

运动技术生物力学



(美国) 詹姆斯·海著

(上)

北京体育学院编译室

体育院系参考教材

运动技术生物力学

[美] 詹姆斯·海 著

孙成敏 译

程 乾 校

北京体育学院编译室

一九八一年出版

JAMES G. HAY

THE BIOMECHANICS OF SPORTS TECHNIQUES

Second Edition

Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., U.S.A. 1978

译 者 的 话

运动生物力学是一门比较年轻的学科，我国目前尚无统编教材，现有的著述，包括译著在内，远远不敷需要。为此，翻译了这部在国外具有一定影响的著作，供体育工作者参考。

翻译过程中，曾得到本室和院内很多同志的鼓励和帮助，并蒙苏品、卢德明和李良标三位同志对全部译稿详加审阅，逐章提出意见，谨在此致以衷心的感谢。

限于译者的水平，译文中错误和不妥之处在所难免，敬希读者批评指正。

孙成敏

一九八〇年八月

第二版序言

编写《运动技术生物力学》第二版，有若干理由。首先，过去四年的广泛使用，说明本书某些材料可以编排得更富于条理性。其次，生物力学研究活动的蓬勃开展，使我们掌握了大量的新材料。最后，本书后半部分所讨论的运动技术，很多已经发生了实质性的变化。

第二版中作了很多变动，以期更清楚地阐述基本概念。有些地方变动较大——如路程、位移、速率、速度和抛体运动等节几乎完全重新写过——有的变动则小一些。在提高例证的质量和条理性方面，也作了相应的努力。

过去几年中，人们对运动技术进行了大量的研究工作。其中不少研究涉及到很实际的问题，是体育教师、教练员和运动员常会遇到的。本书在讨论有关技术时，对这些研究的重大发现，在适当的地方作了介绍。

运动技术的变化有时快得出奇，简直令人难以跟上。例如，自本书第一版问世以来，不过几年功夫，抓台出发几乎已被公认为最快的游泳出发技术；以旋转式推铅球技术取代长期盛行的奥布赖恩式推球技术，也被认为是可行的；在短跑中，近年来人们想用以取代传统的蹲踞式起跑的站立式起跑，已经由于规则的修改而被禁止；空翻式跳远技术也经历了出现、被禁止和消亡的过程。作者力图在第二版中跟上这些变化，比较详尽地讨论抓台出发和旋转式推铅球这一类技术。

本版中的许多变动，是直接根据读者对前一版的建设性意见而做出的。这里谨向那些花费时间和精力把意见告诉作者的人，表示真诚的谢意。这样的意见，任何时候都会受到作者的欢迎。

最后，还应感谢那些在第二版的准备工作中做出贡献的人。他们是：为本书打出底稿的桑迪·狄龙，承担主要绘图工作的巴里·威尔逊和以种种方式出力的杰索斯·达佩纳。作者衷心地感谢他们所给予的帮助。

詹姆斯·海

第一版序言

生物力学这门学科研究的是作用于人体的力以及这些力所产生的作用。体育教师和运动教练，不管他们认识与否，工作中都要涉及到力及其作用的问题。而讲授某项运动或体育活动基本技术的能力，在很大程度上既取决于如何估价所寻求的结果(即作用)，也取决于如何认识产生这些结果的力。因此有理由认为，体育教师、教练员和运动员应该学习生物力学，为运动技术分析打下一个健全的科学基础。本书的目的正是提供这一基础，并说明如何利用它来进行运动技术分析。

本书第一部分讨论生物力学的定义，生物力学在运动技术分析中的作用以及体育教师、教练员和运动员掌握生物力学知识的重要性。

第二部分讨论对运动技术分析至关重要的生物力学基本概念。其中特别侧重于抛体运动、弹性碰撞、牛顿定律及其在角运动中的对应形式、机械能、重心、浮力与漂浮和流体阻力等概念。

材料的安排遵循由浅入深的原则，读者只要掌握了前面介绍的知识，就能理解每个新出现的概念。例如，与许多同类教科书不同，本书在介绍了力、重力、力矩、合力矩和平衡等概念后才讨论重心问题。因为要想彻底搞清重心问题，必须首先理解这些概念。

本书研究了同类教科书中一般不予讨论的若干重要课题，如冲量、机械能、升力和阻力等概念。此外，还比较详尽地介绍了人体重心位置的分段测定法。

第三部分对九个主要运动项目进行详尽的技术分析。这九个项目是个人项目中的体操、高尔夫球、滑雪、游泳和田径，集体项目中的棒球、篮球、橄榄球和垒球。⁽¹⁾

本类教科书的作者均须决定，是多写几个项目，每个项目篇幅短一些(自然也就浅一些)，还是少写几个项目，每个项目篇幅长一些，分析详尽一些?这里选择了后一种做法。因为作者认为，表面化的处理方式，本身就决定了它不可能提供多少真正有价值的东西，而作者希望的是，详尽一些的分析能使广大读者真正有所收益。

各项目的分析均包括两部分。前半部分是“考虑要点”，提出每种技术中的基本因素，并说明它们在理想的技术动作中是如何相互作用的。后半部分详尽地讨论技术本身，尤其侧重于教师和教练员们有争议的问题。这些问题，能够解决的，则运用生物力学基本概念或参考专题研究成果将其解决。对那些需要进一步研究才能得出一致意见的问题，则提请读者注意。作者希望这不仅能使读者掌握该领域现有的知识，还能促使他们进行相应的研究，以使问题得到解决。

很多人以这种或那种方式为本书的写作做出了贡献。有的在过去数年间曾给作者以

(1) 作者在第二版中删去了滑雪一章，本译文中删去了高尔夫球和橄榄球两章。
——译注。

鼓励、指导和机会，有的通过画插图、打字和收集材料等方式直接出力，有的为本书的写作，耐心地分担了作者应尽的责任和义务。作者谨向下列各位表示真诚的谢意：

弗兰克·沙普利，他为从生物力学方面解决田径技术问题所进行的不懈的探索，促使作者投身于这一领域的研究。他的热情、活力和真正的创新精神，始终都是对作者的激励。

路易斯·艾利，他在作者当研究生的数年中曾给予指导，并在以后为使作者得到深入研究的机会而作出了努力。

菲利浦·史密塞尔斯，他比任何人都更有力地影响了作者对体育运动的看法，并为作者写作本书提供了时间和方便。

罗斯·赫墨拉，这位年轻的新西兰画家为本书准备了大部分插图。

大卫·依斯特和罗杰·西蒙斯，这两位能干和热心的助手在收集整理材料方面做了大量的事务性工作。

琳达·戈雷弗为本书准备了表格，鲁思·博纳、巴巴拉·戈尔曼和艾尔诺拉·斯沃尊德拉伯承担了手稿的打字工作。

最后还应感谢：

希拉里、琳达和卡伦·海，为使本书得以完成，他们耐心地忍受了家庭生活为此而受到的影响。

詹姆斯·海

目 录

本书表格名称	(II)
第二版序言	(III)
第一版序言	(IV)
第一部分 绪 论	(1)
第一章 生物力学在体育运动中的地位和作用	(3)
第二部分 基本概念	(9)
第二章 运动形式	(10)
第三章 平动的运动学	(13)
第四章 转动的运动学	(37)
第五章 平动的动力学	(45)
第六章 转动的动力学	(82)
第七章 流体力学	(131)
第三部分 运动技术分析	(145)
第八章 棒球	(147)
第九章 篮球	(165)
第十章 体操	(183)
第十一章 垒球	(208)
第十二章 游泳	(214)
第十三章 田径: 跑	(246)
第十四章 田径: 跳跃	(266)
第十五章 田径: 投掷	(305)
附 录	(337)
附录一 三角学基础知识	(338)
附录二 速率单位换算线解图	(342)
附录三 方程	(343)
索 引	(346)

本书表格名称

1. 推铅球中最佳出手角度随出手高度和出手速率而变化	(32)
2. 足球每飞行 0.1 秒的水平位移和垂直位移	(35)
3. 平动运动学和转动运动学量的对比	(39)
4. 各种球从72吋高度落至硬木地板时的恢复系数	(64)
5. 排球从72吋高度落至各种物面时的恢复系数	(64)
6. 温度变化对恢复系数的影响	(66)
7. 棒球与棒斜碰后的速率和反射角	(71)
8. 身体各部位在整个体重中的相对重量	(107)
9. 身体各部位的重心位置	(107)
10. 重心位置计算用表	(109)
11. 身体各部位对通过重心的横轴的转动惯量	(114)
12. 赛艇的尺寸、表面积和表面阻力	(138)
13. 铁饼的升力和阻力	(142)
14. 棒球投出后由于重力和空气阻力的影响而发生的垂直偏离	(152)
15. 棒球投球中所记录到的最高出手速率	(153)
16. 棒球投球的出手速率	(154)
17. 30次精选的棒球投球的水平和垂直偏离范围	(155)
18. 15呎处投篮的最佳入篮角度和出手角度	(171)
19. 一定成绩的最佳动作频率和划水效果	(222)
20. 各种纵距的蹲踞式起跑的时间特征和速度特征	(253)
21. 跳远成绩中各分距离所占的比例	(267)
22. 高级跳远运动员的腾起速率和腾起角	(268)
23. 跳远助跑最后六步的步长和步频	(270)
24. 跳高成绩中各高度的相对比例	(280)
25. 瓦列里·布鲁梅尔(苏联)最后四步助跑的步长	(289)
26. 在一次美苏对抗赛中各铁饼选手最远一次投掷的出手角、迎角、出手速度 和距离	(317)
27. 三角函数	(341)

第 一 部 分

绪 论

第一章 生物力学在体育运动中的地位和作用

生物力学的定义

在我们当前所面临的巨大的知识爆炸中，新的知识领域在发展，原有的则被重新评价。在这个永无休止的过程中，科学用语（毫无疑问，科学这一领域更是处于飞速发展之中）也在不断地变化着。新的知识领域一经出现并得到确认，人们就为之命名，而对与之密切相关的现存领域，则重新审慎地规定它们的范围。由于人们竞相博取为新领域命名的光荣，使这一过程中常常出现的混乱状况变得更加严重，结果造成了术语的多样化。人们都声称自己的术语最适合于描述新领域的内容，而这些术语却又往往具有不同的含义。

人体运动科学分析方法的发展，也因此而受到影响。过去一个时期，人们用**运动学**（kinesiology）（字面意义是运动的科学）这个术语来描述与人体肌肉骨骼系统的结构和功能有关的知识领域。后来，对适用于人体运动的力学原理的研究也被广泛认为是运动学的一个组成部分。再后来，这个术语的应用就更广泛了，它实际上包括了以某种方式涉及到人体运动的所有学科。显然，在这种情况下，运动学就失去了原有的含义，不再是专指运动科学中与肌肉骨骼系统的运动或人体运动力学原理有关的那部分内容了。因而，为了取代运动学，人们提出了一系列新术语。**人体力学**（anthropomechanics）、**人体动力学**（anthropokinetics、kinanthropology、homokinetics）、**生物动力学**（biodynamics、biokinetics），凡此种种，不乏倡导之人。最后，从中出现了一个得到最广泛承认的术语，这就是**生物力学**（biomechanics）。

人们为生物力学一语下了各种各样的定义，如：

“生物活动，尤其是肌肉活动的力学基础，以及对有关原理和关系的研究。”⁽¹⁾

(1) Webster's Third New International Dictionary of the English Language (Springfield, Mass.: G. & C. Merriam Co., 1961).

“力学定律在活体结构，尤其是人体运动器官中的应用。”⁽¹⁾

不过，由于本书主要是论述生物力学在有限范围内，即运动技术分析中的应用，所以这里进一步提出一个更狭义的定义：

“生物力学是研究作用于人体的内力和外力以及这些力所产生的作用的科学。”

这里应该指出，上述定义中，哪个也没有被普遍接受，而且，生物力学现在所包括的内容，已经远远地超出了其名称所表示的范围。所以很遗憾，这个术语似乎正在步运动学之后尘，开始走上了被废弃的道路。

生物力学的作用

体育教师和教练员在他们所从事的各种体育活动中会不断地遇到与技术有关的问题。

数年前，世界上最优秀的跳高选手是一位叫瓦列里·布鲁梅尔的俄国人。他保持着当时的跳高世界纪录和奥运会纪录，远远地超出了同时代的选手，在人们心目中是无与伦比的。那时普遍有一种趋势，其现在也一样，即模仿当时的冠军，盲目地采用冠军的做法。布鲁梅尔采用的方法，在很多方面都是比较新的，所以人们以空前的热情去模仿他。有的模仿他那长距离的快速助跑和起跳时的双臂摆动动作。有的照搬他的某些训练方法，进行负重跳，或跳起后用摆动腿踢篮筐。还有人试图仿效他对比赛的态度，比赛中不同其他选手坐在一起，而且是背对横杆。可以说，全世界的跳高选手几乎仔细地观察并模仿了布鲁梅尔所做的一切。

比这再早几年，一位叫埃米尔·扎托倍克的捷克斯洛伐克赛跑选手完全垄断了长跑比赛，并使这项运动发生了巨大的变化。他在自己的项目上所取得的成就，比布鲁梅尔在跳高方面所取得的成就还要突出。正象后来的布鲁梅尔一样，扎托倍克也是人们的模仿对象。有的模仿他那凶勇的比赛战术；有的模仿（或试图模仿）他那使人筋疲力尽的间歇训练法，这种训练的负荷量相当惊人，包括以比赛速度跑 5×200 米、 60×400 米和 5×200 米，每次间歇时较快地慢跑200米。但很少有人模仿他那跑的动作。你只要看过他的动作（甚至是照片），就会明白为什么了。似乎谁也想象不出，点头、晃肩、鞭打双臂和皱起面孔怎么会使人跑得更快。大概人们由此而得出结论：尽管扎托倍克跑的时候有这些怪癖，他还是成功了；但他的成功绝不是由于有这些怪癖。

可见，在扎托倍克和布鲁梅尔之间，有一个重要的区别——扎托倍克的某些错误动作是明显的，所以他的追随者小心地避开了；布鲁梅尔的追随者却不仅模仿了他的长处，而且也照搬了他的错误动作。这些错误动作尽管不那么明显，但比起扎托倍克那些明显的错误来，对成绩的影响更大。

所有这些，向体育教师和教练员提出了一个问题。他们如何判断，在冠军选手采用的技术中，哪些有助于提高成绩从而值得效法，哪些不正确，实际上限制了水平的发挥

(1) Dorland's Illustrated Medical Dictionary (Philadelphia; W. B. Saunders Co., 1965) .

呢？答案就在生物力学这门学科之中。生物力学提供了唯一健全而合理的基础，使我们能够据以评价那些引起我们注意的冠军选手所采用的技术。

有时，新技术是由于新规则的出现而产生的。例如，在游泳运动中，各种新式转身技术的采用就是由于有关规则发生了变化。新器械的出现也会引起技术上的变化。海绵面乒乓球拍、撑竿跳用的玻璃钢竿和钢边滑雪展就是几个例子，它们说明器械的变化对运动技术会产生显著的影响。

当新规则和新器械导致或要求技术发生变化时，体育教师和教练员怎样才能选出最好的技术呢？这里，又是要以生物力学作为抉择的基础。

明确了在一定情况中采用哪种技术后，教师和教练员的任务是发现和纠正运动员的错误动作。这里，最大的困难是找出所观察到的错误动作的原因。要一个有经验的人在运动员的动作中（尤其是广泛采用的熟悉动作）指出明显的错误，并不十分困难，但要找出错误的原因可能就很难了。原因之一是因果关系往往不那么明显。例如，在跳跃、翻腾和跳水动作中，在腾空或落地（或入水）阶段观察到的问题，几乎都是由于起跳或助跑时的技术错误而引起的。现在，很多教师和教练员虽想纠正他们所发现的错误，却又不肯去考虑或很少考虑造成这些错误的潜在原因。所以一般情况下这种教法效果很差，因为当指导者没有帮助运动员解决问题，而是增加了他的问题时，运动员的动作可能会做得更糟。

教师或教练员如何才能提高找出错误原因的能力呢？答案还是来自生物力学。因为，正象动作技能学习（motor learning）的基础科学知识有助于正确评价教学方法、练习的时间、频率和性质，生理学知识有助于规定各种情况中的训练量和训练方法一样，生物力学知识可以帮助我们选择合适的技术并找出可能出现的错误动作的根源。简单说，正如动作技能学习理论是培养运动能力的科学基础，生理学是训练的科学基础一样，生物力学是技术的科学基础。（注意：这里还应认识到，这些科学基础并不能就教师和教练员所遇到的全部问题提供现成的答案。不过，即使它们不能立即提供答案，至少也可以提供最终找到答案的手段。）

掌握生物力学知识的重要性

尽管所有从事体育运动的人都以某种方式与运动技术发生关系，还是可以很方便地把这些人分为三类——体育教师、教练员和运动员。这几种人往往从不同的角度看待运动技术，所以这里将分别考虑生物力学知识对他们的重要性。

对体育教师的重要性。人们为体育及其宗旨下了种种不同的定义：

“体育是一种以对人的成长、发育和行为方式有价值的体育活动为手段的教育方式。”⁽¹⁾

“体育的宗旨是通过体育活动，使公民在身体、精神、情感和社会

(1) W. K. Streit and Simon A. McNeeley, "A Platform for Physical Education," *Journal of Health, Physical Education Recreation*, XXI, March 1950, p. 136.

行为等方面得到健全的发展。”⁽¹⁾

“体育的主要目的是通过有选择的体育活动，帮助人们培养、建立和保持自己的能力、态度、观念、驱动力和生存条件。”⁽²⁾

这类似乎举不胜举的说法至少在一点上是相同的：它们都具体地提出以体育活动为手段来实现体育的宗旨。显而易见，体育教师的成功也就必然有赖于与这一特定手段有关的知识，包括有关的技术、教学法和训练法及其科学基础。所以我们可以肯定，一个体育教师如果不仅仅满足于凭猜测作出判断，使自己的成就受到限制，就必须掌握生物力学知识（当然也要掌握动作技能学习和生理学这两方面的知识）。（注意：由于要想传授某种技术或帮助别人提高某种技术的水平，必须首先具有这种技术的知识，所以有人可能会进而提出，生物力学知识对体育教师来说，其重要性是第一位的。不过，这种说法没有什么实际意义，因为，一个体育教师最后的成就显然不是只取决于某一种科学知识，而是各种知识的总和。）

对教练员的重要性。生物力学知识对教练员的重要性，在一定程度上要看从事什么项目。如越野跑，教练员关心的主要是心血管和肌肉的耐力，与技术关系不大。所以他们同棒球、橄榄球、体操或游泳教练员相比，从生物力学知识中所能得到的益处自然要小些，因为在棒球、橄榄球、体操和游泳等项目中，技术的作用要大得多。

另一个因素是在什么水平上从事教练工作。体育教师一般教的是初学者或稍有基础的人，用的是普通的基本的运动技术以及与这些技术有关的较浅的生物力学知识。而运动员的技术水平是不断提高的，所以教练员不仅需要普通的基本的知识，而且还要掌握精确的细节。随着运动水平的提高，教练员就愈加需要更深入的生物力学知识。对那些技术占重要地位的运动项目来说，最高水平上的任何改进，几乎无不产生于对细节所做的精密观察，这是凭运气和推测所做不到的。可以认为，对这样的教练员来说，生物力学知识是必不可少的。

说到这里，可能会有人表示不以为然，并举出一些例子，证明有些教练员即使没有多少生物力学知识，也取得了很大的成就。其实他们的成就只不过证明了其他东西也是重要的，而我们从来也没有否认过这一点。倒是应该想一想，如果这些教练员除了原有的本领之外再加上生物力学知识，他们的运动员可能会达到什么样的水平！

对运动员的重要性。关于生物力学知识对体育教师和教练员的重要性，人们的看法一般还是相当一致的。至于对运动员来说有多重要，意见就不那么一致了。

为搞清生物力学知识对学习运动技术的重要性，人们进行过不少研究。不过，由于这些研究中的受试者几乎都是不折不扣的初学者，所以很难断定生物力学知识对成熟的运动员有多重要。

(1) Charles A. Bucher, Foundations of Physical Education (St. Louis: The C. V. Mosby Co., 1968), p. 21.

(2) Clyde Knapp and Patricia Hagman Leonard, Teaching Physical Education in Secondary Schools (New York: McGraw-Hill Book Co., 1968), p. 77.

关于这个问题，一些权威人士表示过这样的看法：

“随着学习者年龄增大并在一般方面变得更有经验，言语指导和动作分析将更有助于学习者对动作的体会，使他们获得新的见解。”⁽¹⁾

“研究报告并未提到力学分析对水平较高的学生的价值，但经验似乎可以证明，力学分析对他们具有较高的价值。”⁽²⁾

因此，尽管还没有结论性的证据，但看来成熟的运动员掌握有关的生物力学原理，对提高运动水平可能会有相当大的帮助。

(1) B. Knapp, *Skill in Sport: The Attainment of Proficiency* (London: Routledge and Kegan Paul, 1966), p. 28.

(2) John D. Lawther, *The Learning of Physical Skills* (Englewood Cliffs, N. J. : Prentice-Hall, Inc., 1968), p. 101.

