特定研究人员有直接关系，因为评定是以研究人员对病人或实验对象的观察、所测的数据或某些生物力学分析的结果为基础的。初级评定是由人直接观察，这即使对于有经验的人来说也是一个很大的难题。因此所有这种测定都是带有主观性的，同时也不可能与以前得到的材料进行比较。在这种情况下观察者只能做些描述性叙述。即包括他的所见、对情况的分析及判断等。如果在患者运动过程中做些测定，并以一种适宜的方式表示所测的数据，这样便可对运动做定量描述。当然这里所说的评定者的任务是被

简化了。但只有这样他才能定量地监测运动中的变化，进行一些简单的分析并得到较客观的诊断。生物力学分析是对人体运动最高水平的评定。它对诊断问题真正的原因，比较被诊断者与其他人的区别及观测随时间的细微变化等是十分有效的。

对一项体育运动技术的测定和分析与对截肢人步态的测定和分析是十分相似的。但评定运动员能量最优化与评定截肢人的稳定性是截然不同的。对运动员动作的评定需要非常详细，并能观测导致他的技术有百分之几改进的微小变化，从而使这名运动员能从第四名而越居为冠军。对运动员的训练、练习计划及评定通常要持续相当一段时间。而截肢人则不然，他们寻求的只是改善动作和安全行走，但他们不会指望有更好的改进。虽然对他通过某些技术训练并再调整他的假肢可以使他达到最大能力，然而他们的行走能力如能达到最大行走能力的90%，就是十分幸运的了。

### （一）测定和描述

测定和描述的动能是不可分的。对于给定的测定仪器来说，可以用不同方法来表示它所测定的数据。反之，对于一个给定的描述可来自不同的测定仪器的测定。

早期的生物力学研究只是对给定运动进行描述并以所观察数据进行评定。可用笔式记录仪曲线，身体坐标点图，杆图，时间统计测量或者节奏变量等不同方式的描述数据。电影摄影机本身就是一个测量仪器，用它可获得描述运动的时间和空间特性结果。

图1—2表示，电影摄影机系统及其两种不同的图形描述方式。这些图形是用关键的解剖学标志点的坐标与一定的时间间隔结合的产物。一个或多个坐标点的连续变化图对于



描述特定的标志点的细微变化是很有用处的，还可凭经验揭示出速度和加速度的变化。对平面运动进行整体描述可使用杆图，杆图就是把身体的每个环节用直线来表示。把这些点连结起来，就可以确定任一瞬间任一位置时各环节的空间方位。以相等时间间隔画出的这种杆图就可以对运动员的动态变化进行形象的及解剖学的描述。这种图可以把运动轨迹、速度和加速度形象化。但要从杆图数据中得到有价值的结论，还必须有完整的坐标数据（表 A—4）。只有这样才能画出某一动作的完整图形。可直接用坐标数据进行所需要的分析，如反作用力、肌肉力矩、能量变化、效率等。反之，有时可直接从描述中进行评定。例如，有经验的研究人员就能从观察杆图中得到对训练及治疗有指导性的信息来，或能触及到动作的基本机理。

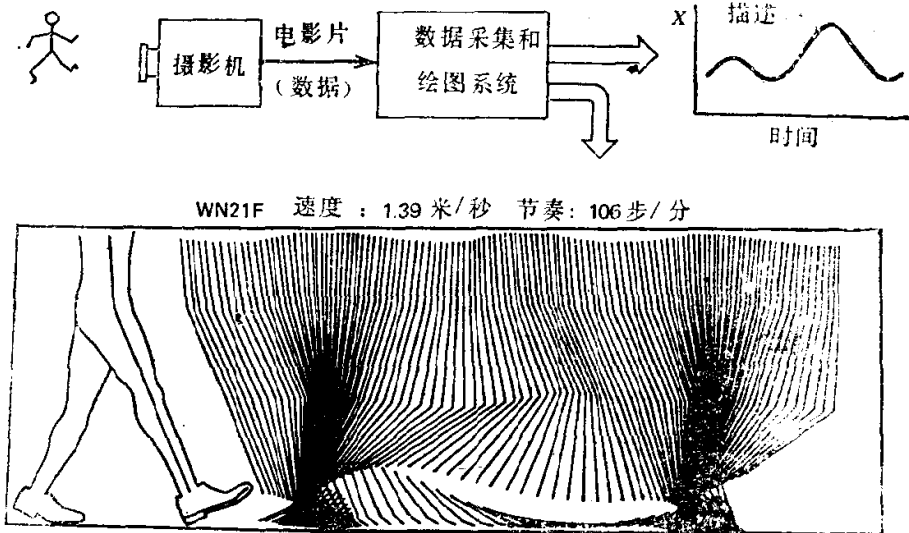


图 1—2 取自一架电影摄影机的数据流程和这些数据两种不同方式的绘图，对同一事件可有不同描述方法